UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

RÉGIS DOS SANTOS BRAZ

EFEITOS DA ADUBAÇÃO NITROGENADA NA CULTURA DO MILHO SOB ESTRESSE SALINO EM DOIS SOLOS

FORTALEZA
2018

RÉGIS DOS SANTOS BRAZ

EFEITOS DA ADUBAÇÃO NITROGENADA NA CULTURA DO MILHO SOB ESTRESSE SALINO EM DOIS SOLOS

Tese de doutorado apresentado ao Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Ciência do Solo. Linha de pesquisa - Salinidade do solo e da água.

Orientador: Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda
Co-orientador: Prof. Dr. Raimundo Nonato de Assis Júnior

FORTALEZA
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

B839e Braz, Régis dos Santos.
Efeitos da adubação nitrogenada na cultura do milho sob estresse salino em dois solos / Régis dos Santos Braz. – 2018.
124 f. : il. color.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Fortaleza, 2018.
Orientação: Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda.
Coorientação: Prof. Dr. Raimundo Nonato de Assis Júnior.

1. Semiárido. 2. Salinidade. 3. Nitrogênio. I. Título.

CDD 631.4

RÉGIS DOS SANTOS BRAZ

EFEITOS DA ADUBAÇÃO NITROGENADA NA CULTURA DO MILHO SOB ESTRESSE SALINO EM DOIS SOLOS

Tese de doutorado apresentado ao Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Ciência do Solo. Linha de Pesquisa - Salinidade do solo e da água.

Aprovado em: 23/03/2018.

BANCA EXAMINADORA

_____

Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda (Orientador)
Universidade Federal do Ceará - UFC

_____

Prof. Dr. Raimundo Nonato de Assis Júnior (Co-orientador)
Universidade Federal do Ceará - UFC

_____

Prof. Dr. Alexsandro Oliveira da Silva
Universidade Federal do Ceará - UFC

_____

Dr. Lindbergue Araújo Crisóstomo
EMBRAPA Agroindústria Tropical

_____

Dr. Jorge Freire da Silva Ferreira
USDA - ARS - US Salinity Laboratory

A minha mãe Luzinete, ao meu pai Francisco e a minha querida e amada avó, Maria Ferreira Braz, dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela força e sabedoria concedida para percorrer esse caminho até o fim, mesmo diante de tantos obstáculos.

Aos meus pais, Maria Luzinete e Francisco, que não pouparam esforços para que eu pudesse chegar até aqui. Aos meus irmãos Robson, Rafael (*in memoriam*), Rildo e Raniele. Também agradeço a minha queria e amada avó, Maria Ferreira Braz, por tudo que fez e faz por mim e a toda minha família, que sempre estiveram me apoiando.

A Universidade Federal do Ceará, ao Departamento de Ciências do Solo, ao Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo e a todos os professores e funcionários pela oportunidade de formação profissional e pessoal.

Ao Professor Doutor Claudivan Feitosa de Lacerda, meu orientador, pela paciência, compreensão e todos os ensinamentos que me foram passados durante essa jornada. Também ao Professor Doutor Raimundo Nonato de Assis Júnior, co-orientador, pela colaboração e aconselhamento.

Aos companheiros do Laboratório Relação Solo-Água-Planta Adriana Oliveira, Aureliano Ribeiro, Bruno Gabriel, Carlos Henrique, Davi Rodrigues, Emanuel Dias, Emanuelle Victor, Honório Neto, Ítalo Fernandes, Jordânia Gabriel, Júlia Medeiros, Leila Neves e Saúde Ribeiro que contribuíram em diversos momentos para a realização deste trabalho.

As grandes amigas que fiz durante o mestrado e doutorado Arilene Franklin e Juliana Vieira. Também a família que encontrei fora de casa, que estiveram comigo em todos os momentos me ajudando e apoiando sempre, Bruna Iwata, Bruno Meneses, Izabel Almeida, Tiago Silva e especialmente, Marcos Alves.

Ao Instituto Nacional de Ciência em Tecnologia em Salinidade (INCTSal), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.

Eu tive meus altos e baixos, mas sempre encontrei a força interior para me levantar. Eles me serviram limões, mas eu fiz uma limonada.

Hattie White

RESUMO

O aumento da adubação nitrogenada para amenizar os efeitos danosos da salinidade tem sido descrito para diversas culturas. Entretanto, a redução no crescimento das plantas causada pelo estresse salino pode resultar em menor absorção de nutrientes, provocando a perda destes nutrientes por lixiviação, tal como o nitrogênio. Essa perda, mesmo em condição salina, também é dependente das propriedades texturais do solo. Assim, objetivou-se avaliar os efeitos da adubação nitrogenada em plantas de milho, submetidas ao estresse salino em dois solos. O trabalho foi realizado em casa de vegetação, utilizando-se colunas de solo (100 x 20 cm). O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições, em esquema fatorial 2 x 2 x 4, correspondendo a dois solos (Argissolo e Neossolo), duas doses de nitrogênio (105 e 210 kg ha^{-1}) e quatro níveis de salinidade da água de irrigação (0,5; 2,0; 4,0 e 6,0 dS m^{-1}). Foram avaliados o crescimento, clorofila total, trocas gasosas foliares, teores foliares de solutos orgânicos e inorgânicos, eficiência do uso do nitrogênio e os atributos químicos dos solos. A salinidade reduziu o crescimento das plantas, as trocas gasosas foliares, o teor clorofila total e promoveu acúmulo foliar de prolina, N-aminossolúvel e carboidratos. Embora tenha mostrado interação com o tipo de solo, de modo geral, o nitrogênio não atenuou os efeitos da salinidade sobre os parâmetros supracitados. A salinidade também diminuiu os teores foliares de Ca, Mg, e N. Entretanto, provocou aumento nos teores de Zn, Cu, Mn, Fe, Na e Cl, sendo que os maiores incrementos ocorreram nas plantas cultivadas em Argissolo com a maior dose de nitrogênio. A eficiência do uso do nitrogênio foi maior quando utilizada a menor dose de nitrogênio**.** Porém, não apresentou interação com a salinidade, que promoveu redução da A/N-dose e A/N-foliar com o aumento nos níveis salinos. Avaliando os atributos químicos dos solos, verificou-se que a CEes e o teor de Na aumentaram, enquanto o pH reduziu em decorrência da salinidade. No entanto, essas respostas foram dependentes do tipo de solo, sendo o Argissolo o que promoveu maior CEes, Na e maior redução do pH. Os maiores teores de Mg e K também foram encontrados no Argissolo, porém sem relação com a salinidade ou doses de nitrogênio. Já o teor de Ca no solo aumentou no Argissolo e com o incremento dos níveis salinos. A salinidade aumentou o NO_3^- e o N-total no solo, com maior incremento de NO_3^- no Argissolo adubado com a dose de 210 kg ha^{-1} de N.

Palavras-chave: Semiárido. Salinidade. Nitrogênio

ABSTRACT

The increase of nitrogen fertilization as a mitigation of the deleterious effects of salinity has been described for several crops. However, the reduction in plant growth, caused by saline stress, can result in lower nutrient uptake, causing the loss of these nutrients by leaching, such as nitrogen. This loss, even in saline conditions, is also dependent on the textural properties of the soil. The objective of this study was to evaluate the effects of nitrogen fertilization on maize plants submitted to saline stress in two soils. The work was done in a greenhouse, using soil columns (100 x 20 cm). The experimental design was a completely randomized design, with four replications, in a 2 x 2 x 4 factorial scheme, corresponding to two soils (Ultisol and Neosol), two nitrogen rates (105 and 210 kg ha^{-1} N) and four salinity levels of irrigation water (0,5; 2,0; 4,0 and 6,0 dS m^{-1}). Plant growth, total chlorophyll, leaf gas exchange, leaf content of organic and inorganic solutes, nitrogen use efficiency and soil chemical attributes were evaluated. Salinity reduced plant growth, leaf gas exchange, total chlorophyll content and promoted leaf accumulation of proline, N-aminosoluble and carbohydrates. Although it showed interaction with the soil type, nitrogen did not generally attenuate the effects of salinity on the aforementioned parameters. Salinity also decreased leaf contents of Ca, Mg, and N. However, it increased Na, Zn, Cu, Mn, Fe and Cl levels, with the highest increases occurring in the plants grown in Ultisol with the highest nitrogen rate. The efficiency of nitrogen use was higher when the lowest nitrogen rate was used. However, it did not show interaction with salinity, which promoted reduction of A/N-rate and A/N-leaf with increase in saline levels. Evaluating the chemical attributes of the soils, it was verified that EC and Na content increased, while pH decreased as a result of salinity. However, these responses were dependent on soil type, it was the Ultisol which promoted higher EC, Na and higher pH reduction. The highest Mg and K contents were also found in the Ultisol, but not related to the salinity or nitrogen rates. On the other hand, the Ca content in the soil increased in the Ultisol and with the increase of the saline levels. The salinity increased NO_3^- and N-total in the soil, with greater increase of NO_3^- in the Ultisol fertilized with the rate of 210 kg ha^{-1} of N.

Keywords: Semi-arid. Salinity. Nitrogen.

SUMÁRIO

1	**INTRODUÇÃO**	**10**
2	**REVISÃO DE LITERATURA**	**12**
3	**FISIOLOGIA E CRESCIMENTO DO MILHO SOB ESTRESSE SALINO E ADUBAÇÃO NITROGENADA EM DOIS SOLOS**	**33**
4	**TEORES FOLIARES DE NUTRIENTES NO MILHO SOB ESTRESSE SALINO E ADUBAÇÃO NITROGENADA EM DOIS SOLOS**	**61**
5	**TEORES FOLIARES DE NUTRIENTES NO MILHO SOB ESTRESSE SALINO E ADUBAÇÃO NITROGENADA EM DOIS SOLOS**	**88**
6	**CONCLUSÃO**	**107**
	REFERÊNCIAS	**108**

1 INTRODUÇÃO

As regiões semiáridas apresentam uma alta variabilidade espacial e temporal das chuvas, além de condições edafoclimáticas muitas vezes pouco favoráveis às práticas agrícolas, seja pelos teores baixos de matéria orgânica, elevada evapotranspiração ou mesmo pela falta de água. Em condições satisfatórias de solo, a irregularidade das chuvas se torna o fator mais limitante à produção. Nesse contexto a prática da irrigação se torna indispensável para que as plantas apresentem desenvolvimento e produtividade adequados.

Devido às altas taxas de evapotranspiração, uso de água de baixa qualidade e drenagem deficiente, a irrigação pode levar ao processo de salinização, problema recorrente em áreas agrícolas na região semiárida brasileira. Além dos fatores supracitados, o manejo do solo, material de origem, elevação do lençol freático e o uso excessivo de fertilizantes minerais também contribuem para o processo de salinização do solo.

A salinidade ocasiona a perda de qualidade dos sistemas agrícolas, nos quais solo e água são afetados, com consequente redução da qualidade ambiental. Com o acúmulo de sais as propriedades físicas e químicas do solo podem se deteriorar a ponto de tornar os solos dessas áreas totalmente improdutivos.

O estresse salino afeta o desenvolvimento das plantas, principalmente devido aos efeitos osmóticos, tóxicos e ao desequilíbrio nutricional. Em conjunto, estes fatores causam redução na abertura dos estômatos, fotossíntese e no crescimento foliar, afetando diretamente o crescimento das plantas e causando danos nos processos fisiológicos. Como consequência, parte dos nutrientes pode ser perdida por lixiviação, causando a contaminação do lençol freático.

O aumento na adubação nitrogenada pode minimizar os efeitos deletérios da salinidade sobre as plantas e promover o crescimento, pois o nitrogênio é um dos principais elementos essenciais e constituinte de várias biomoléculas, sendo requerido em grandes quantidades pelas plantas. O incremento no fornecimento do N também proporciona maior acúmulo de compostos orgânicos compatíveis que atuam no ajustamento osmótico celular.

Além da salinidade interferir na aquisição e utilização do nitrogênio, o tipo de solo também pode afetar na resposta das plantas à adubação nitrogenada, pois o conteúdo de N do solo é dependente das propriedades texturais. Solos arenosos possuem maior constante de mineralização em comparação aos argilosos, devido ao fato dos solos com maior conteúdo de argila formarem compostos organo-silicatados estáveis, apresentando um maior poder tampão a compostos nitrogenados.

Considerando-se essas informações, tem-se como hipóteses que é possível diminuir a quantidade de nitrogênio aplicado às plantas sob estresse salino, de modo a reduzir eventuais perdas, sem causar danos adicionais as mesmas e que a adubação nitrogenada minimiza os danos da salinidade sobre as plantas, sendo esta resposta dependente das propriedades texturais do solo. Dessa forma, objetivou-se avaliar os efeitos da adubação nitrogenada nas respostas fisiológicas, no crescimento, acúmulo de solutos orgânicos e inorgânicos na cultura do milho (*Zea mays* L.) irrigada com água salina e cultivada em solos com texturas diferentes, bem como as alterações nos atributos químicos destes solos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Solos afetados por sais

A salinização dos solos é um sério problema em diversas partes do mundo e tem crescido substancialmente, causando perdas na produtividade das culturas (SILVA et al. 2009). Esse problema ocorre predominantemente em regiões áridas e semiáridas devido à baixa precipitação pluvial e à alta demanda evaporativa, que dificultam a lixiviação dos sais localizados na camada arável do solo (CRUZ et al., 2006).

De acordo com Ribeiro, Ribeiro Filho e Jacomine (2016) os solos afetados por sais são também conhecidos por solos halomórficos (solos salinos) e sódicos, e são solos criados em condições imperfeitas de drenagem, que se caracterizam pela presença de sais solúveis, sódio trocável ou ambos, em horizontes ou camadas próximas à superfície.

A gênese dos solos halomórficos envolve os processos pedogenéticos de salinização, solonização e solodização. Assim, para a formação de solos salinos ocorre o aumento da concentração de sais solúveis na solução do solo. A solonização, responsável pela formação de solos sódicos, é constituída por dois subprocessos: a sodificação e dessalinização. A sodificação, que é o processo de passagem do íon Na^+ da solução do solo para o complexo de troca, forma os solos denominados salino-sódicos. E a dessalinização, a qual promove a lavagem dos sais solúveis, resulta na formação de solos unicamente sódicos (RIBEIRO; RIBEIRO FILHO; JACOMINE, 2016). Ainda de acordo com os mesmos autores, com o prolongamento da lixiviação, os solos sódicos podem ser levados a um processo de degradação denominado de solodização, a qual promove a lavagem do sódio e a sua substituição pelo hidrogênio, formando no final do processo solos não salinos e não sódicos.

O processo de salinização do solo pode ocorrer de forma natural (chamado de salinização primária) ou a salinização induzida, causada por ações antrópicas. Na salinização natural, Leite et al. (2010) citam diversos fatores que atuam nesse processo: o fator mineralógico, pelo intemperismo químico de rochas ricas em sais; os depósitos de sais fossilizados e o clima, que devido à baixa precipitação e elevada evapotranspiração gera déficit hídrico concentrando os sais no solo; e o relevo, que em áreas planas e de cotas topográficas baixas caracterizam-se como os locais de concentração dos sais. Além desses fatores, Ribeiro, Barros e Freire (2009) destacam a invasão da água salgada que deposita seus sais nos terrenos ao longo das regiões costeiras.

A ocorrência de salinização devido às ações antrópicas está relacionada à prática de irrigação, que, segundo Gheyi, Queiroz e Medeiros (1997), advém principalmente do uso de água de irrigação com alta concentração salina, elevação do lençol freático em virtude do manejo inadequado da irrigação, ausência ou deficiência de drenagem, elevação do lençol freático em decorrência da perda de água por infiltração nos canais e reservatórios e/ou acúmulo de água de irrigação nas partes mais baixas do terreno.

A salinidade provoca diversos efeitos sobre as plantas, decorrente do aumento da concentração de sais solúveis no solo que, por causa do efeito osmótico gerado na solução do solo, provoca redução na absorção de água pelas plantas. Os íons que tendem a se concentrar gradativamente no solo causam toxicidade na planta quando se encontram em grande quantidade em seus tecidos, ocasionando vários distúrbios, o que provoca quedas significativas na produção das plantas.

Frente aos efeitos deletérios sobre as plantas e o crescimento das áreas afetadas por sais, surge a necessidade de recuperação para devolver a capacidade produtiva e assim incorporá-las novamente na parcela de terras exploráveis, além de reduzir os impactos socioeconômicos e ambientais decorrente desse fenômeno. Segundo Ruiz et al. (2004) o método de recuperação a ser adotado para um solo salinizado depende da porcentagem de sódio trocável do solo. Em porcentagem superior a 15%, recomenda-se a aplicação de corretivos químicos, como gesso ou enxofre elementar, com o intuito de formar sulfato de sódio para lixiviação. Quando a porcentagem de sódio é inferior a 15%, havendo uma boa drenagem, a lavagem de sais com água de baixa salinidade é suficiente (OLIVEIRA et al., 2002).

Dessa forma, vê-se que o aumento de solos afetados por sais trás consigo a necessidade de adoção de um manejo mais adequado em áreas com alto potencial de concentração de sais, bem como o conhecimento das interações do sistema solo-água-planta para que se possam adotar medidas preventivas e também ações para recuperação das áreas já degradadas em decorrência do acúmulo de sais.

A salinidade no contexto do semiárido

A região semiárida do Nordeste brasileiro caracteriza-se por fatores ambientais que causam estresses nas plantas, tais como: temperaturas elevadas, seca e alta insolação, as quais contribuem para aumentar as condições adversas do ambiente (OLIVEIRA et al., 2005). Diversas culturas têm sido expostas a essas condições de múltiplos estresses, o que de acordo

com Fanti e Perez (2004) limitam o desenvolvimento das plantas e consequentemente diminuem sua sobrevivência.

A salinidade do solo e da água são fatores importantes no contexto do semiárido, pois reduzem o rendimento das culturas e, em casos mais severos tornado o cultivo inviável. Isso ocorre porque, segundo Rego et al. (2011), os solos salinos afetam as plantas mediante a retenção osmótica de água e o efeito iônico específico sobre o protoplasma. Já as soluções salinas reduzem o potencial hídrico do solo tornando a água cada vez menos acessível às plantas (NASR et al., 2011).

As regiões semiáridas por possuírem uma evapotranspiração elevada e um déficit hídrico na maior parte do ano necessitam de irrigação suplementar para garantir incrementos e sustentar a demanda de produtos agrícolas. De acordo com Andrade Júnior et al. (2006) a agricultura irrigada surge como uma alternativa para a sustentabilidade econômica da atividade agrícola. Assim, a irrigação é umas das tecnologias que mais contribuem para o aumento da produtividade. Contudo, devido à escassez de recursos hídricos de baixa salinidade muitas vezes têm-se empregado água de elevada salinidade, o que pode salinizar o solo e diminuir o rendimento das plantas (OLIVEIRA et al., 2014a).

Ao utilizar água com altos teores de sais em um ambiente com altas temperaturas e evapotranspiração, a concentração excessiva de sais pode ocorrer rapidamente. Segundo Cavalcante (2012), o acúmulo de sais devido ao uso ineficiente da irrigação transformou extensas áreas antes produtivas em terras devolutas e sem nenhum valor produtivo. De acordo com Silva Júnior (2012), mais de 35% da soma das áreas irrigadas dos estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí e Rio Grande do Norte apresentam declínio de rendimento causado pela salinidade oriunda, em maior parte, da irrigação. Nessas regiões além da evapotranspiração ser maior que a precipitação, causando o déficit hídrico, muitas vezes a qualidade da água de irrigação é baixa, fazendo com que a salinidade do solo aumente significativamente ao longo do tempo. Cavalcante et al. (2006) relatam que frequentemente o cultivo é feito em solos que não possuem condições físicas para lixiviação dos sais com as chuvas do período das águas e aeração suficiente à expansão radicular, podendo agravar ainda mais os efeitos da salinidade.

De acordo com Davies e DeWiest (1966), o conteúdo de sais na água de irrigação possui grande variabilidade, dependendo do manancial em que é coletada e da formação geológica onde o mesmo está encravado, além de outros fatores ambientais que afetam diretamente os mananciais superficiais e, indiretamente, os aquíferos subsuperficiais. Sousa et al. (2012) afirmam ainda que nas regiões semiáridas a qualidade da água para irrigação

apresenta também variabilidade, tanto em termos geográficos (espacial), como ao longo do ano (sazonal).

O conhecimento da qualidade da água subterrânea, relativa à concentração salina, também se torna necessário ao planejamento da exploração desse recurso e ao manejo empregado, caso esta água se destine a irrigação (ANDRADE JÚNIOR et al., 2006), pois mesmo com níveis de salinidade baixos o manejo inadequado pode elevar à salinização. Porém, o uso de água salina na agricultura deve ser considerado como uma alternativa importante na utilização dos recursos naturais escassos (SILVA et al., 2014a).

A preocupação com a qualidade da água de irrigação, preservação e uso racional da mesma segundo Santana et al. (2007) não existia até o início do século XX, devido à disponibilidade de água de boa qualidade e de fácil utilização. A partir desse período, com o aumento do consumo de água houve uma redução da disponibilidade desta, provocando, consequentemente, a necessidade de se usar águas de qualidade inferior (AYERS; WESTCOT, 1991).

Costa (2007) enfatiza ainda que o aumento da população favoreceu a competição por água de boa qualidade entre os setores municipal, industrial e agrícola, fenômeno ainda mais acentuado nos países com regiões áridas e semiáridas, os quais apresentam alta taxa de crescimento populacional somados aos sérios problemas ambientais. Aumentando assim, a pressão para se irrigar com água salina, como as águas subterrâneas, águas drenadas e águas tratadas.

A legislação, Lei Federal nº 9443/97 conhecida como “Lei das Águas”, assegura em caso de conflito de uso, a utilização de água de qualidade inferior para a agricultura irrigada e as fontes de melhor qualidade para abastecimento doméstico e consumo animal. Assim, uma gestão eficiente tanto do uso da água como do solo é essencial em solos afetados por sais para sustentar os rendimentos das culturas e minimizar a degradação do solo, reduzindo todos os impactos envolvidos no processo de salinização do solo.

Os efeitos da salinização podem ser vistos na esfera social, ambiental e econômica. No contexto do semiárido, a salinização é uma das principais causas da degradação dos solos, estando fortemente ligada ao processo de desertificação nas áreas de agricultura irrigada (ACCIOLY, 2011). Ainda de acordo com o mesmo autor, no núcleo de desertificação de Cabrobró em Pernambuco a salinização apresenta relevância significativa no processo de desertificação das áreas situadas às margens do rio São Francisco, mesmo não sendo a principal causa.

Componente indispensável para manutenção do ambiente, a degradação do solo leva à perda de qualidade ambiental e, consequentemente, redução nos índices de produção agrícola, causando perdas econômicas para o produtor, o qual é afetado também no âmbito social.

Os fatores climáticos e o manejo incorreto da água de irrigação podem acelerar o processo de salinização do solo, principalmente nas regiões em que a taxa de evapotranspiração é muito alta em relação ao nível de precipitação de chuvas, pois a água precipitada não é suficiente para lixiviar os sais presentes na zona radicular (COSTA, 2007). Assim, o manejo adequado torna-se fator chave para manter a produção em níveis aceitáveis nessas áreas. Além disso, O uso da irrigação com água salina, para ser uma opção agrícola consciente e ambientalmente sustentável, é necessário que produtor tenha conhecimento dos possíveis problemas ocasionados devido à salinidade da água e as soluções para atenuar estes impactos (SANTOS; BRITO, 2016).

Diante dos fatos supracitados, percebe-se que o processo de salinização e suas interações com o solo e as plantas são bastante complexas. A compreensão dessas interações é necessária principalmente frente à necessidade de se recuperar a qualidade das áreas degradadas, além de reintegrar essas áreas salinizadas à exploração agrícola e com isso reduzir o impacto socioeconômico e ambiental decorrente desse processo.

Efeitos da salinidade sobre as plantas

A salinidade do solo e da água é um dos principais fatores abióticos que contribui para a diminuição da produtividade das plantas (PEREIRA et al., 2012). De acordo com Patel et al. (2011), esse fenômeno é mais comum em regiões áridas e semiáridas do que em regiões úmidas. A salinidade também é um fator limitante que exerce influência negativa sobre diversos processos fisiológicos e bioquímicos associados ao crescimento de desenvolvimento das plantas (PITMAN; LAUCHLI, 2002).

O elevado teor de sais reduz o potencial osmótico da água do solo e consequentemente a disponibilidade de água para as plantas (RAMOLIYA; PATEL; PANDEY, 2004), ocasionando o déficit hídrico e diminuindo o potencial hídrico das plantas (SILVA, 2014). A alta concentração de sais também pode provocar efeitos tóxicos, causando distúrbios funcionais e injúrias no metabolismo vegetal (MUNNS; TESTER, 2008). Entretanto, as respostas das plantas à salinidade são complexas e, para sobreviverem em ambientes salinos, exibem estratégias de adaptação que envolvem mecanismos fisiológicos, bioquímicos e moleculares (WILLADINO et al., 2017). Essas respostas ao estresse salino nas plantas

dependem de fatores como espécie, cultivar, tipos de sais, manejo cultural, manejo da irrigação, condições edafoclimáticas (TESTER; DAVÉNPORT, 2003), estádio fisiológico, duração e intensidade do estresse (CRAMER; ALBERICO; SCHIMIDT, 1994; SILVEIRA et al., 2001), da concentração do nutriente e das condições de crescimento (NEVES et al., 2009), além das condições ambientais externas.

O excesso de sais na solução do solo modifica as atividades metabólicas das células no processo de alongamento celular, limitando a elasticidade da parede celular e, como consequência, o crescimento da planta (BLANCO, 1999). Com a diminuição do crescimento, de acordo com Neves et al. (2009), pode ocorrer uma menor extração de nutrientes pelas culturas. Ainda segundo os mesmos autores, o desenvolvimento da planta e a duração do estresse também podem alterar as quantidades de minerais extraídos do solo.

Dentre os processos fisiológicos afetados pela salinidade destacam-se a transpiração, a assimilação de CO_2 e a síntese de proteínas, limitando a capacidade produtiva das plantas (TAIZ; ZEIGER, 2004). A fotossíntese também é afetada (ALMEIDA, 2012), a qual pode ter suas taxas reduzidas devido à diminuição do potencial hídrico decorrente do estresse salino. Além disso, a fotossíntese ainda é inibida quando as altas concentrações de Na^+ e/ou Cl^- são acumulados nos cloroplastos (HASANUZZAMAN; NAHAR; FUJITA, 2013), afetando os processos bioquímicos e fotoquímicos envolvidos na fotossíntese (TAIZ; ZEIGER, 2009). A redução da fotossíntese em função da salinidade também decorre da diminuição da condutância estomática e, por consequência, da inibição na atividade de fixação do carbono fotossintético (HEUER, 1997).

A acumulação de íons salinos além de causar problemas de toxidade iônica, deficiências nutricionais, ou ambas (SILVA et al. 2009), pode causar injúrias nas folhas pelo acúmulo excessivo de íons tóxicos, Na^+ e Cl^-, manifestando-se como clorose marginal e causando o surgimento de zonas necróticas, o que contribui para aceleração dos processos de senescência e abscisão foliar (MUNNS, 2002).

Sob condições de estresse salino também pode ocorrer diminuição da área foliar, como um mecanismo importante para a redução das perdas de água pela planta. No entanto, Gomes et al. (2011) ressaltaram que o processo fotossintético depende da interceptação da energia luminosa e sua conversão em energia química, o que ocorre diretamente na folha, atuando na formação de carboidratos que são alocados para os órgãos vegetativos e reprodutivos. Assim, a redução da área foliar representa diminuição do poder fotossintético da planta. Costa (2007) reitera ainda que o crescimento das plantas depende da taxa de fotossíntese e, por conseguinte, o estresse salino afeta a fotossíntese e o crescimento vegetativo.

A salinidade elevada também provoca diminuição da produção de massa seca das partes aérea e radicular influenciada diretamente pelo acúmulo de altos teores de Na^+ e Cl^- nas folhas, ocasionando a diminuição do teor relativo de água, pressão de turgor e do potencial hídrico celular (LARCHER, 2000). Souza, Alcântara Júnior e Amorim (2007) avaliando o efeito do estresse salino sobre a produção de massa seca da *Physalis angulata* L. relataram que houve redução na produção de massa da matéria seca da parte radicular e da parte área.

Embora os efeitos da salinidade sobre as plantas estejam pautados principalmente sobre as questões osmóticas e tóxicas, as diferentes espécies e cultivares de plantas reagem de forma diferente à salinidade. Cada espécie tolera até determinada salinidade sem reduzir seu rendimento potencial; determinado como salinidade limiar (MELO et al., 2011). A partir desse limiar, a planta passa a diminuir sua produtividade à medida em que se incrementa a salinidade do solo (AYERS; WESTCOT, 1999).

Os efeitos indiretos da salinidade, causados pela concentração elevada de sódio ou outros íons na solução, interferem nas condições físicas do solo ou na disponibilidade de outros elementos (DIAS, 2004). Essa interferência nas condições físicas do solo, segundo Dias e Blanco (2010), ocorre basicamente pela interação eletroquímica existente entre os cátions e a argila, que quando úmida se expande e se contrai quando seca, devido ao excesso de sódio trocável. Se a expansão for excessiva, poderá ocorrer a fragmentação das partículas, causando a dispersão da argila e modificando a estrutura do solo, gerando assim problemas de permeabilidade, encharcamento na superfície do solo, impedindo a aeração do solo e germinação das sementes ou crescimento das plantas.

Muitas espécies de plantas foram estudadas sob o estresse salino. Dentre elas a cultura do milho que, de acordo Ayers e Westcot (1999), é uma espécie considerada moderadamente sensível à salinidade, com salinidade limiar da água de 1,1 dS m^{-1} e do solo de 1,7 dS m^{-1}. No entanto, o milho pode sofrer diminuição progressiva do crescimento, com o aumento da concentração de sais no meio radicular (IZZO; NAVARI-IZZO; QUARTACCI, 1991). A redução dos componentes de rendimento da cultura do milho, em função do aumento na salinidade do solo, foi relatada por diversos autores (NAZÁRIO et al., 2013).

Vários desses estudos têm sido feitos visando encontrar estratégias capazes de atenuar os efeitos da salinidade no desenvolvimento das plantas. Dentre essas estratégias destacam-se o uso de biofertilizante ou esterco líquido bovino (SOUSA et al., 2012), aplicação de silício (OLIVEIRA et al., 2016) e aumento na adubação nitrogenada (OLIVEIRA et al., 2014b). Sousa et al. (2012) avaliaram o crescimento inicial de plantas de milho irrigado com água de alta e baixa salinidade em solo adubado com biofertilizante bovino após diferentes níveis de

diluição. Estes autores relataram que quanto maior a concentração do biofertilizante bovino, menor foi o efeito degenerativo da água salina à cultura do milho.

A respeito de irrigação com água com diferentes condutividades elétricas, Nazário et al. (2013) verificaram que a cultivar de milho PL6880 sofreu redução da massa seca da parte aérea, das raízes, área foliar, número de grãos e peso de grãos por planta. Além disso, o aumento da condutividade elétrica da água de irrigação acarretou efeitos deletérios a planta e a produção do cultivar PL6880.

Salinidade e nutrição mineral

O aumento da densidade demográfica desde meados do século XIX até os dias atuais tem aumentado a demanda por matérias-primas e alimentos, gerando grande expansão das fronteiras agrícolas em busca de novas áreas aptas à exploração agropecuária. Devido a má gestão dessas áreas, o ambiente tem perdido sua qualidade, reduzindo a quantidade de solos férteis e produtivos disponíveis ao cultivo agrícola.

Os solos da região semiárida tendem a apresentar altas concentrações de bases trocáveis decorrentes da lixiviação incipiente, devido a evapotranspiração elevada associada aos baixos índices pluviométricos. A princípio a alta concentração de bases trocáveis pode indicar um solo de boa fertilidade, no entanto em áreas irrigadas, pelo intenso processo de solubilização de minerais há acúmulo de íons, que quando precipitam, originam solos com acúmulo de sais (SANTOS; CAVALCANTE; VITAL, 2010). Embora o solo contenha quantidades consideráveis de nutrientes na forma disponível para as plantas, o mesmo pode ser improdutivo, decorrente do alto conteúdo de sais solúveis e/ou sódio trocável, os quais limitam a absorção de nutrientes essenciais o desenvolvimento vegetal.

Os fatores que regem e as interações entre íons que afetam a disponibilidade, absorção e transporte de nutrientes são complexas, mesmo na ausência de salinidade e de outros estresses (SOUSA et al., 2010). E quando se trata de um sistema salinizado a compreensão da dinâmica desses íons se torna ainda mais complexa em decorrência das concentrações excessivas e desbalanceadas de nutrientes. As respostas das plantas em ambiente salino também é um fenômeno complexo, envolvendo alterações morfológicas e de crescimento, além de processos fisiológicos e bioquímicos (FOUGÈRE; RUDULIER; STREETER, 1991).

O aumento da condutividade elétrica e da concentração de ânions como cloretos, sulfatos, carbonatos, bicarbonatos e boratos é resultante do acúmulo excessivo de sais solúveis na solução do solo, originando toxicidade e provocando deficiências nutricionais às

plantas (SANTOS; CAVALCANTE; VITAL, 2010). De acordo com Dias et al (2016) os mecanismos pelo qual o estresse salino deprecia as plantas ainda é uma questão discutida devido à natureza muito complexa do estresse salino na planta. Complexidade essa apontada por Munns (2002) quando afirma que a redução do crescimento da planta devido o estresse salino pode estar relacionado com os efeitos adversos do excesso de sais sob homeostase iônica, balanço hídrico, nutrição mineral e metabolismo de carbono fotossintético.

As respostas das plantas à salinidade estão ligadas aos efeitos tóxicos e osmóticos causados pelos sais e de acordo com Ghoulam, Foursy e Fares (2002), a principal resposta é a redução do crescimento. Esse menor crescimento das plantas devido à salinidade também foi atribuído à redução na absorção de alguns dos principais nutrientes (CRUZ et al., 2006). Em contrapartida, o menor crescimento pode resultar em menor extração de nutrientes pelas culturas (NEVES et al., 2009), estando o Ca e o K entre os mais bem documentados (LACERDA, 2000).

Ao avaliar os efeitos da salinidade da água de irrigação sobre a extração de nutrientes na cultura do milho, Sousa et al. (2010) constataram que a salinidade provocou redução da extração dos elementos minerais K, Ca, Mg e P. Níveis elevados de Na e Cl podem causar inibição na absorção dos íons K^+ e Ca^{2+} pelas raízes, provocando sintomas de deficiências, redução no crescimento e afetando também o teor de aminas, bem como o de proteínas (CRAMER; EPSTEIN; LAÜCHLI, 1991).

Sob a condição de estresse salino, associado a altas temperaturas, insolação e seca (condições comuns em regiões semiáridas), os processos de absorção e assimilação de nutrientes pelas plantas são afetados (ARAGÃO et al., 2010). O nitrogênio é um desses nutrientes que tem sua assimilação pelas plantas geralmente comprometida com o aumento da salinidade (FEIGIN et al., 1991). Sob estresse salino, a atividade da redutase de nitrato pode diminuir (SURABHI et al., 2008) e, sendo essa enzima a responsável por catalisar a primeira etapa da assimilação do nitrato (CARILLO et al., 2005), uma redução na sua atividade implica em menor assimilação de nitrogênio pela planta.

No que diz respeito aos micronutrientes Grattan e Grieve (1999) afirmam que em solos salinos e sódicos a solubilidade dos micronutrientes Fe, Cu, Mn e Zn é baixa, e seu efeito pode resultar na deficiência desses elementos às plantas cultivadas nestes solos. Dias e Blanco (2010) afirmam ainda que além do Fe, Cu, Mn e Zn o B também pode ter sua disponibilidade reduzida quando no extrato de saturação houver teores apreciáveis de carbonato de sódio e o pH do solo alcançar valores elevados.

Embora se saiba que a salinidade altera a nutrição mineral das culturas, reduzindo a atividade dos íons em solução e afetando os processos de absorção, transporte, assimilação e distribuição de nutrientes na planta (FARIAS et al., 2009), estudos que quantifiquem a extração de nutrientes pelas plantas sob estresse salino ainda são poucos, pois a complexidade e interação dos diversos processos envolvidos se tornam um entrave para chegar a uma resposta satisfatória.

Interação salinidade-nitrogênio

O acúmulo de sais, seja no solo ou na água, afeta negativamente diversos processos fisiológicos e bioquímicos das plantas (BABAR, et al., 2014). O crescimento das plantas pode ser inibido por concentrações salinas elevadas devido ao estresse osmótico, desequilíbrio nutricional e toxicidade de íons específicos (MUNNS; TESTER, 2008).

A utilização adequada N geralmente implica em acréscimos na produção vegetal, seja em condição salina ou não. Sob condições de estresse, principalmente salino, os processos de absorção e assimilação de nutrientes pelas plantas são afetados, principalmente, o nitrato, que é a principal fonte de nitrogênio em solos agrícolas e o que mais frequentemente limita o crescimento de plantas (MELONI et al., 2004). O aumento da condutividade elétrica (provocada pela elevação da salinidade) pode afetar o movimento dos nutrientes no solo, pois reduz o seu deslocamento por fluxo de massa, restringindo principalmente a absorção de nitrogênio e potássio (SANTOS; CAVALCANTE; VITAL, 2010). Sendo o nutriente requerido em maior quantidade pela maioria das culturas, o nitrogênio, seja na forma nítrica (NO_3^-) ou amoniacal (NH_4^+) é fator chave para o sucesso do cultivo.

De acordo com Taiz e Zeiger (2006) o desenvolvimento das plantas apresenta elevada relação com o suprimento de nitrogênio, principalmente porque este nutriente participa diretamente no metabolismo das plantas, atuando como constituinte da molécula de clorofila, ácidos nucléicos, aminoácidos e proteínas.

Pesquisadores como Flores et al. (2001), Barhoumi et al. (2010) e Silva et al. (2015) destacam que a fertilização nitrogenada além de promover o crescimento das plantas, pode também reduzir o efeito da salinidade nos vegetais. Tal efeito pode ser atribuído às funções do nitrogênio nas plantas, uma vez que desempenha função estrutural, fazendo parte de diversos compostos orgânicos vitais para o vegetal, como aminoácidos, proteínas, prolina, entre outros (OLIVEIRA et al., 2010). Tais compostos quando ligados ao nitrato em excesso no vacúolo

reduzem na planta o potencial osmótico, contribuindo assim para que ocorra o ajuste osmótico (DING et al., 2010)

A relação do nitrogênio com a salinidade nas plantas cultivadas é bastante complexa. E de acordo com Silva et al. (2014b), diversos estudos indicam que a absorção ou acúmulo de N na parte aérea pode ser reduzida pela salinidade.

Santos, Cavalcante e Vital (2010) afirmam que o nitrogênio reduz os efeitos prejudiciais, em certa extensão, da salinidade. Tuna et al. (2007) acrescentam que, dentre outros fatores, a inibição do crescimento e os efeitos adversos induzidos pela salinidade podem ser minimizados por meio da utilização adequada de fertilizantes. Já Esmaili et al. (2008) afirmam que embora a aplicação de fertilizantes possa melhorar o estado nutricional das plantas, também pode aumentar a salinidade da solução do solo. Villa-Castorena et al. (2003) enfatizam ainda que o aumento de fertilizantes nitrogenados pode contribuir para aumentar a salinidade do solo e seus efeitos sobre o desempenho da planta.

De acordo com Bowman, Devitt e Miller (2006), outro aspecto importante em relação ao N é o potencial de lixiviação NO_3^-, que pode aumentar em locais onde quantidades de sais de moderadas a elevadas estão presentes, porque as plantas sob estresse salino podem não absorver ou utilizar o N aplicado de forma tão eficiente como àquelas não submetidas a tal condição. Essa lixiviação quando em excesso pode acabar originando outro problema, a poluição de águas subterrâneas.

Segundo Villa-Castorena et al. (2003) é fundamental estudar o crescimento das plantas e suas respostas ao nitrogênio e salinidade do solo durante todo o seu ciclo de vida, para poder revelar se a quantidade de N aplicada reduz ou agrava os efeitos deletérios da salinidade durante uma fase de crescimento específico. Além disso, conforme Chen et al. (2010) analisar o crescimento da planta durante todo o período de crescimento fornece informações sobre a tolerância à salinidade das culturas ao longo do tempo.

Diversos trabalhos têm procurado compreender melhor a interação entre o nitrogênio e salinidade. Conforme Feijão et al. (2013), a salinidade interfere na absorção e na utilização do N. Chen et al. (2010), ao estudarem a influência de diferentes níveis de salinidade do solo e as taxas de adubação nitrogenada sobre o crescimento do algodão, constataram que nos níveis de salinidade baixo e moderado o aumento na aplicação de N melhorou significativamente a absorção de N, aliviando os efeitos causados pela salinidade. Já no nível alto de salinidade a concentração elevada de sais foi o fator que determinou o crescimento do algodão e a absorção de N, nesse caso a inibição não pôde ser minimizada pela aplicação de fertilizantes.

Sob condições de salinidade, a atividade da redutase de nitrato, que catalisa a primeira etapa da assimilação do nitrato, por ser reduzida (SURABHI et al., 2008). O nitrato é a principal forma de nitrogênio inorgânico disponível para as plantas e a redutase de nitrato é a primeira enzima da rota de assimilação do N-inorgânico, assumindo, portanto, papel de extrema importância no metabolismo vegetal (DELÚ FILHO; OLIVEIRA; ALVES, 1997).

Devido à toda essa complexidade e interações, vê-se que é difícil estudar a resposta da planta aos fertilizantes em condições salinas, devido à alta concentração de sais e desequilíbrios nutricionais. No caso no N, torna-se ainda mais complicado, pois mesmo na ausência de salinidade o N do solo, ao contrário dos demais nutrientes, está em constante transformação, por ser bastante dinâmico, dificulta uma avaliação precisa a seu respeito (OLIVEIRA, 1987).

Em estudos realizados por Esmaili et al. (2008) foram demonstrados que a aplicação de fertilizantes em solos salinos pode resultar em aumento, diminuição ou manter inalterada a tolerância das plantas aos sais. Muitos autores acreditam que a resposta das plantas à salinidade mediante fertilização é bastante dependente do nível de salinidade, encontrando-se as respostas mais satisfatórias em níveis baixos a moderados de salinidade.

Além da interação complexa entre a dinâmica do N e salinidade, existem outros fatores que podem afetar a disponibilidade de N no solo e, consequentemente, a absorção pelas plantas. O próprio déficit hídrico, causado pela redução do potencial osmótico devido a elevada concentração de solutos na solução do solo, pode reduzir o suprimento de N às raízes. Como o N se movimenta em direção as raízes por fluxo de massa, acompanhando o fluxo da água, a redução do potencial osmótico do solo pode restringir a captura de N pela planta.

A textura do solo também exerce influência sobre o N, pois de acordo com Stevenson (1982), quando a vegetação e topografia se mantêm constantes o conteúdo de N depende da textura do solo. Solos arenosos apresentam maior constante de mineralização que solos argilosos, o que pode explicar porque solos argilosos formam compostos organo-silicatados estáveis, dificultando a atividade microbiana (SERRA, 2006). Deste modo, o efeito dispersante do sódio sobre a estrutura do solo pode estar envolvido também com N, porque o processo de dispersão pode aumentar a quantidade de argila não floculada no solo, diminuindo os compostos organo-silicatados estáveis e afetando a constante de mineralização.

A dispersão das partículas primárias do solo causada pelo Na^+ pode provocar entupimento dos poros, que por sua vez podem reduzir a aeração do solo e distribuição de água, além de influenciar a disponibilidade de N. A profundidade também é importante, pois a atividade microbiana tende a ser maior nas camadas mais superficiais, devido a uma maior

quantidade de matéria orgânica. Consequentemente, essa biota influencia a dinâmica do nitrogênio.

REFERÊNCIAS

ACCIOLY, L. J. O. **Degradação do solo e desertificação no Nordeste do Brasil**. < http://www.diadecampo.com.br/zpublisher/materias/Materia.asp?id=22136&secao=Artigos%20Especiai >. Acesso em: 28 out. 2014.

ALMEIDA, B. M. **Evapotranspiração, coeficiente de cultura e produção do milho sob condições de salinidade residual**. 2012. 82f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e drenagem) - Universidade Rural do Semiárido, Mossoró, 2012.

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; SILVA, E. F. F.; BASTOS, E. A.; MELO, F. B.; LEAL, C. M. Uso e qualidade da água subterrânea para irrigação no semiárido piauiense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.873-880, 2006.

ARAGÃO, R. M.; SILVEIRA, J. A. G.; SILVA, E. N.; LOBO, A. K. M.; DUTRA, A. T. B. Absorção, fluxo no xilema e assimilação do nitrato em feijão-caupi submetido à salinidade. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, p.100-106, 2010.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade de água na agricultura**. 2. ed. Campina Grande: UFPB, 1999. 153 p.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1991. 218p.

BABAR, S.; SIDDIQI, E. H.; HUSSAIN, I.; BHATTI, K. H.; RASHEED, R. Mitigating the effects of salinity by foliar application of salicylic acid in fenugreek. **Physiology Journal**, p.1-6, 2014.

BARHOUMI, Z.; ATIA, A.; RABHI, M.; DJEBALL, W.; ABDELLY, C.; SMAOUI, A. Nitrogen and NaCl salinity effects on the growth and nutrient acquisition of the grasses Aeluropus littoralis, Catapodium rigidum, and Brachypodium distachyum. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 173, p. 149-157, 2010.

BLANCO, F. F. **Tolerância do pepino enxertado à salinidade em ambiente protegido e controle da salinização do solo**. 1999. 122f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

BOWMAN, D. C.; DEVITT, D. A.; MILLER, W. W. The effect of moderate salinity on nitrate leaching from bermudagrass turf: a lysimeter study. **Water, Air and Soil Pollution**, v.175, p.49-60, 2006.

CARILLO, P.; MASTROLONARDO, G.; NACCA, F.; FUGGI, A. Nitrate reductase in durum wheat seedlings as affected by nitrate nutrition and salinity. **Functional Plant Biology**, v.32, p.209-219, 2005.

CAVALCANTE, L. F. Água para agricultura. In: CAVALCANTE, L. F. **O maracujazeiro amarelo e a salinidade**. 1. ed. Areia: UFPB, 2012. p.1-15.

CAVALCANTE, L. F.; ANDRADE, R.; COSTA, J. R. M.; CAVALCANTE, I. H. L.; GONDIM, S. C.; LIMA, E. M.; MACEDO, J. P. S.; SANTOS, J. B.; SANTOS, C. J. O. Maracujá-amarelo e salinidade. *In:* CAVALCANTE, L. F.; LIMA, E. M. (ed.). **Algumas frutíferas tropicais e a salinidade**. Jaboticabal: Funep, 2006, p.91-114.

CHEN, W.; HOU, Z.; WU, L.; LIANG, Y.; CHANGZHOU WEI, C. Effects of salinity and nitrogen on cotton growth in arid environment. **Plant Soil**, v.326, p.61-73, 2010.

COSTA, D. M. A. **Impactos do estresse salino e da cobertura morta nas características químicas do solo e no desenvolvimento do amaranto**. 2007. 124f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

CRAMER, G. R.; ALBERICO, G. J.; SCHIMIDT, C. Salt tolerance is not associated with the sodium accumlation of two maize hybrids. **Australian Journal of plant Physiology**, v.21, p.675-692, 1994.

CRAMER, G. R.; EPSTEIN, E.; LAÜCHLI, A. Effects of sodium, potassium and calcium on salt-stressed barley. II. Elemental analysis. **Physiologia Plantarum**, v.81, p.197-202, 1991.

CRUZ, J. L.; PELACANI, C. R.; COELHO, E. F.; CALDAS, R. C.; ALMEIDA, A. Q.; QUEIROZ, J. R. Influência da salinidade sobre o crescimento, absorção e distribuição de sódio, cloro e macronutrientes em plântulas de maracujazeiro-amarelo. **Bragantia**, v.65, p.275-284, 2006.

DAVIES, S. N.; DeWIEST, R. J. M. Water Quality. In. DAVIES, S. N.; DeWIEST, R. J. M. **Hydrogeology**. New York, John Wiley & Sons, 1966. Chapter 4, p. 96-128.

DELÚ FILHO, N.; OLIVEIRA, L. E. M.; ALVES, J. D. Atividade da redutase do nitrato em plantas jovens de seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell.Arg): otimização das condições de ensaio e ritmo circadiano. **Revista Árvore**, v.21, p.329-336, 1997.

DIAS, N. S. **Manejo da fertirrigação e controle da salinidade em solo cultivado com melão rendilhado em ambiente protegido**. 2004. 110f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F. Efeitos dos sais no solo e na planta. *In:* GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicados**. Fortaleza: INCT Sal, 2010. cap. 9, p.129-141.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F.; SOUZA, E. R.; FERREIRA, J. F.; SOUSA NETO, O. N.; QUEIROZ, I. S. R. Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade. *In:* GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicados**. 2ª ed. Fortaleza: INCTSal, 2016. cap.11, p.151-161.

DING, X.; TIAN, C.; ZHANG, S.; SONG, J.; ZHANG, F.; MI, G.; FENG, G. Effects of NO_3^--N on the growth and salinity tolerance of *Tamarix laxa* Willd. **Plant and Soil**, v.331, p.57-67, 2010.

ESMAILI, E.; KAPOURCHAL, S. A.; MALAKOUTI, M. J.; HOMAEE, M. Interactive effect of salinity and two nitrogen fertilizers on growth and composition of sorghum. **Plant, Soil and Environment**, v.54, p.537-546, 2008.

FANTI, S. C.; PEREZ, J. G. A. Processo germinativo de sementes de paineira sob estresses hídrico e salino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.903-909, 2004.

FARIAS, S. G. G.; SANTOS, D. R.; FREIRE, A. L. O.; SILVA, R. B. Estresse salino no crescimento inicial e nutrição mineral de gliricídia (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Steud) em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.33, p.1499-1505, 2009.

FEIGIN, A.; PRESSMAN, E.; IMAS, P.; MILTAU, O. Combined effects of KNO_3 and salinity on yield and chemical composition of lettuce and chinese cabbage. **Irrigation Science**, v.12, p.223-230, 1991.

FEIJÃO, A. R.; MARQUES, E. C.; SILVA, J. C. B.; LACERDA, C. F.; PRISCO, J. T.; GOMES FILHO, E. Nitrato modula os teores de cloreto e compostos nitrogenados em plantas de milho submetidas à salinidade. **Bragantia**, v.72, p.10-19, 2013.

FLORES, P.; CARVAJAL, M.; CERDA, A.; MARTINEZ, V. Salinity and ammonium/nitrate interactions on tomato plant development, nutrition, and metabolites. **Journal of Plant Nutrition**, v.24, p.1561-1573, 2001.

FOUGÈRE, F.; Le RUDULIER, D.; STREETER, J. G. Effects of salt stress on amino acids, organic acids and carbohydrate composition of roots, bacteroids and cytosol of alfalfa (*Medicago sativa* L.). **Plant Physiology**, v96, p. 1228-1236, 1991.

GHEYI, H. R., QUEIROZ, J. E., MEDEIROS, J. F. **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Paraiba: UFPB, 1997.

GHOULAM, C.; FOURSY, A.; FARES, K. Effects of salt stress on growth, inorganic íons and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. **Environmental and Experimental Botany**. v.47, p.39-50, 2002.

GOMES, K. R.; AMORIM, A. V.; FERREIRA, F. J.; FILHO, F. L. A.; LACERDA, C. F.; GOMES-FILHO, E. Respostas de crescimento e fisiologia do milho submetido a estresse salino com diferentes espaçamentos de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.365-370, 2011.

GRATTAN, S. R.; GRIEVE, C. M. Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. **Scientia Horticulturae**, v.78, p.127-157, 1999.

GURGEL, M. T.; UYEDA, C. A.; GHEYI, H. R.; OLIVEIRA, F. H. T. DE.; FERNANDES, P. D.; SILVA, F. V. Crescimento de meloeiro sob estresse salino e doses de potássio. Revista **Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.3-10, 2010.

HASANUZZAMAN, M; NAHAR, K.; FUJITA, M. Plant response to salt stress and role of exogenous protectants to mitigate salt-induced damages. *In*: AHMAD, P.; AZOOZ , M. M.; PRASAD, M. N. V. (Eds). **Ecophysiology and responses of plants under salt stress**. Springer New York, 2013. chapter 2, p.25-87.

HEUER, B. Photosynthetic carbon metabolism of crops under salt stress. *In:* Pessarakli, M. (ed.). **Handbook of Photosynthesis**. New York: Marcel Dekker, 1997. p.887-896.

IZZO, R.; NAVARI-IZZO, F.; QUARTACCI, F. Growth and mineral absorption in Maize seedling as affected by increasing NaCl concentrations. **Journal of Plant Nutrition**, v.14, p.687-699, 1991.

LACERDA, C. F. **Crescimento e acúmulo de solutos orgânicos e inorgânicos em dois genótipos de sorgo forrageiros submetidos a estresse salino**. 2000. 163f. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RIMA, 2000. p. 531.

LEITE, E. M., DINIZ, A. A.; CAVALCANTE, L. F.; RAIJ, H. G.; CAMPOS, V. B. Redução da sodicidade em solo irrigado com a utilização de ácido sulfúrico e gesso agrícola. **Revista Caatinga**, v.23, p.110-116, 2010

MELO, T. K.; MEDEIROS, J. F.; SOBRINHO, J. E.; FIGUEIRÊDO, V. B.; PEREIRA, V. C.; CAMPOS, M. S. Evapotranspiração e produção do melão Gália irrigado com água de diferentes salinidades e adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p.1235-1242, 2011.

MELONI, D. A.; GULOTTA, M. R.; MARTÍNEZ, C. A.; OLIVIA, M. A. The effects of salt stress on growth, nitrate reduction and proline and glycinebetaine accumulation in Prosopis alba. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v.16, p.39-46, 2004.

MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, Cell and Environment**, v.25, p.239-250, 2002.

MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v.59, p.651-668, 2008.

NASR, S. M. H.; PARSAKHOO, A.; NAGHAVI, H.; KOOHI, S. K. S. Effect of salt stress on germination and seedling growth of *Prosopis juliflora* (Sw.). **New Forests**, v.42, p.9265-9269, 2011.

NAZÁRIO, A. Z.; BESTETE, L. O.; GARCIA, G. O.; REIS, E. F.; CECÍLIO, R. A. Desenvolvimento e produção do milho irrigado com água de diferentes condutividades elétricas. **Engenharia Ambiental**, v.10, p.117-130, 2013.

NEVES, A. L. R., LACERDA, C. F.; GUIMARÃES, F. V. A.; HERNANDEZ, F. F. F.; SILVA, F. B.; PRISCO, J. T.; GHEYI, H. R. Acumulação de biomassa e extração de nutrientes por plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento. **Ciencia Rural**, v.39, p.758-765, 2009.

OLIVEIRA, F. A.; MARTINS, D. C.; OLIVEIRA, M. K. T.; NETA, M. L. S.; RIBEIRO, M. S. S.; SILVA, R. T. S. Desenvolvimento inicial de cultivares de abóboras e morangas submetidas ao estresse salino. **Revista Agroambiente**, v.8, p.222-229, 2014a.

OLIVEIRA, F. A.; MEDEIROS, J. F.; ALVES, R. C.; LINHARES, P. S. F.; MEDEIROS, A. M. A.; OLIVEIRA, M. K. T. Interação entre salinidade da água de irrigação e adubação nitrogenada na cultura da berinjela. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, p.480-486, 2014b.

OLIVEIRA, F. A.; MEDEIROS, J. F.; CUNHA, R. C.; SOUZA, M. W. L.; LIMA, L. A. Uso de bioestimulante como agente amenizador do estresse salino na cultura do milho pipoca. **Revista Ciência Agronômica**, v.47, p.307-315, 2016.

OLIVEIRA, F. A.; OLIVEIRA, F. R. A.; CAMPOS, M. S.; OLIVEIRA, M. K. T.; MEDEIROS, J. F.; SILVA, O. M. P. Interação entre salinidade e fontes de nitrogênio no desenvolvimento inicial da cultura do girassol. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, p. 479-484. 2010.

OLIVEIRA, L. B.; RIBEIRO, M. R.; FERREIRA, M. G. V. X.; LIMA, J. F. W. F.; MARQUES, F. A. Inferências pedológicas aplicadas ao perímetro irrigado de Custódia, PE. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.1477-1486, 2002.

OLIVEIRA, M. A. J.; BOVI, M. L. A.; MACHADO, E. C.; RODRIGUES, J. D. Atividade da redutase de nitrato em mudas de pupunheira (*Bactris gasipaes*). **Ciência Rural**, v.35, p.515-522, 2005.

OLIVEIRA, S. A. **Avaliação da mineralização de disponibilidade de nitrogênio para o trigo (*Triticum aestivum* L.) em solos no Distrito Federal**. 1987. 128f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1987.

PATEL, N. T.; VAGHELA, P. M.; PATEL, A. D.; PANDEY, A. N. Implications of calcium nutrition on the response of *Caesalpinia crista* (Fabaceae) to soil salinity. **Acta Ecologica Sinica**, v.31, p.24-30, 2011.

PEREIRA, M. R. R.; MARTINS, C. C.; SOUZA, G. S. F.; MARTINS, D. Influência do estresse hídrico e salino na germinação de *Urochloa decumbens* e *Urochloa ruziziensis*. **Bioscience Journal**, v.28, p.537-545, 2012.

PITMAN, M. G., LÄUCHLI, A. Global impacts of salinity and agricultural ecosystem. *In:* LÄUCHLI, A., LÜTTGE, U. (Eds.), **Salinity: environment-plantsmolecules**. Kluwer Academic, Dordrecht, The Netherlands, p.3-20. 2002.

RAMOLIYA, P. J.; PATEL, H. M.; PANDEY, A. N. Effect of salinization of soil on growth and macro- and micro-nutrient accumulation in seedlings of Salvadora pérsica (*Salvadoraceae*). **Forest Ecology and Management**, v.202, p.181-193, 2004.

RASHAD, R. T.; RASHAD A. HUSSIEN, R. A. A comparison study on the effect of some growth regulators on the nutrients content of maize plant under salinity conditions. **Annals of Agricultural Science**, v.59, p.89-94, 2014.

REGO, S. S.; FERREIRA, M. M.; NOGUEIRA, A. C.; GROSSI, F.; SOUSA, R. K.; BRONDANI, G. E.; ARAUJO, M. A.; SILVA, A. L. L. Estresse hídrico e salino na

germinação de sementes de *Anadenanthera colubrina* (Veloso) Brenan. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v.2, p.37-42, 2011.

RIBEIRO, M. R.; RIBEIRO FILHO, R.; JACOMINE, P. K. T. Origem e classificação dos solos afetados por sais. In: GHEYI, R. H.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal, 2016. cap.2, p.9-15.

RIBEIRO, M. R.; BARROS, M. F. C.; FREIRE, M. B. G. S. Química dos solos salinos e sódicos. *In:* MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (ed.). **Química e mineralogia do solo. Parte II - Aplicações**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p. 449-484.

RUIZ, H. A.; SAMPAIO, R. A.; OLIVEIRA, M.; VENEGAS, V. H. A. Características químicas de solos salino-sódicos submetidos a parcelamento da lâmina de lixiviação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.1119-1126, 2004.

SANTANA, M. J.; CARVALHO, J. A.; SOUZA, K. J.; SOUSA, A. M. G.; VASCONCELOS, C. L.; ANDRADE, L. A. B. Efeitos da salinidade da água de irrigação na brotação e desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) e em solos com diferentes níveis texturais. **Ciência e Agrotecnologia**, v.31, p.1470-1476, 2007.

SANTOS, M. R.; BRITO, C. F. B. Irrigação com água salina, opção agrícola consciente. **Revista Agrotecnologia**, v.7, p.33-41, 2016.

SANTOS, R. V.; CAVALCANTE, L. F.; VITAL, A. F.M. Interações salinidade-fertilidade do solo. *In:* GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicados**. Fortaleza: INCT Sal, 2010. cap. 14, p. 221-252.

SERRA, D. D. **Avaliação da disponibilidade de nitrogênio para milho (*Zea mays*) em solo do Distrito Federal**. 2006. 93f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

SILVA JÚNIOR, F. F. **Desenvolvimento do tomate em diferentes níveis de irrigação e de doses de salinidade**. 2012. 74f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2012.

SILVA, A. O. A fertirrigação e o processo de salinização de solos em ambiente protegido. **Nativa**, v.2, p.180-186, 2014.

SILVA, E. M.; NOBRE, R. G.; SOUZA, L. P.; PINHEIRO, F. W. A.; ANDRADE, A. B. A. Efeito da adubação nitrogenada na formação de mudas de goiabeira irrigadas com águas salinizadas. **Revista Verde**, v.10, p.42-48, 2015.

SILVA, E. N.; SILVEIRA, J. A. G.; FERNANDES, C. R. R.; DUTRA, A. T. B.; ARAGÃO, R. M. Acúmulo de íons e crescimento de pinhão-manso sob diferentes níveis de salinidade. **Revista Ciência Agronômica**, v.40, p.240-246, 2009.

SILVA, J. L. A.; MEDEIROS, J. F.; ALVES, S. S. V.; OLIVEIRA, F. A.; SILVA JUNIOR, M. J.; NASCIMENTO, I. B. Uso de águas salinas como alternativa na irrigação e produção de

forragem no semiárido nordestino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, (Suplemento), p.66-72, 2014a.

SILVA, M. V. T.; CHAVES, S. W. P.; OLIVEIRA, F. L.; LIMA, R. M. S.; MEDEIROS, J. F. Conteúdo de Na, Cl, N, P e K na abobora sob diferentes níveis de água salina e ótima condição adubação nitrogenada. **Revista Verde**, v.9, p.43-49, 2014b.

SILVEIRA, J. A. G.; MELO, A. R. B.; VIÉGAS, R. A.; OLIVEIRA, J. T. A. Salt-induced effects on the nitrogen assimilation related to growth in cowpea plants. **Environmental and Experimental Botany**, v.46, p.171-179, 2001.

SOUSA, C. A. S. **Fracionamento do nitrogênio orgânico em solos do Distrito Federal**. 1993. 93f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade de Brasília, Brasília, 1993.

SOUSA, G. G.; LACERDA, C. F.; SILVA, G. L. FREITAS, C. A. S.; CAVALCANTE, L. F.; SOUSA, C. H. C. Acumulação de biomassa, teores e extração de micronutrientes em plantas de milho irrigadas com águas salinas. **Agropecuária Técnica**, v.31, p.1-10, 2010.

SOUSA, G. G; MARINHO, A. B.; ALBUQUERQUE, A. H. P.; VIANA, T. V. A.; AZEVEDO, B. M. Crescimento inicial do milho sob diferentes concentrações de biofertilizante bovino irrigado com águas salinas. **Revista Ciência Agronômica**, v.43, p.237-245, 2012.

SOUZA, N. K. R.; ALCÂNTARA JÚNIOR, J. P.; AMORIM, S. M. C. Efeito do estresse salino sobre a produção de fitomassa em *Physalis angulata* L. (Solanaceae). **Revista Acadêmica**, v.5, p.379-384, 2007.

STEVENSON, F. J. Origin and distribution of nitrogen in soil. In: STEVENSON, F. J., ed. **Nitrogen in agricultural soils**. Madison: American Society of Agronomy,1982. p. 67-122.

SURABHI, G. K.; REDDYA, A. M.; KUMARIA, G. J.; SUDHAKARA, C. Modulations in key enzymes of nitrogen metabolism in two high yielding genotypes of mulberry (*Morus Alba* L.) with differential sensitivity to salt stress. **Environmental and Experimental Botany**, v. 64, p. 171-179, 2008.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. Porto Alegre: ArtMed, 2006. 719 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Plant physiology. 4. ed. Sunderland: Sinauer Associates, Inc. Publishers, 2009. 848p.

TESTER, M.; DAVÉNPORT, R. Na^+ tolerance and Na^+ transport in higher plants. **Annals of Botany**, v.19, p.503-527, 2003.

TUNA. A. L.; KAYAB, C.; ASHRAF, M.; ALTUNLU, H.; YOKAS, I.; YAGMUR, B. The effects of calcium sulphate on growth, membrane stability and nutrient uptake of tomato plants grown under salt stress. **Environmental and Experimental Botany**, v.59, p.173-178, 2007.

VILLA-CASTORENA, M.; ULERY, A. L.; CATALAN-VALENCIA, E. A.; REMMENGA, M. D. Salinity and nitrogen rate effects on the growth and yield of chile pepper plants. **Soil Science Society of America Journal**, v. 67, p. 1781-1789, 2003.

WILLADINO, L.; CAMARA, T. R.; RIBEIRO, M. B.; AMARAL, D. O. J.; SUASSUNA, F.; SILVA, M. V. Mechanisms of tolerance to salinity in banana: physiological, biochemical, and molecular aspects. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.39, p.1-8, 2017.

3 FISIOLOGIA E CRESCIMENTO DO MILHO SOB ESTRESSE SALINO E ADUBAÇÃO NITROGENADA EM DOIS SOLOS

RESUMO

A adubação nitrogenada minimiza os danos da salinidade sobre as plantas e esta resposta também é dependente das propriedades texturais do solo. Assim, objetivou-se avaliar os efeitos da salinidade da água de irrigação e adubação nitrogenada na fisiologia e crescimento do milho cultivado em solos com texturas diferentes. O experimento foi realizado em casa de vegetação, utilizando-se colunas de solo (100 x 20 cm). Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado com fatorial 2 x 2 x 4: dois solos (Argissolo e Neossolo), duas doses de nitrogênio (105 e 210 kg ha^{-1} N) e quatro níveis de salinidade da água de irrigação (0,5; 2,0; 4,0 e 6,0 dS m^{-1}), com quatro repetições. Analisou-se: altura de planta, diâmetro caulinar, área foliar, biomassa seca, trocas gasosas foliares, clorofila total e teores foliares de prolina, carboidratos e N-aminossolúveis. As doses de nitrogênio não afetaram as variáveis de crescimento, exceto a biomassa radicular. As trocas gasosas foliares aumentaram com a maior dose de nitrogênio, porém sem interação com a salinidade. O N-amino aumentou com a maior oferta de nitrogênio, enquanto prolina e carboidratos não apresentaram acréscimos. O solo influenciou todos os parâmetros bioquímicos, exceto prolina. A salinidade reduziu o crescimento, trocas gasosas foliares, clorofila total e promoveu acúmulo foliar dos solutos orgânicos. Embora tenha mostrado interação com o tipo de solo, de modo geral, o nitrogênio não atenuou os efeitos da salinidade.

Palavras-chave: Salinidade. Trocas gasosas foliares. Nitrogênio.

PHYSIOLOGY AND GROWTH OF MAIZE UNDER SALT STRESS AND NITROGEN FERTILIZATION IN TWO SOILS

ABSTRACT

The nitrogen fertilization minimizes salinity damage on the plants and this response is dependent on the soil texture properties. The objective of this study was to evaluate the effects of irrigation water salinity and nitrogen fertilization on the physiology and growth of maize crop grown on soils with different textures. The experiment was carried out in greenhouse, using soil columns (100 x 20 cm). A completely randomized design with 2 x 2 x 4 factorial was used: two soils (Ultisol and Neosol), two nitrogen rates (105 and 210 kg ha^{-1} N) and four irrigation water salinity levels (0,5; 2,0; 4,0 and 6 dS m^{-1}), with four replicates. Plant height, culms diameter, total leaf area, dry biomass, leaf gas exchange, total chlorophyll and leaf concentration of proline, carbohydrate and N-amino were analyzed. Nitrogen rates did not affect growth variables, except for root biomass. Leaf gas exchange increased with the highest nitrogen dose, but without interaction with salinity. N-amino increased with the highest nitrogen supply, while proline and carbohydrates showed no increase. Soil influenced all biochemical parameters, except proline. Salinity reduced plant growth, leaf gas exchange, total chlorophyll and promoted leaf accumulation of organic solutes. Although it has shown interaction with soil type, in general, nitrogen did not attenuate the effects of salinity.

Keywords: Salinity. Leaf gas exchange. Nitrogen.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento das culturas é resultante de fatores genéticos, ambientais e de suas interações, e quantificá-los possibilita melhorias nas técnicas de produção (OLIVEIRA et al., 2010). Dentre os principais fatores ambientais que afetam o desenvolvimento das plantas se destacam o suprimento hídrico, nutricional e a salinidade.

A salinidade reduz o crescimento das plantas devido aos efeitos osmóticos, tóxicos e prejuízos à absorção de nutrientes essenciais. Também afeta as trocas gasosas em decorrência do estresse hídrico causado pela diminuição do potencial osmótico da solução do solo (DIAS et al., 2016). Quando a planta se encontra sob estresse salino a condutância estomática e transpiração sofrem redução, minimizando a perda de água para evitar a desidratação (BERTOLLI; SOUZA; SOUZA, 2015). Com o decréscimo destes parâmetros a fotossíntese é prejudicada (SILVA et al., 2010).

As respostas das plantas à salinidade são complexas e, para sobreviverem em ambientes salinos desenvolvem estratégias de adaptação que envolvem mecanismos fisiológicos, bioquímicos e moleculares (WILLADINO et al., 2017). Estas respostas dependem da espécie, genótipo, tipo de sais, composição de nutrientes na solução e condições ambientais.

Embora a interação entre salinidade e nutrição mineral seja complexa, algumas pesquisas apontam estratégias de manejo capazes de minimizar os efeitos da salinidade sobre as plantas, como a redução da aplicação de N com base na diminuição da evapotranspiração devido ao aumento da salinidade do solo (LACERDA et al., 2016), possibilitando o uso de águas salinas na irrigação (BARHOUMI et al., 2010). A utilização desse tipo de água na agricultura é de grande importância, sobretudo em regiões semiáridas, pois a disponibilidade deste recurso vem sendo reduzida, tornando necessário o uso de água de qualidade inferior para atender a demanda da irrigação agrícola (SILVA et al., 2014).

Dentre as técnicas que reduzem os efeitos da salinidade às plantas se destacam o uso de substâncias orgânicas e sintéticas, como aplicação de silício e biofertilizantes (OLIVEIRA et al., 2016). O acréscimo na oferta de nitrogênio também é uma estratégia capaz reduzir os efeitos da salinidade e promover o crescimento das plantas (NOBRE et al., 2011), embora outras pesquisas demonstrem não haver qualquer benefício (OLIVEIRA et al., 2013). Acredita-se que o aumento da disponibilidade do nitrogênio sob condições de salinidade, resulta em maior acúmulo de compostos orgânicos nitrogenados como a prolina e glicinabetaína (MUNNS; TESTER, 2008), que podem elevar a capacidade de ajustamento osmótico das plantas, aumentando a resistência ao estresse hídrico e salino.

A salinidade pode interferir na aquisição e utilização do nitrogênio (FEIJÃO et al., 2013) e, quando a vegetação e topografia se mantêm constantes, as propriedades texturais podem afetar o conteúdo de nitrogênio no solo (STEVENSON, 1982). Considerando essas afirmações, tem-se como hipótese que a adubação nitrogenada minimiza os danos da salinidade sobre as plantas e esta resposta é dependente das propriedades texturais do solo. Dessa forma, objetivou-se avaliar os efeitos da salinidade da água de irrigação e adubação nitrogenada nas respostas fisiológicas e de crescimento na cultura do milho (*Zea mays* L.) cultivado em solos com texturas diferentes.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização do experimento

O trabalho foi realizado no período de abril a junho de 2016 em ambiente protegido do tipo casa de vegetação, localizada na área experimental da Estação Agrometeorológica, pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola (DENA), da Universidade Federal do Ceará (UFC), Campus do Pici, Fortaleza - CE. De acordo com a classificação de Köppen o clima da região é do tipo Aw', tropical chuvoso, apresentando duas estações bem definidas, uma mais seca de ocorrência no inverno e outra com ocorrência de chuvas no verão e outono.

Os dados de temperatura, umidade relativa do ar e luminosidade no interior da casa de vegetação durante o período de condução da pesquisa foram monitorados utilizando-se um *Data Logger* fabricante Onset Computer Corporation (modelo HOBO® U12-012 Temp/RH/Light/Ext) instalado na parte central do experimento, programado para registrar os dados a cada 15 minutos, com a finalidade de caracterizar as condições do ambiente onde o trabalho foi realizado. Estes dados são apresentados na figura 1, a seguir.

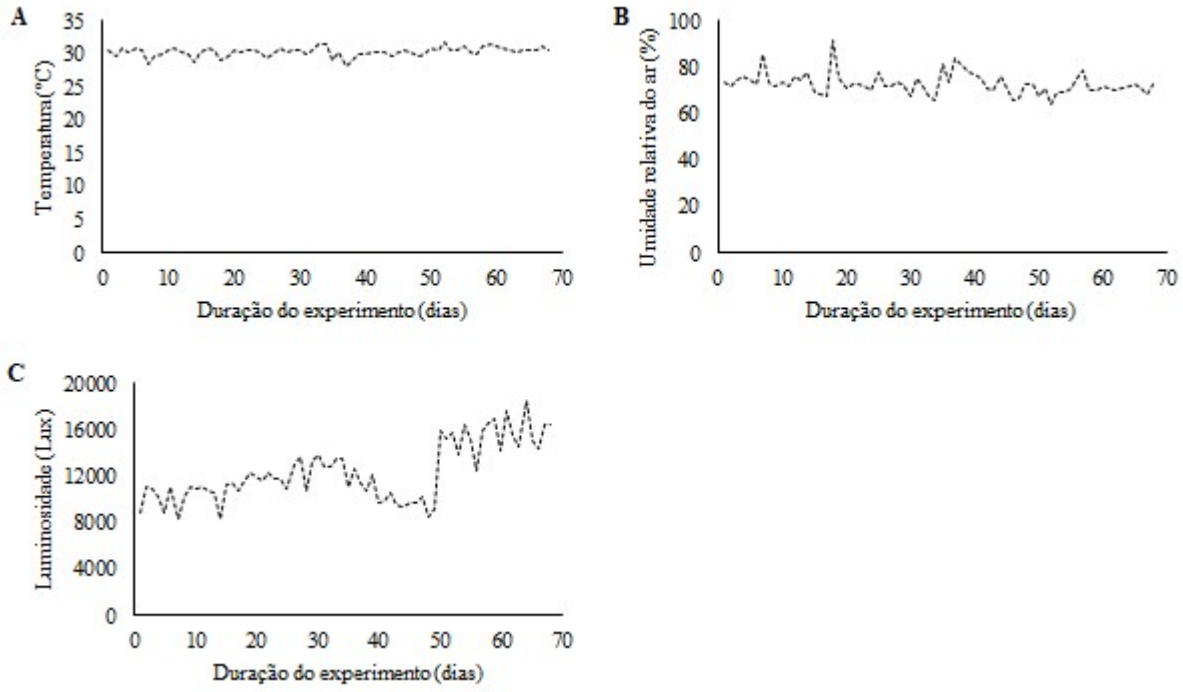

Figura 1. Valores médios diários referentes à temperatura (A), umidade relativa do ar (B) e luminosidade (C) no interior da casa de vegetação durante a condução do experimento.

A temperatura média diária no interior da casa de vegetação durante o período de execução do experimento variou de 25,8 a 31,6 °C (Figura 1A), enquanto a umidade relativa do ar oscilou entre 64,1 e 91,8 % (Figura 1B). A luminosidade, para qual foram consideradas apenas as leituras registradas entre as 6 e 18 h, apresentou amplitude média de 5.231 a 18.535,1 Lux (Figura 1C). Nota-se também, que a partir do 50º dia houve um aumento notável na luminosidade, isso ocorreu devido a retirada da tela aluminet, que precisou ser removido em virtude do crescimento das plantas.

Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento estatístico adotado no experimento foi o delineamento inteiramente casualizado (DIC), com fatorial triplo 2 x 2 x 4: correspondendo a dois solos (ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico típico e NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico), duas doses de nitrogênio (210 e 105 kg ha^{-1} de N) e quatro níveis de salinidade da água de irrigação (0,5; 2,0; 4,0 e 6,0 dS m^{-1}), com quatro repetições, totalizando 64 unidades experimentais. Cada unidade experimental foi composta por uma coluna de solo com uma planta.

Coleta de solos e montagem das colunas

Os solos utilizados no trabalho foram o ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico típico e NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico, coletados na área experimental do Setor de Hidráulica do DENA/UFC/Campus do Pici em Fortaleza - CE e no Campo Experimental de Pacajus da Embrapa Agroindústria Tropical em Pacajus - CE, respectivamente. Ambos foram coletados e separados de acordo com seus horizontes pedogenéticos, secos ao ar, destorroados e peneirados em malha de 5 mm. Posteriormente foram caracterizados quanto aos seus atributos físicos (Tabela 1) e químicos (Tabela 2).

As colunas de tubos de PVC, com dimensões de 100 cm de altura e 20 cm de diâmetro, nas quais as plantas foram cultivadas, receberam na parte interna uma camada de cola e areia para melhorar a aderência com o solo, diminuindo o fluxo preferencial de água. A base foi fechada com uma tampa de PVC e acima foi feito um furo, onde colocou-se borracha de vedação, conector inicial e mangueira para a coleta da água drenada. Na montagem obedeceu-se a sequência dos horizontes dos solos como se encontravam no campo, compactando-os até a densidade de 1,53 g cm^{-3}.

Tabela 1. Caracterização física dos solos utilizados no experimento.

Prof.	Granulometria			Classe Textural	Densidade		Umidade		
	Areia	Silte	Argila		ρ_s	ρ_p	θ_{cc}	θ_{pmp}	θ_{CAD}
cm	--------- g kg^{-1} ---------				-- g cm^{-3} --		------- g $100g^{-1}$ -------		
ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico típico									
0-20	825	107	68	Areia franca	1,47	2,69	7,26	5,05	2,21
21-60	845	85	70	Areia franca	1,46	2,74	6,18	3,51	2,67
61-100	527	157	316	Franco argilo arenosa	1,35	2,55	15,09	10,11	4,98
NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico									
0-20	923	53	24	Areia	1,54	2,75	5,19	3,21	1,98
21-100	929	42	29	Areia	1,55	2,75	4,28	2,18	2,10

Prof. = profundidade; ρ_s = densidade do solo; ρ_p = densidade de partículas; θ_{cc} = capacidade de campo (umidade no potencial mátrico de 0,033 Mpa); θ_{pmp} = ponto de murcha permanente (umidade no potencial mátrico de 1,5 Mpa); θ_{CAD} capacidade de água disponível.

Tabela 2. Caracterização química dos solos utilizados no experimento.

Prof.	CE	pH	P	Ca	Mg	Na	K	H+Al	Al	C	N	MO
cm	dS m^{-1}	-	mg kg^{-1}	---------- $cmol_c$ kg^{-1} ----------						------- g kg^{-1} -------		
ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico típico												
0-20	0,12	6,3	33	1,90	0,30	0,16	0,43	0,83	0,05	12,30	1,24	21,21
21-60	0,10	6,2	8	0,70	0,50	0,17	0,24	0,83	0,05	7,32	0,75	12,62
61-100	0,11	5,7	5	1,10	0,60	0,18	0,90	1,49	0,10	3,36	0,35	5,79
NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico												
0-20	0,36	5,3	2	0,90	0,60	0,21	0,59	1,16	0,05	7,56	0,77	13,03
21-100	0,46	5,4	2	0,50	0,40	0,28	0,67	1,32	0,05	2,16	0,22	3,72

CE - condutividade elétrica do extrato de saturação; pH - potencial hidrogeniônico; MO - matéria orgânica.

O valor da densidade do solo no interior das colunas foi estabelecido com base no valor médio da densidade dos horizontes coletados dos dois solos avaliados. Para que que o valor estipulado da densidade fosse atingido, foi feita uma marcação na parte interna do cano a cada 10 cm, sendo calculado o volume dessa parte seccionada. De posse dos dados de volume e de uma densidade conhecida, calculou-se a massa de solo que ocuparia a seção. Posteriormente, a massa de solo foi pesada e depositada dentro do cano, depois com o auxílio de um êmbolo, feito de concreto e com uma haste de ferro, foi realizada a compactação do solo. Para tal, o

êmbolo foi elevado à altura de aproximadamente 25 cm e em seguida solto repetidamente até a massa de solo atingir a marcação de 10 cm feita anteriormente.

Todas as colunas receberam areia grossa nos primeiros 10 cm e o restante foi preenchido com os solos avaliados. Para o Argissolo a primeira camada (20 cm) correspondia ao horizonte A, a segunda (25 cm) ao horizonte E e a terceira (40 cm) ao horizonte B textural. Já para o Neossolo a primeira camada (20 cm) foi formada pelo horizonte A e a segunda (65 cm) pelo horizonte C.

Condução do experimento

A semeadura foi feita com três sementes do milho híbrido duplo BRS 2020 e após 10 dias fez-se o desbaste escolhendo-se a melhor planta e deixando apenas uma planta por coluna. Na sequência se iniciou a irrigação diária com as águas de diferentes níveis salinos, mantendo uma fração de lixiviação de 15 % da água aplicada, via balanço hídrico. A água de baixa salinidade foi obtida diluindo-se água de poço com CE de 1,0 dS m^{-1} com água destilada até atingir a condutividade elétrica de 0,5 dS m^{-1}. Os demais níveis salinos da água de irrigação foram preparados por meio da adição na água do poço de NaCl e $CaCl_2.2H_2O$ na proporção de 7:3, respectivamente.

A adubação consistiu na aplicação de 2,62 g de N.coluna^{-1} na forma de ureia para a dose de 210 kg ha^{-1} de N e 1,31 g coluna^{-1} para a dose de 105 kg ha^{-1} de N. Para a adubação potássica foi aplicada 1 g coluna^{-1} K_2O, correspondendo à dose de 80 kg ha^{-1} de K_2O, tendo como fonte o cloreto de potássio. A aplicação do nitrogênio e do potássio foi parcelada em quatro vezes: 15% aos 10 dias após a semeadura (DAS), 25% aos 25 DAS, 25% aos 40 DAS e 35% aplicado aos 55 DAS.

A aplicação dos demais nutrientes consistiu no fornecimento durante a semeadura de 1,12 g de P.coluna^{-1}, equivalente a 90 kg ha^{-1} de P_2O_5, sendo o superfosfato simples a fonte escolhida e também foi utilizado 1 g coluna^{-1} da mistura de micronutrientes FTE Br 12 (1,8 % B; 0,8 % Cu; 2,0 % Mn; 0,1% Mo; 9,0% Zn; 7,1 % Ca e 5,7 % de S).

Figura 2. Visão geral do experimento aos 30 dias após semeadura.

Variáveis analisadas

Altura de planta e diâmetro do caule

Aos 67 dias após a semeadura a altura das plantas foi mensurada utilizando uma trena métrica graduada em centímetros. A medição dessa variável foi feita da base do caule, rente ao solo, até o ápice da panícula. Também foi medido o diâmetro do caule a uma altura de 5 cm do solo com o auxílio de um paquímetro digital, resolução de 0,1 mm.

Área foliar

Ao final no experimento também foi mensurada área foliar de cada planta utilizando um integrador de área (Area meter, LI-3100, Li-Cor, Inc. Lincoln, NE, USA). Para isso todos os limbos foliares foram retirados e imediatamente levados ao Laboratório da Estação Agrometeorológica para a sua determinação.

Produção de biomassa

A produção de biomassa seca foi determinada aos 67 dias após semeadura. Na ocasião as plantas foram colhidas e particionadas em raiz, colmo + bainhas, limbos foliares, espigas e panículas. Esse material foi colocado em sacos de papel, levados a estufa com circulação

forçada de ar a 65°C até atingirem peso constante e em seguida pesados em balança analítica para a determinação da produção de biomassa seca das plantas.

Trocas gasosas foliares

As medições das trocas gasosas foliares, tais como condutância estomática (gs), fotossíntese (A), transpiração (E) e concentração interna de CO_2 (Ci) foram realizadas aos 15, 30, 45 e 60 dias após o início dos tratamentos salinos, na primeira folha totalmente expandida. Essas medições foram feitas sempre no período de 8:00 às 10:30 h da manhã, utilizando-se o analisador de gases infravermelho portátil IRGA, modelo Li - 6400XT (Portable Photosynthesis System - LI) da LICOR®, sob luz saturante de 1.800 μmol m^{-2} s^{-1} e condições ambiente de temperatura e concentração de CO_2.

Teor de clorofila total

A determinação do teor de clorofila total foi realizada também aos 67 dias após o início da aplicação dos tratamentos salinos por meio de um método não destrutivo, utilizando-se um medidor portátil (SPAD 502, Minolta Co, Ltd, Osaka, Japan). As leituras foram realizadas nas três primeiras folhas totalmente expandidas de cada planta, e em cada folha foram tomadas seis leituras, três de cada lado: uma próxima a base da folha, uma no terço médio e uma próxima ao ápice, totalizando 18 leituras por planta.

Solutos orgânicos

Para a determinação dos solutos orgânicos (prolina, N-aminossolúveis e carboidratos solúveis), foi preparado um extrato base a partir do pó liofilizado dos tecidos foliares das três primeiras folhas totalmente expandidas de cada planta. Para a preparação desse extrato, 100 mg do material foi colocado em tubo de ensaio com tampa rosqueável, depois adicionado 10 mL de água deionizada e mantidos em banho-maria a 45°C, como agitações a cada 15 minutos. Posteriormente, o extrato foi filtrado e armazenado no freezer até sua utilização.

Os teores de prolina livre foram determinados de acordo com o método descrito por Bates, Waldren, Teare (1973). Em tubos de ensaio com tampas rosqueáveis foi adicionado 1 mL do extrato convenientemente diluído, 1 mL de ninhidrina ácida e 1 mL de ácido acético glacial. Depois os tubos foram fechados, agitados vigorosamente em agitador de tubos de

ensaio e colocados em banho-maria por 1 h a 100°C para desenvolvimento da cor. Em seguida, a reação foi interrompida resfriando-se os tubos em banho de gelo e posteriormente adicionou-se 2 mL de tolueno aos mesmos, agitando-os novamente e deixando em repouso. Na sequência, formou-se uma mistura bifásica, com auxílio de uma pipeta de Pasteur foi aspirada a fase menos densa (cromóforo) e colocada em uma cubeta de quartzo. A quantificação da prolina foi realizada em espectrofotômetro através das leituras de absorbância à 520 nm, tendo como "branco" um tubo de ensaio contendo tolueno. Os cálculos da concentração de prolina foram feitos usando como referência a equação obtida para a curva padrão feita com L-prolina e a concentração expressa em µmol prolina g^{-1} de matéria seca.

Para a determinação das concentrações de N-aminossolúveis foi empregada a metodologia proposta por Yemm e Cocking (1955). Inicialmente foi adicionado aos tubos de ensaio com tampas rosqueáveis 500 µL do extrato, 250 µL de tampão citrato 0,2 M, 500 µL de KCN 0,2 M e 100 µL de ninhidrina 5%. Em seguidas os tubos foram fechados, agitados em agitador de tubos de ensaio e colocados em banho-maria por 20 min a 100°C. Finalizado esse tempo, a reação foi interrompida resfriando-se os tubos em banho de gelo. Depois, foi adicionado 650 µL de etanol 60% para fixar a cor violeta desenvolvida e na sequência foram feitas as leituras em espectrofotômetro à 570 nm, adotando como "branco" um tubo de ensaio contendo 500 µL de água deionizada, 250 µL do tampão citrato, 500 µL de KCN e 100 µL de ninhidrina. Os cálculos da concentração de aminoácidos tiveram como referência a equação obtida para a curva padrão feita com L-glicina e os resultados expressos em µmol aminoácidos g^{-1} de matéria seca.

Os carboidratos solúveis foram determinados segundo marcha analítica descrita por Dubois et al. (1956). Em tubos de ensaio comuns foi adicionado 500 µL do extrato convenientemente diluído, 500 µL de fenol 5 % e 2,5 mL de ácido sulfúrico concentrado. Em seguida os tubos foram agitados e deixados em repouso em bandeja com água à temperatura ambiente por 20 minutos, na sequência esse material foi transferido para a cubeta de quartzo e efetuadas as leituras. A quantificação dos carboidratos solúveis foi feita a partir da leitura em espectrofotômetro à 490 nm, utilizando como "branco" um tubo de ensaio com 500 µL de água deionizada, 500 µL de fenol 5% e 2,5 de ácido sulfúrico concentrado. Os cálculos de concentração tiveram como base a equação para a curva padrão, que foi obtida utilizando-se glicose anidra. Os resultados de carboidratos solúveis foram expressos em µmol carboidrato g^{-1} de matéria seca. Cada extrato para a determinação dos teores de carboidratos, assim como da prolina e N-aminossolúveis, foram dosados em duplicata.

Análise estatística

Para os dados coletados ao longo do tempo uma média foi obtida antes da realização da análise estatística. Em seguida, todos dados foram submetidos ao teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov e posteriormente à análise de variância pelo teste F para avaliar os efeitos dos fatores isolados e suas interações. Os tipos de solo e as doses de nitrogênio foram comparados por meio do teste de Tukey, os dados quantitativos foram submetidos à análise de regressão e o modelo de melhor ajuste escolhido pelo maior coeficiente de determinação (R^2). Essas análises foram realizadas utilizando o software Assistat 7.7 (SILVA; AZEVEDO, 2016).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O resumo da análise de variância é apresentado na tabela 3, onde se observa que a classe de solo influenciou significativamente a altura de planta, diâmetro do caule, área foliar, biomassa seca da raiz, biomassa seca do colmo + bainhas, biomassa seca dos limbos foliares e biomassa seca total. A salinidade também afetou todas as variáveis, exceto a variável diâmetro do caule. Já as doses de nitrogênio foram significativas apenas para a biomassa seca radicular, que também apresentou interação tripla, enquanto a biomassa seca total foi afetada pela interação entre solo e salinidade.

Tabela 3. Resumo da ANOVA pelo teste F e médias para a altura de planta (AP), diâmetro do caule (DC), área foliar (AF), biomassa seca da raiz (BSR), biomassa seca do colmo + bainhas (BSC), biomassa seca dos limbos foliares (BSF), biomassa seca total (BST) e teor de clorofila (SPAD) em plantas de milho sob estresse salino e adubação nitrogenada em dois solos.

Tratamentos	AP	DC	AF	BSR	BSC	BSF	BST	SPAD
	cm	mm	cm^2	---------- g ----------				
Solo(A)	$37,92^{**}$	$14,32^{**}$	$27,96^{**}$	$291,15^{**}$	$40,43^{**}$	$52,65^{**}$	$101,64^{**}$	$0,339^{ns}$
Dose(B)	$0,08^{ns}$	$0,08^{ns}$	$3,90^{ns}$	$11,70^{**}$	$0,06^{ns}$	$2,11^{ns}$	$2,19^{ns}$	$3,533^{ns}$
Salinidade(C)	$26,26^{**}$	$2,64^{ns}$	$23,12^{**}$	$703,98^{**}$	$40,70^{**}$	$11,73^{**}$	$106,46^{**}$	$9,221^{**}$
AxB	$0,003^{ns}$	$2,05^{ns}$	$2,46^{ns}$	$1,99^{ns}$	$2,25^{ns}$	$1,65^{ns}$	$2,13^{ns}$	$0,002^{ns}$
AxC	$0,57^{ns}$	$1,24^{ns}$	$1,92^{ns}$	$31,53^{**}$	$1,60^{ns}$	$1,50^{ns}$	$2,97^{*}$	$1,606^{ns}$
BxC	$0,32^{ns}$	$0,70^{ns}$	$0,57^{ns}$	$5,69^{**}$	$0,67^{ns}$	$0,49^{ns}$	$1,19^{ns}$	$1,221^{ns}$
AxBxC	$0,98^{ns}$	$1,03^{ns}$	$1,63^{ns}$	$3,12^{*}$	$0,60^{ns}$	$1,45^{ns}$	$0,54^{ns}$	$0,185^{ns}$
CV (%)	13,29	12,28	21,08	8,76	19,40	17,95	13,51	14,95
Argissolo	204,8 a	17,0 a	3181,9a	26,97 a	47,90a	20,92a	95,79a	37,93a
Neossolo	166,8 b	15,1 b	2403,6b	18,48 b	35,10b	15,06b	67,92b	37,11a
210 kg ha^{-1} N	184,9 a	16,0 a	2938,2a	23,57 a	41,74a	18,57a	83,90a	38.84a
105 kg ha^{-1} N	186,7 a	16,1 a	2647,4a	21,87 b	41,25a	18,57a	79,81a	36.20a

^{ns} Não significativo, * e ** Significativo pelo teste F, a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente. As médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

No Argissolo verificou-se maiores médias, em comparação ao Neossolo, para AP, DC, AF, BSR, BSC, BSF e BST com acréscimo de 18,55 %, 11,17 %, 24,46, 31,48 %, 26,73 %,

28 % e 29,09 %, respectivamente (Tabela 3). A disponibilidade dos nutrientes é influenciada por fatores, dentre os quais se destaca a textura do solo (MALUF et al., 2015). Neste caso, atribui-se estes resultados à quantidade expressiva de argila no Argissolo (Tabela 1), conferindo-lhe maior poder de adsorção reduzindo as perdas de nutrientes por lixiviação. Enquanto no Neossolo o alto teor de areia, considerada uma fração quimicamente inerte, pode potencializar as perdas.

Além disso, solos com maior teor de argila favorecem a agregação e aumentam a estabilidade dos agregados. Que por sua vez determinam a rede porosa do solo, beneficiando a infiltração, retenção de água e a difusão de nutrientes (WANG et al., 2017). Respostas semelhantes foram encontrados por Santos et al. (2017) para a AP e DC na soja, Fraga Júnior et al. (2012) para AF no *citrus* e por Braccini et al. (1999) para a biomassa seca no milho, todos com resultados superiores em solos argilosos em comparação ao solo arenoso.

Em relação à adubação nitrogenada, a maior dose de N estimulou o crescimento do sistema radicular das plantas, resultando em acréscimo da BSR. Entretanto, não apresentou significância para as demais vaiáveis avaliadas. O incremento na oferta de N, no geral, estimula a produção de fitomassa, pois, segundo Martuscello et al., (2006), o nitrogênio atua como fator controlador dos processos de crescimento e desenvolvimento das plantas, proporcionando aumento de produção pela fixação de carbono. Além disso, as raízes possuem ajuste osmótico mais rápido e perda de turgor mais lenta quando comparadas à parte aérea (OLIVEIRA et al., 2016). Em trabalho realizado na cultura do milho foram encontradas respostas similares, constatando-se que a adubação nitrogenada promove incrementos na biomassa seca radicular (MORAIS et al., 2015).

A AP, em comparação ao tratamento controle (0,5 dS m^{-1}), sofreu redução de 31,87 % em decorrência do aumento da salinidade da água de irrigação para o nível salino de 6,0 dS m^{-1} (Figura 3A). A salinidade limita o crescimento das plantas em virtude do excesso de sais na zona radicular, que causa maior efeito osmótico externo à raiz, restringindo o fluxo de água do solo para as plantas (LIMA et al., 2014). Com o aumento da pressão osmótica do meio a água prontamente disponível pode ser reduzida, afetando a divisão celular e alongamento das células (TAIZ; ZEIGER, 2009). A diminuição da AP no milho também foi documentada por Gomes et al. (2011) utilizando água de CE 5,0 dS m^{-1} e por Souza et al. (2014), que registraram 26,9 % de perda quando usada água de irrigação com CE 4,5 dS m^{-1}.

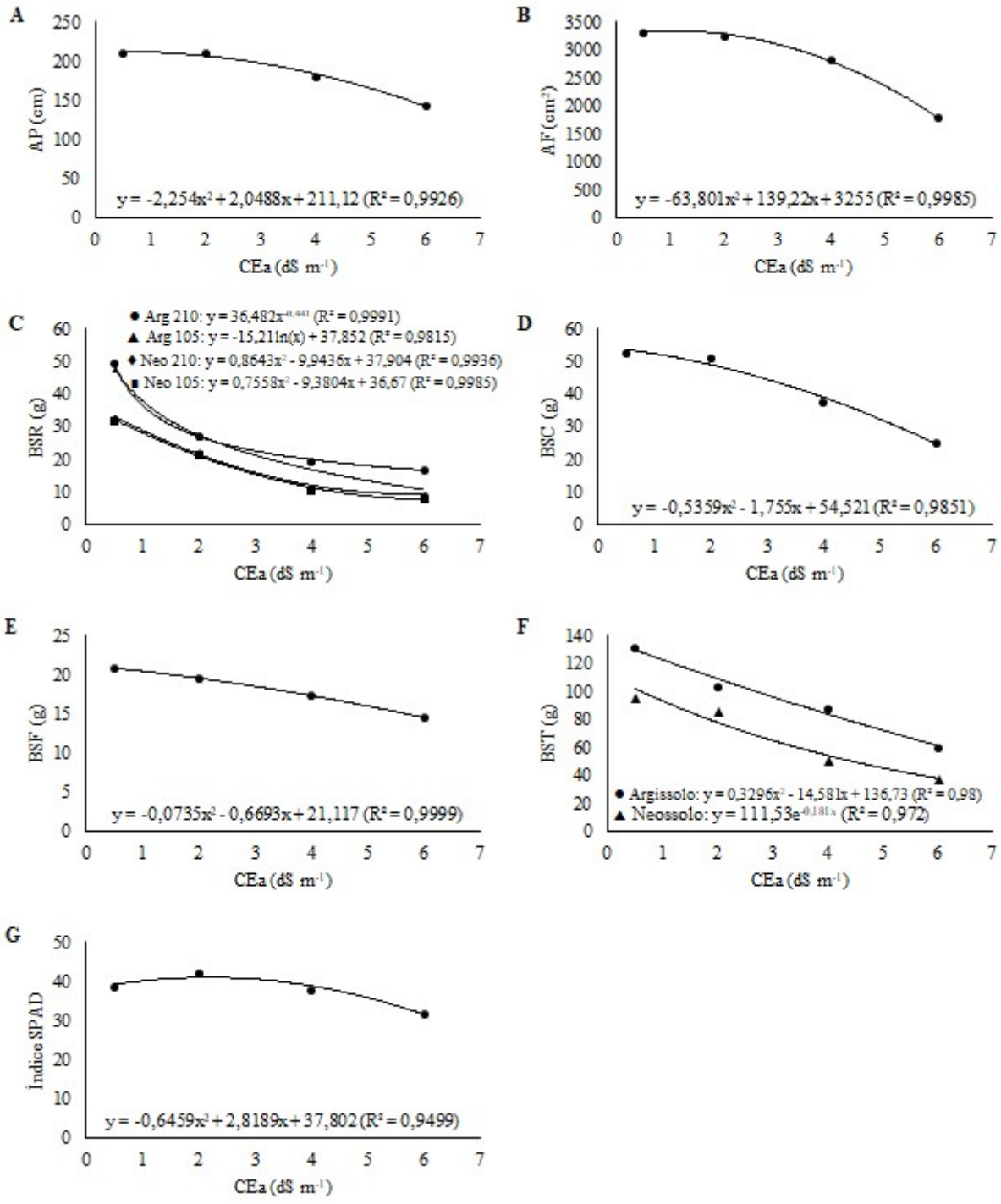

Figura 3. Altura de planta: AP (A), área foliar: AF (B), biomassa seca da raiz: BSR (C), biomassa seca do colmo + bainhas: BSC (D), biomassa seca dos limbos foliares: BSF (E), biomassa seca total: BST (F) e teor de clorofila total: SPAD (G) em plantas de milho sob estresse salino e adubação nitrogenada em dois solos.

A salinidade provocou decréscimo de 46,3 % da AF nas plantas submetidas CEa 6,0 dS m^{-1} em relação ao controle (Figura 3B). A redução no crescimento foliar é uma defesa das

plantas sob estresse hídrico e salino, diminuindo a superfície transpirante e, consequentemente, as perdas de água por transpiração (TAIZ, ZEIGER, 2009). Também contribui para manter o equilíbrio entre absorção e transpiração, o que pode aumentar a eficiência no uso da água e reduzir o acúmulo de sais na planta (NOBRE et al., 2011). No entanto, a redução na área destinada à fotossíntese pode causar perdas de produtividade. Resultados similares foram observados no milho doce e de pipoca com redução na AF de 28,2 e 28,7 %, respectivamente, quando irrigados com água de CE 4,5 dS m^{-1} (SOUZA et al., 2014). Por sua vez, Oliveira et al. (2016), utilizando também CEa de 4,5 dS m^{-1}, registraram perdas de 19,9 %.

A BSR sofreu decréscimo no Argissolo e Neossolo à medida que houve aumento da CEa, independente da dose de N aplicada (Figura 3C). No entanto, observa-se que nos dois solos a redução foi menor na maior dose de N, especialmente nos níveis mais elevados de salinidade, evidenciando que a adubação nitrogenada pode minimizar os efeitos da salinidade sobre as perdas na produção de fitomassa. Uma vez que desempenha função estrutural, fazendo parte de compostos orgânicos vitais às plantas, o N exerce o papel de promover crescimento e pode inibir os efeitos da salinidade nos vegetais. Menores perdas na BSR em virtude da adubação nitrogenada também foram encontradas no milheto forrageiro (MELO; FERNANDES; GALVÃO, 2015).

Verificou-se perdas de 52,14 % e 30,45 % na BSC e BSF, respectivamente, com o aumento da CEa (Figuras 3D e 3E). A salinidade acima do nível limiar das plantas reduz o crescimento em função do aumento da energia metabólica gasta na absorção de água, de nutrientes e ajustamento osmótico para sobreviverem e produzirem sob estresse salino (RHOADES et al., 2000). O efeito iônico causado pelo acúmulo de íons nos tecidos vegetais também reduz o crescimento das plantas (MUNNS; TESTER, 2008), afetando a produção de biomassa. De forma semelhante, Oliveira et al. (2016) verificaram a ocorrência de redução da BSC e BSF com o aumento da salinidade da água de irrigação (OLIVEIRA et al., 2016).

A BST também foi reduzida à medida que se elevou a CEa, com perdas de 54,45 % e 60,72 % no Argissolo e Neossolo, respectivamente (Figura 3F). Isso sugere que mesmo sob condições de salinidade o Argissolo, devido sua textura mais argilosa, disponibiliza mais nutrientes para planta, em decorrência da maior capacidade de retenção de água e nutrientes. A alta concentração de sais na água de irrigação pode causar quebra na homeostase do potencial de água, desbalanço iônico na interfase solo-planta e promover toxidez no vegetal, alterando seu crescimento e a produção de matéria seca (ASCH; DINGKUHN; DORFFING,

2000). Sousa et al. (2012) encontraram resultados similares, onde a BST do milho foi afetada negativamente pela água de irrigação de alta salinidade.

O aumento da salinidade da água de irrigação promoveu uma redução dos valores da clorofila total, índice SPAD, nas folhas da cultura do milho (Figura 3G). A regressão seguiu o modelo polinomial de segunda ordem, evidenciando redução de 17,58 % no índice SPAD nas plantas submetidas a CEa de 6,0 dS m^{-1}, em relação ao tratamento controle.

O desenvolvimento das plantas em ambiente salino afetou a formação da clorofila nas folhas, promovendo um decréscimo do teor de clorofila total à medida que a CEa aumentou. Os teores dos constituintes bioquímicos das folhas, como pigmentos fotossintéticos, são reduzidos pela salinidade, sendo esse efeito agravado pela duração e nível de exposição à condição de estresse (NASCIMENTO et al., 2012). Em resposta a elevada salinidade no solo, as plantas submetidas a tal condição apresentam decréscimo na concentração de clorofila, o que pode ser atribuído ao aumento da atividade da enzima clorofilase que degrada a clorofila (SHARMA; HALL, 1991).

Tabela 4. Resumo da ANOVA pelo teste F e médias para a condutância estomática (gs), fotossíntese (A), transpiração (E) e concentração interna de CO_2 (Ci), prolina, N-aminossolúveis e carboidrato em plantas de milho sob estresse salino e adubação nitrogenada em dois solos.

Tratamentos	gs	E	A	Ci	Prolina	N-amino	Carb
	---- mol m^2 s^{-1} ----		µmol CO_2 m^2 s^{-1}	µmol mol^{-1}	---------- µmol g^{-1} MS ----------		
Solo(A)	52,95**	5,39*	9,80**	4,95*	1.89^{ns}	5,66*	0,0009*
Dose(B)	9,65**	4,67*	15,33**	1,59^{ns}	2,14^{ns}	10,74**	0,06^{ns}
Salinidade(C)	113,33**	18,39**	34,60**	20,09**	3,22*	11,49**	4,95**
AxB	0,49^{ns}	3,12^{ns}	5,87*	1,57^{ns}	4,43*	0,16^{ns}	0,30^{ns}
AxC	8,01**	0,62^{ns}	0,08^{ns}	2,10^{ns}	2,72^{ns}	3,01*	0,16^{ns}
BxC	1,16^{ns}	1,44^{ns}	1,22^{ns}	2,21^{ns}	0,59^{ns}	0,49^{ns}	1,09^{ns}
AxBxC	2,59^{ns}	1,24^{ns}	2,30^{ns}	1,14^{ns}	1,67^{ns}	2,01^{ns}	0,15^{ns}
CV (%)	7,75	13,29	9,23	27,44	24,68	11,71	11,02
Argissolo	0,22 a	6,19 a	34,52 a	64,57 a	4,68 a	157,30 a	131,65 a
Neossolo	0,19 b	5,73 b	32,11 b	55,41 b	4,30 a	146,71 b	131,55 a
210 kg ha^{-1} N	0,21 a	6,18 a	34,82 a	57,39 a	4,70 a	159,30 a	131,13 a
105 kg ha^{-1} N	0,20 b	5,75 b	31,81 b	62,59 a	4,29 a	144,71 b	132,07 a

[ns] Não significativo, [*] e [**] Significativo pelo teste F, a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente. As médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Observa-se na tabela 4 que os tipos de solos apresentaram significância estatística para a condutância estomática, fotossíntese, transpiração, concentração interna de CO_2, N-aminossolúvel e carboidratos. As doses de N para condutância estomática, fotossíntese, transpiração e N-amino. Já os níveis salinos influenciaram de forma significativa todos as variáveis analisadas. Também se constatou interação entre solo e dose para fotossíntese e prolina e interação entre solo e salinidade para a condutância estomática e N-amino.

As plantas cultivadas no Argissolo apresentaram maior gs, A, E, Ci e N-amino (Tabela 4). Enquanto a maior dose de nitrogênio proporcionou elevação da gs, A, E e N-amino. Já a Ci, prolina e carboidratos não sofreram alterações em decorrência das doses aplicadas. Como o nitrogênio faz parte dos principais componentes do sistema fotossintético o aumento da sua disponibilidade geralmente resulta em efeitos positivos na taxa de assimilação de carbono. Em pesquisa realizada na cultura do milho foi verificado que os teores foliares de N-aminossolúvel aumentaram linearmente com a concentração crescente de nitrogênio (FEIJÃO et al., 2013).

A fotossíntese e o teor de prolina foram afetados pela interação entre solos e doses de nitrogênio (Tabela 5). Para a dose de nitrogênio de 210 kg ha^{-1} as maiores taxas fotossintéticas foram encontradas no Argissolo, evidenciando maior aproveitamento do nutriente nesse solo, principalmente devido aos seus atributos físicos e químicos que lhe permitem melhor estruturação, capacidade de retenção de água e adsorção de nutrientes. Enquanto para a menor dose não houve diferença estatística entre os solos analisados. Assim como também não houve significância entre as doses no Neossolo.

Tabela 5. Fotossíntese e teor foliar de prolina em de plantas de milho cultivadas sob estresse salino e adubação nitrogenada em dois solos.

Solos	Doses de nitrogênio			
	210 kg ha^{-1}	105 kg ha^{-1}	210 kg ha^{-1}	105 kg ha^{-1}
	Fotossíntese (µmol CO_2 m^2 s^{-1})		Prolina (µmol g^{-1} MS)	
Argissolo	36.95 aA	32.08 aB	5,18 aA	4,19 aB
Neossolo	32.68 bA	31.53 aA	4,21 bA	4,39 aA

As médias seguidas pela mesma letra minúsculas na coluna e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

No que diz respeito ao conteúdo de prolina, quando se utilizou a maior dose de N o Argissolo apresentou maior acúmulo e a dose de 105 kg ha^{-1} não mostrou significância. Já em relação aos solos, no Argissolo a dose de 210 kg ha^{-1} de N proporcionou maior teor de prolina, enquanto no Neossolo não foi observado diferença estatística entre as doses, provavelmente devido as maiores perdas deste nutriente nos solos arenosos. Atribui-se esses resultados aos atributos do próprio solo, que permitem melhor suprimento hídrico e nutricional às plantas, além do aumento da disponibilidade de nitrogênio em virtude da maior dose de N. Em trabalho realizado por Feijão et al. (2013) foi verificado que o aumento na concentração de nitrogênio resultou em acréscimos no teor de prolina em plantas de milho, corroborando com os resultados encontrados nesta pesquisa.

As perdas na gs das plantas quando submetidas a CEa 6,0 dS m^{-1} em comparação ao controle foram de 40,78 % no Argissolo e 36,43 % no Neossolo (Figura 4A). No entanto, vale ressaltar que embora o Argissolo tenha apresentado as maiores perdas, o mesmo possui valores mais elevados de gs em relação ao Neossolo. O fechamento estomático é uma das primeiras respostas da planta ao estresse para evitar a perda excessiva de água (GOMES et al., 2011). Esse fenômeno ocorre devido à diminuição do fluxo de água na planta em decorrência da alta concentração de sais na zona radicular, o que reduz o potencial osmótico da solução do solo, deixando a água menos disponível para as plantas, provocando estresse hídrico e, consequentemente, o fechamento estomático. Sousa et. al (2016) também verificaram que a irrigação com águas salinas provoca redução na gs.

A fotossíntese reduziu 23,53 % no nível salino de 6,0 dS m^{-1} em comparação à testemunha, evidenciando o efeito danoso do excesso de sais sobre as plantas. A fotossíntese é um dos principais processos fisiológicos afetados pela salinidade, podendo ser inibida pelo acúmulo de íons Na^+ e/ou Cl^- nos cloroplastos, os quais afetam os processos bioquímicos e fotoquímicos envolvidos na mesma (TAIZ; ZEIGER, 2009). O déficit hídrico tende a provocar o fechamento estomático, que resulta em limitação na Ci, podendo afetar a concentração dos pigmentos envolvidos na fotossíntese. E com a redução da gs, a disponibilidade de CO_2 às folhas diminui (GOMES et al., 2011), ocorrendo o declínio na fotossíntese líquida, devido à redução na pressão parcial do CO_2 nos espaços intercelulares ou na câmara subestomática (AMORIM et al., 2010). De forma semelhante aos resultados neste trabalho, Silva et al., (2013) constataram que o aumento da salinidade da água de irrigação reduziu a fotossíntese.

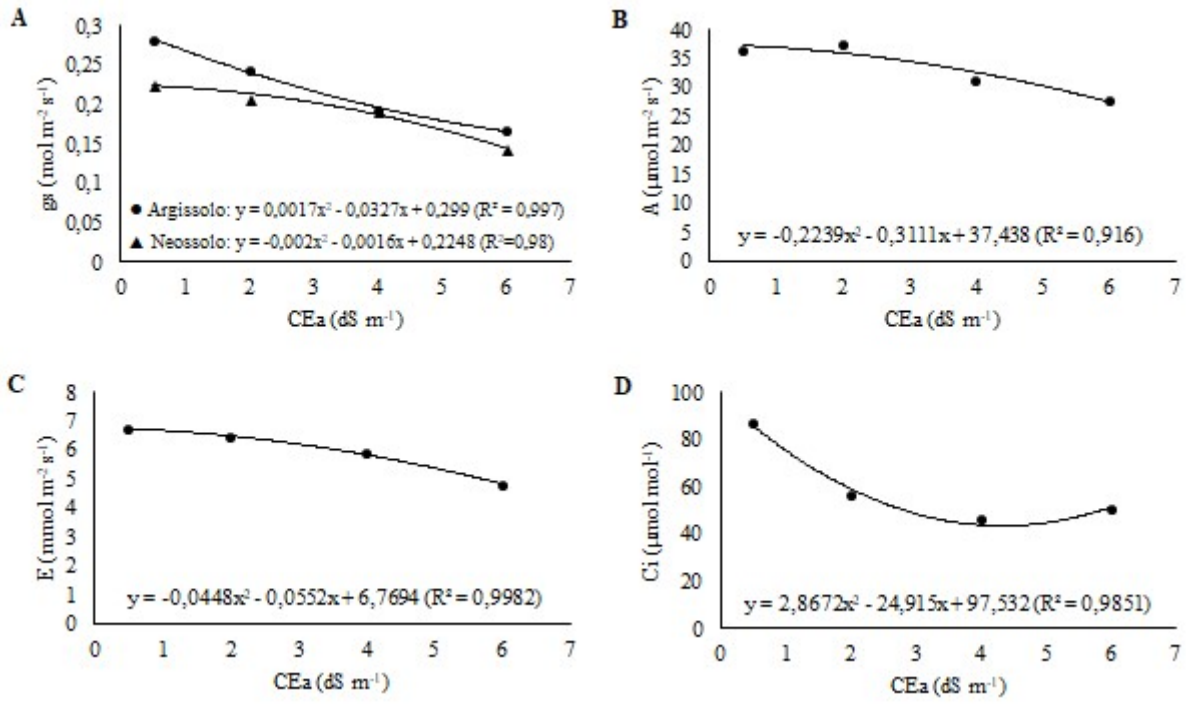

Figura 4. Condutância estomática: gs (A), fotossíntese: A (B), transpiração: E (C) e concentração interna de CO_2: Ci (D) em plantas de milho sob estresse salino e adubação nitrogenada em dois solos.

A E também foi reduzida com o incremento da salinidade da água de irrigação, apresentando perdas de 28,67 % quando submetida ao nível máximo da CEa. Plantas sob estresse salino geralmente apresentam redução do fluxo de água no sistema, devido à queda na gs, diminuindo o fluxo de vapor d'água para a atmosfera e, consequentemente, a transpiração, à medida em que se fecham os estômatos (GONÇALVES et al., 2010). Sousa et al. (2016) verificaram que a transpiração no milho foi afetada negativamente pela salinidade.

A Ci apresentou queda à medida que se elevou a concentração de sais da água de irrigação até 4,0 dS m^{-1}, com redução da Ci foi de 46,95 % em comparação ao controle, mostrando posteriormente um aumento com o nível mais alto da CEa, 6,0 dS m^{-1}. A queda da Ci está relacionada à menor gs, pois o aumento da concentração de sais no solo reduz o potencial osmótico da solução do mesmo, causa estresse hídrico e isso leva ao fechamento estomático, que resulta em uma limitação da concentração interna de CO_2. Assim, o fechamento estomático, em geral, reduz a gs, a Ci e a taxa de assimilação de CO_2 (MUSYIMI; NETONDO; OUMA, 2007). Já a o aumento posterior pode ser indício do efeito não estomático sobre a fotossíntese, no maior nível de salinidade.

Com a elevação da salinidade da água de irrigação, o conteúdo de prolina aumentou 25,59 % no maior nível salino em relação ao controle (Figura 5A). O acúmulo desse soluto nas plantas é um mecanismo adaptativo ao estresse, pois auxilia no controle do potencial osmótico celular, contribuindo diretamente para o ajuste osmótico celular e manutenção do equilíbrio hídrico. A prolina também desempenha outras funções como atividade antioxidante, ativação sistemas de desintoxicação, contribui para a homeostase celular, protege o equilíbrio redox, precursor de proteínas e fonte de energia para o processo de recuperação do estresse (NAHAR; HASANUZZAMAN; FUJITA, 2016). Além disso, protege a membrana plasmática regulando atividades de sistemas antioxidantes para minimizar a oxidação de lipídios e proteínas da membrana resultante do estresse oxidativo induzido pela salinidade (MANSOUR et al., 2015). Resultados semelhantes também foram encontrados por Molazem e Bashirzadeh (2015), que verificaram aumento na prolina foliar em variedades de milho sob estresse salino.

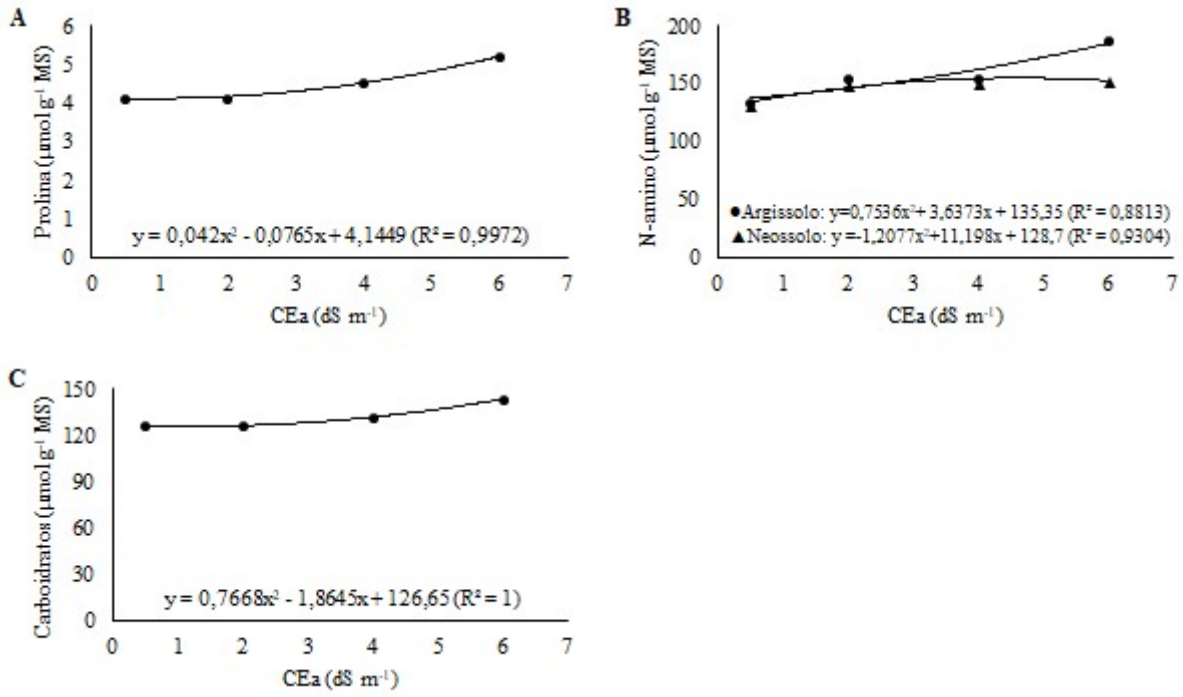

Figura 5. Teores foliares de prolina (A), N-aminossolúveis (B) e carboidratos solúveis (C) em plantas de milho sob estresse salino e adubação nitrogenada em dois solos.

O maior nível de salinidade da água de irrigação promoveu elevação no teor de N-aminossolúveis de 39,99 % no Argissolo e 15,46 % no Neossolo (Figura 5B). O N-amino também é um soluto compatível com as atividades metabólicas celulares que se acumula no

citosol, equilibrando o potencial hídrico entre os diversos compartimentos celulares (ASHRAF; HARRIS, 2013), podendo acumular-se nos tecidos das plantas em situação de estresse. Acúmulo de N-amino foliar em função da salinidade também foram registrados na cultura do milho por AZEVEDO NETO et al. (2004).

A salinidade elevou em até 13,61 % a concentração foliar de carboidratos solúveis nas plantas de milho (Figura 5C). Assim como no caso da prolina, esse aumento pode ser uma resposta das plantas à salinidade, estando diretamente envolvido no ajuste osmótico. Os solutos ditos compatíveis, incluindo os carboidratos, quando acumulados no citosol, não interferem nas reações bioquímicas das células (BENDALY et al., 2016), protegem enzimas, estruturas subcelulares, membranas biológicas e proteínas (SLAMA et al., 2015). Contudo, este aumento também pode ocorrer devido a uma maior degradação de amido e/ou menor consumo de açúcares pelos tecidos foliares. A acumulação de carboidratos pode estar relacionada a menor utilização desses solutos orgânicos quando o crescimento é inibido ou reduzido (MUNNS; WEIR, 1981) e também a inibição da atividade enzimática da sacarose sintase ou invertase (STURM; TAN, 1999). Lacerda et al. (2016) verificaram redução nos teores de carboidratos com incremento da CEa. No entanto, é mais comum se registrar aumento, como nos resultados encontrados por Gao et al. (2016), que verificaram que a salinidade aumentou o conteúdo de carboidratos solúveis no milho tanto em plantas sensíveis, quanto tolerantes.

CONCLUSÕES

De modo geral, o nitrogênio não atenua os efeitos da salinidade sobre as plantas de milho e embora tenha demonstrado respostas positivas na biomassa seca da raiz a adubação nitrogenada apresenta predominantemente efeitos isolados e dependência do tipo de solo.

REFERÊNCIAS

AMORIM, A. V.; GOMES FILHO, E.; BEZERRA, M. A.; PRISCO, J. T.; LACERDA, C. F. Respostas fisiológicas de plantas adultas de cajueiro anão precoce à salinidade. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, p.113-121, 2010.

ASCH, F.; DINGKUHN, M.; DORFFING, K. Salinity increases CO_2 assimilation but reduces growth in field grown irrigated rice. **Plant and Soil**, Netherlands, v.218, p.1-10, 2000.

ASHRAF, M.; HARRIS, P. J. C. Photosynthesis under stressful enviroments: An overview. **Photosynthetica**, v.51, p.163-190, 2013.

AZEVEDO NETO, A. D.; PRISCO, J. T.; ENÉAS-FILHO, J.; LACERDA, C. F.; SILVA, J. V.; COSTA, P. H. A.; GOMES-FILHO, E. Effects of salt stress on plant growth, stomatal response and solute accumulation of different maize genotypes. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.16, p.31-38, 2004.

BARHOUMI, Z; ATIA, A.; RABHI, M.; DJEBALL, W.; ABDELLY, C.; SMAOUI, A. Nitrogen and NaCl salinity effects on the growth and nutrient acquisition of the grasses *Aeluropus littoralis*, *Catapodium rigidum*, and *Brachypodium distachyum*. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.173, p.149-157, 2010.

BATES, L. S.; WALDREN, R. P.; TEARE, J. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and Soil**, v.39, p.205-207, 1973.

BENDALY, A.; MESSEDI, D.; SMAOUI, A.; KSOURI, R.; BOUCHEREAU, A.; ABDELLY, C. Physiological and leaf metabolome changes in the xerohalophyte species *Atriplex halimus* induced by salinity. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.103, p.208-218, 2016.

BERTOLLI, S. C.; SOUZA, J.; SOUZA, G. M. Caracterização fotossintética da espécie isohídrica pata-de-elefante em condições de deficiência hídrica. **Revista Caatinga**, v.28, p.196-205, 2015.

BRACCINI, M. C. L.; BRACCINI, A. L.; FOLONI, J. M.; SILVA, J. R. T. Produção de biomassa seca e teor de nutrientes do milho em resposta a doses e localização de osmocote em amostras de Latossolo vermelho-escuro e areia quartzosa. **Acta Scientiarum**, v.21, p.497-503, 1999.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F.; SOUZA, E. R.; FERREIRA, J. F.; SOUSA NETO, O. N.; QUEIROZ, I. S. R. Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F; GOMES FILHO, E. **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. 2ª ed. Fortaleza: INCTSal, 2016. cap. 11, p. 151-161.

DUBOIS, M.; GILLES, K. A.; HAMILTON, J. K.; REBERS, P. A.; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and realited substrance. **Analytical Chemistry**, v.28, p.350-356, 1956.

FEIJÃO, A. R.; MARQUES, E. C.; SILVA, J. C. B.; LACERDA, C. F.; PRISCO, J. T.; GOMES-FILHO, E. Nitrato modula os teores de cloreto e compostos nitrogenados em plantas de milho submetidas à salinidade. **Bragantia**, v.72, p.10-19, 2013.

FRAGA JÚNIOR, E. F.; MAURI, R.; LEAL, D. P. V.; BARBOSA, S. F.; VELLAME, L. M.; COELHO, R.D. Área foliar de citrus irrigado por gotejamento sob estresse hídrico contínuo e intermitente. **Irriga**, v.1, p.83-96, 2012.

GAO, Y.; LU, Y.; WU, M.; LIANG, E.; LI, Y., ZHANG, D.; YIN, Z.; REN, X.; DAI, Y.; DENG, D.; CHEN, J. Ability to remove Na^+ and retain K^+ correlates with salt tolerance in two maize inbred lines seedlings. **Frontiers in Plant Science**, v.7, p.1-15, 2016.

GOMES, K. R.; AMORIM, A. V.; FERREIRA, F. J.; A. FILHO, F. L.; LACERDA, C. F.; GOMES-FILHO, E. Respostas de crescimento e fisiologia do milho submetido a estresse salino com diferentes espaçamentos de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.365-370, 2011.

GONÇALVES, E. R.; FERREIRA, V. M.; SILVA, J. V.; ENDRES, L.; BARBOSA, T. P.; DUARTE, W. G. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a em variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.378-386, 2010.

LACERDA, C. F.; FERREIRA, J. F. S.; LIU, X.; SUAREZ, D. L. Evapotranspiration as a criterion to estimate nitrogen requirement of maize under salt stress. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v.202, p.192-202, 2016.

LIMA, G. S.; NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. A.; SILVA, A. O. Crescimento e componentes de produção da mamoneira sob estresse salino e adubação nitrogenada. **Revista Engenharia Agrícola**, v.34, p.854-866, 2014.

MALUF, H. J. G. M.; SOARES, E. M. B.; SILVA, I. R.; NEVES, J. C. L.; SILVA, M. F. O. Disponibilidade e recuperação de nutrientes de resíduos culturais em solo com diferentes texturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, p.1690-1702, 2015.

MANSOUR, M. M. F., SALAMA, K. H. A., ALLAM, H. Y. H., Role of the plasma membrane in saline conditions: lipids and proteins. **The Botanical Review**, v.81, 416-451, 2015.

MARTUSCELLO, J. A.; FONSECA, D. M.; NASCIMENTO JÚNIOR, D.; SANTOS, P. M.; CUNHA, D. N. F. V.; MOREIRA, L. M. Características morfogênicas e estruturais de capim-massai submetido a adubação nitrogenada e desfolhação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, p.665-671, 2006.

MELO, N. C.; FERNANDES, A. R.; GALVÃO, J. R. Crescimento e eficiência nutricional do nitrogênio em cultivares de milheto forrageiro na Amazônia. **Revista Caatinga**, v.28, p.68-78, 2015.

MOLAZEM, D.; BASHIRZADEH, A. Impact of salinity stress on proline reaction, peroxide activity, and antioxidant enzymes in maize (*Zea mays* L.). **Polish Journal of Environmental Studies**, v.24, p.597-603, 2015.

MORAIS. T. P.; BRITO, C. H.; FERREIRA, A. S.; LUZ, J. M. Q. Aspectos morfofisiológicos de plantas de milho e bioquímico do solo em resposta à adubação nitrogenada e à inoculação com *Azospirillum brasilense*. **Revista Ceres**, v.62, p.589-596, 2015.

MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v.59, p.651-681, 2008.

MUNNS, R.; WEIR, R. Contribution of sugars to osmotic adjustment in elongating and expanded zones of wheat leaves during moderate water deficit at two light levels. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.8, p.93-105, 1981.

MUSYIMI, D. M.; NETONDO, G. W.; OUMA, G. Effects of salinity on gas exchange and nutrients uptake in avocados. **Journal of Biological Sciences**, v.7, p.496-505, 2007.

NAHAR, K.; HASANUZZAMAN, M.; FUJITA, M. Roles of Osmolytes in Plant Adaptation to Drought and Salinity. In: IQBAL, N.; NAZAR, R.; KHAN, N. (Eds.). **Osmolytes and Plants Acclimation to Changing Environment: Emerging Omics Technologies**. India: Springer, 2016. P.37-68.

NASCIMENTO, R.; NASCIMENTO, D.A.M.; SILVA, D.A.; ALVES, A.G. Índice SPAD e partição de biomassa em plantas de feijão-caupi submetidas ao estresse salino. **Revista Educação Agrícola Superior**, v.27, p.128-132, 2012.

NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; SOARES, F. A. L.; CARDOSO, J. A. F. Produção do girassol sob estresse salino e adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.929-937, 2011.

OLIVEIRA, F. A.; MEDEIROS, J. F.; ALVES, R. C.; LINHARES, P. S. F.; MEDEIROS, A. M. A.; OLIVEIRA, M. K. T. Interação entre salinidade da água de irrigação e adubação nitrogenada na cultura da berinjela. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, p.480-486, 2014.

OLIVEIRA, F. A.; MEDEIROS, J. F.; CUNHA, R. C.; SOUZA, M. W. L.; LIMA, L. A. Uso de bioestimulante como agente amenizador do estresse salino na cultura do milho pipoca. **Revista Ciência Agronômica**, v.47, p.307-315, 2016.

OLIVEIRA, F. A.; OLIVEIRA, F. R. A.; CAMPOS, M. S.; DE OLIVEIRA, MYCHELLE, K. T.; MEDEIROS, J. F.; SILVA, O. M. P. Interação entre salinidade e fontes de nitrogênio no desenvolvimento inicial da cultura do girassol. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.5, p.479-484, 2010.

RHOADES, J. P. **Uso de águas salinas para a produção agrícola**. Campina Grande: UFPB, 2000. 117 p.

SANTOS, T. D.; MEERT, L.; BORGHI, W. A.; SILVA, P. S.; FIGUEIREDO, A. S. T. Desenvolvimento inicial de plantas de soja e qualidade de semeadura em função da velocidade de deslocamento da semeadora e textura do solo. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, v.10, p.97-103, 2017.

SHARMA, P. K.; HALL, D. O. Interaction of salt stress and photoinhibition on photosynthesis in barley and sorghun. **Journal of Plant Physiology**, v.138, p.614-619, 1991.

SILVA, E. N.; RIBEIRO, R. V.; SILVA, S. L. F.; VIÉGAS, R. A.; SILVEIRA, J. A. G. Comparative effects of salinity and water stress on photosynthesis, water relations and growth of Jatropha plants. **Journal of Arid Environments**, v.74, p.1130-1137, 2010.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**, v.11, p.3733-3740, 2016.

SILVA, F. L. B.; LACERDA, C. F.; NEVES, A. L. R.; SOUSA, G. G.; SOUSA, C. H. C.; FERREIRA, F. J. Irrigação com águas salinas e uso de biofertilizante bovino nas trocas gasosas e produtividade de feijão-de-corda. **Irriga**, v.18, p.304-317, 2013.

SILVA, J. L. A.; MEDEIROS, J. F.; ALVES, S. S. V.; OLIVEIRA, F. A.; SILVA JUNIOR, M. J.; NASCIMENTO, I. B. Uso de águas salinas como alternativa na irrigação e produção de forragem no semiárido nordestino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, (Suplemento), p.66-72, 2014.

SLAMA, I.; ABDELLY, C.; BOUCHEREAU, A.; FLOWERS, T.; SAVOURÉ, A. Diversity, distribution and roles of osmoprotective compounds accumulated in halophytes under abiotic stress. **Annals of Botany**, v.115, p.433-447, 2015.

SOUSA, G. G.; MARINHO, A. B.; ALBUQUERQUE, A. H. P.; VIANA, T. V. A.; AZEVEDO, B. M. Crescimento inicial do milho sob diferentes concentrações de biofertilizante bovino irrigado com águas salinas. **Revista Ciência Agronômica**, v.43, p.237-245, 2012.

SOUSA, G. G.; VIANA, T. V. A.; SILVA, G. L.; DIAS, C. N.; AZEVEDO, B. M. Interação entre salinidade e biofertilizante de caranguejo na cultura do milho. **Magistra**, v.28, p.44-53, 2016.

SOUZA, M. W. L.; CUNHA, R. C.; COSTA, P. A. A.; MOURA, I. N. B. M.; BEZERRA, F. M. S.; LIMA, L. A.; PEREIRA, L. A. F.; OLIVEIRA, F. A. Desenvolvimento inicial de milho doce e milho pipoca sob estresse salino. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v.10, p.65-72, 2014.

STEVENSON, F. J. Origin and distribution of nitrogen in soil. In: STEVENSON, F. J. et al. (Ed.). **Nitrogen in agricultural soils**. Madison: American Society of Agronomy, 1982. cap.1, p.1-39.

STURM, A.; TANG, G-Q. The sucrose-cleaving enzymes of plants are crucial for development, growth and carbon partitioning. **Trends in Plant Science**, v.4, p.401- 407, 1999.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819 p.

WANG, L.; LI, X. G.; LV, J.; FU, T.; MA, Q.; SONG, W.; WANG, Y. P. LI, F. M. Continuous plastic-film mulching increases soil aggregation but decreases soil pH in semiarid areas of China. **Soil and Tillage Research**, v.167, p.46-53, 2017.

WILLADINO, L.; CAMARA, T. R.; RIBEIRO, M. B.; AMARAL, D. O. J.; SUASSUNA, F.; SILVA, M. V. Mechanisms of tolerance to salinity in banana: physiological, biochemical, and molecular aspects. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.39, p.1-8, 2017.

YEMM, E. W.; COCKING, E. C. The determination of amino-acids with ninhydrin. **The Analyst**, v.80, p.209-213, 1955.

4 TEORES FOLIARES DE NUTRIENTES NO MILHO SOB ESTRESSE SALINO E ADUBAÇÃO NITROGENADA EM DOIS SOLOS

RESUMO

A salinidade pode reduzir a absorção dos nutrientes pelas plantas. No entanto, o aumento da adução nitrogenada é capaz minimizar os efeitos deletérios do estresse salino e promover o crescimento das culturas. Dessa forma, objetivou-se avaliar os efeitos da salinidade da água de irrigação e adubação nitrogenada sobre o acúmulo de solutos inorgânicos e eficiência do uso do nitrogênio em plantas de milho cultivadas em dois solos diferentes. O experimento foi realizado em casa de vegetação, utilizando-se colunas de solo (100 x 20 cm). Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado, com fatorial 2 x 2 x 4: dois solos (Argissolo e Neossolo), duas doses de nitrogênio (105 e 210 kg ha^{-1}) e quatro níveis de salinidade da água de irrigação (0,5; 2,0; 4,0 e 6,0 dS m^{-1}), com quatro repetições. Aos 67 dias após plantio foram analisados os teores foliares de Ca, Mg, K, N, Fe, Zn, Cu, Mn, Na e Cl. A salinidade apresentou efeito sem interação com solos e doses sobre os teores de Ca, Mg e K nas folhas de milho provocando redução dos teores. Já o Na aumentou linearmente nos dois solos avaliados. Também houve redução do N nas folhas, porém a redução foi menos pronunciada nas plantas que receberam a maior dose de nitrogênio. A medida que se elevou a concentração de sais da água de irrigação houve um aumento no teor foliar de Zn e Cu independentemente do solo estudado, sendo o aumento mais expressivo no Argissolo. No entanto para o Cu, houve uma tendência de redução próximo a CEa de 4,0 dS m^{-1}. As plantas que receberam a maior dose de N também apresentaram acréscimos nos teores de Zn e Cu com o aumento da salinidade, já as plantas que receberam a menor dose apresentaram queda dos teores de Zn e Cu a partir da CE de 4,0 dSm^{-1}. O teor de Mn nas folhas das plantas cultivadas no Argissolo foi maior quando receberam a maior dose de nitrogênio. O Fe e o Cl aumentaram com a salinidade, sendo maior teor de Cl encontrado no Argissolo. De maneira geral, a salinidade reduziu os teores de Ca, Mg, e N e aumentou os teores de Na, Zn, Cu, Mn, Fe e Cl. Porém os maiores incrementos ocorreram nas plantas cultivadas em Argissolo com a maior dose de nitrogênio. A salinidade reduziu a eficiência do uso do nitrogênio.

Palavras-chave: Salinidade. Nitrogênio. Argissolo. Neossolo.

NUTRIENT LEAF CONTENT IN MAIZE UNDER SALT STRESS AND NITROGEN FERTILIZATION IN TWO SOILS

ABSTRACT

Salinity may reduce nutrient uptake by plants, however increased nitrogen adduction may reduce the deleterious effects of saline stress and promote plant growth. Thus, the objective of this work was to evaluate the effects of irrigation water salinity and nitrogen fertilization on the accumulation of inorganic solutes and efficiency of nitrogen use in maize plants grown in different soils. The experiment was carried out in a greenhouse, using soil columns (100 x 20 cm). A completely randomized design with 2 x 2 x 4 factorial was used: two soils (Ultisol and Neosol), two nitrogen rates (105 and 210 kg ha^{-1} N) and four irrigation water salinity levels (0.5, 2, 4 and 6 dS m^{-1}), with four replicates. The leaf contents of Ca, Mg, Na, K, N, Fe, Zn, Cu, Mn and Cl were analyzed at 67 days after planting. The salinity presented an isolated effect on the accumulation of Ca, Mg and K in maize leaves, causing a reduction of its contents, while Na showed a linear increase in the two evaluated soils. There was also a reduction of N in the leaves, but the reduction was less pronounced in the plants that received the highest nitrogen rate. As the concentration of salts of the irrigation water increased, there was an increase in the leaf content of Zn and Cu in both soils, being the most expressive increase in the Ultisol. However for the Cu, there was a tendency of reduction near CEa of 4,0 dS m^{-1}. The plants that received the highest rate of N also presented increases in the contents of Zn and Cu with the increase of the salinity, whereas plants that received the lowest rate had a drop from the EC of 4.0 dS m^{-1}. The Mn content in the leaves of the plants cultivated in the Ultisol was higher when they received the higher rate of nitrogen. Fe and Cl increased with salinity, with higher Cl content found in Ultisol. In general, salinity reduced Ca, Mg, and N contents and increased Na, Zn, Cu, Mn, Fe and Cl, but the highest increases occurred in the plants grown in Ultisol with the highest nitrogen rate. In general, salinity reduces the efficiency of nitrogen use.

Keywords: Salinity. Nitrogen. Ultisol.

INTRODUÇÃO

As regiões semiáridas apresentam características climáticas bem definidas, como a distribuição temporal e espacial irregular das chuvas e taxas elevadas de evapotranspiração. Assim, é necessária a adoção da irrigação para que as culturas exploradas venham atingir desenvolvimento adequado e produtividades economicamente competitivas (ANDRADE et al., 2012).

Devido à pouca disponibilidade de recursos hídricos, a adoção de água de baixa qualidade tem sido uma alternativa para a continuidade da produção agrícola irrigada. Contudo, a irrigação associada ao manejo inadequado e drenagem deficiente pode levar ao processo de salinização do solo, o qual reduz o crescimento das plantas e a produtividade das culturas.

A salinidade, além de afetar as plantas em decorrência dos efeitos osmóticos e efeitos tóxicos (MUNNS; TESTER, 2008), também pode causar deficiência de nutrientes essenciais (FEIJÃO et al., 2013). A presença de íons em excesso pode impedir a absorção de elementos essenciais ao crescimento da planta, levando ao desbalanceamento nutricional (TESTER: DAVENPORT, 2003), pois a salinidade reduz a atividade dos íons em solução e altera os processos de absorção, transporte e assimilação de nutrientes na planta (FARIAS et al., 2009).

Quando o conteúdo de NaCl no solo é alto, a absorção de nutrientes, especialmente o NO_3^-, K^+ e Ca^{2+}, é reduzida (LARCHER, 2000). Isso ocorre devido, principalmente, à redução da disponibilidade pela competição na absorção e transporte dentro da planta, além da alteração da integridade estrutural e funcional da membrana plasmática e também da inibição da atividade de várias enzimas vitais ao metabolismo (ARAGÃO et al., 2010). Em solos salinos, a solubilidade de micronutrientes é particularmente baixa, podendo causar desequilíbrio nutricional às plantas e afetar seu crescimento (SOUSA et al., 2010).

O nitrogênio é o nutriente mais requerido para o crescimento e desenvolvimento das plantas (CHAVES; GHEYI; RIBEIRO, 2011). Sob condições de salinidade, observou-se influências na absorção, distribuição, assimilação e síntese de proteínas (ARAGÃO et al., 2010), indicando que o excesso de sais afeta a nutrição nitrogenada nas plantas. Em contrapartida o manejo adequado da adubação nitrogenada pode ser uma alternativa para atenuar o efeito da salinidade sobre as plantas (OLIVEIRA et al., 2014), pois o nitrogênio desempenha função estrutural, fazendo parte de diversos compostos orgânicos vitais para o vegetal, como aminoácidos, proteínas, prolina, entre outros (OLIVEIRA et al., 2010). Além disso, estudos têm demonstrado que existem evidências de competição na absorção entre

nitrato e cloreto, de modo que um aumento na concentração de nitrato na zona radicular pode resultar em menor absorção de cloreto pela planta (FLORES et al., 2002).

Diante do exposto, considerando-se a hipótese que a salinidade reduz a absorção dos nutrientes e o aumento da adução nitrogenada pode minimizar os efeitos deletérios do estresse salino e promover o crescimento das plantas, o objetivo do trabalho foi avaliar os efeitos da água de irrigação e adubação nitrogenada no acúmulo de solutos inorgânicos e eficiência do uso do nitrogênio em plantas de milho cultivadas em dois tipos de solo.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização do experimento

O trabalho foi realizado no período de abril a junho de 2016, em ambiente protegido do tipo casa de vegetação, localizado na área experimental da Estação Agrometeorológica do Departamento de Engenharia Agrícola (DENA), Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Fortaleza - CE. Segundo a classificação de Köppen o clima da região é do tipo Aw', tropical chuvoso, muito quente, com chuvas nas estações do outono e verão.

Para fins de caracterização os dados de temperatura, umidade relativa do ar e luminosidade no interior da casa de vegetação durante a condução da pesquisa foram monitorados utilizando-se um *Data Logger* instalado na parte central do experimento, programado para registrar os dados a cada 15 minutos. Para avaliação da luminosidade somente foram considerados os registros feitos entre as 6 e 18 h. A temperatura média diária variou de 25,8 a 31,6 °C, umidade relativa do ar de 64,1 a 91,8 % e a luminosidade de 5.231 a 18.535,1 Lux.

Delineamento experimental e tratamentos

No presente trabalho foi adotado o delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), com fatorial triplo 2x2x4, correspondendo a dois solos (ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico típico e NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico), duas doses de nitrogênio (210 e 105 kg ha^{-1} de N) e quatro níveis de salinidade da água de irrigação (0,5; 2,0; 4,0 e 6,0 dS m^{-1}), com quatro repetições, totalizando 64 unidades experimentais, na qual cada unidade experimental foi composta por uma planta por coluna de solo.

Coleta de solos e montagem das colunas

Os solos utilizados foram o ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico típico e NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico. Ambos coletados e separados de acordo com seus horizontes pedogenéticos, destorroados e peneirados em malha de 5 mm. Posteriormente foram caracterizados quanto aos seus atributos físicos e químicos.

As colunas de PVC (100 x 20 cm), nas quais as plantas foram cultivadas, receberam na parte interna uma camada de cola e areia para melhorar a aderência com o solo, diminuindo o

fluxo preferencial de água. A base foi fechada com uma tampa de PVC e acima foi feito um furo, onde colocou-se borracha de vedação e uma mangueira para a coleta da água drenada. Na montagem obedeceu-se a sequência dos horizontes dos solos como se encontravam no campo, compactando-os até a densidade de 1,53 g cm^{-3}. Todas as colunas receberam areia grossa nos primeiros 10 cm e o restante foi preenchido com os solos avaliados. Para o Argissolo a primeira camada (20 cm) correspondia ao horizonte A, a segunda (25 cm) ao horizonte E e a terceira (40 cm) ao horizonte B textural. Já para o Neossolo a primeira camada (20 cm) foi formada pelo horizonte A e a segunda (65 cm) pelo horizonte C.

Condução do experimento

A semeadura foi feita com três sementes do milho híbrido duplo BRS 2020 e após 10 dias fez-se o desbaste deixando uma planta por coluna. Na sequência se iniciou a aplicação das águas salinas com irrigação diária, mantendo uma fração de lixiviação de 15 %. A água de baixa salinidade foi obtida diluindo-se água de poço de CE 1,0 $dS.m^{-1}$ com água destilada até a CE de 0,5 dS m^{-1}. Os demais níveis salinos da água de irrigação foram preparados por meio da adição na água de poço de NaCl e $CaCl_2.2H_2O$ na proporção de 7:3, respectivamente.

A adubação com 2,62 g $coluna^{-1}$ de N na forma de ureia (210 e 105 kg ha^{-1} de N) e 1 g $coluna^{-1}$ K (80 kg ha^{-1} de K_2O) foi parcelada em quatro vezes: 15% 10 dias após a semeadura (DAS), 25% 25 DAS, 25% 40 DAS e 35% aplicado 55 DAS. A aplicação dos demais nutrientes consistiu no fornecimento durante a semeadura de 1,12 g $coluna^{-1}$ de P (90 kg ha^{-1} de P_2O_5) e de 1 g $coluna^{-1}$ da mistura de micronutrientes FTE Br 12 (1,8 % B; 0,8 % Cu; 2,0 % Mn; 0,1% Mo; 9,0% Zn; 7,1 % Ca e 5,7 % de S).

Variáveis analisadas

Solutos inorgânicos

Ao fim do experimento, 67 dias após plantio (DAP), no momento da coleta das plantas, selecionou-se as três primeiras folhas totalmente expandidas, contadas a partir do ápice de cada planta, e imediatamente após a retirada as mesmas foram embaladas, congeladas com nitrogênio líquido a -196 °C e acondicionadas em caixa térmica até a chegada ao laboratório, onde foram armazenadas no freezer para posterior análise. Depois as folhas

foram liofilizadas, em seguida trituradas em moinho do tipo Wiley e passadas em peneiras de malha de 1,0 mm.

Para a determinação dos teores foliares de cálcio, magnésio, sódio, potássio, ferro, zinco, cobre e manganês foi aproveitado o mesmo material vegetal liofilizado e moído utilizado para a determinação dos solutos orgânicos. Este material foi submetido à digestão úmida com o ácido nitroperclórico, HNO_3 + $HClO_4$ na proporção de 3:1 (EMBRAPA, 2009). Para tal, foram pesados 500 mg de amostra, transferido para tubo digestor e em seguida adicionado 8 mL da mistura ácida, mantendo a frio por um período de 4 horas. Depois, as amostras foram levadas ao bloco digestor aumentando-se a temperatura lentamente até 120ºC. Após o desprendimento do vapor castanho de NO_2 a temperatura foi elevada a 200 °C até cessar o desprendimento do vapor branco de $HClO_4$. Depois de resfriadas as amostras foram filtradas e o seu volume completado para 25 mL com água destilada.

A determinação dos teores de cálcio, magnésio, ferro, zinco, cobre e manganês foi realizada por espectrofotometria de absorção atômica (AOAC, 2005). A determinação dos teores de sódio e potássio foi realizado por fotometria de chama.

Nitrogênio

O teor de nitrogênio nas folhas foi determinado conforme metodologia descrita por Baethgen e Alley (1989). Inicialmente, amostras de 50 mg do tecido vegetal a ser analisado foram colocadas em tubos digestores (Kjeldahl), adicionado 1,1 g da mistura catalisadora (K_2SO_4 + $CuSO_4$ + Se, na proporção de 100:10:1) e 2 mL de ácido sulfúrico concentrado. Em seguida os tubos foram levados ao bloco digestor, onde a temperatura foi elevada gradualmente até 350°C para que ocorresse a mineralização das amostras. Quando as amostras apresentaram coloração esverdeada e sem resíduos de material não digerido, indicando o fim do processo de mineralização, os tubos foram retirados do bloco digestor e deixados em repouso para que ocorresse o resfriamento. Logo após, foi adicionado água deionizada ao conteúdo do tubo digestor e seu volume aferido em balão volumétrico para 25 mL. Na sequência, utilizando tubos de ensaio grandes foi adicionado 1 mL da amostra digerida convenientemente diluída, 5,5 mL da solução de Na^2HPO^4 a 0,1 M + $KNaC_4H_4O_6.4H_2O$ + NaOH a 5,4 %, 4 mL da solução de $C_7H_5NaO_3$ a 15 % + $Na_2[Fe(CN)_5NO].2H_2O$ a 0,03 e 2 mL da solução de NaClO a 0,31 %. Depois, os tubos foram agitados e transferidos para banho-maria a 37°C durante 15 minutos. As leituras foram feitas

em espectrofotômetro à 650 nm e os cálculos da concentração de nitrogênio total usando a equação para a curva padrão como referência.

Cloreto

A quantificação dos teores de cloreto nas folhas do milho foi realizada de acordo com a marcha analítica proposta por Gaines, Parker e Gascho (1984). Utilizando tubos de ensaio comuns, adicionou-se 3 mL do extrato base diluído de acordo com a necessidade e 0,5 mL da mistura de $Hg(SCN)_2$ a 13,2 mM dissolvido em metanol absoluto e $Fe(NO_3)_3.9H_2O$ a 20,2% dissolvido em água deionizada, na proporção de 4:1. Em seguida, os tubos foram agitados e deixados em repouso por 15 minutos. Na sequência as leituras foram realizadas em espectrofotômetro à 460 nm, tomando como "branco" um tubo de ensaio contendo 3 mL de água deionizada e 0,5 mL do reagente $Hg(SCN)_2$ - $Fe(NO_3)_3$. Os cálculos da concentração de cloreto tiveram como referência a equação obtida para a curva padrão e os resultados expressos em μmol de cloreto g^{-1} de matéria seca.

Eficiência do uso do nitrogênio

A eficiência do uso do nitrogênio (EUN) foi estimada a partir da relação entre a fotossíntese e a dose de nitrogênio aplicada (A/N-dose) e também por meio da divisão entre a fotossíntese e a concentração de nitrogênio na folha (A/N-foliar), conforme descrito por Lacerda et al. (2016).

Análise estatística

Os dados incialmente foram submetidos ao teste de Kolmogorov-Smirnov com a finalidade de se verificar a normalidade dos dados. Depois foi realizada a análise de variância pelo teste F para verificar os efeitos dos fatores isolados e também de suas interações. O teste de Tukey foi aplicado para a comparação dos tipos de solo e doses de nitrogênio. Já para os dados quantitativos, níveis de salinidade da água de irrigação, foi aplicado análise de regressão, sendo o melhor ajuste selecionado pelo maior coeficiente de determinação (R^2). As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software Assistat 7.7 (SILVA; AZEVEDO, 2016).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os teores foliares de nutrientes nas plantas de milho e a eficiência do uso de nitrogênio responderam de forma diferente aos níveis de salinidade da água de irrigação e aplicação de nitrogênio (Tabela 6). A salinidade influenciou todas as vaiáveis analisadas, enquanto os tipos de solo e as doses de nitrogênio afetaram os teores foliares de Ca, Mg e N a eficiência do uso do nitrogênio medida pela relação N/A-dose e A/N-foliar. Já para as interações o Mg e A/N-foliar mostraram significância para a interação entre solo e dose, o Na entre solo e salinidade, enquanto e o teor de N apresentou interação tripla.

Tabela 6. Resumo ANOVA pelo teste F e médias para os teores foliares de Ca, Mg, Na, K, N e eficiência do uso do nitrogênio: A/N-dose e A/N-foliar em plantas de milho sob estresse salino e adubação nitrogenada em dois solos.

	Ca	Mg	Na	K	N	A/N-dose	A/N-foliar
Tratamentos	---------- g kg^{-1} de MS ----------				mg g^{-1} MS	µmol CO_2 m^2 s^{-1}/g N	µmol CO_2 m^2 s^{-1}/mg g^{-1} N
Solo (A)	4,27*	39,07**	0,35^{ns}	0,82^{ns}	86,59**	4,93*	60,10**
Dose (B)	7,14*	61,32**	1,34^{ns}	0,81^{ns}	26,19**	570,32**	20,04**
Salinidade (C)	20,30**	11,39**	73,21**	24,03**	50,50**	29,05**	6,36**
AxB	0,86^{ns}	18,91**	0,01^{ns}	0,45^{ns}	3,06^{ns}	1,74^{ns}	12,33**
AxC	0,44^{ns}	2,47^{ns}	0,06*	0,09^{ns}	0,80^{ns}	0,37^{ns}	0,72^{ns}
BxC	1,51^{ns}	2,45^{ns}	1,19^{ns}	0,44^{ns}	0,99^{ns}	1.89^{ns}	0,89^{ns}
AxBxC	1,26^{ns}	1,43^{ns}	0,10^{ns}	0,39^{ns}	2,85*	2,18^{ns}	2,65^{ns}
CV	17,27	10,92	22,07	14,64	8,49	9,80	11,40
Argissolo	3,76 a	2,68 a	11,65 a	14,64 a	20,29 a	19,29 a	1,67 b
Neossolo	3,44 b	2,26 b	12,04 a	14,16 a	16,64 b	18,27 b	2,08 a
210 kg ha^{-1} N	3,81 a	2,74 a	11,46 a	14,64 a	19,47 a	13,29 b	1,75 b
105 kg ha^{-1} N	3,39 b	2,21 b	12,22 a	14,16 a	17,46 b	24,28 a	1,99 a

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$); ^{ns} não significativo ($p \geq 0,05$). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

O teor de Ca nas folhas do milho foi maior nas plantas cultivadas no Argissolo e naquelas que receberam a dose de nitrogênio de 210 kg ha^{-1} (Tabela 6). Solos com maior teor de argila exercem grande influência sobre as propriedades do solo, pois essa fração coloidal apresenta grande área superficial específica, densidade de carga elevada e, consequentemente, alta CTC, o que pode promover melhores condições químicas ao solo, favorecendo o aumento da disponibilidade e absorção de nutrientes pelas plantas. O aumento dos teores de nitrogênio no solo, em virtude do fornecimento da maior dose de N, resultou em incremento na concentração de cálcio na matéria seca foliar do milho. A elevação do teor de Ca em função do aumento da adubação nitrogenada pode estar relacionada à maior necessidade de cálcio nos grãos para formação de parede celular (ESPINDULA et al., 2010). Respostas semelhantes foram registradas na cultura do arroz (CARDOSO et al., 2015) e trigo (VIANA, 2007).

A eficiência do uso do nitrogênio estimada pela relação entre a fotossíntese e dose de nitrogênio aplicada (A/N-dose) respondeu significativamente ao tipo de solo utilizado e as doses de nitrogênio aplicadas (Tabela 6). No Argissolo a eficiência do uso do nitrogênio foi 5,28 % superior em comparação ao Neossolo, evidenciando que os atributos físico-químicos deste solo favoreceram a utilização do N pelas plantas nele cultivadas. Já em relação a adubação nitrogenada, as plantas adubadas com a menor dose de nitrogênio, 105 kg ha^{-1} de N, apresentaram uma eficiência do uso do nitrogênio 82,69 % acima daquelas plantas cultivadas sob fertilização com 210 kg ha^{-1} de N. Fernandes, Buzetti e Andrade (2005) verificaram que o aumento da dose de nitrogênio aplicada reduziu a eficiência do uso de nitrogênio de 6 cultivares de milho. De acordo com estes autores, geralmente, os aproveitamentos de N decrescem com o aumento das doses aplicadas, em vista do suprimento de N exceder as necessidades da cultura. Resultados semelhantes também foram encontrados por Carvalho et al. (2011), que constaram redução significativa da eficiência do uso do N de 28 híbridos de milho quando cultivados no maior nível de adubação nitrogenada.

A concentração de magnésio nas folhas de milho revelou interação significativa entre os solos e as doses de nitrogênio. Quando a dose de 210 kg ha^{-1} foi aplicada, o Argissolo apresentou plantas com maior teor foliar de Mg, enquanto para a adubação com 105 kg ha^{-1} não houve diferença significativa entre os solos (Tabela 7). Como já mencionado anteriormente, as características físicas e químicas favorecem o aumento de disponibilidade e absorção de nutrientes pelas plantas. Tanto no Argissolo quanto no Neossolo o maior fornecimento de nitrogênio para as plantas promoveu incremento na concentração de magnésio nas folhas das plantas de milho. Espera-se que, com a aplicação de N, os níveis de

clorofila nas folhas aumentem e, como consequência, a quantidade de Mg também aumenta (CARDOSO et al., 2015).

Tabela 7. Teor foliar de Mg em plantas de milho sob estresse salino e adubação nitrogenada em dois solos.

Solos	Doses de Nitrogênio	
	210 kg ha^{-1} N	105 kg ha^{-1} N
	Mg (g kg^{-1} de MS)	
Argissolo	3,10 aA	2,27 aB
Neossolo	2,38 bA	2,14 aB

As médias seguidas pela mesma letra minúsculas na coluna e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Na tabela 8 observa-se que a eficiência do uso do nitrogênio medida pela relação entre fotossíntese e teor de nitrogênio foliar (A/N-foliar) foi superior nas plantas cultivadas no Neossolo nas duas doses de N. Possivelmente, no Argissolo as doses de N excederam a necessidade da cultura, enquanto no Neossolo, a menor quantidade de N devido as perdas mais elevadas, favoreceram a A/N-foliar. No Argissolo a A/N-foliar não apresentou diferença estatística significativa entre as doses de N aplicadas, já no Neossolo, a A/N-foliar foi maior quando utilizada a dose de 105 kg ha^{-1} de N. Beche et al. (2014) verificaram que os maiores valores de eficiência do uso do nitrogênio foram obtidos nas menores doses de nitrogênio.

Tabela 8. Eficiência do uso do nitrogênio medida pela relação A/N-foliar em plantas de milho sob estresse salino e adubação nitrogenada em dois solos.

Solos	Doses de Nitrogênio	
	210 kg ha^{-1} N	105 kg ha^{-1} N
	A/N-foliar (μmol CO_2 m^2 s^{-1}/mg g^{-1} N)	
Argissolo	1,64 bA	1,69 bA
Neossolo	1,87 aB	2,30 aA

As médias seguidas pela mesma letra minúsculas na coluna e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A salinidade da água de irrigação afetou os teores foliares de cálcio nas plantas de milho (Figura 6A), provocando redução à medida que se elevou a CEa até aproximadamente 5

dS m^{-1}, depois houve aumento na concentração de cálcio nas folhas. Essa resposta pode ser explicada pelo fato da água de irrigação conter cálcio, sendo a sua concentração mais elevada nos maiores níveis de salinidade. Os teores deste macronutriente variaram de 3,12 a 4,61 g kg^{-1} MS de Ca^{2+}, com perdas de 32,42 % quando as plantas foram submetidas ao maior nível salino da água em comparação ao tratamento controle. A redução dos teores de cálcio no tecido da parte área das plantas de milho está relacionada com o aumento do teor Na^{+} no meio externo (GARCIA et al., 2007) ou SO_4^{2-} em excesso no solo (MARSCHNER, 1995).

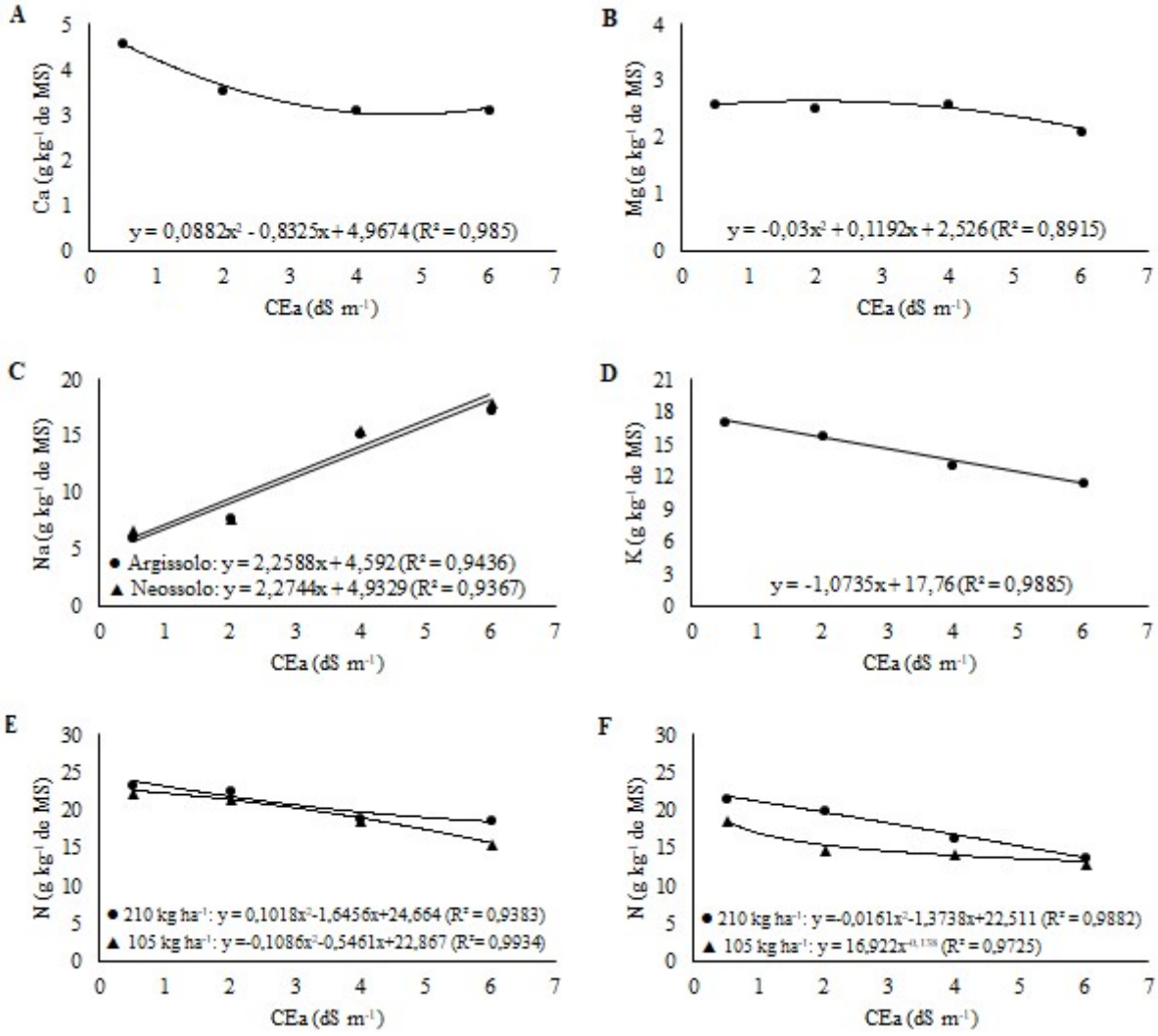

Figura 6. Teores foliares de cálcio (A), magnésio (B), sódio (C), potássio (D) e nitrogênio (Argissolo: E, Neossolo: F) em plantas de milho sob estresse salino e adubação nitrogenada em dois solos.

O aumento do teor de sódio no meio externo provoca deslocamento do cálcio do plasmalema das células radiculares, causando inibição da acumulação de cálcio nos tecidos

das plantas (AZEVEDO NETO; TABOSA, 2000), o que resulta em perda da integridade da membrana e efluxo citossólico de solutos orgânicos e inorgânicos (CRAMER; ALBERICO; SCHMIDT, 1994). Outros autores também verificaram diminuição do teor cálcio foliar em decorrência do incremento da salinidade da água de irrigação na cultura do milho (GARCIA et al, 2007) e do maracujá (FREIRE et al., 2013).

O teor de magnésio no tecido foliar do milho diminuiu durante o ciclo da cultura, notando-se uma redução de 18,31 % quando as plantas foram irrigadas com água de CE 6,0 dS m^{-1} em comparação ao tratamento controle (Figura 6B). Esse decréscimo está associado ao acúmulo excessivo de determinados íons, o que pode causar diminuição na aquisição de outros, devido às alterações na disponibilidade dos nutrientes, na competição no processo de absorção e transporte na planta (GURGEL et al., 2010). Isso evidencia o efeito danoso da salinidade sobre as plantas, que resulta em diminuição nos teores de macronutrientes catiônicos (BAGHALIAN et al., 2008).

O magnésio atua como co-fator de enzimas do metabolismo energético e na molécula de clorofila, além de ser requerido para a integridade dos ribossomos e contribui para a estabilidade estrutural dos ácidos nucléicos e membranas (TAIZ; ZEIGER, 2004). Avaliando-se os efeitos da salinidade sobre os teores nutricionais dos macronutrientes catiônicos na cultura do milho, Garcia et al. (2007) constaram decréscimo no teor de magnésio nas folhas com o aumento dos níveis de salinidade do solo. Freire et al. (2013) também verificaram que a elevação da salinidade da água promoveu decréscimos de 14,9 % nos teores foliares de magnésio no maracujazeiro.

Quanto à concentração de sódio no tecido foliar do milho, verificou-se efeito significativo para a interação entre solo e salinidade (Figura 6C). Equações lineares foram ajustadas para os dois solos avaliados, registrando-se aumento significativo nessa variável com o incremento dos níveis de salinidade da água de irrigação de 188,53 % para o Argissolo e 168,54 % no Neossolo quando se utilizou CEa de 6,0 dS m^{-1} em comparação ao controle, 0,5 dS m^{-1}.

O sódio é requerido pela maioria das espécies que utiliza as rotas C_4 de fixação de carbono, pois este íon está envolvido na transferência de metabólitos entre os cloroplastos das células do mesófilo e da bainha vascular das plantas (KORNDORFER, 2007). Além disso, o sódio parece ser vital para a regeneração do fosfoenolpiruvato, substrato da primeira carboxilação nas rotas C_4, estimula o crescimento por meio de uma maior expansão celular e substitui parcialmente o potássio como soluto osmoticamente ativo (LARCHER, 2000). Entretanto, o excesso de sódio, principalmente nas folhas, resulta na inibição do crescimento

em função de sua ação tóxica sobre o metabolismo celular (MUNNS, 2002). De forma semelhante ao observado neste trabalho, o aumento no teor foliar de sódio em plantas de milho sob estresse salino foi observado por Garcia et al. (2007), Oliveira et al. (2009), Sousa et al. (2010) e Feijão et al. (2013).

O aumento da salinidade da água de irrigação afetou negativamente os teores de potássio nas folhas das plantas de milho aos 67 DAP (Figura 6D), independentemente do tipo de solo e da dose de nitrogênio aplicada. Observa-se um decréscimo linear nos teores de K, com redução de 1,07 g kg^{-1} para cada aumento unitário dos níveis de salinidade. A menor absorção de potássio em plantas sob estresse salino é atribuída à competição entre o sódio e o potássio pelos sítios de absorção no plasmalema ou um maior efluxo de potássio das raízes, como resultado direto de trocas osmoticamente induzidas na permeabilidade do plasmalema, como também da substituição de cálcio por sódio na membrana (FERREIRA; TÁVORA; HERNANDEZ, 2001).

O aumento da concentração de sódio no meio radicular pode inibir a absorção de potássio devido a relação competitiva entre estes cátions monovalentes (KAWASAKI; AKIBA; MORITSUGU, 1983). Corroborando com este trabalho, Garcia et al. (2007) e Sousa et al. (2010) também encontraram respostas semelhantes, constatando que o teor de potássio nas folhas do milho foi reduzido com o aumento dos níveis salinos da água de irrigação. Já Freire et al. (2013) verificaram efeito similar na cultura do maracujá.

Para o teor de nitrogênio nas folhas do milho verificou-se efeito significativo para a interação tripla entre solo, dose e salinidade (Tabela 6). Desta forma, realizou-se o desdobramento com o intuito de avaliar o efeito da salinidade e das doses de nitrogênio, em cada tipo de solo. Para as doses de 210 e 105 kg ha^{-1} de N no Argissolo equações polinomiais de segunda ordem foram ajustadas, assim também como para a dose de 210 kg ha^{-1} de N no Neossolo, enquanto a dose de 105 melhor se ajustou a regressão com linha de tendência de potência.

A concentração crescente de sais na água de irrigação afetou significativamente os teores de nitrogênio nas folhas das plantas de milho aos 67 DAP nos dois solos, sendo essa resposta também dependente da dose de nitrogênio aplicada. Observa-se um decréscimo polinomial de segunda ordem no conteúdo de nitrogênio foliar nas plantas cultivadas no Argissolo, com perdas de 20,78 % na dose de 210 kg ha^{-1} de N e 29,75 % na dose de 105 kg ha^{-1} de N no nível salino mais alto quando comparado ao controle (Figura 6E). Enquanto no Neossolo a maior dose apresentou redução de 36,09 % e 30,38 % em relação à menor dose (Figura 6F), evidenciando maiores perdas no solo arenoso, notadamente na maior dose de N.

Também é possível verificar que a aplicação da maior dose do adubo nitrogenado resultou em teores mais elevados de nitrogênio na massa foliar do milho em comparação a menor dose em ambos os solos avaliados, sendo as diferenças mais evidentes no Neossolo.

O estresse salino pode inibir severamente a absorção e translocação do nitrogênio na planta, causando uma redução do teor deste nutriente em diferentes tecidos do milho (TURAN et al., 2010). De acordo com Bar et al. (1997), os teores de nitrogênio na matéria seca foliar das plantas são reduzidos com a salinidade devido ao aumento da absorção e consumo de cloreto pelas plantas, pois há um efeito antagônico entre os íons de nitrato e cloro. No entanto, a salinidade pode afetar, indiretamente, o processo de nitrificação (conversão do nitrogênio na forma amoniacal à forma nítrica) devido à diminuição do conteúdo de água decorrente do efeito osmótico ocasionado pelo excesso de sais (VAN HOORN et al., 2001).

O incremento gradual na concentração de sais na água de irrigação reduziu substancialmente a absorção e acúmulo de nitrogênio pelas plantas de milho, com redução máxima observada na salinidade da água de 6 dS m^{-1} (GADALLA et al., 2007). Respostas semelhantes na cultura do milho evidenciando o efeito da salinidade na diminuição do teor de nitrogênio nas folhas também foram verificadas por Garcia et al. (2005) e Ferreira et al (2007).

A salinidade provocou redução da eficiência do uso do nitrogênio mensurada pela relação A/N-dose a medida que se elevou a condutividade elétrica da água de irrigação (Figura 7A), com perdas no maior nível de salinidade quando comparado ao tratamento controle de 23,24 %. A eficiência do uso do nitrogênio medida pela relação A/N-foliar também sofreu uma queda com o aumento da salinidade (Figura 7B). As perdas foram de 16 % quando comparado o nível mais alto de salinidade com o tratamento controle. A diminuição da eficiência do uso no nitrogênio em decorrência da salinidade ocorre principalmente devido aos efeitos do estresse salino na absorção e no metabolismo do nitrogênio e na síntese e na degradação de proteínas (DLUZNIEWSKA et al., 2007). Resultados semelhantes na cultura do milho também foram encontrados em trabalho realizado por Lacerda et al. (2016), que verificaram redução da eficiência do uso do nitrogênio com o aumento da salinidade. Corroborando também com este trabalho, na cultura do girassol foi registrado resultados similares (FEIJÃO, 2017).

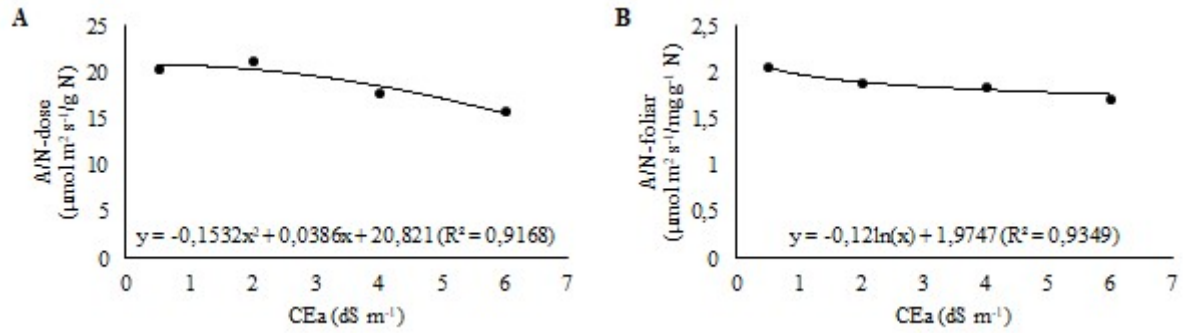

Figura 7. Eficiência do uso do nitrogênio estimada relação A/N-dose (A) e A/N-foliar (B) em plantas de milho sob estresse salino e adubação nitrogenada em dois solos.

De acordo com a análise de variância todos os teores de micronutrientes na folha foram influenciados significativamente pelo tipo de solo, exceto o ferro (Tabela 9). As doses de nitrogênio afetaram os teores foliares de ferro, zinco e cobre, enquanto a salinidade da água de irrigação apresentou significância para todos os micronutrientes avaliados. Os teores foliares de cobre e manganês, mostraram interação entre solo e doses de nitrogênio, já todos micronutrientes, exceto o ferro, apresentaram interação entre solo e salinidade, zinco e cobre interação entre dose e salinidade e o manganês interação tripla.

As doses de nitrogênio apresentaram efeito isolado sobre o teor de ferro na biomassa seca das folhas de milho, sendo a dose de 210 kg ha^{-1} N a que proporcionou maior concentração deste micronutriente (Tabela 9). O aumento do ferro foliar decorrente da aplicação da maior dose de nitrogênio possivelmente está relacionada a alteração do pH rizosférico, que pode ser influenciado pela aplicação de fertilizantes, especialmente fontes de nitrogênio (SOUZA et al., 2010), pois na nitrificação liberam H^+. A acidificação da rizosfera aumenta a eficiência na absorção de micronutrientes metálicos como o Fe, cuja disponibilidade é influenciada pelo pH (MORAGHAN; MASCANI JÚNIOR, 1991).

Os teores de cloreto nas folhas do milho não apresentaram efeitos relacionados as doses de nitrogênio e também não mostraram interação entre doses e salinidade (Tabla 9). Essa resposta evidencia que o aumento na oferta de nitrogênio não resulta necessariamente em redução na absorção de cloreto, embora o nitrato exerça efeito antagônico sobre o mesmo. De acordo com Parida e Das (2004), o estresse salino pode provocar redução na atividade da redutase do nitrato e essa redução também pode ser acompanhada de decréscimo nos níveis de nitrogênio total e na absorção de NO_3^- pelas plantas. Dessa forma, o comprometimento da atividade dessa enzima pode resultar em diminuição da absorção do nitrato, que por sua vez

pode ser perdido por lixiviação reduzindo o efeito antagônico sobre o cloreto, facilitando sua absorção pelas plantas.

Tabela 9. Resumo da ANOVA pelo teste F e médias para os teores foliares de Fe, Zn, Cu, Mn e Cl em plantas de milho sob estresse salino e adubação nitrogenada em dois solos.

Tratamentos	Fe	Zn	Cu	Mn	Cl
	---------- mg kg^{-1} de MS ----------				g kg^{-1} de MS
Solo (A)	$1,90^{ns}$	$17,88^{**}$	$4,63^{*}$	$8,79^{*}$	$11,61^{**}$
Dose (B)	$4,62^{*}$	$20,74^{**}$	$23,91^{**}$	$2,68^{ns}$	$0,94^{ns}$
Salinidade (C)	$4,12^{*}$	$14,25^{**}$	$8,44^{**}$	$50,53^{**}$	$4,69^{**}$
AxB	$0,06^{ns}$	$0,90^{ns}$	$31,16^{**}$	$5,90^{*}$	$1,66^{ns}$
AxC	$0,62^{ns}$	$13,80^{**}$	$7,64^{**}$	$3,91^{*}$	$5,82^{**}$
BxC	$0,48^{ns}$	$4,12^{*}$	$3,78^{*}$	$0,53^{ns}$	$0,08^{ns}$
AxBxC	$2,53^{ns}$	$1,54^{ns}$	$0,16^{ns}$	$3,27^{*}$	$0,20^{ns}$
CV	19,17	26,13	33,08	26,42	15,49
Argissolo	165,88 a	68,20 a	2,83 a	81,78 a	1,75 a
Neossolo	155,27 a	51,64 b	2,37 b	67,19 b	1,54 b
210 kg ha^{-1} N	168,85 a	68,84 a	3,13 a	78,52 a	1,68 a
105 kg ha^{-1} N	152,30 b	51,01 b	2,07 b	70,46 a	1,61 a

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$); ^{ns} não significativo ($p \geq 0,05$). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Os teores foliares de cobre nas plantas de milho responderam significativamente a interação entre solos e doses de nitrogênio. Observa-se na tabela 10 que para a dose de 210 kg ha^{-1} o Argissolo mostrou o maior teor de Cu, em contrapartida para a menor dose o Neossolo apresentou melhor resultado. Já em relação aos solos, no Argissolo a maior dose obteve maior acúmulo nas folhas deste micronutriente, enquanto no Neossolo, não houve diferença estatística significativa.

Tabela 10. Teor foliar de Cu em plantas de milho sob estresse salino e adubação nitrogenada em dois solos.

Solos	Doses de Nitrogênio	
	210 kg ha^{-1} N	105 kg ha^{-1} N
	Cu (mg kg^{-1} de MS)	
Argissolo	3,96 aA	1,70 bB
Neossolo	2,29 bA	2,44 Aa

As médias seguidas pela mesma letra minúsculas na coluna e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A salinidade afetou significativamente o teor zinco nas folhas de milho, provocando aumento nos dois solos avaliados e também nas duas doses de nitrogênio aplicadas (Figura 8A e 8B). Houve incremento de zinco foliar no nível máximo da condutividade elétrica da água de irrigação em comparação ao tratamento controle de 153,36 % e 39,98 % no Argissolo e Neossolo, respectivamente. Em relação as doses de nitrogênio o acréscimo foi de 86,92 % na dose de 210 kg ha^{-1} de N e 48,94 % na dose de 105 kg ha^{-1} de N. O menor teor foliar de zinco nas plantas cultivadas no Neossolo pode estar relacionado, segundo Valladares et al. (2009), com a lixiviação deste nutriente nos solos arenosos com baixos teores de matéria orgânica, que causa deficiência levando a sérios distúrbios na nutrição vegetal.

A dose de nitrogênio de 210 kg ha^{-1} propiciou maior acúmulo de zinco nas folhas em relação a dose de 105 kg ha^{-1}, evidenciando o efeito positivo da adubação nitrogenada na absorção deste micronutriente. Ferreira (1997) destaca que o crescimento das plantas de milho, promovido pela aplicação de doses elevadas de nitrogênio, resulta na diluição do zinco na planta podendo provocar sua deficiência, se fazendo necessário o uso do zinco na adubação da cultura. Neste trabalho houve fornecimento de zinco, proporcionando suprimento adequando deste elemento resultando em acúmulo significativo nas folhas. Em trabalho realizado por Sousa et al. (2010) também foi observado que com o aumento dos níveis salinos da água de irrigação ocorreu incremento dos teores de zinco nas folhas do milho.

Para os teores de cobre nas folhas do milho verificou-se efeito da interação entre os tipos de solo e salinidade e também entre as doses de nitrogênio e a salinidade da água de irrigação (Figura 8C e 8D). O Argissolo apresentou aumento polinomial de 169,05 % no teor foliar de cobre das plantas de milho no maior nível de salinidade em comparação ao menor nível, enquanto o Neossolo teve aumento de apenas 8,23 %. As doses de nitrogênio ajustaram-se ao modelo de regressão polinomial, mostrando acréscimo de 110,20 % e 39,06

% no teor foliar de cobre quando irrigado com água de CE 6,0 dS m^{-1} em relação ao tratamento controle, 0,5 dS m^{-1}, na maior e menor dose, respectivamente.

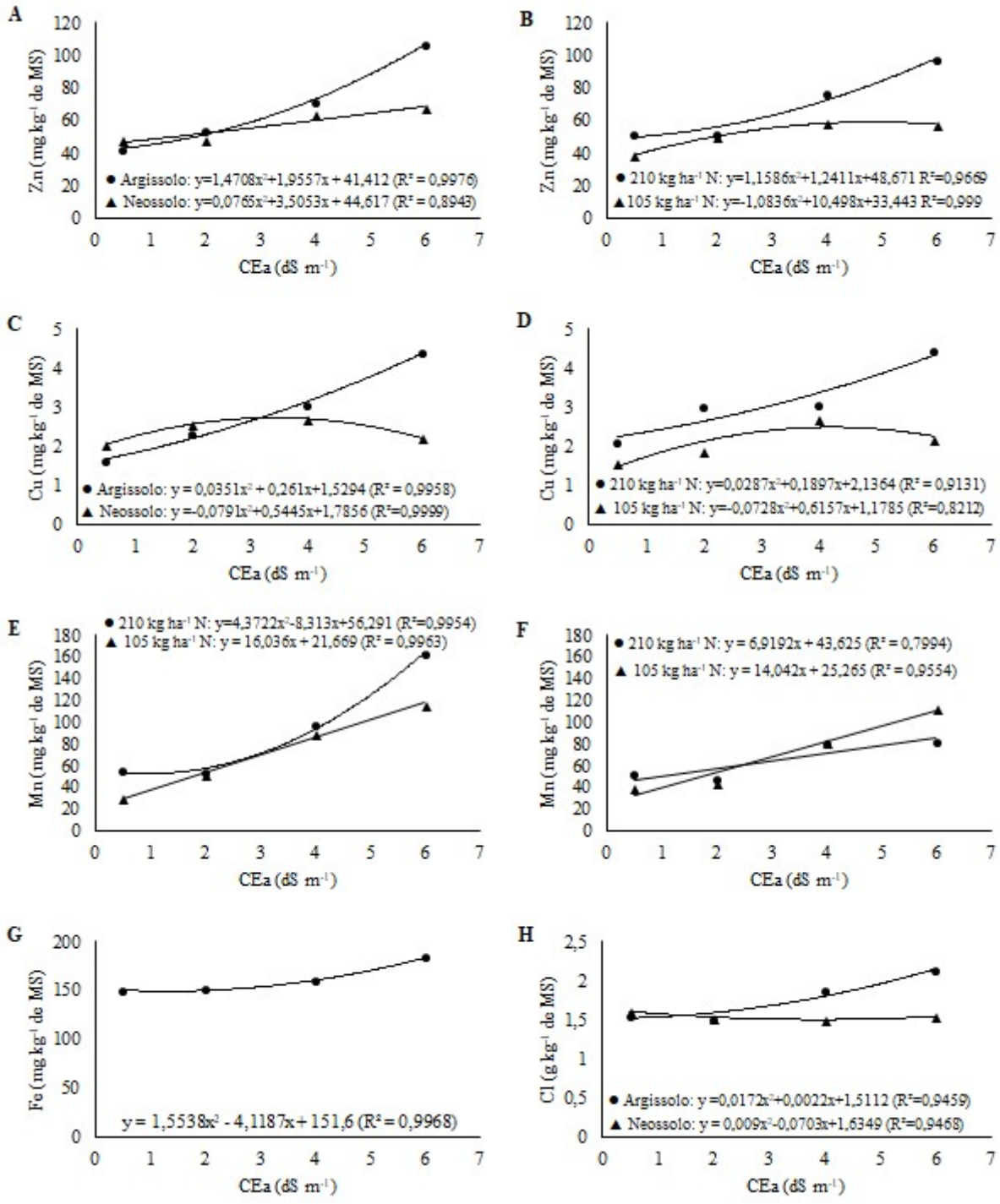

Figura 8. Teores foliares de zinco (A, B), cobre (C, D), manganês (Argissolo: E, Neossolo: F), ferro (G) e cloro (H) em plantas de milho sob estresse salino e adubação nitrogenada em dois solos.

Além da parte vegetativa, de acordo com Dechen e Nachtigall (2007), o cobre pode se acumular em órgãos reprodutivos dependendo da espécie da planta. No entanto, o estresse salino ocasionado por irrigações com água salina pode causar variações nos teores de cobre, podendo resultar em desbalanço nos teores desse íon nas plantas (Grattan e Grieve, 1999). O aumento nos teores de cobre nos tecidos das plantas em decorrência dos níveis crescentes de sais da água de irrigação foi documentado na cultura do milho por Sousa et al. (2010) e também foi observado no feijão-de-corda por Sousa et al. (2007).

O aumento dos níveis de salinidade da água exerceu efeitos significativos no acúmulo de manganês nas folhas do milho. Houve interação tripla para esta variável, então optou-se por fazer o desmembramento do fator solo para verificar o efeito das doses de nitrogênio e da salinidade sobre o teor foliar de manganês em cada um dos solos (Figuras 8E e 8F). No Argissolo observa-se acréscimos de 195,66 % e 287,55 % para a dose de 210 e 105 kg ha^{-1} de N, respectivamente. Já no Neossolo a maior dose apresentou aumento de 60,68 % e a menor 184,07 %.

O aumento da salinidade propicia incremento dos teores foliares de manganês nas plantas se o pH do meio não for elevado (SOUSA et al., 2010), pois a elevação do pH a valores superiores a 6 contribui para o aparecimento de deficiências de micronutrientes (LIMA et al., 2000), uma vez que a faixa de pH do solo favorável à disponibilidade desses micronutrientes varia de 4,0 a 6,5 (SOUSA et al., 2007). O Mn atua no fotossistema II na oxidação da molécula da água, além de constituir moléculas de superóxido dismutase, enzima atuante no mecanismo e proteção contra radicais livres. A sua deficiência provoca significativos prejuízos nas reações de hidrólise da água, fotofosforilação, fixação do CO2 e redução do nitrato e nitrito, cujo doador de elétrons em ambos os processos é a ferredoxina (ALMEIDA et al., 2014). Resultados semelhantes foram encontrados por Sousa et al. (2010).

A salinidade aumentou a concentração no íon ferro nas folhas de milho, apresentando um acréscimo polinomial de 22,50 % quando as plantas foram irrigadas com CEa de 6,0 dS m^{-1} em comparação com a água de CE 0,5 dS m^{-1} (Figura 8G). Este micronutriente catalisa a biossíntese da clorofila, visto que faz parte de enzimas responsáveis pela sua formação (DECHEN; NACHTIGALL, 2007). Corroborando com este trabalho, Grattan e Grieve (1999) observaram que a salinidade aumentou a concentração do íon Fe nas folhas, Sousa et al. (2007) em casa de vegetação e Neves et al. (2009) em condições de campo observaram aumento nos teores foliares de Fe em função dos níveis salinos da água de irrigação em feijão-de-corda.

O incremento da concentração de sais na água afetou significativamente os teores de cloro nas folhas de milho aos 67 DAP (Figura 8H), verificando-se um aumento polinomial de segunda ordem de até 36,71 % no Argissolo à medida que se elevou os níveis de salinidade da água de irrigação, enquanto no Neossolo não houveram acréscimos significativos. Esse resultado possivelmente ocorreu devido ao fato do Neossolo ter apresentado menor acúmulo de cloreto, assim como mostrou menor CEes e menor acúmulo de sódio em relação ao Argissolo. O acúmulo de cloreto, bem como de sódio, nos diferentes tecidos das plantas cresce significativamente com o aumento da condutividade elétrica da água aplicada ou níveis de salinidade, sendo um dos principais motivos causadores do desequilíbrio nutricional (FAROOQ, et al., 2015).

O íon Cl é essencial no processo de libertação de O_2 por cloroplastos isolados, no fotossistema II (DECHEN; NACHTIGALL, 2007), nas reações de quebra da molécula de água na fotossíntese, pelas quais o oxigênio é produzido (CLARKE; EATON-RYE, 2000) e pode ser necessário para a divisão celular, tanto em folhas quanto em raízes (HARLING et al., 1997). No entanto, a maioria das plantas geralmente absorvem cloro acima dos níveis necessários ao seu metabolismo, o que pode causar toxicidade, além do efeito antagônico, especialmente em relação a absorção de nitrogênio (FERREIRA et al., 2007). Esse efeito ocorre devido à competição direta entre os íons Cl^- e NO_3^- pelo mesmo transportador e/ou a alterações na integridade da membrana (ARAGÃO et al., 2010).

Os resultados encontrados neste trabalho são semelhantes aos apresentados por Ferreira et al. (2007), Isla e Aragues (2010) e Sousa et al. (2010), que verificaram na mesma cultura aumento no teor cloro nas folhas à medida que se elevou a condutividade elétrica da água de irrigação.

CONCLUSÕES

O tipo de solo e as doses de nitrogênio não influenciaram o acúmulo de Ca, Mg e K nas folhas de milho sob estresse salino. No entanto, o Argissolo com a maior dose de nitrogênio resulta em maior teor foliar de Ca e Mg, mas independentemente da salinidade.

O Argissolo e a maior dose de nitrogênio, no geral, proporcionaram maior acúmulo de nitrogênio e micronutrientes nas folhas do milho em condições de salinidade. Entretanto, este solo favoreceu aumento na absorção de cloreto, enquanto o incremento na adução nitrogenada não implica em redução da quantidade absorvida desse íon pelas plantas.

De maneira geral, a salinidade reduz a eficiência do uso do nitrogênio tanto na A/N-dose, quanto na A/N-foliar. O tipo de solo e as doses de nitrogênio também interferem na eficiência do uso do nitrogênio, porém esses efeitos ocorrem independentemente da salinidade.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, E. I. B.; NÓBREGA, G. N.; CORRÊA, M. C. M.; PINHEIRO, E. A. R.; ARAÚJO, N. A. Crescimento e marcha de absorção de micronutrientes para a cultivar de melancia Crimson Sweet. **RevistaAgroambiente**, v.8, p.74-80, 2014.

ANDRADE, T. S.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; MONTENEGRO, A. A. A.; RODRIGUES, D. F. B. Variabilidade espaço-temporal da condutividade elétrica da água subterrânea na região semiárida de Pernambuco. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.496-504, 2012.

ARAGÃO, R. M.; SILVEIRA, J. A. G.; SILVA, E. N.; LOBO, A. K. M.; DUTRA, A. T. B. Absorção, fluxo no xilema e assimilação do nitrato em feijão-caupi submetido à salinidade. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, p.100-106, 2010.

ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 18. ed. Maryland: AOAC, 2005.

AZEVEDO NETO, A. D.; TABOSA, J. N. Estresse salino em plântulas de milho: Parte II distribuição dos macronutrientes catiônicos e suas relações com o sódio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, p.165-171, 2000.

BAETHGEN, W. E.; ALLEY, M. M. A manual colorimetric procedure for measuring ammonium nitrogen in soil and plant Kjeldahl digests. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.20, p.961-969, 1989.

BAGHALIAN, K.; HAGHIRY, A.; NAGHAVI, M. R.; MOHAMMADI, A. Effect of saline irrigation water on agronomical and phytochemical characters of chamomile (*Matricaria recutita* L.). **Scientia Horticulturae**, v.116, p.437-441, 2008.

BAR, Y.; APELBAUN, A.; KAFKAFI, U.; GOREN, R. Relationship between chloride and nitrate and its effect on growth and mineral composition of avocado and citrus plants. **Journal of Plant Nutrition**, v.20, p.715-731, 1997.

BECHE, E.; BENIN, G.; BORNHOFEN, E.; DALLÓ, S. C.; SASSI, L. H. S.; OLIVEIRA, R. Eficiência de uso de nitrogênio em cultivares de trigo pioneiras e modernas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.49, p.948-957, 2014.

CARDOSO, E. A.; SOUZA, M. A.; FONTES, P. C. R.; SEDIYAMA, T. Fertilização Nitrogenada na absorção de nutrientes e rendimento de grãos em arroz irrigado. **Agri environmental Science**, v.1, p.39-49, 2015.

CARVALHO, E. V.; AFFÉRRI, F. S.; PELUZIO, J. M.; LEÃO, F. F.; CANCELLIER, L. L.; DOTTO, M. A. Eficiência e uso do nitrogênio em híbridos experimentais de milho do programa de melhoramento da Universidade Federal do Tocantins. **Bioscience Journal**, v.27, p.392-403, 2011.

CHAVES, L. H. G.; GHEYI, H. R.; RIBEIRO, S. Consumo de água e eficiência do uso para cultivar de mamona paraguaçu submetida à fertilização nitrogenada. **Engenharia Ambiental**, v.8, p.126-133, 2011.

CLARKE, S. M.; EATON-RYE, J. J. Amino acid deletions in loop C of the chlorophyll a binding protein CP47 alter the chloride requirement and/or prevent the assembly of photosystem II. **Plant molecular biology**, v.44, p.591-601, 2000.

CRAMER, G. R.; ALBERICO, G. J.; SCHMIDT, C. Leaf expansion limits dry matter accumulation of salt-stressed maize. **Australian Journal of Plan Physiology**, v.21, p.675 692, 1994.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. **Micronutrientes**. In: FERNANDES, M. S. Nutrição mineral de plantas. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. Cap. 13, p. 328-352.

DLUZNIEWSKA, P.; GESSLER, A.; DIETRICH, H.; SCHNITZLER, J. P.; TEUBER, M.; RENNENBERG, H. Nitrogen uptake and metabolism in *Populus* x *canescens* as affected by salinity. **New Phytologist**, v.173, p.279-93, 2007.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2 ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.

ESPINDULA, M. C.; CAMPANHARO, M.; ROCHA, V. S.; MONNERAT, P. H.; FAVARATO, L. F. Composição mineral de grãos de trigo submetidos a doses de sulfato de amônio e trinexapac-etil. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.40, p.513-520, 2010.

FARIAS, S. G. G.; SANTOS, D. R.; FREIRE, A. L. O.; SILVA, R. B. E. Estresse salino no crescimento inicial e nutrição mineral de Gliricídia (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunt ex Steud) em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1499-1505, 2009.

FAROOQ, M.; HUSSAIN, M.; WAKEEL, A.; SIDDIQUE, K. H. M. Salt stress in maize: effects, resistance mechanisms, and management. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v.35, p.461-481, 2015.

FEIJÃO, A. R. **Influência de diferentes fontes de nitrogênio na tolerância de plantas de girassol ao estresse salino**. 2017. 115f. Tese (Doutorado em Bioquímica), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

FEIJÃO, A. R.; MARQUES, E. C.; SILVA, J. C. B.; LACERDA, C. F.; PRISCO, J. T.; GOMES-FILHO, E. Nitrato modula os teores de cloreto e compostos nitrogenados em plantas de milho submetidas à salinidade. **Bragantia**, v.72, p.10-19, 2013.

FERNANDES, F. C. S.; BUZETTI S.; ARF, O.; ANDRADE, J. A. C. Doses, eficiência e uso de nitrogênio por seis cultivares de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.4, p.195-204, 2005.

FERREIRA, A. C. B. **Efeitos da adubação com N, Mo e Zn sobre a produção, qualidade de grãos e concentração de nutrientes no milho**. Viçosa, 1997. 73f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

FERREIRA, P. A.; GARCIA, G. O.; NEVES, J. C. L.; MIRANDA, G. V.; SANTOS, D. B. Produção relativa do milho e teores folheares de nitrogênio, fósforo, enxofre e cloro em função da salinidade do solo. **Revista Ciência Agronômica**, v.38, p.7-16, 2007.

FERREIRA, R. G.; TÁVORA, F. J. A. F.; HERNANDEZ, F. F. F. Distribuição da matéria seca e composição química das raízes, caule e folhas de goiabeira submetida a estresse salino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.79-88, 2001.

FLORES, P.; BOTELLA, ANGELES, M.; MARTÍNEZ, V.; CERDÁ, A. Response to salinity of tomato seedlings with a split-root system: Nitrate uptake and reduction. **Journal of Plant Nutrition**, v.25, p.177-187, 2002.

FREIRE, J. L. O.; CAVALCANTE, L. F.; NASCIMENTO, R.; REBEQUI, A. M. Teores de clorofila e composição mineral foliar do maracujazeiro irrigado com águas salinas e biofertilizante. **Revista de Ciências Agrárias**, v.36, p.57-70, 2013.

GADALLA, A. M.; HAMDY, A.; GALAL, Y. G. M.; AZIZ, H. A. A.; MOHAMED, M. A. A. Evaluation of maize growth under salinity stress and N application strategies using stable nitrogen isotope. **African Crop Science Conference Proceedings**, v.8, p.1553-1562, 2007.

GAINES, T. P.; PARKER, M. B.; GASCHO, G. J. Automated determination of chlorides in soil and plant tissue by sodium nitrate. **Agronomy Journal**, v.76, p.371-374, 1984.

GARCIA, G. O.; FERREIRA, P. A.; MIRANDA, G. V.; NEVES, J. C. L.; MORAES, W. B.; SANTOS, D.B. Teores foliares dos macronutrientes catiônicos e suas relações com sódio em plantas de milho sob estresse salino. **Idesia**, v.25, p.93-106, 2007.

GARCIA, G. O.; FERREIRA, P. A.; SANTOS, D. B.; OLIVEIRA, F. G.; MIRANDA, G. V. Estresse salino em plantas de milho: I - macronutrientes aniônicos e suas relações com o cloro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Suplemento, p.26-30, 2005.

GRATTAN, S. R.; GRIEVE, C. M. Salinity mineral relations in horticultural crops. **Scientia Horticulturae**, v.78, p.127-157, 1999.

GURGEL, M. T.; UYEDA, C. A.; GHEYI, H. R.; OLIVEIRA, F. H. T.; FERNANDES, P. D.; SILVA, F. V. Crescimento de meloeiro sob estresse salino e doses de potássio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.3-10, 2010.

HARLING, H.; CZAJA, L.; SCHELL, J.; WALDEN, R. A plant cation-chloride co transporter promoting auxin-independent tobacco protoplast division. **EMBO Journal**, v.16, p.5855-5866, 1997.

ISLA, R.; ARAGUES, R. Yield and plant ion concentrations in maize (*Zea mays* L.) subject to diurnal and nocturnal saline sprinkler irrigations. **Field Crops Research**, v.116, p.175-183, 2010.

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, 75-85, 1983.

KORNDORFER, G. H. **Elementos benéficos**. In: FERNANDES, M. S. Nutrição mineral de plantas. Viçosa: SBCS, 2007. cap.14, p.355-370.

LACERDA, C. F.; FERREIRA, J. F. S.; LIU, X.; SUAREZ, D. L. Evapotranspiration as a criterion to estimate nitrogen requirement of maize under salt stress. Journal of Agronomy and Crop Science, v.202, p.192-202, 2016.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. Rima Artes e Textos: São Carlos, 2000. 531 p.

LIMA, D. V.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A. E.; MORAIS, A. R.; CURI, N.; HIGA, N. T. Macro e micronutrientes no crescimento do braquiarão e da soja em Latossolos sob cerrado da região de Cuiabá - MT. **Ciência e Agrotecnologia**, v.24, p.96-104, 2000.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plant**. 2. ed. Academy: New York, 1995. 889 p.

MORAGHAN, J. T.; MASCAGNI JÚNIOR, H. J. Environmental and soil factors affecting micronutrient deficiencies and toxicities. In: MORTVEDT, J. J.; COX, F. R.; SHUMAN, L. M.; WELCH, R. M. (Ed.) Micronutrients in agriculture. 2.ed. Madison: SSSA, 1991. p.371-425.

MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, Cell and Environment**, v.25, p.239-250, 2002.

MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v.59, p.651-681, 2008.

NEVES, A. L. R.; LACERDA, C. F.; GUIMARÃES, F. V. A.; HERNANDEZ, F. F. F.; SILVA, F. B.; PRISCO, J. T.; GHEYI, H. R. Acumulação de biomassa e extração de nutrientes por plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento. **Ciência Rural**, v.39, p.758- 765, 2009.

OLIVEIRA, F. A.; MEDEIROS, J. F. DE.; OLIVEIRA, M. K. T.; LIMA, C. J. G. S.; ALMEIDA JÚNIOR, A. B.; AMÂNCIO, M. G. Desenvolvimento inicial do milho-pipoca irrigado com água de diferentes níveis de salinidade. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.4, p.149-155, 2009.

OLIVEIRA, F. A.; MEDEIROS, J. F.; ALVES, R. C.; LINHARES, P. S. F.; MEDEIROS, A. M. A.; OLIVEIRA, M. K. T. Interação entre salinidade da água de irrigação e adubação nitrogenada na cultura da berinjela. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, p.480-486, 2014.

OLIVEIRA, F. A.; OLIVEIRA, F. R. A.; CAMPOS, M. S.; OLIVEIRA, M. K. T.; MEDEIROS, J. F.; SILVA, O. M. P. Interação entre salinidade e fontes de nitrogênio no desenvolvimento inicial da cultura do girassol. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.5, p.479-484, 2010.

PARIDA, A. K.; DAS, A. B. Effects of NaCl stress on nitrogen and phosphorous metabolism in a true mangrove *Bruguiera parviflora* grown under hydroponic culture. **Journal of Plant Physiology**, v.161, p.921-928, 2004.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**, v.11, p.3733-3740, 2016.

SOUSA, G. G.; LACERDA, C. F.; CAVALCANTE, L. F.; GUIMARÃES, F. V. A.; BEZERRA, M. E. J.; SILVA, G. L. Nutrição mineral e extração de nutrientes de planta de milho irrigada com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.1143-1151, 2010.

SOUSA, R. B.; LACERDA, C.F.; AMARO FILHO, J.; HERNANDEZ, F. F. F. Crescimento e nutrição mineral do feijão-de-corda em função da salinidade e da composição iônica da água de irrigação. **Revista Brasileira de Ciência Agrárias**, v.2, p.75-82, 2007.

SOUZA, L. H.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V, V. H.; VILLANI, E. M. A. Efeito do pH do solo rizosférico e não rizosférico de plantas de soja inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* na absorção de boro, cobre, ferro, manganês e zinco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.1641-1652, 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3ª ed. Artmed: Porto Alegre, 2004. 719 p.

TESTER, M.; DAVENPORT, R. Na^+ tolerance and Na^+ transport in higher plants. **Annals of Botany**, v.91, p.503-527, 2003.

TURAN, M. A.; ELKARIM, A. H. A.; TABAN, N.; TABAN, S. Effect of salt stress on growth and ion distribution and accumulation in shoot and root of maize plant. **African Journal of Agricultural Research**, v.5, p.584-588, 2010.

VALLADARES, G. S.; SANTOS, G. C. G.; ABREU, C. A.; CAMARGO, O. A.; FERRERO, J. P. Zinco total e disponível em amostras de perfis de solos do estado de São Paulo. **Bragantia**, v.68, p.1105-1114, 2009.

VAN HOORN, J. W.; KATERJI, N.; HAMDY, A.; MASTRORILLI, M. Effect of salinity on yield and nitrogen uptake of four grain legumes and on biological nitrogen contribution from the soil. **Agricultural Water Management**, v.51, p.87-98, 2001.

VIANA, E. M. **Interação de nitrogênio e potássio na nutrição, no teor de clorofila e na atividade da redutase de nitrato em plantas de trigo**. 2007. 95f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

5 ATRIBUTOS QUÍMICOS DE DOIS SOLOS CULTIVADOS COM MILHO SOB ESTRESSE SALINO E ADUBAÇÃO NITROGENADA

RESUMO

A salinidade além de causar significativas alterações fisiológicas e metabólicas nas plantas, afetando seu crescimento, também pode alterar os atributos físicos e químicos do solo provocando perda de qualidade do mesmo. Dessa forma, este trabalho teve o objetivo avaliar os efeitos da salinidade da água de irrigação e adubação nitrogenada sobre os atributos químicos de dois solos cultivados com milho. O trabalho foi realizado em casa de vegetação, utilizando-se colunas de solo (100 x 20 cm). Foi adotado o DIC com fatorial 2 x 2 x 4: dois solos (Argissolo e Neossolo), duas doses de nitrogênio (105 e 210 kg ha^{-1} N) e quatro níveis de salinidade da água de irrigação (0,5; 2,0; 4,0 e 6,0 dS m^{-1}), com quatro repetições. Foram analisados a condutividade elétrica do extrato de saturação do solo, pH, Ca, Mg, Na, K, NO_3^- e N total. A salinidade aumentou a condutividade elétrica do extrato saturado, o teor de sódio e reduziu o pH. Entretanto, as respostas destas variáveis à salinidade são dependentes do tipo de solo, sendo o Argissolo o que promoveu maior CEes, teor de Na e maior redução do pH. Os maiores teores de magnésio e potássio também foram encontrados no Argissolo, porém sem interação com a salinidade e doses de nitrogênio. Em relação ao cálcio, a salinidade e o solo com maior conteúdo de argila apresentaram maior quantidade desse cátion, no entanto essas respostas não mostraram interação entre si. A elevação da condutividade elétrica da água de irrigação aumentou os teores de nitrato no solo, com maior expressão no Argissolo e na maior dose de nitrogênio. O nitrogênio total também apresentou aumento com o incremento da salinidade, sendo essa resposta dependente das doses de nitrogênio aplicadas.

Palavras-chave: Salinidade. Nitrato. Argissolo.

CHEMICAL ATTRIBUTES OF TWO SOILS CULTIVATED WITH MAIZE UNDER SALT STRESS AND NITROGEN FERTILIZATION

ABSTRACT

Salinity in addition to causing significant physiological and metabolic changes in the plants, affecting its growth, can also alter the physical and chemical attributes of the soil, causing a loss of soil quality. Thus, this work had the objective of evaluating the effects of salinity of irrigation water and nitrogen fertilization on the chemical attributes of two soils cultivated with maize. The work was done in a greenhouse, using soil columns (100 x 20 cm). A completely randomized design with 2 x 2 x 4 factorial was used: two soils (Ultisol and Neosol), two nitrogen rates (105 and 210 kg ha^{-1} N) and four levels of irrigation water salinity (0.5, 2.0; 4.0 and 6.0 dS m^{-1}), with four replicates. The electrical conductivity of soil saturation extract, pH, Ca, Mg, Na, K, NO_3^- and total N were analyzed. The salinity increased the electrical conductivity of the saturated extract, the sodium content and reduced the pH. However, the responses of these variables to the salinity are dependent on the type of soil, being the Ultisol which promoted greater electrical conductivity of the saturated extract, Na content and higher pH reduction. The highest magnesium and potassium contents were also found in the Ultisol, but not related to the salinity and nitrogen rates. The increase of the electrical conductivity of the irrigation water increased the levels of nitrate in the soil, with higher expression in the Ultisol and the higher nitrogen rate. Total nitrogen also increased with increased salinity, being this response dependent on the applied nitrogen rates.

Keywords: Salinity. Nitrate. Ultisol.

INTRODUÇÃO

O acúmulo de sais no solo em virtude, principalmente, do uso de águas de má qualidade, falta de lixiviação dos sais acumulados e das altas doses de fertilizantes aplicadas tem sido recorrente em regiões áridas e semiáridas, afetando o crescimento das plantas e reduzindo a produtividade, sendo um dos problemas mais limitantes da produção agrícola.

A redução do crescimento das plantas ocorre devido ao estresse osmótico, resultado da alta concentração de solutos na solução do solo, e estresse iônico, resultado da alteração da relação K^+/Na^+ e a alta concentração dos íons Na^+ e Cl^- (BLUMWALD; AHARON; APSE, 2000). Resultando em desequilíbrio nutricional, fisiológico e metabólico (AYERS; WESTCOT, 1999).

Embora a literatura enfatize a ocorrência de redução na produção das culturas com o aumento da salinidade, Lunin e Gallatin (1965) destacam que com a aplicação de fertilizantes pode ocorrer aumento da produção. Pois o aumento da dosagem de fertilizantes é o método mais direto para se restabelecer os níveis normais de N, P, Ca e K na planta em condições salinas, elevando a concentração desses nutrientes na zona radicular (CUARTERO; MUÑOZ, 1999).

Desta forma, a melhoria nutricional pode ser uma alternativa para aumentar o crescimento e o desenvolvimento de culturas em ambientes estressados por sais (SOLIMAN; SHALABI; CAMPBELL, 1994), especialmente com a adubação nitrogenada, que guarda forte relação com o crescimento das plantas pelo fato do nitrogênio ser o nutriente mais extraído e exportado pela maioria das culturas (PAIVA et al., 2012). Além disso, o aumento na concentração de nitrato na zona radicular também pode inibir uma maior absorção de cloreto pela planta (AMOR et al., 2000).

No entanto, a interação entre fertilidade do solo e salinidade é bastante complexa, pois de acordo com Freire et al. (2015), além de causar significativas alterações fisiológicas e metabólicas nas plantas, a salinidade também altera os atributos químicos do solo. É comum o pH sofrer mudanças em função da concentração de sais da água de irrigação utilizada, o que impacta diretamente a disponibilidade dos micronutrientes, pois a faixa de pH da solução do solo é um dos fatores indicativos desta disponibilidade (DECHEN; NACHTIGALL, 2006). Além disso, a salinidade provoca um desbalanço iônico no solo, sendo que as interações sinérgicas ou antagônicas entre os minerais no solo são influenciadas pelo conteúdo iônico do mesmo (FREIRE et al. 2012).

Apesar de muitos trabalhos científicos tenham registrado alterações causadas nos atributos químicos do solo em função da salinidade, segundo Freire et al. (2015) os resultados encontrados na literatura são contraditórios. Essa divergência evidencia a necessidade de pesquisas voltadas a este assunto para que se possa obter respostas mais conclusivas acerca dos efeitos da salinidade sobre os atributos químicos do solo. Dessa forma, este trabalho teve o objetivo avaliar os efeitos da salinidade da água de irrigação e adubação nitrogenada sobre os atributos químicos do solo de dois solos cultivados com milho.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização do experimento

O trabalho foi desenvolvido no período de abril a junho de 2016, em colunas de solo sob ambiente protegido do tipo casa de vegetação, na área experimental da Estação Agrometeorológica do Departamento de Engenharia Agrícola (DENA), no Campus Universitário do Pici, da Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza - Ceará. De acordo com a classificação de Köppen, a área do experimento está inserida em uma região de clima Aw', tropical chuvoso, muito quente, com predomínio de chuvas nas estações do outono e do verão.

Os dados de temperatura, umidade relativa do ar e luminosidade no interior da casa de vegetação durante a condução da pesquisa foram monitorados utilizando-se um *Data Logger* instalado na parte central do experimento, programado para registrar os dados a cada 15 minutos. A temperatura média diária variou de 25,8 a 31,6 °C, umidade relativa do ar de 64,1 a 91,8 % e luminosidade (de 6 às 18 h) de 5.231 a 18.535,1 Lux.

Delineamento experimental e tratamentos

No experimento foi adotado o delineamento estatístico inteiramente casualizado (DIC), com fatorial triplo 2 x 2 x 4, correspondendo a dois solos (ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico típico e NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico), duas doses de nitrogênio (210 e 105 kg ha^{-1} de N) e quatro níveis de salinidade da água de irrigação (0,5; 2,0; 4,0 e 6,0 dS m^{-1}), com quatro repetições, totalizando 64 unidades experimentais, na qual cada unidade experimental foi composta por uma planta por coluna de solo.

Coleta de solos e montagem das colunas

Os solos utilizados foram o ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico típico e NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico, coletados na área de experimental do Setor de Hidráulica do DENA/UFC e no Campo Experimental de Pacajus (CEP) da Embrapa Agroindústria Tropical, respectivamente. Ambos foram coletados e separados de acordo com seus horizontes pedogenéticos, destorroados e peneirados em malha de 5 mm. Posteriormente foi realizada a caracterização dos seus atributos físicos e químicos.

As plantas de milho (*Zea mays* L.), híbrido duplo BRS 2020, foram cultivadas em colunas de cano PVC (100 x 20 cm). Essas colunas receberam na parte interna uma camada de cola e areia para melhorar a aderência com o solo, diminuindo o fluxo preferencial de água. A base foi fechada com uma tampa de PVC e acima foi feito um furo, onde colocou-se borracha de vedação e uma mangueira para a coleta da água drenada. Na montagem obedeceu-se a sequência dos horizontes dos solos como se encontravam no campo, compactando-os até a densidade de 1,53 g cm^{-3}.

O valor da densidade do solo no interior das colunas foi estabelecido com base no valor médio da densidade dos horizontes coletados dos dois solos avaliados. Para que que o valor estipulado da densidade fosse atingido, foi feita uma marcação na parte interna do cano a cada 10 cm, sendo calculado o volume dessa parte seccionada. De posse dos dados de volume e de uma densidade conhecida, calculou-se a massa de solo que ocuparia a seção. Posteriormente, a massa de solo foi pesada e depositada dentro do cano, depois com o auxílio de um êmbolo, feito de concreto e com uma haste de ferro, foi realizada a compactação do solo. Para tal, o êmbolo foi elevado à altura de aproximadamente 25 cm e em seguida solto repetidamente até a massa de solo atingir a marcação de 10 cm feita anteriormente.

Todas as colunas receberam areia grossa nos primeiros 10 cm e o restante foi preenchido com os solos avaliados. Para o Argissolo a primeira camada (20 cm) correspondia ao horizonte A, a segunda (25 cm) ao horizonte E e a terceira (40 cm) ao horizonte B textural. Já para o Neossolo a primeira camada (20 cm) foi formada pelo horizonte A e a segunda (65 cm) pelo horizonte C.

Condução do experimento

A semeadura foi feita com três sementes do milho híbrido duplo BRS 2020 e após 10 dias fez-se o desbaste deixando uma planta por coluna. Na sequência se iniciou a aplicação das águas salinas com irrigação diária, mantendo uma fração de lixiviação de 15 %. A água de baixa salinidade foi obtida diluindo-se água de poço como CE de 1,0 $dS.m^{-1}$ com água destilada até a CE de 0,5 dS m^{-1}. Os demais níveis salinos da água de irrigação foram preparados por meio da adição na água do poço de NaCl e $CaCl_2.2H_2O$ na proporção de 7:3, respectivamente.

A adubação com 2,62 g $coluna^{-1}$ de N (210 e 105 kg ha^{-1} de N) e 1 g $coluna^{-1}$ K (80 kg ha^{-1} de K_2O) foi parcelada em quatro vezes: 15% 10 dias após a semeadura (DAS), 25% 25 DAS, 25% 40 DAS e 35% aplicado 55 DAS. A aplicação dos demais nutrientes consistiu no

fornecimento durante a semeadura de 1,12 g coluna^{-1} de P (90 kg ha^{-1} de P_2O_5) e de 1 g coluna^{-1} da mistura de micronutrientes FTE Br 12 (1,8 % B; 0,8 % Cu; 2,0 % Mn; 0,1% Mo; 9,0% Zn; 7,1 % Ca e 5,7 % de S).

Variáveis analisadas

Condutividade elétrica do extrato de saturação e pH

Depois da retirada das plantas, 67 dias após a semeadura, amostras de solo foram coletadas nas três camadas que formavam a coluna composta pelo Argissolo (0-20, 21-45 e 46-85 cm). Para o Neossolo, embora a coluna fosse preenchida por apenas duas camadas distintas, optou-se por dividir a segunda camada e assim realizar a amostragem no mesmo padrão para ambos os solos.

O pH do solo e a condutividade elétrica foram determinados no extrato da pasta de saturação, a qual foi obtida pesando-se 300 g de terra fina seca ao ar (TFSA) em recipientes adequados e adicionando-se água destilada até que o material apresentasse aspecto espelhado e deslizamento da pasta na espátula, atingindo assim o ponto de pasta de saturação conforme descrito por Richards (1954). Posteriormente, os recipientes foram fechados e deixados em repouso por 12 horas, depois o material foi colocado em sistema de vácuo (funil de Büchner-kitassato-bomba) para obtenção dos extratos da pasta de saturação, os quais foram acondicionados em garrafas plásticas fechadas e armazenados sob refrigeração.

Nitrato

Utilizando-se parte do extrato obtido da pasta de saturação foi realizada a determinação do nitrato, na qual foi empregado o método do ácido salicílico, de acordo com Cataldo et al. (1975). Os extratos foram inicialmente centrifugados, depois foi adicionado solução de ácido salicílico e NaOH. Após resfriarem e atingirem a temperatura ambiente realizou-se a leitura em espectrofotômetro à 410 nm.

Nitrogênio total

A determinação do nitrogênio total foi realizada segundo procedimento descrito por Bremner (1996). Inicialmente foi transferido cerca de 0,2 g de amostra de solo macerada para

o tudo digestor, adicionando-se 1 g da mistura digestora (K_2SO_4 + $CuSO_4$) e 3 mL de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4). O tubo foi agitado manualmente para melhorar o contato da amostra com os reagentes. Depois o tubo foi colocado em um bloco digestor, inicialmente à 100°C, elevando-se a temperatura gradativamente até que a mistura parasse de espumar. Em seguida, a temperatura foi aumentada para aproximadamente 360ºC e após o conteúdo do frasco ficar claro o material foi mantido em ebulição por 2 horas. Com a digestão concluída e a mostra à temperatura ambiente, o tudo foi conectado ao destilador Kjeldahl e acrescentado 15 mL de NaOH 10 mol L^{-1} ao tubo de digestão através do funil de adição. O destilado foi recolhido em um erlenmeyer contendo 20 mL da solução ácido bórico-indicador.

Cálcio, magnésio, sódio e potássio

Os teores dos cátions trocáveis cálcio e magnésio foram obtidos utilizando-se o KCl 1 mol L^{-1} como solução extratora e determinados por espectrofotometria de absorção atômica (AOAC, 2005). Já os teores de sódio e potássio solúveis foram determinados no extrato da pasta de saturação empregando-se o método direto pelo fotômetro de chama.

Análise estatística

Para realização da análise estatística foram utilizadas as médias dos dados obtidos nas três camadas amostradas. As amostras foram submetidas ao teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov e depois aplicada a análise de variância pelo teste F, para avaliar o efeito dos fatores e suas interações. Os tipos de solo e as doses de nitrogênio foram comparadas pelo teste de Tukey e para os dados quantitativos, níveis de salinidade da água de irrigação, foi empregado a análise de regressão. As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o software Assistat 7.7 (SILVA; AZEVEDO, 2016).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os tipos de solo afetaram significativamente a condutividade elétrica do extrato de saturação, o pH, o teor de sódio, potássio e nitrato (Tabela 11). A salinidade da água de irrigação também afetou todas as variáveis analisadas, exceto o potássio, enquanto as doses de nitrogênio apresentaram-se significativas apenas para o sódio e nitrato. No que diz respeito as interações, houve significância entre solo e salinidade para a condutividade elétrica do extrato de saturação, pH e sódio. Já o teor de nitrato no solo mostrou interação tripla.

Tabela 11. Resumo da ANOVA pelo teste F e médias para a condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes), potencial hidrogeniônico (pH), sódio (Na), potássio (K) e nitrato (NO_3^-) no extrato da pasta saturada de dois solos cultivados com milho sob estresse salino e adubação nitrogenada.

	CEes	pH	Na	K	NO_3^-
Tratamentos	dS m^{-1}	-	--------- $cmol_c$ kg^{-1} ---------		mg L^{-1}
Solo (A)	18,18**	523,43**	75,68**	110,11**	2978,81**
Dose (B)	0,38^{ns}	0,01^{ns}	5,19*	3,81^{ns}	1930,28**
Salinidade (C)	45,89**	81,68**	58,84**	2,28^{ns}	466,48**
A x B	0,13^{ns}	0,09^{ns}	2,94^{ns}	3,46^{ns}	1293,63**
A x C	4,85**	35,12**	14,34**	0,82^{ns}	279,81**
B x C	1,44^{ns}	2,54^{ns}	0,88^{ns}	2,37^{ns}	122,69**
A x B x C	0,08^{ns}	1,20^{ns}	1,84^{ns}	2,64^{ns}	104,88**
CV (%)	38,37	2,00	27,77	20,63	5,77
Argissolo	3,51 a	6,38 a	1,89 a	0,12 a	447,82 a
Neossolo	2,32 b	5,69 b	1,01 b	0,07 b	194,69 b
210 kg ha^{-1} N	3,00 a	6,03 a	1,56 a	0,10 a	423,14 a
105 kg ha^{-1} N	2,83 a	6,04 a	1,33 b	0,09 a	219,37 b

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$); ^{ns} não significativo ($p \geq 0,05$). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Na tabela 11 vê-se que as doses de nitrogênio apresentaram efeitos significativos sobre o teor de sódio, podendo-se constatar que quando utilizada a dose de 210 kg ha^{-1} de N houve maior conteúdo deste cátion. Possivelmente esse resultado está relacionado ao fato das plantas que receberam a maior dose de nitrogênio terem absorvido menos sódio, fazendo com que o mesmo permanecesse no solo. Embora não tenha havido diferença significativa entre as doses de nitrogênio para o acúmulo de sódio nas folhas do milho, as plantas adubadas com 210 kg ha^{-1} de N apresentaram 6,63 % a menos de sódio foliar em comparação as plantas que receberam a menor dose.

O teor de potássio foi afetado apenas pelo tipo de solo, sendo o Argissolo aquele que apresentou maior teor deste nutriente, 41,66 % a mais que o Neossolo. Essa resposta está associada ao fato do Argissolo possuir maior quantidade de argila e, consequentemente maior CTC, pois de acordo com Mielnickzuk (1982) solos com alta CTC refletem em menores perdas de K por lixiviação e maior capacidade de armazenamento de K no solo.

Além disso, a energia de retenção dos cátions trocáveis Ca^{2+}, Mg^{2+} e K^{+}, nos colóides do solo, segue uma série liotrófica, que leva em consideração a carga e o tamanho do íon hidratado, sendo o K, o quinto elemento desta série (YAMADA; ROBERTS, 2005). Por ser um cátion monovalente, o K^{+} é menos adsorvido nos coloides do solo (ERNANI et al., 2007), favorecendo a lixiviação em solos bem drenados e com menor CTC (RAIJ, 2011).

A fonte de potássio utilizada também influencia as perdas por lixiviação (YAMADA; ROBERTS, 2005), principalmente quando se usa fontes com alta solubilidade. O KCl é um sal altamente solúvel em água (58% de solubilidade), podendo ser facilmente lixiviado (DUARTE; PEREIRA; KORNDÖRFER, 2013). Essas perdas ocorrem mais comumente em solos arenosos em razão da baixa CTC (RAIJ, 2011), fato comprovador por Mendes et al. (2016).

A condutividade elétrica do extrato de saturação do solo respondeu significativamente à interação entre solo e salinidade, apresentando um aumento linear à medida que se elevou a concentração de sais da água de irrigação. O Argissolo apresentou aumento de 623,84 % no maior nível de CEa, 6,0 dS m^{-1}, em comparação ao tratamento controle, 0,5 dS m^{-1}, enquanto no Neossolo o incremento foi de 374,71 % (Figura 9A). Essa elevação da CEes é explicada pela maior quantidade de sais adicionados ao solo via irrigação (DIAS et al., 2004), pois o aumento da concentração de sais na água de irrigação resulta em acréscimo da CEes (RIBEIRO et al., 2013). De forma semelhante a este trabalho, Santana et al. (2003) avaliando os efeitos de diferentes concentrações de sais da água de irrigação em um Latossolo Roxo distrófico cultivado com feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) também verificaram um acréscimo

linear na condutividade elétrica do solo. Resultados similares também foram encontrados por Porto Filho et al. (2011).

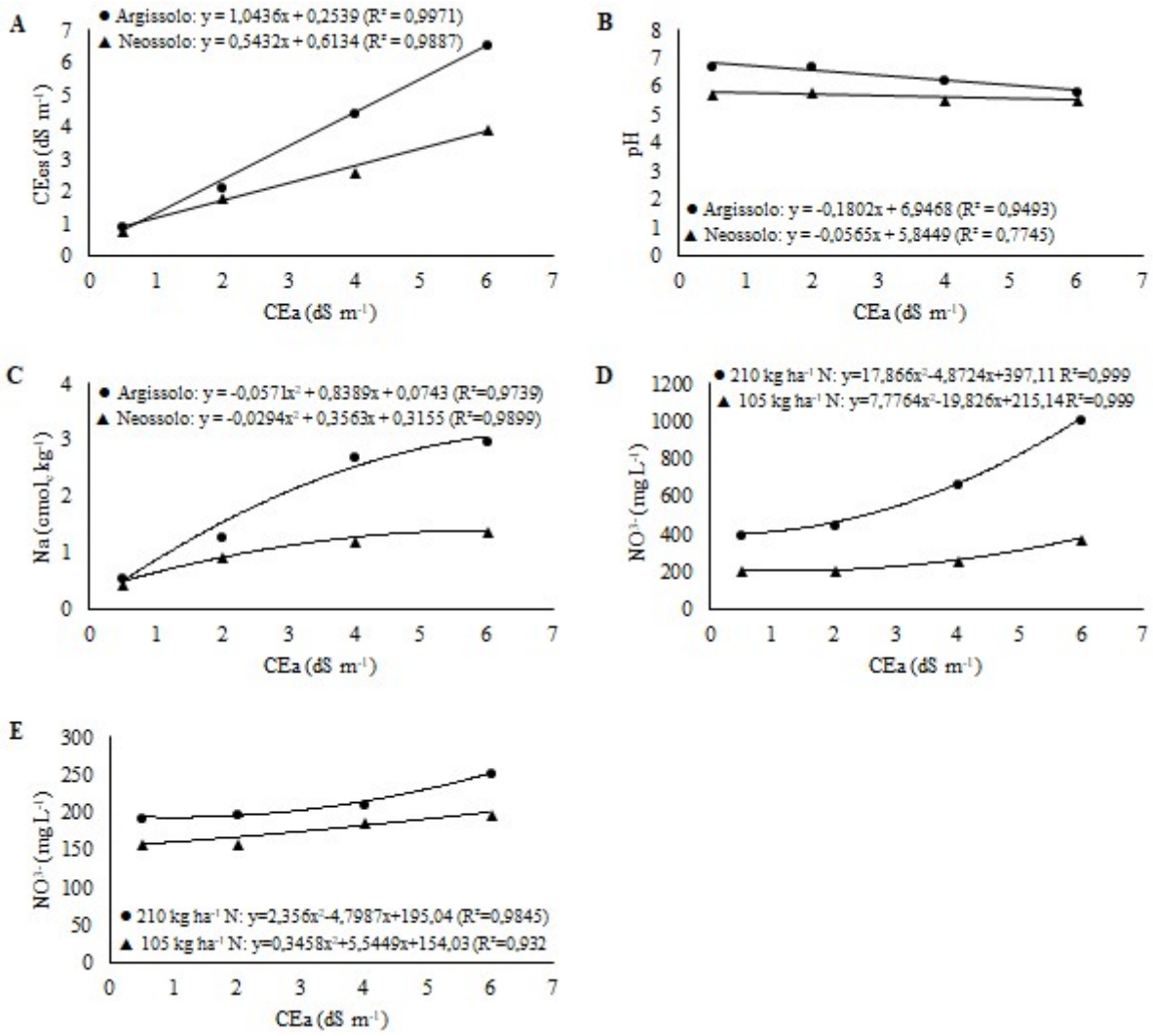

Figura 9. Condutividade elétrica do extrato de saturação: CEes (A), potencial hidrogeniônico: pH (B), sódio: Na (C) e nitrato: NO_3^- (Argissolo: D, Neossolo: E) no extrato da pasta saturada de dois solos cultivados com milho sob estresse salino e adubação nitrogenada.

O pH do solo sofreu um decréscimo linear em decorrência do aumento da condutividade elétrica da água de irrigação (Figura 9B). No Argissolo a redução foi de 14,05 % e 4,31 % no Neossolo quando submetidos CEa de 6,0 dS m^{-1} em comparação à testemunha. Essa redução do pH está relacionada com a dessorção de prótons, pois a água contendo maior quantidade de cloreto de sódio e cloreto de cálcio possuem maior raio hidratado que o H^+, promovendo sua dissociação e consequentemente aumentando a concentração desse íon na solução do solo, o que faz diminuir o valor do pH (MEURER, 2012). Além disso, o

incremento de cloreto de cálcio, que induz à substituição de ânions como carbonatos e bicarbonatos e promove a elevação da concentração de H^+ na solução do solo (PESSOA, 2009). Também foi verificado por Dias et al. (2015) que a salinidade da água de irrigação reduziu o pH do solo.

Na figura 9C observa-se que o teor de sódio nos solos apresentou elevação em virtude do incremento da salinidade da água de irrigação, com aumento de 420,48 % no Argissolo e 202,47 % no Neossolo. Esse aumento expressivo nos teores de sódio ocorreu devido à grande concentração deste elemento na água de irrigação. Resultados semelhantes foram encontrados por Holanda Filho et al. (2011).

No que diz respeito ao teor de nitrato no solo foi realizado o desdobramento da interação tripla para verificar o efeito das doses de nitrogênio em função da salinidade da água de irrigação em cada solo. No Argissolo, com a elevação da concentração de sais na água de irrigação, houve aumento na concentração de NO_3^- de 151,46 % para a dose de 210 kg ha^{-1} e 82,60 % para a menor dose (Figura 9D). As regiões semiáridas possuem fatores ambientais como temperaturas elevadas e alta insolação que contribuem para aumentar as condições adversas do ambiente (OLIVEIRA et al., 2005), que aliadas a salinidade dos solos afetam os processos de absorção e assimilação de nutrientes pelas plantas, principalmente, o nitrato, que é a principal fonte de nitrogênio em solos agrícolas e o que mais frequentemente limita o crescimento de plantas (MELONI et al., 2004). A não absorção de nitrato pelas plantas sob estresse salino resulta na permanência do mesmo no solo, ficando suscetível à perdas por lixiviação.

No Neossolo os teores de nitrato encontrados foram inferiores aos valores apresentados no Argissolo, mas de forma similar também aumentaram com o acréscimo da condutividade elétrica da água de irrigação. Para a dose de 210 kg ha^{-1} o aumento foi 31,69 % e 24,20 % para a dose de 105 kg ha^{-1}. (Figura 9E). Esses menores valores dos teores de nitrato em comparação ao Argissolo podem ser atribuídos ao fato das perdas de nitrogênio nos solos arenosos serem maiores e mais rápidas do que nos solos argilosos, além dos solos argilosos terem maior capacidade de reter o N em comparação aos solos arenosos (SANGOI et al., 2003).

Os tipos de solo afetaram de forma significativa os teores de cálcio, magnésio e nitrogênio total, enquanto as diferentes doses de nitrogênio não surtiram efeitos sobre as variáveis analisadas (Tabela 12). No entanto, os níveis salinos da água de irrigação apresentaram significância para os teores de cálcio e nitrogênio total. No que diz respeito das

interações, somente o nitrogênio total mostrou significância para a interação entre os fatores dose e salinidade da água de irrigação.

Tabela 12. Resumo da ANOVA pelo teste F e médias para os teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e nitrogênio total (N Total) em dois solos cultivados com milho sob estresse salino e adubação nitrogenada.

	Ca	Mg	N Total
Tratamentos	---------- $cmol_c\ kg^{-1}$ ----------		$g\ kg^{-1}$
Solo (A)	$61,36^{**}$	$37,39^{**}$	$301,81^{**}$
Dose (B)	$0,66^{ns}$	$0,05^{ns}$	$0,32^{ns}$
Salinidade (C)	$3,71^{*}$	$0,62^{ns}$	$12,03^{**}$
AxB	$0,59^{ns}$	$0,61^{ns}$	$2,30^{ns}$
AxC	$1,74^{ns}$	$0,16^{ns}$	$0,61^{ns}$
BxC	$2,56^{ns}$	$1,94^{ns}$	$2,81^{*}$
AxBxC	$1,04^{ns}$	$0,35^{ns}$	$1,09^{ns}$
CV	33,80	34,00	15,56
Argissolo	2,32 a	1,37 a	1,22 a
Neossolo	1,17 b	0,68 b	0,60 b
210 kg ha^{-1} N	1,68 a	1,04 a	0,92 a
105 kg ha^{-1} N	1,80 a	1,01 a	0,90 a

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$); ^{ns} não significativo ($p \geq 0,05$). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Os teores de Ca e Mg foram superiores no Argissolo, evidenciando que as características deste solo permitem uma maior reserva de cátions, principalmente devido a maior quantidade de argila e, consequentemente, maior CTC. Além disso, também pode ocorrer lixiviação de cátions básicos no perfil do solo, os quais são carregados quando se encontram eletricamente neutros, ou seja, acompanhados de um ânion como o nitrato, considerado o ânion mais importante no processo de lixiviação de cátions básicos (ARNUTI, 2014). Essa lixiviação ocorre de forma mais expressiva no Neossolo, devido suas características físicas, explicando os resultados encontrados.

O Argissolo apresentou maior teor de nitrogênio total em relação ao Neossolo. Segundo Carvalho e Zabot (2012), o tipo de solo pode ter grande influência na magnitude do processo de perda de nitrogênio por lixiviação, pois solos argilosos possuem maior capacidade de retenção de N, principalmente na forma de NH_4^+, do que solos arenosos. Além disso, a maior capacidade de armazenamento de água dos solos argilosos reduz a percolação da água pelo perfil e, consequentemente, o arraste de NO_3^- para camadas inferiores do solo (BORTOLINI, 2000).

Sob o aspecto financeiro as perdas de nitrogênio podem significar um custo maior com fertilizantes nitrogenados, sob a ótica ambiental, problemas de contaminação dos cursos d'água (CARNEIRO; SOTTOMAIOR; ANDREOLI, 2005). Ao avaliarem o teor de nitrogênio total em solos com diferentes classes texturais, resultados semelhantes foram encontrados por Galvão, Salcedo e Santos (2005), que constataram a ocorrência de maiores teores nas amostras de textura argilosa e menores teores nas amostras de textura mais arenosa.

A elevação da condutividade elétrica da água de irrigação proporcionou acréscimos nos teores de cálcio no solo, com aumento de 49,11 % quando utilizada a água com o maior nível de salinidade, 6,0 dS m^{-1}, em comparação ao tratamento controle (Figura 10A). Este resultado pode ser atribuído ao fato das águas de irrigação terem sido preparadas a partir do cloreto de sódio e cloreto de cálcio, sendo assim a presença de altos teores de cálcio no solo já eram esperados. Holanda Filho et al. (2011) encontrou resultado contrário, constatando que a salinidade da água de irrigação reduziu o teor de cálcio no solo, sendo essa diminuição atribuída a precipitação do mesmo na forma de cloreto, já que a água salina utilizada na irrigação possuía elevado teor de cloro.

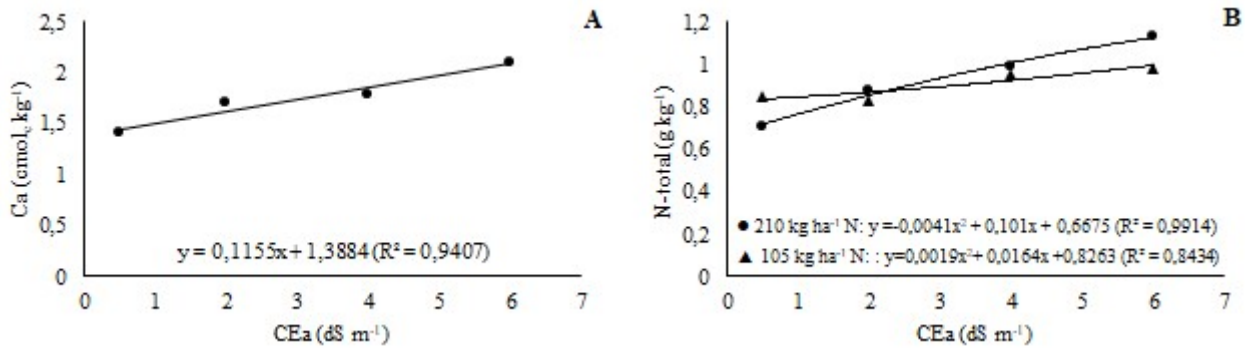

Figura 10 - Teor de cálcio - Ca (A) e nitrogênio total - N total (B) em dois solos cultivados com milho sob estresse salino e adubação nitrogenada.

O teor de nitrogênio total também foi afetado pela salinidade da água de irrigação, apresentando aumento com o incremento da CEa, sendo essa resposta dependente da dose de nitrogênio aplicada (Figura 10B). Comparando o maior nível de salinidade, 6 dS m^{-1}, com o tratamento controle, 0,5 dS m^{-1}, o aumento no conteúdo de nitrogênio total foi de 53,52 % quando utilizada a dose de 210 kg ha^{-1} de N e 15,72 % para a dose de 105 kg ha^{-1} de N. Embora o amônio (NH_4^+) e o nitrato (NO_3^-), produto final da mineralização do nitrogênio, correspondam a uma pequena fração do nitrogênio total (BREMNER, 1996), a adubação nitrogenada resultou em acréscimos no teor de N-total.

CONCLUSÕES

A salinidade da água de irrigação elevou a condutividade elétrica do extrato saturado, o teor de sódio e reduziu o pH, independentemente das doses de nitrogênio aplicadas. Porém essas respostas são dependentes do tipo de solo, sendo o Argissolo o que promoveu maior condutividade elétrica do extrato saturado, teor de sódio e maior redução do pH. O Argissolo também apresentou maiores teores de magnésio e potássio, enquanto a salinidade da água e as doses de nitrogênio não exerceram influência sobre os teores destes macronutrientes.

A salinidade aumentou o teor de cálcio no solo e o Argissolo apresentou maior teor deste cátion em comparação ao Neossolo, no entanto essas respostas não mostraram interação entre si. A salinidade também elevou os teores de nitrato no solo, com maior expressão no Argissolo e na maior dose de nitrogênio. Já o nitrogênio total mostrou aumento com o incremento da salinidade, sendo essa resposta dependente das doses de nitrogênio aplicadas.

REFERÊNCIAS

AMOR, F. M.; RUIZ-SÁNCHEZ, M. C.; MARTÍNEZ, V.; CERDÁ, A. Gas Exchange, water relations, and ions concentrations of salt-stressed tomato and melon plants. **Journal of Plant Nutrition**, v.23, p.1315-1325, 2000.

ARNUTTI, F. Dinâmica do nitrogênio em Argissolo em função de irrigação de adubação nitrogenada do milho em plantio direto. 2014. 89f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1999. p. 1-158, (FAO: Drainage paper, 29).

BLUMWALD, E.; AHARON, G. S.; APSE, M. P. Sodium transport in plant cells. **Biochimica et Biophysica Acta**, v.1465, p.140-151, 2000.

BORTOLINI, C. G. **Eficiência do método de adubação nitrogenada em pré-semeadura do milho implantado em semeadura direta após aveia preta**. 2000. 48f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

BREMNER, J. M. **Nitrogen-total**. In: SPARKS, D. L.; PAGE, A. L.; HELMKE, P. A.; LOEPPERT, R. H.; SOLTANPOUR, P, N.; TABATABAI, M. A.; JOHNSTON, C. T.; SUMNER, M. E. (Eds). Methods of soil analysis. Part 3. Chemical Methods. Madison, WI.; Soil Science Society of America, 1996. p.1085-1121. (Book series, 5).

CARNEIRO, C.; SOTTOMAIOR, A. P.; ANDREOLI, C. V. Dinâmica de nitrogênio em lodo de esgoto sob condições de estocagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.987-994, 2005.

CARVALHO, N. L.; ZABOT, V. Nitrogênio: nutriente ou poluente? **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v.6, p.960-974, 2012.

CATALDO, J. M.; HAROOM, M.; SCHRADER, L. E.; YOUNGS, V. L. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.6, p.71-80, 1975.

CUARTERO, J.; MUÑOZ, R. F. Tomato and salinity. **Scientia Horticulturae**, v.78, p.83 125, 1999.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. **Micronutrientes**. In: FERNANDES, M. S. (ed.) Nutrição mineral de plantas. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 327 374.

DIAS, N. S.; MEDEIROS, J. F.; GHEYI, H. R.; SILVA, F. V.; BARROS, A. D. Evolução da salinidade em um Argissolo sob cultivo de melão irrigado por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.8, p.240-246, 2004.

DIAS, T. J.; FREIRE, J. L. O.; CAVALCANTE, L. F.; NASCIMENTO, E. S.; DANTAS, L. A.; DANTAS, M. M. M. Atributos químicos do solo irrigado com águas salinas e uso de

mitigadores do estresse salino no maracujazeiro amarelo. **Revista Principia**, n.27, p.19-29, 2015.

DUARTE, I. N.; PEREIRA, H. S.; KORNDÖRFER, G. H. Lixiviação de potássio proveniente do termopotássio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.43, p.195-200, 2013.

ERNANI, P. R.; BAYER, C.; ALMEIDA, J. A.; CASSOL, P. C. Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.393-402, 2007.

FREIRE, J. L. O.; CAVALCANTE, L. F.; DIAS T. J.; DANTAS, M. M. M.; MACEDO, L. P. M.; AZEVEDO, T. H. O. Teores de micronutrientes no solo e no tecido foliar do maracujazeiro amarelo sob uso de atenuantes do estresse salino. **Revista Agropecuária Técnica**, v.36, p.65-81, 2015.

FREIRE, J. L. O.; CAVALCANTE, L. F.; REBEQUI, A. M.; DIAS, T. J.; VIEIRA, M. S. Crescimento do maracujazeiro amarelo sob estresse salino e biofertilização em ambiente protegido contra perdas hídricas. **Holos**, v.28, p.55-68, 2012.

GALVÃO, S. R. S.; SALCEDO, I. H.; SANTOS, A. C. Frações de carbono e nitrogênio em função da textura, do relevo e do uso do solo na microbacia do agreste em Vaca Brava (PB). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.955-962, 2005.

HOLANDA FILHO, R. S. F.; SANTOS, D. B.; AZEVEDO, C. A. V.; COELHO, E. F.; LIMA, V. L. A. Água salina nos atributos químicos do solo e no estado nutricional da mandioqueira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.60-66, 2011.

LUNIN, J.; GALLATIN, M. H. Salinity-fertility interactions in relation to the growth and composition of beans. II. Varying levels of N and P. **Agronomy Journal**, v.57, p.342-345, 1965.

MELONI, D. A.; GULOTTA, M. R.; MARTÍNEZ, C. A.; OLIVA, M. A. The effects of salt stress on growth, nitrate reduction and proline and glycinebetaine accumulation in *Prosopis alba*. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v.16, p.39-46, 2004.

MENDES, W. C.; ALVES JÚNIOR, J.; CUNHA, P. C. R.; SILVA, A. R.; EVANGELISTA, A. W. P.; CASAROLI, D. Potassium leaching in different soils as a function of irrigation depths. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, p.972-977, 2016.

MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo**. 5 ed. Porto Alegre: Evangraf, 2012. 280p.

MIELNICKZUK, J. Avaliação da resposta das culturas ao potássio em ensaios de longa duração: Experiências brasileiras. In: YAMADA, T.; MUZZILLI, O. & USHERWOOD, N.R., eds. Potássio na agricultura brasileira. Piracicaba, Instituto da Potassa e Fosfato, 1982. p.289-303.

OLIVEIRA, M. A. J.; BOVI, M. L. A.; MACHADO, E. C.; RODRIGUES, J. D. Atividade da redutase de nitrato em mudas de pupunheira (*Bactris gasipaes*). **Ciência Rural**, v.35, p.515 522, 2005.

PAIVA, M. R. F. C.; SILVA, G. F.; OLIVEIRA, F. H. T.; PEREIRA, R. G.; QUEIROGA, F. M. Doses de nitrogênio e de fósforo recomendadas para produção econômica de milho-verde na chapada do Apodi - RN. **Revista Caatinga**, v.25, p.1-10, 2012.

PESSOA, L. G. M. **Desenvolvimento de cebola e atributos químicos de dois Neossolos Flúvicos irrigados com águas salinas**. 2009. 89f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009.

PORTO FILHO, F. Q.; MEDEIROS, J. F.; GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; SOUSA, P. S.; DANTAS, D. C. Evolução da salinidade e pH de solo sob cultivo de melão irrigado com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.1130-1137, 2011.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo dos nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420 p.

RIBEIRO, A. A.; SEABRA FILHO, M.; MOREIRA, F. J. C.; SOUZA, M. C. M. R.; MENEZES, A. S. Crescimento inicial do maracujazeiro amarelo irrigado com água salina em dois substratos. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.8, p.133-242, 2013.

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and álcali soils**. Washington: United States Salinity Laboratory, 1954. 160p. USDA, Agriculture Handbook 60.

SANGOI, L.; ERNANI, P.R.; LECH, V.A.; RAMPAZZO, C. Volatilização de N-NH_3, em decorrência da forma de aplicação de ureia, manejo de resíduos e tipo de solo, em laboratório. **Ciência Rural**, v.33, p.687-692, 2003.

SANTANA, M. J.; CARVALHO, J. A.; SILVA, E. L.; MIGUEL, D. S. Efeito da irrigação com água salina em um solo cultivado com o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e agrotecnologia**, v.27, p.443-450, 2003.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. de. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**, v.11, p.3733-3740, 2016.

SOLIMAN, M. S.; SHALABI, H. G.; CAMPBELL, W. F. Interaction of salinity, nitrogen and phosphorus fertilization on wheat. **Journal of Plant Nutrition**, v.17, p.1163-1173, 1994.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília, Embrapa, 2017. 573 p.

YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Associação Brasileira da Potassa e do Fosfato, 2005.

6 CONCLUSÕES

No geral, a salinidade aplicada na água de irrigação diminuiu significativamente o crescimento de plantas de milho e a adubação nitrogenada adicional não atenuou os efeitos da salinidade sobre as plantas. Embora tenha havido maior acúmulo de alguns nutrientes na planta, essas respostas apresentaram maior dependência do tipo de solo e pouca relação com as doses de nitrogênio. Estes resultados indicam que o uso de nitrogênio adicional em cultura de milho irrigada com água salina leva a um custo adicional de adubação nitrogenada sem nenhum benefício à cultura. Além do mais, as respostas encontradas concordam com pesquisas recentes sobre o uso de nitrogênio adicional sobe condições de salinidade e indicam que doses acima da recomendada para o milho resultarão em perdas e contaminação ao ambiente, acarretando perdas financeiras significativas ao produtor.

REFERÊNCIAS

ACCIOLY, L. J. O. **Degradação do solo e desertificação no Nordeste do Brasil**. < http://www.diadecampo.com.br/zpublisher/materias/Materia.asp?id=22136&secao=Artigos%20Especiai >. Acesso em: 28 out. 2014.

ALMEIDA, B. M. **Evapotranspiração, coeficiente de cultura e produção do milho sob condições de salinidade residual**. 2012. 82f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e drenagem) - Universidade Rural do Semiárido, Mossoró, 2012.

ALMEIDA, E. I. B.; NÓBREGA, G. N.; CORRÊA, M. C. M.; PINHEIRO, E. A. R.; ARAÚJO, N. A. Crescimento e marcha de absorção de micronutrientes para a cultivar de melancia Crimson Sweet. **RevistaAgroambiente**, v.8, p.74-80, 2014.

AMOR, F. M.; RUIZ-SÁNCHEZ, M. C.; MARTÍNEZ, V.; CERDÁ, A. Gas Exchange, water relations, and ions concentrations of salt-stressed tomato and melon plants. **Journal of Plant Nutrition**, v.23, p.1315-1325, 2000.

AMORIM, A. V.; GOMES FILHO, E.; BEZERRA, M. A.; PRISCO, J. T.; LACERDA, C. F. Respostas fisiológicas de plantas adultas de cajueiro anão precoce à salinidade. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, p.113-121, 2010.

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; SILVA, E. F. F.; BASTOS, E. A.; MELO, F. B.; LEAL, C. M. Uso e qualidade da água subterrânea para irrigação no semiárido piauiense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.873-880, 2006.

ANDRADE, T. S.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; MONTENEGRO, A. A. A.; RODRIGUES, D. F. B. Variabilidade espaço-temporal da condutividade elétrica da água subterrânea na região semiárida de Pernambuco. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.496-504, 2012.

ARAGÃO, R. M.; SILVEIRA, J. A. G.; SILVA, E. N.; LOBO, A. K. M.; DUTRA, A. T. B. Absorção, fluxo no xilema e assimilação do nitrato em feijão-caupi submetido à salinidade. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, p.100-106, 2010.

ARNUTTI, F. Dinâmica do nitrogênio em Argissolo em função de irrigação de adubação nitrogenada do milho em plantio direto. 2014. 89f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

ASCH, F.; DINGKUHN, M.; DORFFING, K. Salinity increases CO_2 assimilation but reduces growth in field grown irrigated rice. **Plant and Soil**, Netherlands, v.218, p.1-10, 2000.

ASHRAF, M.; HARRIS, P. J. C. Photosynthesis under stressful enviroments: An overview. **Photosynthetica**, v.51, p.163-190, 2013.

ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 18. ed. Maryland: AOAC, 2005.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1999. p. 1-158, (FAO: Drainage paper, 29).

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade de água na agricultura**. 2. ed. Campina Grande: UFPB, 1999. 153 p.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1991. 218p.

AZEVEDO NETO, A. D.; PRISCO, J. T.; ENÉAS-FILHO, J.; LACERDA, C. F.; SILVA, J. V.; COSTA, P. H. A.; GOMES-FILHO, E. Effects of salt stress on plant growth, stomatal response and solute accumulation of different maize genotypes. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.16, p.31-38, 2004.

AZEVEDO NETO, A. D.; TABOSA, J. N. Estresse salino em plântulas de milho: Parte II distribuição dos macronutrientes catiônicos e suas relações com o sódio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, p.165-171, 2000.

BABAR, S.; SIDDIQI, E. H.; HUSSAIN, I.; BHATTI, K. H.; RASHEED, R. Mitigating the effects of salinity by foliar application of salicylic acid in fenugreek. **Physiology Journal**, p.1-6, 2014.

BAETHGEN, W. E.; ALLEY, M. M. A manual colorimetric procedure for measuring ammonium nitrogen in soil and plant Kjeldahl digests. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.20, p.961-969, 1989.

BAGHALIAN, K.; HAGHIRY, A.; NAGHAVI, M. R.; MOHAMMADI, A. Effect of saline irrigation water on agronomical and phytochemical characters of chamomile (*Matricaria recutita* L.). **Scientia Horticulturae**, v.116, p.437-441, 2008.

BAR, Y.; APELBAUN, A.; KAFKAFI, U.; GOREN, R. Relationship between chloride and nitrate and its effect on growth and mineral composition of avocado and citrus plants. **Journal of Plant Nutrition**, v.20, p.715-731, 1997.

BARHOUMI, Z.; ATIA, A.; RABHI, M.; DJEBALL, W.; ABDELLY, C.; SMAOUI, A. Nitrogen and NaCl salinity effects on the growth and nutrient acquisition of the grasses Aeluropus littoralis, Catapodium rigidum, and Brachypodium distachyum. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 173, p. 149-157, 2010.

BARHOUMI, Z; ATIA, A.; RABHI, M.; DJEBALL, W.; ABDELLY, C.; SMAOUI, A. Nitrogen and NaCl salinity effects on the growth and nutrient acquisition of the grasses *Aeluropus littoralis*, *Catapodium rigidum*, and *Brachypodium distachyum*. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.173, p.149-157, 2010.

BATES, L. S.; WALDREN, R. P.; TEARE, J. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and Soil**, v.39, p.205-207, 1973.

BECHE, E.; BENIN, G.; BORNHOFEN, E.; DALLÓ, S. C.; SASSI, L. H. S.; OLIVEIRA, R. Eficiência de uso de nitrogênio em cultivares de trigo pioneiras e modernas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.49, p.948-957, 2014.

BENDALY, A.; MESSEDI, D.; SMAOUI, A.; KSOURI, R.; BOUCHEREAU, A.; ABDELLY, C. Physiological and leaf metabolome changes in the xerohalophyte species *Atriplex halimus* induced by salinity. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.103, p.208-218, 2016.

BERTOLLI, S. C.; SOUZA, J.; SOUZA, G. M. Caracterização fotossintética da espécie isohídrica pata-de-elefante em condições de deficiência hídrica. **Revista Caatinga**, v.28, p.196-205, 2015.

BLANCO, F. F. **Tolerância do pepino enxertado à salinidade em ambiente protegido e controle da salinização do solo**. 1999. 122f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

BLUMWALD, E.; AHARON, G. S.; APSE, M. P. Sodium transport in plant cells. **Biochimica et Biophysica Acta**, v.1465, p.140-151, 2000.

BORTOLINI, C. G. **Eficiência do método de adubação nitrogenada em pré-semeadura do milho implantado em semeadura direta após aveia preta**. 2000. 48f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

BOWMAN, D. C.; DEVITT, D. A.; MILLER, W. W. The effect of moderate salinity on nitrate leaching from bermudagrass turf: a lysimeter study. **Water, Air and Soil Pollution**, v.175, p.49-60, 2006.

BRACCINI, M. C. L.; BRACCINI, A. L.; FOLONI, J. M.; SILVA, J. R. T. Produção de biomassa seca e teor de nutrientes do milho em resposta a doses e localização de osmocote em amostras de Latossolo vermelho-escuro e areia quartzosa. **Acta Scientiarum**, v.21, p.497-503, 1999.

BREMNER, J. M. **Nitrogen-total**. In: SPARKS, D. L.; PAGE, A. L.; HELMKE, P. A.; LOEPPERT, R. H.; SOLTANPOUR, P, N.; TABATABAI, M. A.; JOHNSTON, C. T.; SUMNER, M. E. (Eds). Methods of soil analysis. Part 3. Chemical Methods. Madison, WI.; Soil Science Society of America, 1996. p.1085-1121. (Book series, 5).

CARDOSO, E. A.; SOUZA, M. A.; FONTES, P. C. R.; SEDIYAMA, T. Fertilização Nitrogenada na absorção de nutrientes e rendimento de grãos em arroz irrigado. **Agri environmental Science**, v.1, p.39-49, 2015.

CARILLO, P.; MASTROLONARDO, G.; NACCA, F.; FUGGI, A. Nitrate reductase in durum wheat seedlings as affected by nitrate nutrition and salinity. **Functional Plant Biology**, v.32, p.209-219, 2005.

CARNEIRO, C.; SOTTOMAIOR, A. P.; ANDREOLI, C. V. Dinâmica de nitrogênio em lodo de esgoto sob condições de estocagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.987-994, 2005.

CARVALHO, E. V.; AFFÉRRI, F. S.; PELUZIO, J. M.; LEÃO, F. F.; CANCELLIER, L. L.; DOTTO, M. A. Eficiência e uso do nitrogênio em híbridos experimentais de milho do programa de melhoramento da Universidade Federal do Tocantins. **Bioscience Journal**, v.27, p.392-403, 2011.

CARVALHO, N. L.; ZABOT, V. Nitrogênio: nutriente ou poluente? **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v.6, p.960-974, 2012.

CATALDO, J. M.; HAROOM, M.; SCHRADER, L. E.; YOUNGS, V. L. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.6, p.71-80, 1975.

CAVALCANTE, L. F. Água para agricultura. In: CAVALCANTE, L. F. **O maracujazeiro amarelo e a salinidade**. 1. ed. Areia: UFPB, 2012. p.1-15.

CAVALCANTE, L. F.; ANDRADE, R.; COSTA, J. R. M.; CAVALCANTE, I. H. L.; GONDIM, S. C.; LIMA, E. M.; MACEDO, J. P. S.; SANTOS, J. B.; SANTOS, C. J. O. Maracujá-amarelo e salinidade. *In:* CAVALCANTE, L. F.; LIMA, E. M. (ed.). **Algumas frutíferas tropicais e a salinidade**. Jaboticabal: Funep, 2006, p.91-114.

CHAVES, L. H. G.; GHEYI, H. R.; RIBEIRO, S. Consumo de água e eficiência do uso para cultivar de mamona paraguaçu submetida à fertilização nitrogenada. **Engenharia Ambiental**, v.8, p.126-133, 2011.

CHEN, W.; HOU, Z.; WU, L.; LIANG, Y.; CHANGZHOU WEI, C. Effects of salinity and nitrogen on cotton growth in arid environment. **Plant Soil**, v.326, p.61-73, 2010.

CLARKE, S. M.; EATON-RYE, J. J. Amino acid deletions in loop C of the chlorophyll a binding protein CP47 alter the chloride requirement and/or prevent the assembly of photosystem II. **Plant molecular biology**, v.44, p.591-601, 2000.

COSTA, D. M. A. **Impactos do estresse salino e da cobertura morta nas características químicas do solo e no desenvolvimento do amaranto**. 2007. 124f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

CRAMER, G. R.; ALBERICO, G. J.; SCHIMIDT, C. Salt tolerance is not associated with the sodium accumlation of two maize hybrids. **Australian Journal of plant Physiology**, v.21, p.675-692, 1994.

CRAMER, G. R.; ALBERICO, G. J.; SCHMIDT, C. Leaf expansion limits dry matter accumulation of salt-stressed maize. **Australian Journal of Plan Physiology**, v.21, p.675 692, 1994.

CRAMER, G. R.; EPSTEIN, E.; LAÜCHLI, A. Effects of sodium, potassium and calcium on salt-stressed barley. II. Elemental analysis. **Physiologia Plantarum**, v.81, p.197-202, 1991.

CRUZ, J. L.; PELACANI, C. R.; COELHO, E. F.; CALDAS, R. C.; ALMEIDA, A. Q.; QUEIROZ, J. R. Influência da salinidade sobre o crescimento, absorção e distribuição de sódio, cloro e macronutrientes em plântulas de maracujazeiro-amarelo. **Bragantia**, v.65, p.275-284, 2006.

CUARTERO, J.; MUÑOZ, R. F. Tomato and salinity. **Scientia Horticulturae**, v.78, p.83 125, 1999.

DAVIES, S. N.; DeWIEST, R. J. M. Water Quality. In. DAVIES, S. N.; DeWIEST, R. J. M. **Hydrogeology**. New York, John Wiley & Sons, 1966. Chapter 4, p. 96-128.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. **Micronutrientes**. In: FERNANDES, M. S. Nutrição mineral de plantas. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. Cap. 13, p. 328-352.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. **Micronutrientes**. In: FERNANDES, M. S. (ed.) Nutrição mineral de plantas. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 327 374.

DELÚ FILHO, N.; OLIVEIRA, L. E. M.; ALVES, J. D. Atividade da redutase do nitrato em plantas jovens de seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell.Arg): otimização das condições de ensaio e ritmo circadiano. **Revista Árvore**, v.21, p.329-336, 1997.

DIAS, N. S. **Manejo da fertirrigação e controle da salinidade em solo cultivado com melão rendilhado em ambiente protegido**. 2004. 110f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F. Efeitos dos sais no solo e na planta. *In:* GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicados**. Fortaleza: INCT Sal, 2010. cap. 9, p.129-141.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F.; SOUZA, E. R.; FERREIRA, J. F.; SOUSA NETO, O. N.; QUEIROZ, I. S. R. Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade. *In:* GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicados**. 2ª ed. Fortaleza: INCTSal, 2016. cap.11, p.151-161.

DIAS, N. S.; MEDEIROS, J. F.; GHEYI, H. R.; SILVA, F. V.; BARROS, A. D. Evolução da salinidade em um Argissolo sob cultivo de melão irrigado por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.8, p.240-246, 2004.

DIAS, T. J.; FREIRE, J. L. O.; CAVALCANTE, L. F.; NASCIMENTO, E. S.; DANTAS, L. A.; DANTAS, M. M. M. Atributos químicos do solo irrigado com águas salinas e uso de mitigadores do estresse salino no maracujazeiro amarelo. **Revista Principia**, n.27, p.19-29, 2015.

DING, X.; TIAN, C.; ZHANG, S.; SONG, J.; ZHANG, F.; MI, G.; FENG, G. Effects of NO_3^--N on the growth and salinity tolerance of *Tamarix laxa* Willd. **Plant and Soil**, v.331, p.57-67, 2010.

DLUZNIEWSKA, P.; GESSLER, A.; DIETRICH, H.; SCHNITZLER, J. P.; TEUBER, M.; RENNENBERG, H. Nitrogen uptake and metabolism in *Populus* x *canescens* as affected by salinity. **New Phytologist**, v.173, p.279-93, 2007.

DUARTE, I. N.; PEREIRA, H. S.; KORNDÖRFER, G. H. Lixiviação de potássio proveniente do termopotássio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.43, p.195-200, 2013.

DUBOIS, M.; GILLES, K. A.; HAMILTON, J. K.; REBERS, P. A.; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and realited substrance. **Analytical Chemistry**, v.28, p.350-356, 1956.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2 ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.

ERNANI, P. R.; BAYER, C.; ALMEIDA, J. A.; CASSOL, P. C. Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.393-402, 2007.

ESMAILI, E.; KAPOURCHAL, S. A.; MALAKOUTI, M. J.; HOMAEE, M. Interactive effect of salinity and two nitrogen fertilizers on growth and composition of sorghum. **Plant, Soil and Environment**, v.54, p.537-546, 2008.

ESPINDULA, M. C.; CAMPANHARO, M.; ROCHA, V. S.; MONNERAT, P. H.; FAVARATO, L. F. Composição mineral de grãos de trigo submetidos a doses de sulfato de amônio e trinexapac-etil. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.40, p.513-520, 2010.

FANTI, S. C.; PEREZ, J. G. A. Processo germinativo de sementes de paineira sob estresses hídrico e salino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.903-909, 2004.

FARIAS, S. G. G.; SANTOS, D. R.; FREIRE, A. L. O.; SILVA, R. B. Estresse salino no crescimento inicial e nutrição mineral de gliricídia (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Steud) em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.33, p.1499-1505, 2009.

FAROOQ, M.; HUSSAIN, M.; WAKEEL, A.; SIDDIQUE, K. H. M. Salt stress in maize: effects, resistance mechanisms, and management. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v.35, p.461-481, 2015.

FEIGIN, A.; PRESSMAN, E.; IMAS, P.; MILTAU, O. Combined effects of KNO_3 and salinity on yield and chemical composition of lettuce and chinese cabbage. **Irrigation Science**, v.12, p.223-230, 1991.

FEIJÃO, A. R. **Influência de diferentes fontes de nitrogênio na tolerância de plantas de girassol ao estresse salino**. 2017. 115f. Tese (Doutorado em Bioquímica), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

FEIJÃO, A. R.; MARQUES, E. C.; SILVA, J. C. B.; LACERDA, C. F.; PRISCO, J. T.; GOMES FILHO, E. Nitrato modula os teores de cloreto e compostos nitrogenados em plantas de milho submetidas à salinidade. **Bragantia**, v.72, p.10-19, 2013.

FERNANDES, F. C. S.; BUZETTI S.; ARF, O.; ANDRADE, J. A. C. Doses, eficiência e uso de nitrogênio por seis cultivares de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.4, p.195-204, 2005.

FERREIRA, A. C. B. **Efeitos da adubação com N, Mo e Zn sobre a produção, qualidade de grãos e concentração de nutrientes no milho**. Viçosa, 1997. 73f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

FERREIRA, P. A.; GARCIA, G. O.; NEVES, J. C. L.; MIRANDA, G. V.; SANTOS, D. B. Produção relativa do milho e teores folheares de nitrogênio, fósforo, enxofre e cloro em função da salinidade do solo. **Revista Ciência Agronômica**, v.38, p.7-16, 2007.

FERREIRA, R. G.; TÁVORA, F. J. A. F.; HERNANDEZ, F. F. F. Distribuição da matéria seca e composição química das raízes, caule e folhas de goiabeira submetida a estresse salino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.79-88, 2001.

FLORES, P.; BOTELLA, ANGELES, M.; MARTÍNEZ, V.; CERDÁ, A. Response to salinity of tomato seedlings with a split-root system: Nitrate uptake and reduction. **Journal of Plant Nutrition**, v.25, p.177-187, 2002.

FLORES, P.; CARVAJAL, M.; CERDA, A.; MARTINEZ, V. Salinity and ammonium/nitrate interactions on tomato plant development, nutrition, and metabolites. **Journal of Plant Nutrition**, v.24, p.1561-1573, 2001.

FOUGÈRE, F.; Le RUDULIER, D.; STREETER, J. G. Effects of salt stress on amino acids, organic acids and carbohydrate composition of roots, bacteroids and cytosol of alfalfa (*Medicago sativa* L.). **Plant Physiology**, v96, p. 1228-1236, 1991.

FRAGA JÚNIOR, E. F.; MAURI, R.; LEAL, D. P. V.; BARBOSA, S. F.; VELLAME, L. M.; COELHO, R.D. Área foliar de citrus irrigado por gotejamento sob estresse hídrico contínuo e intermitente. **Irriga**, v.1, p.83-96, 2012.

FREIRE, J. L. O.; CAVALCANTE, L. F.; DIAS T. J.; DANTAS, M. M. M.; MACEDO, L. P. M.; AZEVEDO, T. H. O. Teores de micronutrientes no solo e no tecido foliar do maracujazeiro amarelo sob uso de atenuantes do estresse salino. **Revista Agropecuária Técnica**, v.36, p.65-81, 2015.

FREIRE, J. L. O.; CAVALCANTE, L. F.; NASCIMENTO, R.; REBEQUI, A. M. Teores de clorofila e composição mineral foliar do maracujazeiro irrigado com águas salinas e biofertilizante. **Revista de Ciências Agrárias**, v.36, p.57-70, 2013.

FREIRE, J. L. O.; CAVALCANTE, L. F.; REBEQUI, A. M.; DIAS, T. J.; VIEIRA, M. S. Crescimento do maracujazeiro amarelo sob estresse salino e biofertilização em ambiente protegido contra perdas hídricas. **Holos**, v.28, p.55-68, 2012.

GADALLA, A. M.; HAMDY, A.; GALAL, Y. G. M.; AZIZ, H. A. A.; MOHAMED, M. A. A. Evaluation of maize growth under salinity stress and N application strategies using stable nitrogen isotope. **African Crop Science Conference Proceedings**, v.8, p.1553-1562, 2007.

GAINES, T. P.; PARKER, M. B.; GASCHO, G. J. Automated determination of chlorides in soil and plant tissue by sodium nitrate. **Agronomy Journal**, v.76, p.371-374, 1984.

GALVÃO, S. R. S.; SALCEDO, I. H.; SANTOS, A. C. Frações de carbono e nitrogênio em função da textura, do relevo e do uso do solo na microbacia do agreste em Vaca Brava (PB). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.955-962, 2005.

GAO, Y.; LU, Y.; WU, M.; LIANG, E.; LI, Y., ZHANG, D.; YIN, Z.; REN, X.; DAI, Y.; DENG, D.; CHEN, J. Ability to remove Na^+ and retain K^+ correlates with salt tolerance in two maize inbred lines seedlings. **Frontiers in Plant Science**, v.7, p.1-15, 2016.

GARCIA, G. O.; FERREIRA, P. A.; MIRANDA, G. V.; NEVES, J. C. L.; MORAES, W. B.; SANTOS, D.B. Teores foliares dos macronutrientes catiônicos e suas relações com sódio em plantas de milho sob estresse salino. **Idesia**, v.25, p.93-106, 2007.

GARCIA, G. O.; FERREIRA, P. A.; SANTOS, D. B.; OLIVEIRA, F. G.; MIRANDA, G. V. Estresse salino em plantas de milho: I - macronutrientes aniônicos e suas relações com o cloro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Suplemento, p.26-30, 2005.

GHEYI, H. R., QUEIROZ, J. E., MEDEIROS, J. F. **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Paraiba: UFPB, 1997.

GHOULAM, C.; FOURSY, A.; FARES, K. Effects of salt stress on growth, inorganic íons and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. **Environmental and Experimental Botany**. v.47, p.39-50, 2002.

GOMES, K. R.; AMORIM, A. V.; FERREIRA, F. J.; A. FILHO, F. L.; LACERDA, C. F.; GOMES-FILHO, E. Respostas de crescimento e fisiologia do milho submetido a estresse salino com diferentes espaçamentos de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.365-370, 2011.

GONÇALVES, E. R.; FERREIRA, V. M.; SILVA, J. V.; ENDRES, L.; BARBOSA, T. P.; DUARTE, W. G. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a em variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.378-386, 2010.

GRATTAN, S. R.; GRIEVE, C. M. Salinity mineral relations in horticultural crops. **Scientia Horticulturae**, v.78, p.127-157, 1999.

GRATTAN, S. R.; GRIEVE, C. M. Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. **Scientia Horticulturae**, v.78, p.127-157, 1999.

GURGEL, M. T.; UYEDA, C. A.; GHEYI, H. R.; OLIVEIRA, F. H. T.; FERNANDES, P. D.; SILVA, F. V. Crescimento de meloeiro sob estresse salino e doses de potássio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.3-10, 2010.

HARLING, H.; CZAJA, L.; SCHELL, J.; WALDEN, R. A plant cation-chloride co transporter promoting auxin-independent tobacco protoplast division. **EMBO Journal**, v.16, p.5855-5866, 1997.

HASANUZZAMAN, M; NAHAR, K.; FUJITA, M. Plant response to salt stress and role of exogenous protectants to mitigate salt-induced damages. *In*: AHMAD, P.; AZOOZ , M. M.; PRASAD, M. N. V. (Eds). **Ecophysiology and responses of plants under salt stress**. Springer New York, 2013. chapter 2, p.25-87.

HEUER, B. Photosynthetic carbon metabolism of crops under salt stress. *In:* Pessarakli, M. (ed.). **Handbook of Photosynthesis**. New York: Marcel Dekker, 1997. p.887-896.

HOLANDA FILHO, R. S. F.; SANTOS, D. B.; AZEVEDO, C. A. V.; COELHO, E. F.; LIMA, V. L. A. Água salina nos atributos químicos do solo e no estado nutricional da mandioqueira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.60-66, 2011.

ISLA, R.; ARAGUES, R. Yield and plant ion concentrations in maize (*Zea mays* L.) subject to diurnal and nocturnal saline sprinkler irrigations. **Field Crops Research**, v.116, p.175-183, 2010.

IZZO, R.; NAVARI-IZZO, F.; QUARTACCI, F. Growth and mineral absorption in Maize seedling as affected by increasing NaCl concentrations. **Journal of Plant Nutrition**, v.14, p.687-699, 1991.

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, 75-85, 1983.

KORNDORFER, G. H. **Elementos benéficos**. In: FERNANDES, M. S. Nutrição mineral de plantas. Viçosa: SBCS, 2007. cap.14, p.355-370.

LACERDA, C. F. **Crescimento e acúmulo de solutos orgânicos e inorgânicos em dois genótipos de sorgo forrageiros submetidos a estresse salino**. 2000. 163f. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

LACERDA, C. F.; FERREIRA, J. F. S.; LIU, X.; SUAREZ, D. L. Evapotranspiration as a criterion to estimate nitrogen requirement of maize under salt stress. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v.202, p.192-202, 2016.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RIMA, 2000. p.531.

LEITE, E. M., DINIZ, A. A.; CAVALCANTE, L. F.; RAIJ, H. G.; CAMPOS, V. B. Redução da sodicidade em solo irrigado com a utilização de ácido sulfúrico e gesso agrícola. **Revista Caatinga**, v.23, p.110-116, 2010.

LIMA, D. V.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A. E.; MORAIS, A. R.; CURI, N.; HIGA, N. T. Macro e micronutrientes no crescimento do braquiarão e da soja em Latossolos sob cerrado da região de Cuiabá - MT. **Ciência e Agrotecnologia**, v.24, p.96-104, 2000.

LIMA, G. S.; NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. A.; SILVA, A. O. Crescimento e componentes de produção da mamoneira sob estresse salino e adubação nitrogenada. **Revista Engenharia Agrícola**, v.34, p.854-866, 2014.

LUNIN, J.; GALLATIN, M. H. Salinity-fertility interactions in relation to the growth and composition of beans. II. Varying levels of N and P. **Agronomy Journal**, v.57, p.342-345, 1965.

MALUF, H. J. G. M.; SOARES, E. M. B.; SILVA, I. R.; NEVES, J. C. L.; SILVA, M. F. O. Disponibilidade e recuperação de nutrientes de resíduos culturais em solo com diferentes texturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, p.1690-1702, 2015.

MANSOUR, M. M. F., SALAMA, K. H. A., ALLAM, H. Y. H., Role of the plasma membrane in saline conditions: lipids and proteins. **The Botanical Review**, v.81, 416-451, 2015.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plant**. 2. ed. Academy: New York, 1995. 889 p.

MARTUSCELLO, J. A.; FONSECA, D. M.; NASCIMENTO JÚNIOR, D.; SANTOS, P. M.; CUNHA, D. N. F. V.; MOREIRA, L. M. Características morfogênicas e estruturais de capim-massai submetido a adubação nitrogenada e desfolhação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, p.665-671, 2006.

MELO, N. C.; FERNANDES, A. R.; GALVÃO, J. R. Crescimento e eficiência nutricional do nitrogênio em cultivares de milheto forrageiro na Amazônia. **Revista Caatinga**, v.28, p.68-78, 2015.

MELO, T. K.; MEDEIROS, J. F.; SOBRINHO, J. E.; FIGUEIRÊDO, V. B.; PEREIRA, V. C.; CAMPOS, M. S. Evapotranspiração e produção do melão Gália irrigado com água de diferentes salinidades e adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p.1235-1242, 2011.

MELONI, D. A.; GULOTTA, M. R.; MARTÍNEZ, C. A.; OLIVA, M. A. The effects of salt stress on growth, nitrate reduction and proline and glycinebetaine accumulation in *Prosopis alba*. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v.16, p.39-46, 2004.

MENDES, W. C.; ALVES JÚNIOR, J.; CUNHA, P. C. R.; SILVA, A. R.; EVANGELISTA, A. W. P.; CASAROLI, D. Potassium leaching in different soils as a function of irrigation depths. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, p.972-977, 2016.
MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo**. 5 ed. Porto Alegre: Evangraf, 2012. 280p.

MIELNICKZUK, J. Avaliação da resposta das culturas ao potássio em ensaios de longa duração: Experiências brasileiras. In: YAMADA, T.; MUZZILLI, O. & USHERWOOD, N.R., eds. Potássio na agricultura brasileira. Piracicaba, Instituto da Potassa e Fosfato, 1982. p.289-303.

MOLAZEM, D.; BASHIRZADEH, A. Impact of salinity stress on proline reaction, peroxide activity, and antioxidant enzymes in maize (*Zea mays* L.). **Polish Journal of Environmental Studies**, v.24, p.597-603, 2015.

MORAGHAN, J. T.; MASCAGNI JÚNIOR, H. J. Environmental and soil factors affecting micronutrient deficiencies and toxicities. In: MORTVEDT, J. J.; COX, F. R.; SHUMAN, L. M.; WELCH, R. M. (Ed.) Micronutrients in agriculture. 2.ed. Madison: SSSA, 1991. p.371-425.

MORAIS. T. P.; BRITO, C. H.; FERREIRA, A. S.; LUZ, J. M. Q. Aspectos morfofisiológicos de plantas de milho e bioquímico do solo em resposta à adubação nitrogenada e à inoculação com *Azospirillum brasilense*. **Revista Ceres**, v.62, p.589-596, 2015.

MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, Cell and Environment**, v.25, p.239-250, 2002.

MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v.59, p.651-668, 2008.

MUNNS, R.; WEIR, R. Contribution of sugars to osmotic adjustment in elongating and expanded zones of wheat leaves during moderate water deficit at two light levels. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.8, p.93-105, 1981.

MUSYIMI, D. M.; NETONDO, G. W.; OUMA, G. Effects of salinity on gas exchange and nutrients uptake in avocados. **Journal of Biological Sciences**, v.7, p.496-505, 2007.

NAHAR, K.; HASANUZZAMAN, M.; FUJITA, M. Roles of Osmolytes in Plant Adaptation to Drought and Salinity. In: IQBAL, N.; NAZAR, R.; KHAN, N. (Eds.). **Osmolytes and Plants Acclimation to Changing Environment: Emerging Omics Technologies**. India: Springer, 2016. P.37-68.

NASCIMENTO, R.; NASCIMENTO, D.A.M.; SILVA, D.A.; ALVES, A.G. Índice SPAD e partição de biomassa em plantas de feijão-caupi submetidas ao estresse salino. **Revista Educação Agrícola Superior**, v.27, p.128-132, 2012.

NASR, S. M. H.; PARSAKHOO, A.; NAGHAVI, H.; KOOHI, S. K. S. Effect of salt stress on germination and seedling growth of *Prosopis juliflora* (Sw.). **New Forests**, v.42, p.9265-9269, 2011.

NAZÁRIO, A. Z.; BESTETE, L. O.; GARCIA, G. O.; REIS, E. F.; CECÍLIO, R. A. Desenvolvimento e produção do milho irrigado com água de diferentes condutividades elétricas. **Engenharia Ambiental**, v.10, p.117-130, 2013.

NEVES, A. L. R., LACERDA, C. F.; GUIMARÃES, F. V. A.; HERNANDEZ, F. F. F.; SILVA, F. B.; PRISCO, J. T.; GHEYI, H. R. Acumulação de biomassa e extração de nutrientes por plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento. **Ciencia Rural**, v.39, p.758-765, 2009.

NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; SOARES, F. A. L.; CARDOSO, J. A. F. Produção do girassol sob estresse salino e adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.929-937, 2011.

OLIVEIRA, F. A.; MARTINS, D. C.; OLIVEIRA, M. K. T.; NETA, M. L. S.; RIBEIRO, M. S. S.; SILVA, R. T. S. Desenvolvimento inicial de cultivares de abóboras e morangas submetidas ao estresse salino. **Revista Agroambiente**, v.8, p.222-229, 2014a.

OLIVEIRA, F. A.; MEDEIROS, J. F. DE.; OLIVEIRA, M. K. T.; LIMA, C. J. G. S.; ALMEIDA JÚNIOR, A. B.; AMÂNCIO, M. G. Desenvolvimento inicial do milho-pipoca irrigado com água de diferentes níveis de salinidade. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.4, p.149-155, 2009.

OLIVEIRA, F. A.; MEDEIROS, J. F.; ALVES, R. C.; LINHARES, P. S. F.; MEDEIROS, A. M. A.; OLIVEIRA, M. K. T. Interação entre salinidade da água de irrigação e adubação nitrogenada na cultura da berinjela. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, p.480-486, 2014b.

OLIVEIRA, F. A.; MEDEIROS, J. F.; CUNHA, R. C.; SOUZA, M. W. L.; LIMA, L. A. Uso de bioestimulante como agente amenizador do estresse salino na cultura do milho pipoca. **Revista Ciência Agronômica**, v.47, p.307-315, 2016.

OLIVEIRA, F. A.; OLIVEIRA, F. R. A.; CAMPOS, M. S.; DE OLIVEIRA, MYCHELLE, K. T.; MEDEIROS, J. F.; SILVA, O. M. P. Interação entre salinidade e fontes de nitrogênio no desenvolvimento inicial da cultura do girassol. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.5, p.479-484, 2010.

OLIVEIRA, L. B.; RIBEIRO, M. R.; FERREIRA, M. G. V. X.; LIMA, J. F. W. F.; MARQUES, F. A. Inferências pedológicas aplicadas ao perímetro irrigado de Custódia, PE. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.1477-1486, 2002.

OLIVEIRA, M. A. J.; BOVI, M. L. A.; MACHADO, E. C.; RODRIGUES, J. D. Atividade da redutase de nitrato em mudas de pupunheira (*Bactris gasipaes*). **Ciência Rural**, v.35, p.515-522, 2005.

OLIVEIRA, S. A. **Avaliação da mineralização de disponibilidade de nitrogênio para o trigo (*Triticum aestivum* L.) em solos no Distrito Federal**. 1987. 128f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1987.

PAIVA, M. R. F. C.; SILVA, G. F.; OLIVEIRA, F. H. T.; PEREIRA, R. G.; QUEIROGA, F. M. Doses de nitrogênio e de fósforo recomendadas para produção econômica de milho-verde na chapada do Apodi - RN. **Revista Caatinga**, v.25, p.1-10, 2012.

PARIDA, A. K.; DAS, A. B. Effects of NaCl stress on nitrogen and phosphorous metabolism in a true mangrove *Bruguiera parviflora* grown under hydroponic culture. **Journal of Plant Physiology**, v.161, p.921-928, 2004.

PATEL, N. T.; VAGHELA, P. M.; PATEL, A. D.; PANDEY, A. N. Implications of calcium nutrition on the response of *Caesalpinia crista* (Fabaceae) to soil salinity. **Acta Ecologica Sinica**, v.31, p.24-30, 2011.

PEREIRA, M. R. R.; MARTINS, C. C.; SOUZA, G. S. F.; MARTINS, D. Influência do estresse hídrico e salino na germinação de *Urochloa decumbens* e *Urochloa ruziziensis*. **Bioscience Journal**, v.28, p.537-545, 2012.

PESSOA, L. G. M. **Desenvolvimento de cebola e atributos químicos de dois Neossolos Flúvicos irrigados com águas salinas**. 2009. 89f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009.

PITMAN, M. G., LÄUCHLI, A. Global impacts of salinity and agricultural ecosystem. *In:* LÄUCHLI, A., LÜTTGE, U. (Eds.), **Salinity: environment-plantsmolecules**. Kluwer Academic, Dordrecht, The Netherlands, p.3-20. 2002.

PORTO FILHO, F. Q.; MEDEIROS, J. F.; GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; SOUSA, P. S.; DANTAS, D. C. Evolução da salinidade e pH de solo sob cultivo de melão irrigado com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.1130-1137, 2011.
RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo dos nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420 p.

RAMOLIYA, P. J.; PATEL, H. M.; PANDEY, A. N. Effect of salinization of soil on growth and macro- and micro-nutrient accumulation in seedlings of Salvadora pérsica (*Salvadoraceae*). **Forest Ecology and Management**, v.202, p.181-193, 2004.

RASHAD, R. T.; RASHAD A. HUSSIEN, R. A. A comparison study on the effect of some growth regulators on the nutrients content of maize plant under salinity conditions. **Annals of Agricultural Science**, v.59, p.89-94, 2014.

REGO, S. S.; FERREIRA, M. M.; NOGUEIRA, A. C.; GROSSI, F.; SOUSA, R. K.; BRONDANI, G. E.; ARAUJO, M. A.; SILVA, A. L. L. Estresse hídrico e salino na germinação de sementes de *Anadenanthera colubrina* (Veloso) Brenan. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v.2, p.37-42, 2011.

RHOADES, J. P. **Uso de águas salinas para a produção agrícola**. Campina Grande: UFPB, 2000. 117 p.

RIBEIRO, A. A.; SEABRA FILHO, M.; MOREIRA, F. J. C.; SOUZA, M. C. M. R.; MENEZES, A. S. Crescimento inicial do maracujazeiro amarelo irrigado com água salina em dois substratos. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.8, p.133-242, 2013.

RIBEIRO, M. R.; BARROS, M. F. C.; FREIRE, M. B. G. S. Química dos solos salinos e sódicos. *In:* MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (ed.). **Química e mineralogia do solo. Parte II - Aplicações**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p. 449-484.

RIBEIRO, M. R.; RIBEIRO FILHO, R.; JACOMINE, P. K. T. Origem e classificação dos solos afetados por sais. In: GHEYI, R. H.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal, 2016. cap.2, p.9-15.

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and álcali soils**. Washington: United States Salinity Laboratory, 1954. 160p. USDA, Agriculture Handbook 60.

RUIZ, H. A.; SAMPAIO, R. A.; OLIVEIRA, M.; VENEGAS, V. H. A. Características químicas de solos salino-sódicos submetidos a parcelamento da lâmina de lixiviação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.1119-1126, 2004.

SANGOI, L.; ERNANI, P.R.; LECH, V.A.; RAMPAZZO, C. Volatilização de N-NH_3, em decorrência da forma de aplicação de ureia, manejo de resíduos e tipo de solo, em laboratório. **Ciência Rural**, v.33, p.687-692, 2003.

SANTANA, M. J.; CARVALHO, J. A.; SILVA, E. L.; MIGUEL, D. S. Efeito da irrigação com água salina em um solo cultivado com o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e agrotecnologia**, v.27, p.443-450, 2003.

SANTANA, M. J.; CARVALHO, J. A.; SOUZA, K. J.; SOUSA, A. M. G.; VASCONCELOS, C. L.; ANDRADE, L. A. B. Efeitos da salinidade da água de irrigação na brotação e desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) e em solos com diferentes níveis texturais. **Ciência e Agrotecnologia**, v.31, p.1470-1476, 2007.

SANTOS, M. R.; BRITO, C. F. B. Irrigação com água salina, opção agrícola consciente. **Revista Agrotecnologia**, v.7, p.33-41, 2016.

SANTOS, R. V.; CAVALCANTE, L. F.; VITAL, A. F.M. Interações salinidade-fertilidade do solo. *In:* GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicados**. Fortaleza: INCT Sal, 2010. cap. 14, p. 221-252.

SANTOS, T. D.; MEERT, L.; BORGHI, W. A.; SILVA, P. S.; FIGUEIREDO, A. S. T. Desenvolvimento inicial de plantas de soja e qualidade de semeadura em função da velocidade de deslocamento da semeadora e textura do solo. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, v.10, p.97-103, 2017.

SERRA, D. D. **Avaliação da disponibilidade de nitrogênio para milho (*Zea mays*) em solo do Distrito Federal**. 2006. 93f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

SHARMA, P. K.; HALL, D. O. Interaction of salt stress and photoinhibition on photosynthesis in barley and sorghun. **Journal of Plant Physiology**, v.138, p.614-619, 1991.

SILVA JÚNIOR, F. F. **Desenvolvimento do tomate em diferentes níveis de irrigação e de doses de salinidade**. 2012. 74f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2012.

SILVA, A. O. A fertirrigação e o processo de salinização de solos em ambiente protegido. **Nativa**, v.2, p.180-186, 2014.

SILVA, E. M.; NOBRE, R. G.; SOUZA, L. P.; PINHEIRO, F. W. A.; ANDRADE, A. B. A. Efeito da adubação nitrogenada na formação de mudas de goiabeira irrigadas com águas salinizadas. **Revista Verde**, v.10, p.42-48, 2015.

SILVA, E. N.; RIBEIRO, R. V.; SILVA, S. L. F.; VIÉGAS, R. A.; SILVEIRA, J. A. G. Comparative effects of salinity and water stress on photosynthesis, water relations and growth of Jatropha plants. **Journal of Arid Environments**, v.74, p.1130-1137, 2010.

SILVA, E. N.; SILVEIRA, J. A. G.; FERNANDES, C. R. R.; DUTRA, A. T. B.; ARAGÃO, R. M. Acúmulo de íons e crescimento de pinhão-manso sob diferentes níveis de salinidade. **Revista Ciência Agronômica**, v.40, p.240-246, 2009.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. de. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**, v.11, p.3733-3740, 2016.

SILVA, F. L. B.; LACERDA, C. F.; NEVES, A. L. R.; SOUSA, G. G.; SOUSA, C. H. C.; FERREIRA, F. J. Irrigação com águas salinas e uso de biofertilizante bovino nas trocas gasosas e produtividade de feijão-de-corda. **Irriga**, v.18, p.304-317, 2013.

SILVA, J. L. A.; MEDEIROS, J. F.; ALVES, S. S. V.; OLIVEIRA, F. A.; SILVA JUNIOR, M. J.; NASCIMENTO, I. B. Uso de águas salinas como alternativa na irrigação e produção de forragem no semiárido nordestino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, (Suplemento), p.66-72, 2014a.

SILVA, M. V. T.; CHAVES, S. W. P.; OLIVEIRA, F. L.; LIMA, R. M. S.; MEDEIROS, J. F. Conteúdo de Na, Cl, N, P e K na abobora sob diferentes níveis de água salina e ótima condição adubação nitrogenada. **Revista Verde**, v.9, p.43-49, 2014b.

SILVEIRA, J. A. G.; MELO, A. R. B.; VIÉGAS, R. A.; OLIVEIRA, J. T. A. Salt-induced effects on the nitrogen assimilation related to growth in cowpea plants. **Environmental and Experimental Botany**, v.46, p.171-179, 2001.

SLAMA, I.; ABDELLY, C.; BOUCHEREAU, A.; FLOWERS, T.; SAVOURÉ, A. Diversity, distribution and roles of osmoprotective compounds accumulated in halophytes under abiotic stress. **Annals of Botany**, v.115, p.433-447, 2015.

SOLIMAN, M. S.; SHALABI, H. G.; CAMPBELL, W. F. Interaction of salinity, nitrogen and phosphorus fertilization on wheat. **Journal of Plant Nutrition**, v.17, p.1163-1173, 1994.
SOUSA, C. A. S. **Fracionamento do nitrogênio orgânico em solos do Distrito Federal**. 1993. 93f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade de Brasília, Brasília, 1993.

SOUSA, G. G.; LACERDA, C. F.; CAVALCANTE, L. F.; GUIMARÃES, F. V. A.; BEZERRA, M. E. J.; SILVA, G. L. Nutrição mineral e extração de nutrientes de planta de milho irrigada com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.1143-1151, 2010.

SOUSA, G. G.; LACERDA, C. F.; SILVA, G. L. FREITAS, C. A. S.; CAVALCANTE, L. F.; SOUSA, C. H. C. Acumulação de biomassa, teores e extração de micronutrientes em plantas de milho irrigadas com águas salinas. **Agropecuária Técnica**, v.31, p.1-10, 2010.

SOUSA, G. G.; MARINHO, A. B.; ALBUQUERQUE, A. H. P.; VIANA, T. V. A.; AZEVEDO, B. M. Crescimento inicial do milho sob diferentes concentrações de biofertilizante bovino irrigado com águas salinas. **Revista Ciência Agronômica**, v.43, p.237-245, 2012.

SOUSA, G. G.; VIANA, T. V. A.; SILVA, G. L.; DIAS, C. N.; AZEVEDO, B. M. Interação entre salinidade e biofertilizante de caranguejo na cultura do milho. **Magistra**, v.28, p.44-53, 2016.

SOUSA, R. B.; LACERDA, C.F.; AMARO FILHO, J.; HERNANDEZ, F. F. F. Crescimento e nutrição mineral do feijão-de-corda em função da salinidade e da composição iônica da água de irrigação. **Revista Brasileira de Ciência Agrárias**, v.2, p.75-82, 2007.

SOUZA, L. H.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V, V. H.; VILLANI, E. M. A. Efeito do pH do solo rizosférico e não rizosférico de plantas de soja inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* na absorção de boro, cobre, ferro, manganês e zinco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.1641-1652, 2010.

SOUZA, M. W. L.; CUNHA, R. C.; COSTA, P. A. A.; MOURA, I. N. B. M.; BEZERRA, F. M. S.; LIMA, L. A.; PEREIRA, L. A. F.; OLIVEIRA, F. A. Desenvolvimento inicial de milho doce e milho pipoca sob estresse salino. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v.10, p.65-72, 2014.

SOUZA, N. K. R.; ALCÂNTARA JÚNIOR, J. P.; AMORIM, S. M. C. Efeito do estresse salino sobre a produção de fitomassa em *Physalis angulata* L. (Solanaceae). **Revista Acadêmica**, v.5, p.379-384, 2007.

STEVENSON, F. J. Origin and distribution of nitrogen in soil. In: STEVENSON, F. J. et al. (Ed.). **Nitrogen in agricultural soils**. Madison: American Society of Agronomy, 1982. cap.1, p.1-39.

STURM, A.; TANG, G-Q. The sucrose-cleaving enzymes of plants are crucial for development, growth and carbon partitioning. **Trends in Plant Science**, v.4, p.401- 407, 1999.

SURABHI, G. K.; REDDYA, A. M.; KUMARIA, G. J.; SUDHAKARA, C. Modulations in key enzymes of nitrogen metabolism in two high yielding genotypes of mulberry (*Morus Alba* L.) with differential sensitivity to salt stress. **Environmental and Experimental Botany**, v. 64, p. 171-179, 2008.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2006. 719p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Plant physiology. 4. ed. Sunderland: Sinauer Associates, Inc. Publishers, 2009. 848p.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília, Embrapa, 2017. 573 p.

TESTER, M.; DAVENPORT, R. Na^+ tolerance and Na^+ transport in higher plants. **Annals of Botany**, v.91, p.503-527, 2003.

TUNA. A. L.; KAYAB, C.; ASHRAF, M.; ALTUNLU, H.; YOKAS, I.; YAGMUR, B. The effects of calcium sulphate on growth, membrane stability and nutrient uptake of tomato plants grown under salt stress. **Environmental and Experimental Botany**, v.59, p.173-178, 2007.

TURAN, M. A.; ELKARIM, A. H. A.; TABAN, N.; TABAN, S. Effect of salt stress on growth and ion distribution and accumulation in shoot and root of maize plant. **African Journal of Agricultural Research**, v.5, p.584-588, 2010.

VALLADARES, G. S.; SANTOS, G. C. G.; ABREU, C. A.; CAMARGO, O. A.; FERRERO, J. P. Zinco total e disponível em amostras de perfis de solos do estado de São Paulo. **Bragantia**, v.68, p.1105-1114, 2009.

VAN HOORN, J. W.; KATERJI, N.; HAMDY, A.; MASTRORILLI, M. Effect of salinity on yield and nitrogen uptake of four grain legumes and on biological nitrogen contribution from the soil. **Agricultural Water Management**, v.51, p.87-98, 2001.

VIANA, E. M. **Interação de nitrogênio e potássio na nutrição, no teor de clorofila e na atividade da redutase de nitrato em plantas de trigo**. 2007. 95f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

VILLA-CASTORENA, M.; ULERY, A. L.; CATALAN-VALENCIA, E. A.; REMMENGA, M. D. Salinity and nitrogen rate effects on the growth and yield of chile pepper plants. **Soil Science Society of America Journal**, v. 67, p. 1781-1789, 2003.

WANG, L.; LI, X. G.; LV, J.; FU, T.; MA, Q.; SONG, W.; WANG, Y. P. LI, F. M. Continuous plastic-film mulching increases soil aggregation but decreases soil pH in semiarid areas of China. **Soil and Tillage Research**, v.167, p.46-53, 2017.

WILLADINO, L.; CAMARA, T. R.; RIBEIRO, M. B.; AMARAL, D. O. J.; SUASSUNA, F.; SILVA, M. V. Mechanisms of tolerance to salinity in banana: physiological, biochemical, and molecular aspects. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.39, p.1-8, 2017.

YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Associação Brasileira da Potassa e do Fosfato, 2005.

YEMM, E. W.; COCKING, E. C. The determination of amino-acids with ninhydrin. **The Analyst**, v.80, p.209-213, 1955.