



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS - GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

AURELIANO DE ALBUQUERQUE RIBEIRO

**A DEMANDA DE NITROGÊNIO EM PLANTAS SOB CONDIÇÕES DE
SALINIDADE DEPENDE DA TOLERÂNCIA DA ESPÉCIE AO ESTRESSE SALINO?**

FORTALEZA

2019

AURELIANO DE ALBUQUERQUE RIBEIRO

A DEMANDA DE NITROGÊNIO EM PLANTAS SOB CONDIÇÕES DE SALINIDADE
DEPENDE DA TOLERÂNCIA DA ESPÉCIE AO ESTRESSE SALINO?

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola/Irrigação e Drenagem, da Universidade Federal do Ceará, como requisito para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Irrigação e Drenagem

Orientador: Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda

FORTALEZA

2019

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)

- R367d Ribeiro, Aureliano de Albuquerque.
A demanda de nitrogênio em plantas sob condições de salinidade depende da tolerância da espécie ao estresse salino? / Aureliano de Albuquerque Ribeiro. – 2019.
116 f. : il. color.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2019.
Orientação: Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda.
1. Estresse salino. 2. Tolerância à salinidade. 3. Adubação nitrogenada. 4. Eficiência de uso do nitrogênio. I. Título.

CDD 630

AURELIANO DE ALBUQUERQUE RIBEIRO

A DEMANDA DE NITROGÊNIO EM PLANTAS SOB CONDIÇÕES DE SALINIDADE
DEPENDE DA TOLERÂNCIA DA ESPÉCIE AO ESTRESSE SALINO?

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola/Irrigação e Drenagem, da Universidade Federal do Ceará, como requisito para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Irrigação e Drenagem

Aprovada em 04/11/2019

BANCA EXAMINADORA

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

Prof. Dr. Aleksandro Oliveira da Silva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Carlos Alexandre Gomes Costa
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Carlos Henrique Carvalho de Sousa
Faculdade Ieducare (FIED)

Dr. Jorge Freire da Silva Ferreira
United States Salinity Laboratory (USSL)

Aos meus pais Manoel Gonçalves
Ribeiro e Arian de Albuquerque Ribeiro
e minha irmã Maria Liliane Ribeiro

AGRADECIMENTOS

A Deus, nosso eterno pai, pela saúde, força, e pôr sempre nos abençoar nas horas mais difíceis;

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola - Irrigação e Drenagem, da Universidade Federal do Ceará, pela oportunidade de realização deste curso;

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos;

Ao professor Claudivan Feitosa de Lacerda, pela orientação, paciência, confiança, compreensão, pelos ensinamentos, oportunidades e amizade.

Ao Dr. Jorge Freire da Silva Ferreira pelas contribuições dadas na elaboração do artigo científico oriundo desta pesquisa;

Aos demais membros da banca, Prof. Dr. Alexsandro Oliveira da Silva, Profa Dra Waleska Martins Eloi e Prof. Dr Carlos Henrique Sousa de Carvalho, pelas contribuições dadas para a melhoria deste trabalho;

Aos docentes do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Ceará, pelos valiosos conhecimentos repassados;

Aos colegas discentes do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola - Irrigação e Drenagem, da Universidade Federal do Ceará;

Aos professores que passaram por toda minha vida, pelos conhecimentos compartilhados, que certamente foram essenciais para esta conquista;

A toda a minha família pelo apoio durante toda minha vida acadêmica, especialmente meus pais Manoel Gonçalves Ribeiro e Arian de Albuquerque Ribeiro e minha irmã, Maria Liliane.

Aos atuais e ex-companheiros (as) do Laboratório Relação Solo-Água-Planta Carlos Henrique, Leila Neves, Régis dos Santos, Júlia Medeiros, Maria da Saúde, Emanuel Dias, Eduardo dos Santos, Antônio Flávio, Mardones, Humberto, Emanuelle Victor, Adriana Oliveira, Bruno Gabriel, Davi Rodrigues.

A Jordânia Maria Gabriel pelo constante apoio durante esta jornada e entender meus momentos de "ausência", para se dedicar as atividades da tese;

Ao Dr Régis dos Santos Braz pela ajuda essencial na montagem das colunas de solo;

As discentes Júlia Medeiros e Maria da Saúde pela ajuda nas análises laboratoriais, amizade e pelos momentos de descontração;

Aos funcionários da Estação Meteorológica da UFC, Weverton Vieira e Ricardo Araújo, pela ajuda durante a condução da pesquisa;

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola – UFC, pelo apoio e amizade, em especial Ana Maria, pela boa convivência e presteza.

Aos colegas de apartamento Ramon Costa, Jairo e Gustavo pelos momentos de descontração e aprendizagem ao longo desta jornada.

Aos professores do curso de Tecnologia em Irrigação e Drenagem do IFCE – Campus do Sobral, especialmente Francisco José de Carvalho (Franzé), Luís Neto e Maria Cristina, pelo incentivo para que eu entrasse no mundo da pós-graduação e por sempre estarem disponíveis para ajudar nos momentos que precisei, desde quando finalizei a graduação até hoje.

O excelente mestre não é o que mais sabe, mas o que mais tem consciência do quanto não sabe. Não é o viciado em ensinar, mas o mais ávido em aprender. Não é o que declara os seus acertos, mas o que reconhece suas próprias falhas. Não é o que deposita informações na memória, mas o que expande a maneira de ver, de reagir e de ser.

Augusto Cury

RESUMO

Em muitas espécies consideradas sensíveis à salinidade tem se observado que a aplicação adicional de nitrogênio não é capaz de atenuar os efeitos dos sais. Por outro lado, alguns estudos com halófitas têm apresentado resultados diferentes. Neste contexto, a hipótese testada neste trabalho foi que a resposta das plantas à aplicação de nitrogênio em condições de estresse salino depende do grau de tolerância à salinidade do genótipo. A pesquisa foi realizada em casa de vegetação na Estação Agrometeorológica da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE. Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados, em parcelas sub-subdivididas, tendo nas parcelas, duas culturas (milho e o algodão), nas subparcelas, os níveis de salinidade (0,5; 2,0; 4,0 e 6,0 dS m⁻¹) e nas subsubparcelas, três doses de nitrogênio (60, 100 e 140 %) do valor recomendado para cada cultura. Foram utilizadas quatro repetições, totalizando 96 unidades experimentais constituídas por colunas de solo, medindo 20 cm de diâmetro e 100 cm de comprimento. O solo utilizado para o preenchimento das colunas foi um Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico típico. Foram avaliados o crescimento, clorofila total, trocas gasosas foliares, nutrição mineral e acúmulo de solutos orgânicos, eficiência do uso do nitrogênio e as perdas de nutrientes no solo. Os dados de crescimento e trocas gasosas foliares das culturas avaliadas mostraram que o efeito positivo da adubação nitrogenada adicional foi observado apenas nos menores níveis de salinidade e que a utilização de doses supra ótimas intensificaram os efeitos do estresse salino, principalmente nas plantas do milho, comparativamente mais sensível à salinidade do que o algodão. Os índices de partição e relativo de clorofila evidenciaram diferenças claras na resposta à salinidade e às doses de N nas duas culturas estudadas. O aumento da salinidade reduziu a eficiência de utilização de N, principalmente na cultura do milho e associada à dose extra de nitrogênio, não resultou em incrementos de compostos nitrogenados nas folhas e ainda aumentou as perdas de nitrato (NO₃⁻) por lixiviação. A aplicação de nitrogênio adicional nas plantas cultivadas sob estresse salino não reduziu o conteúdo de cloreto (Cl⁻) nas folhas. O aumento da concentração de sais na água de irrigação aumentou a condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes), especialmente nas maiores profundidades do solo e dose de nitrogênio, tendo como consequência a redução do potencial osmótico na solução do solo e a inibição do crescimento radicular. O pH do solo decresceu com o aumento da profundidade do solo e da salinidade da água de irrigação. O aumento da salinidade da água de irrigação provocou acúmulo de potássio no solo principalmente nas maiores profundidades e elevada dose de N. Além disso, a aplicação adicional de nitrogênio em condições de elevada salinidade propiciou acúmulo de

NO_3^- nas camadas mais profundas do solo cultivado com milho. Portanto, as respostas à adubação nitrogenada adicional dependem da tolerância da cultura à salinidade e do nível de estresse salino imposto.

Palavras-chave: estresse salino; tolerância à salinidade; adubação nitrogenada; eficiência de uso do nitrogênio.

ABSTRACT

In many species considered sensitive to salinity it has been observed that the additional application of nitrogen is not able to attenuate the effects of salts. On the other hand, some studies with halophytes have shown different results. In this context, the hypothesis tested in this work was that the response of plants to nitrogen application under saline stress conditions depends on the degree of salinity tolerance of the genotype. The research was carried out in a greenhouse at the Agrometeorological Station of the Federal University of Ceará, Fortaleza, CE. The randomized block design was used in sub-subdivided plots, with two crops (maize and cotton) in the plots, in the subplots, the salinity levels (0.5; 2.0; 4.0 and 6.0 dS m⁻¹) and in the subplots, three nitrogen doses (60, 100 and 140%) of the recommended value for each culture. Four replications were used, totaling 96 experimental units consisting of soil columns, measuring 20 cm in diameter and 100 cm in length. The soil used to fill the columns was Ultisol. Growth, total chlorophyll, leaf gas exchange, mineral nutrition and organic solute accumulation, nitrogen use efficiency and soil nutrient losses were evaluated. The growth and leaf gas exchange data of the evaluated crops showed that the positive effect of additional nitrogen fertilization was only observed at lower salinity levels and that the use of supra-optimal doses intensified the effects of salt stress, especially in corn plants, comparatively more sensitive to salinity than cotton. Chlorophyll partition and relative index showed clear differences in salinity response and N rates in the two cultures studied. The increase in salinity reduced the efficiency of N utilization, mainly in corn crop and associated with the extra nitrogen dose, did not result in increases of nitrogenous compounds in the leaves and increased the loss of nitrate (NO₃⁻) by leaching. The application of additional nitrogen in plants under saline stress did not reduce the chloride (Cl⁻) content in the leaves. Increasing salt concentration in the irrigation water increased the electrical conductivity of the saturation extract (CEes), especially at the highest soil depth and nitrogen dose, resulting in reduced osmotic potential in soil solution and growth inhibition root. Soil pH decreased with increasing soil depth and irrigation water salinity. Increased salinity of irrigation water caused potassium accumulation in the soil mainly at the highest depths and a high dose of N. In addition, the additional application of nitrogen under high salinity conditions led to NO₃⁻ accumulation in the deeper soil layers cultivated with corn. Therefore, responses to additional nitrogen fertilization depend on culture tolerance to salinity and the level of salt stress imposed.

Keywords: saline stress; salinity tolerance; nitrogen fertilization; nitrogen use efficiency.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Representação esquemática da coluna de solo utilizada no estudo 40
- Figura 2 – Área foliar (AF), matéria seca total (MST) e índice de produção (IP) em plantas de algodão (A, C e E) e de milho (B, D e F) em função da salinidade da água de irrigação e doses de nitrogênio..... 44
- Figura 3 – Condutância estomática (gs), fotossíntese líquida (A) e concentração interna de CO₂ (Ci) em plantas de algodão (A, C e E) e de milho (B, D e F) em função da salinidade da água de irrigação (0,5; 2,0; 4,0 e 6,0 dS m⁻¹) e doses de nitrogênio (60, 100 e 140% da dose recomendada para cada cultura)..... 46
- Figura 4 – Índice relativo de clorofila (IRC) em plantas de algodão (A) e de milho (B) em função da salinidade da água de irrigação (0,5; 2,0; 4,0 e 6,0 dS m⁻¹) e doses de nitrogênio (60, 100 e 140% da dose recomendada para cada cultura)..... 47
- Figura 5 – Eficiência de uso do nitrogênio, obtida pelas relações A/Naplicado (A) e MST/Naplicado (B), no algodão e milho em função da salinidade da água de irrigação..... 48
- Figura 6 – Δprolina (A), ΔN-amino (B) nas folhas, Δbiomassa seca total (C) e ΔN-nitrato no subsolo (45 a 85 cm) (D) obtidos pela diferença entre a dose recomendada e a dose supra ótima de N em função da salinidade da água de irrigação utilizada na irrigação do algodão e do milho. Barras verticais representam erros (n= 4)..... 49
- Figura 7 – Teores de sódio foliares de algodão e milho em função da salinidade (A) e das diferentes doses de nitrogênio (60, 100 e 140% da recomendação de N da cultura) (B) e potássio foliar em plantas de algodão (C) e de milho (D) em função da salinidade da água de irrigação (0,5; 2,0; 4,0 e 6,0 dS m⁻¹) e doses de nitrogênio (60, 100 e 140% da recomendação da cultura)..... 64

Figura 8 – Teores foliares de cloreto (Cl ⁻), nitrogênio (N) e relação Cl ⁻ /N em plantas de algodão (A, C e E) e de milho (B, D e F) em função da salinidade da água de irrigação (0,5; 2,0; 4,0 e 6,0 dS m ⁻¹) e doses de nitrogênio (60, 100 e 140% da recomendação da cultura).....	65
Figura 9 – Teores de cálcio (A) e mágnesio (B) em plantas de algodão e milho em função da salinidade da água de irrigação (0,5; 2,0; 4,0 e 6,0 dS m ⁻¹).....	67
Figura 10 – Teores de zinco (A), cobre (B) em folhas de algodão e milho em função da salinidade, manganês foliar em plantas de algodão (C) e de milho (D) em função da salinidade da água de irrigação (0,5; 2,0; 4,0 e 6,0 dS m ⁻¹) e doses de nitrogênio (60, 100 e 140% da recomendação da cultura).....	68
Figura 11 – Teores de prolina e N-aminossolúveis em folhas de algodão (A e C) e milho (B e D) em função da salinidade e doses de nitrogênio (60, 100 e 140% da recomendação da cultura) e carboidratos em função da salinidade (E).....	70
Figura 12 – Condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) em diferentes profundidades de um Argissolo cultivado com algodão sob três doses de nitrogênio (60, 100 e 140% da recomendação para a cultura), e diferentes níveis de salinidade: 0,5 (A), 2,0 (B), 4,0 (C) e 6,0 dS m ⁻¹ (D).....	83
Figura 13 – Potencial osmótico em diferentes profundidades de um Argissolo cultivado com algodão sob três doses de nitrogênio (60, 100 e 140% da recomendação da cultura e diferentes níveis de salinidade: 0,5 (A); 2,0 (B); 4,0 (C) e 6,0 (D).....	84
Figura 14 – Efeito de diferentes níveis de salinidade: 0,5 (A), 2,0 (B), 4,0 (C) e 6,0 dS m ⁻¹ (D), doses de nitrogênio (60, 100 e 140% da recomendação para a cultura) e profundidade do solo na biomassa seca da raiz do algodoeiro.....	85

Figura 15 – pH em diferentes profundidades de um Argissolo cultivado com algodão sob três doses de nitrogênio (60, 100 e 140% da recomendação da cultura e diferentes níveis de salinidade: 0,5 (A); 2,0 (B); 4,0 (C) e 6,0 (D).....	85
Figura 16 – Potássio em diferentes profundidades de um Argissolo cultivado com algodão sob três doses de nitrogênio (60, 100 e 140% da recomendação da cultura e diferentes níveis de salinidade: 0,5 (A); 2,0 (B); 4,0 (C) e 6,0 (D).....	86
Figura 17 – Teores de nitrato em diferentes profundidades de um Argissolo cultivado com algodão sob diferentes doses de nitrogênio (60, 100 e 140% da recomendação para a cultura) e diferentes níveis de salinidade: 0,5 (A); 2,0 (B); 4,0 (C) e 6,0 (D).....	87
Figura 18 – Condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) em um Argissolo cultivado com milho sob diferentes doses de nitrogênio (60, 100 e 140% da recomendação para a cultura) e diferentes níveis de salinidade: 0,5 (A), 2,0 (B), 4,0 (C) e 6,0 dS m ⁻¹ (D).....	88
Figura 19 – Potencial osmótico em diferentes profundidades de um Argissolo cultivado com milho sob três doses de nitrogênio (60, 100 e 140% da recomendação para a cultura) e diferentes níveis de salinidade: 0,5 (A); 2,0 (B); 4,0 (C) e 6,0 (D).....	89
Figura 20 – Biomassa seca da raiz do milho cultivado em um Argissolo sob diferentes doses de nitrogênio (60, 100 e 140% da recomendação para a cultura) e diferentes níveis de salinidade: 0,5 (A), 2,0 (B), 4,0 (C) e 6,0 dS m ⁻¹ (D).....	90
Figura 21 – pH em diferentes profundidades de um Argissolo cultivado com milho sob diferentes doses de nitrogênio (60, 100 e 140% da recomendação para a cultura) e diferentes níveis de salinidade: 0,5 (A), 2,0 (B), 4,0 (C) e 6,0 dS m ⁻¹ (D).....	91
Figura 22 – Teores de potássio em diferentes profundidades de um Argissolo cultivado com milho sob diferentes doses de nitrogênio (60, 100 e 140% da recomendação para a cultura) e diferentes níveis de salinidade: 0,5 (A),	

2,0 (B), 4,0 (C) e 6,0 dS m⁻¹ (D)..... 92

Figura 23 – Teores de nitrato em diferentes profundidades de um Argissolo cultivado com milho sob diferentes doses de nitrogênio (60, 100 e 140% da recomendação para a cultura) e diferentes níveis de salinidade: 0,5 (A),

2,0 (B), 4,0 (C) e 6,0 dS m⁻¹ (D)..... 93

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Caracterização do solo utilizado no experimento	39
Tabela 2 – Resultados da análise de qualidade da água do poço utilizada para obter os níveis os salinos	41
Tabela 3 – Totais de nitrogênio aplicados (g/coluna) nas diferentes doses de N em cada cultura	41

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	20
2	HIPÓTESE E OBJETIVOS	22
2.1	Hipótese	22
2.2	Objetivos	22
2.2.1	<i>Objetivo geral</i>	22
2.2.2	<i>Objetivos específicos</i>	22
3	REVISÃO DE LITERATURA	23
3.1	O problema da salinidade na agricultura	23
3.2	Impactos dos sais sobre as culturas	24
3.3	Tolerância das culturas à salinidade	26
3.4	Resposta do algodão e milho ao estresse salino	28
3.5	Adubação nitrogenada	30
3.6	Relação entre o uso do nitrogênio e a tolerância à salinidade	32
4	CAPÍTULO I - A RESPOSTAS A FERTILIZAÇÃO NITROGENADA DEPENDE DA TOLERÂNCIA DAS PLANTAS À SALINIDADE?	34
4.1	Introdução	36
4.2	Material e métodos	37
4.2.1	<i>Localização e caracterização da área experimental</i>	37
4.2.2	<i>Delineamento experimental e tratamentos</i>	38
4.2.3	<i>Caracterização do solo utilizado</i>	38
4.2.4	<i>Montagem das colunas de solo</i>	39
4.2.5	<i>Condução do experimento</i>	40
4.2.6	<i>Trocas gasosas e Índice relativo de clorofila</i>	42
4.2.7	<i>Crescimento vegetativo e reprodutivo</i>	42
4.2.8	<i>Eficiência de uso do nitrogênio</i>	42
4.2.9	<i>ΔProlina e ΔN-amino nas folhas</i>	43
4.2.10	<i>ΔN-nitrato no solo</i>	43
4.2.11	<i>Análise estatística</i>	43
4.3	Resultados	43
4.3.1	<i>Crescimento e índice de produção</i>	43

4.3.2	<i>Trocas gasosas e índice relativo de clorofila</i>	45
4.3.3	<i>Eficiência de uso de nitrogênio</i>	47
4.4	Discussão	50
4.5	Conclusões	53
5	CAPÍTULO II - NUTRIÇÃO MINERAL E ACÚMULO DE SOLUTOS ORGÂNICOS EM PLANTAS DE ALGODÃO E MILHO SOB ESTRESSE SALINO E DOSES SUB E SUPRA ÓTIMAS DE NITROGÊNIO	54
5.1	Introdução	56
5.2	Material e Métodos	57
5.2.1	<i>Localização e caracterização da área experimental</i>	57
5.2.2	<i>Delineamento experimental e tratamentos</i>	58
5.2.3	<i>Solo utilizado no experimento</i>	58
5.2.4	<i>Montagem das colunas de solo</i>	58
5.2.5	<i>Condução do experimento</i>	59
5.2.6	<i>Nutrição mineral</i>	60
5.2.6.1	<i>Sódio e potássio</i>	60
5.2.6.2	<i>Cloreto</i>	60
5.2.6.3	<i>Nitrogênio</i>	61
5.2.6.4	<i>Relação Cl/N</i>	61
5.2.6.5	<i>Cálcio e magnésio</i>	61
5.2.6.6	<i>Micronutrientes (Zinco, cobre e manganês)</i>	61
5.2.7	<i>Solutos orgânicos</i>	62
5.2.7.1	<i>Prolina</i>	62
5.2.7.2	<i>N-aminossolúveis</i>	62
5.2.7.3	<i>Carboidratos</i>	62
5.2.8	<i>Análise estatística</i>	63
5.3	Resultados	63
5.3.1	<i>Nutrição mineral</i>	63
5.3.1.1	<i>Sódio e potássio</i>	63
5.3.1.2	<i>Cloreto, nitrogênio e relação Cl/N</i>	65
5.3.1.3	<i>Cálcio e magnésio</i>	67
5.3.1.4	<i>Micronutrientes</i>	68

5.3.2	<i>Solutos orgânicos</i>	69
5.4	Discussão	71
5.5	Conclusões	76
6	CAPÍTULO III - PERDAS DE NUTRIENTES EM UM ARGISSOLO CULTIVADO COM ALGODÃO E MILHO SOB ESTRESSE SALINO E DOSES SUB E SUPRA ÓTIMAS DE NITROGÊNIO	77
6.1	Introdução	79
6.2	Material e Métodos	80
6.2.1	<i>Localização e caracterização da área experimental</i>	80
6.2.2	<i>Delineamento experimental</i>	80
6.2.3	<i>Condução do experimento</i>	80
6.2.4	<i>Variáveis analisadas</i>	82
6.2.5	<i>Análise estatística</i>	82
6.3	Resultados	82
6.3.1	<i>Algodão</i>	82
6.3.2	<i>Milho</i>	87
6.4	Discussão	93
6.5	Conclusões	96
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	97
	REFERÊNCIAS	98

1 INTRODUÇÃO GERAL

A população mundial está aumentando progressivamente e deve atingir a marca de 9,8 bilhões de pessoas em 2050 (NAÇÕES UNIDAS, 2017). Com isso, o uso da irrigação é essencial para se manter a segurança alimentar e continuará importante, pois estima-se que sua participação na produção mundial de alimentos aumentará para mais de 45% até 2030 (SINGH, 2014a, SINGH, 2014b). O uso desta técnica é extremamente importante especialmente em regiões áridas e semiáridas, onde a necessidade de água das culturas é suprida principalmente pela irrigação suplementar, devido a chuvas escassas e mal distribuídas (SINGH, 2018a, SINGH, 2018b; CONSOLI; VANELLA, 2014; SINGH et al., 2016). Entretanto, sem planejamento e manejo adequados, a intensificação da agricultura irrigada pode resultar em alguns problemas nestas regiões, como a salinização do solo (SINGH, 2010; SINGH, 2011; SINGH, 2017a, SINGH, 2017b).

A salinidade é prejudicial para as culturas em função de seus efeitos fisiológicos, bioquímicos e morfológicos negativos que resultam na redução da produção e biomassa (MUNNS, 2002). A redução do crescimento das plantas devido à salinidade é determinada principalmente pelos seguintes fatores que contribuem para o declínio da atividade fotossintética: i) o aumento da pressão osmótica do meio, o que reduz a capacidade da planta de absorver água; ii) excesso iônico (por exemplo, Na^+ e Cl^-) até um nível tóxico para as células vegetais; iii) desequilíbrio iônico que afeta o estado nutricional da planta e atua sobre os componentes bioquímicos e metabólicos relacionados ao crescimento das plantas (MUNNS ; TESTER, 2008).

Em sistemas de produção intensiva, os agricultores fazem o uso de fertilizantes minerais para melhorar a produtividade das culturas e minimizar os danos causados por vários estresses abióticos, como a salinidade (LI *et al.*, 2017). Os fertilizantes mais utilizados são à base de nitrogênio (HESSINI *et al.*, 2019). Este efeito benéfico ocorre porque nessas condições há maior acúmulo de compostos orgânicos contendo N (por exemplo, prolina, aminoácidos livres e glicinabetaína) (MUNNS;TESTER, 2008), os quais associados ao nitrato em excesso no vacúolo baixam o potencial osmótico da planta, contribuindo diretamente para o ajustamento osmótico (MILLER *et al.*, 2007; DING *et al.*, 2010). Além disso, a aplicação de nitrogênio extra em plantas cultivadas sob estresse salino pode reduzir significativamente o conteúdo de Cl^- e aumentar o nível de NO_3^- nas folhas, contribuindo para atenuar os efeitos do estresse salino nas plantas (ABDOLZADEH *et al.*, 2008).

A partir desses potenciais benefícios, muitos estudos têm sido realizados em diversas culturas visando a atenuação dos efeitos do estresse salino nas plantas pela aplicação de dose supra recomendada de nitrogênio. Contudo, em muitas espécies consideradas sensíveis à salinidade, se tem observado que a aplicação adicional de nitrogênio não é capaz de atenuar os efeitos dos sais. Isso pode resultar em perdas do nutriente para o ambiente e redução da eficiência de utilização do mesmo. Como consequência, uma grande parte de N adicionado pode ser perdida principalmente por lixiviação, causando a contaminação do lençol freático (NEVES *et al.*, 2009; SEGAL *et al.*, 2010; RAMOS *et al.*, 2012; SEMIZ *et al.*, 2014). Por outro lado, em algumas espécies tolerantes à salinidade têm sido observados respostas positivas à adição de nitrogênio.

Diante disso, as respostas das plantas à aplicação de N suplementar em condições de estresse salino parece depender das condições edáficas, da demanda nutricional da espécie e da própria habilidade da planta em responder aos efeitos clássicos do estresse salino (GRATTAN; GRIEVE 1999; LACERDA *et al.*, 2016). Nesse sentido, a comparação entre genótipos com diferenças na demanda por N e no grau de tolerância à salinidade, como é o caso do milho e do algodão, pode ser uma forma de ajudar a esclarecer essa questão científica.

2 HIPÓTESE E OBJETIVOS

2.1 Hipótese

As respostas das plantas à adubação nitrogenada em condições de estresse salino depende da tolerância da cultura à salinidade.

2.2 Objetivos

2.2.1 Objetivo geral

Avaliar as respostas de plantas de algodão (tolerante à salinidade) e milho (moderadamente sensível à salinidade) irrigadas com águas salinas sob doses sub e supra ótimas de N;

2.2.2 Objetivos específicos

Avaliar o crescimento, produção, trocas gasosas e eficiência de uso do N em plantas de algodão (tolerante à salinidade) e milho (moderadamente sensível à salinidade) irrigadas com águas salinas sob doses sub e supra ótimas de N;

Avaliar a nutrição mineral e acúmulo de solutos orgânicos em folhas de plantas de algodão (tolerante à salinidade) e milho (moderadamente sensível à salinidade) irrigadas com águas salinas sob doses sub e supra ótimas de nitrogênio;

Avaliar as perdas de nutrientes em um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com algodão e milho sob estresse salino e doses sub e supra ótimas de nitrogênio.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 O problema da salinidade na agricultura

Os recursos hídricos estão cada vez mais limitados e sofrem degradação gradual (SINGH, 2018a, 2016). Além disso, a produção agrícola precisa ser aumentada usando esses recursos limitados para atender às crescentes necessidades alimentares da população global (XIE *et al.*, 2018; LOMBA *et al.*, 2017; SINGH, 2018b). Diante disso, a expansão da agricultura irrigada é necessária para garantir a segurança alimentar em regiões áridas e semiáridas, onde as precipitações são escassas e mal distribuídas (DAS *et al.*, 2015; SINGH, 2015; MASUNGA, 2016).

As áreas irrigadas quase dobraram nos últimos 50 anos e atualmente constituem 20% das áreas colhidas no mundo (FAO, 2016). No Brasil, entre 1960 e 2015, a área irrigada aumentou expressivamente, passando de 462 mil hectares para 6,95 milhões de hectares (Mha), e pode expandir mais 45% até 2030, atingindo 10 Mha. A média de crescimento estimado corresponde a pouco mais de 200 mil hectares ao ano, enquanto o potencial efetivo de expansão da agricultura irrigada no Brasil é de 11,2 Mha (ANA, 2017).

Contudo, a expansão das áreas irrigadas tem causado alguns problemas, dentre os quais se destaca a salinização do solo, que ocorre pelo fato da água de irrigação apresentar sais dissolvidos que, mesmo em baixa concentração, podem ser incorporados ao solo, que pode tornar-se salino em poucos anos (MEDEIROS *et al.*, 2008). O problema de salinidade na agricultura atinge principalmente regiões áridas e semiáridas, como o Nordeste brasileiro, por apresentarem elevada evapotranspiração e baixas precipitações (NEVES *et al.*, 2009) provocando o acúmulo de sais no solo, o que dificulta o desenvolvimento das plantas cultivadas.

No mundo, estima-se que 20% das terras irrigadas (45 milhões de hectares) estejam afetadas pelos sais (SHRIVASTAVA; KUMAR, 2015). Até 2050, a expectativa é que 50% das terras aráveis do globo serão afetadas pela salinidade (JAMIL *et al.*, 2011). No Brasil, embora a informação sobre as áreas salinas não esteja bem definida, estima-se que 20 a 25% das áreas irrigadas enfrentem problemas de salinização (FAO, 2006), concentrando-se principalmente nos perímetros irrigados na Região Nordeste. No Estado do Ceará, um estudo realizado por Caitano (2012), constatou que 35% dos solos do Estado apresentam alto risco de salinidade e 4,5% risco severo.

O processo de acumulação de sais no solo pode ser de origem primária, quando relacionado a intemperização das rochas e pela deposição de sais provenientes dos oceanos

pela ação das chuvas e dos ventos, sendo denominada de salinização primária (RIBEIRO *et al.*, 2009; MUNNS, 2016). A salinização é denominada secundária quando a elevação na concentração de sais no solo é resultante de alguma atividade antrópica, geralmente associada ao excesso de água de irrigação, ao padrão de qualidade da água de irrigação abaixo do recomendado, uso de adubos químicos e sistemas de drenagem ineficientes (MUNNS, 2016).

A salinização primária raramente provoca acúmulo de sais no solo em níveis prejudiciais ao desenvolvimento vegetal (WANDERLEY, 2009), uma vez que grande parte dos sais liberados são transportados pelas águas subterrâneas e/ou fluviais até os oceanos (PIZARRO, 1978). Os fatores diretamente responsáveis pela salinização dos solos em áreas irrigadas são o uso de água de irrigação com alta concentração salina, elevação do lençol freático por causa do manejo inadequado de irrigação, ausência ou deficiência de drenagem, elevação do lençol freático em decorrência da perda de água por infiltração nos canais e reservatórios ou acumulação de água de irrigação nas partes mais baixas do terreno (GHEYI *et al.*, 1997).

Harti *et al.* (2016) realizaram o monitoramento da salinização do solo no perímetro irrigado de Tadla, no Marrocos utilizando índices espectrais de satélite. Os autores verificaram que a salinidade do solo no perímetro irrigado aumentou progressivamente em extensão espacial durante o período avaliado (2000-2013), resultando em uma diminuição nas atividades agrícolas na parte sudoeste do perímetro.

Bouaroudj *et al.* (2019) investigaram a qualidade da água da barragem de Beni-Haroun, localizada no nordeste da Argélia, e os impactos do uso dessa água nas características do solo de áreas irrigadas. A água apresentou teores excessivos de cloretos, pH bicarbonatos e altos níveis de condutividade elétrica que excederam o padrão para uso na irrigação. O uso desta água na irrigação propiciou aumento do pH e CE nos solos irrigados, particularmente no horizonte da superfície, em comparação com as áreas não irrigadas. Enquanto isso, no Distrito de Irrigação de Violada, no Nordeste da Espanha, Jiménez- Aguirre e Isidoro (2018) verificaram que a substituição do sistema de irrigação por superfície pela aspersão implicou em uma redução de 44,889 Mg/ano (-60,4%) no aporte de sais no perímetro.

3.2 Impactos dos sais sobre as culturas

A salinidade é um dos estresses abióticos que mais causa diminuição na produção das culturas (PATADE *et al.*, 2011; SHOMEILI *et al.*, 2011; JAMES *et al.*, 2012; PLAZEK *et al.*, 2013), constituindo sério agravante em áreas irrigadas (HASANUZZAMAN *et al.*, 2014). O estresse salino provoca estresse osmótico, desequilíbrios iônicos e estresses

secundários, como desequilíbrios nutricionais e estresse oxidativo (DEINLEIN *et al.*, 2014). Altas concentrações de sais perturbam o equilíbrio osmótico, resultando em "seca fisiológica", que restringe a absorção de água pelas plantas (FAROOQ *et al.*, 2015).

Na cultura da beterraba cultivada em condições de estresse salino, Silva *et al.* (2013) verificaram que o consumo hídrico da cultura no menor nível de salinidade ($1,0 \text{ dS m}^{-1}$) foi $0,97 \text{ mm.dia}^{-1}$ na fase fenológica inicial, $2,37 \text{ mm.dia}^{-1}$ na fase intermediária e $2,10 \text{ mm.dia}^{-1}$ na fase final. No maior nível de salinidade ($12,0 \text{ dS m}^{-1}$), o consumo reduziu para $0,55 \text{ mm.dia}^{-1}$ na fase fenológica inicial, $1,60 \text{ mm.dia}^{-1}$ para a fase intermediária e $1,18 \text{ mm.dia}^{-1}$ para a fase final. Sousa *et al.* (2011) observaram que o consumo médio de água do pinhão manso diminuiu 22,5% por aumento unitário da salinidade da água de irrigação durante 180 dias.

A deficiência hídrica decorrente do efeito osmótico dos sais afeta o crescimento das plantas, reduzindo a área foliar (GOMES *et al.*, 2011), o que diminui a superfície transpirante (TESTER; DAVENPORT, 2003). Ocorre redução na condutância estomática e menores proporções nas taxas de fotossíntese e concentração interna de CO_2 nas folhas, resultando morfológicamente em diminuição de biomassa da planta (WU *et al.*, 2012; SILVA *et al.*, 2013).

Lima *et al.* (2015) avaliando o crescimento da mamoneira BRS Energia em função da salinidade da água de irrigação (CEa: $0,3$ a $3,9 \text{ dS m}^{-1}$), constataram redução de $9,64 \text{ cm}$, $4,78 \text{ mm}$ e $1848,45 \text{ cm}^2$ na altura das plantas, diâmetro do caule e área foliar, respectivamente, comparando as plantas submetidas à CEa de $3,9 \text{ dS m}^{-1}$ em relação às irrigadas com $0,3 \text{ dS m}^{-1}$. Sousa *et al.* (2018) verificaram efeito negativo dos sais também sobre a massa seca da parte, massa seca da raiz e massa seca total de plantas de soja. Na cultura da melancia, o estresse salino provocou uma redução de 3,58 (43,5%) e $3,33 \text{ Mg ha}^{-1}$ (36,3%) na produtividade comercial e total, respectivamente (COSTA *et al.*, 2013).

Em cana de açúcar, Lira *et al.* (2018) constataram que o incremento na salinidade da água de irrigação de $0,5$ para $6,5 \text{ dS m}^{-1}$ promoveu decréscimos na condutância estomática de $0,0222$, $0,0155$ e $0,0143 \text{ (mol m}^{-2} \text{ s}^{-1})$ aos 140, 229 e 320 dias após o plantio (DAP), respectivamente. A fotossíntese sofreu reduções de aproximadamente 11, 13 e 16% aos 140, 229 e 320 DAP. Santos *et al.* (2012) observaram ainda queda no teor de clorofila (índice SPAD), acúmulo de matéria seca total e produção relativa do amendoim com o aumento da condutividade elétrica do extrato de saturação.

A salinidade ocasiona ainda graves desequilíbrios nutricionais nas culturas, devido à forte interferência dos íons cloreto e sódio com outros elementos minerais essenciais,

como potássio, cálcio, nitrogênio, fósforo, magnésio, ferro, manganês, cobre e zinco (TURAN *et al.* 2010). Geralmente, o estresse salino reduz a absorção de nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio e ferro (TURAN *et al.* 2010; KAYA *et al.*, 2010; SHAHZAD *et al.* 2012; QU *et al.*, 2012, YASMEEN *et al.*, 2013).

Em plantas de mangueira, a concentração de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio nas folhas decresceram em decorrência do excesso dos íons Na^+ e Cl^- na solução do solo (LUCENA *et al.*, 2012). Em plantas ornamentais, Cai *et al.* (2014) verificaram que o aumento da salinidade de irrigação resultou em incremento nos teores de Na^+ e Cl^- nos tecidos foliares.

3.3 Tolerância das culturas à salinidade

Existem variações genéticas na tolerância a salinidade e o grau de tolerância ao sal varia com as espécies de plantas e variedades dentro de uma espécie (MUNNS; TESTER, 2008; PANG *et al.*, 2010; ABRAHAM *et al.*, 2011). As espécies sensíveis à salinidade são conhecidas como glicófitas, enquanto plantas que toleram altas concentrações salinas são conhecidas como halófitas (TUTEJA *et al.*, 2011).

Plantas mais tolerantes ao meio salino aumentam a concentração salina no seu interior, de modo que permaneça um gradiente osmótico favorável para absorção de água pelas raízes. Este processo é chamado ajuste osmótico e se dá com o acúmulo dos íons absorvidos nos vacúolos das células foliares, mantendo a concentração salina no citoplasma em baixos níveis, de modo que não haja interferência com os mecanismos enzimáticos e metabólicos nem com a hidratação de proteínas das células. Esta compartimentação do sal é que permite, às plantas tolerantes, viverem em ambientes salinos, porém as plantas sensíveis à salinidade tendem a excluir os sais na solução do solo, mas não são capazes de realizar o ajuste osmótico descrito e sofrem com decréscimo de turgor, levando as plantas ao estresse hídrico, por osmose (DIAS; BLANCO, 2016).

A capacidade da planta em manter uma alta relação K^+/Na^+ também é uma característica chave para a tolerância das culturas aos sais (ABBASI *et al.*, 2015). Em duas variedades de milho, uma sensível (SL1303) e outra tolerante à salinidade (TL1317), Gao *et al.* (2016) verificaram que a variedade TL1317 apresentou uma maior relação K^+/Na^+ nas folhas em comparação a SL1303. Essa resposta deve facilitar a homeostase celular da variedade TL1317 em condições de estresse salino.

As plantas podem também reter íons nas raízes e nos caules, limitando a salinidade da seiva xilemática e reduzindo a quantidade deles que chega às folhas

(TRINDADE *et al.*, 2006). Na halófila *Halostachys caspira*, por exemplo, Zeng *et al.* (2015) observaram maiores teores de Na^+ e Cl^- nos ramos de assimilação e órgãos reprodutivos das plantas.

Para lidar com o estresse salino, as plantas ainda acumulam vários solutos orgânicos nas folhas sob condição salina, para manter um ambiente intracelular relativamente estável (GUPTA; HUANG, 2014; ROY *et al.* 2014). Os solutos orgânicos mais amplamente compatíveis em plantas sob estresse salino são os carboidratos solúveis, aminoácidos livres, proteínas solúveis e prolina livre (AZEVEDO NETO *et al.* 2009; SACRAMENTO *et al.* 2014). Estes solutos orgânicos podem contribuir para o ajuste osmótico e permitir que as plantas mantenham turgor, protegendo a estrutura e função celular (WANG; HAN, 2009).

Menezes *et al.* (2017) verificaram incrementos de 59% no teores de carboidratos solúveis nas folhas de amaranto em função da salinidade. Cunha *et al.* (2013) em pinhão manso, verificaram os teores de carboidratos solúveis foram significativamente maiores nas plantas submetidas apenas aos níveis de 15 e 30 mol.m^{-3} de NaCl, com incrementos de 53% e 78%, respectivamente, comparando-se com as plantas controle (0 mol.m^{-3} de NaCl). Em relação aos teores de proteínas solúveis totais, observou-se um aumento significativo apenas nas plantas submetidas a 30 mol.m^{-3} de NaCl, com incremento da ordem de 38% em relação às plantas do tratamento não salino. Em plantas de abacaxi ornamental, a concentração de prolina nas plantas submetidas ao estresse salino foi mais de seis vezes superior à concentração nas plantas não estressadas (MENDES *et al.*, 2011).

A tolerância de várias culturas à salinidade, é convencionalmente expressa em termos de rendimento relativo (Y) através do valor de salinidade limiar (SL) que é a salinidade máxima tolerada pela cultura sem reduzir o rendimento potencial da cultura, e decréscimos percentuais de produção por unidade de aumento da salinidade acima da salinidade limiar (b) em que a salinidade do solo é expressa, de CEes em dS m^{-1} , conforme segue: $Y= 100$ para $\text{CEes} < \text{SL}$; $Y=100-b(\text{CEes}-\text{SL})$ para $\text{SL} < \text{CEes} < \text{CEmax}$ e $Y=0$ para $\text{CEes} > \text{CEmax}$. A CEmax representa a salinidade do solo em que o rendimento tende a ser zero e Y é o percentual de rendimento esperado sob condições salinas em relação ao obtido sob condições não salinas, mantidas comparáveis para as demais condições (MAAS; HOFFMAM, 1977).

Com isso, as culturas podem ser classificadas por grupo, em função da tolerância relativa à salinidade do extrato saturado do solo (CEes), conforme segue: sensível ($\text{SL} < 1,3$ dS m^{-1}), moderadamente sensível ($1,3 < \text{SL} < 3,0$ dS m^{-1}), moderadamente tolerante ($3,0 < \text{SL}$

< 6,0 dS m⁻¹), tolerante (6,0 < SL < 10,0 dS m⁻¹) e não adequada CEes > 10,0 dS m⁻¹ (MAAS, 1986).

3.4 Respostas do algodão e milho ao estresse salino

O milho, é reconhecido por ser moderadamente sensível à salinidade, com salinidade limiar da água de 1,1 dS m⁻¹ e do solo de 1,7 dS m⁻¹ (AYERS; WESTCOT, 1999), sofrendo redução progressiva do crescimento, que se reflete na perda de produção, com o aumento da concentração de sais no meio radicular (AZEVEDO NETO ;TABOSA, 2000).

Na cultura do milho, Lima Souza *et al.* (2014) constataram reduções de 26,9; 15,7; 12,7 e 28,7 % na altura de plantas, diâmetro de colmo, número de folhas e área foliar respectivamente, comparando-se as plantas irrigadas com água de alta salinidade (4,5 dS m⁻¹) e baixa salinidade (0,5 dS m⁻¹). Na mesma cultura, Bakht *et al.* (2011) verificaram redução de 231% no rendimento de grãos comparando o maior nível de salinidade (8 dS m⁻¹) com o controle (0 dS m⁻¹). O aumento da salinidade para 8 dS m⁻¹ proporcionou acúmulo de Na⁺ e diminuiu K⁺ na parte aérea.

Sousa *et al.* (2016) e Gondim *et al.* (2011) observaram que o estresse salino afetou o conteúdo de matéria seca da parte aérea e das raízes; enquanto Sousa *et al.* (2010a) no híbrido AG 1051 obtiveram reduções na acumulação da biomassa das partes vegetativas (folha + colmo). Xue; Ren (2017) verificaram decréscimo de 5,3% e 2,6% no rendimento médio anual e na produtividade de água do milho causado pela irrigação com água salina.

Sousa *et al.* (2016) verificaram decréscimo de 1,33 μmol m⁻²s⁻¹, 0,039 mol m⁻² s⁻¹ e 2,46 μmol m⁻²s⁻¹ na fotossíntese, condutância estomática e transpiração do milho, respectivamente, por incremento unitário da CEa. A mesma tendência foi observada em estudos conduzidos por Niu *et al.* (2012), Azizian; Sepaskhah (2014) e Xu *et al.* (2018).

Sousa *et al.* (2010a) avaliando os efeitos da salinidade da água de irrigação sobre o acúmulo, os totais extraídos e a distribuição de nutrientes em plantas de milho, verificaram que aumento da salinidade da água de irrigação inibiu o acúmulo de potássio nas folhas e de magnésio e fósforo nos grãos. A extração dos nutrientes e sódio pelas plantas irrigadas com água de salinidade variando de 0,8 a 3,6 dS m⁻¹ obedeceu à seguinte ordem decrescente: K > Mg > Ca > P > Na; no tratamento de maior salinidade (5,0 dS m⁻¹) a sequência de extração foi: K > Ca > Na > P > Mg. Na mesma cultura, o estresse salino aumentou os níveis de proteínas solúveis (TSIMPHO, 2011), teores de carboidratos solúveis (GONDIM *et al.*, 2011) e de Na⁺ e Cl⁻ (FEIJÃO *et al.*, 2013).

O algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) é considerado tolerante à salinidade, com uma salinidade limiar da água de 5,1 dS m⁻¹ e do solo de 7,7 dS m⁻¹ (AYERS; WESTCOT, 1999). Embora considerada tolerante ao estresse salino, a cultura pode sofrer reduções no crescimento e produção em condições de alta salinidade (LIMA *et al.*, 2018).

Santos *et al.* (2016) constataram que a taxa de crescimento absoluta em altura do algodoeiro sofreu redução de 2,63 para 1,11 cm dia⁻¹ entre as plantas irrigadas com água de menor (0,7 dS m⁻¹) e de maior nível salino (8,7 dS m⁻¹), causando redução de 57,63%. A taxa de crescimento absoluto em diâmetro caulinar dos 51 aos 70 DAS diminuiu com o aumento da salinidade da água de irrigação de 0,21 para 0,08 mm dia⁻¹ e resultou numa perda de 61,91% entre as plantas irrigadas com águas de menor (0,7 dS m⁻¹) e maior (8,7 dS m⁻¹) condutividade elétrica. Efeito negativo da salinidade no algodoeiro foi observado ainda sobre a produção de biomassa por Akhtar *et al.* (2010), Basal (2010), Munis *et al.* (2010) e Saled (2011).

O aumento da salinidade da água causou um aumento na taxa de abortamento de flores e redução de 61,03% no peso de algodão em caroço até o maior nível de salinidade (6,8 dS m⁻¹) em comparação ao CEa de 1,7 dS m⁻¹ (SOUZA *et al.*, 2018). Oliveira *et al.* (2012) verificaram efeito deletério da salinidade sobre a produção de algodão em caroço a partir de 3,5 dS m⁻¹. A perda de produtividade entre as salinidade de 0,5 e 3,5 dS m⁻¹ foi na ordem de 12,62%, enquanto que comparando-se a produtividade obtida na salinidade de 6,5 dS m⁻¹, com a obtida na salinidade de 3,5 dS m⁻¹, a redução foi de 52,23%.

Soares *et al.* (2018) verificaram que a aplicação de água salina na floração do algodoeiro ocasionou uma drástica redução nos aspectos fisiológicos da cultura. Higbie *et al.* (2010), por sua vez, avaliando as respostas fisiológicas de cinco cultivares de algodão herbáceo (*G. hirsutum* L.) sob condições salinas, não encontraram diferenças significativas, devido ao curto tempo de exposição ao estresse salino (0, 7, 14 e 21 dias após estresse).

Em duas variedades de algodão (FDH 171 e FDH 786), Hassan *et al.* (2014) verificaram que a concentração de Na⁺ e Cl⁻ na folha foi maior quando a concentração salina aumentou em ambas as variedades. A acumulação de Na⁺ foi menor em relação ao K⁺ nas plantas do tratamento controle. Nenhuma diferença significativa foi encontrada para o acúmulo de K⁺ nas duas variedades. Sousa *et al.* (2010b) avaliando os teores de íons e características morfofisiológicas (acúmulo de prolina, suculência e massa específica) em folhas de algodão, feijão-de-corda e sorgo, irrigadas com crescentes níveis de sais na água, verificaram que o algodão se diferenciou do sorgo e feijão em razão de apresentar maior

acúmulo e retenção de Na^+ e Cl^- nas raízes, maiores teores desses íons nos limbos foliares, menores alterações nos teores de K^+ e aumento nos teores de prolina em resposta à salinidade.

3.5 Adubação nitrogenada

Os sistemas modernos de produção intensiva de culturas baseiam-se em insumos de fertilizantes com alto teor de nitrogênio (N) para maximizar a produtividade das culturas, a fim de atender à demanda da crescente população mundial (LE NOË *et al.*, 2017). O uso agrícola mundial de fertilizantes nitrogenados em 2015, por exemplo, foi superior a 109 milhões de toneladas e, de acordo com as previsões, esse montante aumentará nos próximos anos (FAOSTAT, 2017). O nutriente é um elemento fundamental para o desenvolvimento das plantas, por participar da composição dos aminoácidos, proteínas, ácidos nucléicos, clorofila e muitas enzimas essenciais para o estímulo ao crescimento e desenvolvimento da parte aérea e do sistema radicular das plantas (MALAVOLTA, 2006).

Quando a disponibilidade do nitrogênio é adequada, as proteínas, a clorofila e as enzimas nas plantas são formadas naturalmente, fazendo com as plantas expresse o seu potencial produtivo (CAMARGO; SILVA, 2009). A deficiência de nutriente, por sua vez, provoca redução no crescimento, clorose (mudança da cor verde para a cor amarela das folhas), aparência de manchas vermelhas e roxas nas folhas, restrição do crescimento do broto lateral (a partir do qual folhas, caule e ramos se desenvolvem). Comumente, os sintomas de deficiência aparecem primeiro em folhas mais velhas (BIANCO *et al.*, 2015).

Em condições de excesso de nitrogênio disponível para as raízes, ocorre uma alteração no crescimento e na morfologia das plantas. Há aumento da relação do peso e do comprimento da parte aérea com as raízes das plantas, aumento do comprimento e largura das folhas e conseqüente diminuição da espessura, aumento da predisposição ao acamamento das plantas, isto é, a estrutura das plantas se torna mais tenra (TAIZ; ZEIGER, 2013). Além disso, a aplicação excessiva promove a redução na eficiência de uso do nitrogênio (EUN) pelas plantas e leva ao acúmulo excessivo de nitrato no perfil do solo (DAI *et al.*, 2015). A acumulação residual de nitratos no solo e a resultante lixiviação de nitrato para as águas subterrâneas são duas importantes conseqüências negativas do aplicação excessiva de N (CUI *et al.*, 2010; DAI *et al.*, 2015). Dai *et al.* (2015) relataram que os valores de N-nitrato (NR) aumentaram quadraticamente à medida que a taxa de N aumentou, com a média de NR de 35,1, 54,5, 94,5, 186,5 e 222,0 kg N ha⁻¹ em 0-100 cm de perfil do solo para as doses de aplicação de 0, 80, 160, 240 e 320 kg N ha⁻¹, respectivamente.

A baixa recuperação de N resulta em perdas do nutriente por meio de volatilização de amônia (NH_3), óxido nítrico (NO) e óxido nitroso (N_2O), lixiviação de nitrato (NO_3^-) e escoamento superficial, contribuindo para a poluição do ar, contaminação de águas subterrâneas e problemas relacionados com a eutrofização das águas superficiais (BENOIT *et al.*, 2015; DEMURTAS *et al.*, 2016; PAN *et al.*, 2016; YAN *et al.*, 2015). Portanto, uma gestão mais sustentável de N é necessária para aumentar a baixa eficiência do uso de N nos sistemas agrícolas modernos e mitigar a poluição ambiental resultante das perdas de N (ZHANG *et al.*, 2017).

Vários estudos vêm mostrando o efeito da adubação nitrogenada na cultura do algodão e do milho. No algodão, Wang *et al.* (2013), verificaram que após a aplicação de nitrogênio, houve aumento significativo na altura das plantas, número de ramificações, número de gemas e flores. Dong *et al.* (2012) relataram que o aumento da aplicação de N de 225 ou 300 kg ha^{-1} aumentou o tamanho dos capulhos em 4,8% ou 3,5% em relação a menor dose de N. Rashidi *et al.* (2011) observaram que a aplicação de 200 kg ha^{-1} de N propiciou aumento significativo do peso do caroço do algodão (4,49 g), produção de algodão em caroço (4363 kg ha^{-1}) e rendimento de fibra (1659 kg ha^{-1}).

Brandão *et al.* (2012) verificaram que, além da elevação dos teores de N, a adubação nitrogenada ainda elevou os teores foliares de K e reduziu os de S. A aplicação de 215 kg ha^{-1} de N permitiu a obtenção de teores foliares de N e K suficientes para nutrição da planta e obtenção de elevada produtividade.

No milho, Lyra *et al.* (2014) constataram que a elevação das doses de nitrogênio contribuíram para o aumento da altura de planta e do índice de área foliar até a dose de 100 kg ha^{-1} de N. Em seguida, os valores decresceram, diferentemente da produtividade que aumentou até a dose de 200 kg ha^{-1} de N, que proporcionou uma produtividade de 5,45 t ha^{-1} de grãos. O excesso de N, por sua vez, reduziu o número final de grãos, aumentando o aborto de grãos, resultando em cerca de 85% do aborto durante os primeiros 20 dias após o florescimento (AMEGBOR *et al.*, 2017).

Morais *et al.* (2015) verificaram que a adição de fertilizantes nitrogenados promoveu maior desenvolvimento das plantas de milho, elevou os teores de clorofila e de nutrientes. No caso do nitrogênio, seu teor praticamente dobrou em relação ao controle, variando de 28,34 a 58,17 g de N kg^{-1} de matéria seca. Houve aumento também da atividade das enzimas relacionadas à disponibilização de amônio e fósforo inorgânico na rizosfera. Na mesma cultura, a adubação nitrogenada melhorou a estatura e o estado nutricional das plantas, bem como os parâmetros da espiga de milho, exceto o número de fileiras de grãos. As faixas

adequadas de teores de N foram de 22,8 a 23,8 g·kg⁻¹ nas folhas e de 13,1 a 14,0 g·kg⁻¹ nos grãos (CAIRES; MILLA, 2016).

3.6 Relação entre o uso do nitrogênio e a tolerância à salinidade

O aumento da fertilização nitrogenada pode minimizar os efeitos deletérios da salinidade (ZENG *et al.*, 2014; MA *et al.*, 2016; NOBRE *et al.*, 2013; GUEDES FILHO *et al.*, 2015). Esse processo ocorre porque nessas condições há maior acúmulo de compostos orgânicos contendo N (por exemplo, prolina, aminoácidos livres e glicinabetaína) (MUNNS; TESTER, 2008), os quais associados ao nitrato em excesso no vacúolo baixam o potencial osmótico das células, contribuindo diretamente para o ajustamento osmótico (DING *et al.*, 2010).

Com isso, vários estudos foram realizados no intuito de investigar o efeito da interação salinidade e nitrogênio em diversas culturas, como goiaba (Beserra *et al.* 2018; Sousa *et al.* 2017), macujazeiro amarelo (Wanderley *et al.* 2018), milho (Lacerda *et al.* 2016; Azizian; Sepaskhah, 2014), algodão (Wei *et al.* 2016; Lima *et al.* 2018; Chen *et al.* 2010) e na halófila *Suaeda aegyptiaca* (Zakery-Asl *et al.* 2014). Em espécies consideradas sensíveis à salinidade, tem se observado que a aplicação adicional de nitrogênio não é capaz de atenuar os efeitos dos sais. Com isso, uma grande parte de N adicionado pode ser perdida principalmente por lixiviação, causando a contaminação do lençol freático (NEVES *et al.*, 2009; SEGAL *et al.*, 2010; RAMOS *et al.*, 2012; SEMIZ *et al.*, 2014).

Em pimenta, Yasuor *et al.* (2017) verificaram que em condições de elevada salinidade, o crescimento e a produtividade da cultura foi limitada pelos sais e não pela competição entre Cl e N. A resposta à fertilização nitrogenada diminuiu com a intensificação do estresse salino, sendo observado incremento da produtividade com o aumento da concentração de N apenas em condições de baixa salinidade. Souza *et al.* (2017) avaliaram o crescimento, produção de fitomassa e qualidade de porta-enxerto de goiabeira ‘Crioula’ sob estresse salino (0,3; 1,1; 1,9; 2,7 e 3,5 dS m⁻¹) e doses de adubação nitrogenada (70, 100, 130 e 160% de N da dose recomendada para a cultura). Os autores verificaram que o uso das doses de 130 e 160% de N causaram redução linear sobre a taxa de crescimento relativo para o diâmetro do caule com o aumento da condutividade da água de irrigação, onde as plantas que receberam a maior CEa (3,5 dS m⁻¹) sofreram decréscimos de 0,00064 e 0,00128 mm mm⁻¹ dia⁻¹ com a utilização das doses de 130 e 160 % de N quando comparadas com as plantas que receberam a menor salinidade (0,3 dS m⁻¹).

Em berinjela, Oliveira *et al.* (2014) observaram que elevadas doses de nitrogênio provocam redução no rendimento de berinjela e potencializam os efeitos deletérios da salinidade da água de irrigação sobre as variáveis número de frutos, produção e eficiência agronômica da adubação nitrogenada. Os autores ainda verificaram que as elevadas doses de nitrogênio e o uso de água salina reduziram a eficiência agronômica do nitrogênio na cultura. No milho, Lacerda *et al.* (2016) verificaram inibição significativa no crescimento do milho causada pela interação entre salinidade e doses de N, mostrando que os efeitos osmóticos e tóxicos causados pelo sais neutralizaram qualquer benefício potencial da aplicação adicional de N. Ainda conforme o estudo, a redução de cerca de 30% na dose de N aplicada resultou em menores perdas por lixiviação e aumento na eficiência do uso de N, sem causar danos adicionais às plantas sob estresse salino. Os autores também demonstraram que as trocas gasosas e as concentrações de compostos nitrogenados e de carboidratos não foram influenciadas negativamente pela redução da dose de N nas plantas sob estresse salino.

No entanto, em espécies tolerantes à salinidade tem sido observados respostas positivas à adição de nitrogênio. A halófito *Sueda salsa* (Amaranthaceae) apresentou ganhos significativos de biomassa em concentrações de NaCl de até 300 mM (JIANG *et al.*, 2012). O aumento do suprimento de NO_3^- às plantas da halófito *Tamarix laxa* Willd., em condições de salinidade, reduziu os teores de Na^+ tanto na parte aérea quanto na raiz (DING *et al.*, 2010). A adição de NO_3^- a 10 mmol^{-1} melhorou significativamente o crescimento da parte aérea e da raiz na halófito *Suaeda physophora* sob níveis elevados de salinidade, e o efeito do NO_3^- foi mais pronunciado no peso seco da raiz, levando a um aumento significativo na relação raiz:parte aérea (Yuan *et al.*, 2010). Em cultivares de oliva (Tabatabaei, 2006) e trigo (Nasraoui *et al.*, 2013) tolerantes à salinidade, verificou-se que o aumento da fertilização nitrogenada aliviou os efeitos adversos da salinidade. Neste contexto, a resposta das plantas à aplicação de nutrientes sob condições de salinidade parece também depender do grau de tolerância do genótipo à salinidade (LACERDA *et al.*, 2016).

4 CAPÍTULO I - A RESPOSTA A FERTILIZAÇÃO NITROGENADA DEPENDE DA TOLERÂNCIA DAS PLANTAS À SALINIDADE?

Resumo: Em muitas espécies consideradas sensíveis à salinidade tem se observado que a aplicação adicional de nitrogênio não é capaz de atenuar os efeitos dos sais. Por outro lado, alguns estudos com halófitas têm apresentado resultados diferentes. Neste contexto, a hipótese testada neste trabalho foi que a resposta das plantas à aplicação de nitrogênio em condições de estresse salino depende do grau de tolerância à salinidade do genótipo. Avaliou-se a respostas de plantas de algodão (tolerante à salinidade) e milho (moderadamente sensível à salinidade) a diferentes níveis de salinidade da água de irrigação (0,5; 2,0; 4,0 e 6,0 dS m⁻¹) e doses de nitrogênio (60, 100 e 140% do valor recomendado para cada cultura). Os dados de crescimento e trocas gasosas foliares das culturas avaliadas mostraram que o efeito positivo da adubação nitrogenada adicional foi observado apenas nos menores níveis de salinidade e que a utilização de doses supra ótimas intensificaram os efeitos do estresse salino, principalmente nas plantas do milho, comparativamente mais sensível à salinidade do que o algodão. O índice de partição e relativo de clorofila evidenciaram diferenças claras na resposta à salinidade e às doses de N nas duas culturas estudadas. O aumento da salinidade reduziu a eficiência de utilização de N, principalmente na cultura do milho e associada à dose extra de nitrogênio, não resultou em incrementos de compostos nitrogenados nas folhas e ainda aumentou as perdas de nitrato por lixiviação. Diante do exposto, conclui-se que as respostas à adubação nitrogenada adicional dependem da tolerância da cultura à salinidade e do nível de estresse salino imposto.

Palavras-chave: Estresse salino. Fertilização nitrogenada. Tolerância à salinidade. Fotossíntese. Eficiência de uso do nitrogênio.

4 CAPÍTULO I - DOES THE RESPONSE TO NITROGEN FERTILIZATION DEPEND ON PLANT SALT TOLERANCE?

Abstract: In many species considered sensitive to salinity it has been observed that the additional application of nitrogen is not able to mitigate the effects of salts. On the other hand, some studies with halophytes have shown different results. In this context, the hypothesis tested in this work was that the response of plants to the application of nitrogen under conditions of salt stress depends on the degree of tolerance to the salinity of the genotype. The responses of cotton plants (tolerant to salinity) and corn (moderately sensitive to salinity) to different salinity levels of irrigation water (0.5; 2.0; 4.0 and 6.0 dS m⁻¹) and nitrogen doses (60, 100 and 140% of the recommended value for each culture). The data of growth and leaf gas exchange of the evaluated cultures showed that the positive effect of the additional nitrogen fertilization was observed only in the lower levels of salinity and that the use of supra-optimal doses intensified the effects of the salt stress, mainly in the corn plants, comparatively more sensitive to salinity than cotton. The partition and relative chlorophyll index showed clear differences in response to salinity and N doses in the two cultures studied. The increase in salinity reduced the efficiency of use of N, mainly in the culture of corn and associated with the extra dose of nitrogen, did not result in increments of nitrogen compounds in the leaves and also increased the losses of nitrate by leaching. Given the above, it is concluded that the responses to additional nitrogen fertilization depend on the crop's tolerance to salinity and the level of salt stress imposed.

Keywords: Saline stress. Nitrogen fertilization. Salinity tolerance. Photosynthesis. Nitrogen use efficiency.

4.1 Introdução

O desenvolvimento da agricultura irrigada é essencial para atender às crescentes necessidades alimentares da população global (XIE *et al.*, 2018; LOMBA *et al.*, 2017; SINGH, 2018a), que deve atingir a marca de 9,8 bilhões de pessoas em 2050 (NAÇÕES UNIDAS, 2017). No entanto, a intensificação da agricultura irrigada tem causado alguns problemas, como a salinização do solo em regiões áridas e semiáridas (SINGH, 2017a, SINGH, 2017b). Estima-se que em todo o mundo 20% do total cultivado (sequeiro e irrigado) e 33% das terras agrícolas irrigadas são afetadas pela salinidade (SCHIATTONE *et al.* 2017).

O excesso de sais no solo pode afetar as funções fisiológicas e bioquímicas das células vegetais, limitando o crescimento e a capacidade produtiva das plantas (MUNNS; TESTER, 2008; CHRYSARGYRIS *et al.*, 2018; CARILLO *et al.*, 2019). Estes efeitos estão associados ao baixo potencial osmótico da solução do solo, desequilíbrio nutricional, toxicidade iônica, desequilíbrio hormonal e indução de estresse oxidativo, ou uma combinação desses fatores (ABDELHAMID *et al.*, 2013; SCHOEBITZ *et al.*, 2013; NADEEM *et al.*, 2013; MANSOUR; ALI, 2017).

De acordo com alguns autores (Dong *et al.*, 2012; Zeng *et al.*, 2014; Ma *et al.*, 2016), o aumento da fertilização nitrogenada pode aliviar os efeitos adversos da salinidade sobre as culturas. Esse efeito benéfico pode estar relacionado ao acúmulo de compostos orgânicos nitrogenados, como prolina, aminoácidos livres e glicinabetaínas (MUNNS; TESTER, 2008), os quais quando associados ao excesso de nitrato no vacúolo baixam o potencial osmótico das células, contribuindo diretamente para o ajustamento osmótico (DING *et al.*, 2010). Além disso, alguns autores relataram que a aplicação de nitrogênio extra em plantas cultivadas sob estresse salino pode reduzir significativamente o conteúdo de Cl^- e aumentar o nível de NO_3^- nas folhas, contribuindo para atenuar os efeitos do estresse salino nas plantas (ABDOLZADEH *et al.*, 2008).

Apesar dos potenciais benefícios mencionados acima, não há consenso sobre os efeitos positivos do aumento de doses de fertilizantes nitrogenados em plantas sob estresse salino, conforme muitos relatos na literatura (CHEN *et al.* 2010; AZIZIAN; SEPASKHAH, 2014; MIN *et al.* 2014; SEMIZ *et al.* 2014; ZAKERY-ASL *et al.* 2014; LACERDA *et al.* 2016, WEI *et al.* 2016; ZENG *et al.* 2016; YASUOR *et al.* 2017).

No milho, espécie considerada moderadamente sensível à salinidade, Lacerda *et al.* (2016) verificaram que os efeitos osmóticos e tóxicos causados pelo sais neutralizaram qualquer benefício potencial da aplicação adicional de N, notadamente nos níveis moderados

e severos de estresse. Em pimenta, Yasuor *et al.* (2017) verificaram que em condições de elevada salinidade, o crescimento e a produtividade da cultura foi limitada pela concentração total de sais e não pela competição entre Cl^- e NO_3^- . Além disso, a resposta à fertilização nitrogenada diminuiu com a intensificação do estresse salino, sendo observadas reduções nos ganhos de produtividade e no retorno econômico com o incremento dos níveis de salinidade (FEITOSA *et al.*, 2016).

Por outro lado, em algumas halófitas foram observadas respostas positivas à adição de nitrogênio. Plantas de *Sueda salsa* (Amaranthaceae) apresentaram ganhos significativos de biomassa em concentrações de NaCl de até 300 mM (JIANG *et al.*, 2012). O aumento do suprimento de NO_3^- às plantas da halófito *Tamarix laxa* Willd., em condições de salinidade, reduziu os teores de Na^+ tanto na parte aérea quanto na raiz (DING *et al.*, 2010). A adição de NO_3^- a 10 mmol L⁻¹ melhorou significativamente o crescimento da parte aérea e da raiz na halófito *Suaeda physophora* sob níveis elevados de salinidade, e o efeito do NO_3^- foi mais pronunciado no peso seco da raiz, levando a um aumento significativo na relação raiz/parte aérea (YUAN *et al.*, 2010).

A análise de muitas informações da literatura parece indicar que as respostas à aplicação de N suplementar sob condições de salinidade dependem das condições edáficas, da demanda nutricional da espécie, e da própria habilidade da planta em responder aos efeitos clássicos do estresse salino (GRIEVE; GRATAN, 1999; LACERDA *et al.*, 2016). Nesse sentido, a comparação entre genótipos com diferenças na demanda por N e no grau de tolerância à salinidade, como é o caso do milho e do algodão, pode ser uma forma de ajudar a esclarecer essa questão científica. Assim sendo, a hipótese testada neste trabalho foi que a resposta das plantas à aplicação de nitrogênio em ambiente salino depende do grau de tolerância à salinidade do genótipo. Neste contexto, objetivou-se com o presente estudo, avaliar o crescimento, produção, trocas gasosas e eficiência de uso do N em plantas de algodão (tolerante à salinidade) e milho (moderadamente sensível à salinidade) irrigadas com águas salinas, sob doses sub e supra ótimas de N.

4.2 Material e métodos

4.2.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido em casa de vegetação pertencente à Universidade Federal do Ceará, em Fortaleza (3°45'S; 38° 33'W e altitude de 19 m), Ceará, Brasil. Para

fins de caracterização das condições meteorológicas em que o experimento foi conduzido, monitorou-se os dados de temperatura, umidade relativa do ar e luminosidade, com auxílio de um DataLogger, instalado no centro da casa de vegetação. Os valores médios diários de temperatura do ar no interior da casa de vegetação variaram de 26,4°C a 32,7°C, enquanto que os de umidade relativa oscilaram de 60,5 a 80,0%. A luminosidade durante o período de condução do experimento variou de 9.998 a 22.186 Lux, com fotoperíodo de aproximadamente 12 horas.

4.2.2 Delineamento experimental e tratamentos

O estudo foi realizado empregando-se o delineamento em blocos casualizados, no esquema de parcelas sub-subdivididas, tendo nas parcelas as duas culturas (milho, considerado moderadamente sensível à salinidade e o algodão, considerado tolerante à salinidade), nas subparcelas os níveis de salinidade da água de irrigação (0,5; 2,0; 4,0 e 6,0 dS m⁻¹) e nas subsubparcelas, as três doses de nitrogênio (60, 100 e 140% do valor recomendado para cada cultura). Foram utilizadas quatro repetições, totalizando 96 unidades experimentais constituídas por colunas de solo, medindo 20 cm de diâmetro e 100 cm de comprimento.

4.2.3 Caracterização do solo utilizado

O solo utilizado para o preenchimento das colunas foi um Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico típico, coletado nas profundidades de 0-15 cm (horizonte A), 15-62 cm (horizonte E) e a partir de 62 cm (horizonte B). Na Tabela 1 consta a caracterização física e química dos horizontes do solo.

Tabela 1. Caracterização do solo utilizado no experimento.

Hor	Prof (cm)	Textura	ρ_s	θ_{CAD}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	$H^+ + Al^{3+}$
			$g\ cm^{-3}$	$g\ 100g^{-1}$	----- -----		cmol _c kg ⁻¹ -----		
A	0-15	Areia franca	1,47	2,21	0,80	0,70	0,09	0,05	0,83
E	15-62	Areia franca	1,46	2,67	0,60	0,60	0,09	0,11	1,65
B	> 62	Franco argilo arenosa	1,35	4,98	0,80	0,70	0,09	0,15	1,98

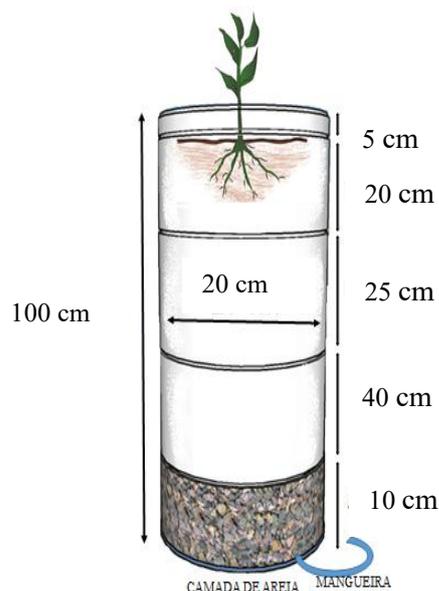
Hor	Prof (cm)	Al^{3+}	S	T	V	m	P	N	pH	CEes
		----- cmol _c kg ⁻¹ -----		-----%-----		mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹	H ₂ O	dS m ⁻¹	
A	0-15	0,05	1,6	2,5	64	3	6	0,23	6,7	0,06
E	15-62	0,15	1,4	3,0	47	10	4	0,18	5,4	0,04
B	> 62	0,50	1,7	3,7	46	23	2	0,34	5,0	0,05

Hor. = horizonte; Prof. = profundidade; ρ_s = densidade do solo; θ_{CAD} capacidade de água disponível; pH – potencial hidrogeniônico; CEes – condutividade elétrica do extrato de saturação; S – soma de bases trocáveis; T – capacidade de troca catiônica; V – saturação por bases; m – saturação por alumínio.

4.2.4 Montagem das colunas de solo

As colunas de solo foram feitas de tubos de PVC rígido, com diâmetro interno de 20 cm e comprimento de 100 cm, com as extremidades inferiores fechadas e vedadas com tampas (caps) também de PVC. Na parte inferior da coluna foi feito um furo e acoplada uma mangueira conectada a um recipiente para coleta do lixiviado (Figura 1). A parede interna dos tubos recebeu uma camada de cola com areia para impedir o fluxo preferencial entre o solo e a parede do tubo. Uma camada de 10 cm de areia foi colocada na base de cada tubo para facilitar a livre drenagem do lixiviado. As colunas foram completadas com o solo, deixando-se os 5,0 cm livres para facilitar a irrigação e adubação.

Figura 1. Representação esquemática da coluna de solo utilizada no estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor

Para o preenchimento das colunas foram feitas marcações em seu interior a cada 10 cm de profundidade e realizado o preenchimento com o solo coletado, compactando-o até a densidade de $1,53 \text{ g cm}^{-3}$. As colunas foram montadas obedecendo à mesma sequência dos horizontes do solo conforme se encontravam no campo (Figura 1). Para isso, dividiu-se a coluna em três camadas: a primeira, com 20 cm de profundidade, preenchida com o solo coletado do horizonte A, a segunda com 25 cm de profundidade, preenchida com o solo coletado do horizonte de transição E e a terceira, com 40 cm de profundidade, preenchida com o material recolhido do horizonte B (Tabela 1; Figura 1).

4.2.5 Condução do experimento

A semeadura foi realizada colocando-se quatro sementes por coluna, a 2 cm de profundidade. A aplicação dos tratamentos salinos iniciou-se oito dias após a semeadura (DAS). Aos 10 DAS, fez-se o desbaste, deixando-se uma planta por coluna.

A água de menor CE ($0,5 \text{ dS m}^{-1}$) foi obtida a partir da diluição de água de poço (pH 6,9, CE= $1,0 \text{ dS m}^{-1}$ e RAS 4,5), com água da chuva (CE= $0,01 \text{ dS m}^{-1}$) (Tabela 2). Para obtenção das demais concentrações (2,0; 4,0 e $6,0 \text{ dS m}^{-1}$) foram adicionados à água do poço, os sais cloreto de sódio (NaCl) e cloreto de cálcio ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) na proporção 7:3, obedecendo-se a relação entre a condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) e sua concentração ($\text{mmol}_c \text{ L}^{-1} = \text{CE} \times 10$), segundo Rhoades *et al.* (2000). A proporção dos sais

utilizados nas águas de irrigação é uma aproximação representativa da maioria das fontes de água disponível para irrigação na região Nordeste do Brasil (MEDEIROS, 1992).

Tabela 2. Resultados da análise de qualidade da água do poço, utilizada para obter os níveis salinos.

Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻
-----mmol _c L ⁻¹ -----							
0,87	2,73	6,08	0,23	7,30	1,09	1,7	0,0
CE(dS m ⁻¹)	RAS	pH	Sólidos dissolvidos (mg L ⁻¹)		Classificação		
1,00	4,53	6,91	1000		C ₃ S ₁		

Os totais de nitrogênio aplicados por coluna nas diferentes doses em cada cultura é mostrado na Tabela 2. A dose de referência (100%) correspondeu a 210 kg ha⁻¹ de N para o milho (Braz *et al.*, 2019), com 80.000 plantas por hectare e a 120 kg ha⁻¹ de N (Ferreira; Carvalho, 2005) para o algodão, com 75.000 plantas por hectare.

Tabela 3. Totais de nitrogênio aplicados (g/coluna) nas diferentes doses de N em cada cultura

Culturas	Doses de nitrogênio (g/coluna)		
	60%	100%	140%
Algodão	0,95	1,60	2,22
Milho	1,56	2,62	3,66

Para a cultura do milho (*Zea mays* L.), utilizou-se o híbrido BRS 2020 e para o algodão (*Gossypium hirsutum* L.), a variedade Fibermax 910. No milho, a aplicação do nitrogênio (126; 210 e 294 kg ha⁻¹ de N, equivalentes a 60, 100 e 140% da recomendação de N para a cultura) e potássio (80 kg ha⁻¹ de K₂O) foi parcelada em quatro vezes: 15% aplicado no desbaste, 25% aos 15 e 30 dias após o desbaste e 35% aos 45 dias após o desbaste. Os outros nutrientes foram aplicados na semeadura, incluindo 6,25 e 1,0 g por coluna de superfosfato simples e uma mistura de micronutrientes (1,0% Zn, 2,5% Mn, 17% Fe, 0,1% B, 1,0% Cu, 0,05% Mo, 6,0% Ca, 3,0% Mg e 12% S), respectivamente.

No algodão, a adubação nitrogenada (72, 120 e 168 kg ha⁻¹ de N, equivalentes a 60, 100 e 140% da recomendação de N para a cultura) e potássica (50 kg ha⁻¹ de K₂O) também foram parceladas, sendo 25% aplicado no desbaste e o restante aplicado em duas parcelas iguais aos 15 e 30 dias após o desbaste. Na semeadura, aplicou-se 7,7 e 1,0 g por coluna de superfosfato simples e uma mistura de micronutrientes FTE Br 12 (1,0% Zn, 2,5% Mn, 17% Fe, 0,1% B, 1,0% Cu, 0,05% Mo, 6,0% Ca, 3,0% Mg e 12% S), respectivamente. Em ambas

as culturas, a fonte de N e K utilizada foi a ureia (45% de N) e o cloreto de potássio (60% de K_2O e 48% de Cl), respectivamente.

A lâmina de irrigação aplicada necessária para satisfazer a necessidade hídrica das culturas foi obtida em função do balanço hídrico, pela diferença entre o volume aplicado e o volume drenado da irrigação anterior, acrescido da fração de lixiviação de 0,15. A aplicação da água foi feita em dias alternados e de forma localizada, de modo a evitar o contato direto da mesma com as folhas.

4.2.6 Trocas gasosas e Índice relativo de clorofila

Aos 25, 40, 58 e 65 DAT foram realizadas medições da taxa de fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs) e a concentração interna de CO_2 (C_i), com um analisador de gases infravermelho portátil (modelo Li – 6400XT, LiCor, USA). Foram utilizadas folhas completamente expandidas, submetidas à irradiância saturante ($1800 \mu mol$ de fons $m^{-2}s^{-1}$) e mantidas em condições ambientais de CO_2 e temperatura do ar. Aos 65 DAT foram realizadas leituras do índice relativo de clorofila (IRC) com o auxílio de um medidor portátil (SPAD 502, Minolta Co, Ltd, Osaka, Japan), sendo os resultados expressos em unidades de leitura do aparelho. As leituras foram realizadas nas mesmas folhas utilizadas nas leituras das trocas gasosas.

4.2.7 Crescimento vegetativo e reprodutivo

Aos 80 DAS as plantas foram coletadas, sendo obtida a área foliar (AF) com o uso de um integrador de área (Area meter, LI-3100, Li-Cor, Inc. Lincoln, NE, USA). As diferentes partes das plantas (raízes, parte aérea vegetativa e parte aérea reprodutiva) foram separadas, acondicionadas em sacos de papel e colocadas para secar em estufa com circulação forçada de ar, mantendo-se a temperatura na faixa de 65 a 70°C. Após a secagem, cada amostra foi pesada em balança analítica e obteve-se a matéria seca total (MST). Com dos dados de biomassa seca estimou-se o índice de produção (IP), pela relação entre a biomassa de capulhos no algodão ou da biomassa da espiga no milho e a biomassa seca total das plantas.

4.2.8 Eficiência de uso do nitrogênio

A eficiência do uso de N foi obtida utilizando-se as seguintes razões: taxa de fotossíntese líquida/total de N aplicado (A/N_{app}) e matéria seca total/total de N aplicado (MST/N_{app}).

4.2.9 Δ prolina e Δ N-amino nas folhas

Aos 71 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT), coletaram-se cinco folhas por planta no algodoeiro (a partir da 5ª folha da haste principal) e no milho, três folhas por planta (opostas e localizadas abaixo da primeira espiga superior). As folhas foram liofilizadas e em seguida trituradas em moinho do tipo Willey. Após isso, pesaram-se 0,5 g do material moído e repassado para tubos de ensaio, onde foram adicionados 10 mL de água deionizada. As amostras foram colocadas por 1 hora em banho-maria a $45\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, sendo agitadas a cada 15 minutos. Logo depois, coletou-se o sobrenadante (extrato), filtrou-se o mesmo em papel filtro qualitativo (poros com \O de 14 μm) e o filtrado foi armazenado em frascos. Neste extrato determinou-se os teores de prolina e N-amino utilizando-se as metodologias descritas por Bates *et al.* (1973) e Yemm; Cocking (1955) respectivamente. As variações nos teores de prolina e N-amino nas folhas foram obtidas pela seguinte expressão:

Δ prolina ou Δ N-amino = teor na dose supraótima – teor na dose recomendada

4.2.10 Δ N-nitrato no solo

Ao final do experimento (80 DAS), foram coletadas amostras de solo na camada de 45 a 85 cm e foram determinadas as concentrações de nitrato no extrato de saturação do solo, empregando-se o método do ácido salicílico de acordo com Cataldo *et al.* (1975). As variações na concentração de nitrato no solo foram obtidas pela seguinte expressão:

Δ N-nitrato = concentração na dose supraótima – concentração na dose recomendada

4.2. 11 Análise estatística

Os resultados obtidos foram avaliados mediante análise de variância pelo teste F, e, nos casos de significância, realizou-se a análise de regressão para o fator salinidade e teste de comparação de médias para os fatores cultura e doses de nitrogênio. A escolha da regressão foi feita mediante o melhor ajuste com base no coeficiente de determinação (R^2) e levando-se em consideração uma possível explicação biológica. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software estatístico SISVAR®, versão 5.3 (FERREIRA, 2010).

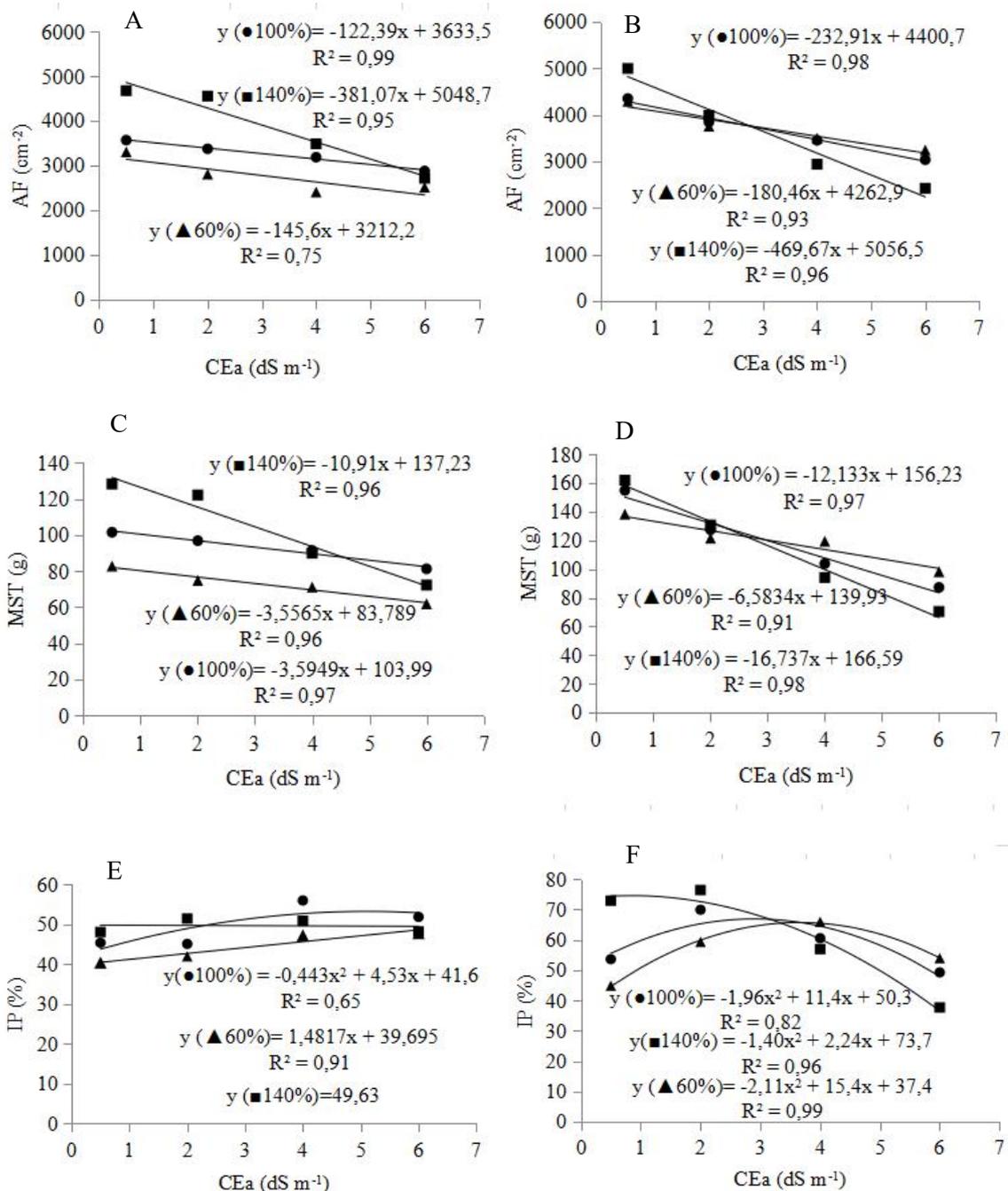
4.3 Resultados

4.3.1 Crescimento e índice de produção

A interação salinidade e doses de nitrogênio afetou significativamente a área foliar ($p < 0,01$), a matéria seca total ($p < 0,01$) e o índice de produção ($p < 0,01$). No algodão, o

incremento na salinidade da água de irrigação resultou em decréscimos de 23,96%, 19,36% e 41,98% na área foliar das plantas irrigadas com água de CEa de 6,0 dS m⁻¹, em relação às plantas sob menor salinidade (0,5 dS m⁻¹) nas doses de 60, 100 e 140% da recomendação de N, respectivamente (Figura 2A). Para o milho (Figura 2B), essas reduções foram de 24,39%, 30,33% e 51,52%, respectivamente.

Figura 2. Área foliar (AF), matéria seca total (MST) e índice de produção (IP) em plantas de algodão (A, C e E) e de milho (B, D e F) em função da salinidade da água de irrigação e doses de nitrogênio.



Fonte: Elaborado pelo autor

Para a matéria seca total (MST) do algodão, ao comparar os dados obtidos nas plantas submetidas à irrigação com água de maior nível salino ($6,0 \text{ dS m}^{-1}$) com as de menor nível salino ($0,5 \text{ dS m}^{-1}$), verificou-se reduções de 25,2; 19,9 e 43,6% nas doses de 60, 100 e 140% da recomendação de N, respectivamente (Figura 2C). No milho, estes decréscimos foram de 29,0; 43,7 e 56,6%, respectivamente (Figura 2D).

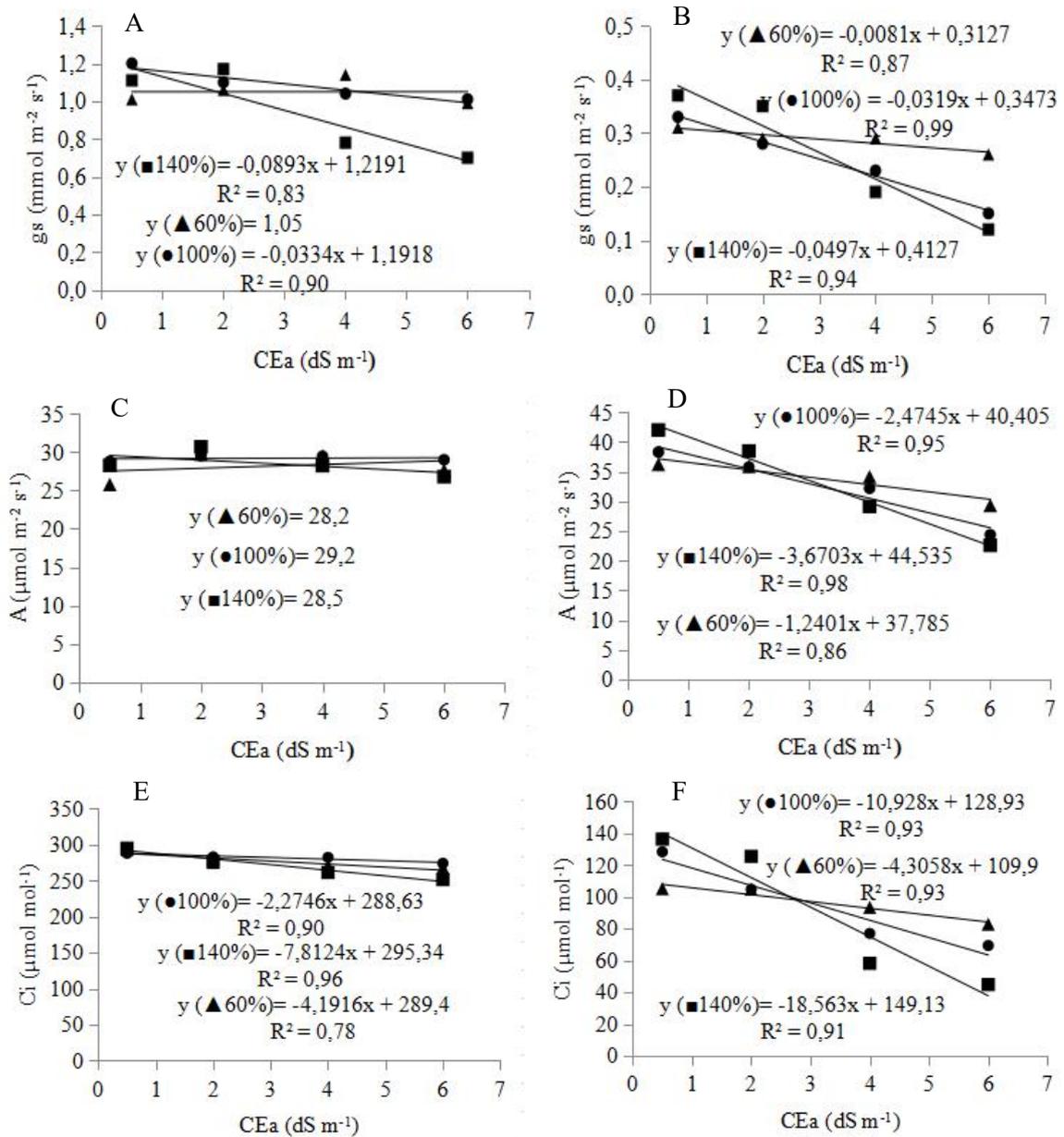
À medida que a salinidade da água se elevou de 0,5 para $6,0 \text{ dS m}^{-1}$ constatou-se acréscimo relativo de 18,30% no índice de produção do algodoeiro na menor dose de N. Nas plantas cultivadas na dose recomendada para a cultura, encontrou-se valor máximo estimado para o IP de 53,2% na salinidade de $5,11 \text{ dS m}^{-1}$. Na maior dose de N, o IP apresentou valor médio de 49,6%, não havendo efeitos da salinidade (Figura 2E). Para as plantas de milho adubadas com doses de 60, 100 e 140% de N obtiveram-se valores máximos estimados do IP de 67,7, 66,9 e 74,6% ao se irrigar com água de CEa de 3,65; 2,91 e $0,8 \text{ dS m}^{-1}$, respectivamente, decrescendo a partir destes níveis de CEa (Figura 2F).

4.3.2 Trocas gasosas e índice relativo de clorofila

A interação salinidade e doses de nitrogênio foi significativa para as trocas gasosas foliares e o índice relativo de clorofila ($p < 0,05$). O incremento dos sais na água de irrigação resultou em decréscimos de aproximadamente 16 e 37% na condutância estomática do algodão nas doses de 100 e 140% da recomendação de N (Figura 3A). No milho, a condutância estomática foi 16, 54,5 e 67,6% menor no maior nível de salinidade para as doses de 60, 100 e 140% da recomendação de N, respectivamente (Figura 3B). Em ambas as culturas, os maiores valores de gs foram obtidos no controle ($0,5 \text{ dS m}^{-1}$) e maior dose de N, enquanto os menores foram observados no maior nível de salinidade ($6,0 \text{ dS m}^{-1}$) combinado também com a maior dose de N (Figura 3A e 3B).

A salinidade da água de irrigação não afetou a fotossíntese do algodoeiro em nenhuma das doses de N testadas, sendo obtidos valores médios iguais a 28,2; 29,2 e $28,5 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ para as doses de 60, 100 e 140% da recomendação de N, respectivamente (Figura 3C). No milho, por sua vez, ao confrontar os dados obtidos nas plantas irrigadas com água de maior nível salino ($6,0 \text{ dS m}^{-1}$) com aquelas cultivadas sob o menor nível salino ($0,5 \text{ dS m}^{-1}$), verificaram-se reduções de 19,0, 36,3 e 46% na fotossíntese líquida do milho nas doses de 60, 100 e 140% da recomendação de N, respectivamente (Figura 3D).

Figura 3. Condutância estomática (gs), fotossíntese líquida (A) e concentração interna de CO₂ (Ci) em plantas de algodão (A, C e E) e de milho (B, D e F) em função da salinidade da água de irrigação (0,5; 2,0; 4,0 e 6,0 dS m⁻¹) e doses de nitrogênio (60, 100 e 140% da dose recomendada para cada cultura).



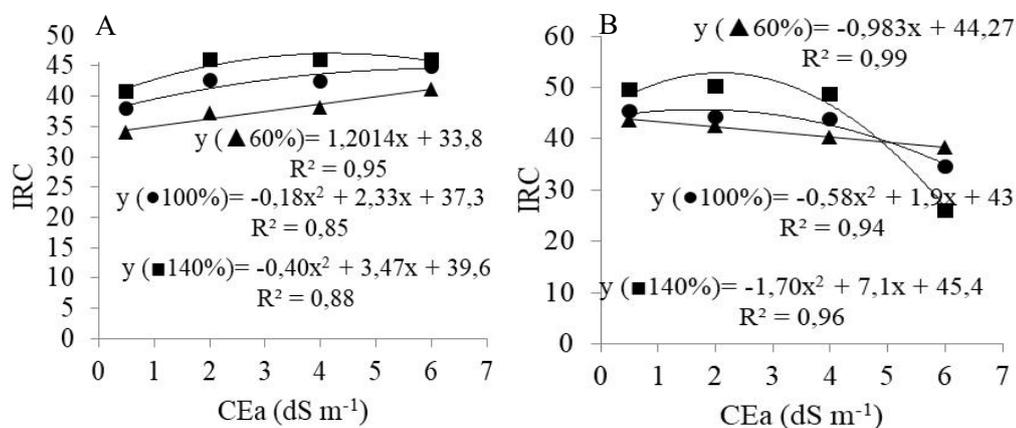
Fonte: Elaborado pelo autor

Comparado ao controle (0,5 dS m⁻¹), a concentração interna de CO₂ (Ci) do algodão decresceu linearmente de 4,2, 2,7 e 7,8 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ por incremento unitário da CEa, correspondentes às reduções de 8,6, 6,4 e 14,2% na Ci das plantas sob irrigação com CEa de 6,0 dS m⁻¹ nas doses de 60, 100 e 140% da recomendação de N, respectivamente (Figura 3E). No milho, a salinidade da água de irrigação causou decréscimos de 4,3, 10,9 e 18,5 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ por incremento unitário da CEa nas doses de 60, 100 e 140% da recomendação de N. Ao se

comparar os dados obtidos nas plantas submetidas a irrigação com água de maior salinidade ($6,0 \text{ dS m}^{-1}$) com aquelas cultivadas sob a menor salinidade ($0,5 \text{ dS m}^{-1}$), verificaram-se reduções de 21, 46 e 67% na Ci nas doses de 60, 100 e 140% da recomendação de N, respectivamente (Figura 3F).

O incremento da salinidade propiciou um acréscimo de 21,0% no índice relativo de clorofila (IRC) do algodão, comparando o maior nível de salinidade ($6,0 \text{ dS m}^{-1}$) com o menor ($0,5 \text{ dS m}^{-1}$) na dose de 60% da recomendação de N (Figura 4A). Nas plantas cultivadas nas doses de 100 e 140%, o IRC apresentou valores máximos estimados de 44,5 e 47 obtidos nas salinidades de 6,15 e $4,25 \text{ dS m}^{-1}$, respectivamente. No milho, constatou-se redução linear no IRC em função da salinidade, na menor dose de N testada, com redução total de 12%. Nas doses 100 e 140% de N os valores máximos estimados foram de 46 e 53 nas salinidades de 1,71 e $2,08 \text{ dS m}^{-1}$, respectivamente, decrescendo a partir destes níveis de CEa (Figura 4B).

Figura 4. Índice relativo de clorofila (IRC) em plantas de algodão (A) e de milho (B) em função da salinidade da água de irrigação ($0,5; 2,0; 4,0$ e $6,0 \text{ dS m}^{-1}$) e doses de nitrogênio (60, 100 e 140% da dose recomendada para cada cultura).



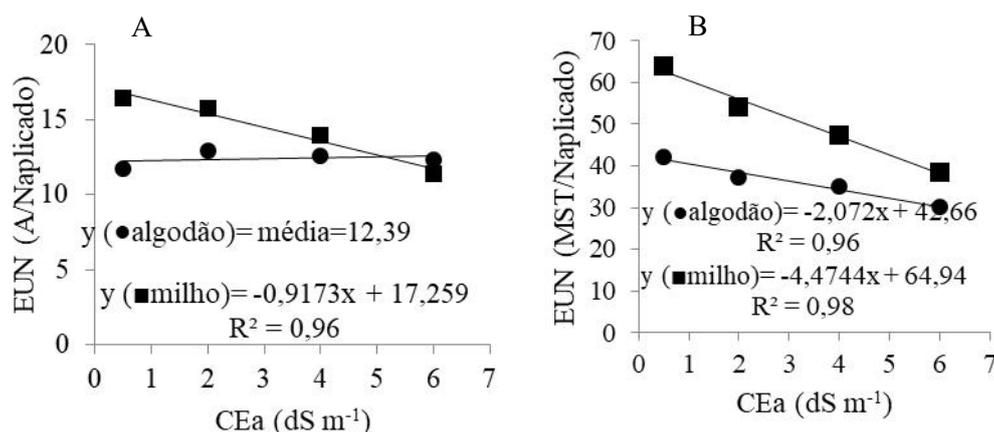
Fonte: Elaborado pelo autor

4.3.3 Eficiência de uso do nitrogênio

A interação entre salinidade e cultura afetou a eficiência de uso do nitrogênio obtida pelas relações A/Naplicado ($p < 0,01$) e MST/Naplicado ($p < 0,01$). Os valores de A/Naplicado no milho sofreram decréscimo de $0,92 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}/\text{g N}$ por incremento unitário da CEa, resultando em redução de 30,5% nas plantas irrigadas com água de $6,0 \text{ dS m}^{-1}$ em comparação às plantas sob CEa de $0,5 \text{ dS m}^{-1}$ (Figura 5A). A mesma tendência foi

observada para os valores de MST/Naplicado na cultura do milho, com redução total de 39,2% (Figura 5B). No algodão, a salinidade da água de irrigação afetou apenas a relação MST/Naplicado, atingindo um valor 28,3% menor no maior nível de salinidade.

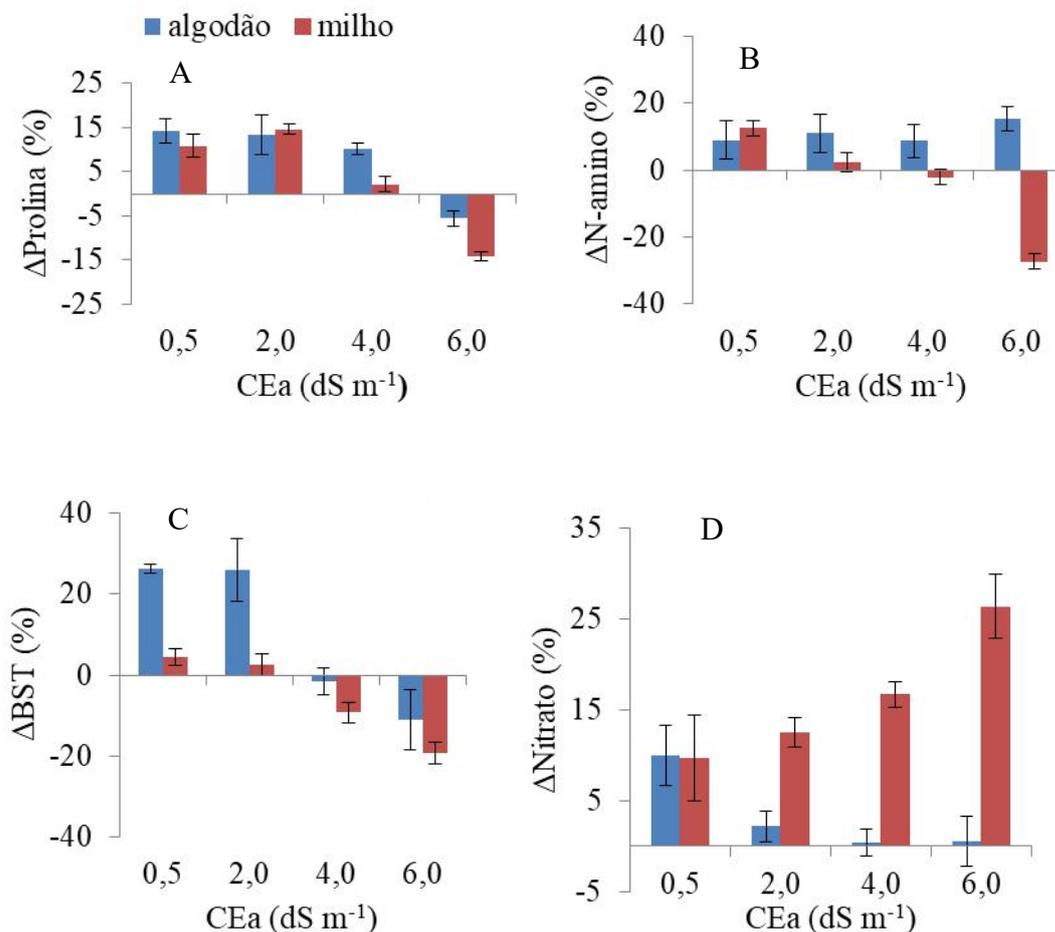
Figura 5. Eficiência de uso do nitrogênio, obtida pelas relações A/Naplicado (A) e MST/Naplicado (B), no algodão e milho em função da salinidade da água de irrigação.



Fonte: Elaborado pelo autor

A relação entre a aplicação da dose supra ótima de N em comparação com a dose recomendada também evidencia que a eficiência do uso de nitrogênio decresce com a intensificação do estresse salino (Figura 6). Em condições de elevada salinidade (6,0 dS m⁻¹), a aplicação de dose supra ótima de N na cultura do algodão, comparada à dose recomendada, resultou em decréscimos de 5,5 e 11% no teor de prolina (Figura 6A) e na biomassa seca total (Figura 6C), respectivamente, e em acréscimo de 15,3% para o ΔN-amino (Figura 6B). Para a cultura do milho, verificou-se apenas reduções, as quais alcançaram 14,0, 27,3 e 19,3% para prolina (Figura 6A), N-amino (Figura 6B) e biomassa seca total (Figura 6C), respectivamente.

Figura 6. Δ prolina (A), Δ N-amino (B) nas folhas, Δ biomassa seca total (C) e Δ N-nitrato no subsolo (45 a 85 cm) (D) obtidos pela diferença entre a dose recomendada e a dose supra ótima de N em função da salinidade da água de irrigação utilizada na irrigação do algodão e do milho. Barras verticais representam erros (n= 4).



Fonte: Elaborado pelo autor

A fertilização nitrogenada excessiva também provocou acúmulo de N-nitrato no subsolo, com aumento da salinidade, sendo essa resposta evidente apenas para a cultura do milho (Figura 6D). No maior nível salino (6,0 dS m⁻¹) associado a maior dose de N, por exemplo, verificou-se que o acúmulo de N-nitrato foi 26,36% maior em comparação a dose recomendada para a cultura. Além disso, neste mesmo tratamento, constatou-se que cerca de 70,5% do acúmulo de N-nitrato foi localizado na maior profundidade do solo (dados não mostrados). Para a dose subótima, verificou-se que os teores de N-nitrato no subsolo foram bem inferiores aos da dose recomendada. Entretanto, se observou uma redução dessa diferença nos maiores níveis de salinidade (dados não mostrados).

4.4 Discussão

Alguns autores sugerem que a demanda celular por nitrogênio aumenta sob condições de estresse salino, levando-se em conta o acúmulo de compostos nitrogenados que contribuem para o ajustamento osmótico e de outros compostos e enzimas que atuam na proteção de danos oxidativos sobre o metabolismo (BARHOUMI *et al.*, 2010; MUNNS; TESTER, 2008; DING *et al.*, 2010). A partir dessas premissas, muitos estudos têm sido realizados visando a atenuação dos efeitos do estresse salino nas plantas pela aplicação de dose supra recomendada de nitrogênio (SHENKER *et al.*, 2003; CHEN *et al.*, 2010; MIN *et al.*, 2014; LACERDA *et al.*, 2016; YASUOR *et al.*, 2017). Entretanto, em muitos casos não foram observadas respostas positivas e na maioria deles não há preocupação com a eficiência da adubação nitrogenada ou com as possíveis perdas de N e contaminação do meio ambiente

As perdas de N podem ser significativas quando o nível de estresse supera o valor da salinidade limiar da cultura, definida por Maas; Hoffman (1977), pois os efeitos osmóticos e tóxicos dos sais resultam em claras reduções na produção de biomassa (MUNNS, 2002; RAHNAMA *et al.*, 2010; SHANKER; VENKATESWARLU, 2011; MUNNS; GILLIHAM, 2015), no consumo de água e na extração de nutrientes do solo (NEVES *et al.*, 2009; LACERDA *et al.*, 2016). Partindo-se dessas constatações, é possível sugerir que as discrepâncias nas respostas das espécies à adição de N sob condições de salinidade podem ser explicadas, pelo menos em parte, pelas variações nos valores da salinidade limiar da cultura e do grau de queda nos rendimentos com a intensificação do estresse. Os nossos dados evidenciam esse tipo de resposta ao comparar o algodão, cultura tolerante à salinidade, com o milho, cultura moderadamente sensível à salinidade, tendo sido observado efeito positivo da adubação nitrogenada adicional até a salinidade de 2,0 dS m⁻¹ no algodão, enquanto que no milho este efeito foi evidente apenas no controle (0,5 dS m⁻¹), considerando-se a dados de área foliar e produção de biomassa total (Figura 2).

No algodão, Chen *et al.* (2010) também constataram que quando a salinidade do solo era baixa (2,4 dS m⁻¹), um aumento na taxa de aplicação de N aliviou os efeitos adversos da salinidade. No entanto, a salinidade em níveis elevados se tornou-se um fator limitante ao crescimento da planta. Ainda no algodão, Min *et al.* (2014) observaram que em condições de salinidade elevada, a aplicação de altas taxas de N não teve efeito sobre a produção de biomassa. No milho, Lacerda *et al.* (2016) verificaram que nenhum efeito positivo do N sobre o crescimento foi observado quando a salinidade na água de irrigação foi maior que 2,5 dS m⁻¹. Em pimenta, Yasuor *et al.* (2017) verificaram que, em condições de elevada salinidade, o

crescimento da cultura foi limitado pelos sais e não pela competição entre Cl^- e NO_3^- , sendo que a resposta à fertilização nitrogenada diminuiu com a intensificação do estresse salino.

Assim como verificado para o crescimento, os efeitos da salinidade e do N sobre o índice de produção diferiram grandemente entre as culturas (Figura 2), com impactos bem mais drásticos no milho. Para essa cultura, verifica-se que a dose supraótima de N favoreceu a partição de biomassa para o crescimento reprodutivo em níveis baixos de estresse salino, porém esse efeito se inverte completamente em condições de estresse severo. Para o algodão, se observou uma tendência de aumento no índice de partição com o incremento da salinidade, com a dose subótima levando a um menor percentual de partição para os órgãos reprodutivos comparada com as demais doses. Esses resultados demonstram que a discrepância na resposta ao N em plantas sensíveis e tolerantes à salinidade depende do nível de estresse, levando-se em conta tanto aspectos quantitativos de crescimento como aspectos relacionados à partição de biomassa.

No milho, Azizian; Sepaskhah (2014) verificaram que a partição de biomassa para órgãos reprodutivos foi estatisticamente semelhante nos níveis de salinidade da água de 2 e 4 dS m^{-1} , mas significativamente menor em relação ao controle (0,6 dS m^{-1}). Além disso, não se verificou diferença na partição entre as doses de 150 e 300 kg N ha^{-1} . No algodão, Zhang *et al.* (2012) verificaram que a maior partição de biomassa para a parte reprodutiva (50,5%) foi encontrado nas plantas cultivadas sob elevada salinidade, mas que não receberam adubação nitrogenada, sendo que alta taxa de N estimulou o crescimento vegetativo durante o estágio de formação dos capulhos.

Os efeitos negativos dos sais sobre as trocas gasosas foliares do milho foram maiores nas plantas cultivadas na dose de 140% de N (Figura 3). Possivelmente, isso ocorreu porque a aplicação adicional de N exacerbou os efeitos osmóticos dos sais advindos da água de irrigação. Assim como o presente estudo, Tabatabaei (2006) verificou que o aumento da concentração de N no meio de cultivo causou reduções da g_s , A e E em plantas de oliveira sob estresse salino. Por outro lado, Zeng *et al.* (2014) observaram que em níveis baixos e moderados de salinidade as taxas fotossintéticas do girassol aumentaram com a aplicação de N, enquanto sob estresse salino severo, o excesso de N reduziu a fotossíntese.

O crescimento das plantas está sob o controle de muitos processos fisiológicos, bioquímicos e moleculares, particularmente a fotossíntese (ASHRAF; HARRIS, 2013). O impacto da salinidade na fotossíntese é fortemente dependente da adubação nitrogenada, da tolerância à salinidade da espécie e da duração e intensidade do estresse salino (HESSINI *et al.*, 2013). Neste estudo, respostas positivas da adubação nitrogenada sobre as trocas gasosas

foliares do algodão e milho somente foram evidentes nos menores níveis de salinidade (Figura 3), sendo que a utilização de doses supra ótimas intensificaram os efeitos do estresse salino, notadamente nas plantas do milho (Figura 3).

O índice relativo de clorofila também evidenciou diferenças claras na resposta à salinidade e às doses de N, nas duas culturas estudadas (Figura 4). Enquanto a salinidade e o aumento das doses de N aumentaram o teor de clorofila no algodão, os valores tenderam a decrescer no milho a partir de índice moderados de salinidade, mesmo quando se aplica doses supraótimas de N. Os resultados para a cultura do milho são semelhantes aos obtidos por Lacerda *et al.* (2016), que observaram efeito positivo de alta dose de N em plantas submetidas a concentrações moderadas de salinidade. De acordo com Jamil *et al.* (2007), a salinidade reduz o teor de clorofila em plantas sensíveis à salinidade e aumenta em plantas tolerantes ao sal. Assim como observado para o algodoeiro, o aumento dos níveis de nitrogênio aumentou a clorofila em soja (ZHANG *et al.* 2013) e trigo (VAFADAR *et al.*, 2014; IBRAHIM *et al.*, 2018). Essa resposta, entretanto, pode estar associada a características morfofisiológicas foliares e aos mecanismos de defesa de cada espécie em resposta ao estresse salino (LACERDA *et al.*, 2006).

Nossos resultados indicam que a salinidade reduz a eficiência de utilização de N (Figura 5), sendo essa resposta mais evidente na cultura do milho, comparativamente mais sensível à salinidade do que o algodão. A queda na eficiência de uso de N pode ser exacerbada quando se utiliza dose suprarecomendada desse nutriente em condições de moderada a elevada salinidade (Zhang *et al.*, 2012; Lacerda *et al.*, 2016), visto que isso não resulta necessariamente, no acúmulo de compostos nitrogenados (Figura 6), os quais poderiam atenuar os efeitos do estresse salino (MUNNS; TESTER, 2008; DING *et al.*, 2010). Os nossos resultados também mostram que a aplicação de doses extras de N resulta em perdas por lixiviação (Figura 6D), as quais indicam ineficiência também sob o ponto de vista econômico e ambiental (NEVES *et al.*, 2009; SEGAL *et al.*, 2010; RAMOS *et al.*, 2012; SEMIZ *et al.*, 2014; FEITOSA *et al.*, 2016). De acordo com Zhang *et al.* (2017), um manejo mais sustentável da adubação nitrogenada é necessário nos sistemas agrícolas modernos, visando mitigar a poluição ambiental resultante das perdas de N.

4.5 Conclusões

Os resultados mostraram que as respostas à adubação nitrogenada adicional dependem da tolerância da cultura à salinidade e do nível de estresse salino imposto. Doses de nitrogênio além da recomendada exacerbaram os efeitos negativos da salinidade sobre o crescimento e taxas de fotossíntese, principalmente na cultura do milho, em condições de moderada a elevada salinidade. Por outro lado, essas mesmas doses não resultaram em incrementos de compostos nitrogenados nas folhas, que poderiam atenuar os impactos negativos do estresse salino.

5 CAPÍTULO II - NUTRIÇÃO MINERAL E ACÚMULO DE SOLUTOS ORGÂNICOS EM PLANTAS DE ALGODÃO E MILHO SOB ESTRESSE SALINO E DOSES SUB E SUPRA ÓTIMAS DE NITROGÊNIO

Resumo: Objetivou-se com o presente estudo, avaliar a nutrição mineral e o acúmulo de solutos orgânicos em folhas de plantas de algodão (tolerante à salinidade) e milho (moderadamente sensível à salinidade) irrigadas com águas salinas sob doses sub e supra ótimas de nitrogênio. A pesquisa foi realizada em casa de vegetação na Estação Agrometeorológica da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE. Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados, em parcelas sub-subdivididas, tendo nas parcelas, duas culturas (milho e o algodão), nas subparcelas, os níveis de salinidade (0,5; 2,0; 4,0 e 6,0 dS m⁻¹) e nas subsubparcelas, três doses de nitrogênio (60, 100 e 140 %) do valor recomendado para cada cultura. Foram utilizadas quatro repetições, totalizando 96 unidades experimentais constituídas por colunas de solo, medindo 20 cm de diâmetro e 100 cm de comprimento. O solo utilizado para o preenchimento das colunas foi um Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico típico. Avaliou-se a nutrição mineral (sódio, potássio, cloreto, nitrogênio, cálcio, magnésio, zinco, cobre e manganês) e o acúmulo de solutos orgânicos (prolina, N-aminossolúvies e carboidratos) nas folhas das culturas avaliadas. A partir dos resultados obtidos, verificou-se que o aumento da adubação nitrogenada não reduziu a captação e o acúmulo de Cl⁻ nas folhas de ambas as culturas. A fertilização nitrogenada suplementar favoreceu o acúmulo de compostos nitrogenados no algodão. Enquanto isso, no milho, os efeitos positivos da fertilização nitrogenada sobre estes compostos é observado apenas em condições de baixa salinidade.

Palavras-chave: Estresse salino. Tolerância à salinidade. Compostos nitrogenados.

5 CAPÍTULO II - MINERAL NUTRITION AND ACCUMULATION OF ORGANIC SOLUTE IN COTTON AND CORN PLANTS UNDER SALINE STRESS AND DOSES SUB AND SUPRA NITROGEN OPTIMES

Abstract: The objective of this study was to evaluate the mineral nutrition and the accumulation of organic solutes in leaves of cotton (salinity tolerant) and corn (moderately salinity sensitive) plants irrigated with saline waters at sub and supra optimal doses of nitrogen. The research was carried out in a greenhouse at the Agrometeorological Station of the Federal University of Ceará, Fortaleza, CE. The randomized block design was used in subdivided plots, with two crops (maize and cotton) in the plots, in the subplots, the salinity levels (0.5; 2.0; 4.0 and 6; 0 dS m⁻¹) and in the subplots, three nitrogen doses (60, 100 and 140%) of the recommended value for each culture. Four replications were used, totaling 96 experimental units consisting of soil columns, measuring 20 cm in diameter and 100 cm in length. The soil used to fill the columns was Ultisol. Mineral nutrition (sodium, potassium, chloride, nitrogen, calcium, magnesium, zinc, copper and manganese) and the accumulation of organic solutes (proline, N-aminosoluvies and carbohydrates) in the leaves of the evaluated crops were evaluated. From the results obtained, it was verified that the increase of nitrogen fertilization did not reduce the uptake and accumulation of Cl⁻ in the leaves of both cultures. Supplementary nitrogen fertilization favored the accumulation of nitrogen compounds in cotton. Meanwhile, in maize, the positive effects of nitrogen fertilization on these compounds is observed only under low salinity conditions.

Keywords: Saline stress. Salinity tolerance. Nitrogen compounds.

5.1 Introdução

A crescente população humana, a redução da terra disponível para cultivo e a disponibilidade de recursos hídricos são desafios para a produção e a sustentabilidade agrícola no século XXI. Além disso, vários fatores do clima e do solo podem afetar a produção vegetal, tais como temperatura elevada, secas sazonais, inundações em áreas baixas e a salinidade do solo e da água (SHAHBAZ; ASHRAF, 2013). Por exemplo, estima-se que em todo o mundo 20% do total cultivado (sequeiro e irrigado) e 33% das terras agrícolas irrigadas são afetadas pelo excesso de sais no solo (SCHIATTONE *et al.* 2017).

A salinidade provoca uma série de mudanças morfológicas, fisiológicas, bioquímicas e moleculares, que afetam o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade das plantas (SHANKER; VENKATESWARLU, 2011; MUNNS; GILLIHAM, 2015). O crescimento das plantas é primeiro reduzido por uma diminuição do potencial hídrico do solo (fase osmótica), seguido de efeito iônico (tóxico) causado pelo acúmulo dos íons Na^+ e Cl^- nas folhas (fase iônica) (MUNNS, 2002; RAHNAMA *et al.*, 2010). Além disso, a salinidade ocasiona graves desequilíbrios nutricionais nas culturas, devido à forte interferência dos íons cloreto e sódio com outros elementos minerais essenciais, como potássio, cálcio, nitrogênio, fósforo, magnésio, ferro, manganês, cobre e zinco (TURAN *et al.*, 2010).

Sob estresse osmótico, as plantas podem acumular solutos compatíveis para diminuir o potencial osmótico e manter o turgor celular e os processos fisiológicos (TURNER, 2017; DUTTA *et al.*, 2018). Solutos orgânicos compatíveis são metabólitos que, quando acumulados no citosol, não interferem nas reações bioquímicas das células (BENDALY *et al.* 2016). Os solutos orgânicos mais amplamente compatíveis em plantas sob estresse salino são os carboidratos solúveis, aminoácidos livres, proteínas solúveis e prolina livre (AZEVEDO NETO *et al.*, 2009; SLAMA *et al.*, 2015; NAHAR *et al.*, 2016; MANSOUR; ALI, 2017).

Parte dos solutos orgânicos compatíveis apresenta o nitrogênio em sua composição, tais como os compostos de amônio quaternário, aminoácidos livres e pequenos peptídeos (MUNNS; TESTER, 2008). 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). Em função disso, muitos autores acreditam que o aumento da dose de N pode aumentar a tolerância das plantas à salinidade, incrementando o acúmulo desses compostos. Esse aumento no suprimento de N pode também reduzir a absorção de Cl^- (ABDOLZADEH *et al.*, 2008) e contribuir para a manutenção do equilíbrio dos nutrientes na solução do solo (HU; SCHMIDHALTER, 2005).

Alguns estudos avaliando o efeito da interação salinidade e adubação nitrogenada em culturas sensíveis à salinidade têm apresentados resultados diferentes aos observados em culturas consideradas tolerantes aos sais. Na cultura do milho, considerada moderadamente sensível à salinidade, Lacerda *et al.* (2016), por exemplo, verificaram que o aumento na concentração de sais diminuiu o nitrogênio total, proteína e aminoácidos nas folhas mesmo quando foram aplicados altos níveis de nitrogênio. Para estes compostos, o efeito de diferentes doses de nitrogênio foram significativos e consistentes apenas para as plantas sob concentração salina de até 2,5 dS m⁻¹. Shenker *et al.* (2003) relataram que em plantas de milho cultivadas em lisímetros sob baixa salinidade (CE = 0,5 dS m⁻¹), a concentração de N na folha aumentou com o acréscimo da fertilização nitrogenada. No entanto, quando a salinidade aumentou de 2,5 a 7,5 dS m⁻¹, a absorção de N e seu efeito nas plantas diminuiu. Por outro lado, nas halófitas *Suaeda aegyptiaca* (Zakery-Asl *et al.*, 2014) e *Suaeda salsa* (Guan *et al.*, 2011) verificaram-se que com o aumento dos níveis de salinidade e nitrogênio, o conteúdo de prolina aumentou significativamente. O teor de nitrogênio aumentou com as doses de N e diminuiu com o aumento da salinidade.

Considerando essas afirmações, a hipótese testada neste trabalho é que em condições de estresse salino, a fertilização nitrogenada alivia os danos da salinidade sobre as plantas e que esta resposta pode ser dependente da tolerância do genótipo à salinidade. Assim sendo, objetivou-se com o presente estudo, avaliar a nutrição mineral e acúmulo de solutos orgânicos em folhas de plantas de algodão (tolerante à salinidade) e milho (moderadamente sensível à salinidade) irrigadas com águas salinas sob doses sub e supra ótimas de nitrogênio.

5.2 Material e métodos

5.2.1 Localização e caracterização da área experimental

A pesquisa foi conduzida em casa de vegetação na Estação Agrometeorológica, pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Fortaleza (3°45'S; 38° 33'W e altitude de 19 m), Ceará, Brasil. Ao longo do experimento, monitorou-se os dados de temperatura, umidade relativa do ar e luminosidade no interior do ambiente, com auxílio de um DataLogger, instalado no centro da casa de vegetação. Os valores médios diários de temperatura do ar variaram de 26,4°C a 32,7°C, enquanto os de umidade relativa oscilaram de 60,5 a 80,0%. A luminosidade durante o período de condução do experimento variou de 9.998 a 22.186 Lux, com fotoperíodo de aproximadamente 12 horas.

5.2.2 Delineamento experimental e tratamentos

O estudo foi realizado empregando-se o delineamento em blocos casualizados (DBC), no esquema de parcelas sub-subdivididas, tendo nas parcelas as duas culturas (milho, considerado moderadamente sensível à salinidade e o algodão, considerado tolerante à salinidade), nas subparcelas os níveis de salinidade da água de irrigação (0,5; 2,0; 4,0 e 6,0 dS m⁻¹) e nas subsubparcelas, três doses de nitrogênio (60, 100 e 140% do valor recomendado para cada cultura. A dose de referência (100%) correspondeu a 210 kg ha⁻¹ de N para o milho (Braz et al., 2019) e de 120 kg ha⁻¹ de N para o algodão (Ferreira e Carvalho, 2005). Foram utilizadas quatro repetições, totalizando 96 unidades experimentais constituídas por colunas de solo, medindo 20 cm de diâmetro e 100 cm de comprimento.

5.2.3 Solo utilizado no experimento

O solo utilizado para o preenchimento das colunas foi um Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico típico, coletado nas profundidades de 0-15 cm (horizonte A), 15-62 cm (horizonte de transição) e a partir de 62 cm (horizonte B).

5.2.4 Montagem das colunas de solo

As colunas de solo foram feitas de tubos de PVC rígido, com diâmetro interno de 20 cm e comprimento de 100 cm, com as extremidades inferiores fechadas e vedadas com tampas também de PVC. Na parte inferior da coluna foi feito um furo e acoplado a uma mangueira conectada a um recipiente para coleta do lixiviado. A parede interna dos tubos recebeu uma camada de cola com areia para impedir o fluxo preferencial entre o solo e a parede do tubo. Depois foi colocada uma camada de 10 cm de areia na extremidade inferior de cada tubo para facilitar a livre drenagem do excedente hídrico e posteriormente foram completadas com o solo.

Para o preenchimento das colunas foram feitas marcações em seu interior a cada 10 cm de profundidade e realizado o preenchimento com o solo coletado. A cada 10 cm de profundidade o preenchido foi feito pressionando-se o solo com o uso de pesos de concreto, compactando-o até a densidade de 1,53 g cm⁻³. Esse procedimento foi repetido até o preenchimento total das mesmas, que se deu até 5 cm da borda superior.

As colunas foram montadas obedecendo à mesma sequência dos horizontes do solo conforme se encontrava no campo dentro do comprimento de 1 m. Para isso, dividiu-se a coluna em três camadas: a primeira, com 20 cm de profundidade, preenchida com o solo

coletado do horizonte A, a segunda com 25 cm de profundidade, preenchida com o solo coletado do horizonte de transição e a terceira, com 40 cm de profundidade, preenchida com o material recolhido do horizonte B.

5.2.5 Condução do experimento

A semeadura foi realizada colocando-se quatro sementes por coluna, a 2 cm de profundidade. A aplicação dos tratamentos salinos iniciou-se oito dias após a semeadura (DAS). Aos 10 DAS, fez-se o desbaste, deixando-se uma planta por coluna.

A água de menor CE ($0,5 \text{ dS m}^{-1}$) foi obtida a partir da diluição de água de poço ($\text{CE} = 1,0 \text{ dS m}^{-1}$), com água da chuva ($\text{CE} = 0,0 \text{ dS m}^{-1}$). Para obtenção das demais concentrações ($2,0$; $4,0$ e $6,0 \text{ dS m}^{-1}$) foram adicionados à água do poço, os sais cloreto de sódio (NaCl) e cloreto de cálcio ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) na proporção 7:3, obedecendo-se a relação entre a condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) e sua concentração ($\text{mmol}_c \text{ L}^{-1} = \text{CE} \times 10$), segundo Rhoades *et al.* (2000). A proporção dos sais utilizados é uma aproximação representativa da maioria das fontes de água disponível para irrigação na região Nordeste do Brasil (MEDEIROS, 1992).

Para a cultura do milho (*Zea mays* L.), utilizou-se o híbrido BRS 2020 e para o algodão, a variedade Fibermax 910 (*Gorssium hirsutum* L.). No milho, a aplicação do nitrogênio (126 ; 210 e 294 kg ha^{-1} de N equivalentes a 60, 100 e 140% da recomendação de N para a cultura) e potássio (80 kg ha^{-1} de K_2O) foi parcelada em quatro vezes: sendo 15% aplicado no desbaste, 25% aos 15 e 30 dias após o desbaste e 35% aos 45 dias após o desbaste. Na fundação, aplicou-se $6,25 \text{ g/coluna}$ de superfosfato simples e 1 g/coluna de uma mistura de micronutrientes FTE Br 12 (1,0% Zn, 2,5% Mn, 17% Fe, 0,1% B, 1,0% Cu, 0,05% Mo, 6,0% Ca, 3,0% Mg e 12% S), respectivamente.

No algodão, a adubação nitrogenada (72 , 120 e 168 kg ha^{-1} de N equivalentes a 60, 100 e 140% da recomendação de N para a cultura) e potássica (50 kg ha^{-1} de K_2O) também foram parceladas, sendo 25% aplicado no desbaste e o restante aplicado em duas parcelas iguais aos 15 e 30 dias após o desbaste. Na semeadura, aplicou-se $7,7 \text{ g/coluna}$ de superfosfato simples e, da mesma forma que para o milho, 1 g/coluna de uma mistura de micronutrientes FTE Br 12 (1,0% Zn, 2,5% Mn, 17% Fe, 0,1% B, 1,0% Cu, 0,05% Mo, 6,0% Ca, 3,0% Mg e 12% S). Em ambas as culturas, a fonte de N e K utilizada foi a ureia (45% de N) e o cloreto de potássio (60% de K e 48% de Cl), respectivamente.

A lâmina de irrigação aplicada necessária para satisfazer a necessidade hídrica das culturas foi obtida em função do balanço hídrico, pela diferença entre o volume aplicado e o

volume drenado da irrigação anterior, acrescido da fração de lixiviação de 0,15. A aplicação da água foi feita em dias alternados e de forma localizada, de modo a evitar o contato direto da mesma com as folhas.

Aos 71 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT), coletaram-se cinco folhas por planta no algodoeiro (a partir da 5ª folha da haste principal) e no milho, três folhas por planta (opostas e localizadas abaixo da primeira espiga superior). O material vegetal coletado foi envolvido em papel alumínio, devidamente identificado e imediatamente congelado em nitrogênio líquido (-196°C). Posteriormente, as folhas foram liofilizadas e em seguida trituradas em moinho do tipo Wiley.

Após isso, pesaram-se 0,5 g do material moído e repassado para tubos de ensaio, onde foram adicionados 10 mL de água deionizada. As amostras foram colocadas por 1 hora em banho maria a $45\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, sendo agitadas a cada 15 minutos. Logo depois, coletou-se o sobrenadante (extrato), filtrou-se o mesmo em papel filtro qualitativo (poros com \varnothing de 14 μm) e o filtrado foi armazenado em frascos. Este extrato foi usado para a determinação dos teores de sódio, potássio, cloreto e solutos orgânicos (prolina, N-aminossolúveis e carboidratos solúveis).

5.2.6 Nutrição mineral

5.2.6.1 Sódio e potássio

Os teores de sódio (Na) e potássio (K) no extrato foram determinados com o auxílio de um fotômetro de chama Analyser 910M.

5.2.6.2 Cloreto

A determinação dos teores de cloreto foi realizada de acordo com a metodologia proposta por Gaines *et al.* (1984). Adicionou-se em tubos de ensaios 3 mL do extrato bruto, convenientemente diluído e 0,5 mL da mistura de $\text{Hg}(\text{SCN})_2$ a 13,2 mM dissolvido em metanol absoluto e $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ 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. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro à 460 nm, tendo como “branco” um tubo de ensaio contendo 3 mL de água deionizada e 0,5 mL do reagente $\text{Hg}(\text{SCN})_2 - \text{Fe}(\text{NO}_3)_3$. A partir das leituras espectrofotométricas, procedeu-se os cálculos da concentração de cloreto, tendo como referência a equação obtida para a curva padrão.

5.2.6.3 Nitrogênio

O teor de nitrogênio foi determinado conforme metodologia descrita por Baethgen; Alley (1989). Amostras de 50 mg do tecido vegetal a ser analisado foram colocadas em tubos digestores (Kjeldahl) e 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. Após isso, 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, os tubos foram retirados do bloco digestor e deixados em repouso para que ocorresse o resfriamento. Após isso, foi adicionado água deionizada ao conteúdo do tubo digestor e seu volume aferido em balão volumétrico para 25 mL. Em sequência, foi adicionado 1 mL da amostra digerida convenientemente diluída, 5,5 mL da solução de Na_2HPO_4 a 0,1 M + $KNaC_4H_4O_6 \cdot 4H_2O + NaOH$ a 5,4 %, 4 mL da solução de $C_7H_5NaO_3$ a 15 % + $Na_2[Fe(CN)_5NO] \cdot 2H_2O$ 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.

5.2.6.4 Relação Cl/N

De posse dos teores de nitrogênio e cloreto foliares, obteve-se a relação Cl/N.

5.2.6.5 Cálcio e magnésio

O material vegetal a ser analisado foi submetido à digestão úmida com o ácido nitroperclórico, $HNO_3 + HClO_4$ na proporção de 3:1 (EMBRAPA, 2009). Foram pesados 500 mg de amostra, transferido para tubo digestor e adicionado 8 mL da mistura ácida, mantendo a frio por um período de 4 horas. Após isso, as amostras foram levadas ao bloco digestor aumentando-se a temperatura lentamente até 120°C. Após o desprendimento do vapor 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 e magnésio foi realizada por espectrofotometria de absorção atômica (AOAC, 2005).

5.2.6.6 Micronutrientes (Zinco, cobre e manganês)

No mesmo extrato utilizado para a determinação dos teores de cálcio e magnésio, obtiveram-se também os teores de zinco (Zn), cobre (Cu) e manganês (Mn) nas folhas das

culturas avaliadas. A determinação dos micronutrientes foi realizada também por espectrofotometria de absorção atômica (AOAC, 2005).

5.2.7 Solutos orgânicos

5.2.7.1 Prolina

Os teores de prolina livre foram determinados de acordo com o método descrito por Bates *et al.* (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. Os tubos foram fechados, agitados vigorosamente 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 as leituras de absorbância à 520 nm, tendo como “controle” um tubo de ensaio contendo tolueno.

5.2.7.2 N-aminossolúveis

Para a determinação das concentrações de N-aminossolúveis foi empregada a metodologia proposta por Yemm; Cocking (1955). 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 seguida, os tubos foram fechados, agitados e colocados em banho-maria por 20 min a 100°C. Após isso, 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 “controle” 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.

5.2.7.3 Carboidratos

Os carboidratos solúveis foram determinados segundo marcha analítica descrita por Dubois *et al.* (1956). Foi adicionado 500 µL do extrato diluído com 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 determinação dos carboidratos solúveis foi feita a partir da leitura em espectrofotômetro à 490 nm, utilizando como “controle” 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.

5.2.8 Análise estatística

Os resultados obtidos foram avaliados mediante análise de variância pelo teste F, e, nos casos de significância, realizou-se análise de regressão para o fator salinidade e teste de comparação de médias para os fatores cultura e doses de nitrogênio. A escolha da regressão foi feita mediante melhor ajuste em base de coeficiente de determinação (R²) e levando-se em consideração uma possível explicação biológica. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software estatístico SISVAR®, versão 5.3 (FERREIRA, 2010).

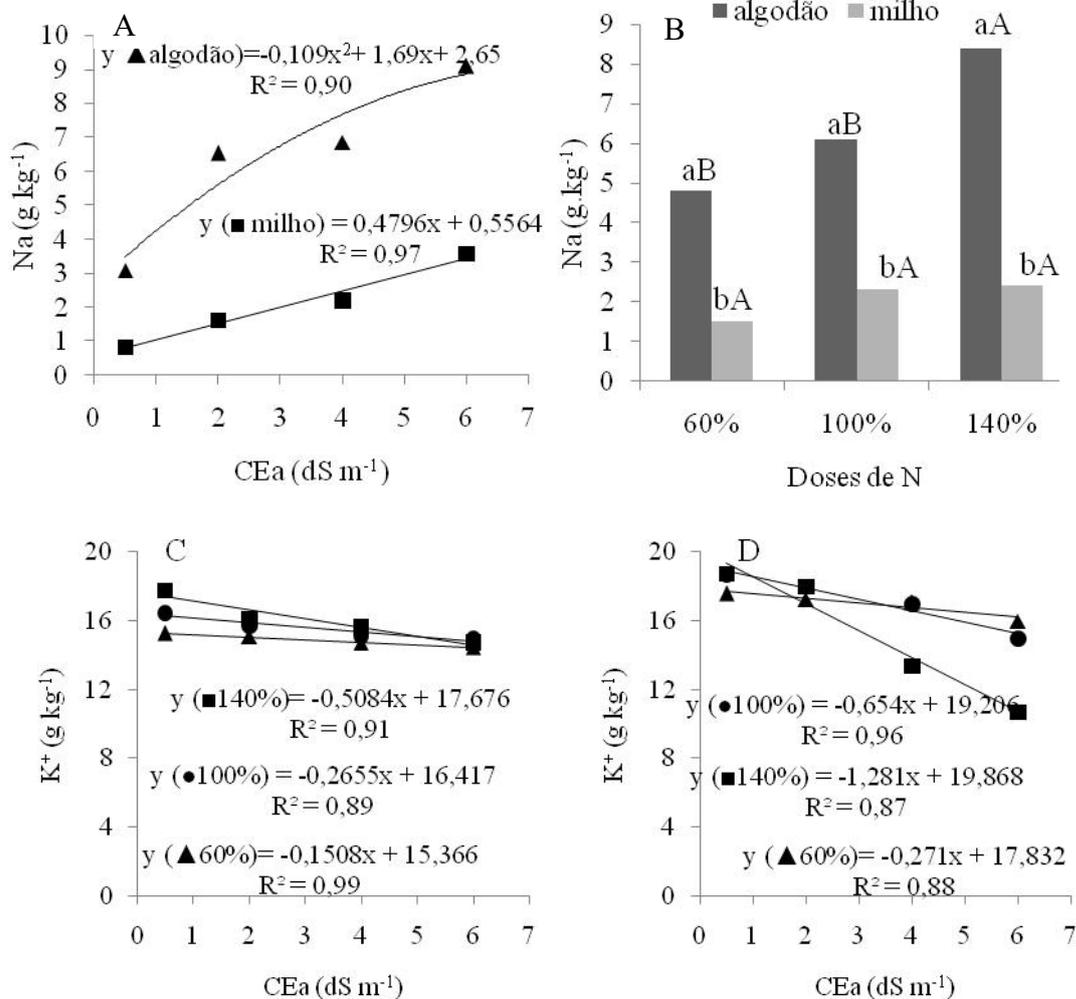
5.3 Resultados

5.3. 1 Nutrição mineral

5.3.1.1 Sódio e potássio

Os teores foliares de Na foram afetados significativamente pela interação cultura e salinidade (p <0,01) e cultura e dose (p <0,01). A interação cultura, salinidade e doses de nitrogênio foi significativa para o K foliar (p <0,05). O aumento da CEa de 0,5 para 6,0 dS m⁻¹ causou um acréscimo de 331,29% nos teores de sódio em folhas de milho (Figura 7A). Para as plantas de algodão obteve-se valor máximo estimado dos teores de Na⁺ igual a 9,15 g kg⁻¹ ao se irrigar com água de CEa de 7,69 dS m⁻¹ (Figura 7A). Além disso, a aplicação adicional de nitrogênio ocasionou aumento de 37,54% nos teores de sódio foliar no algodão em comparação com a dose recomendada para a cultura (Figura 7B).

Figura 7. Teores de sódio foliares de algodão e milho em função da salinidade (A) e das diferentes doses de nitrogênio (60, 100 e 140% da recomendação de N da cultura) (B) e potássio foliar em plantas de algodão (C) e de milho (D) em função da salinidade da água de irrigação (0,5; 2,0; 4,0 e 6,0 dS m⁻¹) e doses de nitrogênio (60, 100 e 140% da recomendação da cultura).



Fonte: Elaborado pelo autor

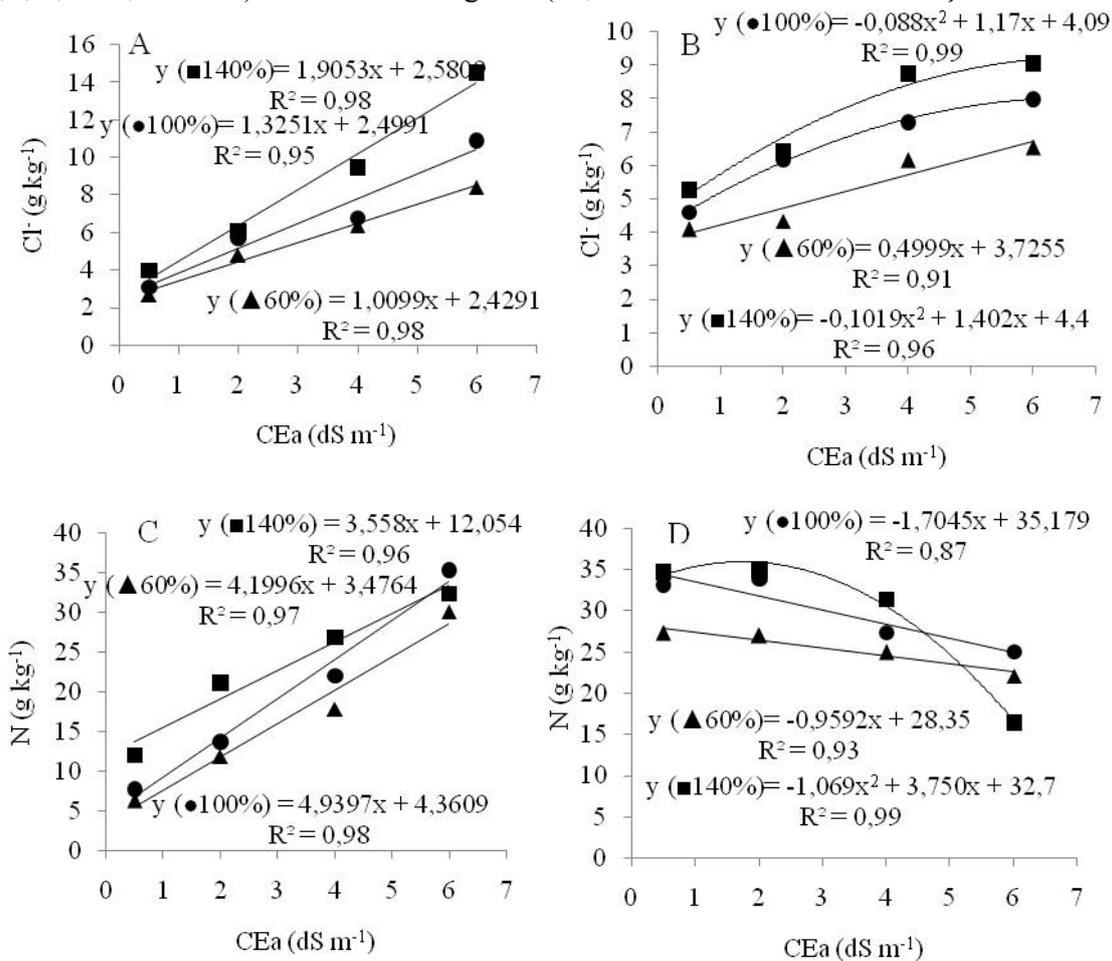
Médias seguidas da mesma letra não diferem dentre entre si a 5% de probabilidade pelo Teste Tukey. Letras minúsculas (entre as culturas) e maiúsculas (entre as doses de N).

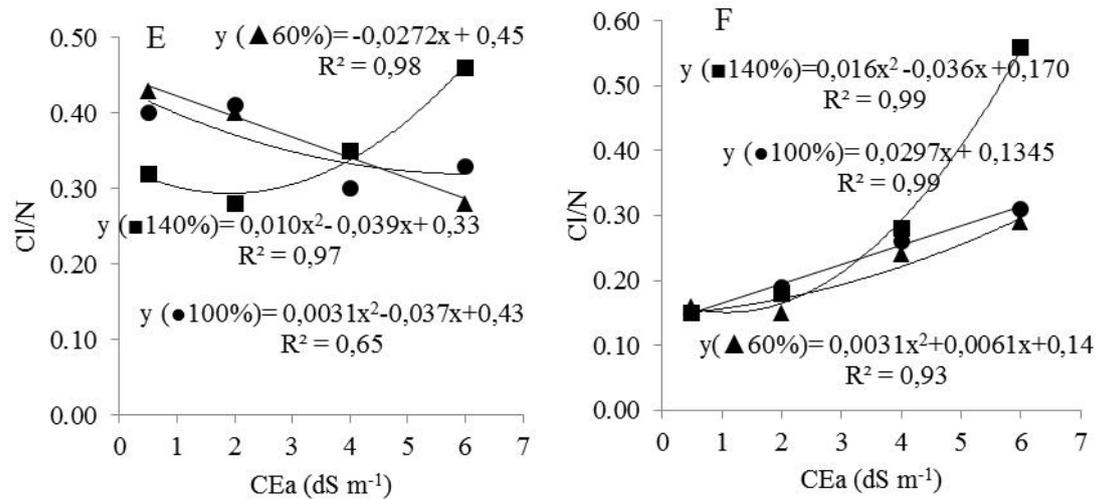
Os teores de potássio nas folhas de algodão apresentaram redução de 5,23; 8,98 e 17,03% em função da salinidade nas doses de 60, 100 e 140% de N (Figura 7C). No milho, os distintos níveis salinos da água de irrigação também diminuíram os teores foliares de potássio, que apresentaram queda de 9,03; 19,61 e 43,04% comparando as plantas irrigadas com água de CEa de 6,0 dS m⁻¹ com as irrigadas com água de CEa de 0,5 dS m⁻¹ nas doses de 60, 100 e 140% da recomendação de N, respectivamente (Figura 7D).

5.3.1.2 Cloreto, nitrogênio e relação Cl/N

Os teores foliares de cloreto foram afetados pela interação cultura, salinidade e doses de nitrogênio ($p < 0,05$). A interação salinidade e doses de nitrogênio foi significativa para o N foliar ($p < 0,01$) e para a relação Cl/N ($p < 0,01$).

Figura 8. Teores foliares de cloreto (Cl⁻), nitrogênio (N) e relação Cl/N em plantas de algodão (A, C e E) e de milho (B, D e F) em função da salinidade da água de irrigação (0,5; 2,0; 4,0 e 6,0 dS m⁻¹) e doses de nitrogênio (60, 100 e 140% da recomendação da cultura).





Fonte: Elaborado pelo autor

Nas plantas de algodão, o aumento da CEa proporcionou acréscimos de 1,00; 1,32 e 1,90 g kg⁻¹ nos teores foliares de cloreto para cada incremento unitário da salinidade de irrigação, ou seja, as plantas submetidas à CEa de 6,0 dS m⁻¹, apresentaram aumento no teor de Cl⁻ de 212,6; 251,4% e 264,4% em comparação com as irrigadas com 0,5 dS m⁻¹, nos tecidos das folhas nas doses de 60, 100 e 140% da recomendação de N, respectivamente (Figura 8A). No milho, este acréscimo com a salinidade foi de 60,14% na dose de 60% de N. Nas plantas cultivadas nas doses de 100 e 140% de N, encontrou-se valor máximo estimado para o teor foliar de cloreto igual a 8,01 e 9,25 g kg⁻¹ nas salinidades de 6,67 e 6,87 dS m⁻¹, respectivamente (Figura 8B).

Para o nitrogênio (N) nas folhas de algodão, houve acréscimos no algodão de 4,19; 4,93 e 3,55 g. kg⁻¹ por incremento unitário da CEa nas doses de 60, 100 e 140% da recomendação de N. Ao comparar os dados obtidos nas plantas submetidas à irrigação com água de maior nível salino (6,0 dS m⁻¹) com aquelas cultivadas sob a menor salinidade da água (0,5 dS m⁻¹), verificaram-se aumento de 23,78, 27,54 e 20,32 g kg⁻¹ no N foliar nas doses de 60, 100 e 140% da recomendação de N, respectivamente (Figura 8C). Por outro lado, no milho constataram-se reduções de 5,15 e 8,14 g. kg⁻¹ nas doses de 60% e 100% da recomendação de N ao se comparar o maior (6,0 dS m⁻¹) e o menor nível de salinidade (0,5 dS m⁻¹). Nas plantas cultivadas na maior dose de nitrogênio, encontrou-se valor máximo estimado para o teor de N igual a 36 g. kg⁻¹ na salinidade de 1,75 dS m⁻¹, decrescendo a partir deste nível de CEa (Figura 8D).

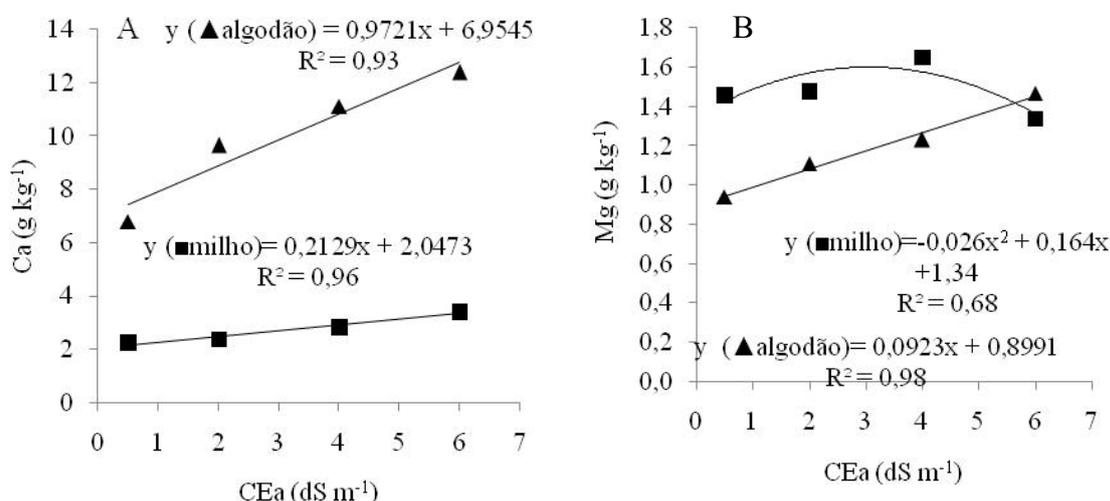
Para a relação Cl/N, verificou-se que sempre que os níveis salinos da água se elevaram de 0,5 para 6,0 dS m⁻¹, houve tendência para esta variável aumentar nas plantas de

algodão cultivadas nas doses de 140% da recomendação de N, sendo encontrado valor mínimo estimado de 0,30 na salinidade de 1,91 dS m⁻¹. Por outro lado, na dose de 60% da recomendação de N, verificou-se decréscimo de 34,9% comparando o maior (6,0 dS m⁻¹) e o menor nível de salinidade (0,5 dS m⁻¹). Nas plantas cultivadas na dose recomendada para a cultura, encontrou-se valor mínimo estimado de 0,32 na salinidade de 5,96 dS m⁻¹ (Figura 8E). No milho, houve tendência para a relação Cl/N aumentar, sendo encontrados valores mínimos estimados de 0,150 e 0,156 na salinidade de 1,08 e 0,98 dS m⁻¹, respectivamente, na dose supraótima e subótima de N. Nas plantas cultivadas na dose de 100% da recomendação de N e maior nível salino (6,0 dS m⁻¹) esta variável foi 81,25% maior em comparação ao menor nível salino (0,5 dS m⁻¹) (Figura 8F).

5.3.1.3 Cálcio e magnésio

A interação salinidade e cultura afetou significativamente os teores foliares de cálcio ($p < 0,01$) e magnésio ($p < 0,01$). Para os teores de cálcio acumulado nos tecidos das folhas, constatou-se teor máximo de 12,4 g.kg⁻¹ nas plantas de algodão que receberam irrigação com água de CEa de 6,0 dS m⁻¹, um acréscimo de 71,9% em comparação aos teores encontrados nas folhas das plantas cultivadas na menor salinidade (0,5 dS m⁻¹), que foi de 6,79 g.kg⁻¹ (Figura 9A). Nas folhas de milho, o aumento da CEa proporcionou acréscimo na ordem de 0,212 g.kg⁻¹ para cada incremento unitário da salinidade de irrigação, ou seja, as plantas submetidas à CEa de 6,0 dS m⁻¹, apresentaram aumento no teor de Ca²⁺ de 54,4% (1,15 g kg⁻¹) nos tecidos das folhas em comparação com as irrigadas com 0,5 dS m⁻¹ (Figura 9A).

Figura 9. Teores de cálcio (A) e magnésio (B) em plantas de algodão e milho em função da salinidade da água de irrigação (0,5; 2,0; 4,0 e 6,0 dS m⁻¹).



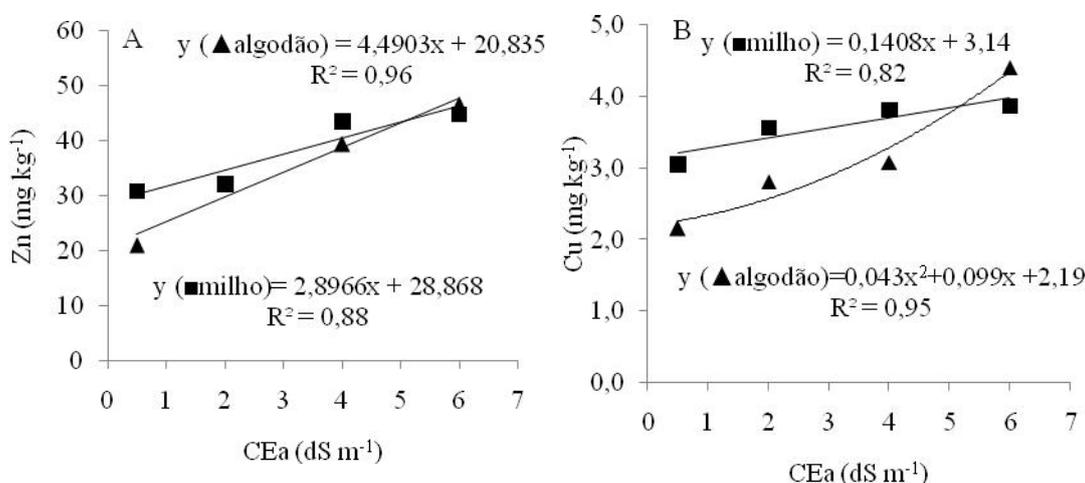
Fonte: Elaborado pelo autor

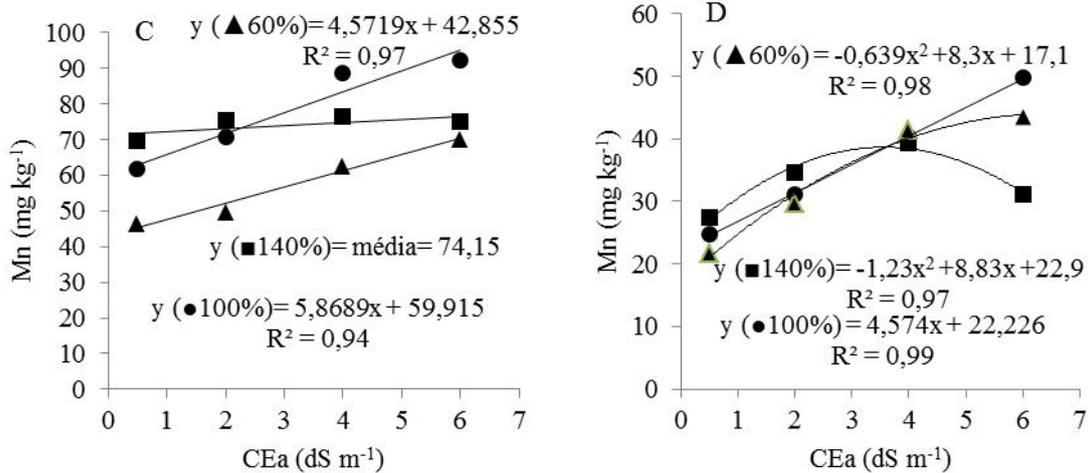
Em relação à concentração de magnésio nos tecidos foliares do algodão, observa-se que o aumento da CEa proporcionou efeito linear cujo acréscimo foi de 0,0923 g kg⁻¹ para cada incremento unitário da salinidade de irrigação, ou seja, as plantas submetidas à CEa de 6,0 dS m⁻¹ apresentaram aumento no teor de Mg²⁺ de 53,69% (0,53 g. kg⁻¹) nos tecidos das folhas em comparação com as irrigadas com 0,5 dS m⁻¹ (Figura 9B). Para as plantas de milho obteve-se valor máximo estimado do teor de Mg²⁺ igual a 1,59 g. kg⁻¹ ao se irrigar com água de CEa de 3,15 dS m⁻¹, decrescendo a partir deste nível de CEa (Figura 9B).

5.3.1.4 Micronutrientes

A interação salinidade e cultura afetou significativamente os teores foliares de zinco (p <0,01) e cobre (p <0,01). Os teores de manganês foram afetados pela interação salinidade e doses de nitrogênio (p <0,01). Em relação aos teores de zinco nas folhas de algodão, observou-se que o aumento da CEa proporcionou acréscimo na ordem de 4,5 mg. kg⁻¹ para cada incremento unitário da salinidade de irrigação, ou seja, as plantas submetidas à CEa de 6,0 dS m⁻¹, apresentaram aumento no teor de zinco de 107,02% (25,65 mg kg⁻¹ em detrimento às plantas cultivadas no tratamento controle (0,5 dS m⁻¹) (Figura 10A). Nas folhas de milho, obteve-se teor máximo igual a 44,89 mg kg⁻¹ nas plantas irrigadas com água de CEa de 6,0 dS m⁻¹ (Figura 10A).

Figura 10. Teores de zinco (A), cobre (B) em folhas de algodão e milho em função da salinidade, manganês foliar em plantas de algodão (C) e de milho (D) em função da salinidade da água de irrigação (0,5; 2,0; 4,0 e 6,0 dS m⁻¹) e doses de nitrogênio (60, 100 e 140% da recomendação da cultura).





Fonte: Elaborado pelo autor

Os teores de cobre apresentaram acréscimos de 24,12% (0,81 mg kg⁻¹) nas folhas de milho, respectivamente, ao se comparar as plantas irrigadas com CEa de 6,0 dS m⁻¹ em relação às com 0,5 dS m⁻¹. Nas plantas de algodão também houve tendência para os teores deste micronutriente aumentar com a salinidade, sendo encontrado valor mínimo estimado de 2,37 mg kg⁻¹ na salinidade de 1,15 dS m⁻¹ (Figura 10B).

O incremento da salinidade da água de irrigação propiciou acréscimo linear de 23,63 e 30,47 mg kg⁻¹ nos teores de manganês nas folhas das plantas de algodão nas doses de 60 e 100% de N, respectivamente. Nas folhas das plantas cultivadas na dose de 140% de N, o teor deste micronutriente apresentou valor médio de 74,15 mg kg⁻¹ (Figura 10C). Nas plantas de milho, verificou-se que à medida que a salinidade se elevou de 0,5 para 6,0 dS m⁻¹, o teor de manganês foliar apresentou acréscimo de 21,82 mg kg⁻¹ na dose de N recomendada para a cultura. Nas plantas cultivadas na dose subótima de N, o teor deste micronutriente apresentou valor máximo de 44,04 mg kg⁻¹ na salinidade de 6,48 dS m⁻¹. Na maior dose de nitrogênio, as plantas de milho irrigadas com água de CE estimada igual a 3,56 dS m⁻¹ acumularam o maior teor foliar deste micronutriente (38,67 mg kg⁻¹) e a partir deste nível de CEa ocorreu uma redução na concentração deste nutriente (Figura 10D).

5.3.2 Solutos orgânicos

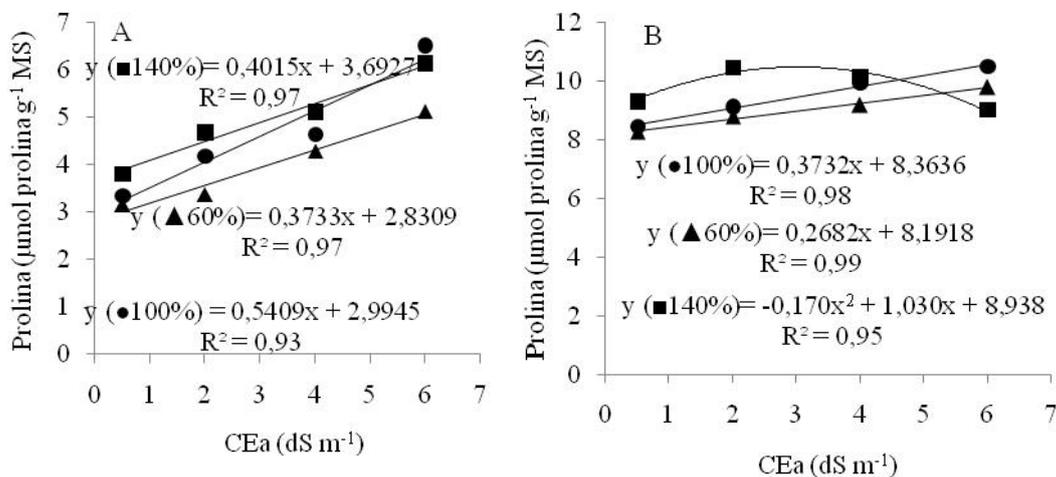
Os teores de prolina foram afetados significativamente pela interação salinidade e doses de nitrogênio ($p < 0,05$). A interação salinidade e cultura afetou os teores foliares de carboidratos ($p < 0,05$). Para o teor de prolina nas folhas, houve acréscimos no algodão de 0,37; 0,54 e 0,40 $\mu\text{mol g}$ de MS por incremento unitário da CEa nas doses de 60, 100 e 140%

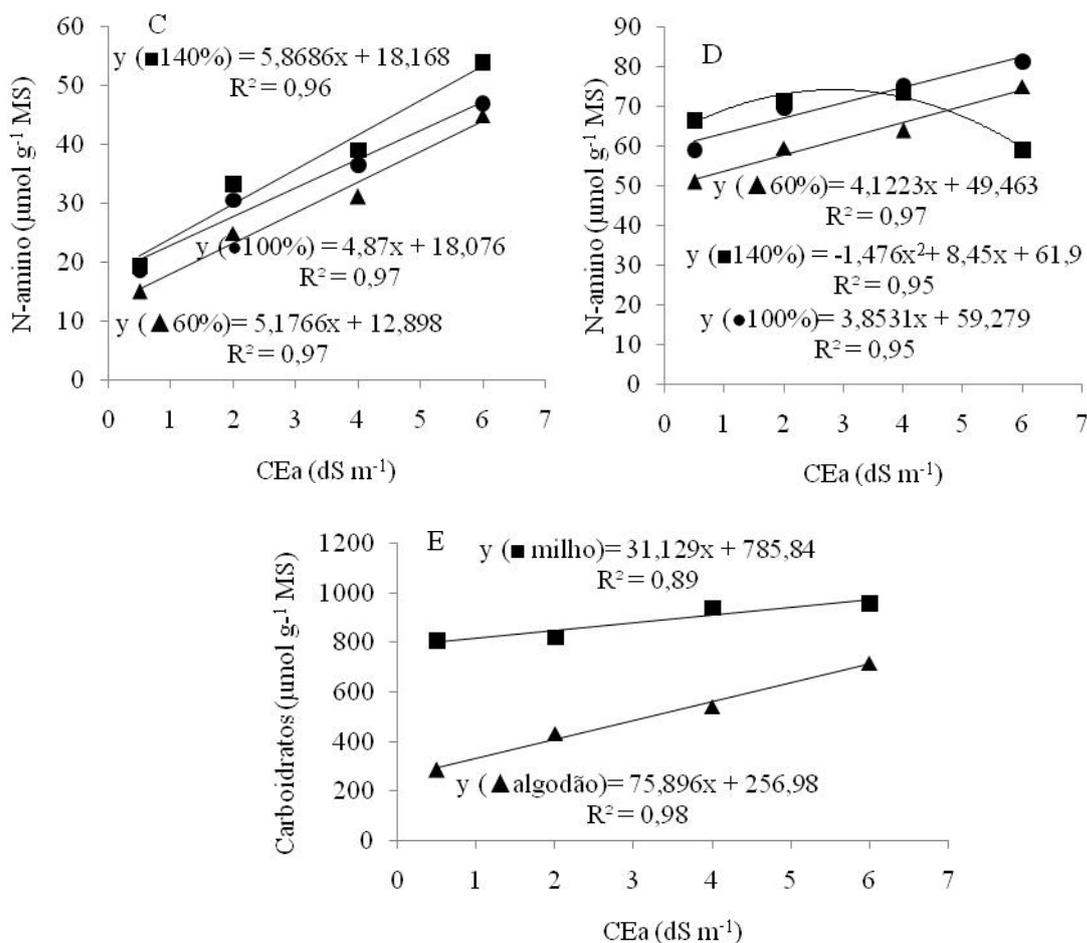
da recomendação de N. Ao comparar os dados obtidos entre plantas submetidas a irrigação com água de maior nível salino ($6,0 \text{ dS m}^{-1}$) com aquelas cultivadas sob a menor salinidade da água ($0,5 \text{ dS m}^{-1}$), verificaram-se aumentos de 62,14; 94,34 e 61,67% nos teores de prolina foliar nas doses de 60, 100 e 140% da recomendação de N, respectivamente (Figura 11A). No milho, estes acréscimos com a salinidade foram de 18,45 e 28,77% nas doses de 60 e 100% de N. Nas plantas cultivadas na maior dose de nitrogênio, encontrou-se valor máximo estimado para o conteúdo de prolina igual a $10,49 \mu\text{mol g}$ de MS na salinidade de $3,02 \text{ dS m}^{-1}$, decrescendo a partir deste nível de CEa (Figura 11B).

Nas plantas de algodão, o aumento da CEa proporcionou acréscimos de 5,17; 4,87 e $5,86 \mu\text{mol g}$ de MS nos teores foliares de N-amissolúveis para cada incremento unitário da salinidade de irrigação, ou seja, as plantas submetidas à CEa de $6,0 \text{ dS m}^{-1}$, apresentaram aumento de 198,8; 150,9 e 177,54% neste composto nitrogenado, em comparação com as irrigadas com $0,5 \text{ dS m}^{-1}$, nos tecidos das folhas nas doses de 60, 100 e 140% da recomendação de N, respectivamente (Figura 11C). No milho, os incrementos foram de 47,16 e 37,3% nas doses de 60 e 100% de N. Na maior dose de N, o valor máximo de N-amissolúveis foi de $74,05 \mu\text{mol g}$ de MS encontrado na salinidade de $2,86 \text{ dS m}^{-1}$ (Figura 11D).

Os sais presentes na água de irrigação propiciaram acréscimos de 152,62% ($433,64 \mu\text{mol g}$ de MS) e 18,56% ($150,34 \mu\text{mol g}$ de MS) nos teores foliares de carboidratos no algodão e milho, respectivamente, ao se comparar plantas submetidas a CEa de $6,0 \text{ dS m}^{-1}$ em relação às sob CEa de $0,5 \text{ dS m}^{-1}$ (Figura 11E).

Figura 11. Teores de prolina e N-aminossolúveis em folhas de algodão (A e C) e milho (B e D) em função da salinidade e doses de nitrogênio (60, 100 e 140% da recomendação da cultura) e carboidratos em função da salinidade (E).





Fonte: Elaborado pelo autor

5.4 Discussão

Os íons Na e Cl, considerados os principais encontrados em solos salinos, são tóxicos para a maioria das glicófitas, uma vez que causam distúrbios nutricionais que afetam os processos metabólicos das plantas (MARSCHNER, 2012). Nossos resultados mostraram que no maior nível de salinidade ($6,0 \text{ dS m}^{-1}$), os teores de sódio nas folhas de algodão e milho foram, aproximadamente, 3 e 4,5 vezes superiores aos observados no controle ($0,5 \text{ dS m}^{-1}$) (Figura 7A). Este mesmo comportamento foi observado por outros autores em algodão (Chen *et al.* 2010; Zhang *et al.*, 2012) e milho (Azevedo Neto e Tabosa, 2000; Kaya *et al.* 2010). Houve uma tendência para a adubação nitrogenada aumentar os teores de Na nas folhas (Figura 7B), principalmente no algodoeiro, semelhantemente ao constatado por Tabatabaei (2006) em oliva.

Ainda conforme a Figura 7A, verifica-se que os teores de sódio nas folhas do algodão foram superiores aos obtidos nas do milho, este bem mais sensível à salinidade. Este

comportamento mostra que a tolerância do algodoeiro ao estresse salino não está associada necessariamente, à exclusão de sódio, como ocorre em outras espécies glicófitas (LACERDA *et al.*, 2003). Mühling; Läuchli (2002) também encontraram maiores teores de Na em folhas de algodoeiro em comparação com folhas de milho. Em estudo realizado por Sousa *et al.* (2010) analisando a tolerância à salinidade em plantas de sorgo, algodão e feijão de corda, verificaram que o algodão apresentou maiores teores de Na, em comparação às demais espécies, especialmente nas raízes e folhas. Além disso, os maiores teores de Na nas folhas de algodão pode ser uma forma de garantir um ajuste da pressão osmótica para suportar a captação de água do solo e prevenir as plantas dos efeitos drásticos do déficit hídrico em condições de estresse salino (MUNNS; TESTER, 2008), como descrito para halófitas (FLOWERS *et al.*, 2015) e algumas glicófitas (GENC *et al.*, 2016).

O acúmulo de Na pode resultar na diminuição da captação de K nas folhas (SAQIB *et al.* 2000; LEE *et al.* 2007; SHAHZAD *et al.* 2012), conforme observado no presente estudo. Contudo, em ambas as culturas, o efeito dos sais sobre os teores de K foi dependente das doses de nitrogênio. A maior redução dos teores de K nas folhas de ambas as culturas foi constatado na maior dose de N, provavelmente em virtude do maior acúmulo de sódio (Figura 7B) nas plantas cultivadas nesta dose de N. Apesar disso, houve um efeito positivo da adubação nitrogenada adicional sobre os teores de K foliar até a salinidade de 4,0 dS m⁻¹ no algodão (Figura 7C), enquanto no milho, este efeito foi mais evidente até 2,0 dS m⁻¹ (Figura 7D). É importante ainda salientar que, na salinidade de 4,0 e 6,0 dS m⁻¹, os maiores teores de K no milho foram observados na menor dose de N (Figura 7D). Esta tendência, contudo, não foi evidente para o algodão.

De modo similar, Zhang *et al.* (2012) observaram que em condições de baixa salinidade do solo, o aumento da taxa de aplicação de N aumentou significativamente a captação de K no algodoeiro. O mesmo, contudo, não foi observado em condições de elevada salinidade. Diferentemente, Semiz *et al.* (2014) verificaram que as concentrações de K nas folhas de pimentão não foram significativamente afetadas pela salinidade nem pelo nível de fertilizante nitrogenado. Em folhas de mamoneira, Nobre *et al.* (2013) constataram apenas efeito isolado da salinidade e adubação nitrogenada sobre a concentração de K nas folhas.

Sob estresse salino, a toxicidade para as plantas é principalmente causada pelo acúmulo de íons cloreto em concentrações tóxicas nos tecidos celulares (NGUYEN *et al.*, 2015, QIU *et al.*, 2016; WEI *et al.*, 2015). Nossos resultados experimentais mostraram que o aumento da salinidade causou um acréscimo no conteúdo de Cl nas folhas das culturas avaliadas e que em todos os níveis de salinidade, a aplicação adicional de nitrogênio propiciou

maior acúmulo deste mineral nas folhas do milho e algodão em detrimento às demais doses (Figura 8A e 8B). Na literatura, muitos estudos indicam que um aumento na aplicação de nitrato pode diminuir a captação e o acúmulo de Cl, o que pode aliviar o efeito deletério da salinidade sobre as plantas (KAFKATI *et al.*, 1982; DING *et al.*, 2010; FEIJÃO *et al.*, 2013; QIU *et al.*, 2016; YASUOR *et al.*, 2017). Porém, é importante salientar que a maioria destas pesquisas foram realizadas em soluções hidropônicas e utilizando-se uma fonte direta de nitrato. Em ensaios realizados em vasos realizado por Lima *et al.* (2015) e condições de campo por Semiz *et al.* (2014) nas culturas da mamona e pimentão, respectivamente, ambos também utilizando a ureia como fonte de N, foi verificado aumento dos teores de cloro foliar com o aumento da adubação nitrogenada, semelhante aos nossos resultados.

Ainda conforme a Figura 8A e 8B, observa-se que os maiores incrementos de Cl com a salinidade foi verificado nas folhas de algodão. Conforme Lacerda *et al.* (2006), o acúmulo de cloro está diretamente associado ao aumento da suculência foliar. Com isso, o maior incremento de cloro nesta espécie pode favorecer a manutenção da absorção de água pela planta, devendo está, provavelmente associado a um mecanismo de compartimentalização vacuolar que previne ou reduz a toxidez deste íon no citoplasma das células.

A captação de nitrato é conhecida por competir com a de Cl, um íon importante em solo salino (XU *et al.*, 2000; MENGEL; KIRKBY, 2001; ABDELGADIR *et al.*, 2005). Tal interação resulta na absorção diminuída de NO_3^- e diminuição do crescimento das plantas com concentrações aumentadas de Cl (CHEN *et al.*, 2010). No presente estudo, este comportamento fica bem evidente para a cultura do milho. Nesta espécie, o efeito dos sais sobre o N foliar foi maior nas plantas cultivadas na dose de 140% de N, onde foram encontrados os maiores teores de cloreto. Apesar disso, é importante ressaltar que até a salinidade de 4 dS m^{-1} , os teores deste macronutriente foram superiores na dose de 140% da recomendação de N (Figura 8C). Este comportamento foi reportado por outros autores. Shenker *et al.* (2003) relataram que em plantas de milho cultivadas em lisímetros sob baixa salinidade ($\text{CE} = 0,5 \text{ dS m}^{-1}$), a concentração de N na folha aumentou com o acréscimo da fertilização nitrogenada. No entanto, quando a salinidade aumentou de $2,5$ a $7,5 \text{ dS m}^{-1}$, o acúmulo de N e seu efeito nas plantas diminuiu. Também no milho, Lacerda *et al.* (2016) observaram que o efeito de diferentes taxas de nitrogênio sobre o conteúdo de N foliar foi significativo e consistente apenas para plantas irrigadas com CEa de até $2,5 \text{ dS m}^{-1}$.

A inibição da absorção de NO_3^- pelo Cl^- depende da espécie de planta e das concentrações de ambos no meio de absorção (CEREZO *et al.*, 1997). Nas folhas do

algodoeiro, apesar dos maiores acréscimos de cloreto em função da salinidade, os teores de N foliar aumentaram com o incremento da salinidade. Nas folhas desta espécie, o conteúdo de N também foi superior na maior dose de N até a salinidade de 4,0 dS m⁻¹ (Figura 8C). Leidi *et al.* (1992) verificaram que a concorrência entre NO₃⁻ pelo Cl⁻ foi maior em espécies sensíveis ao sal, como o amendoim, do que nas plantas tolerantes aos sais, como o algodão. É importante salientar ainda que conforme outros autores, reduções na captação de NO₃⁻ parecem estar melhores relacionadas à redução do uso de água do que ao antagonismo por cloreto durante o estresse salino (LEA-COX; SYVERTSEN, 1993, SHENKER *et al.* 2003, ABDELGADIR *et al.*, 2005).

O aumento dos teores de cloreto nas folhas de milho acompanhado de uma redução no conteúdo de nitrogênio provocou um acréscimo na relação Cl/N nesta cultura em todas as doses de nitrogênio, principalmente na maior dose de N, neutralizando a possibilidade de qualquer efeito benéfico da aplicação adicional deste nutriente nesta espécie em condições de estresse salino (Figura 8F). Este mesmo comportamento foi observado para as plantas de algodão cultivadas na maior dose de N. Nas demais doses, a absorção de nitrogênio foi dominante em comparação ao cloreto nesta espécie, o que ocasionou um decréscimo na relação Cl/N (Figura 8E). Em cultivares de soja com diferentes tolerâncias à salinidade, Guo *et al.* (2017) verificaram que a aplicação suplementar de NO₃⁻ reduziu significativamente o conteúdo de Na e Cl nas folhas e raízes, além de aumentar o conteúdo de NO₃⁻ e manter dos teores de K. Os autores verificaram que os efeitos dos sais foram aliviados pela redução da relação Cl/NO₃⁻ e Na⁺/K⁺, especialmente nas cultivares mais sensíveis aos sais, o que não foi constatado no presente estudo.

No nosso estudo, os teores de cálcio nas folhas de algodão e milho no maior nível de salinidade (6,0 dS m⁻¹) foram, aproximadamente, 2 e 1,5 vezes superiores aos observados no controle (0,5 dS m⁻¹) (Figura 9A). O acúmulo de sais perturba o acúmulo de cálcio (HU *et al.* 2007; KAYA *et al.* 2010; SHAHZAD *et al.* 2012). Porém, conforme Sousa *et al.* (2010b) o efeito do Na sobre o Ca em condições de salinidade é verificado, principalmente quando se utiliza apenas o NaCl como agente estressante. No presente estudo foi utilizada uma mistura de sais de sódio e cálcio, o que justifica, pelo menos em parte, os aumentos nos teores de cálcio, podendo está associado ainda, no caso do algodoeiro, a sua tolerância aos sais. Barbosa *et al.* (2012) testando os efeitos do uso de água de alta salinidade na irrigação, de forma contínua ou cíclica, sobre o acúmulo de íons em plantas de milho, verificaram que o maior teor de Ca foi observado no tratamento sob água salgada, especialmente onde a água com alta salinidade foi aplicada continuamente. Os autores atribuíram este resultado ao fato

de que um dos constituintes dos sais usados na preparação de água salina era o cloreto de cálcio, que deve ter fornecido cálcio à cultura. No algodoeiro, Sousa *et al.* (2010a) observaram que o aumento da salinidade da água não afetou negativamente no suprimento de cálcio às plantas, diferentemente do observado por Hussein *et al.* (2018) nesta mesma cultura.

Seguindo a mesma tendência observada para os teores de cálcio nas folhas de algodão, verificou-se que o conteúdo de magnésio nas folhas desta espécie no maior nível de salinidade ($6,0 \text{ dS m}^{-1}$) foi, aproximadamente, 1,6 vezes superiores ao observado no controle ($0,5 \text{ dS m}^{-1}$) (Figura 9B), mesmo comportamento observado por Dai *et al.* (2014) na mesma cultura. Nas folhas de milho, verificou-se um decréscimo no teor deste macronutriente a partir da salinidade de $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ (Figura 9B). Por outro lado, Qu *et al.* (2012) verificaram que o conteúdo de magnésio em folhas e raízes de plantas de milho diminuiu em condições salinas. Enquanto isso, Sousa *et al.* (2010b) constataram que o aumento da salinidade da água de irrigação não influenciou os teores de Mg nas folhas desta mesma cultura.

Os teores de cobre (Figura 10A) e zinco (10B) aumentaram com a salinidade, sendo que os maiores acréscimos foram observados no algodoeiro. Além disso, o maior conteúdo destes micronutrientes foram obtidos no maior nível de salinidade ($6,0 \text{ dS m}^{-1}$) em ambas as culturas. O aumento na concentração de sais diminuiu os teores de manganês (Mn) nas folhas de milho quando altos níveis de nitrogênio foram aplicados (Figura 10D), enquanto no algodoeiro não houve alteração nos teores deste micronutriente na maior dose de N (Figura 10C). Nas demais doses de N, os teores de Mn aumentaram com a salinidade, sendo os maiores acréscimos observados no algodoeiro. Em tomate, Zahedifar *et al.* (2012) verificaram que a aplicação de níveis de 1,5 e 3% de N diminuiu significativamente a concentração de Zn, Mn e Cu na parte aérea. As concentrações de Cu, Zn e Mn diminuiram com a aplicação de salinidade. Em baixos níveis de salinidade, a concentração e a absorção de Cu na parte aérea diminuiram significativamente em comparação com o controle, mas a concentração e a absorção de Cu no fruto aumentaram significativamente.

O aumento da fertilização nitrogenada em plantas sob estresse salino pode promover maior acúmulo de compostos orgânicos nitrogenados (por exemplo, prolina e N-aminossilúveis) (MUNNS ;TESTER, 2008), podendo aliviar os efeitos adversos da salinidade em plantas. No presente estudo, esta tendência foi observada para o algodoeiro. Em contrapartida, no milho, o aumento na concentração de sais diminuiu prolina (Figura 11B) e N-aminossilúveis (Figura 11D) nas folhas quando altos níveis de nitrogênio foram aplicados. De modo similar, Lacerda *et al.* (2016) observaram que para os teores de N e aminoácidos em folhas de milho, o efeito das diferentes doses de nitrogênio foi significativo e consistente

apenas para plantas sob concentração de sal de até $2,5 \text{ dS m}^{-1}$. O aumento na concentração de sais também diminuiu estes compostos nas folhas quando altos níveis de nitrogênio foram aplicados. Ainda corroborando com nossos resultados, Guo *et al.* (2015) e Gao *et al.* (2016), verificaram que a salinidade aumentou o conteúdo de carboidratos solúveis no algodão e milho.

5.5 CONCLUSÕES

Independentemente da tolerância da cultura à salinidade, a aplicação de nitrogênio adicional nas plantas cultivadas sob estresse salino não reduziu o conteúdo de Cl nas folhas. A fertilização nitrogenada suplementar favoreceu o acúmulo de compostos nitrogenados no algodão. Enquanto isso, no milho, os efeitos positivos da fertilização nitrogenada sobre estes compostos é observado apenas em condições de baixa salinidade.

6 CAPÍTULO III - PERDAS DE NUTRIENTES EM UM ARGISSOLO CULTIVADO COM ALGODÃO E MILHO SOB ESTRESSE SALINO E DOSES SUB E SUPRA ÓTIMAS DE NITROGÊNIO

RESUMO: Objetivou-se com este estudo avaliar as perdas de nutrientes em um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com algodão e milho sob estresse salino e doses sub e supra ótimas de nitrogênio. O experimento foi realizado em casa de vegetação na Estação Agrometeorológica da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE. Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados, em parcelas sub-subdivididas, tendo nas parcelas, os níveis de salinidade da água de irrigação (0,5; 2,0; 4,0 e 6,0 dS m⁻¹), nas subparcelas, três doses de nitrogênio (60, 100 e 140% do valor recomendado de N) e nas subsubparcelas, quatro profundidades do solo, tendo quatro repetições. Ao final do experimento (80 dias após a semeadura), foram coletadas quatro amostras de solo por coluna, em diferentes profundidades: 0-20 (horizonte A) 20-45 (horizonte E), 45-65 e 65-85 cm (Horizonte B). Foram analisados a condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes), pH, teores de potássio e nitrato. A partir dos dados de CEes, estimou-se o potencial osmótico do solo (Ψ_{os}). Além disso, a biomassa seca radicular em cada profundidade da coluna do solo também foi quantificada no final do experimento. A condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) aumentou com a salinidade e profundidade do solo. Nos maiores níveis de salinidade, os valores de CEes foram superiores na dose supra ótima de N, tendo como consequência a redução do potencial osmótico na solução do solo e a inibição do crescimento radicular. O pH do solo decresceu com o aumento da profundidade do solo e da salinidade da água de irrigação. O aumento da salinidade da água de irrigação provocou acúmulo de potássio no solo principalmente nas maiores profundidades e elevada dose de N. Além disso, a aplicação adicional de nitrogênio em condições de elevada salinidade propiciou acúmulo de NO₃⁻ nas camadas mais profundas do solo, especialmente no solo cultivado com milho.

Palavras-chave: Estresse salino. Fertilização nitrogenada. Perdas de N por lixiviação.

6 CAPÍTULO III - NUTRIENT LOSSES IN A COTTON AND CULTIVATED SUGAR WITH SALT STRESS AND NITROGEN SUB AND SUPRA DOSES

ABSTRACT: The objective of this study was to evaluate the nutrient losses in Ultisol cultivated with cotton and maize under saline stress and sub and supra optimal doses of nitrogen. The experiment was carried out in a greenhouse at the Agrometeorological Station of the Federal University of Ceará, Fortaleza, CE. A randomized complete block design was used in sub-subdivided plots, with irrigation water salinity levels (0.5, 2.0, 4.0 and 6.0 dS m⁻¹) in the plots, subplots, three nitrogen rates (60, 100 and 140% of the recommended N value) and in the subplots four soil depths, with four repetitions. At the end of the experiment (80 days after sowing), four soil samples were collected per column at different depths: 0-20 (horizon A) 20-45 (horizon E), 45-65 and 65-85 cm (Horizon B). The electrical conductivity of the saturation extract (CEes), pH, potassium and nitrate contents were analyzed. From the CEes data, the soil osmotic potential (Ψ_{os}) was estimated. In addition, root dry biomass at each soil column depth was also quantified at the end of the experiment. The electrical conductivity of saturation extract (CEes) increased with salinity and soil depth. At higher salinity levels, the CEes values were higher at the supra-optimal N dose, resulting in reduced osmotic potential in soil solution and inhibition of root growth. Soil pH decreased with increasing soil depth and irrigation water salinity. The increase of salinity of irrigation water caused potassium accumulation in the soil mainly at the highest depths and high dose of N. In addition, the additional application of nitrogen under high salinity conditions led to NO₃⁻ accumulation in the deeper soil layers, especially in maize soil.

Keywords: Saline stress. Nitrogen fertilization. N losses by leaching.

6.1 Introdução

Os recursos hídricos estão cada vez mais limitados e sofrem degradação gradual (SINGH, 2018a, 2016). Além disso, a produção agrícola precisa ser aumentada para atender às crescentes necessidades alimentares da população global (XIE *et al.*, 2018; LOMBA *et al.*, 2017; SINGH, 2018b). Para superar essa problemática, o uso de águas de qualidade inferior na agricultura, que normalmente possuem uma concentração de sais relativamente alta, é cada vez mais usada para irrigação (FEIKEMA *et al.* 2010; VERMA *et al.* 2012), podendo causar a acumulação de sais no sistema solo-planta (WEI *et al.*, 2016). Estima-se que em todo o mundo 20% do total cultivado (sequeiro e irrigado) e 33% das terras agrícolas irrigadas são afetadas pela salinidade (SCHIATTONE *et al.*, 2017).

A salinidade é um dos estresses abióticos que mais causa diminuição na produção das culturas (PATADE *et al.*, 2011; SHOMEILI *et al.*, 2011; JAMES *et al.*, 2012; PLAZEK *et al.*, 2013), constituindo sério agravante em áreas irrigadas (HASANUZZAMAN *et al.*, 2014). Altas concentrações de sais perturbam o equilíbrio osmótico, resultando em seca fisiológica, que restringe a absorção de água pelas plantas (FAROOQ *et al.*, 2015). A redução na absorção de água e o crescimento da planta causado pela salinidade culmina com a capacidade reduzida da planta de extrair nutrientes do solo, especialmente aqueles requeridos em maior quantidade pelas plantas (SHENKER *et al.*, 2003; RAMOS *et al.*, 2012; LACERDA *et al.*, 2016b). Este problema é agravado no caso de nutrientes com alta mobilidade do solo, como nitrogênio (LACERDA *et al.*, 2018).

A fertilização nitrogenada é de grande importância para o rendimento das culturas. O manejo adequado da adubação nitrogenada é especialmente importante em solos afetados por sais, onde a aplicação de N pode reduzir os efeitos adversos da salinidade sobre o crescimento e a produtividade das plantas (VILLA-CASTORENA *et al.*, 2003; HOU *et al.*, 2009; DONG *et al.*, 2012; ZENG *et al.*, 2014; MA *et al.*, 2016; NOBRE *et al.*, 2013; GUEDES FILHO *et al.*, 2015). Entretanto, como a salinidade reduz a quantidade de nutrientes extraídos do solo, a aplicação adicional de nitrogênio em condições de estresse salino pode resultar em perdas do nutriente para o ambiente e redução da eficiência de utilização do mesmo. Como consequência, uma grande parte de N adicionado pode ser perdida principalmente por lixiviação, causando a contaminação do lençol freático (NEVES *et al.*, 2009; SEGAL *et al.*, 2010; RAMOS *et al.*, 2012; SEMIZ *et al.*, 2014) e na redução de competitividade e do retorno econômico da produção (FEITOSA *et al.*, 2016).

Assim sendo, objetivou-se com este estudo foi avaliar as perdas de nutrientes em um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com algodão e milho sob estresse salino e doses sub e supra ótimas de nitrogênio.

6.2 Material e métodos

6.2.1 Localização e caracterização da área experimental

O estudo foi realizado em casa de vegetação na Estação Agrometeorológica, pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Fortaleza (3°45'S; 38° 33'W e altitude de 19 m), Ceará, Brasil. Monitorou-se os dados de temperatura, umidade relativa do ar e luminosidade no interior do ambiente, com auxílio de um DataLogger, instalado no centro da casa de vegetação. Os valores médios diários de temperatura do ar variaram de 26,4°C a 32,7°C, enquanto os de umidade relativa oscilaram de 60,5 a 80,0%. A luminosidade durante o período de condução do experimento variou de 9.998 a 22.186 Lux, com fotoperíodo de aproximadamente 12 horas.

6.2.2 Delineamento experimental

O estudo foi realizado empregando-se o delineamento em blocos casualizados (DBC), no esquema de parcelas sub-subdivididas, tendo nas parcelas os níveis de salinidade da água de irrigação (0,5; 2,0; 4,0 e 6,0 dS m⁻¹), nas subparcelas, três doses de nitrogênio (60, 100 e 140% do valor recomendado de N) e nas subsubparcelas, quatro profundidades do solo, tendo quatro repetições.

6.2.3 Condução do experimento

Plantas de algodão e milho foram cultivadas em colunas de PVC com 20 cm de diâmetro e 100 cm de comprimento. O solo utilizado para o preenchimento das colunas foi um Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico típico, coletado nas profundidades de 0-15 cm (horizonte A), 15-62 cm (horizonte de transição) e a partir de 62 cm (horizonte B).

Para o preenchimento das colunas foram feitas marcações em seu interior a cada 10 cm de profundidade e realizado o preenchimento com o solo coletado. A cada 10 cm de profundidade o preenchido foi feito pressionando-se o solo com o uso de pesos de concreto, compactando-o até a densidade de 1,53 g cm⁻³. Esse procedimento foi repetido até o preenchimento total das mesmas, que se deu até 5 cm da borda superior.

As colunas foram montadas obedecendo à mesma sequência dos horizontes do solo conforme se encontrava no campo dentro do comprimento de 1 m. Para isso, dividiu-se a coluna em três camadas: a primeira, com 20 cm de profundidade, preenchida com o solo coletado do horizonte A, a segunda com 25 cm de profundidade, preenchida com o solo coletado do horizonte de transição e a terceira, com 40 cm de profundidade, preenchida com o material recolhido do horizonte B.

A semeadura foi realizada colocando-se quatro sementes por coluna, a 2 cm de profundidade. A aplicação dos tratamentos salinos iniciou-se oito dias após a semeadura (DAS). Aos 10 DAS, fez-se o desbaste, deixando-se uma planta por coluna. A água de menor CE ($0,5 \text{ dS m}^{-1}$) foi obtida a partir da diluição de água de poço ($\text{CE} = 1,0 \text{ dS m}^{-1}$) com água da chuva ($\text{CE} = 0,0 \text{ dS m}^{-1}$). Para obtenção das demais concentrações (2,0; 4,0 e $6,0 \text{ dS m}^{-1}$) foram adicionados à água do poço, os sais cloreto de sódio (NaCl) e cloreto de cálcio ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) na proporção 7:3, obedecendo-se a relação entre a condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) e sua concentração ($\text{mmol}_c \text{ L}^{-1} = \text{CE} \times 10$), segundo Rhoades *et al.* (2000).

A dose de referência (100%) correspondeu a 210 kg ha^{-1} de N para o milho (Braz *et al.*, 2019), com 80.000 plantas por hectare e a 120 kg ha^{-1} de N (Ferreira; Carvalho, 2005) para o algodão, com 75.000 plantas por hectare.

Para a cultura do milho (*Zea mays* L.), utilizou-se o híbrido BRS 2020 e para o algodão, a variedade Fibermax 910 (*Gorssium hirsutum* L.). No milho, a aplicação do nitrogênio (126 ; 210 e 294 kg ha^{-1} de N equivalentes a 60, 100 e 140% da recomendação de N para a cultura) e potássio (80 kg ha^{-1} de K_2O) foi parcelada em quatro vezes: sendo 15% aplicado no desbaste, 25% aos 15 e 30 dias após o desbaste e 35% aos 45 dias após o desbaste. Na fundação, aplicou-se $6,25 \text{ g/coluna}$ de superfosfato simples e 1 g/coluna de uma mistura de micronutrientes FTE Br 12 (1,0% Zn, 2,5% Mn, 17% Fe, 0,1% B, 1,0% Cu, 0,05% Mo, 6,0% Ca, 3,0% Mg e 12% S), respectivamente.

No algodão, a adubação nitrogenada (72 , 120 e 168 kg ha^{-1} de N equivalentes a 60, 100 e 140% da recomendação de N para a cultura) e potássica (50 kg ha^{-1} de K_2O) também foram parceladas, sendo 25% aplicado no desbaste e o restante aplicado em duas parcelas iguais aos 15 e 30 dias após o desbaste. Na semeadura, aplicou-se $7,7 \text{ g/coluna}$ de superfosfato simples e, da mesma forma que para o milho, 1 g/coluna de uma mistura de micronutrientes FTE Br 12 (1,0% Zn, 2,5% Mn, 17% Fe, 0,1% B, 1,0% Cu, 0,05% Mo, 6,0% Ca, 3,0% Mg e 12% S). Em ambas as culturas, a fonte de N e K utilizada foi a ureia (45% de N) e o cloreto de potássio (60% de K e 48% de Cl), respectivamente.

A lâmina de irrigação aplicada necessária para satisfazer a necessidade hídrica das culturas foi obtida em função do balanço hídrico, pela diferença entre o volume aplicado e o volume drenado da irrigação anterior, acrescido da fração de lixiviação de 0,15. A aplicação da água foi feita em dias alternados e de forma localizada, de modo a evitar o contato direto da mesma com as folhas.

6.2.4 Variáveis analisadas

Ao final do experimento (80 DAS), foram coletadas quatro amostras de solo por coluna, em diferentes profundidades: 0-20 (horizonte A) 20-45 (horizonte E), 45-65 e 65-85 cm (Horizonte B). O pH, condutividade elétrica, potássio e nitrato do solo foram determinados no extrato da pasta de saturação. A condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CEes) foi determinada de acordo com Richards (1954). A partir dos dados de CEes, estimou-se o potencial osmótico do solo (Ψ_{os}) que foi calculado conforme a equação: $\Psi_{os} \approx -0,36 \times CE$, em que (Ψ_{os} – potencial osmótico em atm; e CE – condutividade elétrica do extrato de saturação em $dS\ m^{-1}$), desenvolvida pelo US Salinity Laboratory (1954). Os teores de potássio solúveis foram determinados empregando-se o método direto pelo fotômetro de chama. 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). Além disso, a biomassa seca radicular em cada profundidade da coluna do solo também foi quantificada no final do experimento.

6.2.5 Análise estatística

As diferenças entre os tratamentos salinos, doses de N e profundidades, bem como a interação entre estes fatores foram testadas usando uma análise de variância (Teste F). As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software estatístico SISVAR®, versão 5.3 (FERREIRA, 2010).

6.3 Resultados

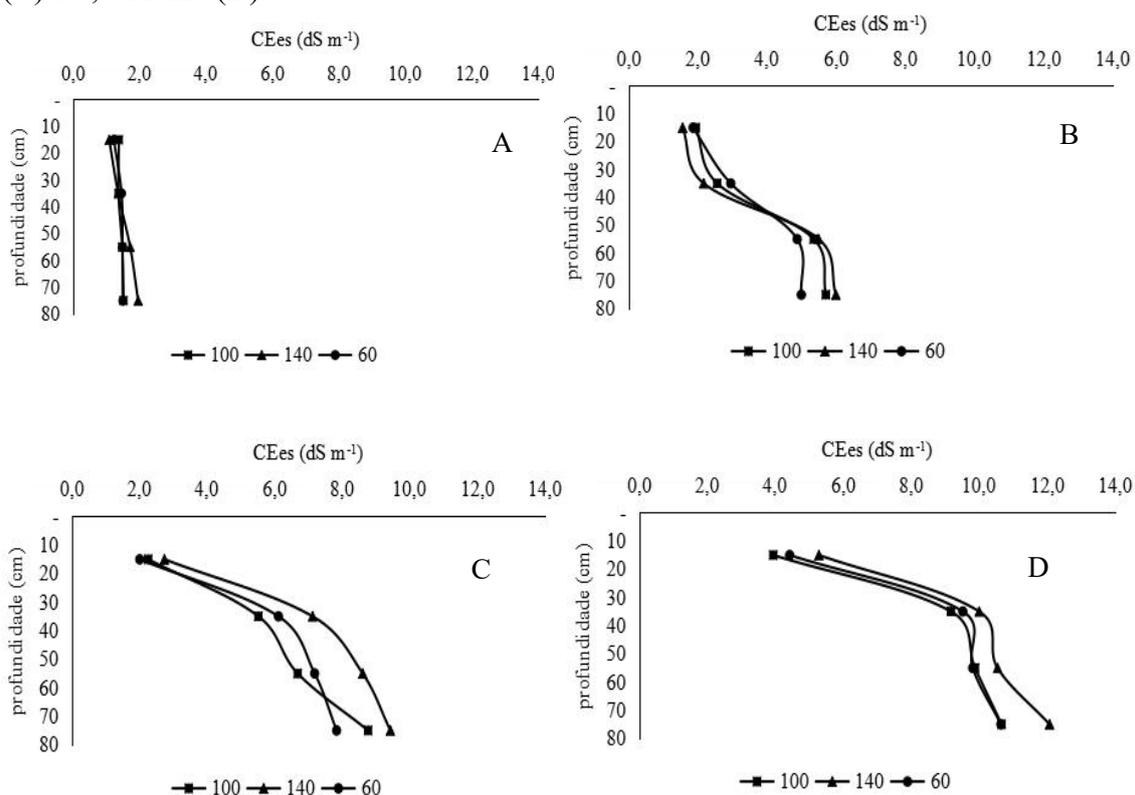
6.3.1 Algodão

A interação salinidade, doses de nitrogênio e profundidade afetou a condutividade elétrica do extrato de saturação ($p < 0,01$), potencial osmótico do solo ($p < 0,01$), biomassa seca da raiz ($p < 0,01$) e potássio ($p < 0,05$) no solo. O pH do solo foi influenciado pela interação

salinidade e dose de nitrogênio ($p < 0,05$), profundidade e salinidade ($p < 0,01$) e profundidade e dose ($p < 0,01$).

Os maiores valores de CEes foram observados no maior nível de salinidade ($6,0 \text{ dS m}^{-1}$), principalmente no tratamento com maior quantidade de nitrogênio (140% da recomendação de N) (Figura 12D). Por outro lado, os menores valores ocorreram nos menores níveis salinos ($0,5$ e $2,0 \text{ dS m}^{-1}$), especialmente na camada superficial (0-20 cm) e no tratamento com maior quantidade de nitrogênio (Figura 12A e 12B). Além disso, a CEes aumentou com a profundidade do solo em todos os níveis de salinidade. No maior nível salino ($6,0 \text{ dS m}^{-1}$), por exemplo, os valores de CEes na profundidade de 75 cm foram iguais a 10,64; 10,66 e $12,07 \text{ dS m}^{-1}$ para as doses de 60, 100 e 140% de N, respectivamente.

Figura 12. Condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) em diferentes profundidades de um Argissolo cultivado com algodão sob três doses de nitrogênio (60, 100 e 140% da recomendação para a cultura), e diferentes níveis de salinidade: 0,5 (A), 2,0 (B), 4,0 (C) e $6,0 \text{ dS m}^{-1}$ (D).

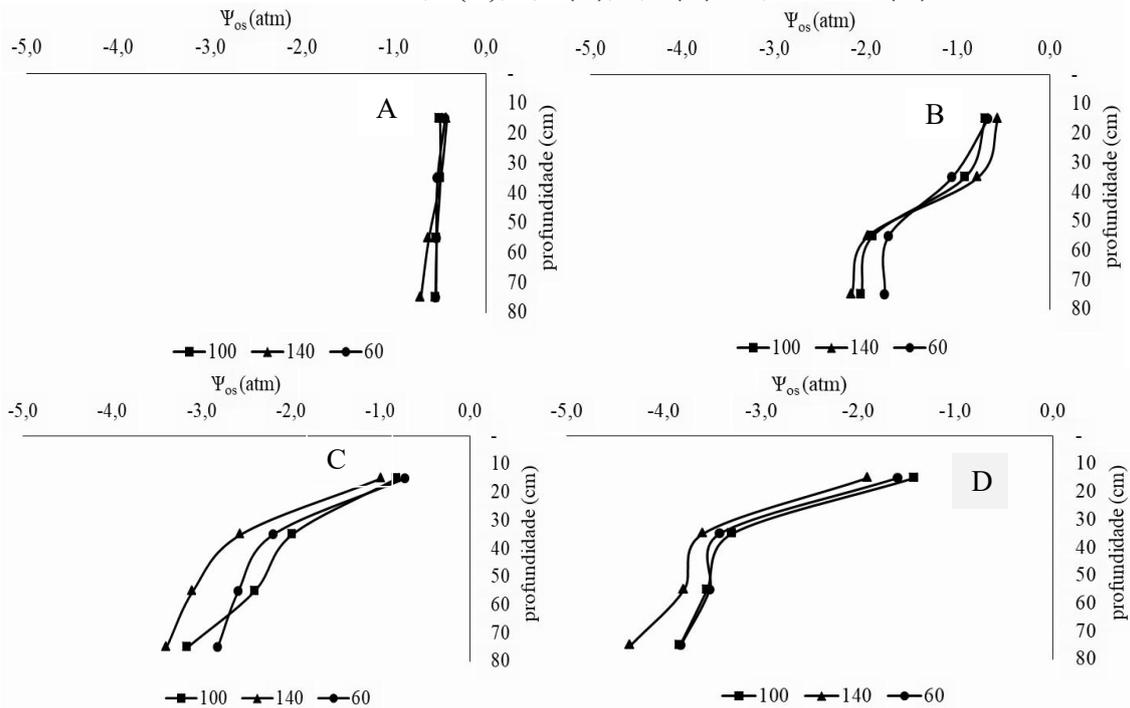


Fonte: Elaborado pelo autor

Os menores valores de potencial osmótico foram observados nos maiores níveis salinos ($4,0$ e $6,0 \text{ dS m}^{-1}$), principalmente no tratamento com maior quantidade de nitrogênio (140% da recomendação de N) (Figura 13C e 13D). Na maior salinidade ($6,0 \text{ dS m}^{-1}$), por

exemplo, os valores de potencial osmótico do solo foram de -1,90; -3,6; -3,79 e -4,34 atm nas profundidades de 15, 35, 55 e 75 cm e na maior dose de N (Figura 13D). Em contrapartida, os maiores valores de potencial osmóticos, iguais a -0,42 e -0,56 atm, foram obtidos nos menores níveis salinos (0,5 e 2,0 dS m⁻¹) associado a maior dose de N e na camada superficial (0-20 cm) (Figura 13A e 13B).

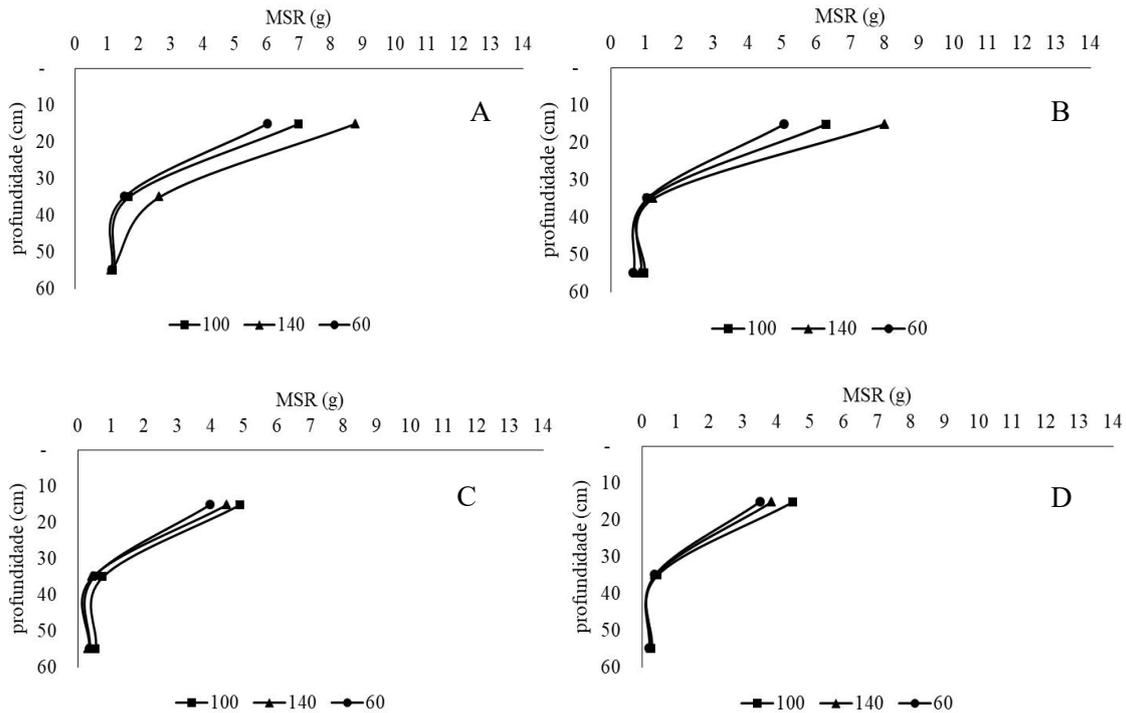
Figura 13. Potencial osmótico (Ψ_{os}) em diferentes profundidades de um Argissolo cultivado com algodão sob três doses de nitrogênio (60, 100 e 140% da recomendação para a cultura) e diferentes níveis de salinidade: 0,5 (A), 2,0 (B), 4,0 (C) e 6,0 dS m⁻¹ (D).



Fonte: Elaborado pelo autor

A biomassa seca da raiz (BSR) diminuiu com o aumento da profundidade do solo e da salinidade da água de irrigação. Os valores máximos de BSR, iguais a 8,78 e 8 g, foram constatados na camada superficial (0-20 cm) e nos menores níveis salinos (0,5 e 2,0 dS m⁻¹) associados a maior dose de nitrogênio (Figura 14A e 14B), respectivamente. Na salinidade de 4,0 e 6,0 dS m⁻¹, verificou-se valores superiores de BSR, iguais a 4,9 e 4,5 g, na dose de N recomendada para a cultura e na camada superficial, respectivamente (Figura 14C e 14D). Em todos os níveis de salinidade, os menores valores de MSR foram observados na menor dose de N (Figura 14).

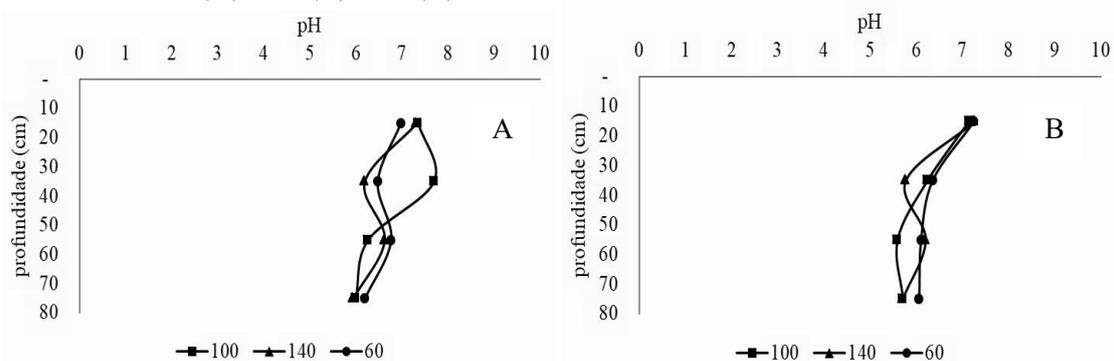
Figura 14. Efeito de diferentes níveis de salinidade: 0,5 (A), 2,0 (B), 4,0 (C) e 6,0 dS m⁻¹ (D), doses de nitrogênio (60, 100 e 140% da recomendação para a cultura) e profundidade do solo na biomassa seca da raiz do algodoeiro.

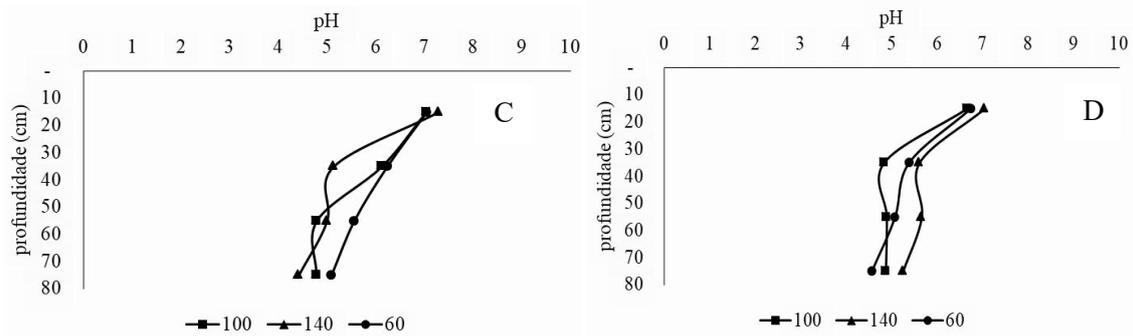


Fonte: Elaborado pelo autor

O pH do solo reduziu com a salinidade da água de irrigação e com a profundidade (Figura 15). Nas salinidades de 0,5; 2,0; 4,0 e 6,0 dS m^{-1} associado a dose de N recomendada para a cultura, por exemplo, o pH na camada superficial foi de 7,35; 7,14; 7,04 e 6,66, enquanto que na profundidade de 75 cm, encontrou-se valores de 5,99; 5,71; 4,78 e 4,87 nos mesmo níveis de salinidade e dose de N, respectivamente (Figura 15). Além disso, os decréscimos do pH em função da profundidade do solo foram maiores nas doses de 100 e 140% de N nas salinidade de 0,5; 2,0 e 4,0 dS m^{-1} .

Figura 15. pH em diferentes profundidades de um Argissolo cultivado com algodão sob três doses de nitrogênio (60, 100 e 140% da recomendação para a cultura) e diferentes níveis de salinidade: 0,5 (A), 2,0 (B), 4,0 (C) e 6,0 dS m^{-1} (D).

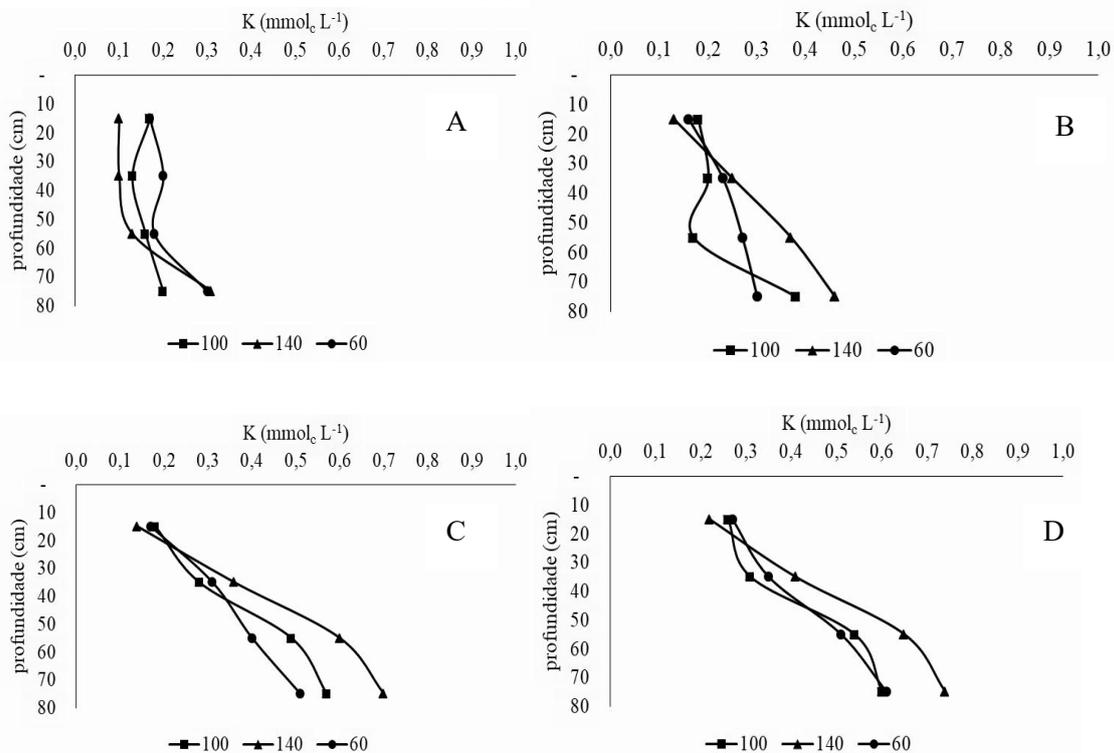




Fonte: Elaborado pelo autor

As maiores concentrações de potássio no solo ocorreram nos tratamentos com águas de salinidades mais elevadas (4,0 e 6,0 dS m^{-1}), principalmente na dose supraótima de N e nas maiores profundidades do solo (Figura 16). Nas salinidades de 4,0 e 6,0 dS m^{-1} e dose de 140% da recomendação N, por exemplo, verificou-se que 61,11 e 63,36% da concentração de K foi obtido na maior profundidade do solo (Figura 16C e 16D).

Figura 16. Teores de potássio em diferentes profundidades de um Argissolo cultivado com algodão sob diferentes doses de nitrogênio (60, 100 e 140% da recomendação para a cultura) e diferentes níveis de salinidade: 0,5 (A), 2,0 (B), 4,0 (C) e 6,0 dS m^{-1} (D).

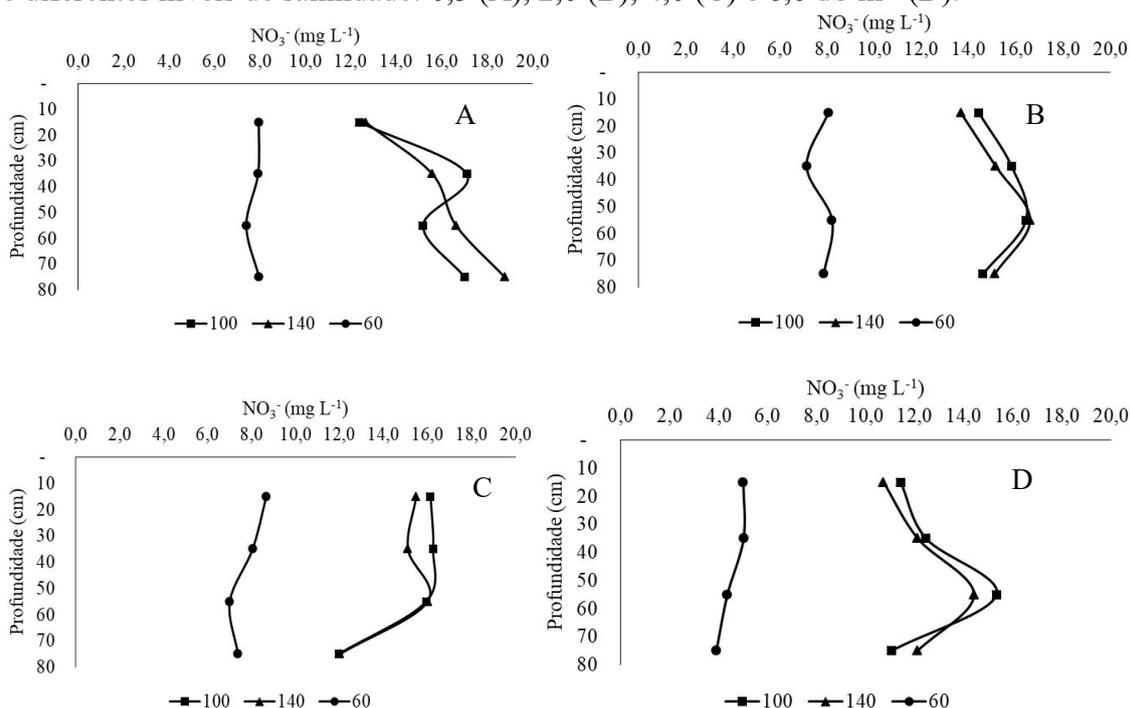


Fonte: Elaborado pelo autor

Os menores teores de nitrato (NO_3^-) foram obtidos no nível salino de 6,0 dS m^{-1} especialmente na menor dose de nitrogênio (60% da recomendação de N para a cultura)

(Figura 17D). A aplicação adicional de nitrogênio não aumentou o acúmulo de NO_3^- nas maiores profundidade do solo mesmo nos níveis salinos elevados. Na salinidade de 4,0 e 6,0 dS m^{-1} associado a dose de 140% da recomendação de N, por exemplo, verificou-se que 20,48 e 24,09% dos teores de nitrato foi obtido na maior profundidade do solo (Figura 17C e 17D).

Figura 17. Teores de nitrato em diferentes profundidades de um Argissolo cultivado com algodão sob diferentes doses de nitrogênio (60, 100 e 140% da recomendação para a cultura) e diferentes níveis de salinidade: 0,5 (A), 2,0 (B), 4,0 (C) e 6,0 dS m^{-1} (D).



Fonte: Elaborado pelo autor

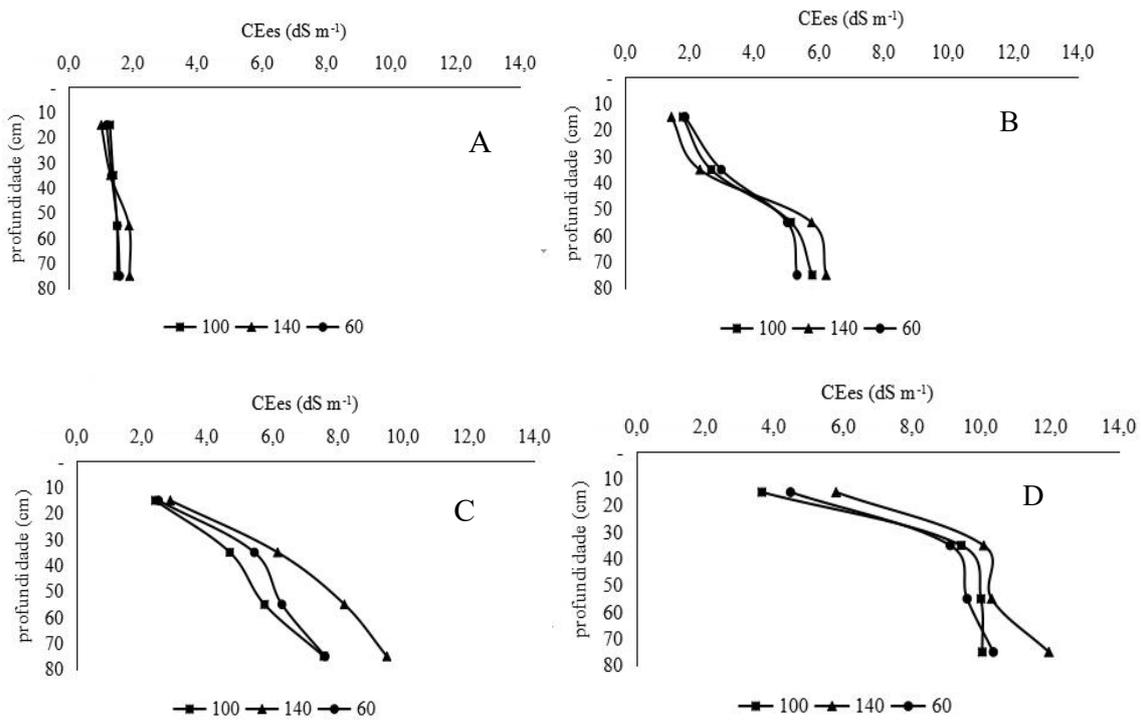
6.3.2 Milho

A condutividade elétrica do extrato de saturação, o potencial osmótico e a concentrações de potássio no solo foram influenciados de maneira significativa pela interação salinidade e dose de nitrogênio ($p < 0,05$), profundidade e salinidade ($p < 0,01$) e profundidade e dose ($p < 0,01$). A interação salinidade, doses de nitrogênio e profundidade afetou a concentração de nitrato ($p < 0,01$) e pH do solo ($p < 0,01$).

Os valores mínimos de CEes, iguais a 1,03 e 1,45 dS m^{-1} , foram encontrados nos menores níveis salinos (0,5 e 2,0 dS m^{-1}), respectivamente, na camada superficial do solo (0-20 cm) e no tratamento com maior quantidade de nitrogênio (Figura 18A e 18B). Os valores máximos de CEes, por sua vez, foram encontrados nos maiores níveis salinos (4,0 e 6,0 dS m^{-1}

¹⁾, especialmente no tratamento com maior quantidade de nitrogênio (140% da recomendação de N) e maiores profundidades do solo (Figura 18C e 18D).

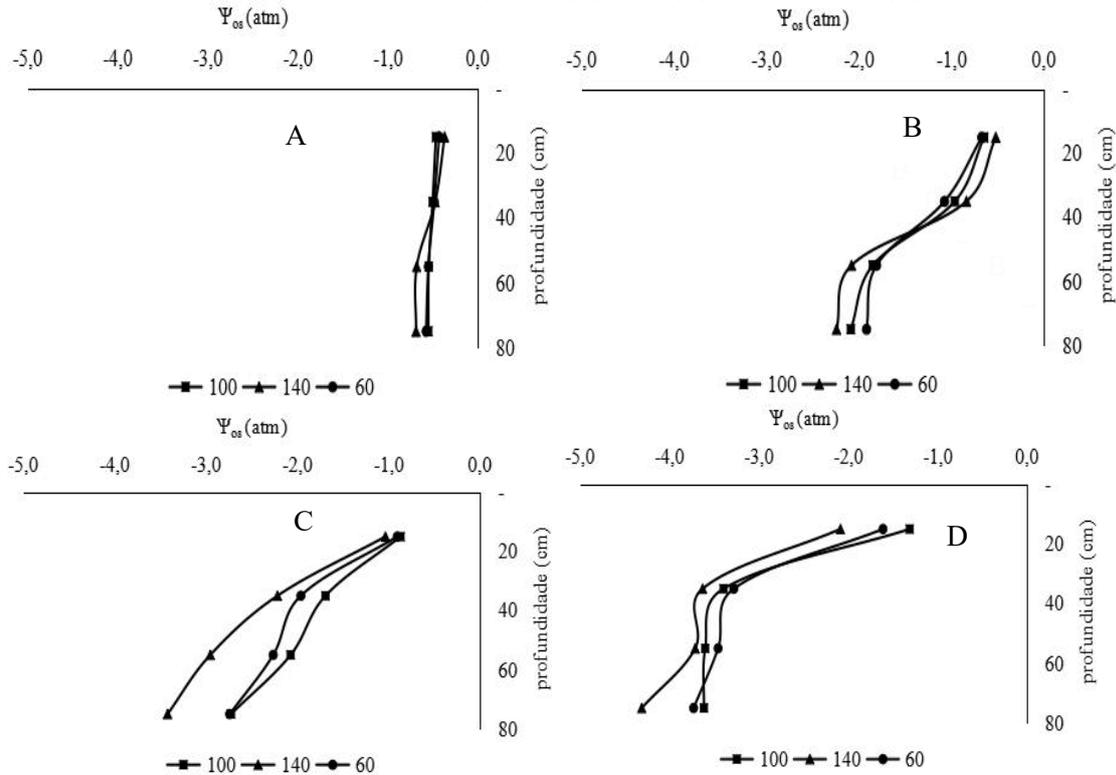
Figura 18. Condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) em um Argissolo cultivado com milho sob diferentes doses de nitrogênio (60, 100 e 140% da recomendação para a cultura) e diferentes níveis de salinidade: 0,5 (A), 2,0 (B), 4,0 (C) e 6,0 dS m⁻¹ (D).



Fonte: Elaborado pelo autor

Os menores valores de potencial osmótico foram observados nos maiores níveis salinos (4,0 e 6,0 dS m⁻¹), principalmente no tratamento com maior quantidade de nitrogênio (140% da recomendação de N) (Figura 19C e 19D). Na maior salinidade (6,0 dS m⁻¹), por exemplo, os valores de potencial osmótico do solo foram de -2,08; -3,62; -3,71 e -4,30 atm nas profundidades de 15, 35, 55 e 75 cm e na maior dose de N (Figura 19D). Em contrapartida, os maiores valores de potencial osmóticos, iguais a -0,37 e -0,52 atm, foram obtidos nos menores níveis salinos (0,5 e 2,0 dS m⁻¹) associado a maior dose de N e na camada superficial (0-20 cm) (Figura 19A e 19B).

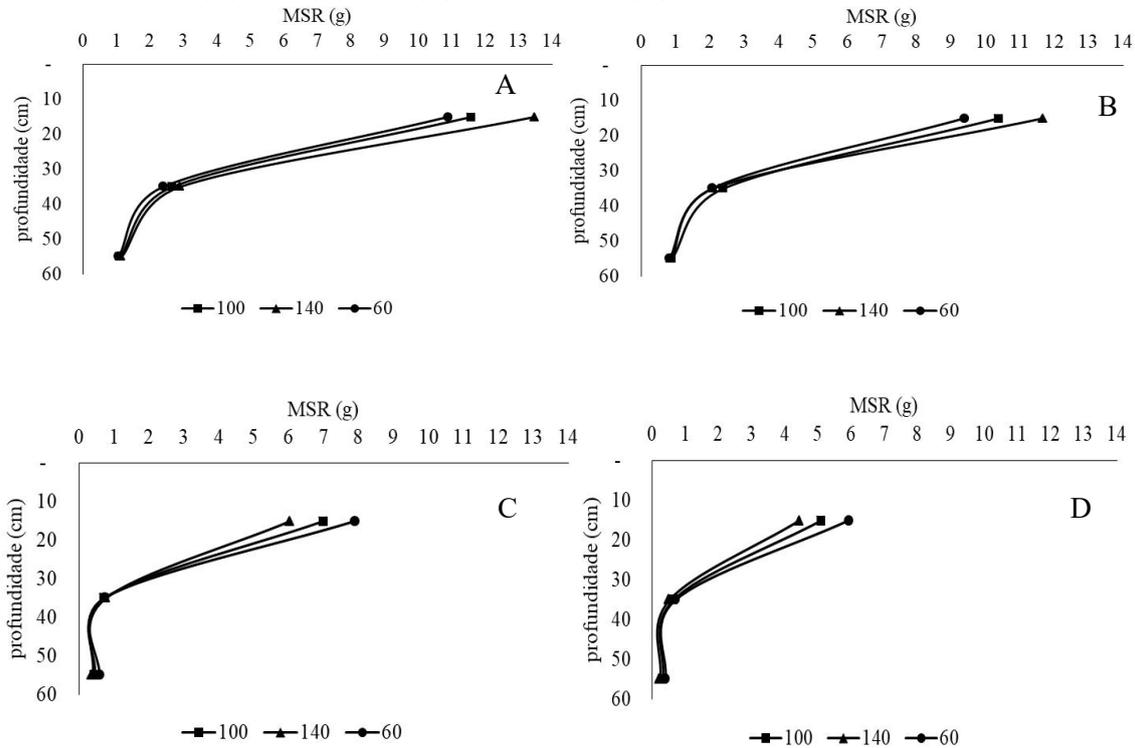
Figura 19. Potencial osmótico (Ψ_{os}) em diferentes profundidades de um Argissolo cultivado com milho sob três doses de nitrogênio (60, 100 e 140% da recomendação para a cultura) e diferentes níveis de salinidade: 0,5 (A), 2,0 (B), 4,0 (C) e 6,0 dS m^{-1} (D).



Fonte: Elaborado pelo autor

A biomassa seca das raízes (BSR) das plantas de milho diminuiu com a salinidade da água de irrigação e com o aumento da profundidade do solo. Os valores máximos de MSR, iguais a 13,7 e 11,7 g, foram obtidos nos menores níveis salinos (0,5 e 2,0 dS m^{-1}) associados a maior dose de nitrogênio e na camada superficial do solo (0-20 cm) (Figura 20A e 20B). Nos níveis salinos de 4,0 e 6,0 dS m^{-1} , os maiores valores de MSR, equivalentes a 7,9 e 5,92 g, respectivamente, foram encontrados na menor dose de N e na camada superficial do solo (Figura 20C e 20D). Os valores mínimos de BSR no milho foram observados no maior nível salino associado a maior dose de N em todas as profundidades do solo (Figura 20D).

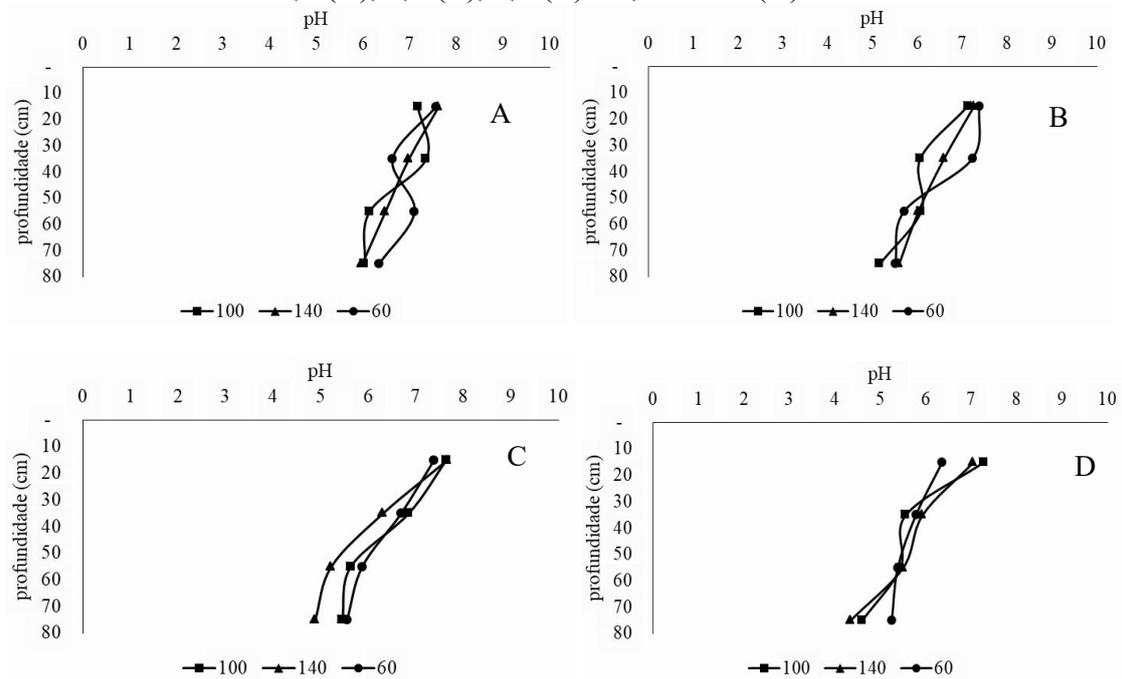
Figura 20. Biomassa seca da raiz do milho cultivado em um Argissolo sob diferentes doses de nitrogênio (60, 100 e 140% da recomendação para a cultura) e diferentes níveis de salinidade: 0,5 (A), 2,0 (B), 4,0 (C) e 6,0 dS m⁻¹ (D)



.Fonte: Elaborado pelo autor

O pH do solo reduziu com a salinidade da água de irrigação e com a profundidade (Figura 21). Nas salinidades de 0,5 dS m⁻¹ e maior dose de N, por exemplo, o pH obtido foi de 7,62; 6,98; 6,48 e 5,98 para as profundidades de 15; 35; 55 e 75 cm (Figura 21A). Enquanto isso, na maior salinidade (6,0 dS m⁻¹) estes valores foram iguais a 7,05; 5,93; 5,50 e 4,34 para as mesmas profundidades (Figura 21D). Adicionalmente, verificou-se menores valores de pH do solo nas doses de 100 e 140% da recomendação de N, sendo este efeito mais evidente nas salinidade de 4,0 e 6,0 dS m⁻¹ e nas maiores profundidades (Figura 21C e 21D).

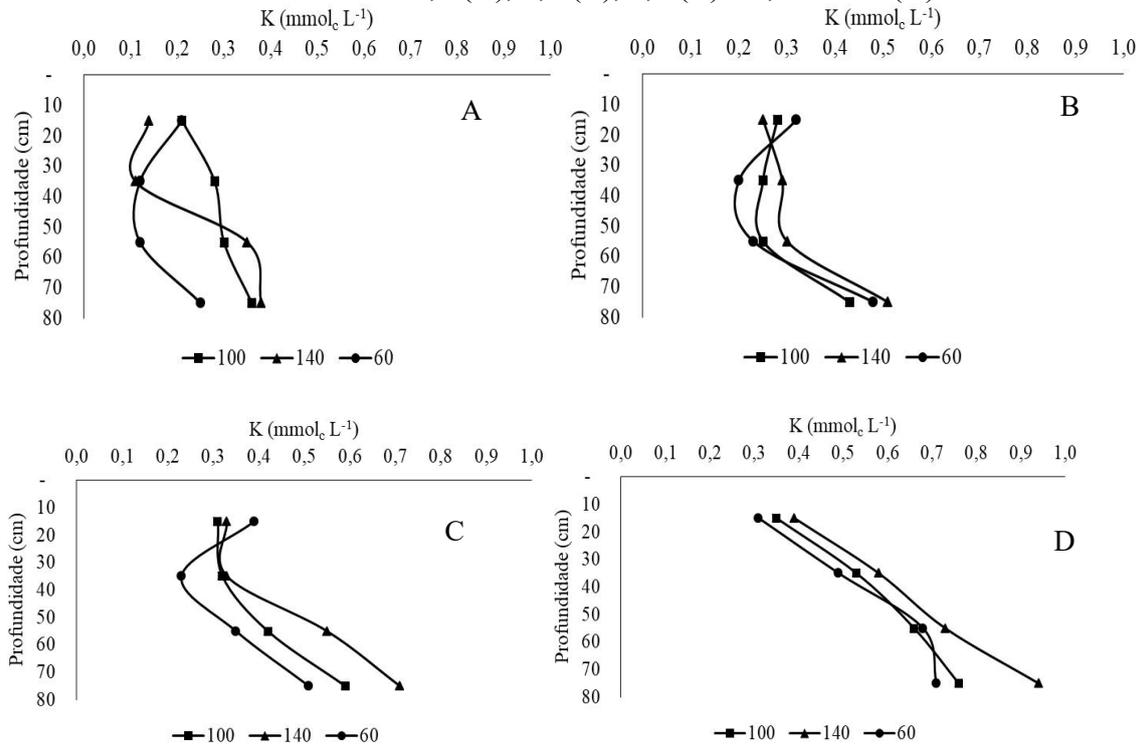
Figura 21. pH em diferentes profundidades de um Argissolo cultivado com milho sob diferentes doses de nitrogênio (60, 100 e 140% da recomendação para a cultura) e diferentes níveis de salinidade: 0,5 (A), 2,0 (B), 4,0 (C) e 6,0 dS m⁻¹ (D).



Fonte: Elaborado pelo autor

As maiores concentrações de potássio no Argissolo cultivado com milho ocorreram nos tratamentos com águas de salinidades mais elevadas (4,0 e 6,0 dS m⁻¹), especialmente na dose de 140% da recomendação de N para a cultura e nas maiores profundidades do solo (Figura 22). Nas salinidades de 4,0 e 6,0 dS m⁻¹ e dose de 140% da recomendação N, por exemplo, verificou-se que 63,02 e 64,39% da concentração de K foi obtido na maior profundidade do solo (Figura 22C e 22D).

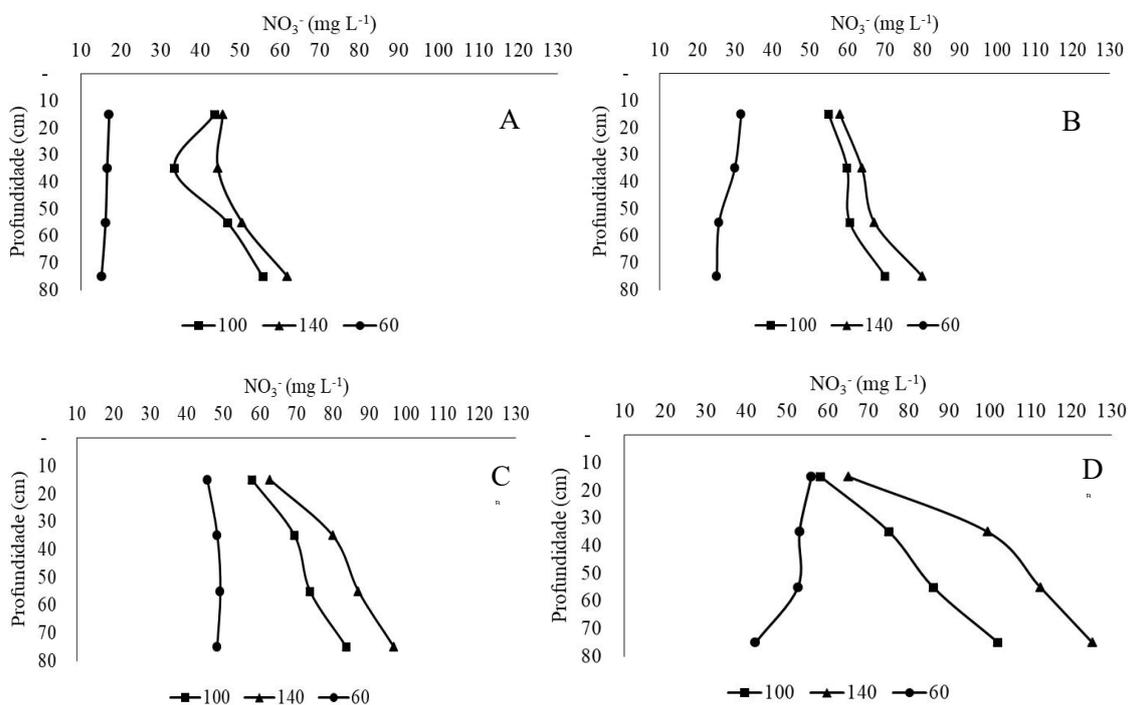
Figura 22. Teores de potássio em diferentes profundidades de um Argissolo cultivado com milho sob diferentes doses de nitrogênio (60, 100 e 140% da recomendação para a cultura) e diferentes níveis de salinidade: 0,5 (A), 2,0 (B), 4,0 (C) e 6,0 dS m⁻¹ (D).



Fonte: Elaborado pelo autor

Os menores teores de nitrato (NO₃⁻) no solo foram obtidos no tratamento controle (0,5 dS m⁻¹) associado a menor dose de nitrogênio (60% da recomendação de N para a cultura). Nos tratamentos com N recomendado para a cultura e com 140% da recomendação para a cultura, observou-se um acúmulo de NO₃⁻ nas maiores profundidades do solo. Este efeito aumentou com o uso de águas com salinidades mais elevadas associadas a maior dose de nitrogenada utilizada (140% da recomendação de N para a cultura). Na salinidade de 6,0 dS m⁻¹ e dose de 140% da recomendação N, por exemplo, verificou-se que 83,81% dos teores de nitrato foi obtido abaixo da profundidade 20 cm do solo (Figura 23).

Figura 23. Teores de nitrato em diferentes profundidades de um Argissolo cultivado com milho sob diferentes doses de nitrogênio (60, 100 e 140% da recomendação para a cultura) e diferentes níveis de salinidade: 0,5 (A), 2,0 (B), 4,0 (C) e 6,0 dS m⁻¹ (D).



Fonte: Elaborado pelo autor.

6.4 Discussão

O futuro da agricultura irrigada deverá incluir o uso de água contendo níveis mais elevados de sais solúveis, particularmente em regiões áridas e semiáridas (WEI *et al.* 2016). Porém, o uso de água salinas na irrigação tende a aumentar as concentrações de sais no solo (WAN *et al.*, 2010; HUANG *et al.*, 2010; WANG *et al.*, 2015) e conseqüentemente a condutividade elétrica do solo (CEes), conforme observado em nossos resultados experimentais. Adicionalmente, verificou-se que a aplicação excessiva do fertilizante nitrogenado parece ter agravado a salinidade do solo, especialmente nos maiores níveis salinos. Da mesma forma, Min *et al.* (2014) avaliando a CEes de um solo cultivado com algodão, verificaram que a salinidade do solo aumentou ligeiramente à medida que a taxa de aplicação de N aumentou. Lacerda *et al.* (2016a) em um experimento realizado com milho também cultivado em colunas de solo, constataram que a CEes aumentou com a salinidade da água de irrigação, mas para os maiores níveis de salinidade (5,0 e 7,5 dS m⁻¹), os valores de CEes foram maiores no tratamento com maior quantidade de nitrogênio.

Uma conseqüência do aumento da concentração de sais no solo é a redução do seu potencial osmótico (STEPPUHN *et al.*, 2005; MUNNS; TESTER 2008) conforme observado

em nosso estudo. Este mesmo comportamento também foi verificado por Coelho *et al.* (2014), Duarte; Souza (2016) e Tedeschi *et al.* (2017). Além disso, este efeito foi agravado com a aplicação excessiva de N. O efeito osmótico decorrente das elevadas concentrações de sais dissolvidos na solução do solo (ARAÚJO *et al.*, 2011) diminui o gradiente de potencial hídrico no sistema solo-planta, levando a redução na absorção de água pelas plantas e consequentemente, deficiência hídrica (AQUINO *et al.*, 2007). Os efeitos osmóticos do estresse salino podem ser observados imediatamente após a aplicação dos sais e continuam pela duração da exposição ao sal, o que resulta na inibição da expansão celular e divisão celular junto com o fechamento estomático (FLOWERS, 2004).

A redução do potencial osmótico e/ou acúmulo excessivo de íons, em decorrência do estresse salino, inibe o crescimento das plantas (raiz e parte aérea) (MUNNS; TESTER, 2008; LACERDA *et al.*, 2016b). As raízes são altamente suscetíveis ao estresse salino especialmente pelo fato da ação deletéria dos sais resultarem em considerável decréscimo em sua biomassa seca, uma vez que o crescimento radicular é determinado por uma alta atividade metabólica, aliado ao fato de que a raiz é o único órgão diretamente exposto ao excesso de sais no solo (GUIMARÃES *et al.*, 2013). No presente estudo constatou-se efeito positivo da adubação nitrogenada adicional sobre a biomassa seca da raiz em ambas as culturas avaliadas até a salinidade de 2,0 dS m⁻¹. Também na cultura do milho, Feijão *et al.* (2013) estudando os efeitos do nitrato (0,5; 2,5; 5,0 e 7,5 mM) no crescimento e no acúmulo de solutos inorgânicos e orgânicos em plantas de milho submetidas à salinidade, encontraram valores máximos de matéria seca radicular nas concentrações estimadas de NO₃⁻ de 5,0 e 4,4 mM, respectivamente, em condições-controle (0 mM de NaCl) e de salinidade (75 mM de NaCl). Em mamoneira, Nobre *et al.* (2013) verificaram respostas positivas da adubação nitrogenada adicional para esta variável também apenas nos menores níveis salinidade testados (0,4 e 1,4 dS m⁻¹).

O pH do solo decresceu com o aumento da profundidade do solo e da salinidade da água de irrigação. Essa redução do pH com salinidade está relacionada com a dessorção de prótons, uma vez que 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 solo apresentou pH mais ácido nos tratamentos com N recomendado para a cultura e com 140% da recomendação de N, sendo este efeito mais evidente no solo cultivado com a cultura do milho, nas salinidade de 4,0 e 6,0 dS m⁻¹ e nas maiores profundidades. Avaliando os efeitos da salinidade da água de irrigação e da adubação nitrogenada sobre as propriedades físico-químicas de um solo cultivado com

algodão, Wei *et al.* (2016) verificaram que o pH do solo diminuiu com o aumento da salinidade e fertilização nitrogenada.

Todas as fontes de fertilizantes nitrogenados são ácidas e seu uso pode acidificar o solo (FAGERIA, 1989; BOLAN; HEDLEY, 2003). Isso ocorre porque os íons de amônio (NH_4^+) são oxidados para produzir íons nitrato (NO_3^-), o que resulta na liberação de íons H^+ , levando à acidificação do solo. Outra razão para a acidificação do solo por meio do uso de fertilizantes nitrogenados é através da lixiviação de íons NO_3^- . Durante a lixiviação dos íons NO_3^- , eles são acompanhados por cátions básicos carregados positivamente, como Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , para manter a carga elétrica nas partículas do solo. Durante a lixiviação desses cátions básicos das partículas do solo, seus locais são substituídos por íons H^+ , o que acelera o processo de acidificação (BOLAN; HEDLEY, 2003).

Nossos resultados experimentais evidenciaram ainda que o aumento da salinidade da água de irrigação provocou acúmulo de potássio no solo, principalmente nas maiores profundidades e elevada dose de N. Além de causar toxicidade iônica, concentrações elevadas de sais no solo podem restringir a absorção de K^+ pelo sistema radicular (FERREIRA-SILVA *et al.*, 2008), resultando em acúmulo deste cátion no solo. Adicionalmente, a redução do crescimento das raízes em decorrência do estresse salino tem como consequência a menor absorção de nutrientes pelas plantas, como o K, aumentando a sua concentração no solo. De modo semelhante, Lacerda *et al.* (2018) avaliando o acúmulo no solo de sais provenientes da água de irrigação e de N e K provenientes da adubação, observaram que o aumento da salinidade provocou o acúmulo de K no solo, principalmente nas maiores doses de N.

A aplicação adicional de nitrogênio em condições de elevada salinidade propiciou acúmulo de NO_3^- nas camadas mais profundas do solo cultivado com milho. Na salinidade de $6,0 \text{ dS m}^{-1}$ e dose de 140% da recomendação N, por exemplo, verificou-se que 83,81% dos teores de nitrato foi obtido abaixo da profundidade de 20 cm. Em condições de estresse salino, os processos de absorção e assimilação de nutrientes pelas plantas são afetados, principalmente o nitrato, que é a principal fonte de nitrogênio nos solos agrícolas e, com mais frequência, limita o crescimento das plantas (MELONI *et al.*, 2004). Isso ocasiona o acúmulo de nitrato na zona radicular, sendo o mesmo facilmente lixiviado pela água de irrigação e/ou chuva para as camadas mais profundas do solo (YUAN *et al.*, 2000). Quanto maior o excedente de nitrogênio, maior o risco de perda de NO_3^- do solo (GHEYSARI *et al.*, 2009). Em um experimento realizado com milho também cultivado em colunas de solo, Lacerda *et al.* (2018) verificaram que nos tratamentos com maiores teores de nitrogênio também houve um acúmulo de NO_3^- nas camadas mais profundas do solo. Esse efeito tornou-se mais evidente

quando foram utilizadas concentrações salinas mais elevadas. No tratamento com água salina (7,5 dS m⁻¹) e 100% da recomendação de N para milho, por exemplo, 88% do nitrato estava abaixo de 20 cm de profundidade do solo.

No solo cultivado com o algodão, não se observou acúmulo de NO₃⁻ com o aumento da adubação nitrogenada mesmo em condições de alta salinidade. Vários fatores podem influenciar a quantidade de NO₃⁻ lixiviado, como por exemplo, as características de crescimento da cultura, com relação específica à absorção de nitrogênio pelo sistema radicular (ASKEGAARD *et al.*, 2011; ZHOU; BUTTERBACH-BAHL, 2014). O custo de aumentar a concentração de nitrogênio tecidual está relacionado principalmente a um aumento na alocação de nitrogênio às raízes (HILBERT, 1990), reduzindo a sua concentração no solo. Em um solo cultivado com algodão, Wei *et al.* (2016) observaram que as as concentrações de NO₃⁻ no solo diminuíram à medida que a salinidade da água aumentou, e os efeitos da salinidade da água foram maiores nas parcelas fertilizadas (360 kg N ha⁻¹) do que nas parcelas não fertilizadas (0 kg N ha⁻¹). Nas parcelas não fertilizadas, a concentração de NO₃⁻ no tratamento com água doce (0,35 dS m⁻¹) foi 18% maior que no tratamento com água salobra (4,61 dS m⁻¹) e 54% maior no tratamento com água salgada (8,04 dS m⁻¹). Nas parcelas fertilizadas, a concentração de NO₃⁻ no tratamento com água doce foi 67% maior que no tratamento com água salobra e 115% maior que no tratamento com água salgada.

6.5 Conclusões

A condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) aumentou com a salinidade e profundidade do solo. Nos maiores níveis de salinidade, os valores de CEes foram superiores na dose supra ótima de N, tendo como consequência a redução do potencial osmótico na solução do solo e a inibição do crescimento radicular. O pH do solo decresceu com o aumento da profundidade do solo e da salinidade da água de irrigação. O aumento da salinidade da água de irrigação provocou acúmulo de potássio no solo principalmente nas maiores profundidades e elevada dose de N. Além disso, a aplicação adicional de nitrogênio em condições de elevada salinidade propiciou acúmulo de NO₃⁻ nas camadas mais profundas do solo, especialmente no solo cultivado com milho.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As respostas à adubação nitrogenada adicional dependem da tolerância da cultura à salinidade e do nível de estresse salino imposto. A aplicação de doses de nitrogênio além da recomendada exacerbaram os efeitos negativos da salinidade sobre o crescimento e taxas de fotossíntese, principalmente na cultura do milho, em condições de moderada a elevada salinidade.

A fertilização nitrogenada suplementar favoreceu o acúmulo de compostos nitrogenados no algodão. Enquanto isso, no milho, os efeitos positivos da fertilização nitrogenada sobre estes compostos foi observado apenas em condições de baixa salinidade.

A aplicação adicional de nitrogênio em condições de elevada salinidade propiciou acúmulo de nitrato nas camadas mais profundas do solo, principalmente no solo cultivado com milho.

REFERÊNCIAS

- ABBASI, G. H.; AKHTAR J.; AHMAD R.; JAMIL M.; HAQ M. A.; ALI S.; IJAZ M. Potassium application mitigates salt stress differentially at different growth stages in tolerant and sensitive maize hybrids. **Plant Growth Regulation**, v.76, p.111–125, 2015.
- ABDELGADIR, E.M.; OKA, M.; FUJIYAMA, H. Characteristics of nitrate uptake by plants under salinity. **Journal of Plant Nutrition**, v.28, p.33–46, 2005.
- ABDELHAMID, M. T.; SADAK, M. S.H.; SCHMIDHALTER, U. R. S.; EL-SAADY, A. K. M. Interactive effects of salinity stress and nicotinamide on physiological and biochemical parameters of faba bean plant. **Acta Biológica Colombiana**, v.18, n. 3, p. 499-509, 2013.
- ABDOLZADEH, A.; SHIMA, K.; LAMBERS, H.; CHIBA, K. Change in uptake, transport and accumulation of ions in *Nerium oleander* (rosebay) as affected by different nitrogen sources and salinity. **Annals of botany**, v.102, n. 5, p.735–746, 2008.
- ÁBRAHÁM, E.; SALAMÓ, I. P.; KONCZ, C.; SZABADOS, L. Identification of *Arabidopsis* and *Thellungiella* genes involved in salt tolerance by novel genetic system. **Acta Biologica Szegediensis**, v. 55, n. 1, p. 53–57, 2011.
- AKHTAR, J. Z.A.; SAQIB, M.; SARFRAZ, I.; SALEEM.; M.A. HAQ. Evaluating salt tolerant cotton genotypes at different levels of NaCl stress in solution and soil culture. **Pakistan Journal of Botany**, v. 42, n. 4, p. 2857-2866, 2010.
- AMEGBOR, I.K.; BADU-APRAKU, B.; ANNOR, B. Combining ability and heterotic patterns of extra-early maturing white maize inbreds with genes from *Zea diploperennis* under multiple environments. **Euphytica**, v. 213, p.1–16, 2017.
- ANA. Agência Nacional de Águas. **Atlas Irrigação: Uso da Água na Agricultura Irrigada**, 2017. Disponível em: <https://atlasirrigacao.ana.gov.br/>. Acesso em: 06 mai. 2019.
- AQUINO, A. J. S; LACERDA, C.F.; BEZERRA, M. A.; GOMES-FILHO, E.; COSTA, R.N.T. Crescimento, partição de matéria seca e retenção de Na⁺, K⁺ e Cl⁻ em dois genótipos de sorgo irrigados com águas salinas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p.961-971, n.5, 2007.
- ARAÚJO, W. F.; BARROS, M. M.; MEDEIROS, R. D.; CHAGAS, E. A.; NEVES, L. T. B. C. Crescimento e produção de melancia submetida a doses de nitrogênio. **Revista Caatinga**, v.24, p.80-85, 2011.
- ASHRAF, M.; FOOLAD, M.R. Crop breeding for salt tolerance in the era of molecular markers and marker-assisted selection. **Plant Breeding**, v.132, p.10–20, 2013.
- ASKEGAARD, M.; OLESEN, J, E.; RASMUSSEN, I. A.; KRISTENSEN, K. Nitrate leaching from organic arable crop rotations is mostly determined by autumn field management, **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.142, pp. 149-160, 2011.

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

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

AZEVEDO NETO, A. D.; PRISCO, J. T.; GOMES-FILHO, E. Changes in soluble amino-N, soluble proteins and free amino acids in leaves and roots of salt-stressed maize genotypes. **Journal of Plant Interactions**, v. 4, n. 1, p. 137-144, 2009.

AZEVEDO NETO, A.D.; TABOSA, J.N. Estresse salino em plântulas de milho: Parte I. Análise do crescimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.2, p.159- 164, 2000.

AZIZIAN, A.; SEPASKHAH, A. R. Maize response to different water, salinity and nitrogen levels: agronomic behavior. **International Journal of Plant Production**, v.8, p. 107-130, 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.

BAKNT, J.; SHAFI, M.; JAMAL, Y.; SHER, H. Response of maize (*Zea mays* L.) to seed priming with NaCl and salinity stress. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v.9, n. 1, p. 252-261, 2011.

BARBOSA, F. S.; LACERDA, C. F.; GHEYI, H. R.; FARIAS, G. C.; SILVA JÚNIOR, R.J. C.; LAGE, Y. A.; HERNANDEZ, F. F. F. Yield and ion content in maize irrigated with saline water in a continuous or alternating system. **Ciência Rural**, v.42, n.10, p.1731-1737, 2012.

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 litoralis*, *Catapodium rigidum*, and *Brachypodium distachyum*. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.173, p.149-157, 2010.

BASAL, H. Response of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) genotypes to salt stress. **Pakistan Journal of Botany**, v.42, p.505-511, 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.; SMAOURI, 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, n. 1, p. 208-218, 2016.

- BENOIT, M.; GARNIER, J.; BILLEN, G.; TOURNEBIZE, J.; GRÉHAN, E.; MARY, B. Nitrous oxide emissions and nitrate leaching in an organic and a conventional cropping system (Seine basin, France). **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 213, p.131–141, 2015.
- BEZERRA, I. L.; NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; LIMA, G. S.; BARBOSA, J. L. Physiological indices and growth of ‘paluma’ guava under saline water irrigation and nitrogen fertigation. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 4, p. 808–816, 2018.
- BIANCO, M. S.; A.B. CECÍLIO FILHO.; L.B. DE CARVALHO. Nutritional status of the cauliflower cultivar Verona grown with omission of out added macronutrients. **Plos One**, v.10, n. 4, e0123500, 2015.
- BOLAN, N. S.; M. J. HEDLEY. **Role of carbon, nitrogen, and sulfur cycles in soil acidification**. In Handbook of soil acidity, ed. Z. Rengel, p.29–56. New York: Marcel Dekker, 2003.
- BOUAROU DJ, S.; MENAD, A.; BOUNAMOUS, A.; ALI-KHODJA, H.; GHERIB A.; WEIGEL DE.; CHENCHOUNI, H. Assessment of water quality at the largest dam in Algeria (Beni Haroun Dam) and effects of irrigation on soil characteristics of agricultural lands. **Chemosphere**. v. 219, p.76-88, 2019.
- BRANDÃO, Z.N.; FERREIRA, G. B.; SOFIATTI, V.; LIMA, R. L.S.; MEDEIROS, J. C. Uso de nitrogênio e fósforo e seus efeitos na nutrição do algodoeiro irrigado **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, n. 2, p. 213-218, 2012.
- BRAZ, R. S.; LACERDA, C.F.; ASSIS JUNIOR, R.N.; FERREIRA, J.F.S.; OLIVEIRA, A.C.; RIBEIRO, A.A. Growth and physiology of maize under water salinity and nitrogen fertilization in two soils. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n.12, p. 1-10, 2019.
- CAI, X.; NIU, G.; STARMAN, T.; HALL, C. Response of six garden roses (*Rosa × hybrida* L.) to salt stress. **Scientia Horticulturae**, v. 168, p 27–32, 2014.
- CAIRES, E. F.; MILL, R. Adubação nitrogenada em cobertura para o cultivo de milho com alto potencial produtivo em sistema de plantio direto de longa duração. **Bragantia**, Campinas v. 75, n. 1, p.87-95, 2016.
- CAITANO, R. F. **Geoprocessamento na análise de risco de salinização dos solos do Estado do Ceará**. 2012. 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.
- CAMARGO, P. N.; SILVA, O. **Manual de Adubação Foliar**. São Paulo: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 2009, 256 p.
- CARILLO, P.; CIRILLO, C.; DE MICCO, V.; ARENA, C.; DE PASCALE, S.; ROUPHAEL, Y. Morpho-anatomical, physiological and biochemical adaptive responses to saline water of *Bougainvillea spectabilis* Willd. trained to different canopy shapes. **Agriculture and Water Management**, v. 212, p.12–22, 2019.

- CATALDO, D. A.; MAROON, M.; SCHRADER, L. E.; YOUNGS V. L. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.** v.6, p. 71-80, 1975.
- CEREZO, M.; GARCIA-AGUSTIN, P.; SERMA, M. D.; PRIMO-MILLO, E. Kinetics of nitrate uptake by citrus seedlings and inhibitory effects of salinity. **Plant Science**, v.126, p.105-112, 1997.
- CHEN, W.; HOU, A.; WU, L.; LIANG, Y.; WEI, C. Effects of salinity and nitrogen on cotton growth in arid environment. **Plant Soil**, v.326, p.61–73, 2010.
- CHRYSARGYRIS, A.; MICHAILEDI, E.; TZORTZAKIS, N. Physiological and Biochemical Responses of *Lavandula angustifolia* to Salinity Under Mineral Foliar Application. **Frontiers in plant science**, v.9, n. 489, p. 1-23, 2018.
- COELHO, J.B.M.; BARROS, M.F.C.; BEZERRA NETO, E.; SOUZA, E.R. Physiological permanent wilting point and osmotic potential of cowpea grown in saline soils. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, p.708-13, 2014.
- CONSOLI, S.; VANELLA, D. Mapping crop evapotranspiration by integrating vegetation indices into a soil water balance model. **Agriculture Water Management**, v. 143, p. 71-81, 2014.
- COSTA, A. R. F.C.; MEDEIROS, J. F.; PORTO FILHO, F. Q.; SILVA, J. S.; COSTA, F. G. B.; FREITAS, D. C. Produção e qualidade de melancia cultivada com água de diferentes salinidades e doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.9, p.947–954, 2013.
- CUI, Z.; ZHANG, F.; CHEN, X.; DOU, Z.; LI, J. In-season nitrogen management strategy for winter wheat maximizing yields, minimizing environmental impact in an over-fertilization context. **Field Crops Research**, v.116, p.140–146, 2010.
- CUNHA, P. C.; MENDES, B. S. S.; OLIVEIRA FILHO, R. A.; CAMARA, T. R.; WILLANINO, L. G. Crescimento, síntese de solutos orgânicos e equilíbrio iônico de plântulas de pinhão- manso sob estresse salino. **Revista Caatinga**, v. 26, n. 3, p. 46-52, 2013.
- DAI, J. L.; DUAN, H. Z.; DONG, H. Z. Improved Nutrient Uptake Enhances Cotton Growth and Salinity Tolerance in Saline Media, **Journal of Plant Nutrition**, v.37, n.8, p.1269-1286, 2014.
- DAI, J.; WANG, Z.; LI, F.; HE, G.; WANG, S.; LI, Q.; CAO, H.; LUO, L.; ZANG, Y.; MENG, X.; ZHANG, W.; WANG, R.; MALHI, S.S. Optimizing nitrogen input by balancing winter wheat yield and residual nitrate-N in soil in a long-term dryland field experiment in the Loess Plateau of China. **Field Crops Research**, v.181,p.32–41, 2015.
- DAS, B.; SINGH, A.; PANDA, S.N.; YASUDA, H. Optimal land and water resources allocation policies for sustainable irrigated agriculture. **Land Use Policy**, v.42, p.527–537, 2015.

- DEINLEIN, U.; STEPHAN, A. B.; HORIE, T.; LUO, W.; XU, G.; SCHROEDER, J. I. Plant salt-tolerance mechanisms. **Trends in Plant Science**, v.19, n.6, .371-379, 2014.
- DEMURTAS, C.E.; SEDDAIU, G.; LEDDA, L.; CAPPAL, C.; DORO, L.; CARLETTI, A.; ROGGERO, P.P. Replacing organic with mineral N fertilization does not reduce nitrate leaching in double crop forage systems under Mediterranean conditions. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.219, p.83–92, 2016.
- DIAS, N. D.; 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: Estudos básicos e aplicados**. 2 edição. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade. p. 129-140, 2010.
- DING, X.; TIAN, C.; ZHANG, S.; SONG, J.; ZHANG, F.; MI, G.; FENG, G. Effects of NO₃⁻-N on the growth and salinity tolerance of *Tamarix laxa* Willd. **Plant and Soil**, v.331, p.57-67, 2010.
- DONG, H.Z.; LI, W.J.; ENEJI, A.E.; ZHANG, D.M. Nitrogen rate and plant density effects on yield and late-season leaf senescence of cotton raised on a saline field. **Field Crops Research**, v.126, p.137-144, 2012.
- DUARTE, H. H. F.; SOUZA, E. R. Soil Water Potentials and *Capsicum annuum* L. under Salinity, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, 2016.
- DUBOIS, M.; GILLES, K. A.; HAMILTON, J. K.; REBERS, P. A.; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and realited substance. **Analytical Chemistry**, v.28, p.350-356, 1956.
- DUTTA, T., NEELAPU, N.R.R., WANI, S.H., CHALLA, S. **Compatible solute engineering of crop plants for improved tolerance toward abiotic stresses**. IN: Biochemical, Physiological and Molecular Avenues for Combating Abiotic Stress Tolerance in Plants, p.221-254, 2018.
- EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2 ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.
- FAGERIA, N. K. **Tropical soils and physiological aspects of crop yield**. Brasilia, Brazil, EMBRAPA, 1989.
- FAO. **Water in agriculture: opportunity untapped**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2006.
- FAOSTAT, 2017. **World Fertilizer Trends and Outlook to 2020**. Summary Report. Food and Agriculture Organization of the United Nation, Rome.
- 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.; 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, n. 1, p.10-19, 2013.

FEIKEMA, P. M.; MORRIS, J. D.; CONNELL, L. D. The water balance and water sources of a Eucalyptus plantation over shallow saline groundwater. **Plant and Soil**, v.332, p.429–449, 2010.

FEITOSA, H. O.; LACERDA, C. F.; CARVALHO, C. M.; COSTA, R. N. T.; BARBOSA, A. B.; GHEYI, H. R. Productivity and economic analysis of sunflower/maize crop rotation under different levels of salinity and nitrogen. **African Journal of Agricultural Research**, v.11, p.1999-2006, 2016.

FERREIRA, D. F. SISVAR®: **Sistema de análise de variância para dados balanceados**, versão 5.3. Lavras: DEX/UFLA, 2010. (Software estatístico).

FERREIRA, G.B.; CARVALHO, M.C.S. **Adubação do algodoeiro no cerrado: com resultados de pesquisa em Goiás e Bahia**. Campina Grande, Embrapa Algodão. 47p. (Documentos, 138), 2005.

FERREIRA-SILVA, S. L.; SILVEIRA, J. A. G.; VOIGT, E. L.; SOARES, L. S. P.; VIÉGAS, R. A. Changes in physiological indicators associated with salt tolerance in two contrasting cashew rootstocks. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 20, n. 1, p. 51-59, 2008.

FLOWERS, T. J. Improving crop salt tolerance. **Journal of Experimental Botany**, v.55, 307-319, 2004.

FLOWERS, T.J.; MUNNS, R.; COLMER, T.D. Sodium chloride toxicity and the cellular basis of salt tolerance in halophytes. **Annals of Botany**, v.115, p.419–431, 2015.

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.

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. 16, p. 1-15, 2016.

GENC, Y., OLDACH, K., TAYLOR, J., LYONS, G.H. Uncoupling of sodium and chloride to assist breeding for salinity in crops. **New Phytologist**, v.210, p.145–156, 2016.

GHEYARI, M.; MIRLATIFI, S. M.; HOMAEE, M.; ASADI, M. E.; HOOGENBOOM, G. Nitrate leaching in a silage maize field under different irrigation and nitrogen fertilizer rates, **Agriculture Water Management**, v.96, p.946-954, 2009.

GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. F. **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB/SBEA, 383p.1997.

- 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.
- GONDIM, F. A.; GOMES-FILHO, E.; MARQUES, E. C.; PRISCO, J. T. Efeitos do H₂O₂ no crescimento e acúmulo de solutos em plantas de milho sob estresse salino. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 42, n. 2, p. 373-381, 2011.
- GRATTAN, S. R.; C. M. GRIEVE, 1999: Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops, **Scientia Horticulturae**, v. 78, 127–157, 1999.
- GRUPTA, B.; HUANG, B. Mechanism of Salinity Tolerance in Plants: Physiological, Biochemical, and Molecular Characterization, **International Journal of Genomics**, v. 2014, p. 1- 18, 2014.
- GUAN, B.; YU, J.; WANG, X.; FU, Y.; KAN, X.; LIN, Q.; HAN, G.; LU, Z. Physiological Responses of Halophyte *Suaeda salsa* to Water Table and Salt Stresses in Coastal Wetland of Yellow River Delta, **Clean – Soil, Air, Water**, v.39, n.12, p.1029–1035, 2011.
- GUEDES FILHO, D. H.; SANTOS, J. B.; GHEYI, H. G.; CAVALCANTE, L. F.; SANTOS JÚNIOR, J. H. Componentes de produção e rendimento do girassol sob irrigação com águas salinas e adubação nitrogenada. **Irriga**, v. 20, n.3, p. 514-527, 2015.
- GUIMARÃES, I. P.; OLIVEIRA, F. N.; VIEIRA, F. E. R.; TORRES, S. B. Efeito da salinidade da água de irrigação na emergência e crescimento inicial de plântulas de mulungu. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 1, p. 137 -142, 2013.
- GUO, J. S.; ZHOU, Q.; LI, X. J.; YU, B. J.; LUO, Q. Y. Enhancing NO₃⁻ supply confers NaCl tolerance by adjusting Cl⁻ uptake and transport in *G. max* & *G. soja*, **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v.17, n.1, p.194-204, 2017.
- GUO, W.; ZHANG, P.; LI, C.; YIN, J.; HAN, X. Recovery of root growth and physiological characters in cotton after salt stress relief, **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 75, n.1, 2015.
- HARTI, A. E.; LHISSOUA, R.; CHOKMANI, K.; OUZEMOUA, J.; HASSOUNAC, M.; BACHAOURI, E.M.; GHAMARI, A. E. Spatiotemporal monitoring of soil salinization in irrigated Tadla Plain (Morocco) using satellite spectral indices. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 50, p.64–73, 2016.
- HASANUZZAMAN M.; ALAM M. M.; RAHMAN A.; HASANUZZAMAN M.; NAHAR K.; FUJITA M. Exogenous proline and glycine betaine mediated upregulation of antioxidant defense and glyoxalase systems provides better protection against saltinduced oxidative stress in two rice (*Oryza sativa* L.) varieties. **BioMed Research Internatinal**, v. 1, p. 1-17, 2014.
- HASSAAN, S.S.; SARWAR, M. B.; SADIQUE, S.; RASHID, B.; AFTAB, B.; MOHAMED, B. B.; HUSNAIN, T. Growth, Physiological and Molecular Responses of Cotton (*Gossypium arboreum* L.) under NaCl. **American Journal of Plant Sciences**, v.5, p.605-614, 2014.

HESSINI, K.; HAMED, K. B.; GANDOUR, M.; MEJRI, M.; ABDELLY, C.; CRUZ, C. Ammonium nutrition in the halophyte *Spartina alterniflora* under salt stress: evidence for a priming effect of ammonium? **Plant and Soil**, v.370, n.1/2, p.163-173, 2013.

HESSINI, K.; ISSAOURI, K.; FERCHICHI, S.; SAIF, T.; ABDELLY, C.; SIDDIQUE, K. M. S.; CRUZ, C. Interactive effects of salinity and nitrogen forms on plant growth, photosynthesis and osmotic adjustment in maize, **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 139, p.171-178, 2019.

HIGBIE, S. M.; WANG, F.; STEWART, J. McD.; STERLING, T.M.; LINDEMANN WC.; HUGHS, E.; ZHANG, J Physiological response to salt (NaCl) stress in selected cultivated tetraploid cottons. **Internation Journal of Agronomy**, v.1, p.1–12, 2010.

HILBERT, D. W. Optimization of plant root:shoot ratios and internal nitrogen concentration. **Annals of Botany**, v.66, p. 91– 99, 1990.

HOU, Z A.; CHEN, W.P.; XIAO, L.; LIN, X.; WU, L. S. Effects of salinity and fertigation practice on cotton yield and 15N recovery. **Agricultural Water Management**, 96, p.1483–1489, 2009.

HU, Y.; SHMIDHALTER, U. Drought and salinity: A comparison of their effects on mineral nutrition of plants. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.168, p.541-549, 2005.

HU, Y.; BURUCS, Z.; TUCHER, S.V.; SCHMIDHALTER, U. Short-term effects of drought and salinity on mineral nutrient distribution along growing leaves of maize seedlings. **Environmental and Experimental Botany**, v.60, p.268–275, 2007.

HUANG, C.H.; XUE, X.; WANG, T.; DE MASCELLIS, R.; MELE, G.; YOU, Q.G.; PENG, F.; TEDESCHI, A. Effects of saline water irrigation on soil properties in Northwest China, **Environmental Earth Sciences**, v.63, n.4, p.701-708, 2010.

HUSSEIN, M.M.; ABOU-BAKER, N. H. The contribution of nano-zinc to alleviate salinity stress on cotton plants, **Royal Society open science**, v.5, 2018.

IBRAHIM, M. E. H.; ZHU, X.; ZHOU, G.; ALI, A. Y. A.; AHMADI, I.; FARAH, G. A. Nitrogen fertilizer alleviated negative impacts of NaCl on some physiological parameters of wheat. **Pakistan Journal of Botany**, v. 50, n.6, 2097-2104, 2018.

JAMES, R. A.; BLAKE, C.; ZWART, A. B.; HARE, C. R. A.; RATHJEN, A. J.; MUNNS, R. Impact of ancestral wheat sodium exclusion genes *Nax1* and *Nax2* on grain yield of durum wheat on saline soils. **Functional Plant Biology**, v. 39, p. 609–618, 2012.

JAMIL, M, R.; CHARNIKHOVA,, J.; BOUWMEESTER, H. J. Pre-attachment *Striga hermonthica* resistance of New Rice for Africa (NERICA) cultivars based on low strigolactone production. **New Phytologist** , v.192, p.964– 975, 2011.

JAMIL, M.; REHMAN, S.; LEC, K. J.; KIM, J. M.; KIM, H. S.; RHA, E. S. Salinity reduced growth PS2 photochemistry and chlorophyll content in radish. **Scientia Agricola**, v.64, p.111-118, 2007.

JIANG, L.; L. WANG, C.; YIN.; C. TIAN. Differential salt tolerance and similar responses to nitrogen availability in plants grown from dimorphic seeds of *Suaeda salsa*. **Flora**, v. 207, p. 565-571, 2012.

JIMÉNEZ-AGUIRRE, M.T.; ISIDORO, D. Hydrosaline Balance in and Nitrogen Loads from an irrigation district before and after modernization, **Agricultural Water Management**, v. 208, p.163-175, 2008.

KAFKAFI, U.; VALORAS, N.; LETEY, J. Chloride interaction with nitrate and phosphate nutrition in tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). **Journal of Plant Nutrition**, v. 5, n. 12, p. 1369-1385, 1982.

KAYA, C.; TUNA, A.L.; OKANT, A.M. Effect of foliar applied kinetin and indole acetic acid on maize plants grown under saline conditions. **Turkish Journal of Agriculture and Florestry**, v. 34, p.529–538, 2010.

LACERDA, C. F. DE; COSTA, R. N. T.; BEZERRA, M. A.; NEVES, A. L. R.; SOUSA, G. G. DE; GHEYI, H. R. **Estratégias de manejo para uso de água salina na agricultura**. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. DA S.; LACERDA, C. F. DE; GOMES FILHO, E. Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicados. 2.ed. Fortaleza: INCTSal, 2016a. Cap.21, p.337-352.

LACERDA, C. F.; ASSIS JR, J.O.; LEMOS FILHO, L.C.A.; OLIVEIRA, T.S.; GUIMARÃES, F.V.A.; GOMES-FILHO, E.; PRISCO, J.T.; BEZERRA, M.A. Morphophysiological responses of cowpea leaves to salt stress. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 18, n. 04, p. 455-465, 2006.

LACERDA, C. F.; CAMBRAIA, J.; CANO, A. O.; RUIZ, H. A.; PRISCO, J. T. Solute accumulation and distribution during shoot leaf development in two sorghum genotypes under salt stress. **Environmental and Experimental Botany**, v. 49, p 107–120, 2003.

LACERDA, C. F.; FERREIRA, J. F.S.; SUAREZ, D. L.; FREITAS, E. D.; LIU, X.; RIBEIRO, A. A. Evidence of nitrogen and potassium losses in soil columns cultivated with maize under salt stress. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.22, n.8, p.553-557, 2018.

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. 201, p. 192-202, 2016.

LE NOE, J.; BILLEN, G.; GARNIER, J. How the structure of agro-food systems shapes nitrogen, phosphorus, and carbon fluxes: The generalized representation of agro-food system applied at the regional scale in France, **Science of the Total Environment**, v. 586, p.42-55, 2017.

- LEA-COX, J. D.; J. P. SYVERTSEN. Salinity reduces water use and nitrate-N-use efficiency of citrus. **Annals of Botany**, v. 72, p.47–54, 1993.
- LEE, G.; DUNCAN, R.R.; CARROW, R.N. Nutrient uptake responses and inorganic ion contribution to solute potential under salinity stress in halophytic seashore paspalums. **Crop Science**, v. 47, p.2504–2512, 2007.
- LEIDI, E.O.; SILBERBUSH, M.; SOARES, M. I.M.; LIPS, S.H. Salinity and nitrogen nutrition studies on peanut and cotton plants. **Journal of Plant Nutrition**, v.15, p. 591-604, 1992.
- LI, S.; LI, S.; ZHANG, B.; LI, D.; LI, G.; LI, Y. Effect of different organic fertilizers application on growth and environmental risk of nitrate under a vegetable field. **Scientific Reports**, v. 7, n. 17020, p.17-20, 2017.
- LIMA SOUZA, M. W.; 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, n.3, p 65-72, 2014.
- LIMA, G. S.; DIAS, A.S.; GHEYI, H.R.; SOARES, L.A.A.; ANDRADE, E. M. G. Saline water irrigation and nitrogen fertilization on the cultivation of colored fiber cotton. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 1, p. 151 – 160, 2018.
- LIMA, G. S.; NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. A.; PINHEIRO, F. W. A.; DIAS, A. S. Crescimento, teor de sódio, cloro e relação iônica na mamoneira sob estresse salino e adubação nitrogenada. **Comunicata Scientiae**, v.6, n. 2, p. 212-223, 2015.
- LIRA, R. M.; SILVA, E. F. F.; BARROS, M. S.; GORDIN, L. C.; WILLADINO, L. G.; BARBOSA, R. F. Water potential and gas exchanges in sugarcane irrigated with saline Waters. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.22, n.10, p.679-682, 2018.
- LOMBA, A.; STROHBACH, M.; JERRETRUP, J. S.; DAUBER, J.; KLIMEK, S.; MCCracken, D. I. Making the best of both worlds: Can high-resolution agricultural administrative data support the assessment of High Nature Value farmlands across Europe? **Ecological Indicators**, v.72, p. 118-130, 2017.
- LUCENA, C. C.; SIQUEIRA, D. L.; MARTINEZ, H. E. P.; CECON, P. R. Efeito do estresse salino na absorção de nutrientes em mangueira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 1, 2012.
- LYRA, G. B.; ROCHA, A. E. Q.; LYRA, G.B.; SOUZA, J. L.; TEODORO, I. Crescimento e produtividade do milho, submetido a doses de nitrogênio nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. **Revista Ceres**, v. 61, n.4, p. 578-586, 2014.
- MA, T.; ZENG, W.; LI, Q.; WU, J.; HUANG, J. Effects of water, salt and nitrogen stress on sunflower (*Helianthus annuus* L.) at different growth stages. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 16, p. 1024-1037, 2016.

MAAS, E. V. Salt tolerance in plants. **Applied Agricultural Research**, v.1, p.12-26, 1986.

MAAS, E. V.; HOFFMAN, G. J. Crop salt tolerance - current assessment. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, v.103, p.115-134, 1977.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Editora Ceres, 2006. 631p.

MANSOUR, M. M. F.; ALI, E. F. Evaluation of proline functions in saline conditions. **Phytochemistry**, v. 140, p. 52-68, 2017.

MANSOUR, M. M. F.; ALI, E. F. Glycinebetaine in saline conditions: an assessment of the current state of knowledge. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 39, p. 56, 2017.

MARSCHNER, P. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. London: Academic Press, 2012.

MASUNGA, R.H., UZOKWE, V. N.; MILAY, P. D.; ODEH, I.; SINGH, A.; BUCHAN, D.; NEVE, S. D. Nitrogen mineralization dynamics of different valuable organic amendments commonly used in agriculture. **Applied Soil Ecology**, v.101, p.185–193, 2016.

MEDEIROS, J. F. de. **Qualidade da água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo “GAT” nos Estados do RN, PB e CE**. Campina Grande: UFPB, 1992. 173p. Dissertação de Mestrado.

MEDEIROS, J. F. DE; DIAS, N. S.; BARROS, A. D. Manejo da irrigação e tolerância do meloeiro a salinidade da água de irrigação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.3, p.242-247, 2008.

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.

MENDES, B. S. S.; WILLADINO, L.; CUNHA, P. C.; OLIVEIRA FILHO, R. A.; CAMARA, T. R. Mecanismo fisiológicos e bioquímicos do abacaxi ornamental sob estresse salino. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 3, p. 71-77, 2011.

MENEZES, R. V.; AZEVEDO NETO, A. D.; RIBEIRO, M. O.; COVA, A. M. W. Growth and contents of organic and inorganic solutes in amaranth under salt stress. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 47, n. 1, p. 22-30, 2017.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**, 5th edn. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2001.

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

MILLER, A.J.; FAN, X.; ORSEL, M.; SMITH, S.J.; WELLS, D.M. Nitrate transport and signaling. **Journal of Experimental Botany**, v.58, p.2297-2306, 2007.

MIN, W.; HOU, Z.; L, Ma.; ZHANG, W.; RU, S.; YE, J. Effects of water salinity and N application rate on water-and N-use efficiency of cotton under drip irrigation. **Journal of Arid Land**, n. 6, p.454-467, 2014.

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*. **Ceres**, v. 62, n.6, p. 589-596, 2015.

MÜHLING, K. H.; LÄUCHLI, A. Effect of salt stress on growth and cation compartmentation in leaves of two plant species differing in salt tolerance. **Journal of Plant Physiology**, v.159, p.137-146, 2002.

MUNIS, M.F.H.; TU, L.; ZIAF, K.; TAN, J.; DENG, F.; ZHANG, X. Critical osmotic, ionic and physiological indicators of salinity tolerance in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) for cultivar selection. **Pakistan Journal of Botany**, v.42, p.1685-1694, 2010.

MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, Cell and Environment**, v. 28, n.2, p.239-250, 2002.

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

MUNNS, R. The impact of salinity stress. **Plant stress**. Virtual article. Disponível em: http://www.plantstress.com/Articles/salinity_i/salinity_i.htm. Acesso em: 14 jul. 2016

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

MUNS, R.; GILLIHAM, M. Salinity tolerance of crops – what is the cost? **New Phytologist**, v.208, n.3, p.1-7, 2015.

NAÇÕES UNIDAS, 2017. **World population prospects: 2017 revision population database online** at. <http://www.un.org/esa/population/unpop.htm>. Acessado em 22 de dezembro de 2017.

NADEEM, S. M.; ZAHEER, Z. A.; NAVEED, M.; NAWAZ, S. Mitigation of salinity-induced negative impact on the growth and yield of wheat by plant growth-promoting rhizobacteria in naturally saline conditions, **Annals of Microbiology**, v. 63, n.1, p.225-232, 2013.

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

- NASRAOUI, H. A.; D. BOUTHOUR.; R. HFAIDH.; H. GOUIA.; K. PAGEAU.; H. C. CHAFFEI. The role of nitrogen availability for the salt-tolerance of two different varieties of durum wheat. **Bull Environ Contam Toxicol**, v. 91, p.711–717, 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.
- NGUYEN, C.T.; AGORIO, A.; JOSSIER, M.; DEPRÉ, S.; THOMINE, S.; FILLEUR, S. Characterization of the chloride channel-like, AtCLCg, involved in chloride tolerance in *Arabidopsis thaliana*. **Plant Cell Physiology**, v. 57, p.764–775, 2015.
- NIU, G.; XU, W.; RODRIGUEZ, D.; SUN, Y. Growth and physiological responses of maize and sorghum genotypes to salt stress, **International Scholarly Research Network**, v. 12, 12 páginas, 2012.
- NOBRE, R. G.; LIMA, G. S.; GHEYI, H. R.; LOURENÇO, G. S.; SOARES, L. A. A. Emergência, crescimento e produção da mamoneira sob estresse salino e adubação nitrogenada. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p. 76-85, 2013.
- 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, n.5, p.480–486, 2014.
- OLIVEIRA, F. A.; MEDEIROS, J. F.; OLIVEIRA, F. R. A.; FREIRE, A. G.; SOARES, L. C. S. Produção do algodoeiro em função da salinidade e tratamento de sementes com regulador de crescimento. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 2, p. 279-287, 2012.
- PAN, B.; LAM, S.K.; MOSIER, A.; LUO, Y.; CHEN, D. Ammonia volatilization from synthetic fertilizers and its mitigation strategies: a global synthesis. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.232, p.283–289, 2016.
- PANG, Q; CHEN, S.; DAI, S.; CHEN, Y.; WANG, Y.; YAN, X. Comparative proteomics of salt tolerance in *Arabidopsis thaliana* and *Thellungiella halophila*. **Journal of Proteome Research**, v.9, n. 5, p. 2584–2599, 2010.
- PATADE, V. Y.; BHARGAVA, S.; SUPRASANNA, P. Salt and drought tolerance of sugarcane under iso-osmotic salt and water stress: growth, osmolytes accumulation, and antioxidant defense. **Journal of Plant Interactions**, v. 6, p. 275-282, 2011.
- PIZARRO, D. **Drenaje agrícola y recuperacion de suelos salinos**. Madrid, Ed. Agrícola Española, 1978. 520p.
- PLAŻEK, A.; TATRZAŃSKA, M.; MACIEJEWSKI, M.; KOŚCIELNIAK, J.; GONDEK, K.; BOJARCZUK, J.; DUBERT, F. Investigation of the salt tolerance of new Polish bread and durum wheat cultivars. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 35, n. 8, p. 2513-2523, 2013.

QIU, J.; HENDERSON, S.W.; TESTER, M.; ROY, S.J.; GILLIHAM, M. SLAH1, a homologue of the slow type anion channel SLAC1, modulates shoot Cl⁻ accumulation and salt tolerance in *Arabidopsis thaliana*. **Journal of Experimental Botany**, v. 67, p.4495-4505, 2016.

QU, C.; LIU, C.; GONG, X.; LI, C.; HONG, M.; WANG, L. Impairment of maize seedling photosynthesis caused by a combination of potassium deficiency and salt stress. **Environmental and Exerimental Botany**, 75, 134–141, 2012.

RAHNAMA, A.; JAMES, R. A.; POUSTINI, K.; MUNS, R. Stomatal conductance as a screen for osmotic stress tolerance in durum wheat growing in saline soil. **Functional Plant Biology**, v.37, p.255–263, 2010.

RAMOS, T. B.; J. SIMUNEK.; M. C. GONÇALVES.; J. C. MARTINS.; A. PRAZERES.; L. S. PEREIRA. Two-dimensional modeling of water and nitrogen fate from sweet sorghum irrigated with fresh and blended saline waters. **Agricultural Water Management**, v.111, p.87–104, 2012.

RAMOS, T. B.; SIMUNEK, J.;GONÇALVES, M. C.; MARTINS, J. C.; PRAZERES, A.; PEREIRA, L. S. Two-dimensional modeling of water and nitrogen fate from sweet sorghum irrigated with fresh and blended saline waters. **Agricultural Water Manage**, v.111, p.87-104, 2012.

RASHIDI, M.; GHOLAMI, M. Response of yield and yield components of cotton to different rates of nitrogen fertilizer. **Academic Journal of Plant Sciences**, v.4, p.22-25, 2011.

RHOADES, J. D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M. **Uso de águas salinas para produção agrícola**. UFPB: Campina Grande, 2000. 117p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 48).

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. 449484.

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

ROY, S.J.; NEGRÃO, S.; TESTER, M. Salt resistant crop plants. **Current Opinion in Biotechnology**, v.26, p.115–124, 2014.

SACRAMENTO, B. L.; CRUZ, T. H.; LOPES SILVA, L.; MOTA, K. N. A. B.; NETO, A. D. A. Pigmentos e teores de solutos orgânicos em plantas de aguapé sob estresse salino. **Enciclopédia Biosfera**, v.10, n.18; p. 33-44, 2014.

SALEH, B. Effect of salt stress (NaCl) on biomass and K⁺/Na⁺ ratio in cotton. **Journal of Stress Physiology & Biochemistry**, v.7, n. 4, 2011.

SANTOS, B. dos; FERREIRA, P. A.; OLIVEIRA, F. G. de; BATISTA, R. O.; COSTA, A. C.; CANO, M. A. O.; Produção e parâmetros fisiológicos do amendoim em função do estresse salino. **Revista Idesia**, v.30, p.69-74, 2012.

SANTOS, J. B.; GHEYI, H. R.; LIMA, G.S.; XAVIER, D.A.; CAVALCANTE, L.F.; CENTENO, C.R.M. Morfofisiologia e produção do algodoeiro herbáceo irrigado com águas salinas e adubado com nitrogênio. **Comunicata Scientiae**, v.7, n.1, p. 86-96, 2016.

SAQIB, M.; AKHTAR, J.; QURESHI, R.H.; ASLAM, M.; NAWAZ, S. Effect of salinity and hypoxia on growth and ionic composition of different genotypes of wheat. **Pakistan Journal Soil Science**, v.17, p.1-8, 2000.

SCHIATTONE, M. I.; CANDIDO, V.; CANTORE, V.; MONTESANO, F. F.; BOARI, F. Water use and crop performance of two wild rocket genotypes under salinity conditions. **Agricultural Water Management**, v.194, p.214-221, 2017.

SCHOEBITZ, M.; LÓPEZ, M. D.; ROLDÀN, A. Bioencapsulation of microbial inoculants for better soil–plant fertilization. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v.33, p.517-765, 2013.

SEGAL, E.; SHOUSE, P.; POSS, J. A.; CROHN, D. M.; BRADFORD, S. A. Recommendations for nutrient management plans in a semiarid environment. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v.137, p.317-328, 2010.

SEGAL, E.; P. SHOUSE.; J. A. POSS.; D. M. CROHN.; S. A. BRADFORD. Recommendations for nutrient management plans in a semi-arid environment. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.137, p.317– 328, 2010.

SEMİZ, G. D., SUAREZ, D. L.; ÜNLÜKARA, A.; YURTSEVEN, E. Interactive effects of salinity and N on pepper (*Capsicum annuum* L.) yield, water use efficiency and root zone and drainage salinity. **Journal of Plant Nutrition**, v.37, p.595-610, 2014.

SEPASKHAH, A.R.; BARZEGAR, M. Yield, water and nitrogen-use response of rice to zeolite and nitrogen fertilization in a semi-arid environment. **Agriculture and Water Management**, v.98, n.1, 38-44, 2010.

SHAHBAZ, M.; ASHRAF, M. Improving salinity tolerance in cereals. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v.32, p.237-249, 2013.

SHAHZAD, M.; WITZEL, K.; ZORB, C.; MUHLING, K.H. Growth-related changes in subcellular ion patterns in maize leaves (*Zea mays* L.) under salt stress. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 198:46–56, 2012.

SHANKER, A.K.; B. VENKATESWARLU, 2011. **Abiotic Stress in Plants-Mechanisms and Adaptations**. InTech Publisher, Rijeka, Croatia, ISBN: 9789533073941, 428p, 2011.

SHENKER, M.; BEN-GAL, A.; SHANI, U. Sweet corn response to combined nitrogen and salinity environmental stresses. **Plant Soil**, v.256, p.139–147, 2003.

SHOMEILI, M.; NABIPOUR, M.; MESKARBASHEE, M.; MEMARI, H. R. Effects of gibberellic acid on sugarcane plants exposed to salinity under a hydroponic system. **African Journal of Plant Science**, v. 5, n. 10, p. 609-616, 2011.

- SHRIVASTAVA, P.; KUMAR, R. Soil salinity: A serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. **Saudi Journal of Biological Science**, v.22, p.123-31, 2015.
- SILVA, A. O. S.; KLAR, A. E.; SILVA, E. F. F.; TANAKA, A. A.; JUNIOR, J. F. S. Relações hídricas em cultivares de beterraba em diferentes níveis de salinidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.10, p.1143–1151, 2013.
- SINGH, A. Conjunctive use of water resources for sustainable irrigated agriculture, **Journal of Hydrology**, v.519, p. 1688-1697, 2014a.
- SINGH, A. Irrigation planning and management through optimization modeling, **Agricultural Water Management**, v.28, n.1, p. 1-14, 2014b.
- SINGH, A. Decision support for on-farm water management and long-term agricultural sustainability in a semi-arid region of India, **Journal of Hydrology**, v. 391, p. 63-76, 2010.
- SINGH, A. Estimating long-term regional groundwater recharge for the evaluation of potential solution alternatives to waterlogging and salinization, **Journal of Hydrology**, v. 406, p. 245 -255, 2011.
- SINGH, A. Hydrological problems of water resources in irrigated agriculture: a management perspective. **Journal of Hydrology**, v.541, p.1430–1440, 2016.
- SINGH, A. Managing the environmental problems of irrigated agriculture through the appraisal of groundwater recharge. **Ecological Indicators**, v.92, p.388–393, 2018a.
- SINGH, A. Salinization of agriculture lands due to poor drainage: a view-point. **Ecological Indicators**, v, 95, p. 127-130, 2018b.
- SINGH, A. Optimal allocation of water and land resources for maximizing the farmincome and minimizing the irrigation-induced environmental problems. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, v.31, n.5,p. 1147–1154, 2017a.
- SINGH, A. Waterlogging and salinity management for sustainable irrigated agri-culture. II: engineering measures and bio-drainage. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 143, n. 9, 2017b.
- SINGH, A. Soil salinization and waterlogging: a threat to environment and agricultural sustainability. **Ecological Indicators**, v.57, 128–130, 2015.
- SINGH, A. Managing the environmental problems of irrigated agriculture through the appraisal of groundwater recharge. **Ecological Indicators**, v.92, p.388–393, 2018.
- SLAMA, I.; ABDELLEY, 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.

- SOARES, L. A. A.; FERNANDES, P. D.; LIMA, G. S.; SUASSUNA, J. F.; PEREIRA, R. F. Gas exchanges and production of colored cotton irrigated with saline water at different phenological stages, **Revista Ciência Agronômica**, v. 49, n. 2, p. 239-248, 2018.
- SOUSA G. G.; LACERDA, C. F.; SILVA, G. L.; FREITAS, C. A. S.; CAVALCANTE, L. F.; SOUSA, C. H. C. Acumulação da biomassa, teores e extração de micronutrientes em plantas de milho irrigada com águas salinas. **Revista Agropecuária Técnica**, v. 31, n. 02, p. 1-10, 2010a.
- SOUSA, A. E. C.; GHEYI, H. R.; CORREIA, K. G.; SOARES, F. A. L.; NOBRE, R. G. Crescimento e consumo hídrico de pinhão manso sob estresse salino e doses de fósforo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 2, p. 310-318, 2011.
- SOUSA, C. H. S.; LACERDA, C. F.; BEZERRA, F.M.L.; FILHO, E. G.; G.H.R.; SOUSA, A.E. C.; SOUSA, G. G. Respostas morfofisiológicas de plantas de sorgo, feijão-de-corda e algodão sob estresse salino. **Agropecuária Técnica**, v. 31, n. 2, p 29– 36, 2010b.
- SOUSA, C. H. S.; LACERDA, C. F.; BEZERRA, F.M.L.; FILHO, E. G.; G.H.R.; SOUSA, A.E. C.; SOUSA, G. G. Respostas morfofisiológicas de plantas de sorgo, feijão-de-corda e algodão sob estresse salino. **Agropecuária Técnica**, v. 31, n. 2, p 29– 36, 2010a.
- 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, n.11, p.1143–1151, 2010b.
- SOUSA, G. G.; RODRIGUES, V. S.; SOARES, S. C.; DAMASCENO, I. N.; FIUSA, J. N.; SARAIVA, S. E.L. Irrigation with saline water in soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) in a soil with bovine biofertilizer. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.22, n.9, p.604-609, 2018.
- 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, n.1, p. 44-53, 2016.
- SOUSA, L. P.; NOBRE, R. G.; SILVA, E. M.; GHEYI, R. G.; SOARES, L. A. A. Produção de porta-enxerto de goiabeira cultivado com águas de diferentes salinidades e doses de nitrogênio. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 4, p. 596-604, 2017.
- SOUZA, L. P.; LIMA, G. S.; GHEYI, H. R.; NOBRE, R. G.; SOARES, L. A. A. Emergence, growth, and production of colored cotton subjected to salt stress and organic fertilization. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 3, p. 719 – 729, 2018.
- STEPPUHN, H.; GENUCHTEN, M.T.; GRIEVE, C.M. Root-zone salinity: I. Selecting a product-yield index and response function for crop tolerance. **Crop Science**, v.45, p.209-220, 2005.
- TABATABAEI, S. J. Effects of salinity and N on the growth, photosynthesis and N status of olive (*Olea europaea* L.) trees. **Scientia Horticulturae**, v. 108, p.432–438, 2006.

TAIZ, L., ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

TEDESCHI, A.; ZONG, L.; HUANG, C. H.; VITALE, L.; VOLPE, M. G.; XUE, X. Effect of salinity on growth parameters, soil water potential and ion composition in Cucumis melo cv. Huanghemi in North-western China. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v.203, 41–55, 2017.

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

TRINDADE, A.R.; LACERDA, C.F.; GOMES FILHO, E.; BEZERRA, M.A. & PRISCO, J.T. Influência do acúmulo e distribuição de íons sobre a aclimação de plantas de sorgo e feijão-de-corda, ao estresse salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.804-810, 2006.

TSIMPHO, C. J. **Efeito da salinidade da água de irrigação e de frações de lixiviação no cultivo do milho (*Zea mays* L.)**. 2011. 87p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2011.

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, v.7, p. 584-588, 2010.

TURNER, N.C. Turgor maintenance by osmotic adjustment, an adaptive mechanism for coping with plant water deficits. **Plant, Cell & Environment**, v.40, n.1, p.1–3, 2017.

TUTEJA, N.; SAHOO, R. K.; GARG, B.; TUTEJA, R. Os SUV3 dual helicase functions in salinity stress tolerance by maintaining photosynthesis and antioxidant machinery in rice (*Oryza sativa* L. cv. IR64). **The Plant Journal**, v. 76, n. 1, p. 115–127, 2013.

VAFADAR, F.; R. AMOOAGHAIE.; M. OTROSHY. Effects of plant-growth-promoting rhizobacteria and arbuscular mycorrhizal fungus on plant growth, stevioside, NPK, and chlorophyll content of *Stevia rebaudiana*. **Journal of Plant Interactions**, v.9, p. 128-136, 2014.

VERMA, A. K.; GUPTA, S. K.; ISAAC, R. K. Use of saline water for irrigation in monsoon climate and deep water table regions: Simulation modeling with SWAP. **Agricultural Water Management**, v.115, p. 186–193, 2012.

VILLA-CASTORENA, M.; ULERY, A L.; CATALÁN-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.

WAN, L.; ZHANG, M. R.; LU, S.; HU, K. Study Progress on Effect of Polluted Water Irrigation on Soil and Problem Analysis, **Ecology and Environmental Sciences**, v.24, p.906-910, 2015.

WANDERLEY, J. A. C.; AZEVEDO, C. A.V.; BRITO, M. E. B.; CORDÃO, M. A.; LIMA, R. F.; FERREIRA, F. N. Nitrogen fertilization to attenuate the damages caused by salinity on yellow passion fruit seedlings. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.22, n.8, p.541-546, 2018.

WANDERLEY, R. A. **Salinização de solos sob aplicação de rejeito de dessalinizadores com e sem adição de fertilizantes**. 2009. 52 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade de Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009.

WANG, S.; LI, X.; LU, J.; HONG, J.; CHEN, G.; XUE, X.; WEI, Y.; ZOU, J.; LIU, G. Effects of controlled-release urea application on the growth, yield and nitrogen recovery efficiency of cotton Suping, **Agricultural Sciences**, v. 4, p.33-38, 2013.

WANG, X.; J. HAN. Changes of proline content, activity, and active isoforms of antioxidative enzymes in two alfalfa cultivars under salt stress. **Agricultural Sciences in China**, v.8, p.431-440, 2009.

WANG, Y. Q.; LI, S. Y.; CAI, X. D. Advance of Research on Sewage Irrigation in Farmland in China, **Tianjin Agricultural Sciences**, v.16, p. 77-80, 2010.

WEI, M.; HUI-JUAN, G.; WEN, Z.; GUANG-WEI, Z.; LI-JUAN, M.; JUN, Y.; ZHEN-AN, H. Irrigation water salinity and N fertilization: Effects on ammonia oxidizer abundance, enzyme activity and cotton growth in a drip irrigated cotton field. **Journal of Integrative Agriculture**, v.15, n.5, p.1121–1131, 2016.

WEI, P.P.; CHEN, D.M.; JING, R.N.; ZHAO, C.R.; YU, B.J. Ameliorative effects of foliar methanol spraying on salt injury to soybean seedlings differing in salt tolerance. **Plant Growth Regulation**. 75, 133–141, 2015.

WU, X. X; DING, H. D.; ZHU, Z. W.; YANG, S. J.; ZHA, D. S. Effects of 24epibrassinolide on photosynthesis of eggplant (*Solanum melongena* L.) seedlings under salt stress. **African Journal of Biotechnology**, v. 11, n. 35, p. 8665-8671, 2012.

XIE, Y.I.; XIA, D.X.; JI, L.; HUANG, G. H. An inexact stochastic-fuzzy optimization model for agricultural water allocation and land resources utilization management under considering effective rainfall. **Ecological Indicators**, v. 92, p. 301-311, 2018.

XU, G.; MAGEN, H.; TARCHITZKY, J.; KAFKAFI U. Advances in chloride nutrition of plants. **Advances in Agronomy**, v.68, p.97–150, 2000.

XU, H.; LU, Y.; TONG, S. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on photosynthesis and chlorophyll fluorescence of maize seedlings under salt stress. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v.30, n. 3, p.199-204, 2018.

XUE, J.; REN, L. Conjunctive use of saline and non-saline water in an irrigation district of the Yellow River Basin. **Irrigation and Drainage**. V. 66, p.147-162, 2017.

YAN, G.; YAO, Z.; ZHENG, X.; LIU, C. Characteristics of annual nitrous and nitric oxide emissions from major cereal crops in the North China Plain under alternative fertilizer management. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.207, p.67–78, 2015.

YASMEEN, A.; BASRA, S.M.A.; FAROOQ, M.; REHMAN, H.; HUSSAIN, N.; ATHAR, H.R. Exogenous application of moringa leaf extract modulates the antioxidant enzyme system to improve wheat performance under saline conditions. **Plant Growth Regul**, v. 69, p.225–233, 2013.

YASUOR, H.; TAMIR, G.; STEIN, A.; COHEN, S.; BAR-TAL, A.; BEN-GAL, A.; YERMIYAHU, U. Does water salinity affect pepper plant response to nitrogen fertigation? **Agricultural Water Management**, v. 191, p. 57-66, 2017.

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

YUAN, J. F.; G. FENG.; H. Y. MA.; C. Y. TIAN. Effect of nitrate on root development and nitrogen uptake of *Suaeda physophora* under NaCl salinity. **Pedosphere**, v.20, p.536-544, 2010.

YUAN, X. M.; TONG, Y. A.; YANG, X. Y.; LI, X. L.; ZHANG, F. S. Effect of phosphate application on soil nitrate nitrogen accumulation. **Plant Nutrition and Fertilizer Science**, v.6, p.397-403, 2000.

ZAHEDIFAR, M.; RONAGHI, A.; MOOSAVI, A.A.; SHIRAZI, S.S. Influence of nitrogen and salinity levels on the fruits yields and chemical composition of tomato in a hydroponic culture. **Journal of Plant Nutrition**, v.35, p.2211-2221, 2012.

ZAKERY-ASL, M.; BOLANDNAZAR, S.; OUSTAN, S. Effect of salinity and nitrogen on growth, sodium, potassium accumulation, and osmotic adjustment of halophyte *Suaeda aegyptiaca*(Hasselq.) Zoh. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v.60, n. 6, p.785-792, 2014.

ZENG, W., XU, C., HUANG, J., WU, J., GAO, Z. Interactive effect of salinity and nitrogen application on sunflower growth. **Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering**, v. 30, p. 86-94, 2014.

ZHANG, D.; W. LI.; C. XIN.; W. TANG.; A. E. ENEJI.; H. DONG. Lint yield and nitrogen use efficiency of field-grown cotton vary with soil salinity and nitrogen application rate. **Field Crops Research**, v.138, p.63–70, 2012.

ZHANG, X.; BOL, R.; RAHN, C.; XIAO, G.; MENG, F.; WU, W. Agricultural sustainable intensification improved nitrogen use efficiency and maintained high crop yield during 1980–2014 in Northern China. **Science of the Total Environment**, v. 596-597, p.61-68, 2017.

ZHANG, X.; G. HUANG.; X. BIAN.; Q. ZHAO. Effects of root interaction and nitrogen fertilization on the chlorophyll content, root activity, photosynthetic characteristics of intercropped soybean and microbial quantity in the rhizosphere. **Plant, Soil and Environment**, v.59, p.80-88, 2013.

ZHOU, M.; BUTTERBACH-BAHL, K. Assessment of nitrate leaching loss on a yield-scaled basis from maize and wheat cropping systems, **Plant Soil**, p. 374-977, 2014.