

CELESTINO JOLAMO TSIMPHO

**EFEITO DA SALINIDADE DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO E DE FRAÇÕES DE
LIXIVIAÇÃO NO CULTIVO DO MILHO (*Zea mays* L.)**

RECIFE

2011

CELESTINO JOLAMO TSIMPHO

**EFEITO DA SALINIDADE DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO E DE FRAÇÕES DE
LIXIVIAÇÃO NO CULTIVO DO MILHO (*Zea mays* L.)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, UFRPE, como parte das exigências para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Engenharia de Água e solo.

Orientador: Prof. Dr. Ênio Farias de França e Silva
Co-Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Lília Gomes Willadino

RECIFE

2011

Ficha catalográfica

T882e Tsimpho, Celestino Jolamo
Efeito da salinidade da água de irrigação e de frações de
lixiviação no cultivo do milho (*Zea mays* L.). / Celestino Jolamo
Tsimpho. – Recife, 2011.
86 f. :il.

Orientador: Ênio Farias de França e Silva
Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) –
Universidade Federal Rural de Pernambuco. Departamento de
Tecnologia Rural, Recife, 2011.
Referências.

1. Lisímetro de drenagem 2. Estresse salino 3. Enzimas
antioxidantes 4. Produção de espigas I. Silva, Ênio Farias
de França e, orientador II. Título

CDD 631.7

**EFEITO DA SALINIDADE DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO E DE FRAÇÕES DE
LIXIVIAÇÃO NO CULTIVO DO MILHO (*Zea mays* L.)**

CELESTINO JOLAMO TSIMPHO

Dissertação defendida e aprovada em 23 de Dezembro de 2011 pela Banca

Examinadora:

Orientador:

Ênio Farias de França e Silva, Prof. Dr.

DTR/UFRPE

Examinadores:

Lília Gomes Willadino, Prof^a. Dr^a

DQ/UFRPE

José Nildo Tabosa, Dr.

IPA

Pedro Robinson Fernandes de Medeiros, Prof. Dr

DTR/UFRPE

As dificuldades não foram poucas
 Os desafios foram muitos
 Os obstáculos, muitas vezes, pareciam intransponíveis
 Muitas vezes nos sentimos só e, assim estivemos
 O desânimo quis contagiar, porém, a garra e a tenacidade
 foram mais fortes sobrepondo esse sentimento, fazendo-nos seguir a caminhada, pesar
 da sinuosidade do caminho
 Agora, ao olharmos para trás, a sensação de dever cumprido se faz presente e
 podemos constatar que as noites de sono perdidas... O cansaço. os
 longos tempos de leitura, digitação, discussão; a ansiedade
 em querer fazer e a angústia de muitas vezes não o
 conseguir ... Não foram em vão.
 Aqui estamos, como sobrevivente de uma longa batalha, porém, muito mais fortes e
 hábeis, com coragem suficiente para mudar nossa postura, apesar de todos obstáculos

(Autor Desconhecido)

Como dizia *Antoine Saint Exupéry* em sua obra prima *O Pequeno Príncipe*:
 “*Foi o tempo que perdeste com a tua rosa, que fez a tua rosa tão importante.*”

“De tudo ficaram três coisas:
 A certeza de que estamos apenas começando,
 A certeza de que é preciso continuar
 E a certeza de que podemos ser interrompidos antes de terminar.
 Fazer da interrupção um caminho novo,
 Fazer da queda um passo de dança,
 Fazer do medo uma escada,
 Fazer do sonho a ponte.”

(Fernando Sabino)

*“A esperança é algo que traz o sol às sombras das nossas vidas.
É nosso vínculo com um amanhã melhor. Quando a esperança
se vai, também se vai nossa força vital. Enquanto a esperança
permanece viva, também permanece nossa determinação de
prosseguir”*

Roni Petterson

*Às vezes, quando tudo parece dar errado,
acontecem coisas tão maravilhosas que jamais teriam acontecido,
se tudo tivesse dado certo”*

Roni Petterson

Aos meus pais Jolamo Tsimpho (in
memoriam) e Cativa Cumbucane

DEDICO

A minha esposa e meus filhos

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Ao Ser superior, independente de crença ou religião, por mostrar através da vida, dos fatos e das pessoas, que enquanto existe luta e vontade de vencer também existem grandes vitórias;

À Universidade Federal Rural de Pernambuco, através do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento da bolsa;

Ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade do CNPq pelo apoio financeiro para o desenvolvimento da pesquisa;

Ao Instituto de Investigação Agrária de Moçambique (IIAM) e ao Ministério de Ciência e Tecnologia de Moçambique pela concessão da bolsa de estudos;

Aos meus pais, Jolamo Tsimpho (in memoriam) e Cativa Cumbucane, que nunca pouparam esforços e pelos ensinamentos de humildade, respeito ao próximo, dedicação, confiança e amor;

A minha esposa e meus filhos Paulina, Ênio, Isabel, Lúcia, Nila e Idalcia, pela solidão durante a minha ausência e por terem acreditado em mim;

Aos meus irmãos, Araújo, Júlio, Carlitos e Tirso, pelo apoio, compreensão e confiança;

Aos meus tios, primos e sobrinhos (Henriques, Mideria, Sabino, Lúcio, Felipe, Klibino, Tininha, Berta, Joisse, Melchor, Cativa neta, pela ajuda, encorajamento e reconhecimento do esforço;

Ao meu orientador, o professor Ênio Farias de França e Silva, pela orientação sábia, amizade, confiança, e acima de tudo a disponibilidade sempre que solicitado e otimismo, expressados durante a realização do curso;

A minha co-orientadora Professora Dr^a Lília Gomes Willadino, pelo carinho, amizade, atitude profissional digna de louvor, orientação exemplar e pronta disponibilidade para qualquer esclarecimento;

Aos meus colegas de casa, Max, Igor e Nadielan, pela amizade, companherismo e pelos momentos alegres e difíceis durante o curso;

Aos professores e funcionários do DTR, pela amizade, atenção e incentivo nos momentos difíceis do curso;

Ao pessoal do laboratório de cultura de tecidos (professora Terezinha, os estudantes Ronaldo, Fernando, Marciana e ao técnico de laboratório, Wellington, pela disponibilidade do laboratório e ajuda na coleta, preparação e determinação das enzimas;

À banca examinadora, composta pelos Doutores José Nildo Tabosa , Lilia Gomes Willadino e Pedro Robinson Fernandes de Medeiros, por ter aceite o convite e pelas valiosas e sábias contribuições;

Aos colegas de pós-graduação, José francisco de Carvalho (ZEZITO), Max, Igor, Tony (doído), Nadielan, Gledson (predador), Wellington, Nicolas, Marcela Luna, Raquele Lira, Mara, Francimar, Julio, Alexandre e Rafael pelo convívio e amizade;

A todos os professores do programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, representados pelo Professor Mário Monteiro Rolim; pelos ensinamentos e amizade;

Aos colegas e amigos do IIAM e da Estação Agrária de Umbeluzi, em especial ao Dr. Carlos Carvalho Ecole, pela força, incentivo e encorajamento;

Aos funcionários do DTR, Lulinha, Zezinho, a funcionária da xerox (Angélica) e a família Neozinha pelas saborosas e gostosas comidas e café quente e ajuda sempre que solicitada;

Por último mas não em último, meus sinceros e profundos agradecimentos a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUÇÃO GERAL	14
CAPÍTULO I: Revisão de Literatura	16
A Cultura de Milho	17
A salinidade na agricultura	19
Efeitos da salinidade sobre as plantas	21
Efeitos da salinidade sobre o solo	22
Frações de lixiviação	24
Mecanismos de tolerância das plantas à salinidade	25
Estresse oxidativo	26
Enzimas antioxidantes em plantas	28
Sistema antioxidante enzimático	29
Sistema antioxidante não enzimático	31
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33
CAPÍTULO II: Produção e biometria do milho verde irrigado com água salina	41
RESUMO	42
ABSTRACT	43
INTRODUÇÃO	44
MATERIAL E MÉTODOS	45
RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
CONCLUSÕES	53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
CAPÍTULO III: Qualidade da água de irrigação e técnica da fração de lixiviação nos aspectos enzimáticos e nutricionais da cultura do milho	58
RESUMO	59
ABSTRACT	60
INTRODUÇÃO	61
MATERIAL E MÉTODOS	62
Localização, clima e solo da área experimental	62
Análises química e bioquímicas	67

Coleta e armazenamento do material vegetal	67
Processamento do material vegetal.....	68
Variáveis Avaliadas	69
Proteínas solúveis	69
Atividades enzimáticas	69
Clorofila a, b, total e carotenóides	70
Teores minerais de Na, K e P	71
Análise Estatística.....	71
RESULTADOS E DISCUSSÃO	71
Atividade enzimática	71
Teores de Proteínas solúveis	76
Teores de clorofila e carotenóides	76
Teores de Na, K e P	78
CONCLUSÕES	81
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
CONSIDERAÇÕES FINAIS	86

RESUMO

EFEITOS DA SALINIDADE DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO E DE FRAÇÕES DE LIXIVIAÇÃO NO CULTIVO DO MILHO (*Zea mays L.*)

Autor: Celestino Jolamo Tsimpho

Orientador: Ênio Farias de França e Silva

Co-Orientadora: Lília Gomes Willadino

Em regiões de clima árido e semiárido é frequente a água utilizada na irrigação conter sais solúveis em excesso, e a utilização dessas águas sem um manejo adequado (fração de lixiviação), pode provocar a salinização dos solos, reduzindo o crescimento e o desenvolvimento das plantas. Além disso, em plantas submetidas ao estresse salino, aumenta a produção de espécies reativas de oxigênio (ROS), devido à alteração de processos de transferência de elétrons durante a fotossíntese e respiração. O milho é uma das culturas de maior importância econômica e mais estudada devido ao seu valor nutricional. No entanto, em muitas áreas do mundo, a sua produtividade é limitada devido a vários estresses bióticos e abiótico, como à salinização da água de irrigação e do solo. Desta forma, o estudo teve como objetivo avaliar o efeito da salinidade da água de irrigação e frações de lixiviação cultivo de milho (*Zea mays L.*, AG 1051). Adotou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5 x 2, com quatro repetições, sendo cinco frações de lixiviação (0, 5, 10, 15 e 20%) e duas condutividades elétricas da água de irrigação (1,2 e 3,3 dS m⁻¹). O experimento foi conduzido no campus sede da UFRPE, em Recife, e decorreu no período compreendido entre 9 de Novembro de 2010 a 21 de Janeiro de 2011. O manejo da irrigação foi realizado diariamente e as lâminas de irrigação foram estimadas com base na evapotranspiração da cultura. As variáveis estudadas biométricas e de produção foram: o peso de espiga sem palha; produtividade de polpa hidratada; altura de inserção de espiga; massa fresca e seca da parte aérea. Também foi observada a atividade enzimática em função das frações de lixiviação, facto que indica a redução do estresse salino e consequentemente fraca atuação dos antioxidantes. Nutricionalmente ocorreu redução dos teores de fósforo e potássio nas plantas com o incremento das frações de lixiviação.

Palavras-chave: Lisímetro de drenagem, estresse salino, enzimas antioxidantes, produção de espigas

ABSTRACT

EFFECT OF SALINE IRRIGATION WATER AND LEACHING FRACTIONS ON THE MAYS (ZEA MAYS L.) CROP PRODUCTION

Author: Celestino Jolamo Tsimpho

Advisor: Ênio Farias de França e Silva

Co-Advisor: Lília Gomes Willadino

In regions of arid and semi-arid climate, is often the water used for irrigation to contain excess soluble salts, and the use of water without an adequate management (leaching fraction), can lead to salinization of soils, reducing the growth and development of crops. Corn is one of the most economically important crops and most researched due to the nutritional value. However, in many areas of the world, their productivity is limited due to various biotic and abiotic stresses, such as irrigation water and soil salinization. For this reasons, the objective of the work was to evaluate the use of saline water and leaching fractions in the maize crop production. The experiment was carried out at headquarter campus of University Federal Rural of Pernambuco State, Brazil (UFRPE-Recife), under a completely randomized experimental design in factorial arrangement (2x5), with five leaching fractions (FL 0, 5, 10, 15 and 20%) and two levels of water saline (electric conductivity-EC 1.2 and 3.3 dS m⁻¹). The biometric variables and production affected by the treatments were: ear weight without straw, pulp yield hydrated, height of insertion of ear, fresh and dry weight of shoots. It was observed a reduction in enzyme activity due to leaching fractions, indicating that there was a reduction of salt stress and consequently poor performance of antioxidants. Nutritionally there was a reduction of phosphorus and potassium in plants with the increase in leaching fractions.

Keywords: drainage lysimeter, salinity stress, antioxidant enzymes, green ear yield

INTRODUÇÃO GERAL

Com o acelerado crescimento populacional mundial e na busca por melhor qualidade de vida das populações, surge, a cada dia, a necessidade de uma maior produção de alimentos. Com isso, expandiram-se as áreas agricultáveis em todo o mundo, impulsionando, então, o uso da irrigação, não só como complemento das necessidades hídricas das regiões úmidas, mas também como opção de tornar produtivas as regiões áridas e semiáridas do planeta.

Em regiões de clima árido e semiárido é frequente a água utilizada na irrigação conter sais solúveis em excesso. Deste modo, a utilização dessas águas sem um manejo adequado (fração de lixiviação), pode provocar a salinização dos solos, reduzindo o crescimento e o desenvolvimento das plantas. Neste contexto, apresenta-se como alternativa, o uso de cultivares tolerantes a salinidade tanto do solo quanto da água.

De modo geral, um solo é considerado salino quando a quantidade de sais existentes é capaz de prejudicar o desenvolvimento das plantas. Para a maioria das culturas isso ocorre quando a condutividade elétrica do extrato de saturação é igual ou superior a 2 dS m^{-1} .

Considerando que a prática da irrigação constitui a única maneira de garantir a produção agrícola com segurança nas zonas com clima árido e semiárido, configura-se de grande importância para a produção agrícola nessas regiões o desenvolvimento de pesquisas que venham a possibilitar um melhor manejo do solo e da água.

O futuro da agricultura irrigada será incluir o uso de águas contendo altos níveis de sais solúveis, e manejando de forma a manter um nível ótimo de salinidade da zona de raiz por lixiviação, que pode ser alcançado através de uma lixiviação contínua de sais solúveis para fora da zona radicular.

O estresse nutricional em plantas sob estresse salino pode estar associado ao acúmulo excessivo de íons salinos e à redução na acumulação, em virtude das alterações na disponibilidade de nutrientes.

Em geral, a salinização dos solos ocorre com a acumulação de determinadas espécies iônicas, sendo o Na^+ e Cl^- os mais frequentes e os principais elementos a prejudicar o metabolismo das plantas. A predominância desses íons no meio radicular pode causar toxidez quando eles se acumulam nos tecidos vegetais, além de acarretar mudanças na capacidade da planta em absorver, transportar e utilizar os íons necessários ao seu crescimento.

A seleção e avaliação em relação à tolerância à salinidade exigem um amplo e aprofundado conhecimento dos mecanismos envolvidos no processo. Deste modo, a tolerância de uma planta à salinidade pode ser determinada por sua capacidade de germinar

em solos salinos, sua capacidade de sobreviver em solos salinos e apresentar rendimento quando cultivada em solos salinos. Com relação ao milho, considerada uma espécie botânica moderadamente sensível à salinidade, ocorre redução progressiva do crescimento com o aumento da concentração de sais no solo. As plantas são expostas também ao estresse osmótico quanto à toxicidade de íons específicos durante o estresse salino.

O excesso de Na^+ no ambiente radicular afeta a integridade a planta, favorecendo o acúmulo desse cátion no interior da célula causando assim, distúrbio na absorção de K^+ , aumento na relação Na^+/K^+ e redução no crescimento da planta.

Em plantas submetidas ao estresse salino, aumenta-se a produção de espécies reativas de oxigênio (ROS), devido à alteração de processos de transferência de elétrons durante a fotossíntese, acarretando em processos degenerativos de biomoléculas, tais como peroxidação lipídica, oxidação de aminoácidos e fragmentação de proteínas. Estes fatos, inibem a atividade da enzima, alterando por conseguinte as funções vitais das plantas.

As plantas têm um complexo sistema antioxidante para prevenir o dano oxidativo de espécies reativas de oxigênio (ROS). As principais defesas enzimáticas incluem a superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), guaiacol peroxidase (GPX) e a peroxidase do ascorbato (APX). O desempenho do sistema antioxidante em condições salinas é relevante devido à sua função protetora, controlando a proliferação de ROS.

Face aos inúmeros problemas referidos sobre à salinidade, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito da salinidade da água de irrigação e frações de lixiviação no cultivo do milho (*Zea mays* L, AG 1051), averigando a resposta das plantas ao crescimento, desenvolvimento e aspectos fisiológicos.

CAPÍTULO I

REVISÃO DE LITERATURA

REVISÃO DE LITERATURA

A Cultura de Milho

O milho (*Zea mays* L.) é uma espécie diplóide e alógama, pertencente à família Poacea (Gramineae), originado aproximadamente de sete a dez mil anos atrás na amplitude que vai desde o México até a América do Sul. É considerado uma das plantas cultivadas mais antigas e um dos vegetais superiores mais estudados (GUIMARÃES, 2007). É uma planta de ciclo anual, e apresenta baixo ponto de compensação de CO₂ e baixo consumo de água para formação de biomassa (AZEVEDO NETO, 1997).

É uma cultura originalmente tropical, que se desenvolve em dias curtos e com altas taxas fotossintéticas, exigindo por isso, um clima quente, para expressar seu potencial de produção e podendo no entanto, constituir-se em adequada alternativa de cultivo para os produtores rurais (EVANGELISTA et al., 2005). Sua origem tem sido vastamente estudada e várias hipóteses foram propostas. As mais consistentes são aquelas que demonstram que o milho descende do teosinte, que é uma gramínea com várias espigas sem sabugo e que cruza naturalmente com o milho produzindo descendentes férteis (GALINAT, 1995; FREITAS, 2001).

Além disso, o milho é uma das espécies cultivadas mais adaptadas a diferentes ambientes e sistemas de cultivo (FRIZZI et al., 2008), sendo produzido em vários países. O Brasil se encontra entre os três principais produtores de milho, atrás dos Estados Unidos da América e da China (KLEIN, 2009), ambos com produção mundial acumulada de cerca de 62%. Com destaque para os Estados Unidos da América, União Europeia, África do Sul e Argentina, como os principais países exportadores. O milho é um candidato importante para a produção de etanol com uma produção de 3 a 4 m³ por hectare.

Em algumas regiões, como em países da Ásia, África e América Latina o milho é a principal fonte de alimento para mais de 1,2 bilhões de pessoas (HULSHOF et al., 2007), e suas sementes podem representar até 56% do total de calorias diárias dessas populações (PRASANNA et al., 2001).

Na África Austral este cereal, tornou-se o mais importante alimento básico, fornecendo mais de 50% da energia na dieta local. Por exemplo, em Moçambique, o milho é a principal cultura e é produzido quase em todo território nacional. O seu consumo representa entre os cereais cerca de 70%. Ocupa uma área média de cerca de 1,3 milhões de hectares, 35% da área cultivada anualmente e produção média por ano de 1,2 milhões por tonelada. O

rendimento médio nacional é da ordem de 923 Kg/ha, (INE, 2003). Outro exemplo está na população mexicana, que tem o milho como um ingrediente básico na culinária (DUARTE, 2004).

Segundo Christofidis (2006) estimativa realizada para 2003/2004, são irrigados no Brasil 3,44 milhões de hectares, que correspondem a 5,9% da área cultivada no país. Na região Nordeste, a área irrigada é de 732,840 ha, enquanto que o estado de Pernambuco irriga uma área cerca de 98,480 ha.

A composição da semente de milho fornece valores adequados de nutrientes, pois apresenta de 70 a 75% de carboidratos, 3 a 5% de lipídeos, 9% de fibras e ao redor de 8 a 11% de proteínas (LANDRY et al., 2005). A proteína da semente de milho não é considerada adequada para a nutrição de animais monogástricos incluindo o homem. Isso se deve ao fato do endosperma, onde se concentra 70% da proteína da semente, possuir uma baixa porcentagem de proteínas ricas em aminoácidos essenciais (lisina, triptofano e treonina) aumentando a concentração das proteínas pobres nestes aminoácidos, necessários à manutenção de uma dieta balanceada (VASAL, 1999).

O milho é uma das culturas de maior importância econômica e mais estudada devido ao valor nutricional, É bem caracterizado pela multiplicidade de seus usos agro-industriais. No entanto, em muitas áreas do mundo, a sua produtividade é limitada devido a vários estresses bióticos e abiótico, como à salinização da água de irrigação e do solo (HICHEM et al., 2009). O uso do milho em grãos para alimentação animal representa a maior parte do consumo desse cereal, isto é, cerca de 70% no mundo.

No mercado interno, o Brasil segue a tendência mundial, onde a alimentação animal é considerada como o grande mercado de milho, com variação de 70% a 80% do milho produzido CONAB (2008). No consumo de milho destinado à produção de ração, estima-se que 51% deste total são direcionados ao setor avícola, 33% à suinocultura, 11% à pecuária, principalmente a leiteira, e 5% é usado para fazer ração para os outros animais.

Estimativas da CONAB (2008) mostram que a produção de milho acompanhou o aumento da produção animal nos últimos 30 anos, principalmente aves e suínos. O uso de milho destinado ao consumo animal passou de 55% em 1998, para 80% em 2007. Enquanto a utilização industrial do grão de milho cresceu a taxas de 1,2% ao ano no período, o seguimento de produção animal cresceu a taxas de 12% ao ano.

É uma cultura considerada moderadamente sensível a salinidade, sofrendo, a partir de 1,6 dS.m⁻¹, redução de 7,4% na produção de matéria seca por unidade de incremento de condutividade elétrica, embora esse efeito varie entre diferentes cultivares (MASS, 1993). É

um cereal produzido em quase todos os continentes, sendo sua importância econômica caracterizada pelas diversas formas de utilização, desde o uso na alimentação animal até o uso na indústria de alta tecnologia, como na produção de filmes e embalagens biodegradáveis. Cerca de 70% da produção mundial de milho são destinadas a alimentação animal, podendo esse percentual chegar a 85% em países desenvolvidos. Em termos gerais, apenas 15% de toda a produção mundial destinam-se ao consumo humano, de forma direta ou indireta (PAES et al., 2006).

O valor nutricional do milho pode ser assim resumido: é especialmente rico em carboidratos (açúcares), essencialmente o amido, o que o caracteriza como alimento energético. Essa fração corresponde, em média, a 72% dos grãos, porém outros importantes nutrientes estão presentes, como os lipídios (Ex.: óleo). Algumas vitaminas também são encontradas no milho, com destaque para a B1, a B2, a vitamina E e o ácido pantotênico, além de alguns minerais, principalmente o fósforo e o potássio. No entanto, o milho não constitui fonte essencial desses nutrientes. Outro nutriente que se destaca como constituinte dos grãos do milho são as proteínas, cujos teores chegam, em média, a 9,5% (PAES, 1995). Em relação aos elementos minerais, o milho possui em seu grão, teores médios para nitrogênio de 15,8 g.kg⁻¹, 3,8 g.kg⁻¹ de fósforo, 4,8 g.kg⁻¹ de potássio, 0,5 g.kg⁻¹ de cálcio e 1,5 g.kg⁻¹ de magnésio (PAULETTI, 2004).

A salinidade na agricultura

A origem dos problemas de salinidade se confunde com a própria formação dos solos, que é um produto da intemperização das rochas, envolvendo processos físicos, químicos e biológicos, mediante a ação de fatores como clima, relevo, organismos vivos e o tempo (DIAS, 2004).

A salinidade é considerada um dos principais fatores limitantes ao crescimento das plantas e à produtividade agrícola, sobretudo nas áreas irrigadas localizadas em zonas áridas e semiáridas (MELO et al., 2008). Trata-se de um estresse ambiental severo, que limita radicalmente as funções metabólicas dos vegetais, a exemplo da seca fisiológica, sintomas de toxidez, redução da capacidade produtiva e outros distúrbios graves (AHMAD e JABEEN, 2005).

É difícil afirmar com exatidão a real área afetada pela salinização no mundo atualmente, pois, são controversas as informações a respeito. De acordo com FAO (2007), mais de 900 milhões de hectares em todo o mundo, cerca de 20% do total das terras agrícolas,

estão afetados por sais, o que representa mais de 6% da área terrestre do mundo (ZHANG et al., 2010).

Nas regiões, onde normalmente as águas das chuvas são mal distribuídas, e em que, frequentemente a taxa evaporativa supera a precipitação pluviométrica, a prática da irrigação torna-se uma necessidade cada vez mais exigida. Porém, Lacerda et al. (2009) descrevem que o grande problema com a água utilizada nesses locais, é o perigo de salinização em função do transporte dos sais a partir de fontes salinas associado ao manejo inadequado da irrigação e à deficiência de drenagem. Entretanto, nestas regiões é comum a ocorrência de fontes de água com elevados teores de sais que, antes de serem utilizadas na irrigação, devem ser avaliadas, principalmente sob os aspectos de salinidade, sodicidade e toxicidade de íons.

Não obstante, todas as águas de irrigação contêm naturalmente sais dissolvidos, os quais são representados principalmente pelas espécies de cátions: Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} e K^+ e aniões: Cl^- , SO_4^{-2} , HCO_3^- , CO_3^{-2} , BO_3^{-3} e NO_3^- (FERERES e SORIANO, 2007; GHEYI, et al., 2010).

Esforços têm sido feitos com o objetivo de controlar a salinidade através de meios técnicos, porém a recuperação de um solo inutilizado pelo excesso de sais ou em vias de inutilização, em geral, envolve grandes investimentos e somente em determinadas circunstâncias poderá ser economicamente viável (PRISCO, 1987). Dessa forma, a salinização tem sido identificada como o principal processo de degradação dos solos (FAO, 2006).

Nesse sentido, grande ênfase tem sido dada às pesquisas que tratam de aspectos fitotécnicos, tais como modificação das condições de cultivo e melhor manejo do ambiente em que as plantas são cultivadas e aumento da tolerância das culturas à salinidade, através da seleção e melhoramento genético e de domesticação de espécies selvagens (LACERDA et al., 2003). As práticas de manejo de solos salinos devem incluir combinações de manejo de solo, da água e da planta integralmente. No entanto, embora as diferenças entre as espécies com relação à tolerância à salinidade sejam bem relatadas, há necessidade de trabalhos básicos e aplicados nas áreas de fisiologia, genética e melhoramento de plantas, para melhor entendimento dos processos envolvidos (LACERDA, 2000).

Em virtude do grande número de efeitos prejudiciais provocados pela salinidade sobre a agricultura, o aprimoramento de técnicas de manejo do solo, da água ou das culturas que resultem em aumento da tolerância à salinidade é de grande relevância para a manutenção da produtividade agrícola em solos com excesso de sais. Ao lado de tais estratégias de manejo,

os geneticistas têm desenvolvido pesquisas envolvendo a seleção e melhoramento de materiais que sejam mais tolerantes à salinidade.

Efeitos da salinidade sobre as plantas

Geralmente, o primeiro efeito da salinidade no desenvolvimento das plantas é a redução no crescimento, provocado pelo decréscimo no potencial hídrico da solução do solo em nível abaixo do necessário para que ocorra a absorção de água pelas células das raízes, impedindo, por conseguinte, a expansão celular, visto que o potencial de pressão da célula tende a se igualar com o do solo (BOHNERT et al., 1995; TAIZ e ZEIGER, 2004).

Os efeitos da acumulação excessiva dos sais solúveis sobre as plantas podem ser causados pelas dificuldades de absorção de água, toxicidade de íons específicos e pela interferência dos sais nos processos fisiológicos (efeitos indiretos), reduzindo o crescimento e o desenvolvimento das plantas (SILVA JÚNIOR, 2007).

Embora algumas plantas possuam mecanismos de ajuste osmótico e consigam sobreviver a determinados níveis de salinidade, o fato é que quanto maior a salinidade mais rápida a planta irá entrar em condições de estresse salino, provocando o fechamento dos estômatos, reduzindo a fotossíntese e diminuindo a translocação de nutrientes da raiz para parte aérea (TAIZ e ZEIGER, 2004).

Nas plantas, a água com teores elevados de sais pode exercer efeitos indesejáveis tanto durante a fase de germinação como nas fases de pós-germinação. Quando presentes na solução do solo em quantidades desproporcionais inibem o crescimento vegetativo em função da redução do potencial osmótico ou por efeitos tóxicos dos íons de sódio e cloreto (SOLTANI et al.; 2006). Como consequência, há uma redução na capacidade da planta em absorver água e nutrientes, e isso leva a um crescimento mais lento (MUNNS et al.; 2006). Além disso, os efeitos depressivos são permanentes durante todo o ciclo vegetativo da cultura (CAVALCANTE et al.; 2005), embora, a situação seja reversível quando ocorrer posteriormente a lixiviação dos sais (QU et al., 2008).

Durante a fase de germinação, os efeitos da exposição prolongada das sementes à salinidade, é um dos principais fatores que comprometem os processos fisiológicos, em que, nos referidos ambientes, a resposta das sementes durante a germinação depende dos níveis de salinidade (ESPINAR et al., 2005), ou seja, tanto menor é a resposta quanto maior for o nível salino do substrato. Mesmo plantas halófitas, que particularmente são organismos adaptados

às condições salinas, demonstram em seu estágio de germinação e de plântula, certa sensibilidade aos sais (DEBEZ et al., 2004).

Segundo Munns et. al. (2006), as reações negativas das plantas ocorrem devido à entrada dos íons deletérios no fluido durante o fluxo de transpiração, e assim, acabará por lesionar células pelo acúmulo desses elementos no interior do protoplasma. Como resposta, há a manifestação dos mais diversos tipos de distúrbios, entre eles, a ação antagonista do sódio a outros cátions, no qual, desloca da membrana celular o cálcio e o potássio, elementos importantes para manter a integridade da membrana e a seletividade durante a troca iônica (OTTOW et al., 2005); o fechamento dos estômatos, que restringe a assimilação de CO₂, água e nutrientes via adubação foliar e a senescência dos tecidos das folhas adultas que também reduz a produção de fotoassimilados (LACERDA et al., 2003). Isso ocorre porque ao atingir os sítios celulares, os sais passam a inibir eventos bioquímicos importantes como a fotofosforilação, a cadeia respiratória, a assimilação de nitrogênio e o metabolismo das proteínas, assim como, afetam a maioria das enzimas envolvidas nesses processos (MUNNS, 2002; TAIZ e ZEIGER, 2004). Contudo, Macêdo, et al. (2005) destacam que a resposta das plantas às condições de salinidade não está relacionadas tão somente ao fator salinidade, mas há também, a expressão de vários genes, e cada espécie apresenta um grau de tolerância ao sal que depende da concentração e da natureza dos sais dissolvidos, de fatores climáticos, absorção de água e situação nutricional das plantas.

Efeitos da salinidade sobre o solo

Várias são as causas que podem levar à salinização de um solo. Gheyi et al. (2005) concluíram que a salinidade do solo varia no tempo e no espaço, sendo de importância fundamental o seu monitoramento.

As principais formas de salinização dos solos que ocorrem naturalmente são a água das chuvas que contém pequenas quantidades de sais, mas que ao longo do tempo, se depositam no perfil do solo; o intemperismo dos minerais primários das rochas, através de processos de hidrólise, hidratação, oxidação e carbonatação, bem como, a ascensão capilar de água salina do lençol subterrâneo para a superfície do solo; invasão da água salgada que deposita seus sais em terrenos atingidos, onde, normalmente ocorre em regiões costeiras e acumulação de sais provenientes de áreas circunvizinhas, por escoamento superficial e drenagem lateral (RENGASAMY, 2006; GHEYI, et al., 2010).

Além disso, a salinização pode ser causada pela aplicação de fertilizantes, de forma

excessiva e parcelada ao longo do ciclo natural, induzindo o sistema radicular ao estresse osmótico.

Os problemas de salinidade no solo, têm sido também associados à água utilizada na irrigação, e à presença de águas sub-superficiais ricas em sais solúveis a pouca profundidade, uma vez que sais de elementos alcalinos e alcalino-terrosos tendem a se acumular no solo, na ausência de lixiviação, em função da ascensão capilar do lençol freático e da evapotranspiração da cultura.

Nestes casos, ou seja, quando a salinização é devido à ação antrópica, a mesma é conhecida como salinização secundária. Oliveira (1997) cita que a salinização secundária é, em alguns casos, responsável por perdas irreparáveis da capacidade produtiva do solo, tornando estéreis grandes extensões de terras cultivadas.

Os perigos de sodificação das terras irrigadas são, em geral, mais agressivos que os de salinidade, pois, essa maior agressividade resulta na perda dos atributos físicos do solo (LEITE et al., 2010), isto é, quando há ocorrência do Na^+ trocável em excesso no complexo sortivo, há a indução da dispersão das argilas formando uma camada de impedimento e dificultando os processos naturais, como circulação do ar e da solução do solo, com reflexos negativos na absorção dos nutrientes pelas raízes (LEITE et al., 2005; ALMEIDA NETO, et al.; 2009).

Baseado nos dados da FAO (2008), a área total dos solos salinos é de 397 milhões de hectares e de solos sódicos é de 434 milhões de hectares, que não são necessariamente aráveis, mas abrangem toda área afetada pelo sal em nível mundial. Entre as terras irrigadas, dos 230 milhões de hectares de terras irrigadas no mundo, 45 milhões de hectares são afetados por sais (19,56%) (FAO, 2008).

A crescente perda de terras para uso agrícola, por causa dos problemas de aridez e/ou salinidade torna difícil a tarefa de aumentar a produção alimentar, a fim de atender a demanda da população mundial (KOIWA et al., 2006). Considerando-se que a água utilizada para irrigação sempre contém sais solúveis, o aparecimento do problema de salinidade é apenas uma questão de tempo, a menos que sejam tomadas medidas preventivas (MEDEIROS e GHEYI, 1993).

Segundo Ayers & Westcot (1999), quanto à tolerância aos sais, as plantas são classificadas como sensíveis, moderadamente sensíveis, moderadamente tolerantes e tolerantes. Na tabela abaixo é apresentada a classificação das plantas em função da CE, em dS m^{-1} , do solo e da água de irrigação.

Tabela 1: Classificação das plantas quanto à sensibilidade aos sais na solução do solo ou água de irrigação

Níveis de salinidade	Condutividade Elétrica (dS m ⁻¹)	
	Solo (extrato de saturação)	Água
Sensível	<1,3	< 0,87
Moderadamente sensível	1,3 a 3,0	0,87 a 2,0
Moderadamente olerante	3,0 a 6,0	2,0 a 4,0
Tolerante	6,0 a 10,0	4,0 a 6,7

Ayers & Westcot (1999), afirmaram que água de irrigação com salinidade inferior a 0,7 dS m⁻¹ não apresenta problema de salinidade, independentemente do tipo de solo utilizado, para todas as espécies de plantas. No entanto, sabe-se que se houver má drenagem do solo poderá haver precipitação de sais, que causará a sua salinização.

Entretanto, o cultivo em solos salinos ou propensos à salinização, particularmente em regiões áridas e semiáridas, cujo sucesso da atividade agrícola depende do planejamento adequado das técnicas de manejo, deve ser criteriosamente analisado, principalmente quanto ao manejo do sistema solo-água-planta a ser adotado.

Frações de lixiviação

O uso de água de irrigação de má qualidade, associado ao manejo inadequado, além de contribuir diretamente para o acréscimo da concentração salina no solo, pode provocar a elevação do nível do lençol freático e, em consequência a ascensão capilar, culminando com o excesso de água e sais na zona radicular (Ferreira, 2002).

A água de irrigação contém sais dissolvidos que se acumulam na zona radicular com a evapotranspiração das culturas (Et), que remove a água e deixa os sais na superfície e em todo o perfil do solo. Com quantidades excessivas de sais solúveis acumuladas na zona radicular, as plantas têm dificuldade de extrair água da solução salina aquosa do solo resultando na redução do crescimento e produtividade das plantas.

Sem a adoção de tecnologias adequadas, a tendência do problema da salinização de áreas agrícolas é agravar-se ainda mais, tendo em vista a baixa eficiência no uso da água, simultaneamente com um consumo crescente pressionado pelo aumento da demanda de

alimentos.

A salinidade excessiva pode ser controlada pela aplicação de um total adicional de água de irrigação chamado necessidade de lixiviação. A necessidade de lixiviação “ Leaching Fraction” (LF), é uma necessidade extra de água para expressar a lixiviação como uma fração da porcentagem de água aplicada que penetra no solo. A lixiviação compreende o transporte em profundidade, através do perfil do solo, da fração dos sólidos dissolvidos na solução do solo.

Como definido pelo U.S. Salinity Laboratory (Richards, 1954) é a fração de água de irrigação que deve penetrar abaixo da zona radicular para manter a salinidade em um nível específico. A FL varia com a tolerância à salinidade pela cultura e a salinidade da água de irrigação.

A fração de lixiviação (FL) pode ser calculada pela razão entre a condutividade elétrica da água de irrigação (CE_{ai}) pela condutividade elétrica da água de drenagem abaixo da zona radicular. Na prática o valor da CE_{ad} não é facilmente mensurável, e o U.S. Salinity Laboratory recomenda utilizar a condutividade elétrica média da solução extraída do solo (CE_{es}) e a CE_{ai} para determinar a FL, de forma que

$$FL = CE_{ai} / 5(CE_{es}) CE_{ai}$$

A redução no crescimento das culturas não ocorrerá se um determinado limite for mantido. Caso contrário, verifica-se uma redução linear da produção em relação a um aumento da salinidade da solução do solo (Sammis & Herrera, 1996).

A produção de culturas agrícolas sob condições de salinidade depende da tolerância das culturas aos sais e da salinidade na zona radicular, o último sendo determinado pela fração de lixiviação (FL). As equações de lixiviação expressam a salinidade da zona radicular em termos de salinidade da água aplicada e a necessidade de lixiviação. A escolha de uma equação particular dependerá de condições localizadas

Mecanismos de tolerância das plantas à salinidade

As plantas apresentam diferentes mecanismos de tolerância frente ao estresse salino, os quais variam enormemente de acordo com os vários fatores internos e externos. Segundo Parida e Das (2005), de uma forma geral, as plantas submetidas à salinidade desenvolvem

mecanismos bioquímicos e moleculares para diminuir os efeitos nocivos do sal e esses mecanismos podem ser de alta ou baixa complexidade.

A salinização dos solos acarreta para os vegetais os estresses osmóticos, iônicos e oxidativos, os quais podem ser diferenciados sob vários níveis (TESTER e DAVENPORT, 2003), e que frequentemente afetam o desenvolvimento das plantas. Se os efeitos relacionados ao potencial osmótico e aqueles inerentes aos íons específicos, em decorrência da absorção de sais, excedem o nível de tolerância da planta, ocorrem distúrbios funcionais e injúrias. Esse fenômeno compromete a fotossíntese não apenas ao fechamento estomático, mas, também, pelo efeito dos íons de Cl^- sobre os cloroplastos, em particular sobre o transporte eletrônico.

Excessos de Na^+ e, sobretudo, de Cl^- no protoplasma ocasionam distúrbios em relação ao balanço iônico K^+ e Ca^{+2} em relação ao Na^+ , bem como os efeitos sobre as atividades de certas enzimas e membranas. Como consequência, pouca energia é produzida por meio da fosforilação, afetando a assimilação do nitrogênio e provocando a acumulação de diaminas, como putrescina, a adaverina e de poliaminas (TAIZ e ZEIGER, 2004).

O desbotamento dos pigmentos foliares está diretamente relacionado à degradação do conteúdo de clorofila, em função do efeito da salinidade. As elevadas concentrações de NaCl podem aumentar a degradação de clorofilas via atividade clorofilase, ou diminuir a sua síntese, em virtude da competição por nitrogênio com outros compostos, como prolina.

Estresse oxidativo

O estresse oxidativo é definido como um desequilíbrio na relação entre compostos antioxidantes versus compostos pró-oxidantes, levando ao aumento do nível das espécies reativas de oxigênio (ROS), como esquematizado na Figura 1. É considerado um estresse secundário por ser resultante de um estresse primário biótico ou abiótico (PANG e WANG, 2008).

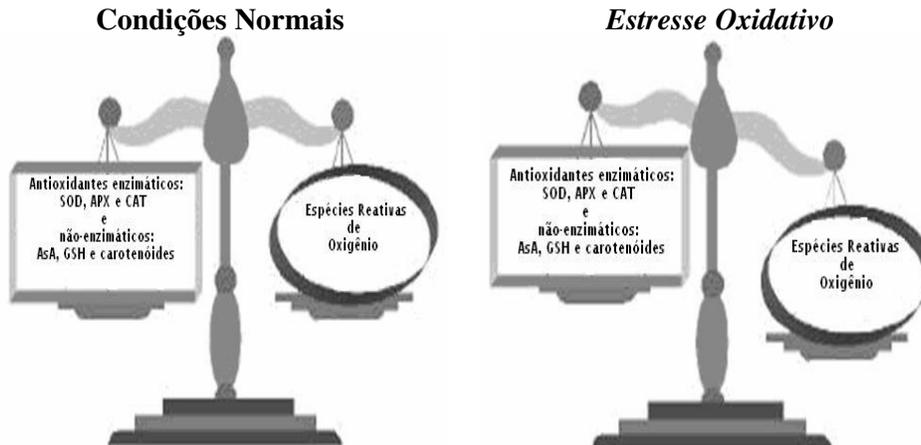


Figura 1: Relação entre mecanismos celulares próoxidantes (glutaciona reduzida - GSH, ácido ascorbico – ASA e carotenóides) antioxidantes (superóxido dismutase (SOD), ascorbato-peroxidase (APX), catalase (CAT) e estresse oxidativo. Fonte: Tabaldi, 2008.

A terminologia Espécies Reativas de Oxigênio (EROs ou ROS: “reactive oxygen species”) inclui as espécies chamadas de radicais livres e outras que, embora não possuam elétrons desemparelhados, são muito reativas em decorrência de sua instabilidade (MARRONI, 2002).

Para fazer face ao estresse oxidativo, plantas superiores têm desenvolvido sistemas antioxidantes enzimáticos e não-enzimáticos, que são encontrados em diferentes organelas como cloroplastos, mitocôndrias e peroxissomos (PANG e WANG, 2008). Entre os sistemas antioxidantes não-enzimáticos atuam o ácido ascórbico (vitamina C) e os compostos fenólicos. A sinalização para o mecanismo de desintoxicação das plantas, provavelmente, não ocorre devido às mudanças iônicas ou osmóticas, mas ao aumento dessas ROS ou a própria desnaturação das proteínas (ZHU, 2002).

Outro composto citado na literatura para auxiliar na tolerância aos efeitos oxidativos da salinidade nas plantas é a prolina, estabilizando a estrutura das macromoléculas e organelas (GIRIJA et al., 2002).

Nas plantas, a produção de espécies reativas de oxigênio (ROS) é favorecida por vários fatores ambientais de stress, como a exposição a níveis exagerados de luminosidade, déficit hídrico, metais pesados, salinidade, temperaturas extremas, poluição do ar, herbicidas e também como resposta a stresses bióticos. Para uma eficaz proteção do sistema fotossintético

contra stresses oxidativos, as plantas tem que dissipar o excesso de energia luminosa, o que pode ser efectuado através da actuação do sistema de defesa antioxidativo (ASADA, 1994). Tal sistema compreende mecanismos enzimáticos, composto pelas chamadas enzimas antioxidantes, superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e ascorbato-peroxidase (APX), entre outras (ASADA, 1994).

Dessa forma um possível mecanismo de adaptação a falta de água pode depender de diferentes mecanismos de resposta, incluindo a capacidade da planta em manter altos níveis de antioxidantes, sejam eles enzimáticos ou não enzimáticos. Uma maior protecção contra o excesso de radiação pode também ocorrer via alteração do ângulo de inserção foliar, uma vez que, quanto mais verticalizada estiver a folha, menor será a intercepção da radiação incidente nas horas de maior elevação solar. O fecho estomático priva as folhas de dióxido de carbono e a assimilação de carbono fotossintético diminui em favor da captação de oxigénio para a fotorrespiração, processo que gera espécies reativas de oxigénio (ROS), particularmente peróxido de hidrogénio (H_2O_2) (NOCTOR et al., 2002). O H_2O_2 é degradado pela CAT que é uma enzima essencialmente presente nos peroxissomas (NOCTOR et al., 2002). Cre-se que em condições de estresse hídrico o processo fotorrespiratório seja largamente aumentado (AZEVEDO et al., 1998; NOCTOR et al., 2002).

As ROS são formas reduzidas de oxigénio atmosférico, que normalmente resultam da excitação do O_2 para formar oxigénio singlete (1O_2) ou a partir da transferência de um, dois ou três elétrons para O_2 para formar, respectivamente, um radical superóxido (O_2^-), peróxido de hidrogénio (H_2O_2) ou um radical hidroxila (OH^-) (MITTLER, 2002). Quando o oxigénio é parcialmente reduzido, tanto na fosforilação oxidativa quanto em outras reações, há a formação de radicais livres, que constituem moléculas com coexistência independente e que contém um ou mais elétrons não pareados na camada de valência. Esta configuração faz dos radicais livres espécies altamente instáveis, de meia vida relativamente curta e quimicamente muito reativas (SALVADOR e HENRIQUES, 2004).

Enzimas antioxidantes em plantas

As plantas têm sistemas antioxidativos de defesa (não enzimáticos e enzimáticos) presentes em diversos compartimentos subcelulares que, usualmente, são suficientes para evitar o dano oxidativo durante períodos de crescimento sob condições normais e de estresse moderado (BRAY et al., 2000). Entretanto, quando estressadas severamente, a produção de

ROS pode exceder a capacidade de neutralização dos sistemas antioxidativos e o dano oxidativo pode ocorrer (KANG e SALTVEIT, 2001).

Um dos problemas com que se deparam os organismos aeróbicos é a necessidade de eliminar efetivamente as ERO, geradas durante a atividade metabólica normal e aquelas induzidas por agentes estressantes. Para atenuar o dano oxidativo iniciado pelas EROs, as plantas desenvolveram um complexo sistema de defesa antioxidante, incluindo antioxidantes de baixo peso molecular. Algumas das enzimas antioxidantes envolvidas na eliminação das ROS em plantas incluem a Superóxido Dismutase (SOD), Ascorbato Peroxidase (APx), Glutationa Peroxidase (GPX), Catalase (CAT), Monodesidroascorbato Redutase (MDHAR) e a Desidroascorbato Redutase (DHAR) (SCANDALIOS, 2005). Essas enzimas reduzem eficientemente as EROs sob circunstâncias normais, mas se a redução completa não ocorrer, como sob condições de alta produção de EROs, o resultado pode ser um estado de estresse oxidativo levando à oxidação de biomoléculas (BOSCOLO et al., 2003). Ao lado de outros mecanismos fisiológicos, a eficiência do sistema antioxidante aumenta a capacidade de tolerância da planta, devido à diminuição dos efeitos causados pelas EROs (GIANNAKOULA et al., 2010).

Acredita-se que as enzimas do sistema antioxidativo estejam envolvidas com os principais mecanismos de tolerância das plantas a estresses ambientais. Dessa forma, estudos têm mostrado uma correlação entre a tolerância à salinidade e a presença de um eficiente sistema antioxidativo nos genótipos tolerantes. Dentre estes, pode-se relatar as pesquisas de Sairam et al. (2002), em *Triticum aestivum* L., Vaidyanathan et al. (2003); Demiral e Türkan (2005), em *Oriza sativa* L., Bor et al. (2003), em *Beta vulgaris* e Azevedo Neto et al., 2006, em *Zea mays*.

Sistema antioxidante enzimático

A produção de ROS pode ser evitada por um grupo de enzimas denominado de oxidases alternativas, que podem desviar electrons da cadeia transportadora e usa-los para reduzir o oxigênio a água. Esta estratégia permite, por um lado evitar a formação de ROS e por outro, diminuir a concentração de oxigênio celular (MITTLER, 2002). Outra estratégia implica agir diretamente sobre as ROS através de compostos antioxidantes, que foram definidos como substâncias que, em relativamente baixas concentrações, competem com

outros substratos oxidáveis e, portanto, diminuem significativamente ou inibem a sua oxidação.

Nesta definição incluem-se, entre outros, as enzimas SOD, CAT e APX. As principais vias enzimáticas de eliminação das ROS em plantas incluem entre outros, a SOD, que é encontrada no ciclo água-água dos cloroplastos e em todos os compartimentos celulares e catalisam a conversão de radicais superóxido (O_2^-) a H_2O_2 , uma espécie de oxigênio menos destrutiva, e O_2 e a CAT que se localiza nos peroxissomas (MITTLER, 2002). Em condições de stress as ROS tendem a acumular-se nos tecidos, o que pode resultar numa alteração da actividade de enzimas como a SOD e a CAT, que são responsáveis pela protecção antioxidante e preservação da integridade da membrana. A CAT e APX estão envolvidas na conversão do H_2O_2 à H_2O (Figura 2).

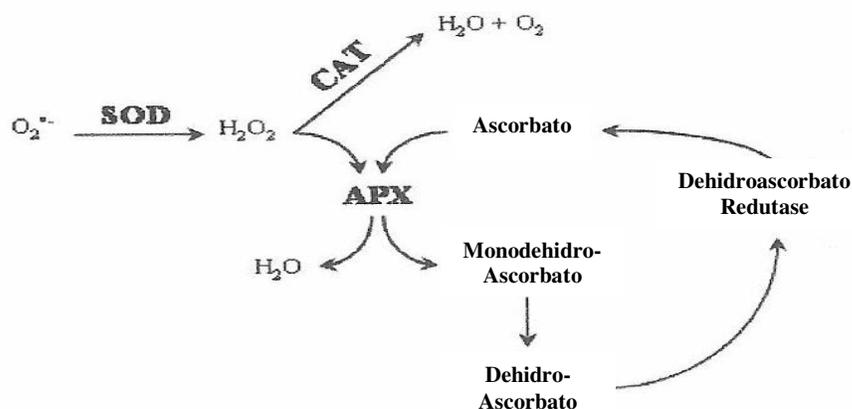


Figura 2: Representação dos mecanismos de defesa usando as enzimas antioxidantes superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX) contra as ROS
Fonte: Adaptado de FOYER et al. (1994).

As catalases, uma das mais importantes enzimas antioxidantes, presentes em todos os organismos aeróbicos, protegendo esses organismos contra os efeitos tóxicos do H_2O_2 e outras espécies reativas do oxigênio, estão localizadas em peroxissomos/glioxissomos e mitocôndrias, enquanto que a APX, a qual utiliza ascorbato como doador de elétrons, está localizada em cloroplastos e no citosol. As afinidades da APX e CAT ao H_2O_2 sugerem que elas pertençam a duas diferentes classes de enzimas removedoras de H_2O_2 : APX pode ser responsável pela fina modulação de ROS, enquanto CAT pode ser responsável para a remoção do excesso de ROS durante situações de estresse (MITTLER, 2002). O balanço entre

as atividades da SOD, CAT e APX é crucial para determinar o estado estável de radicais superóxido e peróxido de hidrogênio nas células. A importância dessas enzimas é baseada no fato de que a atividade de uma ou mais dessas enzimas em geral aumenta em plantas quando as mesmas são expostas a condições de estresse, e esta atividade aumentada está relacionada com um aumento na tolerância ao estresse ou à produção aumentada de ROS

Sistema antioxidante não enzimático

Além do sistema de defesa antioxidante enzimático, as defesas antioxidantes não enzimáticas são de fundamental importância para as células. Os antioxidantes não enzimáticos incluem, entre outros, o ácido ascórbico, a glutationa, o tocoferol e os carotenóides. Os antioxidantes não-enzimáticos não oferecem proteção direta contra os radicais O_2^- ou H_2O_2 , que são as maiores fontes de compostos oxidantes, enquanto que as enzimas antioxidantes específicas tem a capacidade de os eliminar.

Os antioxidantes não enzimáticos como ácido ascórbico, glutationa, α -tocoferóis e carotenóides ocorrem em altas concentrações nos vegetais. O ácido ascórbico e a glutationa são encontrados em altas concentrações nos cloroplastos e outros compartimentos celulares (520 mM de ácido ascórbico e de 15 mM de glutationa) e são cruciais para a defesa da planta contra o estresse oxidativo.

O ácido ascórbico é sintetizado nas mitocôndrias e é transportado para todos os compartimentos subcelulares incluindo o apoplasto, onde é o principal tampão redox modulando respostas fisiológicas e de estresse. Está associado com a remoção do H_2O_2 via ascorbato peroxidase (SAIRAM et al., 1998), além de reagir com radicais superóxido e radicais hidroxil (REDDY et al., 2004). Está também envolvido na regeneração de um outro antioxidante não enzimático, o tocoferol (SAIRAM et al., 2005). Existem muitas fontes de ROS na planta, algumas delas estão envolvidas em reações normais do metabolismo, como na fotossíntese e respiração (MITTLER, 2002). Nesses processos, o oxigênio molecular pode seguir duas rotas, a das oxidases, a qual consiste na formação de água pela transferência de quatro elétrons para o oxigênio na cadeia respiratória (redução tetravalente), acoplada a fosforilação oxidativa que forma ATP; e a rota das oxigenases, culminando na formação das ROS através da transferência de um elétron de cada vez para o oxigênio (redução univalente) (SOARES e MACHADO, 2007). Outras fontes também são citadas como produtoras das ROS durante os estresses abióticos, como por exemplo, a fotorrespiração nos peroxissomos (MITTLER, 2002).

A produção acentuada de ROS durante o estresse pode exercer efeitos deletérios nas células. Os danos oxidativos se traduzem em diversos processos degenerativos, incluindo danos no DNA (CASSELLS e CURY, 2001), peroxidação de lipídios de membrana e morte celular programada (SILVEIRA et al., 2005; MARTINS, 2007). Por outro lado as ROS também podem agir como sinalizadores na ativação de resposta ao estresse e como vias de defesa. Nesse contexto as ROS são consideradas um indicador celular de estresse e um mensageiro secundário envolvido na transdução de sinal em resposta ao estresse (MITTLER, 2002). Para lidar com o estresse oxidativo, plantas superiores têm desenvolvido sistemas antioxidantes enzimáticos e não enzimáticos, que são encontrados em diferentes organelas como cloroplastos, mitocôndrias e peroxissomos (PANG e WANG, 2008). O sistema antioxidante é uma defesa celular que proporciona a proteção contra os efeitos adversos das ROS (MARTINS, 2007).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMAD, R.; JABEEN, R. Foliar spray of mineral elements antagonistic to sodium – a technique to induce salt tolerance in plants growing under saline conditions. **Pakistan Journal Botany**, v. 37, n. 4, p. 913 – 920, 2005.

ALMEIDA NETO, O. B.; MATOS, A. T.; ABRAHÃO, W. A. P.; COSTA, L. M.; DUARTE. A. Influência da qualidade da água de irrigação na dispersão da argila de latossolos. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 33, p. 1571 - 1581, 2009.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. A qualidade da água na agricultura. (Tradução de H.R. GHEYI, J.F. de MEDEIROS, DAMASCENO, F.A.V). Campina Grande, UFPB, 1991, 49 p.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. A qualidade da água na agricultura. (Tradução de H.R. GHEYI, J.F. de MEDEIROS, DAMASCENO, F.A.V). Campina Grande, UFPB, 1999, 153 p.

ASADA, K. Production and action of active oxygen species in photosynthetic tissue, **In**: FOYER, C.H.; MULLINEAUX, P.M. Causes of photooxidative stress and amelioration of defense system in plants. CRC, Boca Roton, 1994, p. 77–104.

AZEVEDO NETO, A. D.; PRISCO, J. T.; ENÉAS-FILHO, J.; ABREU, C. E. B.; GOMES-FILHO, E. Effect of salt stress on antioxidative enzymes and lipid peroxidation in leaves and roots of salt-tolerant and salt-sensitive maize genotypes. **Environmental and Experimental Botany**, v.56, p.87-94, 2006.

AZEVEDO NETO, A.D. **Estudo do crescimento e distribuição de nutrientes em plantas de milho submetidas ao estresse salino**. Recife: UFRPE, 1997, 134 p. (Dissertação de Mestrado).

AZEVEDO, R.A.; ALAS, R.M.; SMITH, R.J.; LEA, P.J. Response from elevated carbon dioxide to air and ozone fumigation in leaves and roots of wild type and a catalase-deficient mutant of barley. **Physiologia Plantarum**, v. 104, p. 280-292, 1998.

BOR, M.; ÖZDEMİR, F.; TÜRKAN, I. The effect of salt stress on lipid peroxidation and antioxidants in leaves of sugar beet *Beta vulgaris* L. and wild beet *Beta maritima* L. **Plant Science**, v. 164, p. 77-84, 2003.

BRAY, E.A. Plant responses to water deficit. **Trends Plant Science**. v.2, p.48-54, 2000.

BOHNERT, H. J.; NELSON, D. E.; JENSEN, R. G. Adaptations to environmental stresses. **Plant Cell**, v.7, n.6, p.1099-1111, 1995.

- BOSCOLO,P.R.S.;MENOSSI,M.;JORGE,R.A.Aluminum induced oxidative stress in maize. **Phytochemistry: chemistry biochemistry, molecular biology**, v.62,n.2,p.181-189, 2003.
- CAVALCANTE, L. F.; COSTA, J. R. M.; OLIVEIRA, F. K. D.; CAVALCANTE, I. H. L.; ARAÚJO, F. A. R de. Produção do maracujazeiro-amarelo irrigado com água salina em covas protegidas contra perdas hídricas. **Irriga**, v.10, n.3, p. 229-240, 2005.
- CAMPOS, V. B.; CAVALCANTE, L. F. Salinidade da água e biofertilizante bovino: efeito sobre a biometria do pimentão. *Holos*, Natal, v. 2, p. 10-20, 2009.
- CASSELLS, A.C.; CURY, R.F. Oxidative stress and physiological, epigenetic and genetic variability in plant tissue culture: implications for micropropagators and genetic engineers. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v.64, p.145-157, 2001.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO-Brasília: Conab, 2008. Disponível em: www.conab.gov.br. Acesso em: 23 de janeiro de 2011.
- CHRISTOFIDIS, D. Recursos hídricos dos cerrados e seu potencial de utilização na irrigação. *ITEM*, Brasília, n.69/70, p. 87-97, 2006.
- DEMIRAL, T.; TÜRKAN, I. Comparative lipid peroxidation, antioxidant defense systems and proline content in roots of two rice cultivars differing in salt tolerance. **Environmental and Experimental Botany**, v.53, p.247-257, 2005.
- DEBEZ, A.; HAMED, K. B.; GRIGNON, C.; ABDELLY, C. Salinity effects on germination, growth, and seed production of the halophyte *Cakile maritime*. **Plant and Soil**, v. 262, n 1-2, p. 179 - 189, 2004.
- DIAS, N.S. **Manejo da fertirrigação e controle da salinidade em solo cultivado com melão rendilhado sob ambiente protegido**. 2004. 131 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.
- DUARTE, J.O. Importância econômica do milho. Sete Lagoas, 2004. Disponível em: www.cnpms.embrapa.br>. Acesso em: 08 de março de 2004.
- ESPINAR, J. L.; GARCIA, L. V.; CLEMENTE, L. Seed storage conditions change the germination pattern of clonal growth plants in mediterranean salt marshes. **American Journal of Botany**, v. 92, n. 7, p. 1094 - 1101, 2005.

EVANGELISTA, A.R.; ABREU, J.G. deI; AMARAL, N.C. **et al.** Composição bromatológica de silagens de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) aditivadas com forragem de leucena (*Leucaena leucocephala* (LAM.) de Wit). **Ciência e Agrotecnologia**, v.29, n.2, p.429-435, 2005.

FAO: Extent and Causes of Salt-affected Soils in Participating Countries. FAO - Land and Plant nutrition management service. Disponível em: <http://www.fao.org/ag/agl/agll/spush/topic2.htm#top>. Acesso em março de 2008.

FAO, 2007 FAO (2007). Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAOSTAT statistic database. Available <<http://www.fao.org/>>. Accessed on 13 August 2007.

FAO. Water in agriculture: opportunity untapped. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Acesso em janeiro de 2006.

Ferreira, P. A. Qualidade de água e manejo água-plantas em solos salinos. Brasília: ABEAS, Viçosa: UFV, 2002. 141p. Curso de Engenharia e Manejo de Irrigação. Módulo 10.

FERERES, E.; SORIANO, M. A. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, vol. 58, n 2, p. 147 – 159, 2007.

FOYER, C. H.; DESCOUVIERES, P.; KUNERT, K. J. Protection against oxygen free radicals an important defense mechanism studied in transgenic plants. **Plant Cell and Environment**, v.17, n.5, p.507–523, 1994.

FREITAS, F.O. **Estudo genético-evolutivo de amostras modernas e arqueológicas de milho (*Zea mays mays* L.) e feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.)**. 2001. 125 p. Dissertação (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

FRIZZI, A.; HUANG, S.; GILBERTSON, L.A.; ARMSTRONG, T.A.; LUETHY, M. Modifying lysine biosynthesis and catabolism in corn with a single bifunctional expression/silencing transgene cassette. **Plant Biotechnology Journal**, v. 6, p.13-21, 2008.

GALINAT, W.C. The origin of maize: grain of humanity. **New York Botanical Garden Journal**, New York, v. 44, p. 3-12, 1995.

GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. INCTsal, 2010, 472p.

GHEYI, H. R.; CORREIA, K. G.; FERNANDES, P. D. **Salinidade do solo e crescimento e desenvolvimento das plantas**. In: NOGUEIRA, R. J. C.; ARAÚJO, E. L.; WILLADINO, L. G.; CAVALCANTE, U. M. T. (ed.). Estresses ambientais: Danos e benefícios em plantas. Recife: UFRPE, 2005, p.138 -148.

GIANNAKOULA, A.; MOUSTAKAS, M.; SYRUS, T.; YUPSANIS, T. Aluminum stress induces up-regulation of an efficient antioxidant system in the Al-tolerant maize line but not in the Al-sensitive line. **Environmental and Experimental Botany**, v. 67, p. 487-494, 2010.

GIRIJA, C., B. N. SMITH AND P. M. SWAMY. Interactive effects of sodium chloride and calcium chloride on the accumulation of proline and glycinebetaine in peanut (*Arachis hypogaea* L.). **Environmental and Experimental Botany**. v. 47, p. 1-10. 2002.

GUIMARÃES, P.S. **Desempenho de híbridos simples de milho (*Zea mays* L.) e correlação entre heterose e divergência genética entre as linhagens parentais**. 2007. 111 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical Subtropical) – Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, 2007.

HICHEM H, Mounir D, Naceur A. Differential responses of two maize varieties to salt stress: changes on polyphenols composition of foliage and oxidative damages. **Indust Crops Prod**. v. 30, p. 144–151. 2009.

HULSHOF, P.J.M.; KOSMEIJER-SCHUIJL, T.; WESTA, C.E.; OLLMAN, P.C.H. Quick screening of maize kernels for provitamin a content. **Journal of Food Composition and Analysis**, Wageningen, v. 20, p. 655-661, 2007.

INE - Instituto Nacional de Estatística. 2003. Resultados Preliminares, Moçambique. Maputo: Instituto Nacional de Estatística. Disponível em: <http://www.ine.gov.mz>. Acesso: 15 de fevereiro de 2011.

KLEIN, O. **Posição mundial de milho brasileiro pode ser afetada**. Agrosoft Brasil, 2009.v. 4, p.1.

KOIWA, H.; BRESSAN, R. A.; HASEGAWA, P. M. Identification of plant stressresponsive determinants in arabidopsis by large-scale forward genetic screens. **Journal of Experimental Botany**, vol. 57, n. 5, p. 1119–1128, 2006.

KANG, H. M.; SALTVEIT, M. E. Activity of enzymatic antioxidant defense systems in chilled and heat shocked cucumber seedling radicles. **Physiologia Plantarum**, v. 113, p. 548-556, 2001.

- LACERDA, C. F. **Crescimento e acúmulo de solutos orgânicos e inorgânicos em dois genótipos de sorgo forrageiro submetidos a estresse salino**. 2000. 163f. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Viçosa. 2000.
- LACERDA, C. F.; CAMBRAIA, J.; OLIVA, M. A.; RUIZ, H. A.; PRISCO, J. T. Solute accumulation and distribution during shoot and leaf development in two sorghum genotypes under salt stress. **Environmental and Experimental Botany**, v. 49, p. 107 - 120. 2003.
- LACERDA, C. F.; NEVES, A. L. R.; GUIMARÃES, F. V. A.; SILVA, F. L. B.; PRISCO, J. P.; GHEYI, H. R. Eficiência de utilização de água e nutrientes em plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento. **Engenharia Agrícola**, v. 29, n. 2, p. 221 - 230, 2009.
- LANDRY J., DAMERVAL C., AZEVEDO R.A., DELHAYE S. Effect of the Opaque and Floury mutations on the accumulation of dry matter and protein fractions in maize endosperm. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 43, p. 549-556, 2005.
- LEITE, E. M. **Utilização de corretivos químicos em solos degradados por sódio usando milho (Pennisetum americanum L.) como planta teste**. Areia, 2005, 62 f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, 2005.
- LEITE, E. M.; DINIZ, a. A.; CAVALCANTE, L. F.; GHEYI, H. R.; CAMPOS, V. B. Redução da sodicidade em um solo irrigado com a utilização de ácido sulfúrico e gesso agrícola. **Caatinga**, v. 23, n. 2, p. 110 – 116, 2010.
- MAAS, E.V. Salinity and Citriculture. **Tree Physiol.** v. 12, p. 195–216. 1993.
- MACÊDO, C. E. C. BARROSO, P. A. V.; MOURA, G. E. D. D.; ALLOUFA, A. I. Efeito do NaCl sobre o crescimento e a multiplicação in vitro de bananeira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 27, n. 2, p. 194 - 197, 2005.
- MARRONI, N. P. (Ed.) **Estresse oxidativo e antioxidantes**. Canoas: Ed. ULBRA, 2002.189p.
- MARTINS NETO, L.; VAZ, C. M. P; CRESTANA, S. **Instrumentação avançada em ciências do solo**. São Carlos – SP. Embrapa Instrumentação Agropecuária, 438 p., 2007.
- MELO, R. M.; BARROS, M. F. C.; SANTOS, P. M.; ROLIM, M. M. Correção de solos salino-sódicos pela aplicação de gesso mineral. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n.4, p.376–380, 2008.

- MITTLER R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Trends Plant Science**. v. 7, p. 405–410. 2002.
- MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, Cell and Environment**, v. 28, p. 239-250, 2002.
- Munns, R., R.A., James and A. Lauchli. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. **Journal of Experimental Botany**. v. 57, p. 1025-1043. 2006.
- MEDEIROS, J. F.; GHEYI, H. R. Evolução da salinidade em pequenas áreas irrigadas na zona semi-árida do Nordeste. **In: XXII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**. 1993. Ilhéus. **Anais...** v.5, p. 2943 – 2955, 1993.
- NOCTOR, G. et al. Interactions between biosynthesis compartmentation and transport in the control of glutathione homeostasis and signaling. **Journal of Experimental Botany**, v.53, n.372, p.1283-1304, 2002.
- OLIVEIRA, M. **Gênese, classificação e extensão de solos afetados por sais**. In: SIMPÓSIO “MANEJO E CONTROLE DA SALINIDADE NA AGRICULTURA IRRIGADA” 1997, Campina Grande, PB. Anais Campina Grande: UFPB, p. 3-35, 1997.
- OTTOW, E. A.; BRINKER, M.; TEICHMANN, T.; FRITZ, E.; KAISER, W.; BROSCHE, M.; KANGASJÄRVI, J.; JIANG, X.; POLLE, A. *Populus euphratica* Displays Apoplastic Sodium Accumulation, Osmotic Adjustment by Decreases in Calcium and Soluble Carbohydrates, and Develops Leaf Succulence under Salt Stress. **Plant Physiology**, v. 139, p. 176 – 177, 2005.
- PAES, M. C. D. Perspectivas nutricionais do milho de alta qualidade protéica. **Óleos e Grãos**, v. 24, p. 49 - 95, 1995.
- PAES, M. C. D. Aspectos Físicos, Químicos e Tecnológicos dos Grãos do Milho. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, **(Circular Técnica n. 75)**. p 6 2006.
- PANG, C. A.; WANG, B. Oxidative Stress and Salt Tolerance in Plants. **Progress in Botany**. v. 69, p. 231-246, 2008.
- PARIDA, A. K.; DAS, A. B. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.60, n.3, p.324-349. 2005.
- PAULETTI, V. **Nutrientes: teores e interpretações**. 2 ed. Castro: Fundação ABC, 2004. 86p.

- PRASANNA, B.M.; VASAL, S.K.; KASSAHUN, B.; SINGH, N.N. Quality protein maize. **Current Science**, v. 81, p. 1308-1319, 2001.
- PRISCO, J. T. Alguns aspectos da fisiologia do estresse salino. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 3, p. 85-94, 1987.
- QU, X. X.; HUANG, Z.; BASKIN, J. M.; BASKIN, C. C. Effect of temperature, light and salinity on seed germination and radicle growth of the geographically widespread halophyte shrub *halocnemum strobilaceum*. **Annals of Botany**, v. 101, p. 293 – 299, 2008.
- REDDY.A.R.;CHAITANYA, K. V. VIVEKANANDAN ,M Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. **Journal of Plant Physiology**, v.161, n.11, p.1189–1202, 2004.
- RENGASAMY. P. 2006. World salinization with emphasis on Australia. **Journal of Experimental Botany**, v. 57, n. 5, p. 1017-1023, 2006.
- Richards, L.A. (ed.). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington D. C. U.S. Salinity Laboratory., 1954. 160p. (USDA. Agriculture Handbook, 60).
- SAIRAM, R.K.; RAO, K.V.; SRIVASTAVA, G.C. Differential response of wheat genotypes to long-term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. **Plant Science**, v. 163, p. 1037-1046, 2002.
- SAIRAM R.K.et al .Differences in antioxidant activity in response to salinity stress in tolerant and susceptible wheat genotypes. **Biologia Plantarum Praha**, v. 49, n. 1, p. 85–89, 2005.
- SAIRAM, R. K.; DESHMUKH, P. S.; SAXENA, D. C. Role of antioxidant systems in Wheat genotypes tolerance to water stress. **BiologiaPlantarum Praha**, v.41, n.3, p. 387–394, 1998.
- Sammis, T.; Herrera, E. Leaching requirements of pecan and fruit trees. College of Agriculture & Home Economics, Guide H-644, http://rastronmsu.edu/cache/redtops/_h/h-644.html, 1996.
- SALVADOR, M.; HENRIQUES, J. A. P. (Eds.) **Radicais livres e a resposta celular ao estresse oxidativo**. Canoas:Ed.ULBRA, 2004. 204p.
- SCANDALIOS, J. G. Oxidative stress: molecular perception and transduction of signals triggering antioxidant gene defenses. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, v. 38, p. 995-1014, 2005.
- SILVA JÚNIOR, G.S. **Respostas biométricas, ecofisiológicas e nutricionais em genótipos**

diplóides de bananeira (*Musa spp*) submetidos à salinidade. Tese (Doutorado em Botânica). Universidade Federal Rural de Pernambuco. 2007. 106p.

SILVEIRA, J.A.G.; LIMA, J.P.M.S.; CAVALCANTI, F.R.; MAIA, J.M.; VIÉGAS, R.A. **Salt induced oxidative response in plants: damage or protection.** In Custodio R, Araújo E, Gómez L, Cavalcante U (Eds.) *Estresses Ambientais: Danos e Benefícios em Plantas*. MXM Gráfica. Recife, 2005. p. 106-117.

SOARES, A. M. S., MACHADO, O. L. T. Defesa de plantas: Sinalização química e espécies reativas de oxigênio. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas**. V.1, n. 1, p. 16, 2007.

SOLTANI, A.; GHOLIPOOR, M.; ZEINALI, E. Seed reserve utilization and seedling growth of wheat as affected by drought and salinity. **Environmental and Experimental Botany**, v. 5, p. 195-200, 2006.

TABALDI, L.G. **Avaliação bioquímica-fisiológica de clones de batata em relação ao alumínio.** 2008. 182p. Tese Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria. 2008.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Tradução de E. R. Santarém et al. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

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

VAIDYANATHAN, H. SIVAKUMAR, P.CHAKRABARTY, R. THOMAS, G. Scavenging of reactive oxygen species in NaCl-stressed rice (*Oryza sativa* L.) differential response in salt-tolerant and sensitive varieties. **Plant Science**, v.165, n.10, p.1411-1418, 2003.

VASAL, S. K. **Quality protein maize**. Ciudad del México: CIMMYT, 1999. (Improving human nutrition through agriculture: The Role of International Agricultural Research).

ZHANG, H.; IRVING, L. J.; MCGILL, C.; MATTHEW, C.; ZHOU, D.; KEMP, P. The effects of salinity and osmotic stress on barley germination rate: sodium as an osmotic regulator. **Annals of Botany**, v. 106, p. 1027 – 1035, 2010.

ZHU, J. K. Salt and drought stress signal transduction in plants. **Annual Review of Plant Biology**, v.53, n.1, p.247-273, 2002.

CAPÍTULO II

PRODUÇÃO E BIOMETRIA DO MILHO VERDE IRRIGADO COM ÁGUA SALINA EM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO NO NORDESTE DO BRASIL

PRODUÇÃO E BIOMETRIA DO MILHO VERDE IRRIGADO COM ÁGUA SALINA EM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO NO NORDESTE DO BRASIL

Resumo

A irrigação é uma das tecnologias aplicadas na agricultura que mais tem contribuído para o aumento na produção de alimentos. No entanto, a qualidade da água apresenta restrições à agricultura irrigada e pode resultar em obstáculo ao desenvolvimento das culturas, além de acelerar a degradação física e química do solo. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho da cultura do milho em relação a produtividade de polpa hidratada e seca e de espiga com e sem palha, matéria fresca e seca da parte aérea, diâmetro de caule e altura de planta, irrigado por gotejamento com água salina e diferentes frações de lixiviação em estação lisimétrica de drenagem. Os tratamentos consistiram de dois níveis de salinidade da água (CEa 1,2 e 3,3 dS m⁻¹) e cinco frações de lixiviação (FL 0, 5, 10, 15 e 20%), sob o delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema fatorial 2 x 5, com quatro repetições. O experimento foi conduzido na área experimental do Departamento de Tecnologia Rural da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife/PE, no período compreendido entre 9 de Novembro de 2010 a 21 de Janeiro de 2011. As variáveis polpa hidratada, assim como matéria seca e fresca da parte aérea apresentaram resultados semelhantes, com um ligeiro aumento dos valores quando se utilizou água de 3,3 dS m⁻¹, evidenciado com a fração de lixiviação de 10%.

Palavras chaves: *Zea mays L.*, irrigação, salinidade, fração de lixiviação

**PRODUCTION AND BIOMETRY OF GREEN CORN IRRIGATED WITH SALINE
WATER IN NEOSSOL QUARTZARÊNICO IN NORTHEAST BRAZIL**

Abstract

Irrigation is one of the technologies applied in agriculture that has most contributed to the increase in food production. However, water quality has restrictions on irrigated agriculture and may result in obstacles to crop development, and accelerate the physical and chemical degradation of the soil. The aim of the research was to evaluate the corn crop in respect to the productivity of hydrated pulp and dries and of weight with and no husks, substance of fresh and dry matter of the aerial part, stem diameter, height of plant, irrigated for dripping with saline waters in lysimeter station of draining. The treatments were two levels of salinity of the water (ECa 1.2 and 3.3 dS m⁻¹) and five leaching fractions (LF 0, 5, 10, 15 and 20%), with completely randomized experimental design in factorial arrangement 2x5. The experiment was carried out in the experimental area of Rural Technology Department of University Federal Rural of Pernambuco State (UFRPE), Recife-PE, in the period between November 9, 2010 to January 21, 2011. The hydrated pulp variable, as well as fresh and dry matter of aerial part (leaves and stalks) presented similar results, with a slight increase of values when was used water from 3.3 dS m⁻¹, evidenced with the leaching fraction of 10%

Keywords: *Zea mays L.*, irrigation, salinity, leaching fractions

INTRODUÇÃO

A irrigação é uma das tecnologias aplicadas na agricultura que mais tem contribuído para o aumento na produção de alimentos (BERNARDO, 2008). No entanto, a qualidade da água apresenta restrições à agricultura irrigada e pode resultar em obstáculo ao desenvolvimento das culturas, além de acelerar a degradação física e química do solo (SILVA et al., 2005).

O Nordeste brasileiro apresenta uma área potencial de irrigação estimada em 6 milhões de hectares e atualmente 25% dos perímetros irrigados existentes na região Nordeste estão salinizados (LEITE, 2005).

Em regiões áridas e semiáridas, a salinização decorre de natureza física e química dos solos, do regime pluvial, da deficiência de drenagem e da alta evaporação. Naturalmente, o uso de irrigação acarreta a incorporação de sais ao perfil do solo, por conter na água sais solúveis; devido ao seu uso continuado em irrigações, na ausência de lixiviação, o sal se deposita na zona do sistema radicular e na superfície do solo, decorrente da evaporação da água. Segundo Holanda Filho et al. (2011), o uso de água salina aumenta os teores de magnésio e sódio no solo, a porcentagem de sódio trocável, a razão de adsorção de sódio, modificando suas características.

A salinização do solo progride quando a quantidade de sais, nele acumulada pela água de irrigação, é maior que a quantidade removida pela água de drenagem (ARMAS et al. (2010); FREIRE E FREIRE, 2007).

Em excesso, os sais prejudicam o crescimento das plantas, em virtude dos efeitos diretos sobre o potencial osmótico e dos íons potencialmente tóxicos presentes em elevadas concentrações na solução do solo (SILVA et al., 2008). O milho é uma cultura moderadamente tolerante à salinidade, apresentando redução na sua produção quando a condutividade elétrica do extrato de saturação do solo é superior a $2,7 \text{ dS m}^{-1}$ (McWILLIAMS, 2003).

A redução dos componentes de rendimento da cultura do milho em função do aumento da salinidade do solo é relatada por diversos autores. Willadinno et al. (1994) verificaram que a produção de grãos, de oito genótipos de milho cultivados em área salina, decresceu de 24 a 60% em relação a área não salina. Katerji et al. (2000); Katerji et al. (2001); Katerji et al. (2004) também constataram que a produtividade do milho foi reduzida em função do aumento da salinidade do solo.

Segundo Garcia et al. (2007), o aumento da salinidade do solo decorrente da irrigação com água salina, provocou na variedade de milho UFVM 100, redução da fotossíntese, condutância estomática, transpiração e da eficiência do uso de água na produtividade; matéria seca da parte aérea e das raízes; taxas de crescimento absoluto e relativo, de assimilação líquida, área foliar total e útil das plantas; peso de grãos, peso médio das espigas sem palha.

Porém, a disponibilidade de água adequadamente recomendada para irrigação esta cada vez mais difícil. Com isso a utilização de práticas de manejo adequado da irrigação com água salina torna-se uma alternativa viável quando se trabalha com espécies tolerantes. Uma prática de manejo bastante utilizada em áreas que utilizam água de qualidade inferior é a aplicação de fração de lixiviação (“Leaching Fraction”) que é uma quantidade extra de água, relativa à aquela que é aplicada e penetra no solo, acarretando lixiviação dos sais. Como definido pelo U.S. Salinity Laboratory (RICHARDS, 1954), é a fração de água de irrigação que deve passar para abaixo da zona radicular, visando manter a salinidade em um nível específico.

Testando os efeitos de cinco lâminas de lixiviação (0,25, 0,50, 0,75, 1,00 e 1,25 do volume de poros do solo) e quatro níveis de salinidade da água de irrigação (1,0, 2,0, 3,0 e 4 dS m⁻¹) sobre a salinidade de um Neossolo Flúvico, Ferreira et al. (2006) constataram que a salinidade no perfil do solo aumentou com a salinidade da água e com a redução na fração de lixiviação.

Objetivou-se nesse trabalho avaliar a cultura do milho (Híbrido AG1051) em relação aos parâmetros biométricos e de produção, irrigado com águas salina combinadas com diferentes frações de lixiviação em Neossolo Quartzarênico em uma área lisimétrica de drenagem.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Estação Lisimétrica do Departamento de Tecnologia Rural (DTR), na Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), em Recife, com coordenadas geográficas de 8° 01' 05" de latitude Sul, 34° 56' 48" de longitude Oeste e altitude de 6,5 m. De acordo com a classificação de Koeppen, o clima da região é do tipo As, megatérmico tropical (tropical úmido), com precipitação pluviométrica média anual (outono e inverno) de 1501 mm, temperatura média de 26°C e umidade relativa do ar média de 76% (BRASIL, 1992).

O solo foi classificado como Neossolo Quartzarênico (ALBUQUERQUE FILHO et al., 2009) de textura arenosa, as características físico-hídricas encontram-se na Tabela 1 (Melo, 2007), para a camada entre as profundidades de 0 a 20 cm. Foram realizadas adubação de fundação para nitrogênio (N), potássio (K) e fósforo (P), segundo recomendação de Cavalcanti (2008), e de cobertura com nitrogênio (N) parcelada em duas partes iguais aos 20 e 40 dias após a emergência (DAE).

Tabela 1. Características físico-hídricas do solo dos lisímetros

Densidade		Pt	Granulometria			Ad	GF	Umidade		AD	Ko
dg	dp		Ar	A	S			0,1 atm	15 atm		
g cm ⁻³		(%)		(%)		(%)	(%)	(%)		(%)	cm h ⁻¹
1,65	2,57	35,67	91,07	3,60	5,33	3,6	0,0	6,39	2,01	4,3	13,17

dg = densidade global; dp = densidade das partículas; Pt = porosidade total; Ar = areia; A = argila; S = silte; Ad = argila dispersa em água; GF = grau de floculação; AD = água disponível; Ko = condutividade hidráulica saturada.

A área total ocupada pelos lisímetros é 464,40 m² (18,0 m de largura por 25,80 m de comprimento), com 40 lisímetros de drenagem provido de dreno de fundo ligado a um dispositivo para a coleta do efluente. Conjugado a cada sistema de drenagem existe um piezômetro individual com escala milimétrica, para medir a variação de nível da água dentro dos respectivos lisímetros. A profundidade do perfil do solo dentro de cada lisímetro é de 0,75 m, ficando uma borda de 0,10 m acima da superfície do solo.

Utilizou a cultivar de milho (*Zea mays L.*) AG 1051, classificado como especial destina-se exclusivamente ao consumo humano. É utilizado principalmente como milho verde, tanto “in natura”, como para processamento em conserva. A semeadura ocorreu em 09/11/2010 e a colheita em 21/01/2011 (72 dias após a semeadura). O tratamento fitossanitário preventivo para o controle da lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*) foi realizado aos dez dias após a emergência.

Utilizou-se irrigação por gotejamento, com espaçamentos de 0,5 m entre emissores autocompensantes na linha e de 1,2 m entre linhas; com vazão média de 4,06 L h⁻¹, a uma pressão de serviço de 13,5 mca, aferido em teste de uniformidade.

O manejo da irrigação foi realizado diariamente, as lâminas de irrigação foram estimadas com base na ET_c, de acordo com a equação 1.

$$ET_c = ET_o \times K_c \times K_{l_{med}} \quad (1)$$

em que,

ET_c - evapotranspiração da cultura, mm dia^{-1} ;

ET_o - evapotranspiração de referência de Penman-Monteith, mm dia^{-1} ;

K_c - coeficiente de cultivo, adimensional;

$KI_{\text{méd}}$ - coeficiente de localização médio, adimensional.

Para determinação do $KI_{\text{méd}}$, utilizou-se a média de quatro valores de coeficiente de localização (KI), segundo diversos autores, citados por Pizarro (1996), que dependem do valor da fração de área sombreada pelo cultivo. Os valores de KI variaram em função da área sombreada pelo cultivo de acordo com o desenvolvimento das plantas.

Os dados utilizados para determinação da ET_o pelo método de Penman Monteith e a precipitação pluviométrica utilizadas na estimativa das lâminas de irrigação, em função dos tratamentos utilizados, foram obtidas em estação meteorológica automatizada instalada junto da área experimental. Os valores de K_c utilizados diariamente de acordo com a fase fenológica da cultura, foram, 0,70 (da emergência até 10% do desenvolvimento); 1,15 (10% do desenvolvimento até 75% do desenvolvimento) e 1,20 (floração até a colheita), de acordo com FAO (2006).

Foram coletadas em todos lisímetros em duas profundidades (0-20 e 20-40 cm) amostras de solo para determinação da condutividade elétrica do extrato da pasta saturada (RHOADES et al., 1999), nos períodos de 0, 20 e 70 dias após a semeadura (DAS).

A água salina utilizada nas irrigações foi preparada em dois tanques com capacidade de 500 L cada, mediante a adição de NaCl e CaCl_2 , na proporção de 1:1, Ca:Na com base molar, em quantidades necessárias para obtenção de duas condutividades elétricas de água de irrigação (CE_{ai}) de 1,20 e 3,3 dS m^{-1} .

Foi adotado o delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 2x5 com quatro (4) repetições, totalizando 40 parcelas experimentais. Os tratamentos constituíram-se de dois níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (1,2 e 3,3 dS m^{-1}) e cinco frações de lixiviação (0, 5, 10, 15 e 20%).

As variáveis de produção analisadas foram produtividade da polpa hidratada (PPH), produtividade da polpa desidratada (PPD), espiga com palha (ECP) e espiga sem palha (ESP). O crescimento e desenvolvimento das plantas foi avaliado mediante a determinação do diâmetro do caule (D), altura de inserção de espigas (AIE), altura das plantas (A), matéria fresca da parte aérea (MFPA) e matéria seca da parte aérea (MSPA). Para a obtenção do material vegetal (polpa desidratada e parte aérea e raízes), as amostras foram acondicionadas

em sacos de papel e após secagem em estufa de circulação forçada de ar à temperatura de 65 °C, até atingir peso constante, foram pesadas em balança analítica de precisão 0,01g.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 5% de significância. Os dois níveis de salinidade da água foram comparados pelo teste de Tukey (5%) e as frações de lixiviação foram submetidas à análise de regressão. Com o auxílio do programa SAS.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O fator salinidade do solo diferiu estatisticamente ($P < 0,05$) sobre as variáveis espiga sem palha e matéria seca da parte aérea. O fator fração de lixiviação diferiu estatisticamente ($P < 0,01$ e $P < 0,05$) nas variáveis espiga sem palha, produtividade de polpa hidratada, altura de inserção de espiga, matéria fresca e seca da parte aérea. Ocorrendo também diferença estatística na interação entre os fatores para as variáveis espiga sem palha, produtividade de polpa hidratada e matéria seca da parte aérea (Tabela 2).

Na quantificação do experimento, observa-se valores de coeficientes de variação relativamente baixos, com uma média geral de 8,32 %. Valores bem abaixo dos encontrados por Bezerra et al. (2010) para a mesma cultivar.

Tabela 2. Quadro de ANOVA para as variáveis de produção e biometria da cultivar de milho AG 1051

	F. V.	CE	FL	CE*FL	ERRO	CV (%)
	G. L.	1	4	4	30	
Quadrado médio	ECP	525,63 ^{ns}	938,31 ^{ns}	157,06 ^{ns}	609,84	7,49
	ESP	6786,03 ^{**}	4873,59 ^{**}	2606,21 ^{**}	247,86	6,94
	PPH	568,74 ^{ns}	1797,72 ^{**}	764,26 [*]	239,01	8,45
	PPD	18,77 ^{ns}	45,91 ^{ns}	2,546 ^{ns}	19,07	13,35
	D	1,93 ^{ns}	3,94 ^{ns}	1,59 ^{ns}	1,76	6,08
	AIE	288,85 ^{ns}	231,20 [*]	176,60 ^{ns}	67,19	6,90
	A	281,27 ^{ns}	260,14 ^{ns}	76,48 ^{ns}	194,56	6,68
	MFPA	39,70 ^{ns}	614,42 ^{**}	214,69 ^{ns}	96,72	8,63
	MSPA	156,30 ^{**}	133,80 ^{**}	43,51 [*]	12,36	10,33

F. V.: fonte de variação, G. L.: graus de liberdade, CE: condutividade elétrica, FL: fração de lixiviação, CE*FL: interação entre os fatores de variação, CV: coeficiente de variação, ECP: peso de espiga com palhas, ESP: peso de espiga sem palhas, PPH: produtividade de polpa hidratada, PPD: produtividade de polpa desidratada, D: diâmetro do caule, AIE: altura de inserção de espigas, A: altura de plantas, MFPA: matéria fresca da parte aérea e MSPA: matéria seca da parte aérea: comprimento de espiga com palha. ^{ns} não significativo até 5%, * e ** significativos a 5% e a 1% de probabilidade pelo teste F.

A salinidade do solo não afetou o desenvolvimento vegetativo da cultura (altura e diâmetro de caule), como também as variáveis ECP, PPH, PPD, MFPA (Tabela 3 e 4), devido principalmente ao efeito antagônico a partir das frações de lixiviação sobre a concentração de sais do solo. De acordo com Santos et al. (2005); Assis Júnior et al. (2007); Wilson et al. (2006), o excedente da água de irrigação lixivia o excesso de sais no perfil do solo, resultando em menor efeito da salinidade no ambiente radicular, o que favorece o crescimento e o desenvolvimento da cultura.

As variáveis espiga sem palha (ESP) e matéria seca da parte aérea (MSPA) foram afetadas pela salinidade do solo (Figuras 1A e 1C); com a utilização de água com $1,2 \text{ dS m}^{-1}$ a variável ESP obteve tendência decrescente linear com o aumento da fração de lixiviação numa proporção de 9% entre as frações de lixiviação 0 e 20%. Evidenciando que baixas concentrações de sais são facilmente carregados pela água, principalmente em solo de textura arenosa, sendo que o seu manejo deve ser imprescindível por que tal evento pode provocar em última estância deficiência nutricional.

Tabela 3. Média da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CEes), em função dos níveis de salinidade da água de irrigação e das frações de lixiviação, durante o ciclo da cultivar de milho AG 1051

Tratamentos	0 – 0,20 m			0,20 – 0,40 m			
	AS	20 DAS	70 DAS	AS	20 DAS	70 DAS	
	(dS m ⁻¹)						
CE 1,2	FL0%	0,70	0,78	1,43	0,65	0,51	0,98
	FL5%	0,60	0,65	1,16	0,87	0,73	0,99
	FL10%	0,61	0,66	0,96	0,58	0,66	0,78
	FL15%	0,77	0,40	0,95	0,70	0,41	1,02
	FL20%	0,49	0,53	0,93	0,65	0,63	1,19
CE 3,3	FL0%	0,56	1,26	2,06	0,53	0,57	1,40
	FL5%	0,77	0,86	1,59	0,71	1,15	1,40
	FL10%	0,47	0,84	1,43	1,00	0,92	1,08
	FL15%	0,55	0,61	1,96	0,95	0,68	1,42
	FL20%	0,48	0,59	1,63	0,83	0,67	1,66

* AS: antes da sementeira, DAS: dias após sementeira, CE: condutividades elétricas de 1,2 e 3,3 dS m⁻¹, FL: fração de lixiviação

Com a utilização da água com $3,3 \text{ dS m}^{-1}$, essas variáveis tiveram efeito semelhante, com valores baixos nas frações extremas de lixiviação e valores elevados para a fração de lixiviação de 10% (intermediária). Neste caso ocorreram dois efeitos simultâneos adversos, efeito de excesso de sais (toxidez) e efeito de lavagem dos sais do perfil do solo (deficiência).

Tabela 4. Efeito da condutividade elétrica do solo em função das variáveis respostas

Trat.	PECP (g planta ⁻¹)	PESP (g planta ⁻¹)	PPH (g planta ⁻¹)	PPD (g planta ⁻¹)	D (cm)	AIE (cm)	A (cm)	MFPA (g planta ⁻¹)	MSPA (g planta ⁻¹)
CE 1,2	333,5 a	240,0 a	179,1 a	32,0 a	2,16 a	116,2 b	206,3 a	113,0 a	32,06 b
CE 3,3	326,3 a	213,9 b	186,7 a	33,4 a	2,20 a	121,5 a	211,6 a	115,0 a	36,01 a

Trat: tratamentos; médias seguidas de mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente. CE 1,2: condutividade elétrica de 1,2 dS m⁻¹, CE 3,3: condutividade elétrica de 3,3 dS m⁻¹, PECP: peso de espiga com palhas, PESP: peso de espiga sem palhas, PPH: produtividade de polpa hidratada, PPD: produtividade de polpa desidratada, D: diâmetro do caule, AIE: altura de inserção de espigas, A: altura de plantas, MFPA: matéria fresca da parte aérea MSPA: matéria seca da parte aérea

O desenvolvimento normal das plantas exige a realização de uma série de processos físicos, químicos e biológicos que dependem fundamentalmente da disponibilidade de água. Sob salinidade, há redução das massas frescas em várias espécies vegetais, provavelmente devido à diminuição da absorção de água e fotossíntese. Segundo Rhoades et al. (1992), a diminuição do potencial osmótico associada a frações de lixiviação menores e ao uso de irrigação com águas salinas, torna-se especialmente perigoso, porque o nível de “estresse crítico” do potencial total será alcançado mais rapidamente.

A necessidade de lixiviação (NL) é a fração mínima da quantidade total de água aplicada que deve passar através da zona radicular, para prevenir a redução no rendimento da cultura. Para Rhoades et al. (1992), a necessidade de lixiviação é um aspecto do manejo da irrigação, que influencia a resposta das culturas à salinidade da água de irrigação que não é, também, suficientemente entendido, especialmente quando suas interações com a frequência de irrigação são juntamente consideradas.

A necessidade de lixiviação (NL) para o controle da salinidade também pode ser determinada usando as relações entre a tolerância da cultura e a salinidade da água de irrigação, e tipo de manejo da irrigação (Rhoades, 1982). Por outro lado, quando se utiliza elevadas frações de lixiviação, estas podem causar alocação dos elementos minerais no tempo e no espaço. Bernstein e Francois (1975) atribuíram a redução de rendimento a lavagem de sais acumulados próximo a superfície do solo para a zona radicular, causando “choque osmótico”.

Em relação às variáveis PPH, PFPA e AIE (Figuras 1A, 1B e 1E), estas também sofreram os efeitos simultâneos adversos oriundos da combinação de diferentes frações de lixiviação com a utilização de água na irrigação com 3,3 dS m⁻¹. Para a variável produtividade de polpa hidratada (PPH), foram encontradas diferenças de 30% entre as frações 5 e 20% (Figura 1A). Para as variáveis MFPA e AIE, as frações de 5 e 10% tiveram praticamente o mesmo valor, divergindo em 20 e 10% respectivamente, dos valores obtidos na fração de lixiviação de 20%.

Segundo Rhoades et al. (1992), a salinidade da água de irrigação e a fração de lixiviação são combinadas para se estabelecer o nível de distribuição de estresse osmótico na zona radicular e o valor do potencial osmótico médio. Segundo Oliveira et al. (2005), o aumento da fração de lixiviação proporcionou redução na salinidade média do solo. Em solos com boa drenagem (solos franco arenosos), a concentração de sais pode ser reduzida, por meio de lâminas de lavagens (DUARTE et al., 2007).

A produtividade de polpa hidratada máxima obtida foi de 185,70 e 213,65 g planta⁻¹, a partir do espaçamento utilizado teve-se uma produção de 3,10 e 3,56 Mg ha⁻¹ para as águas de 1,2 e 3,3 dS m⁻¹ respectivamente, ambas para a fração de lixiviação de 5%.

Segundo Bezerra et al. (2010), para a mesma cultivar de milho, obtiveram produtividades de polpa de 5,21; 5,18; 5,09 e 5,35 Mg ha⁻¹ utilizando águas com condutividade elétrica de 0,8; 2,2; 3,6 e 5,0 dS m⁻¹ respectivamente. Resultado também semelhante encontrado por Sousa (2008).

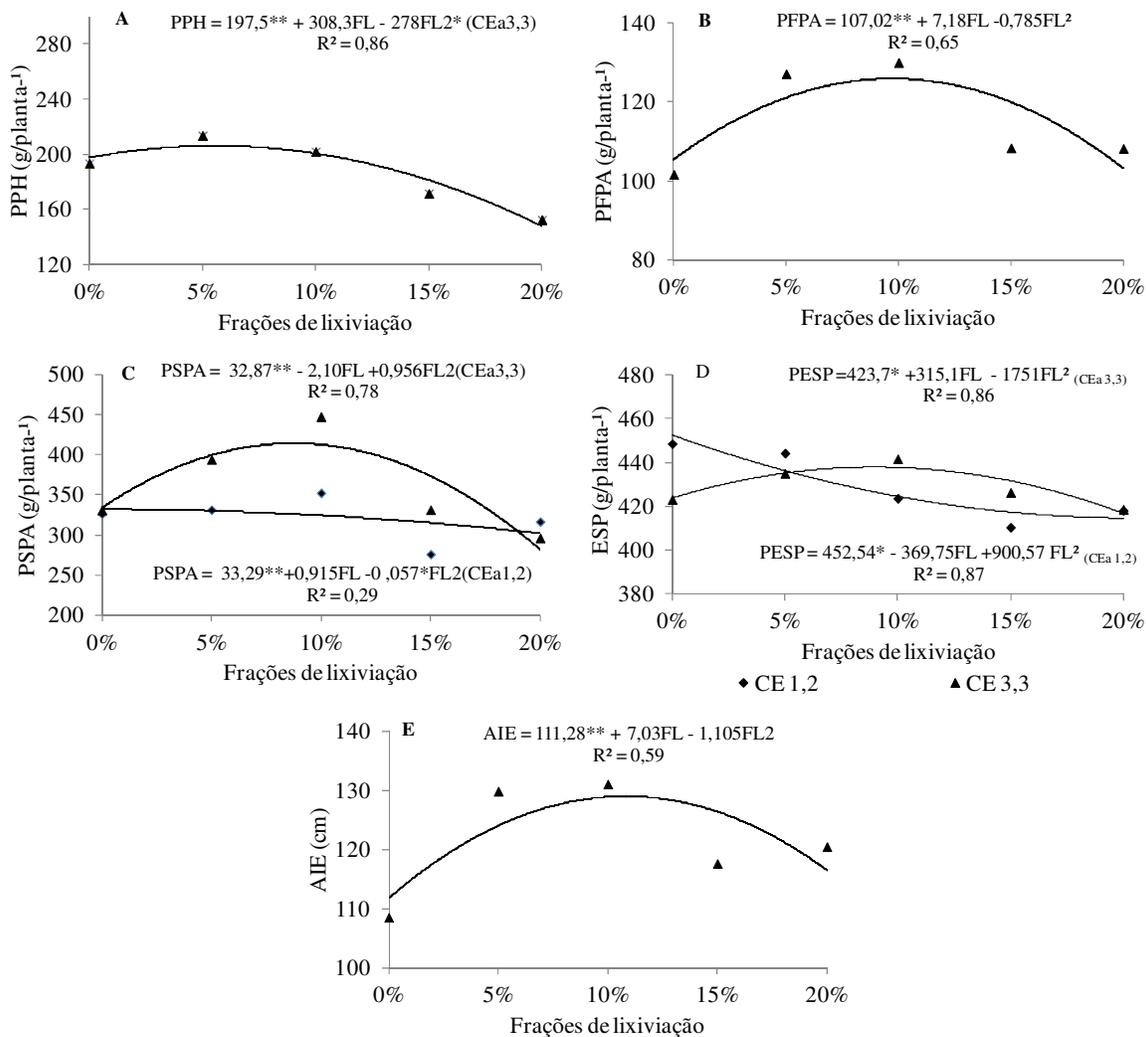


Figura 1. Análises de regressão e equações de ajustes para as variáveis produtividade da polpa hidratada (PPH) (A), (B), peso fresco da parte aérea (PFPA) (C), peso seco da parte aérea (PSPA) (D) e altura de inserção de espigas (AIE) (E), em função das frações de lixiviação e dos níveis de salinidade do solo

Para as variáveis matéria fresca e seca da parte aérea, as maiores produções foram de 129,93 e 44,76 g planta⁻¹ para a água com 3,3 dS m⁻¹ e a fração de lixiviação de 10%. Diversas culturas apresentam elevados valores de material vegetal quando submetidas a ambientes extremamente salinos, devido basicamente pela elevada concentração de sais absorvidos. A necessidade de consumo de água para produzir uma unidade de matéria seca depende de cada espécie ou variedade vegetal, do estágio de desenvolvimento, da densidade da associação vegetal, das condições ambientais e, sobretudo da disponibilidade hídrica e evaporativa do ar (GARCIA et al., 2007).

Analisando os resultados da interação entre os fatores (Tabela 5), observa-se que para as variáveis espiga sem palha e produtividade de polpa hidratada, os níveis de salinidade tiveram pouca influência. Porém, quando submetidos a elevadas frações de lixiviação, estes provocaram efeito deletério significativo. Para a variável matéria seca da parte aérea, esta sofreu influência de ambos os fatores analisados, observando elevados valores para a água de maior salinidade interagindo com a fração de lixiviação de 10%.

Tabela 5. Valores médios representando a interação entre os fatores frações de lixiviação e níveis de salinidade do solo

Frações de Lixiviação (%)	ESP		PPH CE (dS m ⁻¹)		MSPA	
	1,2	3,3	1,2	3,3	1,2	3,3
	0	448,6 ^{Aa}	423,1 ^{Aa}	181,5 ^{Aa}	193,5 ^{Aa}	32,6 ^{Aa}
5	444,3 ^{Aa}	435,0 ^{Aa}	185,7 ^{Aa}	213,6 ^{Aa}	33,1 ^{Aa}	39,4 ^{Ab}
10	423,6 ^{Aa}	441,8 ^{Aa}	182,9 ^{Aa}	202,0 ^{Aa}	35,2 ^{Ba}	44,7 ^{Aa}
15	410,5 ^{Ab}	426,4 ^{Aa}	170,1 ^{Aa}	171,6 ^{Ab}	27,6 ^{Aa}	33,1 ^{Ab}
20	418,2 ^{Aa}	418,7 ^{Aa}	175,3 ^{Aa}	152,5 ^{Ab}	31,7 ^{Aa}	29,6 ^{Ab}

* Médias seguidas da mesma letra maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 0,05 de probabilidade

Através dos resultados, observa-se uma tendência de tolerância da cultura para o nível de salinidade de 3,3 dS m⁻¹, por ser este próximo do nível de tolerância referenciado pela literatura para a cultura do milho (2,7 dS m⁻¹). Solos com elevadas concentrações de areia tendem a aumentar à tolerância das culturas a salinidade, devido basicamente por ser altamente inerte e de fácil drenagem.

Sob solos arenosos a água aplicada na irrigação permanece mais disponível as plantas, aumentando assim o potencial osmótico na zona radicular, diminuindo de forma progressiva o efeito dos sais sobre as raízes. A partir de um manejo adequado, solos de textura arenosa podem ser explorados mesmo com a utilização de águas com elevada concentração salina. Evidenciado nos resultados, o manejo a partir da utilização de fração de lixiviação se demonstrou promissor para as devidas condições de estudo.

CONCLUSÕES

1. A água de irrigação com 1,2 dS m⁻¹ não tem efeito sobre a cultura do milho, principalmente quando associada a utilização de frações de lixiviação;
2. A fração de lixiviação de 10% para as condições do referido estudo, de forma geral tem efeito direto na resposta da cultura à salinidade quanto as variáveis analisadas;

3. Quanto à produção de polpa hidratada (grãos verdes), a adoção do manejo com frações de lixiviação é imprescindível na irrigação com águas de elevada concentração salina.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE FILHO, J. A. C.; LIMA, V. L. A.; MENEZES, D.; AZEVEDO, C. A. V.; NETO, J. D.; SOARES JÚNIOR, J. G. Características vegetativas do coentro submetido a doses do polímero hidroabsorvente e lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 6, p. 671–679, 2009.

ARMAS, C.; PADILLA, F. M.; PUGNAIRE, F. I.; JACKSON, R. B. Hydraulic lift and tolerance to salinity of semiarid species: Consequences for species interactions. **Ecologia**, v.162, p.11-21, 2010.

ASSIS JÚNIOR, J. O.; LACERDA, C. F.; SILVA, F. B.; SILVA, F. L. B.; BEZERRA, M. A.; GHEYI, H. R. Produtividade do feijão-de-corda e acúmulo de sais no solo em função da fração de lixiviação e da salinidade da água de irrigação. **Engenharia Agrícola**, v.27, n.3, p.702-713, 2007.

BERNARDO, S.; MANTOVANI, E. C.; SOARES, A. A. **Manual de Irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2008. 611 p.

BERNSTEIN, L.; FRANCOIS, E. Effects of frequency of sprinkling with saline waters compared with daily drip irrigation. **Agronomy. Journal**, v.67, p. 185-190, 1975.

BEZERRA, A. K. P.; LACERDA, C. F.; HERNANDEZ, F. F. F.; SILVA, F. B.; GHEYI, H. R. Rotação cultural feijão caupi/milho utilizando-se águas de salinidades diferentes. **Ciência Rural**, v.40, n.5, p.1075-1082, 2010.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional da Irrigação. Departamento de Meteorologia. **Normas Climatológicas 1961-1990**. Brasília: EMBRAPA, 1992. 84p.

CAVALCANTI, F. J. A. **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco**. 3.ed. Recife: Instituto Agrônômico de Pernambuco – IPA, 2008. 212p.

DUARTE, S. N.; DIAS, N. S.; TELES FILHO, J. F. Recuperação de um solo salinizado devido a excesso de fertilizantes em ambiente protegido. **Irriga**, v. 12, n. 3, p. 422-428, 2007.

FAO. Food Agricultural Organization. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/faostat>>. Acesso em: 19 jan. 2006.

FERREIRA, P. A.; Moura, R. F.; Santos, D. B.; Fontes, P. C. R.; Melo, R. F. Efeitos da lixiviação e salinidade da água sobre um solo salinizado cultivado com beterraba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.3, p.570–578, 2006.

FREIRE, M. B. G. S.; FREIRE, F. J. **Fertilidade do solo e seu manejo em solos afetados por sais**. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H., BARROS, N. F. et al. (ed.). Fertilidade do solo: Viçosa: SBCS, 2007. p. 929-954.

GARCIA, G. O.; FERREIRA, P. A.; MIRANDA, G. V.; OLIVEIRA, F. G.; SANTOS, D. B. Índice fisiológico, crescimento e produção do milho irrigado com água salina. **Irriga**, v. 12, n. 3, p. 307-325. 2007.

HOLANDA FILHO, R. S. F.; SANTOS, D. B.; AZEVEDO, C. A. V.; COELHO, E. F.; LIMA, V. L. A. Água salina nos atributos químicos do solo e no estado nutricional da mandioqueira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.15, n.1, p.60–66, 2011.

KATERJI, N.; VAN HORN, J. W.; HAMDY, A.; MASTRORILLI, M.; OWEIS, T.; MALHOTRA, R. S. Response to soil salinity of two chickpea varieties differing in drought tolerance. **Agricultural Water Management**, n. 50, p.83-96, 2001.

KATERJI, N.; VAN HORN, J.W.; HAMDY, A.; MASTRORILLI, M. Comparison of corn yield response to plant water stress caused by salinity and by drought. **Agricultural Water Management**, v. 65, p. 95-101, 2004.

KATERJI, N.; VAN HORN, J.W.; HAMDY, A.; MASTRORILLI, M. Salt tolerance classification of crops to soil salinity and to water stress day index. **Agricultural Water Management**, v. 43, p. 99-109, 2000.

LEITE, E. M. **Utilização de corretivos químicos em solos degradados por sódio usando milho (*Pennisetum americanum* L.) como planta teste**. Areia: UFPB, 2005. 62p. Dissertação Mestrado.

MCWILLIAMS, D. 2003. **Rio Grande regional soil and water series: Soil salinity and sodicity limits efficient plant growth and water use**. Guide A-140. Las Cruces, NM: New Mexico State University, 2003.

- MELO, M. R. S. **Lixiviação de nutrientes em lisímetros de drenagem na presença de um polímero hidroabsorvente**. Recife: UFRPE, 2007. 79p. Dissertação Mestrado.
- OLIVEIRA, F. G.; FERREIRA, P. A.; SANTOS, D. B.; GARCIA, G. O. Índice diário de estresse hídrico do feijoeiro irrigado com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, (Suplemento), p.6-10, 2005.
- PIZARRO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia - goteo - microaspersion - exudacion**. 3o ed. Madri: Ed. Mundi, 1996. 513p.
- RHOADES, J. D. Soluble salts. **In:** PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, D. R. Methods of soil analysis. 2. ed. Wisconsin, EUA: American Society of Agronomy/Soil Science Society of America, 1982. c. 2, p. 167-179.
- RHOADES, J. D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M. **Uso de águas salinas para produção agrícola**. Tradução de Gheyi, H. R.; Sousa, J. R. de; Queiroz, J. E. Campina Grande: UFPB, 1992. 117p.
- RHOADES, J. D.; CHANDUVI, F.; LESCH, S. **Soil salinity assessment methods and interpretation of electrical conductivity measurements**. Irrigation and Drainage, n.57. Rome: FAO, 1999. 155p.
- RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: United States Salinity Laboratory, 1954. 160 p. (USDA. Agriculture Handbook, 60).
- SANTOS, D. B., FERREIRA, P. A.; OLIVEIRA, F. G.; GARCIA, G. O.; CARNEIRO, J. E. S.; CANO, M. A. O. Estratégias de manejo da irrigação do feijoeiro com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9 (suplemento), p.16-20, 2005.
- SILVA, E. F.; ASSIS JÚNIOR, R. M.; SOUSA, J. I. G. Efeito da qualidade da água de irrigação sobre atributos hídricos de um neossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 03, p. 389-396, 2005.
- SILVA, S. M. S.; ALVES, A. N.; GHEYI, H. R.; BELTRÃO, N. E. M.; SEVERINO, L. S.; SOARES, F. A. L. Desenvolvimento e produção de duas cultivares de mamoneira sob estresse salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 12, n. 4, p. 335-342, 2008.
- SOUSA, G. G. **Avaliação de um ciclo de rotação cultural milho e feijão-de-corda, utilizando-se água de baixa e de alta salinidade**. Fortaleza: UFC, 2008, 96p. Dissertação Mestrado.

WILLADINO, L.; CÂMARA, T. R.; SANTOS, M. A.; TORNE, J. M. Obtenção de uma linhagem de milho tolerante ao stress salino mediante a cultura de anteras. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 30, p. 1313-1318, 1994.

WILSON, C.; LIU, X.; LESCH, S. M.; SUAREZ, D. L. Growth response of major USA cowpea cultivars: II. Effect of salinity on leaf gas exchange. **Plant Science**, v.170, n.6, p.1095-1101, 2006.

CAPÍTULO III

QUALIDADE DA ÀGUA DE IRRIGAÇÃO SOB FRAÇÕES DE LIXIVIAÇÃO NOS ASPECTOS ENZIMÁTICOS E NUTRICIONAIS DO MILHO NO NORDESTE DO BRASIL

QUALIDADE DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO SOB FRAÇÕES DE LIXIVIAÇÃO NOS ASPECTOS ENZIMÁTICOS E NUTRICIONAIS DO MILHO NO NORDESTE DO BRASIL

RESUMO

O acúmulo de sais no solo é um dos principais fatores causadores de estresses em plantas, podendo alterar a fisiologia das culturas, conseqüentemente, o seu rendimento. Uma das formas de controlar esse acúmulo de sais no solo é pela lixiviação, que pode ser proporcionada pela precipitação pluvial ou pela aplicação de lâminas de irrigação superior à requerida pela cultura, fazendo com que uma fração da água aplicada percole abaixo da zona radicular, lixiviando parte dos sais acumulados. O estudo teve como objetivo avaliar o efeito da salinidade da água de irrigação e frações de lixiviação sobre a atividade das enzimas do sistema antioxidativo e das alterações nos teores de Na, K e P no cultivo do milho (*Zea mays* L.). O experimento foi conduzido no período entre novembro de 2010 a janeiro de 2011 na Estação Lisimétrica do Departamento de Tecnologia Rural (DTR), situada no Campus sede da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife, PE (8° 01' 05" S, 34° 56' 48" O e 6,5 m). O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 2x5, com quatro repetições, totalizando 40 parcelas experimentais. Os tratamentos constituíram de dois níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (1,2 e 3,3 dS m⁻¹) e cinco frações de lixiviação (0, 5, 10, 15 e 20%). A atividade das enzimas do sistema antioxidativo apresentou redução com o incremento da fração de lixiviação e aumento com o incremento da salinidade da água de irrigação. Os teores de proteínas aumentaram em função dos tratamentos. A salinidade da água de irrigação proporcionou redução nos teores de potássio e sódio nas plantas, as frações de lixiviação influenciaram os teores de fósforo, potássio e sódio, entrando em níveis suficientes para não promover deficiências nutricionais.

Palavras chaves: *Zea mays*, lisimetria, irrigação, espécies reativas de oxigênio, estresse salino

**WATER QUALITY OF IRRIGATION UNDER LEACHING FRACTIONS IN
ACTIVITY OF THE ENZYMES AND NUTRITION OF MAIZE IN NORTHEAST OF
BRAZIL**

ABSTRACT

The accumulation of salts in the soil is one of the main factors causing stress in plants and may alter the physiology of crops, and thus their income. One way to control this accumulation of salts in the soil is leaching, which can be done by rainfall or by applying irrigation water layers more than the required by the crop, causing a fraction of the applied water percolates below the root zone, leaching part of the accumulated salts. The aim of the study was to evaluate the effect of salinity of irrigation water and leaching fractions on the activity of antioxidant enzymes system and changes in contents of Na, K and P in the cultivation of maize (*Zea mays* L). The experiment was carried out from November 2010 to January 2011 at lysimetric Station located on the campus headquarters of the Federal Rural University of Pernambuco, in the northeast of Brazil.

The experimental design was completely randomized in a 2x5 factorial with four (4) repetitions, totaling 40 plots. The treatments consisted of two levels of electrical conductivity of irrigation water (1.2 and 3.3 dS m⁻¹) and five leaching fractions (0, 5, 10, 15 and 20%). The enzymatic activity decreased with increasing leaching fraction and increased with increase salinity of irrigation water. In relation to the amount of protein was obtained as a function of increased treatments. The salinity of irrigation water caused a reduction in the contents of potassium and sodium in plants. Leaching fractions influenced the levels of phosphorus, potassium and sodium levels in incoming not sufficient to promote nutritional deficiencies.

Key words: *Zea mays* L, lysimeters, irrigation, reactive oxygen species, saline stress

INTRODUÇÃO

A irrigação é um instrumento efetivo no aumento da produtividade e na expansão das fronteiras agrícolas, porém sua utilização inadequada, como o uso de água contendo elevados teores de sais, além da drenagem insuficiente, podem agravar os problemas de salinização nos solos, reduzindo assim os rendimentos das culturas, ou até mesmo resultando no abandono dessas áreas (FERREIRA et al., 2005).

A água de irrigação que possui condutividade elétrica entre 0,7 e 3,0 dS m⁻¹ (C1) e acima de 3,0 dS m⁻¹ (C3) são consideradas, respectivamente, de riscos moderado e severo de salinidade (Ayers e Westcott, 1999),.

Em ambientes salinos, a forma de controlar o acúmulo de sais no solo é pela lixiviação, que pode ser proporcionada pela precipitação pluvial ou pela aplicação de uma lâmina de água de irrigação superior à requerida pela cultura, fazendo com que uma fração da água aplicada percole abaixo da zona radicular, carreando parte dos sais acumulados (MEDEIROS et. al., 2010).

A salinidade, tanto nos solos como nas águas, é uma das principais causas da queda de rendimento das culturas (PEREIRA e ALVES, 2010), em razão dos efeitos de natureza osmótica, tóxica e/ou nutricional. Os primeiros efeitos causados pelo excesso de sais às plantas são de natureza biofísica, destacando-se os efeitos osmóticos com restrições ao transporte de água no interior das células vegetais. (Silveira et al, 2010). E o efeito tóxico é resultante do acúmulo do excesso de Cloreto de sódio(NaCl).

O estresse oxidativo, ou estresse secundário, é resultante de um estresse primário biótico ou abiótico como o estresse salino e hídrico (PANG e WANG, 2008). O estresse oxidativo é definido como um desequilíbrio na relação entre compostos antioxidantes versus compostos pró-oxidantes, levando ao aumento do nível das espécies reativas de oxigênio (ROS). A sinalização para o mecanismo de desintoxicação das plantas, provavelmente, não ocorre devido às mudanças iônicas ou osmóticas, mas ao aumento dessas ROS ou a própria desnaturação das proteínas (ZHU, 2002).

A produção acentuada de espécies reativas de oxigênio (ROS) durante o estresse pode exercer efeitos deletérios nas células. Os danos oxidativos se traduzem em diversos processos degenerativos, incluindo peroxidação de lipídios de membrana, desnaturação de proteínas, oxidação do DNA e morte celular programada (MARTINS, 2007). Por outro lado as ROS também podem agir como sinalizadores na ativação de resposta ao estresse e como vias de defesa. Nesse contexto as ROS são consideradas um indicador celular de estresse e um

mensageiro secundário envolvido na transdução de sinal em resposta ao estresse (MITTLER, 2002).

As plantas possuem um mecanismo de defesa antioxidativo que atua mediante a ativação de um sistema enzimático (AGARWAL e PANDEI, 2004) que inclui a peroxidase do ascorbato (APX), a catalase (CAT) e a peroxidase (POD). Essas enzimas catalizam a decomposição do H_2O_2 , desempenhando um papel fundamental no equilíbrio redox (MITTLER, 2002). A CAT, degrada diretamente o H_2O_2 sem consumir agentes redutores celulares, a detoxificação pela APX e pela POD ocorre com a oxidação de ascorbato e fenóis, respectivamente. Plantas tolerantes possuem a capacidade, de reduzir a produção de ROS, ou aumentar a desintoxicação ou reparação de danos provocados pelas ROS, (MEHDY et al., 1996).

O estudo teve como objetivo avaliar o efeito da salinidade das águas de irrigação e da aplicação de frações de lixiviação sobre as atividades enzimáticas do sistema antioxidativo, teores de clorofila, carotenoides e proteínas, além de concentrações de Na, K e P nas plantas de milho (*Zea mays* L.).

MATERIAL E MÉTODOS

Localização, clima e solo da área experimental

O experimento foi conduzido no período compreendido entre novembro de 2010 a janeiro de 2011 na Estação Lisimétrica do Departamento de Tecnologia Rural (DTR), situada no Campus sede da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), em Recife, PE, e georreferenciado pelas coordenadas geográficas 8° 01' 05" latitude sul e 34° 56' 48" longitude oeste e altitude de 6,5 m, de acordo com o sistema SAD 69 (South American Datum).

De acordo com a classificação de Koeppen, o clima da região é do tipo As, megatérmico tropical (tropical úmido), com temperatura média do mês mais frio superior a 18°C e com precipitação pluviométrica média anual de 1501 mm, temperatura média de 26°C e umidade relativa do ar média de 76% (BRASIL, 1992). A precipitação total no período experimental foi de 112,5 mm. A distribuição da pluviosidade mensal e evapotranspiração de referência de Penman-Monteith, registrados no período experimental se encontram na Figura 1.

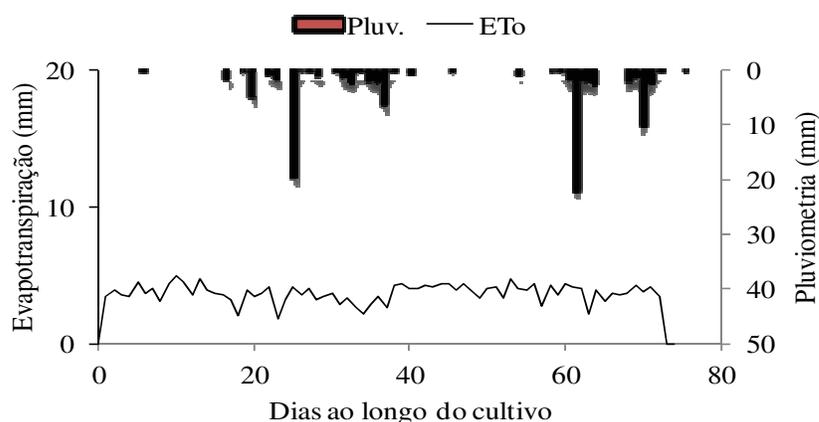


Figura 1. Distribuição diária pluviométrica e evapotranspirométrica de referência no período estudado

O solo foi classificado como Neossolo Quartzarênico (ALBUQUERQUE FILHO et al., 2009) de textura arenosa, as características físico-hídricas encontram-se na Tabela 1 (MELO, 2007), para a camada de 0 a 20 cm. Foram realizadas adubação de fundação para nitrogênio (N), potássio (K) e fósforo (F), segundo recomendação de Cavalcanti (2008), e de cobertura com nitrogênio (N) parcelada em duas partes iguais aos 20 e 40 dias após a emergência (DAE).

Tabela 1. Características físico-hídricas do solo dos lisímetros

Densidade		Pt	Granulometria			Ad	GF	Umidade (g g ⁻¹)		AD	Ko
dg	dp		Ar	A	S			0,1 atm	15 atm		
g cm ⁻³	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	cm h ⁻¹	
1,65	2,57	35,67	91,07	3,60	5,33	3,6	0,0	6,39	2,01	4,3	13,17

dg = densidade global; dp = densidade das partículas; Pt = porosidade total; Ar = areia; A = argila; S = silte; Ad = argila dispersa em água; GF = grau de flocculação; AD = água disponível; Ko = condutividade hidráulica saturada.

A dimensão da estação lisimétrica é de 18x25m, totalizando uma área de 464,40 m², composta por 40 lisímetros de drenagem. As caixas lisimétricas tem capacidade de 1.000 L, diâmetro externo na borda superior 1.380 mm e altura externa de 745 mm, localizadas equidistantes a 1,20 m e assentados a 0,65 m de profundidade, ficando uma borda de 0,10 m acima da superfície do solo, para evitar a entrada de água de chuva ou irrigação, proveniente do escoamento superficial.

O sistema de drenagem dos lisímetro é constituído de um segmento de tubo de polietileno de 25 mm de diâmetro, disposto ao longo da circunferência, junto ao fundo do lisímetro. Esses tubos têm perfurações de 5 mm de diâmetro a cada 5 cm; uma camada de brita zero de aproximadamente 5 cm de espessura; uma camada de areia lavada de aproximadamente 3 cm de espessura; e uma tubulação que interliga o sistema de drenagem à unidade de coleta e medição do efluente. Conjugado a cada sistema de drenagem existe um piezômetro individual (Figura 2).



Figura 2. Casa de coleta da estação lisimétrica com os piezômetros individuais

Foi usada a cultivar de milho AG 1051, com a semeadura em 09/11/2010 e a colheita aos 21 de janeiro de 2011, 72 dias após a semeadura (DAS). A área útil colhida representou a fileira de plantas dispostas no interior dos lisímetros (1 fileira), constituída de sete plantas. O espaçamento utilizado na condução da cultura foi de 0,8x0,2m, totalizando uma densidade populacional equivalente a 62.500 plantas por hectare. Após a semeadura, foram adotados os tratos culturais necessários ao bom desenvolvimento da cultura, como capinas, controle de pragas e doenças, manejo de irrigação e adubação de acordo com as exigências da cultura de milho para o Estado de Pernambuco.

A aplicação de água nos lisímetros foi feita pelo método de irrigação por gotejamento, com emissores autocompensantes espaçados de 1,2 x 0,5 m, com vazão média de 4,06 L h⁻¹ e pressão de serviço de 13,5 mca, medidas em campo (Figura 3).



Figura 3. Disposição do sistema de irrigação por gotejamento

O manejo da irrigação foi realizado diariamente, e as lâminas de irrigação foram estimadas com base na ET_c , de acordo com a equação 1.

$$ET_c = ET_o \times K_c \times KI_{med} \quad (1)$$

em que,

ET_c - evapotranspiração da cultura, $mm \text{ dia}^{-1}$;

ET_o - evapotranspiração de referência de Penman-Monteith, $mm \text{ dia}^{-1}$;

K_c - coeficiente de cultivo, adimensional;

KI_{med} - coeficiente de localização médio, adimensional.

Para determinação do KI_{med} , utilizou-se a média de quatro valores de coeficiente de localização (KI), segundo diversos autores, citados por Pizarro (1996), que dependem do valor da fração de área sombreada pelo cultivo.

Os dados utilizados para determinação da ET_o pelo método de Penman-Monteith e a precipitação pluviométrica, utilizadas na estimativa das lâminas de irrigação, foram obtidos na estação agroclimatológica automática localizada na área experimental (Figura 4). Os valores de K_c (coeficiente de cultura), utilizados de acordo com a fase fenológica da cultura foram: 0,70 (da emergência até 10% do desenvolvimento); 1,15 (10% do desenvolvimento até 75% do desenvolvimento) e 1,20 (floração até a colheita) (FAO, 2006).



Figura 4. Estação agroclimatológica da UFRPE

A água salina utilizada nas irrigações (CE_{ai} 1,20 e $3,3 \text{ dS m}^{-1}$), foi preparada em dois tanques com capacidade de 500 L (Figura 5), mediante a adição de NaCl e CaCl_2 , na proporção de 1:1, Ca:Na com base molar.



Figura 5. Tanques para preparo das águas salinas

O experimento foi instalado em uma bateria de 40 lisímetros de drenagem (Figura 6 e 7), distribuídos numa matriz de 8×5 , onde cada lisímetro representava uma parcela experimental. A área útil de cada lisímetro foi de $1,45 \text{ m}^2$ e profundidade de 0,75 m.

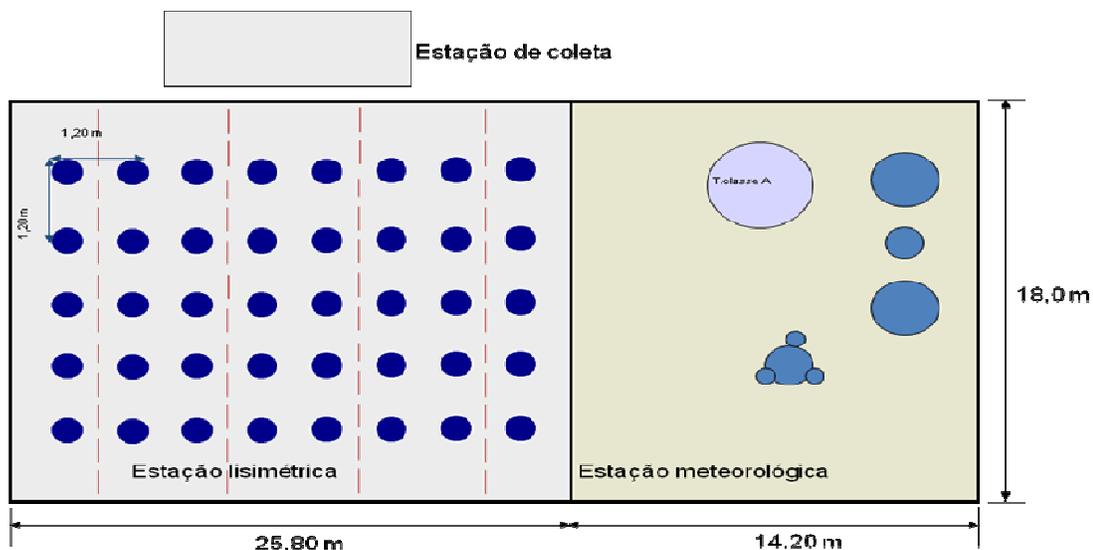


Figura 6. Croqui da estação lisimétrica e climatológica

Foi adotado o delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 2x5, com quatro repetições, totalizando 40 parcelas experimentais. Os tratamentos constituíram de dois níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (1,2 e 3,3 dS m^{-1}) e cinco frações de lixiviação (0, 5, 10, 15 e 20%).

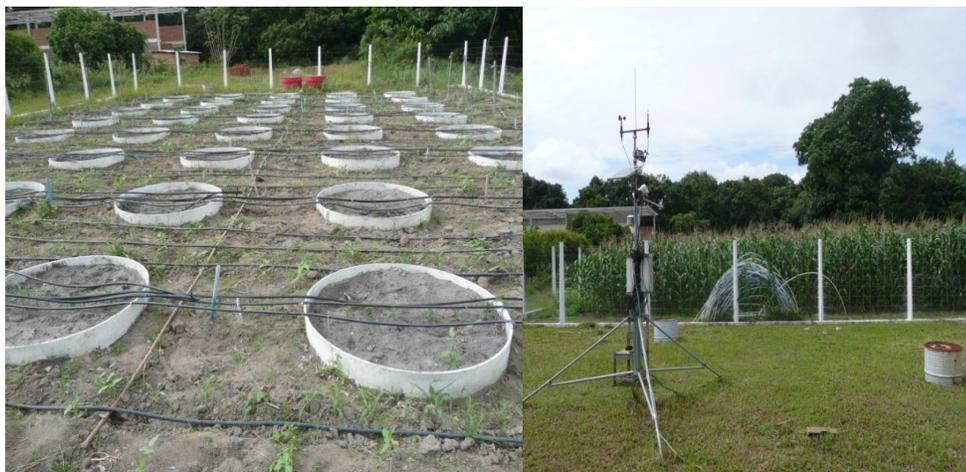


Figura 7: Vista geral da estação lisimétrica e climatológica

Análises química e bioquímicas

Coleta e armazenamento do material vegetal

A cada 20 dias desde a semeadura até a colheita procedeu-se a coleta de folhas para análise de parâmetros bioquímicos, de acordo com os níveis de condutividade elétrica (1,2 e

3,3 dS.cm⁻¹) e frações de lixiviação (0, 5, 10, 15 e 20%). Todas amostragens foram realizadas na terceira folha completamente expandida a contar do ápice para o colo da planta.

Em todas etapas, logo depois da coleta as amostras foram imersas em nitrogênio (N₂) líquido para congelamento rápido e posteriormente armazenadas em freezer a -20°C até o momento da determinação da atividade enzimática, carotenoides, clorofilas e de proteína solúvel total, (Figura 8).

As análises foram realizados no Laboratório de Cultura de Tecidos Vegetais do Departamento de Química da Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE, em Recife.



Figura 8. Coleta, armazenamento e transporte do material vegetal para análise de parâmetros bioquímicos

Processamento do material vegetal

As amostras foram processadas para obtenção de dois extratos diferentes: o primeiro serviu para as análises de atividades enzimáticas e o segundo para a análise do teor de carotenoides e clorofila.

O extrato para as análises enzimáticas foi obtido pela ressuspensão do material vegetal (200 mg) em 2,0 mL de tampão fosfato de potássio (0,1 M, pH 7.0). Após centrifugação por 20 minutos a 4.000 rpm, a 4°C, o sobrenadante foi coletado e armazenado em -80°C. Para o segundo extrato, amostras do tecido foliar (200 mg) foram ressuspensas em 1,0 mL de ácido sulfosalicílico (3% em água destilada). Após centrifugação por 5 minutos a 12.000 rpm o sobrenadante foi coletado e armazenado em -80°C.

Variáveis Avaliadas

Nos tecidos foliares foram analisadas as variáveis: proteínas solúveis totais (BRADFORD, 1976), as enzimas, Ascorbato Peroxidase (APX)(KOCHIBA, 1993), Catalase (CAT)(HAVIR e MCHALE, 1987), peroxidase (POD)(MALIK e SINGH, 1980); Polifenoloxidase (PPO)(KAR e MISHRA, 1976), Clorofilas a, b e total e carotenoides (ARNOM, 1949).

Foram também avaliados os teores de sódio (Na), potássio (K) e fósforo (P) da parte aérea (folhas e colmo), grãos e raízes a partir do tecido vegetal seco, conforme descrito por Miyazawa et. al. (1992).

Proteínas solúveis

A quantificação das proteínas solúveis totais nos extratos foi realizada empregando-se a metodologia descrita por Bradford (1976), utilizando-se o extrato obtido para determinação da atividade da peroxidase. Sendo o teor de proteínas expresso em mg de proteína.g⁻¹ de material vegetal fresco.

Atividades enzimáticas

O extrato das folhas foi preparado para as análises pela homogeneização de 0,200 g de matéria fresca em 4,0 mL do tampão fosfato de sódio 0,1 M (pH 7.0). O homogenado foi centrifugado a 10.000 x g a 4°C por 10 minutos (ZERAİK et al., 2008). A solução sobrenadante foi armazenada em -20°C e utilizada para determinação das proteínas solúveis totais e das enzimas catalase (CAT), peroxidase (POD), ascorbato peroxidase (APX) e polifenoloxidase (PPO).

A atividade da catalase (CAT) foi determinada segundo Havir e Mchale (1987). com algumas modificações, conforme Azevedo et al., (1998). Os resultados foram expressos em U min⁻¹ mg⁻¹ proteína g⁻¹ massa vegetal fresca.

A atividade de ascorbato peroxidase (APX) foi determinada como descrito por Nakano e Asada, (1981). Os valores de atividade foram expressos em $U \text{ min}^{-1} \text{ mg}^{-1} \text{ proteína g}^{-1} \text{ massa fresca}$.

A atividade da peroxidase (POD), foi estimada com base no aumento da absorvância pela oxidação do guaiacol e concomitante redução do peróxido de hidrogênio, segundo a metodologia descrita por (MALIK e SINGH, 1980).

A atividade da polifenoloxidase (PPO) foi determinada como descrito por Kar e Mishra (1976). A atividade da enzima foi expressa em $U \text{ min}^{-1} \text{ mg}^{-1} \text{ proteína g}^{-1} \text{ massa fresca}$.

Clorofila a, b, total e carotenóides

A diagnose da concentração de clorofila e carotenóides somente foi realizada para a coleta realizada aos 72 DAS. Após a coleta, as folhas foram acondicionadas em papel laminado e transportadas em equipamento térmico contendo gelo e conduzidas ao Laboratório de cultura de tecidos da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), com manutenção sob refrigeração para quantificação destrutiva dos pigmentos fotossintéticos.

De cada amostra, foram pesados 200 gramas nos quais se determinou a massa fresca com balança analítica de precisão de 0,0001 g. Procedeu-se à maceração em acetona a 80% em ambiente com fonte de iluminação artificial verde de baixa intensidade. Os extratos obtidos foram filtrados através de papel-filtro rápido e coletados em balões volumétricos de 25 mL, completando-se o volume ao final da filtragem com água destilada. Realizou-se a leitura em espectrofotômetro nos comprimentos de onda de 663, 645 e 470 nm, utilizando se acetona a 80% como branco. A quantificação da clorofila “a”, “b” e total foi realizada segundo metodologia de Arnon (1949), baseada nas equações 2, 3, 4 e 5.

$$\text{Clorofila "a"} = (12,25 \times A_{663} - 2,79 \times A_{645}) \times 126/1000; \quad (2)$$

$$\text{Clorofila "b"} = (22,88 \times A_{645} - 4,68 \times A_{663}) \times 126/1000; \quad (3)$$

$$\text{Clorofila total} = (Ca + Cb) \quad (4)$$

$$\text{Carotenóides (xantofila + carotenos)} = ((1000 A_{470} - 1,82 Ca - 85,02 Cb) / 198) / 1000 \quad (5)$$

Em que, A = absorvância dos extratos no comprimento de onda determinado;

Os valores obtidos foram transformados para teores de clorofila a, b e carotenóides nas folhas, expressos em unidades de massa por massa fresca (mg g^{-1} material vegetal fresco).

Sendo a clorofila extremamente sensível a luz e facilmente fotodegradável, o procedimento de extração e concentração foi realizado sob penumbra. Realizou-se a leitura em espectrofotômetro nos comprimentos de onda de 663, 645 e 470 nm, utilizando-se acetona a 80% como branco.

Teores minerais de Na, K e P

Nas amostras pré-secas na estufa com ventilação forçada a 65°C e finamente trituradas e moído em moinho de facas tipo Willey, as diversas frações da planta: raízes, grãos e parte aérea (folhas e colmo), foram determinados os teores de Na^+ , K^+ , e P (MALAVOLTA et al., 1989).

Para determinação dos teores de Na^+ , K^+ e P, foi preparado um extrato utilizando 150 mg do pó moído diluído em 15 mL de HCl 1N, e em seguida agitado por 60 minutos e filtrado, utilizando-se papel de filtro de filtragem rápida (MIYAZAWA et al., 1984). Os teores de Na^+ , P e K^+ foram determinados através de fotometria de chama.

Análises estatísticas

As variáveis determinadas foram submetidas à análise de variância (ANOVA). Após a análise de variância as variáveis que apresentaram efeitos significativos foram submetidas a análise de regressão para o fator fração de lixiviação e comparação de médias pelo teste de Tukey para o fator salinidade da água de irrigação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Atividade enzimática

Os resultados apresentados na Tabela 2 indicam que houve efeito significativo para o fator salinidade nas variáveis peroxidase (POD) e polifenoloxidase (PPO) e para o fator fração de lixiviação nas variáveis ascorbato peroxidase (APX) e catalase (CAT). E houve interações para as variáveis catalase (CAT), ascorbato peroxidase (APX), proteína solúvel (PS) e polifenoloxidase (PPO), para a primeira amostragem.

Tabela 2. Quadro de ANOVA das enzimas e proteínas solúveis da 1ª amostragem

	F. V.	CE	FL	CE*FL	CV (%)
	G. L.	1	4	4	
Quadrado médio	POD	21,93 ^{**}	1,83 ^{ns}	0,95 ^{ns}	16,02
	CAT	4,29 ^{ns}	7,66 ^{**}	22,74 ^{**}	18,10
	PPO	5,78 [*]	3,06 ^{ns}	3,36 [*]	15,76
	APX	0,05 ^{ns}	11,89 ^{**}	30,42 ^{**}	18,29
	PS	0,39 ^{ns}	2,80 ^{ns}	8,96 ^{**}	17,15

F. V.: fonte de variação, G. L.: graus de liberdade, CE: condutividade elétrica, FL: fração de lixiviação, CE*FL: interação entre os fatores de variação, CV: coeficiente de variação, POD: peroxidase, CAT: catalase, PPO: polifenoloxidase, APX: ascorbato peroxidase, PS: proteínas solúveis. ^{ns} não significativo até 5%, * e ** significativos a 5% e a 1% de probabilidade pelo teste F.

Na Tabela 3 pode-se verificar que para a segunda amostragem a condutividade elétrica da água de irrigação influenciou à atividade das enzimas POD, PPO e APX e o fator fração de lixiviação respondeu para todas as variáveis avaliadas com exceção da POD. Houve também interação entre os fatores para todas as variáveis, excetuando a PPO.

Tabela 3. Quadro de ANOVA das enzimas e proteínas solúveis da 2ª amostragem

	F. V.	CE	FL	CE*FL	CV (%)
	G. L.	1	4	4	
Quadrado médio	POD	8,77 ^{**}	3,23 ^{ns}	11,89 ^{**}	13,84
	CAT	3,76 ^{ns}	4,00 ^{**}	6,12 ^{**}	15,45
	PPO	11,34 ^{**}	8,51 ^{**}	2,23 ^{ns}	12,24
	APX	19,01 ^{**}	3,38 [*]	19,27 ^{**}	14,58
	PS	0,26 ^{ns}	4,69 [*]	14,24 ^{**}	16,18

F. V.: fonte de variação, G. L.: graus de liberdade, CE: condutividade elétrica, FL: fração de lixiviação, CE*FL: interação entre os fatores de variação, CV: coeficiente de variação, POD: prroxidase, CAT: catalase, PPO: polifenoloxidase, APX: ascorbato peroxidase, PS: proteínas solúveis. ^{ns} não significativo até 5%, * e ** significativos a 5% e a 1% de probabilidade pelo teste F

Na terceira amostragem foram analisadas as enzimas e proteínas, além de clorofila e de carotenóides. Os resultados apresentados na Tabela 4 permitem observar que as variáveis PPO, APX e clorofila a (Ca) e clorofila b (Cb) foram significativas para condutividade elétrica da água de irrigação, já para fração de lixiviação foram significativas as variáveis PPO e Cb. As interações foram significativas exceto para POD e PPO. De maneira geral, os tratamentos influenciaram nas atividades enzimáticas em alguma fase do cultivo de milho.

Esses resultados evidenciam a maior atividade das enzimas nas plantas submetidas à maior estresse salino. Observa-se também que em função dos níveis de salinidade da água, os valores das variáveis analisadas, mostraram diferença significativa aumentando com o

incremento da concentração de sais da água de irrigação, para todas as épocas analisadas (Tabelas 5 e 6).

Tabela 4. Quadro de ANOVA das enzimas, proteínas solúveis, clorofia e carotenóides da 3ª amostragem

	F. V.	CE	FL	CE*FL	CV (%)
	G. L.	1	4	4	
Quadrado médio	POD	0,26 ^{ns}	1,17 ^{ns}	3,76*	13,76
	CAT	0,10 ^{ns}	18,63**	3,48*	16,51
	PPO	0,90 ^{ns}	1,77 ^{ns}	2,09 ^{ns}	13,64
	APX	49,44**	32,22**	57,56**	13,76
	PS	0,12 ^{ns}	3,48*	0,52 ^{ns}	16,46
	C a	5,06*	2,05 ^{ns}	9,77**	15,24
	C b	46,34**	35,36**	46,78**	14,31
	Ct	4,17 ^{ns}	2,36 ^{ns}	9,78**	14,00
	Carot	1,14 ^{ns}	2,36 ^{ns}	6,59**	15,17

F. V.: fonte de variação, G. L.: graus de liberdade, CE: condutividade elétrica, FL: fração de lixiviação, CE*FL: interação entre os fatores de variação, CV: coeficiente de variação, POD: peroxidase, CAT: catalase, PPO: polifenoloxidase, APX: ascorbato peroxidase, PS: proteínas solúveis, C a: clorofila a, C b: clorofila b, Ct: clorofila total, Carot: carotenóides.

Tabela 5. Efeito da salinidade da água de irrigação nas atividades das enzimas e proteínas solúveis do tecido vegetal na primeira e segunda amostragem

Tratamento CE (dS m ⁻¹)	POD	CAT	PPO (mg prot g ⁻¹ MF)	APX	PS
3,3	108732a	512,93a	26613a	38850a	3157,5a
1,2	82527b	588,93a	26169b	39454a	3036,2a
3,3	118687a	227,67a	25668a	60648a	4277,8a
1,2	102152b	309,80a	22073b	48033b	4151,5a

Trat: tratamentos utilizados na cultura do milho, médias seguidas de mesma letra na estatisticamente; POD: mesma coluna, não diferem peroxidase (mg prot g-1 MF), CAT: Catalase (mg prot g-1 MF), POP: polifenolperoxidase (mg prot g-1 MF), APX: ascorbato peroxidase (mg prot g-1 MF), PS: proteínas solúveis (mg prot g-1 MF)

Tabela 6. Efeito da condutividade elétrica sobre as enzimas, proteínas solúveis, clorofia e carotenóides da terceira amostragem

Tratamento	POD	CAT	PPO	APX	PS	Ca	Cb	CTotal	Carot
	(mg prot g-1 MF)								
3,3	208497a	390,09a	24702a	67383a	6067.9a	1,55a	0,74a	2,10a	0,44a
1,2	203176b	397,56a	23562a	47189b	5941.9a	1,37b	0,52b	1,90a	0,42a

Trat: tratamentos utilizados na cultura do milho, médias seguidas de mesma letra na mesma coluna, não diferem estatisticamente; POD: peroxidase (mg prot g-1 MF), CAT: Catalase (mg prot g-1 MF), POP: polifenolperoxidase (mg prot g-1 MF), APX: ascorbato peroxidase (mg prot g-1 MF), PS: proteínas solúveis (mg prot g-1 MF), Ca: clorofila a (mg prot g-1 MF), Cb: clorofila b (mg prot g-1 MF) Ct: clorofila Total (mg prot g-1 MF), CAROT: carotenóides (mg prot g-1 MF).

Os resultados do estudo nas três amostragens (20, 40 e 70 DAS), revelam que a atividade das enzimas Catalase (CAT), Ascorbato peroxidase (APX), peroxidase (POD) e polifenoloxidase (PPO) (Figuras 9, 10 e 11), seguiu a mesma tendência de redução quadrática. A atividade enzimática em condições de ausência de estresse geralmente é estável uma vez que as enzimas estão atuando na eliminação de espécies reativas geradas durante o metabolismo normal dos cloroplastos e mitocondrias.

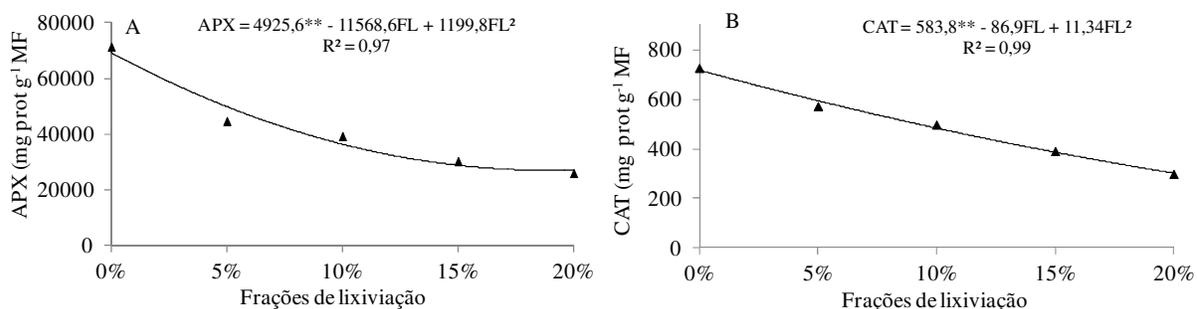


Figura 9. Análises de regressão e equações de ajustes para as variáveis ascorbato peroxidase (APX-A) e catalase (CAT-B) em função das frações de lixiviação e da salinidade da água de irrigação da 1ª amostragem

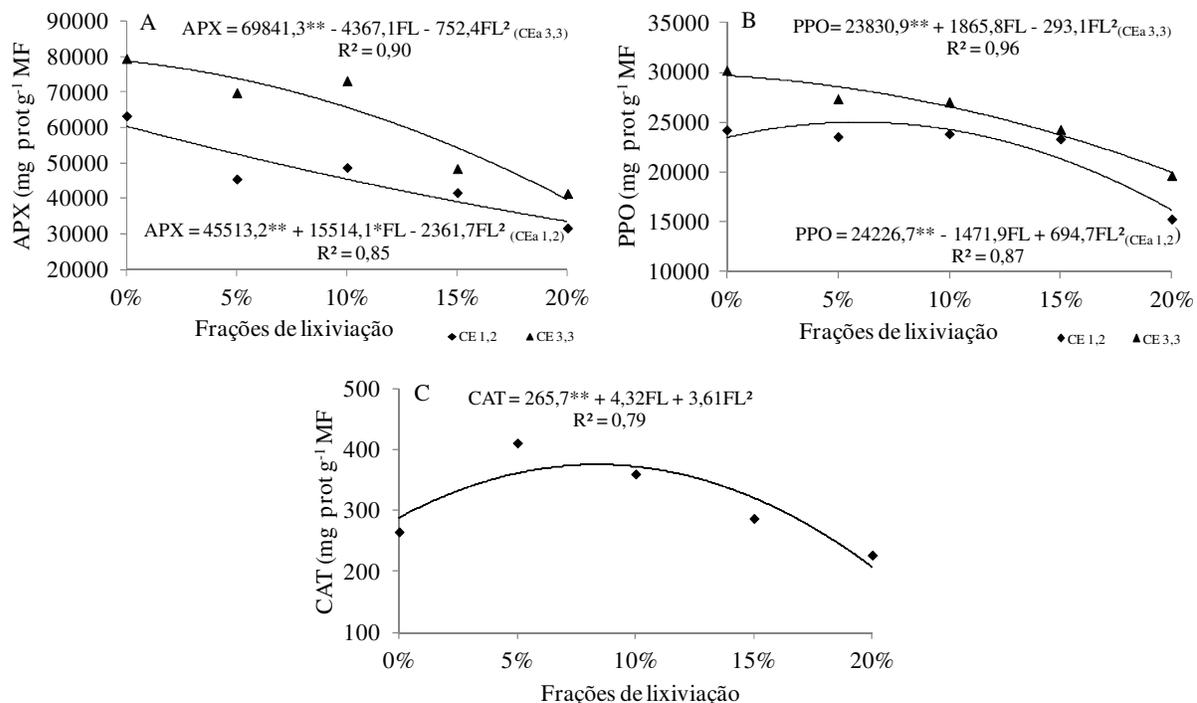


Figura 10. Análises de regressão e equações de ajustes para as variáveis ascorbato peroxidase (APX-A), polifenoloxidase (PPO-B) e catalase (CAT-C) em função das frações de lixiviação e da salinidade da água de irrigação da 2ª amostragem

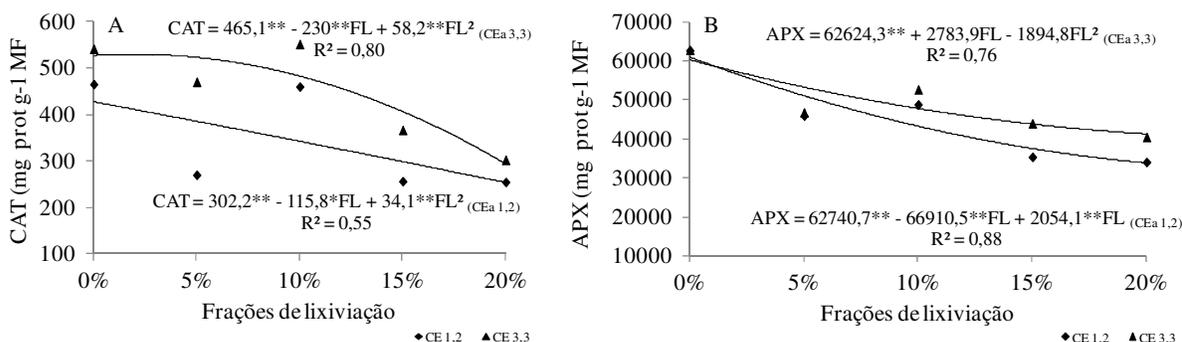


Figura 11. Análises de regressão e equações de ajustes para as variáveis catalase (CAT-A), e ascorbato peroxidase (APX-B) em função das frações de lixiviação e da salinidade da água de irrigação da 3^a amostragem

A redução da atividade enzimática em função do aumento das frações de lixiviação (FL), evidencia claramente que com o aumento das lâminas de água aplicada (frações de lixiviação), houve maior disponibilidade de água para as plantas e paralelamente resultou na redução da condutividade elétrica (Tabela 3, pág.51) e conseqüentemente menor produção de espécies reativas de oxigênio (ROS).

Estudos recentes têm mostrado que o estresse salino induz um estresse oxidativo inicial no milho que é depois seguido pela ativação diferencial do sistema antioxidativo (HICHEM et al., 2009; KHOLOVA et al., 2009). Os resultados confirmam estes trabalhos relacionados mostrando que houve uma indução de stresse oxidativo inicial (menores frações de lixiviação 0 e 5), que acumularam sais e que depois, devido as maiores frações (15 a 20), ocorreu a lavagem dos sais (que seria neste caso, a desativação diferencial do sistema oxidativo).

De modo geral, a atividade dessas enzimas antioxidativas aumenta sob estresse salino, hídrico e entre outros bióticos ou abióticos (HEIDARI, 2009) reforçando os resultados obtidos no presente trabalho. Resultados similares foram observados por Ushimaru et al. (1999) em plântulas de arroz, nas quais a deficiência de O₂ não alterou a atividade dessas enzimas.

Outro aspeto a realçar é que em função dos resultados apresentados, também fica claro que as lâminas teóricas aplicadas no experimento não representaram a real Etc da cultura de milho para as condições edafoclimáticas da área do estudo.

Teores de Proteínas solúveis

Para os teores de proteínas solúveis, os resultados do experimento mostram um aumento significativo em relação as frações de lixiviação aplicadas (Figura 12), tanto para condutividade elétrica de 1,2 dS m⁻¹ como a de 3,3 dS m⁻¹.

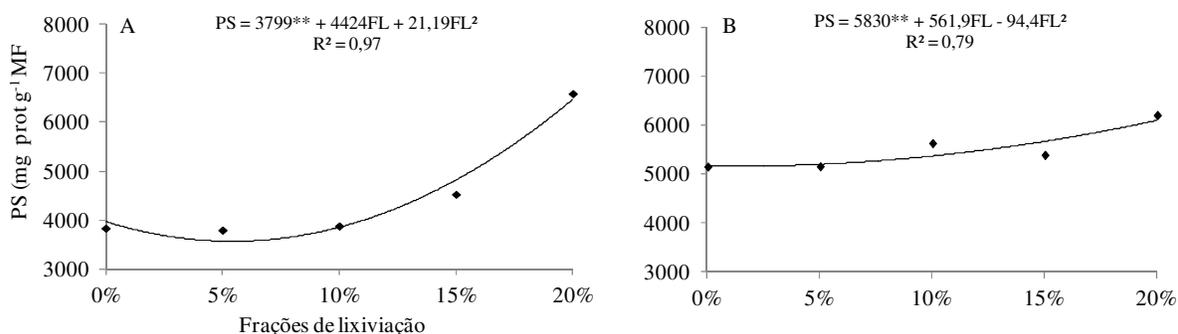


Figura 12. Análises de regressão e equações de ajustes para a variável proteína solúvel (PS -A e B) em função das frações de lixiviação e da salinidade da água de irrigação da 2^a e 3^a amostragens respectivamente.

Nas menores frações de lixiviação aplicadas observou-se os menores teores de proteína que refletem o retardamento na síntese protéica ou aceleração na sua degradação, levando ao aumento na quantidade de aminoácidos livres ou à inibição da incorporação destes aminoácidos nas proteínas.

A proteólise fornece aminoácidos necessários para a manutenção celular durante o estresse (PIZA et al., 2003). Quanto aos níveis de salinidade aplicados, não houve significância para a variável proteínas solúveis, nem para o fator isolado fração de lixiviação, o incremento só é observado para a interação entre os fatores. Neste caso, estes diferem da conclusão de Parida et al., 2004, segundo a qual, em plantas submetidas a estresse salino, geralmente, verifica-se uma redução na quantidade total de proteínas..

Teores de clorofila e carotenóides

A fotossíntese é limitada, não somente devido ao fechamento estomático, mas também pelo efeito do sal sobre os cloroplastos, em particular sobre o transporte de elétrons e os processos secundários (LARCHER, 2004).

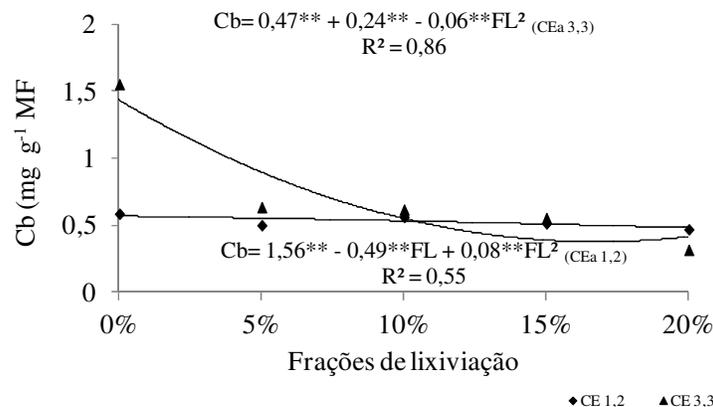


Figura 13. Análises de regressão e equações de ajustes para a variável, clorofila b (C_b) em função das frações de lixiviação e da salinidade da água de irrigação da 3ª amostragem.

Observou-se maior conteúdo de clorofila em todos os tratamentos com menores lâminas de lixiviação aplicadas, ou seja, nas quais as plantas foram submetidas a um estresse hídrico.

O incremento no conteúdo de clorofila em função do estresse salino e hídrico foi reportado em células de *Bouteloua gracilis*, uma gramínea tolerante ao estresse hídrico (GARCIA-VALENZUELA et al., 2005). O incremento nos teores de clorofila pode ser resultado do desenvolvimento do cloroplasto (aumento no número de tilacóides) ou do aumento no número de cloroplastos sugerindo a ativação de um mecanismo de proteção ao aparato fotossintético (GARCÍA-VALENZUELA et al., 2005).

Apesar de se considerar que os teores de clorofila e carotenóides nas folhas variam em função do estresse salino aplicado, alguns autores registram redução dos teores de clorofila e outros incrementos da mesma, como resposta ao estresse salino (PARIDA e DAS, 2005). Jamil et al. (2007), também concluíram que, o estresse salino reduz a clorofila a, b e total em plantas sensíveis a salinidade. Segundo os autores, condições salinas conduzem a destruição da estrutura do cloroplasto, degradando a enzima clorofilase, o que leva a redução do conteúdo de clorofila.

Geralmente, os conteúdos de clorofilas são significativamente reduzidos nos tratamentos com alta concentração salina especialmente em plantas mais velhas. Isso se deve

a que a clorofila total e a proporção de seus componentes dependem das fases biológicas do processo e desenvolvimento da planta e também do tipo e a concentração do sal.

Teores de Na, K e P

Na Tabela 7 pode-se observar a análise de variância dos teores de Na, K e P na planta e nos grãos de milho em função dos tratamentos. Apresentando resultados significativos para ambos os fatores estudados aos níveis de 1 e 5% de probabilidade, principalmente para a interação entre fatores. Observa-se também baixos valores de coeficiente de variação para as variáveis analisadas.

Os teores do elemento mineral (P) decresceram com o aumento da fração de lixiviação, entretanto os teores mantiveram se dentro dos padrões normais requeridos pela cultura de milho, tanto que não houve sintoma nas plantas (Figura 15).

Tabela 7. Valores de quadrados médios e significância estatística para os teores de sódio, potássio e fósforo em função da condutividade elétrica da água de irrigação e das frações de lixiviação

	F. V.	CE	FL	CE*FL	CV (%)
	G. L.	1	4	4	
Quadrado médio	P raíz	0,15 ^{ns}	10,32 ^{**}	25,22 ^{**}	16,33
	P grãos	0,05 ^{ns}	1,09 ^{ns}	1,15 ^{ns}	15,25
	P parte aérea	0,00 ^{ns}	6,09 ^{**}	1,58 ^{ns}	16,44
	K raíz	3,29 ^{ns}	1,79 ^{ns}	6,59 [*]	15,38
	K grãos	0,19 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,11 ^{ns}	13,17
	K parte aérea	0,38 ^{ns}	0,90 ^{ns}	1,51 ^{ns}	15,88
	Na raíz	5,10 [*]	3,19 [*]	4,75 [*]	15,33
	Na grãos	0,16 ^{ns}	12,39 ^{**}	9,15 ^{**}	15,59
	Na parte aérea	63,89 ^{**}	2,16 ^{ns}	3,78 [*]	15,94

^{ns} não significativo até 5%, * e ** significativos a 5% e a 1% de probabilidade pelo teste F

F. V.: fonte de variação, G. L.: graus de liberdade, CE: condutividade elétrica, FL: fração de lixiviação, CE*FL: interação entre os fatores de variação, CV: coeficiente de variação, Praíz: Fósforo na raíz, Pgrãos: Fósforo nos grãos, Ppaérea: Fósforo na parte aérea, Kraíz: Potássio na raíz, Kgrãos: Potássio nos grãos, Kpaérea: Potássio na parte aérea, Naraíz: Sódio na raíz, Ngrãos: Sódio nos grãos, Napaérea: Sódio na parte aérea

Os teores de Na⁺ (Figura 14) foram influenciados pelos fatores e também pela interação entre os fatores. Os maiores teores de Na⁺ foram encontrados na CE= 3,3 dS m⁻¹

(Tabela 8). Em tendência, a concentração de sodio decresceu com o aumento da fração de lixiviação.

O maior teor de Na^+ nas raízes quando comparado com a parte aérea evidencia a capacidade do milho (genótipo AG 1051), em evitar a translocação do cátion para a parte aérea. (não danificar o aparato fotossintético), características de variedades tolerantes.

Baixíssimo acúmulo de Na^+ nos grãos mostra a capacidade de exclusão o que pode representar uma boa capacidade de exclusão desse íon em plantas de milho e sorgo (TRINDADE, 2002), característica apreciável em estudos que relacionam diferentes qualidades de águas de irrigação

Em função da concentração de sais da água de irrigação, os teores de fosforo se mantiveram iguais em todas as partes da planta. Os teores de potássio na raiz diferiram decrescentemente com o incremento da salinidade da água de irrigação, (Tabela 8).

Tabela 8. Efeito das condutividades elétricas sobre os nutrientes analisados

Trat	Praíz	Pgrãos	Ppaérea	Kraíz	Kgrãos	Kpaérea	Naraíz	Nagrãos	Napaérea
CE (dS m^{-1})	(g kg^{-1})								
1,2	1,76a	4,11a	1,98a	68,07a	63,63a	26,30a	43,64b	0,51a	2,27b
3,3	1,73a	4,07a	1,97a	62,32a	64,80a	53,09a	48,69a	0,52a	3,41a

Trat: tratamentos utilizados na cultura do milho, médias seguidas de mesma letra na mesma coluna, não diferem estatisticamente.

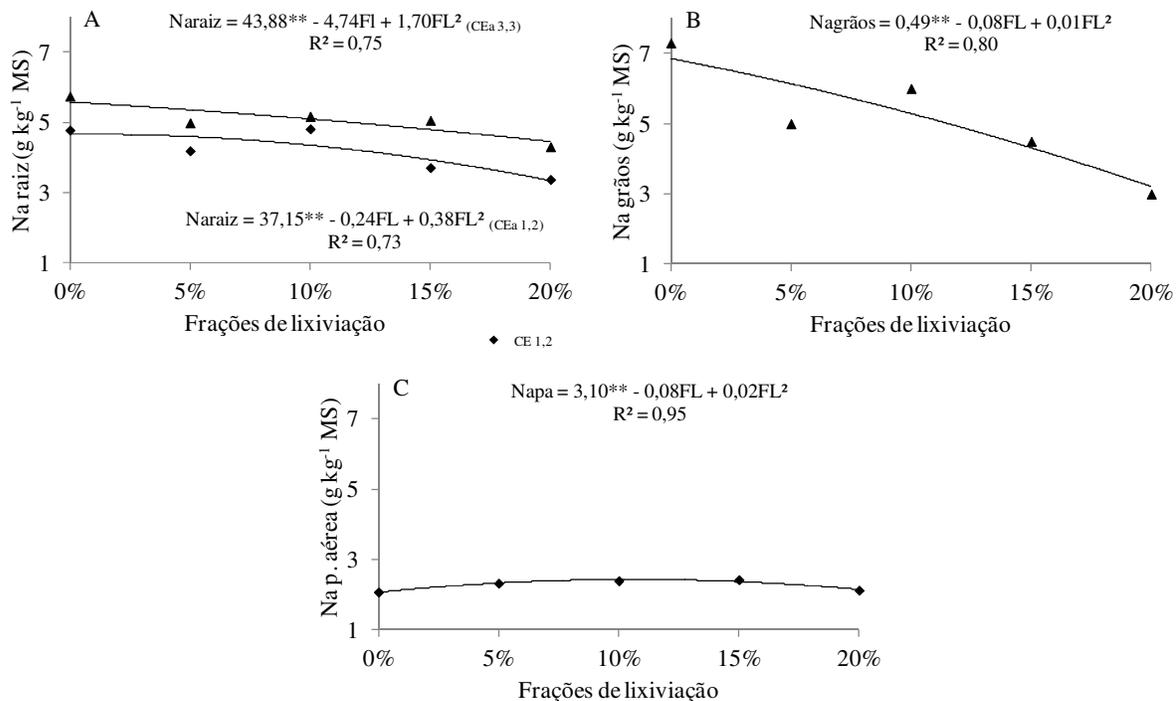


Figura 14. Análises de regressão e equações de ajustes para a variável sódio (Na-A,B e C) na raiz, grãos e parte aérea respectivamente em função das frações de lixiviação e da salinidade da água de irrigação.

Sob condições de estresse salino, a concentração de K^+ decresce influenciando negativamente o crescimento das plantas. No entanto, os resultados em estudo indicam que os teores de K^+ (Tabela 7) não foram influenciados tanto pela condutividade elétrica como pelas frações de lixiviação. Também não houve interação entre os fatores.

De acordo com (SILVA et al., 2003), a redução nos teores de K^+ em meios salinos se deve, em grande parte, à menor absorção de K^+ , causada pela competição dos íons Na^+ pelos mesmos sítios no sistema de absorção na membrana plasmática das células radiculares (MARSCHNER, 1995).

Para o fósforo, os teores não foram influenciados pelos níveis de salinidade da água de irrigação nas diversas partes da planta, (Tabela 8). Porém este foi influenciado principalmente pela interação entre os fatores analisados (Figura 15).

Observa-se uma tendência decrescente dos teores do ânion em função do aumento da fração de lixiviação. Entretanto, como o (K^+), os de fósforo (P), permaneceram dentro da faixa de normalidade. É interessante notar que o teor de fósforo (P) nos grãos é mais do que o dobro do teor deste ânion na parte aérea e nas raízes (Tabela 8).

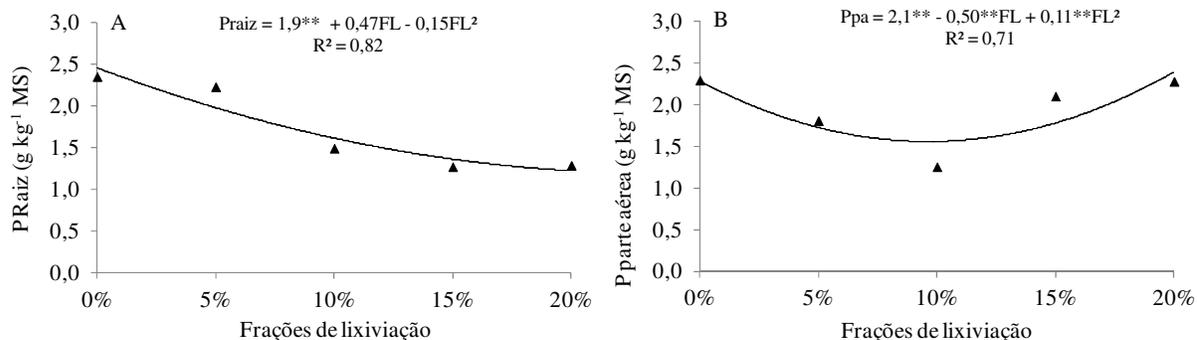


Figura 15. Análises de regressão e equações de ajustes para a variável, fósforo (P-A e B) raízes e parte aérea respectivamente em função das frações de lixiviação e da salinidade da água de irrigação.

CONCLUSÕES

1. O incremento das frações de lixiviação e da salinidade acarretam em redução de enzimas, clorofilas e carotenóides;
2. Para os níveis de proteínas solúveis, observa-se um aumento quando se utiliza água com CE acima de 1,2 dS m⁻¹;
3. Nutricionalmente, os teores de , potássio e fósforo apresentam aumento não acarretando deficiências nutricionais com a utilização de águas com CE acima de 1,2 dS m⁻¹, ocorrendo um decrescimento com o aumento da fração de lixiviação;
4. O teor de sódio foi maior nas plantas cultivadas com maior condutividade elétrica (CE 3,3 dS m⁻¹);
5. O teor de sódio decresceu à medida que as frações de lixiviação aumentaram;
6. O maior teor de Na⁺ nas raízes do que na parte aérea, indica a capacidade da planta em excluir esse cátion da parte aérea.
7. A eficiência do incremento da atividade do sistema antioxidativo é demonstrada pela manutenção da produção de espigas evitando o estresse oxidativo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGARWAL, S.; PANDEY, V. Antioxidant enzyme responses to NaCl stress in *Cassia angustifolia*. **Biologia Plantarum**, v.48, p.555-560, 2004.
- ALBUQUERQUE FILHO, J. A. C.; LIMA, V. L. A.; MENEZES, D.; AZEVEDO, C. A. DANTAS NETO, J.; SILVA JÚNIOR, J. G. Características vegetativas do coentro submetido a doses do polímero hidroabsorvente e lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.6, p.671–679, 2009.
- AQUINO, A. J. S. **Avaliação do crescimento e dos mecanismos de tolerância à salinidade em plantas de sorgo forrageiro irrigadas com águas salinas**. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 90f.2005.
- ARNON, D.I. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. **Plant Physiology**, v.24, n.1, p.1-15, 1949.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Tradução de H.R. GHEYI, J.F. de MEDEIROS, DAMASCENO, F.A.V. Campina Grande, UFPB, 1999. 153p.
- AZEVEDO, R.A. et al. Response of antioxidant enzymes to transfer from elevated carbon dioxide to air and ozone fumigation, in the leaves and roots of wild-type and a catalase-deficient mutant of barley. **Physiologia Plantarum**, v.104, p.280-292, 1998.
- BRADFORD MM A Rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Anal. V. 72, P. 248-253, 1976.**
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional da Irrigação Departamento de Meteorologia. **Normas Climatológicas 1961-1990**. Brasília-DF: EMBRAPA, 1992. 84p.
- CAVALCANTI, F. J. A. **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco**. 3.ed. Recife: Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA, 2008, 212p.
- FAO. Water in agriculture: opportunity untapped. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Acesso em janeiro de 2006.
- FERREIRA, P. A.; MOURA R. F.; SANTOS, D. B.; FONTES, P. C. R.; MELO, R. F. Efeitos da lixiviação e salinidade da água sobre um solo salinizado cultivado com beterraba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 3, p. 570–578, 2005.

- GARCÍA-VALENZUELA, X., E. GARCÍA-MOYA, Q. RASCÓN-CRUZ, L. HERRERAESTRELLA AND G.A. AGUADO-SANTACRUZ. Chlorophyll accumulation is enhanced by osmotic stress in graminaceous chlorophyll cells. **J. Pl. Physiol.** v.162, p. 650–61 2005.
- GRATTAN, S.R.; GRIEVE, C.M.; Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. *Scientia Horticulturae*. V.78, n.1, p.127-157, 1999.
- HAVIR EA, MCHALE NA. Biochemical and developmental characterization of multiple forms of catalase in tobacco leaves. **Plant Physiol**,v.84,p.450–455, 1987.
- HEIDARI, M. Antioxidant activity and osmolyte concentration of sorghum (*Sorghum bicolor*) and wheat (*Triticum aestivum*) genotypes under salinity stress. **Asian Journal of Plant Sciences**, v. 8, p. 240-244, 2009.
- HICHEM H, MOUNIR D, NACEUR A. Differential responses of two maize varieties to salt stress: changes on polyphenols composition of foliage and oxidative damages. **Indust Crops Prod.** v. 30, p. 144–151, 2009.
- JAMIL, M. Salinity reduced growth PS2 photochemistry and chlorophyll content radish. **Scientia Agricola**, v. 64, n. 2, p. 111-118, 2007.
- KOSHIBA, T. Cytosolic ascorbate peroxidase in seedlings and leaves of maize (*Zea mays*). **Plant Cell Physiol**, v.34, p.713-721, 1993.
- KAR, M.; MISHRA, D. Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. **Physiologia Plantarum**, v.57, p.315-319, 1976.
- KHOLOVA,J.; SAIRAM, R.K.; MEENA, R.C.; SRIVASTAVA, G.C. Reponse of maize genotypes to salinity stress in relation to osmolytes and metal-ions contents, oxidative stress and antioxidant enzymes activity. **Biol. Plant.** v.53, p.249-256, 2009.
- LACERDA, C.F. Interação salinidade x nutrição mineral. In: NOGUEIRA, R.J.C.;ARAÚJO, E.L.; WILLADINO, L.G.; CAVALCANTE, U., eds. Estresses ambientais:Danos e benefícios em plantas. Recife, Universidade Federal Rural de Pernambuco, p.127-137. 2005.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: Rima, 2004, 531 p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C., OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e Aplicações**. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. Piracicaba, SP, 1989, 201p.

- MALIK, C.P.; SINGH, M.B. **Plant Enzymology and Histo-Enzymology: A Text Manual**. Kalyani Publishers, New Delhi, 1980, 286 p.
- MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. 2. ed. London, Academic Press, 1995, 889 p.
- MARTINS NETO, L.; VAZ, C. M. P; CRESTANA, S. **Instrumentação avançada em ciências do solo**. São Carlos – SP. Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2007, 438 p.
- MEDEIROS, P R. F; DUARTE, S.N; DIAS, C.T. S. ; SILVA, M. F.D. Tolerância do pepino à salinidade em ambiente protegido: Efeitos sobre propriedades físico-químicas dos frutos. **Irriga**, v. 15, n.3, p. 301-311, 2010.
- MELO, M. R. S. **Lixiviação de nutrientes em lisímetros de drenagem na presença de polímero hidroabsorvente**. 2007. 64 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2007.
- MEHDY, M.C.; SHARMA, Y.K.; SATHASIVAN, K.; BAYS, N.W. The role of activated oxygen species in plant disease resistance. Arabidopsis suspension cultures. *Biochemical Journal* 330, **Physiologia Plantarum**, v. 98, p. 365–74, 1996.
- MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Trends Plant Sci.** v. 7, p. 405–410. 2002.
- MIYAZAWA, M; PAVAN, M. A.; BLOCH, M. F. M. Avaliação de métodos com e sem digestão para extração de elementos em tecidos de plantas. **Ciência e Cultura**, V. 36, P. 1953-1958, 1984.
- MIYAZAWA, M; PAVAN, M.A.; BLOCH, M.F.M. **Análise química de tecido vegetal**. IAPAR, (IAPAR, Circular, 74), 1992,17 p.
- PANG, C. A.; WANG, B. Oxidative Stress and Salt Tolerance in Plants. **Progress in Botany**. v. 69, p. 231-246, 2008.
- PARIDA, A. K., DAS, A. B.; MOHANTY, P. Defense potentials to NaCl in a mangrove, *Bruguiera parviflora*: differential changes of isoforms of some antioxidative enzymes. **J. Plant Physiol**, v. 85, n. 3, p. 531–542, 2004.
- PARIDA, A.K.;DAS, A.B. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. **Ecotoxic. Environ. Saf.**, v. 60, p. 324–349, 2005.

PIZA, I.M.T.; LIMA, G.P.P.; BRASIL, O.G. Atividade de peroxidase e níveis de proteínas em plantas de abacaxizeiro micropropagadas em meio salino. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 9, p. 361-366, 2003.

PIZARRO, F. **Riegos Localizados de Alta Frecuencia (RLAF): goteo, microaspersión, exudación**. 3. ed. Madrid, España: Mundi-Prensa, 1996. 511p.

SALEH, L.; PLIETH, C. Fingerprinting antioxidative activities in plants. **Plant Methods**, v. 5, p. 2-2..., 2009.

SILVA, A. S.; ALMEIDA, F. A. C.; ALVES, N. M. C.; MELO, K. S.; GOMES, J. P. Característica higroscópica e termodinâmica do coentro desidratado. **Ciência Agrônômica**, v.41, n.2, p. 237-244, 2010.

SILVA, J. S. **Caracteres fisiológicos e bioquímicos de dois genótipos de sorgo forrageiro submetidos à salinidade**. Fortaleza, Ce/UFC, 2003, 109p, Tese (Doutorado em Fitotecnia, Universidade Federal do Ceará) - 2003.

SILVEIRA, L. S.; BATISTA, M. S.; OLIVEIRA, L.; ARAÚJO, F. B.; MENEZES, L. M. Avaliação da eficácia do disofenol e closantel sobre a redução de ovos por grama de fezes em cordeiros. In: XIX Congresso de Iniciação Científica e XII Encontro da Pós Graduação da Universidade Federal de Pelotas. **Anais...Pelotas**, 2010.

TRINDADE, A. R. **Influência do acúmulo e distribuição de íons na parte aérea sobre as respostas de plantas de sorgo e de feijão-de-corda ao estresse salino**. Fortaleza, CE/UFC, 2002, 42p, Monografia (Curso de Agronomia, Universidade Federal do Ceará) - 2002.

USHIMARU, T.; KANEMATSU, S.; SHIBASAKA, M.; TSUJI, H. Effect of hypoxia on the antioxidative enzymes in aerobically grown rice (*Oryza sativa*) seedlings. **Physiologia Plantarum**, v. 107, p. 181–187. 1999.

ZERAIK, M.L.; LIRA, T.O.; VIEIRA, A.E.; YARIWAKE, J.H. Comparação da capacidade antioxidante do suco de maracujá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener), da garapa (*Saccharum officinarum* L.) e do chá-mate (*Ilex paraguariensis*). **Resumos da 31a Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química**. 2008.

ZHU, J. K. Salt and drought stress signal transduction in plants. Annual Review, **Plant Biology**, v. 53, p. 247-273, 2002.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando-se as condições edafo-climáticas locais, a técnica da fração de lixiviação mostra-se eficiente no controle dos níveis de salinidade da água de irrigação;

O incremento da fração de lixiviação reduz a salinidade na zona radicular refletindo-se na diminuição da atividade do sistema antioxidativo;

A produtividade do milho apresentou ajuste quadrático, com os maiores resultados para a fração de lixiviação de 10%, comprovando que a fração de lixiviação proporciona um aumento na massa de grãos até este valor;

Acima da fração de lixiviação de 10%, a redução na produtividade pode ser explicada pela tendência de diminuição dos nutrientes estudados, que entretanto, apresentaram teores normais para a nutrição de milho.

Todavia, é possível que outros nutrientes não estudados tenham apresentado a mesma tendência ocasionando a queda de produtividade para as maiores frações de lixiviação.