

REVISÃO

AQUECIMENTO GLOBAL: SALINIDADE E CONSEQUÊNCIAS NO COMPORTAMENTO VEGETAL

TARCÍSIO MARCOS DE SOUZA GONDIM¹, LOURIVAL FERREIRA CAVALCANTE² e
NAPOLEÃO ESBERAD DE MACEDO BELTRAO³

RESUMO: Embora as repercussões das ações do aquecimento global, em que os modelos climáticos utilizados indicam elevação das temperaturas de 2 °C a 5 °C até o ano 2050, sejam na maioria das vezes especulativas, visou-se conhecer as influências do estresse salino no crescimento e no desenvolvimento das plantas em condições de variação de temperatura ocasionada pelo aquecimento global. Culturas capazes de obter em mais água ou que têm maior eficiência no seu uso resistirão melhor à elevação de temperatura e seca, evitando a toxicidade do sal, por meio de modificações para se adaptarem (resistência genética) e/ou se aclimatarem (tolerância à exposição anterior) às mudanças climáticas globais, incluindo a redução da área foliar, deposição de ceras sobre a área foliar, abscisão de folhas, acentuado crescimento de raízes, eficiência no uso da água (tipos fotossintéticos C₄ e CAM) e processos bioquímicos. As respostas da mitigação para novas cultivares e arranjos produtivos eficientes nos cenários previstos devem atender à demanda de alimentos para a humanidade e reduzir catástrofes.

Termos para indexação: Mudanças climáticas globais, temperatura, estresse abiótico, semiárido.

GLOBAL WARMING: SALINITY AND CONSEQUENCES IN PLANT

ABSTRACT: Although the repercussions of the actions of global warming in the climate models used show a rising in temperatures 2 - 5 °C by the year 2050, are mostly speculative, aimed at identifying the influences of salt stress on growth and development of plants under conditions of temperature caused by global warming. Cultures able to get more water or having a higher efficiency in its use better resist high temperature and dry, avoiding the toxicity of salt, through modifications to fit (genetic resistance) and / or acclimate (tolerance to exposure earlier) global climate change, including reduction in leaf area, deposition of wax on leaf area, leaf abscission, sharp growth of roots, water use efficiency (photosynthetic types C₄ and CAM) and biochemical processes. The responses of mitigation for new cultivars and efficient production arrangements in the scenarios provided should supply the demand of food for humanity and reduce catastrophes.

Index terms: Global climate change, temperature, abiotic stress, semiarid.

¹Embrapa Algodão, Rua Osvaldo Cruz, 1143, Centenário, CEP: 58428-095, Campina Grande, PB, tarcisio@cnpa.embrapa.br, nbeltrao@cnpa.embrapa.br

²Instituto Nacional de Ciências e Tecnologia em Salinidade, INCTSal, Departamento de Solos, Centro de Ciências Agrárias/UFPB Campus II, Areia, PB. CEP 58397-000. lofeca@cca.ufpb

INTRODUÇÃO

A primeira reunião entre governantes e cientistas sobre as mudanças climáticas, realizada em Toronto, Canadá, em 1988, descreveu seu impacto potencial inferior apenas ao de uma guerra nuclear. Desde então, uma sucessão de anos com altas temperaturas têm batido recordes mundiais de calor, fazendo da década de 1990 a mais quente desde que existem registros.

O efeito estufa é um processo que ocorre quando parte da radiação solar refletida pela superfície terrestre é absorvida por determinados gases presentes na atmosfera. Como consequência, a temperatura causada pelo aquecimento natural do planeta Terra fica retida e não é liberada ao espaço, permanecendo maior do que seria na ausência desse fenômeno. O efeito estufa, dentro de uma determinada faixa é de vital importância, considerando que, sem ele, as espécies hoje existentes não sobreviveriam devido às frequentes temperaturas inferiores a -15 °C que ocorreriam no planeta Terra. O que pode tornar catastrófico é a ocorrência de um agravamento do efeito estufa que desestabilize o equilíbrio energético no planeta e origine o fenômeno conhecido como aquecimento global.

O Protocolo de Kyoto é um instrumento internacional, ratificado em 15 de março de 1998, que visa reduzir as emissões de gases poluentes. Estes são responsáveis pelo efeito estufa e o aquecimento global. O Protocolo de Kyoto entrou oficialmente em vigor no dia 16 de fevereiro de 2005, após ter sido discutido e negociado em 1997, na cidade de Kyoto (Japão). No Protocolo, há um cronograma em que os países são obrigados a reduzir, em 5,2%, a emissão de gases poluentes, entre os anos de 2008 e 2012 (primeira fase do acordo). Os gases citados no acordo são: dióxido de carbono, gás metano, óxido nitroso, hidrocarbonetos fluorados, hidrocarbonetos per fluorados e hexafluoreto de enxofre. Estes três últimos são eliminados principalmente por indústrias.

A emissão destes poluentes deve ocorrer em vários setores econômicos e ambientais, cujas expectativas para o Nordeste brasileiro, por exemplo, são redução do nível de água dos açudes, impactos negativos na agricultura e perda de biodiversidade do bioma Caatinga (MARENGO, 2007). Os países devem colaborar entre si para atingirem as metas.

Neste período de quase duas décadas, os cientistas perceberam que o uso da terra para fins agrícolas também tem impactos importantes nas mudanças climáticas, pois manejos inadequados ocasionam emissões de gases do efeito estufa, provocando o aquecimento global. Entretanto, sabe-se que os avanços científicos atuais não são suficientes para demonstrar que esse aquecimento esteja provocando mudanças climáticas globais.

Desde a década de 1980, evidências científicas sobre a possibilidade de mudança do clima em nível mundial vêm despertando interesses crescentes no público e na comunidade científica em geral. Em 1988, a organização Meteorológica Mundial (OMM) e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (Pnuma) estabeleceram

o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, do inglês, *Intergovernmental Panel on Climate Change*). Atribuiu-se que o IPCC seria encarregado de apoiar, com trabalhos científicos, as avaliações do clima e os cenários de mudanças climáticas para o futuro. Sua missão é "avaliar a informação científica, técnica e socioeconômica relevante para entender os riscos induzidos pela mudança climática na população humana" (MARENGO, 2008). O IPCC foi criado pelos governos em 1988 para fornecer informações técnicas e científicas sobre as mudanças climáticas. O processo utilizado para produzir essas avaliações é criado para assegurar alta credibilidade tanto na comunidade científica como na política. Avaliações prévias foram publicadas em 1990, 1996 e 2001. Existem três "grupos de trabalho": O Grupo 1 avalia os aspectos científicos do sistema climático e de mudança do clima; o Grupo 2 avalia os efeitos das mudanças climáticas sobre a natureza e a sociedade; e o Grupo 3 discute os métodos de adaptação e mitigação das mudanças climáticas (MARENGO, 2008).

De acordo com Trenberth et al. (2007), no Quarto Relatório Científico (AR4, do inglês, *Fourth Assessment Report*) do IPCC ocorrem evidências de mudanças de clima que podem afetar significativamente o planeta, especialmente nos extremos climáticos, com maior rigor nos países menos desenvolvidos na região tropical. Este e outros trabalhos atribuem com probabilidade acima de 90%, que o aquecimento global dos últimos cinquenta anos foi causado pelas atividades humanas (GHINI et al., 2008; TRENBERTH et al., 2007).

A salinidade em solos de regiões áridas e semiáridas expressa preocupação social, uma vez que milhões de hectares de terra em todo o mundo são afetados por sais (LIMA et al., 2006). Segundo Cavalcante (2000), essas áreas a cada ano estão potencializando a redução de sua capacidade produtiva, devido à concentração de sais nas águas de irrigação ou por efeitos da intensa evaporação, ocasionados por altas temperaturas, ou pela solubilização dos sais existentes no solo.

Nos "perímetros irrigados", o impacto da salinidade sobre a produtividade agrícola é a causa principal de transtornos econômicos e sociais, com índices de prejuízo variando conforme a sensibilidade da cultura ao teor de sais. No caso de hortaliças (LIMA et al., 2006; MEDEIROS et al., 2009), Algodão (JÁCOME et al., 2003; MUNIS et al., 2010) e frutíferas (GARCÍA-SÁNCHEZ et al., 2006; RHOADES; LOVEDAY, 1990, citados por FERREIRA et al., 2001) de modo geral, o problema parece mais grave por serem mais sensíveis aos efeitos da salinidade; no entanto, a salinização pode ser controlada pela adoção de práticas culturais. Na agricultura irrigada, melhor manejo pode ser obtido com a irrigação por gotejamento, que otimiza o uso da água a ser aplicada. Na agricultura de sequeiro, práticas como a rotação de culturas anuais com espécies perenes de sistema radicular profundo pode restabelecer o equilíbrio entre a precipitação, impedindo assim a utilização da água dos lençóis freáticos, que traz sais para a superfície (MUNNS, 2002). A utilização da mistura de água de boa qualidade com água de qualidade duvidosa (CE entre 3,05 a 4,21 dS m⁻¹ e relação de adsorção de sódio (RAS) de 2,83 a 4,00 mmol_c L⁻¹) constitui-se em opção para o cultivo irrigado de citros (ALMEIDA et al., 2006).

A distribuição e a regularidade das chuvas no Brasil dependem, em grande parte, do clima. O ciclo anual das chuvas e de vazões no país varia entre bacias e a variabilidade interanual do clima, associada aos fenômenos de "El Niño" e "La Niña" ou à variabilidade na temperatura da superfície do mar do atlântico tropical e sul, podem gerar anomalias climáticas, que produzem grandes secas, como em 1877, 1983 e 1998 no Nordeste, 2004-2006 no Sul do Brasil, 2001 no Centro-oeste e Sudeste, e em 1926, 1983, 1998 e 2005 na Amazônia (MARENGO, 2008). Este autor afirma que, adicionalmente, os riscos derivados das mudanças climáticas, sejam estes naturais ou de origem antropogênica, têm levantado grande preocupação entre os círculos científicos, políticos, na mídia e também na população em geral.

Embora o aquecimento global seja quase irreversível, o mais preocupante é que, se nada for feito, essas mudanças afetarão gerações futuras, considerando-se os impactos nas distribuições das chuvas, nas oscilações na temperatura, no nível do mar e na salinidade da água de rios, oceanos e de solos, acarretando produtividade agrícola diferente da atual, ou até mesmo a perda total da produção de determinadas espécies cultivadas em regiões de ótimo ecológico, na atualidade e/ou, no futuro próximo.

O metabolismo ácido das crassuláceas (CAM) evoluiu em resposta ao estresse, particularmente para baixo suprimento de água. Metabolismo ácido das crassuláceas é uma das três vias metabólicas encontradas em plantas vasculares para a assimilação de dióxido de carbono (SILVERA et al., 2005).

Em plantas da caatinga, a via CAM geralmente é acompanhada por vários mecanismos para lidar com seca e temperaturas elevadas. Portanto, este curioso metabolismo poderá representar uma vantagem competitiva sobre as atuais mudanças climáticas, onde as previsões para as áreas tropicais são temperaturas mais elevadas e secas mais prolongadas (REYES-GARCIA; ANDRADE, 2009).

Neste sentido, objetivou-se com este trabalho conhecer influências do estresse salino no crescimento e desenvolvimento das plantas em condições de variação de temperatura ocasionada pelo aquecimento global.

Impactos do aquecimento global

Talvez, o melhor parâmetro de medida associado à mudança climática global seja a concentração atmosférica de dióxido de carbono (CO₂) (NOBEL, 1996). Outro fator ambiental associado com a mudança climática global é a temperatura do ar. Embora as previsões de temperaturas variem consideravelmente e futuras tendências projetadas com base em medidas de temperaturas sejam ambíguas, geralmente a maioria dos modelos utilizados indica que as temperaturas deverão subir entre 2 °C a 5 °C com o dobro da concentração de CO₂ atmosférico (NOBEL, 1996).

A concentração atmosférica de CO₂ tem atingido valores significativamente maiores

do que aqueles observados nos últimos 650 milhões de anos (GHINI et al., 2008; SIEGENTHALER et al., 2005). Desde 2000, o crescimento da taxa de CO₂ tem aumentado, causando notáveis consequências, incluindo o aquecimento global, com o derretimento de geleiras nos pólos e o aumento de dez centímetros ao nível do mar em um século (MARENGO, 2006), alterações geográficas e distribuição temporal de problemas fitossanitários (GHINI et al., 2008) e modificações no zoneamento agroclimático do cultivo de espécies, como o café, mostrado por Assad et al. (2004), entre outros. Estresse abiótico, como seca, salinidade, temperaturas extremas, toxicidade química e estresse oxidativo são sérias ameaças para a agricultura e resulta na degradação do ambiente. Estresse abiótico é a principal causa de perda das culturas em nível mundial, reduzindo os rendimentos médios para a maioria das principais plantas cultivadas, em mais de 50%. Seca e salinidade estão, particularmente, se tornando generalizadas em muitas regiões e podem causar a salinização severa de mais de 50% de todas as terras aráveis, até o ano 2050 (WANG et al., 2003).

Wang et al. (2001) mencionaram que o estresse abiótico leva a uma série de mudanças morfológicas, fisiológicas, bioquímicas e moleculares que afetam negativamente o crescimento e a produtividade vegetal. Os estresses hídrico, salino, de temperaturas extremas e o oxidativo são muitas vezes interligados e podem provocar danos celulares semelhantes. Por exemplo, a seca e/ou a salinização manifestam-se, inicialmente, como estresse osmótico, resultando na interrupção da homeostase e da distribuição iônica na célula (ZHU, 2001). Estresse oxidativo - que frequentemente resulta de alta temperatura, salinidade ou estresse hídrico - pode causar desnaturação das proteínas estruturais e funcionais (TAIZ; ZEIGER, 2004). Medidas corretivas passam a ser alternativa para a sobrevivência da humanidade, e as formas de ajustes ecológicos do homem e da produção de alimentos constituem-se em medidas de segurança ambiental.

A produção agrícola em regiões áridas e semiáridas depende do abastecimento de água de qualidade adequada. Nas áreas com predominância da agricultura irrigada, onde há escassez de água, dá-se ênfase, comumente, a métodos que aumentem a qualidade da água (COSTA et al., 2006). Para melhorar as características dos recursos hídricos disponíveis, o país ou a região deve ser capaz de utilizar água de má qualidade. A estratégia de uso dessas águas está em estimar as fontes de água: uma de boa qualidade (não salina) e outra de qualidade inferior (salina) embora não seja necessário que estejam disponíveis durante todo o ano ou toda temporada (COSTA et al., 2006).

Devido à exigência mundial crescente por alimentos, além de limitações à expansão das áreas agrícolas insuficiente ao crescimento populacional, elevado volume de água utilizada na agricultura, distribuição irregular das pluviosidades e redução da disponibilidade de água de boa qualidade nas regiões áridas e semiáridas, verifica-se a necessidade de se utilizar águas salinas na produção agrícola (CAVALCANTE et al., 2007) e atender às leis da preservação ambiental.

Aquecimento Global: Temperatura e salinidade do ambiente

Temperatura

A temperatura afeta todas as reações bioquímicas da fotossíntese e também provoca elevação das taxas de respiração (TAIZ; ZEIGER, 2004). Nas regiões tropicais, onde a temperatura, em geral, é mais elevada, os processos biológicos, entre eles a decomposição aeróbica de matéria orgânica no solo, são mais acelerados. Esta condição resulta em liberação de gás carbônico em velocidade de cinco a dez vezes superiores ao de condições de clima temperado e, até mesmo 50 vezes mais rapidamente, em condições extremas (PRIMAVESI et al., 2007). Com o aumento da temperatura, também se acelera o processo de evapotranspiração, causando diminuição na disponibilidade de água no solo e, conseqüentemente, podem reduzir a umidade relativa do ar e prejudicar a produção agrícola, (PRIMAVESI et al., 2007), que comprometerá fases fundamentais como germinação, crescimento e desenvolvimento das culturas. A associação entre altas temperaturas e salinidade diminui a germinação de sementes (GUMA et al., 2010). Estes autores também verificaram que a velocidade de germinação de *S. vermiculata* foi significativamente afetada pelo termo-período, salinidade e pela associação de ambos os fatores. Costa et al. (2006) observaram que o aumento da umidade relativa do ar proporcionou redução na temperatura do ambiente, enquanto a taxa de evaporação diária diminuiu linearmente com o aumento da salinidade da água e que o manejo adequado dos reservatórios hídricos de superfície, principalmente em áreas de alta incidência de radiação solar, pode implicar numa maior disponibilidade de água, para uso na agropecuária.

O potencial efeito do aquecimento global sobre a salinidade de reservatórios pode variar. Em anos secos, a estimativa de aumento da salinidade será na ordem de 1-3 psu (do inglês, *practical salinity unit*) entre os anos atuais e 2090, podendo esta simulação ser mais agravante com períodos de estiagens mais frequentes que os das séries históricas e atingir 5-9 psu (KNOWLES; CAYAN, 2002).

A seca é um fenômeno frequente e característico do Nordeste do Brasil, com intensidade e efeitos variáveis no espaço e no tempo. A situação geográfica do território brasileiro é favorável à ocorrência de episódios de seca pelo que este fenômeno não constitui propriamente uma surpresa, devendo antes ser encarado como um elemento climático de determinada frequência no sentido de que já ocorreu no passado e ocorrerá no futuro (MENESES et al., 2006).

Fatores relacionados ao clima, como luz e temperatura, e outros relativos às condições do solo, como pH, nível salino e teor de umidade, e a várias doenças e pragas, têm sido apontados como controladores do crescimento das plantas influenciando, decisivamente, na dinâmica populacional das espécies, favorecendo aquelas com maior habilidade de adaptação aos limites dos fatores ambientais (MENESES et al., 2006; SOUZA FILHO, 2000; ZHU et al., 2001). Souza Filho (2000) observou que a germinação ótima da leucena (*Leucaena leucocephala*) (84,33%)

ocorre em temperaturas de 35 °C; este percentual é reduzido (74,66%) em temperatura de 20 °C e a percentuais mais baixos a 40 °C (47,00%).

De acordo com Beltrão (2008), com a elevação da temperatura do ar, haverá incremento da respiração celular e da fotorrespiração das plantas de metabolismo fotossintético C_3 , a exemplo dos feijões *Phaseolus* (tipo "carioca") e *Vigna* (este é o feijão macassar, base protéica das populações rurais do Nordeste e de boa parte da população urbana de todo o Brasil), do algodão e da mamona, além de outras tais como girassol e arroz. Assim o saldo fotossintético irá cair e, em condições extremas, podem, tais plantas, nem sequer produzir, pois poderão apresentar coeficiente fotossintético igual a um, ou menos, o que significa a morte de tais sistemas biológicos vegetais.

Comparadas às plantas C_4 , as plantas C_3 gastam mais água para produzir uma mesma quantidade de fitomassa, além de outras grandes desvantagens fisiológicas e bioquímicas, como a competição pela nicotinamida adenina dinucleotídeo fosfato, na forma reduzida, ou seja, antioxidante, (NADPH) + H e o trifosfato de adenosina (ATP) formados na fotossíntese para reduzir o CO_2 com a redução do nitrogênio, onde parte das reações também ocorre nos cloroplastos. Tais plantas chegam a gastar, em condições de ótimo ecológico, até um quilo de água para produzir um grama de fitomassa, contra menos de 400 g nas plantas C_4 , a exemplo do sorgo, do milho e da cana de açúcar (BELTRÃO, 2008). A melhoria na utilização da água e a flexibilidade para alternar entre as mais produtivas de fotossíntese C_3 para as mais conservadoras de água de metabolismo CAM poderia determinar a sobrevivência e proporcionar maior vantagem competitiva sobre espécies arbóreas C_3 co-existent (REYES-GARCIA; ANDRADE, 2009).

O aumento do controle da ribulose 1,5-bifosfato carboxilase / oxigenase (Rubisco) em altas temperaturas ocorre, em parte, por causa da solubilidade do CO_2 e do declínio da especificidade da rubisco pelo CO_2 . Além disso, o estado de ativação da rubisco diminui em temperatura elevada, possivelmente, na medida em que a capacidade da rubisco *in vivo* torna-se limitante para a fotossíntese (CEN; SAGE, 2005).

Com as mudanças nas condições climáticas devidas ao aquecimento global, a fisiologia das plantas passa a ser alterada. Em plantas C_3 , expostas à temperatura e à intensidade luminosa ótimas, a taxa de assimilação líquida de CO_2 (A) em níveis de CO_2 abaixo da pressão atual do ambiente de 370 μ bar é normalmente limitada pela capacidade da rubisco; pelo contrário, acima de 370 μ bar, a taxa de assimilação líquida de CO_2 normalmente limita a capacidade de um dos processos que contribuem para a regeneração da ribulose 1,5-bisfosfato (RuBP) (SAGE; KUBIEN, 2007; VON CAEMMERER, 2000). Em temperaturas abaixo do ótimo térmico, a capacidade de regeneração RuBP muitas vezes se torna limitante para a fotossíntese, em particular, o componente de regeneração RuBP associada à regeneração de fosfato inorgânico (Pi) durante a síntese de amido e sacarose (HENDRICKSON et al., 2004; SAGE; KUBIEN, 2007). Em plantas C_4 , a rubisco limita a capacidade de assimilação de CO_2 em plantas de espécies tolerantes a *Chilling*, mas o controle sobre taxa de assimilação

líquida de CO_2 permanece incerto em temperatura elevada. No entanto, o aquecimento global pode provocar ampla alteração nos padrões fotossintéticos determinados nas plantas superiores. Limitações na cadeia de transporte de elétrons e na capacidade da rubisco devem ser mais comuns com as condições do aumento da temperatura e de CO_2 esperados até o final do século XXI (SAGE; KUBIEN, 2007).

Nas plantas C_3 , a enzima que faz a carboxilação do RuBP, denominada de ribulose 1,5 bisfosfato carboxilase oxygenase (rubisco), que é oligomérica, tendo uma das cadeias polipeptídicas produzidas pelo genoma do cloroplasto e outra pelos genes nucleares. Ela tem alta afinidade com o CO_2 , apresentando também atividade oxygenase. Assim com o incremento dos níveis de CO_2 , poderá ocorrer incremento da fotossíntese bruta, devido ao estímulo à fotossíntese pelo CO_2 sendo ou não associado à redução da fotorrespiração. Este complexo processo bioquímico envolve várias organelas celulares, tais como os cloroplastos, mitocôndrias e peroxissomas e tem o glicolato como substrato que somente ocorre nos órgãos verdes da planta, na presença de luz. Quanto mais luz e temperatura, nos limites biológicos, mais a rubisco tem sua taxa aumentada (BELTRÃO, 2008). No entanto, a respiração oxidativa ou mitocondrial, sem cessar nas células vivas das plantas superiores, também aumenta com a temperatura. Esse fato deverá também aumentar com o aquecimento global e assim os ganhos poderão não ser significativos, pois tais plantas são muito mais sensíveis a temperaturas elevadas do que as plantas consideradas eficientes, de metabolismo C_4 , que tem baixa fotorrespiração, sendo os cloroplastos menos sensíveis ao incremento da temperatura do ambiente.

Segundo o Intergovernmental Panel on Climate Change (2001), apesar de o aumento da concentração de CO_2 ser um estimulante ao crescimento das plantas, acredita-se que as vantagens desse crescimento não compensam os malefícios causados globalmente pelo excesso do gás. As modificações nas culturas e na criação de animais serão muito caras, pois a adaptação às mudanças climáticas poderá envolver ajustes nas épocas de plantio e colheita, quantidades de fertilizante usado, frequência de irrigação, cuidados com as cultivares e seleção de novas espécies de animais mais adaptadas. De acordo com Gleadow et al. (2009), o aumento da população, o declínio da fertilidade do solo e a expansão de cultivos agrícolas em terras marginais, juntamente com o aumento previsto em eventos climáticos extremos, aumentarão a dependência mundial por grandes culturas, como a mandioca. Para estes autores, as respostas ao CO_2 mostradas em seu estudo apontam para a possibilidade de que poderá haver escassez de alimentos nas próximas décadas a menos que as emissões de CO_2 sejam drasticamente reduzidas, ou novas cultivares ou culturas alternativas sejam desenvolvidas.

Salinidade do Ambiente

A salinidade e as secas estão entre os principais estresses que afetam negativamente o crescimento das plantas e produtividade das culturas (YOUSSEF, 2009). Nas áreas semiáridas e áridas de quase todas as regiões do mundo, os solos salinos estão se tornando um grande problema, devido a uma série de fatores naturais e socioambientais (GUMA et al., 2010).

A salinidade em regiões áridas e semiáridas expressa preocupação social, considerando que um milhão de hectares de terra em todo o mundo é afetado por sais e a cada ano estão se tornando menos produtivos devido à concentração de sais nas águas de irrigação (LIMA et al., 2006). Como consequência, o processo de salinização provoca a perda da capacidade produtiva dos solos e enormes prejuízos socioeconômicos, causa principal dos transtornos nos Perímetros irrigados.

O aumento do conteúdo salino do solo provoca desidratação de plantas, independentemente da faixa de umidade mantida (LIMA et al., 2006). A capacidade de absorção de água pelas raízes das plantas, sob diferentes condições de solo, salinidade e nutrição, está associada ao poder dessas raízes de atingir elevadas taxas de respiração. A atividade estomática responde às mudanças das condições climáticas independentes da região. A evaporação juntamente com a transpiração remove água pura (sob forma de vapor) do solo para a atmosfera e esta perda de água concentra solutos nas camadas superficiais do solo (TAIZ; ZEIGER, 2004). De acordo com estes autores, ao examinar os efeitos dos sais no solo, estabelece-se a distinção entre altas concentrações de Na^+ , identificadas como sodicidade ou alcalinidade, e altas concentrações de sais totais, referidas como salinidade. A **salinidade** está relacionada à dispersão das argilas do solo e aos aspectos tóxicos e osmóticos dos nutrientes boro, cálcio, magnésio, sódio, potássio, cloreto, sulfato e nitrato utilizados na nutrição mineral das plantas, enquanto a **sodicidade** ou **alcalinidade** relaciona-se mais com a ação dos sais aos solos como alteração da estrutura, diminuição da infiltrabilidade de água, condutividade hidráulica e aeração, além de concentrar no solo, sódio trocável, carbonato e bicarbonato (CAVALCANTE, 2000). O processo de salinização dos solos é comum nas regiões áridas e semiáridas e dá-se pelo acúmulo predominante dos cátions Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} e dos ânions Cl^- e SO_4^{2-} (LACERDA, 2005). Nessas regiões, é também comum a ocorrência de fontes de água com elevadas concentrações de sódio, dois fatores que reduzem a qualidade desse recurso para utilização na agricultura. A tolerância à salinidade pode ser mantida com uma adequada nutrição potássica, podendo a relação Na^+/K^+ ser utilizada como critério de seleção de materiais sensíveis e tolerantes ao estresse salino (LACERDA, 2005).

Nas condições do Nordeste brasileiro, a salinidade de extensas áreas do semiárido é a principal limitação da produtividade das culturas. A qualidade da água de irrigação, associada à evaporação, a temperaturas altas e sistema de drenagem das áreas irrigadas inadequado, proporciona de modo potencializado, a formação de perímetros irrigados rapidamente salinizados ou alcalinos, o suficiente para impedir o crescimento de alguns cultivos agrícolas sensíveis ao sal, a exemplo do milho e do feijoeiro. Neste sentido, Guma et al. (2010) observaram que a porcentagem de germinação e a velocidade de germinação de *Salsola vermiculata* L. (Chenopodiaceae) diminui com o aumento da temperatura e da concentração de NaCl.

Considerando o estresse salino, Souza Filho (2000) verificou que o comportamento da germinação de sementes de leucena reduziu o percentual de germinação em 59% e o índice de velocidade de germinação (IVG) em 86% em relação ao tratamento testemunha e a concentração de 300 mM de sal.

Na intenção de melhorar a qualidade da água e do substrato para a produção de maracujá amarelo, Cavalcante et al. (2007) verificaram que a salinidade do substrato aumentou drasticamente com o aumento da salinidade da água e, em menor proporção, com o volume de matéria orgânica aplicada, ao ponto de inibir a capacidade produtiva do maracujazeiro-amarelo. Os autores também observaram que a matéria orgânica aplicada ao solo em quantidades crescentes influenciou na elevação da salinidade ao longo das profundidades do substrato e o maracujazeiro-amarelo revelou ser mais afetado pela salinidade da água e do substrato durante a fase produtiva do que durante o crescimento inicial das plantas. Para a cultura da cebola, Rhoades et al. (2000) verificaram perda de 50% da produtividade em água de irrigação, cuja condutividade elétrica (CE) se aproxima de $4,3 \text{ dS m}^{-1}$ no extrato de saturação do solo.

Mecanismos de tolerância das plantas ao estresse sob efeitos do aquecimento global

Condicionadas às mudanças climáticas, as plantas sofrerão alterações fisiológicas, anatômicas e/ou modificações estruturais para se adaptarem e se aclimatarem ao estresse hídrico, à salinidade, ao congelamento, ao calor e à deficiência de oxigênio na biosfera das raízes e também às condições de poluição do ar. A pressão ecológica, que os fatores ambientais (solos rasos, pluviosidade com distribuição má, baixa ou irregular e temperaturas altas) exercem sobre a flora do semiárido, induz à existência de espécies com caráter xerófito. As plantas apresentam características comuns do xeromorfismo (do grego *xeros*, seco, e *morphos*, forma, aspecto) por meio da transformação das folhas em espinhos, espessamento e impermeabilidade da cutícula, caules suculentos, queda de folhas na estação seca, sistema radicular bem desenvolvido, tornando-as bem adaptadas para suportar a falta de água (NOGUEIRA, 2005).

Neste item serão considerados os mecanismos relacionados ao déficit hídrico, ao estresse térmico e ao salino.

Déficit hídrico

Com o aquecimento global há elevação da temperatura nas regiões tropicais e as plantas se adaptam ao déficit hídrico e de resistência à seca por mecanismos de aclimação, assim divididos: a) escape à seca - plantas que completam seu ciclo vital durante a estação chuvosa, antes do início do período seco; b) tolerância à seca com baixo potencial hídrico - capacidade de a planta realizar suas funções biológicas, enquanto em desidratação, por meio do ajustamento osmótico; e c) tolerância à seca com alto potencial hídrico - habilidade da planta em evitar a desidratação por meio do fechamento dos estômatos, diminuição da área foliar, alterações da relação raiz/ parte aérea, para manutenção do *status* hídrico) (NOGUEIRA, 2005). De acordo com Larcher (2000), as raízes respondem à deficiência hídrica, crescendo permanentemente à procura de água. Para este autor, em plantas de regiões secas, à medida que o solo fica seco, algumas partes do sistema radicular morrem enquanto outras partes crescem

e se ramificam densamente. Taiz e Zeiger (2004) mencionam que a parte aérea continuará crescendo até que a absorção de água pelas raízes se torne limitante, enquanto que as raízes crescerão até que sua demanda por fotossintatos da parte aérea iguale-se ao suprimento.

Assim, a produtividade das plantas pela água depende da quantidade deste recurso e da eficiência do seu uso pelo organismo. Uma planta capaz de obter mais água, ou que tenha maior eficiência no seu uso, resistirá melhor à seca (TAIZ; ZEIGER, 2004), por meio de estratégias de aclimação, incluindo redução da área foliar, deposição de ceras sobre a área foliar, abscisão de folhas, acentuado crescimento de raízes com modificações (xilopódios, túberas) e o fechamento de estômatos associados ou não com aumento da eficiência do uso da água por meio de diferentes tipos fotossintéticos (C_4 e CAM) mais adaptados a ambientes mais áridos.

Nas plantas de ciclo curto, favorável ao escape à seca, o desenvolvimento ocorre continuamente, sem interrupções. O crescimento primário da parte aérea é iniciado logo após a germinação, já com a presença de algumas folhas. Imediata, e quase simultaneamente, podem aparecer as primeiras flores, com rápida formação e crescimento dos órgãos vegetativos e reprodutivos. Os primeiros sinais de senescência podem surgir ainda no período de amadurecimento dos frutos. No princípio da estação seca observa-se a morte completa da planta, restando apenas as sementes que ficarão em estado latente a espera de condições adequadas para germinarem (LARCHER, 2000; NOGUEIRA, 2005).

Com baixo potencial hídrico, todos os aspectos de crescimento e desenvolvimento das plantas são afetados pelo déficit de água nos tecidos, causado pela excessiva demanda evaporativa ou limitada disponibilidade de água. Devido à deficiência hídrica, verifica-se diminuição do volume celular, aumento na concentração de solutos e gradativa desidratação do protoplasto. A diminuição da turgescência pode ser considerada indutora da resposta ao estresse hídrico, em que o processo de crescimento, principalmente em extensão, é o primeiro a ser afetado. Na sequência, ocorre a inibição do metabolismo de proteínas e aminoácidos, redução da atividade da enzima nitrato redutase e o desencadeamento da síntese, nos plastídios, fundamentalmente nos cloroplastos, de ácido abscísico (ABA), que é um dos responsáveis pelo fechamento estomático. Se o grau de desidratação aumenta, processos catabólicos tornam-se predominantes e a senescência foliar é acelerada (LARCHER, 2000; NOGUEIRA, 2005; TAIZ; ZEIGER, 2004). Pode-se dizer que o déficit hídrico reduz o crescimento e a produtividade vegetal mais que todos os outros estresses combinados, pois ocorre em qualquer local, mesmo nas regiões consideradas úmidas (WANG et al., 2003). As árvores de grande porte são suscetíveis a períodos de seca prolongada, com reduções significativas na transpiração, sendo a disponibilidade de água no solo fator determinante da redução da transpiração (COSTA et al., 2007).

Estresse térmico

A maior parte dos tecidos de plantas superiores é incapaz de sobreviver a uma prolongada exposição a temperaturas acima de 45 °C. No entanto, a tolerância a temperaturas letais pode ser induzida pela exposição breve e periódica a estresses térmicos subletais, frequentemente. Este fato pode ser uma alternativa para ser adotada pelo melhoramento genético de plantas, visando à produção de genótipos, aclimatados às novas condições de elevação de temperatura, previstas para os próximos 50 anos. Em ambiente com luz solar intensa e temperaturas altas, as plantas evitam aquecimento excessivo de suas folhas, reduzindo a absorção de radiação solar. Adaptações foliares como tricomas refletivos e ceras foliares, enrolamento foliar vertical, folhas pequenas e estômatos na face abaxial visam à minimização da camada de contato e, assim, maximizar a perda condutiva de calor. Na célula, as plantas, em resposta a elevações repentinas de temperatura de 5 °C a 10 °C, produzem um conjunto único de proteínas, identificado com proteínas de choque térmico (HSPs, do inglês, *Heat Shock Proteins*). O estresse térmico faz com que muitas proteínas, que funcionam como enzimas ou componentes estruturais, tornem-se estendidas ou mal dobradas levando, assim, a perda da estrutura e da atividade enzimática (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Estresse salino

O estresse salino em plantas pode ser decorrente do uso de águas salinas ou sódicas ou do crescimento das plantas em solos salinizados (LACERDA, 2005) e a salinidade reduz o crescimento das plantas em decorrência dos efeitos osmóticos, tóxicos e nutricionais. No entanto, em alguns estudos mais específicos verificou-se que a redução no crescimento é inicialmente afetada pelos efeitos osmóticos e posteriormente pelo acúmulo excessivo de íons tóxicos (MUNNS, 2002). A separação dos componentes do estresse salino não é fácil e, embora seja óbvio que o excesso de determinados íons influencie na obtenção de nutrientes pela planta, não se sabe, com certeza, se as alterações nos teores de nutrientes minerais contribuem para a redução no crescimento associado à salinidade, ou se são meras consequências da redução no crescimento vegetal (LACERDA, 2005).

As plantas halófitas, existentes nas zonas costeiras das regiões semiáridas são muitas vezes submetidas a intensos e variados estresses ambientais. A fim de se adaptarem às condições não favoráveis, elas desenvolvem alterações fisiológicas e bioquímicas de sobrevivência que lhes permitem crescer e se desenvolver em ambientes salinos (YOUSSEF, 2009).

As plantas minimizam o dano pelo sal ao excluí-lo de meristemas, em particular na parte aérea, e de folhas que estão se expandindo de forma ativa e fotossintetizando. Plantas resistentes ao sal, a exemplo da *Atriplex* sp., não elimina íons pelas raízes, mas em vez disso, tem glândulas de sal na superfície das folhas, onde o cristaliza e já não é mais prejudicial. Plantas de mangue necessitam realizar ajustes osmóticos para obter água do ambiente externo com baixo potencial hídrico. Muitas halófitas exibem

ótimo crescimento, devido à capacidade de armazenar íons no vacúolo, onde eles podem contribuir para o potencial osmótico da célula sem danificar as enzimas sensíveis ao sal. A redução da área foliar ou a perda de folhas por abscisão além de mudanças na expressão gênica, também são mecanismos de tolerância ao estresse salino. De acordo com Carneiro et al. (2002), a deficiência hídrica induzida pelo efeito osmótico, que caracteriza a seca fisiológica, provoca alterações morfológicas e anatômicas nas plantas, a ponto de desbalancear a absorção de água e a taxa de transpiração; dentre as mudanças morfológicas, a redução do tamanho das folhas é a mais expressiva. Para estes autores, a redução da área foliar decorre provavelmente, da diminuição do volume de células e se reflete em menor taxa fotossintética contribuindo, de certo modo, para a adaptação a da espécie à salinidade.

Simulação em Experimentação: efeitos do aquecimento global

As mudanças climáticas podem alterar a composição e a dinâmica dos microrganismos do ambiente aéreo e do solo de modo a afetar a saúde dos órgãos das plantas. Para se obter sucesso com o controle biológico, haverá maior necessidade de se selecionarem organismos devidamente adaptados para cada região (GHINI, 2005) e suas condições ecofisiológicas. A resposta a estresses (qualquer fator que restringe o crescimento ou a reprodução e perturba o equilíbrio de um sistema biológico, aumentando os gastos energéticos do organismo) é variável e as características fisiológicas desejáveis para a adaptação do vegetal difícil de se estabelecer; pois as respostas podem ser muito distintas mesmo dentro de uma espécie, ou de uma cultivar, nos diferentes ambientes de estudo e para os diferentes estádios de desenvolvimento do vegetal (GHINI et al., 2008; PASSIOURA, 1997).

A avaliação de gases de efeito estufa que têm efeito na temperatura do ambiente e influencia as respostas das plantas às mudanças climáticas pode ser realizada, de modo geral, em ambientes controlados (câmaras com atmosfera modificada), nos quais a composição de gás atmosférico pode ser manipulada. Nos testes, as câmaras são fumigadas, com diferentes concentrações do gás e as testemunhas são constituídas por câmaras com atmosfera não modificada (GHINI, 2005). A busca de condições mais realistas tem levado ao uso de estufas de topo aberto (OTC, do inglês, *open-top chambers*) ou a experimentos de campo. De acordo com Pimentel (2005), com o início do desenvolvimento do embrião no órgão reprodutivo, há aumento da taxa de assimilação de CO₂ nas folhas fontes deste órgão, pela exportação de auxinas oriundas do órgão reprodutivo, para estas, visando garantir um fluxo de fotoassimilados para manter o desenvolvimento do embrião, o que torna esta fase de desenvolvimento muito sensível à seca.

Considerando medidas à redução dos impactos ambientais, sistemas de produção integrada, envolvendo as diferentes etapas do agronegócio (como a escolha da área, práticas de conservação de solo e armazenamento de água, rotação de culturas, espaçamento, adubação, cultivares, manejo de plantas daninhas, de pragas e de colheita e pós-colheita) constituem alternativa para a produção de alimentos seguros e ambientalmente sustentáveis.

Pelo melhoramento e pela engenharia genética e utilizando tanto evidências teóricas quanto empíricas, pesquisadores conseguirão avançar sobre as mudanças climáticas pela seleção direta, por meio de tratamentos que irão pré-adaptar espécies ao aquecimento e ao enriquecimento ambiental com CO₂. Para realizar isso de forma eficaz, entretanto, será necessário identificar claramente as principais limitações relativas da atividade da rubisco sobre a taxa de assimilação de CO₂ e a temperatura ideal e como elas variam em populações naturais e agrícolas (GHINI et al., 2008; SAGE; KUBIEN, 2007).

Considerações Finais

O aquecimento global é um fato comprovado pela ciência, mas as análises de suas consequências atuais e futuras na agricultura dividem os cientistas. A possibilidade de grande seca, chuvas intensas, salinização de áreas agrícolas e de outros fenômenos adversos, que podem ocorrer com mais frequência, são motivos de estudos e polêmicas, inclusive a do resfriamento global. Em todas as regiões do mundo, entre os envolvidos pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (Pnuma), por meio do IPCC e de outras instituições, existem grandes preocupações quanto aos impactos das mudanças climáticas na agricultura, os quais estão diretamente relacionados com a segurança alimentar e a redução das ações antrópicas prejudiciais ao clima. Estudos de mitigação devem ser feitos para adaptação de cultivares e arranjos produtivos eficientes nos cenários previstos para suprir a demanda de alimentos para a humanidade e reduzir as catástrofes. Por outro lado, plantas capazes de obter mais água ou que têm maior eficiência no seu uso resistirão melhor à elevação de temperaturas, secas e salinidade, por meio de estratégias de aclimação às mudanças climáticas globais, incluindo a redução da área foliar, deposição de ceras sobre a folha, abscisão de folhas e fechamento de estômatos, acentuado crescimento de raízes com modificações (xilopódios, túberas), ou por alterações genéticas e morfofisiológicas, evitando a toxicidade do sal. Paradoxalmente, para a humanidade poder explorar melhor as oportunidades e minimizar o risco de alterações climáticas globais, torna-se de fundamental importância compreender o controle das reações bioquímicas em condições extremas de frio, bem como aquelas cada vez mais quentes - sobretudo se não se tem o entendimento do comportamento das espécies - para que se possa prever e/ou administrar os efeitos das alterações climáticas globais sobre elas.

Referências

ALMEIDA, O. A.; GISBERT, J. M. Variación en la calidad del agua de riego en un huerto de cítricos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 64-69, 2006.

ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; ZULLO JÚNIOR, J.; ÁVILA, A. M. H. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 1057-1064, 2004.

BELTRÃO, N. E. de M. **Diálogos da Terra e os efeitos do aquecimento global na agricultura do Semi-árido nordestino**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2008. 2 p. Disponível em: <http://www.cnpa.embrapa.br/noticias/2008/noticia_20081127.html>. Acesso: 30 nov. 2008.

CARNEIRO, P. T.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; SOARES, F. A. L. Germinação e crescimento inicial de genótipos de cajueiro anão-precoce em condições de salinidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 2, p. 199-206, 2002.

CAVALCANTE, L. F. **Sais e seus problemas nos solos irrigados**. Areia, PB: Centro de Ciências Agrárias / Universidade Federal da Paraíba, 2000. 71 p.

CAVALCANTE, L. F.; RODOLFO JUNIOR, F.; SÁ, J. R.; CURVELO, C. R. S.; MESQUITA, E. F. Influência da água salina e matéria orgânica no desempenho do maracujazeiro-amarelo e na salinidade do substrato. **Irriga**, Botucatu, v. 12, n. 4, p. 505-518, 2007. Disponível em: <<http://200.145.141.142/revistas/irriga/viewarticle.php?id=260&layout=abstract>> Acesso: 22 nov. 2008.

CEN, Y-P; SAGE, R. F. The regulation of rubisco activity in response to variation in temperature and atmospheric CO₂ partial pressure in sweet potato. **Plant Physiology**, v. 139, p. 979-990, 2005.

COSTA, D. M. A.; MELO, H. N. S. Influência da salinidade na taxa de evaporação da água. **HOLOS**, v. 3, n. 22, p. 4-10, 2006. Disponível em: <<http://www.cefetrn.br/ojs/index.php/HOLOS/issue/view/16/showToc>> Acesso em: 22 nov. 2008.

COSTA, R. F.; SILVA, V. P. R.; RUIVO, M. L. P.; MEIR, P.; COSTA, A. C. L.; MALHI, Y. S.; BRAGA, A. P.; GONÇALVES, P. H. L.; SILVA JUNIOR, J. A.; GRACE, J. Transpiração em espécie de grande porte na Floresta Nacional de Caxiuanã, Pará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n. 2, p. 180-189, 2007.

FERREIRA, R. G.; TÁVORA, F. J. A. F.; HERNANDEZ, F. F. F. Distribuição da matéria seca e composição química das raízes, caule e folhas de goiabeira submetida a estresse salino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 1, p. 79-88, 2001.

GARCÍA-SÁNCHEZ, F.; SYVERTSEN, J. P.; MARTÍNEZ, V.; MELGAR, J. C. Salinity tolerance of 'Valencia' orange trees on rootstocks with contrasting salt tolerance is not improved by moderate shade. **Journal of Experimental Botany**, v. 57, n. 14, p. 3697-3706, 2006.

GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. Climate change and plant diseases. **Scientia Agricola**, v. 65, p. 98-107, 2008.

GHINI, R. **Mudanças climáticas globais e doenças de plantas**. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, 2005. 104 p.

GLEADOW, R. M.; EVANS, J. R.; McCAFFERY, S.; CAVAGNARO, T. R. Growth and

nutritive value of cassava (*Manihot esculenta* Cranz.) are reduced when grown in elevated CO₂. **Plant Biology**, 11, n. 1 (Supplement), p. 76-82, 2009.

GUMA, I. R.; PADRON-MEDEROS, M. A.; SANTOS-GUERRA, A.; REYES-BETANCORT, J. A. Effect of temperature and salinity on germination of *Salsola vermiculata* L. (Chenopodiaceae) from Canary Islands. **Journal of Arid Environments**, v. 74, n. 6, p. 708-711, 2010.

HENDRICKSON L.; CHOW W. S.; FURBANK, R.T. Low temperature effects on grapevine photosynthesis: the role of inorganic phosphate. **Functional Plant Biology**, v. 31, p. 789-801, 2004.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Climate change 2001: impacts, adaptation and vulnerability**. Genebra, Suíça, 2001. 345 p.

JÁCOME, A. G.; OLIVEIRA, R. H.; FERNANDES, P. D.; GONÇALVES, A. C. A. Comportamento produtivo de genótipos de algodão sob condições salinas. **Acta Scientiarum: Agronomy**, v. 25, n. 1, p. 187-194, 2003.

KNOWLES, N.; CAYAN, D. R. Potential effects of global warming on the Sacramento/ San Joaquin watershed and the San Francisco estuary. **Geophysical Research Letters**, v. 29, n. 18, p. 38-1-38-4, 2002.

LACERDA, C. F. Interação salinidade x nutrição mineral. In: NOGUEIRA, R. J. M. C.; ARAÚJO, E. de L.; WILLADINO, L. G.; CAVALCANTE, U. M. T. (Ed.). **Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas**. Recife: UFRPE, Imprensa Universitária, 2005. p. 127-137.

LARCHER, W. Relações hídricas. In: LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. (Trad.) São Carlos: Rima, 2000. p. 231-294.

LIMA, M. D. B.; BULL, L.T.; GRASSI FILHO, H. Índices fisiológicos e absorção de nutrientes pela cultura da cebola submetida a condições de salinidade e estresse hídrico. **Irriga**, v. 11, n. 3, p. 356-366, 2006.

MARENGO, J. A. Água e mudanças climáticas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 83-96, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v22n63/v22n63a06.pdf>>. Acesso em: 21 nov. 2008.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. Brasília: MMA, 2006, 212 p. (Série Biodiversidade, v. 26).

MARENGO, J. A. **Aquecimento global e as conseqüências das mudanças climáticas no Nordeste do Brasil**. Ministério da Ciência e Tecnologia, Instituto de Pesquisas espaciais. Aracaju: CPETEC/INPE. 2007.

MEDEIROS, P. R. F.; DUARTE, S. N.; DIAS, C. T. S. Tolerância da cultura do pepino à salinidade em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 4, p. 406-410, 2009.

MENESES, C. H. S. G.; LIMA, L. H. G. M.; LIMA M. M. A.; VIDAL, M. S. Aspectos genéticos e moleculares de plantas submetidas ao déficit hídrico. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v. 10, n. 1/2, p. 1039-1072, 2006.

MUNIS, M. F. H.; TU, L.; ZIAF, K.; TAN, J.; DENG, F.; ZHANG, X. **Pakistan Journal of Botany**, v. 42, n. 3, p. 1685-1694, 2010.

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

NOBEL, P. S. Responses of some North American CAM plants to freezing temperatures and doubled CO₂ concentrations: implications of global climate change for extending cultivation. **Journal of Arid Environments**, v. 34, n. 2, p. 187-196, 1996.

NOGUEIRA, R. J. M. C. Aspectos ecofisiológicas da tolerância à seca em plantas da caatinga In: NOGUEIRA, R. J. M. C.; ARAÚJO, E. de L.; WILLADINO, L.G.; CAVALCANTE, U. M. T. (Ed.). **Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas**. Recife: UFRPE, Imprensa Universitária, 2005, p. 22-31.

PASSIOURA, J. B. **Drought and drought tolerance**. In: BELHASSEN, E. (Ed.). **Drought tolerance in higher plants: genetical, physiological and molecular biological analysis**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1997. p. 1-7.

PIMENTEL, C. Respostas fisiológicas à falta d'água: limitação difusiva ou metabólica? In: NOGUEIRA, R. J. M. C.; ARAÚJO, E. L.; WILLADINO, L. G.; CAVALCANTE, U. M. T. (Ed.). **Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas**. Recife: UFRPE, Imprensa Universitária, 2005, p. 13-21.

PRIMAVESI, O.; ARZABE, C.; PEDREIRA, M. S. **Aquecimento global e mudanças climáticas: uma visão integrada tropical**. São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2007. 213 p.

REYES-GARCIA, C.; ANDRADE, J. L. Crassulacean acid metabolism under global climate change. **New Phytologist**, v. 181, n. 4, p. 754-757, 2009. Disponível em: <<http://www3.interscience.wiley.com/cgi-bin/fulltext/122186170/PDFSTART>>. Acesso em: 29 mar. 2009.

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

SAGE, R.; KUBIEN, D. S. The temperature response of C₃ and C₄ photosynthesis. **Plant, Cell and Environment**, v. 30, p. 1086-1106, 2007.

SIEGENTHALER, U.; STOCKER, T. F.; MONNIN, E.; LUTHI, D.; SCHWANDER, J.; STAUFFER, B.; RAYNAUD, D.; BARNOLA, J. M.; FISCHER, H.; MASSON-DELMOTTE, V.; JOUZEL, J. Stable carbon cycle-climate relationship during the late pleistocene. **Science**, v. 310, p. 1313-1317, 2005.

SILVERA K., SANTIAGO, L. S., WINTER, K. Distribution of crassulacean acid metabolism in orchids of Panama: evidence of selection for weak and strong modes. **Functional Plant Biology**, v. 32, p. 397-407, 2005. Disponível em: <http://ib.berkeley.edu/labs/dawson/publications/SilveraSantiagoWinter_2005.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2009.

SOUZA FILHO, A. P. S. Influência da temperatura, luz e estresses osmótico e salino na germinação de sementes de *Leucaena leucocephala*. **Paturas tropicales**, v. 22, n. 2, p. 47-53, 2000. Disponível em: <http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/PAST2225.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2008.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia do estresse. In: TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2004. p. 613-643.

TRENBERTH, K. E.; JONES, P. D. (Coord.). Observations: surface and atmospheric Climate Change. In: SOLOMON, S. D. et al. (Ed.). **Climate Change 2007: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fourth assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom, New York: Cambridge University Press, 2007. p. SM.3-1-SM.3-11. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter3-supp-material.pdf>>. Acesso em: 22 nov. 2008.

VON CAEMMERER, S.; QUICK, P. Rubisco: physiology in vivo. In: LEEGOOD, R. C. SHARKEY, T. D.; VON CAEMMERER, S. (Ed.) **Photosynthesis: physiology and metabolism**. Dorecht: Kulwer 2000, p. 86-107.

WANG, W. X., VINO CUR, B; SHOSEYOV, O; ALTMAN, A. Biotechnology of plant osmotic stress tolerance: physiological and molecular considerations. **Acta Horticulturae**, v. 560, p. 285-292, 2001.

WANG, W. X.; VINO CUR, B.; ALTMAN, A. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. **Planta**, v. 218, p.1-14, 2003.

YOUSSEF, A. M. Salt tolerance mechanisms in some halophytes from Saudi Arabia and Egypt. **Research Journal of Agriculture and Biological Sciences**, v. 5, n. 3, p. 191-206, 2009.

ZHU, J. K. Plant salt tolerance. **Trends in Plant Science**, Tucson, v. 6, n. 2, p. 66-71. 2001.