

Absorção, fluxo no xilema e assimilação do nitrato em feijão-caupi submetido à salinidade¹

Nitrate uptake, xylem NO₃⁻ flux, and nitrate assimilation in cowpea exposed to salinity

Rafael Magalhães Aragão², Joaquim Albenísio Gomes Silveira^{3*}, Evandro Nascimento Silva⁴, Ana Karla Moreira Lobo⁵ e Antônia Tathiana Batista Dutra⁶

Resumo - O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar qual etapa da aquisição de nitrato (absorção, fluxo no xilema ou redução assimilatória) é mais influenciada pela presença do NaCl em feijão-caupi. Plântulas com 12 dias de idade foram tratadas com NaCl 50 mM em solução nutritiva durante 4 dias e as avaliações realizadas sob duas condições ambientais contrastantes: dia típico (pleno sol) e dia completamente nublado (nublado). A salinidade afetou mais intensamente o fluxo da seiva e o fluxo de nitrato no xilema do que a transpiração sob as duas condições ambientais. Plantas tratadas com NaCl mostraram uma intensa redução na taxa de absorção de nitrato e na atividade da redutase de nitrato nas folhas, tanto em pleno sol como em dia nublado, quando comparadas com as plantas não tratadas. A transpiração foi reduzida pela nebulosidade, enquanto que os fluxos da seiva e de nitrato permaneceram inalterados. A absorção de nitrato e a atividade da redutase de nitrato foram menos afetadas pela nebulosidade do que a transpiração, tanto no controle como nas plantas estressadas. A nebulosidade afetou mais intensamente as variáveis de estudo das plantas controle do que de plantas tratadas. Em adição, o NaCl reduziu a concentração de nitrato em raiz, caule e folha nos dois ambientes, enquanto que a nebulosidade afetou somente nas folhas, tanto no controle como nas plantas estressadas. A salinidade afeta mais negativamente o fluxo de nitrato no xilema do que os processos de absorção e assimilação desse íon nas folhas de feijão-caupi.

Palavras-chave - Estresse salino. Nitrogênio-efeito sobre as plantas. *Vigna unguiculata*. Xilema.

Abstract - This work was carried out to evaluate what is the nitrate acquisition stage (nitrate uptake, xylem nitrate flux or assimilatory reduction) most influenced by the presence of NaCl in cowpea. Twelve day-old seedlings were treated with 50 mM of NaCl in nutrient solution during four days and measurements carried out under two contrasting environmental conditions: typical day (full sun) and completely cloudy day (cloudiness). The salinity affected more intensely the xylem sap flux and nitrate flux than transpiration. Plants treated with NaCl showed a strong decrease in both nitrate uptake rate and leaf nitrate reductase activity as in the full sun as in cloudy day. Transpiration was reduced by the cloudiness while xylem sap flux and nitrate flux remained unchanged, in both salt-treated and control. Moreover, nitrate uptake and nitrate reductase activity were less affected by cloudiness than the transpiration. In addition, NaCl negatively affected nitrate accumulation in roots, stems and leaves while the cloudiness affected only the leaf nitrate accumulation, both in control and stressed plants. Salinity affects more negatively the nitrate xylem flux, as compared with the nitrate uptake and nitrate assimilatory reduction in cowpea leaves.

Key words - Salt stress. Nitrogen- effects on the plants. *Vigna unguiculata*. Xylem.

* Autor para correspondência

¹Recebido para publicação em 14/08/2009; aprovado em 03/02/2010

Parte da dissertação de Mestrado apresentada pelo primeiro autor ao Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas/UFC; Projeto financiado pelo CNPq

²Programa de Pós-Graduação em Bioquímica de Plantas, Departamento Bioquímica e Biologia Molecular/UFC, Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade (INCTsal/CNPq), Fortaleza-CE, Brasil, rafael.aragao@yahoo.com.br

³Departamento Bioquímica e Biologia Molecular/UFC, Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade (INCTsal/CNPq), Caixa Postal 6.020, Fortaleza-CE, Brasil, 60.451 -970, silveira@ufc.br

⁴Programa de Pós-Graduação em Bioquímica de Plantas, Departamento Bioquímica e Biologia Molecular/UFC, Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade (INCTsal/CNPq), Fortaleza-CE, Brasil, evandrons@oi.com.br

⁵Estudante do curso de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará, Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade (INCTsal/CNPq), Fortaleza-CE, Brasil, karlamlobo@gmail.com

⁶Programa de Pós-Graduação em Bioquímica de Plantas, Departamento Bioquímica e Biologia Molecular/UFC, Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade (INCTsal/CNPq), Fortaleza-CE, Brasil, tathianadutra@yahoo.com.br

Introdução

A salinidade é um dos principais fatores abióticos que contribui para a diminuição da produtividade das plantas. Este fator é mais expressivo nas regiões áridas e semiáridas as quais apresentam grandes contrastes ambientais (PARIDA; DAS, 2004). As altas concentrações de sais no solo, além de reduzir o potencial hídrico, podem provocar efeitos tóxicos nas plantas, causando distúrbios funcionais e injúrias no metabolismo (DEBOUBA et al., 2006a; MUNNS; TESTER, 2008).

Além de possuir áreas sujeitas à salinidade e salinização dos solos, as regiões do semiárido se caracterizam por apresentar outros fatores ambientais capazes de causar estresses nas plantas tais como: temperaturas elevadas, seca e alta insolação, que contribuem para aumentar as condições adversas do ambiente (OLIVEIRA et al., 2005). Sob tais condições, os processos de absorção e assimilação de nutrientes pelas plantas são afetados, principalmente, o nitrato, que é a principal fonte de nitrogênio em solos agrícolas e o que mais frequentemente limita o crescimento de plantas (MELONI et al., 2004).

O nitrato ativa uma série de reações moleculares que regulam sua própria absorção e, subseqüentemente, a sua redução pela atividade da enzima redutase do nitrato (RN) (PARIDA; DAS, 2004). A RN catalisa a primeira etapa da assimilação do nitrato, é dependente do fluxo de NO_3^- pelas raízes (CARILLO et al., 2005) e estudos evidenciam que, sob condições de salinidade, a atividade da RN pode sofrer redução associada, ou não, com diminuição na sua expressão gênica (SURHABI et al., 2008). Além disso, os efeitos da salinidade podem causar redução na absorção de NO_3^- e causar restrição no seu carregamento para o xilema (DEBOUBA et al., 2006b; MILLER et al., 2007).

Estudos com feijão-caupi têm constatado que, sob condições de estresse salino, o decréscimo no fluxo de NO_3^- das raízes, para a parte aérea, parece estar mais associado com a redução da transpiração e absorção de nitrato do que pela atividade da redutase do nitrato nas folhas (SILVEIRA et al., 2001a). Viégas et al. (2004), trabalhando com cajueiro, concluiu que a redução da atividade da redutase do nitrato, sob condições de estresse salino, está associada, inicialmente, aos efeitos osmóticos indiretos e decréscimos na transpiração.

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.) é uma espécie leguminosa que utiliza intensamente o nitrato e/ou o N_2 por meio da fixação simbiótica, para seu crescimento (SILVEIRA et al., 2001b) e do equilíbrio entre esses dois processos que resultam no conteúdo protéico nas sementes e na produtividade da cultura. Portanto, o conhecimento sobre a utilização de nitrato, sob condições de estresse salino, é essencial tanto no feijão-caupi como em outras

espécies no sentido de que se adotem práticas adequadas de manejo da cultura e da adubação nitrogenada. O objetivo do presente trabalho foi avaliar qual a etapa da aquisição de nitrato em feijão-caupi (absorção, fluxo no xilema ou redução assimilatória nas folhas) é mais influenciada pela presença do NaCl, sob duas condições ambientais contrastantes: dia com pleno sol e dia nublado.

Material e métodos

Preparo das sementes

Sementes de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] Pitiúba cv. foram germinadas sob condições controladas em sistema de cartuchos feito com papel germitest previamente umedecido com água destilada (VIEIRA; CARVALHO, 1994). Dez sementes foram distribuídas em fileira, no terço superior do papel, e, em seguida, enroladas formando um cartucho. Os cartuchos foram transferidos para câmara de crescimento na posição vertical, sendo incubados a 27 ± 2 °C, sob fotoperíodo de 12 h e radiação fotossinteticamente ativa de $240 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, por quatro dias.

Condução dos experimentos e tratamentos

Após atingirem o estágio de gancho plumular (quatro dias após germinação), as plântulas foram transferidas para vasos individuais de um litro, com duas plantas cada, e solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950), diluída duas vezes a pH 6,0. As plantas foram crescidas inicialmente por sete dias em casa de vegetação cuja temperatura média foi de 28 °C, a média da umidade relativa do ar de 78% e a média da radiação fotossinteticamente ativa de $700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Após esse período, a solução nutritiva foi substituída por outra sem diluição e os tratamentos controle (solução nutritiva na ausência de NaCl) e NaCl 50 mM na solução foram aplicados. Esta concentração de NaCl é considerada um nível moderado de salinidade para feijão-caupi, capaz de induzir pequena redução no crescimento após 4 dias, conforme demonstrado anteriormente (SILVEIRA et al., 2001a). A concentração de NO_3^- na solução foi ajustada diariamente para o nível inicial (10 mM). Após quatro dias de tratamento, foram realizadas duas avaliações, sob duas condições distintas de ambiente: (a) dia claro sem nebulosidade com as seguintes condições médias obtidas no período de medições (de 9:00 às 11:00 h da manhã): temperatura do ar = 38 °C, umidade = 66% e radiação fotossinteticamente ativa = $985 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e (b) dia nublado: temperatura do ar = 33 °C, umidade = 77% e radiação fotossinteticamente ativa = $97 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. As mensurações foram realizadas em março de 2008, no Campus do Pici, Universidade Federal do Ceará, Brasil.

Foram realizadas determinações de transpiração, fluxo da seiva xilemática, fluxo de NO_3^- no xilema, absorção líquida de NO_3^- , concentração de NO_3^- em tecidos de raiz, caule e folha e atividade da RN nas folhas.

Determinação de transpiração, fluxo da seiva do xilema e fluxo de nitrato na seiva

Para a obtenção dos dados de transpiração foliar, temperatura do ar, umidade e intensidade de luz, utilizou-se o porômetro portátil Licor 1600 (Licor- USA), conforme instruções do fabricante. As mensurações foram realizadas sempre em folhas com mesma idade fisiológica (folhas totalmente expandidas), às 9:00 h da manhã.

A determinação do fluxo da seiva do xilema foi obtida pela técnica de exsudação radicular (SHURR, 1998), onde o caule foi cortado em bisel a três centímetros do colo. A primeira gota exsudada foi descartada e as seguintes foram coletadas por 60 minutos, sendo armazenadas em tubos de microcentrífuga sobre gelo. O volume de seiva exsudada foi expresso em μL de seiva h^{-1} . A mesma seiva foi utilizada para determinar o fluxo de nitrato através da concentração de NO_3^- . Para tanto, alíquotas de 50 μL do extrato da seiva xilemática foram retiradas e despejadas em tubos de ensaio contendo 450 μL de água destilada deionizada + 2000 μL de ácido perclórico 5%, e as leituras foram obtidas por espectrofotometria em 210 nm (CAWSE, 1967). O fluxo de nitrato na seiva foi expresso em $\text{mmol L}^{-1} \text{h}^{-1}$.

Absorção líquida de nitrato

Alíquotas de 25 mL da solução nutritiva foram retiradas a cada 24 h durante os quatro dias de tratamento. A concentração de NO_3^- foi determinada através do método de eletrodo seletivo com o aparelho SevenMulti, Marca Mettler-Toledo, Germany. As mensurações foram feitas, conforme instruções do fabricante, utilizando uma curva padrão com concentrações conhecidas de KNO_3 . As leituras foram expressas em $\text{mmol NO}_3^- \text{ planta dia}^{-1}$.

Atividade da redutase do nitrato em folhas

Amostras de discos foliares com diâmetro de 10 mm foram utilizadas até atingirem uma massa de, aproximadamente, 100 mg de tecido vegetal, onde foram acondicionados em tubos de ensaio tipo “vacuntiner”. Os tubos foram hermeticamente fechados e protegidos da luz. Em seguida, procedeu-se a realização de vácuo, com auxílio de uma bomba de sucção por 2,5 minutos, de forma a produzir no interior dos tubos de ensaio um ambiente anaeróbico. A atividade da RN foi mensurada por espectrofotometria (540 nm), a partir da formação de NO_2^- no meio de reação, por meio de uma curva padrão ajustada com concentrações crescentes de NaNO_2 (HAGEMAN; HUCKLESBY, 1971).

Mensuração da concentração de nitrato em raiz, caule e folha

As partes das plantas foram secadas em estufa com circulação de ar quente durante 72 horas a 65 °C. O nitrato foi extraído com água desionizada a 100 °C por 30 minutos e quantificado pelo método Cataldo et al. (1975). A concentração de nitrato em tecido foi obtida a partir de uma curva padrão com concentrações crescentes de KNO_3 . Os resultados foram expressos em $\text{mmol de NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$ de massa seca (MS) do tecido.

Delineamento estatístico e análise dos dados

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em um esquema fatorial (2x2), representando dois níveis de NaCl (0 e 50 mM) e duas condições ambientais (dia de pleno sol e dia nublado), com quatro repetições, sendo cada parcela experimental representada um vaso contendo duas plantas. Os dados foram submetidos ao teste F a 5% de significância, através de análise de variância e as médias comparadas com base no teste de Tukey.

Resultados e discussão

Durante o período de exposição ao tratamento com NaCl 50 mM, as plantas de feijão-caupi sofreram uma redução de 18% na produção de massa seca total, em comparação com o controle (dados médios das duas condições ambientais), caracterizando um estresse salino moderado (SILVEIRA et al., 2001a). Aquele tratamento também causou uma redução de 47% na transpiração, sob a condição de pleno sol, mas, no dia nublado, o decréscimo não foi significativo ($p < 0,05$). Por outro lado, a condição ambiental também influenciou negativamente a transpiração, nas duas condições de ambiente avaliadas (Figura 1).

É interessante observar que as duas condições de ambiente (pleno sol e nublado) diferiram, essencialmente, na condição de intensidade de radiação fotossinteticamente ativa, ou seja, no dia de pleno sol o valor médio foi de 985 contra 97 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ no dia nublado. Ao contrário, os valores para temperatura e umidade do ar diferiram em menor extensão (Figura 1). Frequentemente, sob condição de nebulosidade, a maioria das plantas reduz suas taxas fotossintéticas. Além disso, decréscimos na temperatura foliar, induzidos pela baixa radiação luminosa, acarretam redução na diferença de pressão de vapor entre o ar e a folha, resultando menores taxas de transpiração (MORAIS et al., 2003).

É largamente conhecido que a salinidade causa redução na transpiração devida a efeitos estomáticos. Silveira et al. (2001a), trabalhando com estresse salino moderado, obtiveram respostas semelhantes com feijão-

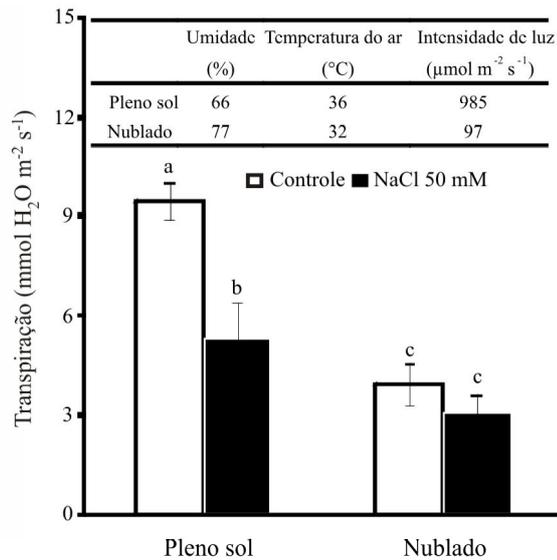


Figura 1 - Transpiração em plantas de feijão-caupi submetidas a dois níveis de NaCl (0 ou 50 mM) e sob duas condições ambientais (pleno sol ou nublado)

caupi, observando redução no fluxo transpiratório, sob condições de alta demanda evaporativa. Em plantas de cajueiro, a transpiração foi decrescente durante os quatro primeiros dias de tratamento com NaCl (VIÉGAS et al., 2004). A redução da transpiração é comum em várias espécies vegetais e esse efeito também limita a fotossíntese que, por sua vez, exerce influência na utilização do nitrato, através do suprimento de energia e esqueletos de carbono (VIÉGAS et al., 1999).

O fluxo de seiva xilemática foi reduzido intensamente pelo NaCl nas duas condições ambientais: pleno sol e nublado, 86% e 77%, respectivamente, em relação ao controle. Ao contrário, a condição do ambiente não promoveu uma redução significativa no fluxo de seiva xilemática, em ambos os tratamentos (Figura 2A). Portanto, os efeitos do NaCl, sobre o fluxo de seiva, foram mais intensos do que sobre a transpiração (Figura 1), evidenciando, possivelmente, um componente osmótico adicional causado pelo excesso de sal no meio radicular, reduzindo o fluxo do xilema radicular. Estes resultados indicam uma grande influência da salinidade, em relação ao transporte da seiva para a parte aérea, através da redução da ascensão de água no xilema, com reflexos no fornecimento de água e nutrientes para a parte aérea (VIANA et al., 2001).

O excesso de sais pode reduzir o fluxo da seiva xilemática, devido ao efeito osmótico e efeitos tóxicos que podem romper a integridade da membrana em raízes e, conseqüentemente, levar a uma obstrução do carregamento de seiva no xilema da raiz (ABD-EL BAKI et al., 2000). Em estudo com espécies arbóreas associado com diferentes

ambientes, verificou-se um rígido controle da transpiração, através de um controle estomático pronunciado, levando a limitações no fluxo de seiva tanto na estação seca como na estação chuvosa (MEINZER et al., 1999). Entretanto, é válido ressaltar que, sob condições de elevada umidade no ar, a ascensão da seiva xilemática é promovida pela pressão radicular, tal como ocorre durante condições nubladas ou de chuvas, mostrando que a condição do ambiente pode interferir no fluxo da seiva xilemática (TAIZ; ZEIGER, 2008).

O fluxo de NO_3^- , obtido através da seiva xilemática, também foi alterado pela presença de NaCl, evidenciando uma redução de 75% no fluxo de NO_3^- em ambas condições ambientais, enquanto que em relação à condição ambiental, não foi observada diferença significativa entre as condições de pleno sol e nublado (Figura 2B). É interessante ressaltar que, tanto o fluxo da seiva xilemática quanto o fluxo de NO_3^- apresentaram comportamentos semelhantes, o que explica uma forte dependência do transporte de NO_3^- para parte aérea via xilema, através do fluxo de água.

A redução do fluxo de NO_3^- , pela seiva xilemática, pode estar relacionada com a concentração de nitrato presente

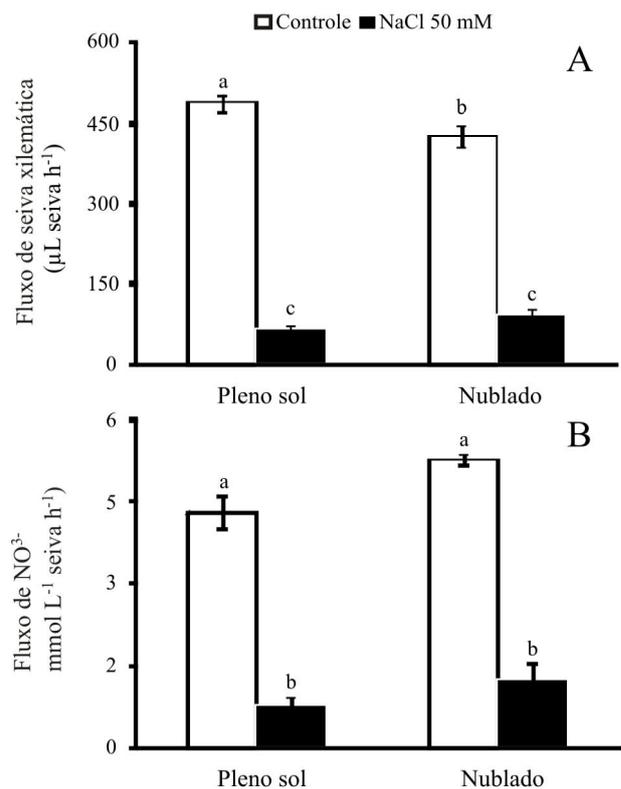


Figura 2 - Fluxo de seiva xilemática (A) e fluxo de NO_3^- (B) em plantas de feijão-caupi submetidas a dois níveis de NaCl (0 ou 50 mM) e sob duas condições ambientais (dia de pleno sol ou nublado)

na solução nutritiva e a demanda na transpiração foliar, uma vez que, esta última também foi afetada pela salinidade (LIMA et al., 2008). Contudo, outros fatores envolvidos com essa redução envolvem o baixo fluxo de seiva xilemática da raiz para a parte aérea e as baixas concentrações do NO_3^- na seiva (NIU et al., 2007). Além disso, Abd-El Baki et al. (2000) afirmaram que a salinidade contribui também para a redução do carregamento de NO_3^- no xilema de raízes, resultando numa redução expressiva do fluxo de NO_3^- para a parte aérea.

A atividade da redutase do nitrato (RN) foi reduzida pelo tratamento salino em ambas as condições ambientais analisadas. Tais reduções foram de 27 e 19% para pleno sol e nublado, respectivamente. Em relação ao ambiente, evidenciou-se que a condição nublada apresentou uma menor atividade da RN, sendo esta redução de 45 para o controle e de 35% para NaCl 50 mM, em condição de pleno sol (Figura 3A). De fato, a atividade de RN é largamente dependente do fluxo de nitrato e luminosidade, além de outros fatores tais como transpiração, temperatura e umidade (VIÉGAS et al., 1999). Dessa maneira, os resultados ocorreram, conforme largamente publicado. Entretanto, a atividade da enzima foi menos afetada pelo o NaCl e pela nebulosidade do que a transpiração e fluxo de nitrato.

A luminosidade é um fator limitante para a atividade da enzima redutase do nitrato, uma vez que, sua ação reflete na síntese de novas enzimas e estimula uma proteína fosfatase que desfosforila vários resíduos de serina na proteína redutase do nitrato, tornando-a ativa (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Entretanto, a redução da atividade RN sugere uma relação com a redução do fluxo de NO_3^- para a parte aérea, uma vez que, este diminui a disponibilidade de NO_3^- nos sítios de redução mais do que o efeito do NaCl sobre a enzima RN, resultando em um efeito indireto da salinidade sobre a atividade RN.

Alguns estudos relacionados com salinidade verificaram que o tratamento com NaCl 100 mM também reduziu a atividade RN, em plantas de feijão-caupi (SILVEIRA et al., 2001a), caju (VIÉGAS et al., 2004) e tomate (DEBOUBA et al., 2007). No caso de plantas de tomate, a depleção da atividade RN foi relacionada com a baixa disponibilidade de NO_3^- , em folhas pré-tratadas com sal, durante os dias subsequentes do tratamento (DEBOUBA et al., 2007). No entanto, a redução do fluxo de NO_3^- para a parte aérea e a sua baixa disponibilidade em folhas estão intimamente ligados, indicando uma interação dos dois fatores sobre a atividade da RN.

A absorção líquida de nitrato foi reduzida pelo tratamento salino em ambas as condições ambientais analisadas. Tais reduções foram de 33 e 20% para pleno sol e nublado, respectivamente. Em relação ao ambiente, evidenciou-se uma menor absorção de NO_3^- em plantas controle e sob condição nublada, sendo essa redução de

23% em relação à condição de pleno sol. Ao contrário, na presença de NaCl, não foi observado nenhuma mudança em relação ao ambiente (Figura 3B). De fato, os resultados demonstram que as consequências causadas pelo NaCl pode estar relacionado ao efeito iônico e/ou osmótico do Cl^- pelos sítios de absorção (SILVA et al., 2009) e não pelo efeito do ambiente. Paralelamente, os resultados obtidos indicam que a absorção líquida de NO_3^- foi mais afetada do que o processo de redução pela atividade da RN.

Respostas semelhantes para absorção de nitrato, em condições de salinidade, foram obtidas por alguns autores em experimentos com plantas ou raízes pré-tratadas com NaCl, reportando que a redução da absorção de NO_3^- não é unicamente devido aos componentes osmóticos, mas também por competição iônica com o Cl^- (ARAGÃO, 2008; DEBOUBA et al., 2007; SILVEIRA et al., 2001a).

As análises de correlação entre os dados obtidos permitiram demonstrar uma relação positiva entre transpiração vs. atividade da redutase do nitrato ($R^2 = 0,791$) e transpiração vs. absorção líquida de NO_3^- ($R^2 = 0,973$), tanto sob o tratamento com NaCl quanto sob diferente condição ambiental (Figura 4). É interessante observar que, tanto a atividade da

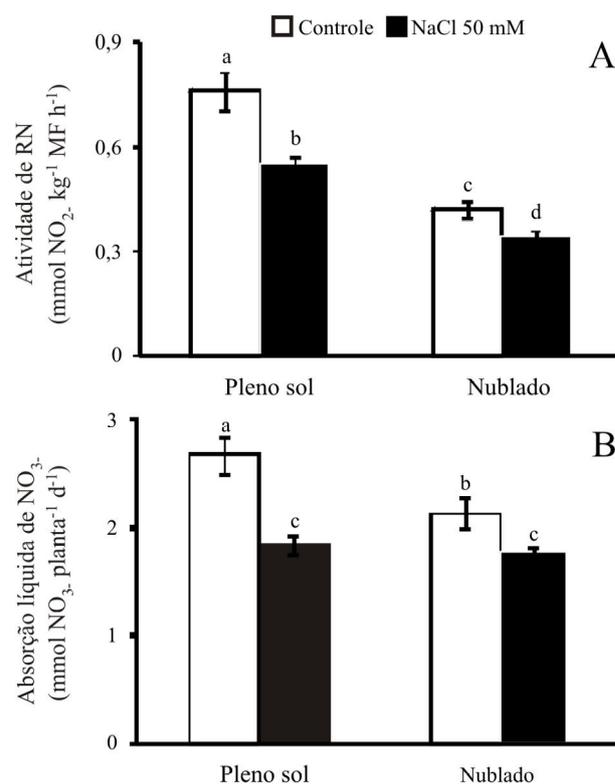


Figura 3 - Atividade da redutase do nitrato (A) e absorção líquida de NO_3^- diária (B) em plantas de feijão-caupi submetidas a dois níveis de NaCl (0 ou 50 mM) e sob duas condições ambientais (pleno sol ou nublado)

RN quanto absorção líquida de NO_3^- , foram positivamente correlacionadas com a transpiração, demonstrando uma forte interação da transpiração e os processos relacionados. Contudo, outros autores não relataram a ocorrência de correlação entre os processos mencionados anteriormente, mas sim entre concentração no meio externo e nível de N total em tecidos (PARIDA; DAS, 2004).

A concentração de NO_3^- em tecido acarretou em reduções expressivas em todas as plantas tratadas com NaCl. Em folhas trifolioladas, essa redução representou em média 45% ,quando comparadas ao controle. As menores reduções pelo NaCl foi em caules e raízes, perfazendo 19 e 24%, respectivamente, em comparação ao controle. Em relação ao ambiente, verificou-se que o efeito da nebulosidade sobre caules e raízes não foi significativo, uma vez que, tanto na condição controle quanto na presença de NaCl, o conteúdo de nitrato foi equivalente, em ambas condições ambientais (Tabela 1). De forma geral, as folhas foram as partes mais afetadas pela salinidade e condição ambiental. Ao contrário, a concentração de NO_3^- em caules e raízes foi influenciada somente pelo NaCl.

Respostas semelhantes foram obtidas com plântulas tomate crescidas em solução nutritiva, onde verificou-se que a adição de NaCl reduziu o conteúdo de NO_3^- em diferentes partes da planta, sendo esta redução mais expressiva nas folhas que nas raízes (DEBOUBA et al., 2007). No entanto, nossos resultados indicam que as duas condições ambientais (pleno sol e nublado), em associação com o estresse salino, resultou em diferentes respostas fisiológicas e isto sugere um possível mecanismo de adaptação por parte das plantas, seja através da parte aérea ou pelas raízes.

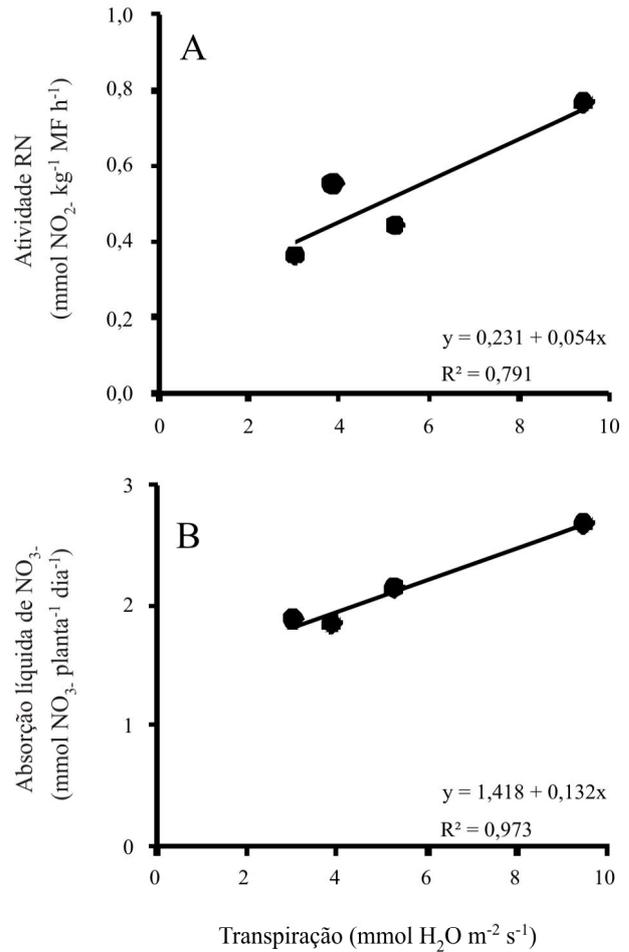


Figura 4 - Correlação entre transpiração vs. atividade RN (A) e transpiração vs. absorção líquida de NO_3^- (B) em plantas de feijão-caupi submetidas a dois níveis de NaCl (0 ou 50 mM) e sob duas condições ambientais (pleno sol ou nublado)

Tabela 1 - Concentração de NO_3^- em folhas codiformes, folhas trifolioladas, raiz e caule de plantas de feijão-caupi submetidas a dois níveis de NaCl e sob duas condições ambientais

	Pleno sol ($\text{mmol NO}_3^- \text{ kg}^{-1} \text{ MS}$)		Nublado ($\text{mmol NO}_3^- \text{ kg}^{-1} \text{ MS}$)	
	Controle	NaCl 50 mM	Controle	NaCl 50 mM
F. codiforme	200,3 a	149,1 b	160,2 b	113,3 c
F. trifoliolada	208,5 b	125,3 c	259,2 a	133,6 c
Caule	270,0 a	211,8 b	153,1 a	207,3 b
Raiz	169,2 a	132,7 b	159,3 a	118,2 b

Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey

Conclusões

1. A salinidade afeta mais negativamente o fluxo de nitrato no xilema do que os processos de absorção e assimilação desse íon nas folhas de feijão-caupi.
2. As taxas para fluxo de nitrato são proporcionais ao fluxo da seiva xilemática, mesmo sob salinidade e diferente condição ambiental.
3. Folhas de feijão-caupi são substancialmente afetadas pela associação entre salinidade e condição ambiental, o que

não acontece em caules e raízes, mostrando um possível mecanismo de adaptação entre parte aérea e raízes.

Agradecimentos

Ao CNPq pelo suporte financeiro da pesquisa.

Referências

- ABD-EL BAKI, G. K. *et al.* Nitrate reductase in *Zea mays* L. under salinity. **Plant Cell Environment**, v. 23, n. 05, p. 515-521, 2000.
- ARAGÃO, R. M. **Mecanismos cinéticos de inibição da absorção de nitrato em raízes de feijão-caupi expostas à salinidade**. 2008. 71 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de plantas) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- CARILLO, P. *et al.* Nitrate reductase in durum wheat seedlings as affected by nitrate nutrition and salinity. **Functional Plant Biology**, v. 32, n. 03, p. 209-219, 2005.
- CATALDO, D. A.; Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic. **Soil Science Plant Analyst**, v. 6, n. 01, p. 71-80, 1975.
- CAWSE, P.A. The determination of nitrate in soil solution by ultraviolet spectrophotometry. **Analyst**, v. 92, n. 1094, p. 311-315, 1967.
- DEBOUBA, M. *et al.* NaCl stress effects on enzymes involved in nitrogen assimilation pathway in tomato *Lycopersicon esculentum* seedlings. **Journal of Plant Physiology**, v. 163, n. 12, p. 1247-1258, 2006a.
- DEBOUBA, M. *et al.* Salinity induced tissue-especific diurnal changes in nitrogen assimilatory in tomato seedlings grown under nitrate medium. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 44, p. 409-419, 2006b.
- DEBOUBA, M. *et al.* Changes in growth and activity of enzymes involved in nitrate reduction and ammonium assimilation in tomato seedlings in response to NaCl stress. **Annals of Botany**, v. 99, n. 06, p. 1143-1151, 2007.
- EPSTEIN, E; BLOOM, J. **Nutrição mineral de plantas**. 2. ed. Londrina: Planta, 2006. 401 p.
- HAGEMAN, R. H.; HUCKLESBY, D. P. Nitrate reduction from higher plants. **Methods Enzymology**, v. 23, p. 491-503, 1971.
- HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. **The water-culture method for growing plants without soil**. Californian Agricultural Experimental Station, Berkeley: University of California, 1950. 139 p.
- LIMA, J. D. *et al.* Acúmulo de compostos nitrogenados e atividade da redutase do nitrato em alface produzida sob diferentes sistemas de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 38, n. 03, p.180-187, 2008.
- MEINZER, F. C. *et al.* Atmospheric and hydraulic limitations on transpiration in Brazilian cerrado woody species. **Functional Ecology**, v. 13, p. 273-282, 1999.
- MELONI, D. A. *et al.* The effects of salt stress on growth, nitrate reduction and proline and glycinebetaine accumulation in *Prosopis alba*. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v. 16, n.1, p.39-46, 2004.
- MILLER, A. J. *et al.* Nitrate transport and signaling. **Journal of experimental Botany**, v. 58, n. 9, p. 2297-2306, 2007.
- MORAIS, H. *et al.* Características fisiológicas e de crescimento de cafeeiro sombreado com guandu e cultivado a pleno sol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 10, p. 1131-1137, 2003.
- MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review Plant Biology**, v. 59, p. 651-681, 2008.
- NIU, J. *et al.* Transpiration and nitrogen uptake and flow in two maize (*Zea mays* L.) Inbred Lines as Affected by Nitrogen Supply. **Annals of Botany**, v. 99, n. 01, p. 153-160, 2007.
- OLIVEIRA, M. A. J. *et al.* Atividade da redutase de nitrato em mudas de pupunheira (*Bactris gasipaes*). **Ciência Rural**, v. 35, n. 03, p. 515-522, 2005.
- PARIDA, A. K.; DAS, A. B. Effects of NaCl stress on nitrogen and phosphorous metabolism in a true mangrove *Bruguiera parviflora* grown under hydroponic culture. **Journal of Plant Physiology**, v. 161, n. 08, p. 921-928, 2004.
- SHURR, U. Xylem sap sampling - new approaches to old topic. **Trends in Plant Science**, v. 03, n. 08, p. 293-298, 1998.
- SILVA, E. N. *et al.* Acúmulo de íons e crescimento de pinhão-mansô sob diferentes níveis de salinidade. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 40, n. 02, p. 240-246, 2009.
- SILVEIRA, J. A. G. *et al.* Salinity-induced effects on nitrogen assimilation related to growth in cowpea plants. **Environmental and Experimental Botany**, v. 46, n.02, p. 171-179, 2001a.
- SILVEIRA, J. A. G. *et al.* Nitrate reductase activity, distribution, and response to nitrate in two contrasting *Phaseolus* species inoculated with *Rhizobium* spp. **Environmental and Experimental Botany**, v. 46, n. 01, p. 37-46, 2001b.
- SURABHI, G. K. *et al.* Modulations in key enzymes of nitrogen metabolism in two high yielding genotypes of mulberry (*Morus alba* L.) with differential sensitivity to salt stress. **Environmental and Experimental Botany**, v. 64, p. 171-179, 2008.
- TAIZ, L; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4. ed. São Paulo: Artmed, 2008. 848 p.
- VIANA, A. P. *et al.* Características fisiológicas de porta-enxertos de videira em solução salina. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 01, p. 139-143, 2001.
- VIÉGAS, R. A.; SILVEIRA, J. A. G. Ammonia assimilation and proline accumulation in cashew (*Anacardium occidentale* L.) plants submitted to NaCl-salinity. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 11, n. 02, p. 153-159, 1999.
- VIÉGAS, R. A. *et al.* Redução assimilatória de NO₃⁻ em plantas de cajueiro cultivados em meio salinizado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 08, n. 02/03, p. 189-195, 2004.
- VIEIRA, R. D.; CARVALHO, N. M. **Testes de vigor de sementes**. Jaboticabal: FUNEP. 1994.