



**Características agronômicas e atividade da redutase do nitrato em plantas de *Campomanesia* sp. sob estresse hídrico<sup>1</sup>**

***The agronomic characteristics and reductase of nitrato activity in *Camponesia* sp plants under water stress***

**Lucielle Januário de Oliveira<sup>2</sup>, Samuel Mariano-da-Silva<sup>3</sup> Antonio Paulino Costa Netto<sup>3</sup>; Sueli Maria da Silva<sup>4</sup>, Fabiana Maria de Siqueira Mariano-da-Silva<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Desenvolvido na Universidade Federal de Goiás – UFG – Campus Jataí

<sup>2</sup>Universidade Federal de Goiás – Campus Jataí– (CAJ/UFG). Rod. Br. 364, Km 192, Zona Rural, CEP 75800-000, Jataí – GO, Brasil. E-mail: lucielle.januario@hotmail.com

<sup>3</sup>Universidade Federal de Goiás – Programa de Pós Graduação em Agronomia / AC Produção Vegetal, Campus Jataí– (CAJ/UFG).

<sup>4</sup>Universidade Federal de Goiás – Campus Jataí– (CAJ/UFG).

<sup>5</sup>Universidade Estadual de Goiás – Campus Jataí.

Recebido em: 21/09/2010

Aceito em: 14/03/2011

**Resumo.** O objetivo do trabalho foi avaliar parâmetros de crescimento e a atividade da enzima redutase do nitrato em plantas de gabiroba frente a diferentes disponibilidades hídricas no solo, a fim de se verificar possíveis estratégias de sobrevivência. O experimento foi conduzido em casa de vegetação onde plantas de gabiroba foram submetidas a três regimes hídricos: déficit hídrico, capacidade de campo e hipoxia. As avaliações foram realizadas em sete períodos: tempo 0 (antes da indução dos tratamentos), 12 horas, 24 horas, 1 semana, 2 semanas, 3 semanas e 4 semanas após a submissão dos tratamentos. Foram avaliadas características agronômicas e a atividade da enzima redutase do nitrato (RN) na parte aérea e raízes das plantas em cada período, utilizando o método *in vivo* que reflete a atividade potencial da enzima *in situ*. As plantas de *Campomanesia* sp. apresentaram atividade da (RN) em tecidos radiculares e foliares, porém, sendo mais preponderante nas folhas. A hipoxia e o déficit hídrico afetaram a atividade da enzima quando comparada a capacidade de campo. As plantas de *Campomanesia* sp. apresentaram maior tolerância de assimilação do nitrato em condições de seca quando comparadas a condições de alagamento.

**Palavras-chave.** Gabiroba, déficit hídrico, hipoxia, crescimento, redutase do nitrato

**Abstract.** The objective was evaluated growth parameters and also activity of reductase enzyme nitrate in gabiroba's plants in different water availability in soil, in order evaluating possible strategies for survival. The experiment was conducted in greenhouses which gabiroba's plants were submitted three water treatments: water deficit, field capacity and hypoxia. The assessments were made in seven periods: time 0 (before treatment induction), 12 hours, 24 hours, 1 week, 2 weeks, 3 weeks and 4 weeks after submission of the treatments. The agronomic characteristics and activity of nitrate reductase enzyme (NR) in roots and shoots of plants in each period, in shoots and root's plants in each period, using *in vivo* method that reflects the potential activity of the enzyme *in situ*. The Plants *Campomanesia* sp. Showed activity (NR) in leaf and root tissue, however, being more prominent in leaves. The Hypoxia and water deficit affect enzyme activity when compared with field capacity. The plants *Campomanesia* sp. has showed the most tolerance in assimilation of nitrate in drought conditions when compared with flooding conditions.

**Keywords.** Gabiroba, water deficit, hypoxia, growth, nitrate reductase

### **Introdução**

A espécie *Campomanesia* sp, popularmente conhecida como gabiroba, guabiroba, guabiroba-do-campo, guariroba ou guavira, pertence à

família Myrtaceae, a qual inclui cerca de 130 gêneros e 4000 espécies (Souza & Lorenzzi, 2005) que se distribuem pelos estados de São Paulo, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do



Sul, Goiás, Distrito Federal, Bahia, Minas Gerais e Santa Catarina, chegando às regiões adjacentes da Argentina e do Paraguai (Legrand & Klein, 1977).

A planta é um arbusto de 0,3 até 2 metros de altura e ramos amarelados (Ferreira, 1972), sendo caducifólia com florescimento intenso de curto período de tempo (Almeida et al., 1998), comumente de agosto a novembro, com pico em setembro, frutificando de setembro a novembro (Silva et al., 2001).

As espécies de *Campomanesia* sp. têm importância econômica bastante diversificada. Seus frutos podem ser consumidos *in natura* e na forma de doces, sorvetes, refrescos e, muitas vezes, como flavorizantes em destilados alcoólicos devido aos seus atributos de qualidade como: elevada acidez, ácido ascórbico (vitamina C), minerais, fibras alimentares e hidrocarbonetos monoterpênicos ( $\alpha$ -pineno, limoneno e  $\beta$ -z) ocimeno), presentes em maior quantidade no óleo volátil dos frutos, e que lhes conferem o aroma cítrico (Vallilo et al., 2006).

O conhecimento a respeito da planta é importante para sua inserção no mercado consumidor, preservação em seu estado natural e implantação de futuras lavouras comerciais. Sua presença marcante nas áreas de cerrado faz com que sejam extremamente importantes para o reflorestamento e recuperação de áreas devastadas nessa região.

A tolerância ao déficit hídrico é uma característica muito importante em qualquer cultivo principalmente de plantas nativas onde o processo de seleção natural ainda se encontra em andamento. A deficiência hídrica constitui uma das mais importantes limitações à produtividade e à distribuição dos vegetais, apresentando influência negativa em mais de 10% das áreas agrícolas do globo terrestre (Bartels & Sunkar, 2005). Além da diminuição da expansão celular (Taiz & Zeiger, 2004), vários processos fisiológicos, entre eles a síntese de aminoácidos, são amplamente alterados (Silveira et al., 2002; Sodek, 2004; Marin et al., 2006). Além disso, o estresse hídrico provoca ainda reduções drásticas na atividade de redutase de nitrato já a partir de pequenos decréscimos no potencial da água (Sinha & Nicholas, 1981).

Assim como algumas espécies são resistentes ao alagamento (várzeas) sem mudar o seu metabolismo (Drew, 1988), existem espécies que em condições de estresse gasoso (hipoxia)

sofrem uma série de modificações morfológicas (Thomas, 2004) além de adaptações metabólicas (Sousa, 2001; Sousa & Sodek, 2002; Sousa & Sodek, 2003).

Quando um tecido está sob condições de hipoxia, a via de utilização do nitrato é parcialmente interrompida no passo da nitrito redutase (Lee, 1978, 1979; Botrel et al., 1996), pois a redução de nitrito necessita de oxigênio (Aslam et al., 1979). Isso resulta no aumento da concentração do nitrito intracelular associado também a uma liberação do mesmo no meio (Lee, 1979; Glaab & Kaiser, 1993).

Com o conhecimento dos mecanismos de ação do estresse hídrico e hipoxia associados com aqueles que podem conferir tolerância às plantas, é possível estabelecer estratégias de manejo do solo e da cultura, tais como seleção de espécies mais tolerantes necessárias para que a cultura possa apresentar produções compatíveis com uma exploração sustentável (Kerbauy, 2004).

O objetivo do trabalho foi avaliar parâmetros de crescimento e a atividade da enzima redutase do nitrato em plantas de gabioba frente a diferentes disponibilidades hídricas no solo, a fim de se verificar possíveis estratégias de sobrevivência.

### **Material e Métodos**

A condução do experimento ocorreu nos meses de janeiro e fevereiro de 2010, em casa de vegetação localizada no Campus Jataí da Universidade Federal de Goiás (UFG), no município de Jataí, GO, a 17° 52' 53" de latitude Sul e 51°42'52" de longitude Oeste e 696 metros de altitude, com temperatura média anual entre 23 e 26° C. O solo utilizado no estudo foi um Latossolo Vermelho Escuro Distroférico, coletado em solo de horizonte B no próprio Campus. As características químicas e físicas do solo estão apresentadas na Tabela 1. Depois de peneirado, o solo foi seco e homogeneizado, recebendo calagem com calcário filler na proporção de 615 mg kg<sup>-1</sup> de solo seco para correção e elevação da saturação de bases para 50%, conforme utilizado para as mudas de gabioba. Após a calagem, este ficou incubado por 20 dias sendo umedecido constantemente.

Para a formação das mudas foram coletadas sementes de Gabioba na região de cerrado do município de Jataí, depois de germinadas as mudas foram transplantadas para sacos plásticos e mantidas em viveiro



**Tabela 1.** Características químicas e físicas de um Latossolo Vermelho Escuro Distroférico utilizado no estudo.

pH CaCl	MO (g dm <sup>-3</sup> )	P --(mg dm <sup>-3</sup> )--	K	Ca	Mg	H+Al -----c mol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----	Al	S.B	CTC
5,0	21,7	0,2	21	0,3	0,1	2,9	0,03	13,4	3,4

Quando as plantas tinham 60 dias, as mesmas foram transplantadas para vasos de 5,0 L, sendo mantidas então em casa de vegetação por aproximadamente 30 dias, em período de adaptação. Neste período as plantas foram irrigadas periodicamente, com a finalidade de mantê-las próximas a capacidade de campo. Os tratamentos foram constituídos de três condições hídricas (déficit hídrico, capacidade de campo e hipoxia) em sete diferentes períodos: (tempo 0; 12 horas, 24 horas, 1 semana, 2 semanas, 3 semanas e 4 semanas). No tratamento de déficit hídrico as plantas foram mantidas sem irrigação até o final do experimento. No tratamento capacidade de campo a irrigação foi diária de acordo com a evaporação de água diária do tanque classe A da Estação Meteorológica da Universidade Federal de Goiás (UFG) – Campus Jataí.

No tratamento de hipoxia os vasos contendo as plantas foram alocados em vasos de maior capacidade, contendo água, mantendo-se uma lâmina d'água com 2cm em relação ao solo do vaso contendo a planta. A água era repostada diariamente, de modos a manter a lâmina constante. Foi analisado o crescimento vegetativo das plantas mediante a determinação das variáveis: altura de plantas (cm), mensurada entre a superfície do solo a inserção do último par de folhas expandida; diâmetro de caule (mm), mensurado na base do ramo ortotrópico (principal) na altura do terço médio, utilizando um paquímetro; número de folhas por planta, avaliado por contagem manual das folhas de cada planta, desconsiderando-se as folhas senescentes da parte basal; diâmetro da raiz principal (mm), mensurado logo abaixo da região do colo, utilizando um paquímetro; comprimento da raiz (cm), mensurado entre a região do colo da planta até o último segmento de raiz; número de raízes secundárias, através de contagem manual na região da raiz primária.

Além dos parâmetros de crescimento, também foi avaliada a atividade da enzima redutase do nitrato (RN): a atividade da enzima

foi mensurada "in vivo" em tecidos radiculares e foliares de gabioba utilizando-se o método descrito por Klepper et al. (1971), modificado por Meguro & Magalhães (1982), que baseia-se no princípio de que a quantidade de nitrito liberada por fragmentos de tecidos vivos num tampão na presença de um agente permanente (propanol) e do substrato (nitrato) reflete a atividade potencial da enzima RN (Hageman & Reed, 1980). O material vegetal foi coletado sempre pela manhã, entre 10 e 12 horas, período em que as plantas receberam pelo menos três horas de sol e a RN já havia atingido sua máxima atividade (Hageman & Reed, 1980). O delineamento experimental utilizado foi o de blocos completos inteiramente casualizados. Os resultados obtidos foram submetidos aos testes de médias pelo uso do *software* SAEG 9.1 (SAEG, 2007).

### Resultados e Discussão

Em solos alagados foi possível observar diminuição do número de folhas até a primeira semana (de 31,66 para 15,33), assim como a altura das plantas (de 35 cm para 22,33 cm), diâmetro do caule (de 32,23 mm para 19,96 mm), diâmetro da raiz principal (de 7,89 mm para 3,79 mm) e do comprimento da raiz principal (de 3,66 cm para 1,00 cm). Já o número de raízes secundárias foi pouco alterado (Tabela 3). Na segunda semana de avaliação, foi possível observar que a distribuição de fitomassa entre raiz e parte aérea foi ainda mais alterada, principalmente pelo aumento do número de raízes secundárias (de 56,33 para 77,33) e do diâmetro da raiz principal (3,79 para 36,26) com relação a uma diminuição do diâmetro do caule de 19,96 para 12,23, sendo mantidos os demais parâmetros de estudo sem grandes alterações.

Esses resultados corroboram com descrições anteriores encontradas na literatura, onde houve diminuição da taxa de crescimento relativo da raiz e do caule das plantas de *Cecropia pachystachya* cultivadas em solo alagado (Batista et al., 2008). A diminuição do crescimento de



alguns órgãos, durante o alagamento, pode ser uma estratégia para economizar energia e manter um funcionamento mínimo do metabolismo nas regiões mais afetadas pela hipoxia (Wiedenroth, 1993; Armstrong et al., 1994).

Em condições de hipoxia, quando as plantas ficaram com as raízes submersas durante todo o período, a atividade enzimática sofreu variação em decorrência da diminuição da disponibilidade de O<sub>2</sub> no meio, sendo constatado um ligeiro aumento da atividade da enzima após 12 horas, seguido de uma diminuição progressiva de 1,73 vezes em 24 horas e 1,4 vezes em uma semana, respectivamente. Após esse período, estas plantas não toleraram o estresse e morreram.

Para as plantas, o principal efeito imposto pela inundação é o impedimento das trocas gasosas entre o sistema radicular e o espaço poroso do solo, visto que a resistência de difusão do O<sub>2</sub> é aproximadamente 100 vezes maior na

água que no ar (Armstrong et al., 1994). Quando sob condições de baixa disponibilidade de O<sub>2</sub> a via de utilização do nitrato é parcialmente ou completamente interrompida no passo da nitrito redutase (Lee, 1978; Lee, 1979; Botrel et al., 1996), pois a redução do nitrito necessita de O<sub>2</sub> (Aslam et al., 1979), resultando no aumento da concentração do nitrito intracelular, associado a uma liberação do mesmo no meio (Ferrari & Varmer, 1971; Lee, 1979; Glaab & Kaiser, 1993), que por ser tóxico pode levar os tecidos à morte celular.

Esse fato pode ser explicado devido à ação da hipoxia na limitação da produção de ATP pela mitocôndria, quando a biossíntese de ATP pela fosforilação oxidativa se torna desprezível em relação ao ATP gerado pela glicólise e fermentação (Drew, 1997). Com isso o consumo de glicose aumenta significativamente, depletando as reservas de carboidratos dos tecidos vegetais.

**Tabela 2.** Atividade da enzima redutase do nitrato ( $\mu\text{moles NO}_2^- \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$ ) em folhas de *Campomanesia* sp. submetidas a diferentes condições de disponibilidade hídrica.

Tempo	Hipoxia	Capacidade de campo	Seca
0	64,68	64,68	64,68
12 horas	71,06	57,60	61,52
24 horas	41,17	107,45	59,25
1 semana	19,20	61,70	79,15
2 semanas	-----	49,73	71,26
3 semanas	-----	344,61	324,48
4 semanas	-----	1447,86	-----

A atividade da RN em condições de capacidade de campo, variou de 19,20 a 1447,86  $\mu\text{moles NO}_2^- \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$  nas folhas de plantas de *Campomanesia* sp., sendo que as plantas permaneceram vigorosas até o final do experimento. e ocorrendo diferenças expressivamente os tratamentos (Tabela 2), esses resultados corroboram com os apresentados por Freitas et al., 2007 e Barreto et. al., 2008, onde foram observados decréscimos da atividade da redutase do nitrato em plantas de açaizeiro submetidas a déficit hídrico e alagamento e sorgo submetido ao alagamento. Nesse contexto, sugere-se que o déficit hídrico diminui a atividade dessa enzima em virtude da diminuição do fluxo de água pela corrente transpiratória e com isso também o fluxo de nitrato para as folhas, uma vez que essa enzima é altamente dependente de seu

substrato (Sharner & Boyer, 1976; Costa, 1999). Por outro lado, a diminuição da atividade enzimática em plantas sob alagamento deve-se provavelmente a falta de oxigênio no solo que interferirá na absorção do nitrato do solo, ocasionando uma diminuição do nitrato que vai para as folhas (Taiz & Zeiger, 2004).

Esse aumento pode ser caracterizado em três momentos, o primeiro durante as 24 horas iniciais na condução do ensaio, quando foi observado um aumento de 1,66 vezes na atividade enzimática e após esse período, quando foi observado um decréscimo na atividade enzimática durante a primeira e segunda semana (Tabela 3). Interessantemente, neste exato período foram observados incrementos significativos de fitomassa pelo aumento do número de folhas (de 17,33 para 43,66), da altura das plantas (de 14 cm



para 29,33 cm), do número de raízes secundárias (de 72,33 para 99), do diâmetro do caule (de 2,27 mm para 3,49 mm), do diâmetro da raiz principal (de 4,71 mm para 5,65 mm) e do comprimento de raiz (de 1,33 cm para 2,66 cm), como descrito na Tabela 4.

Um novo e último ciclo de crescimento também foi observado nas duas últimas avaliações da atividade enzimática, respectivamente na terceira e quarta semanas de avaliação, onde encontramos um grande aumento na atividade enzimática da ordem de 6,9 vezes da segunda para a terceira semana e de 4,2 vezes da terceira para a quarta semana de avaliação (Tabela 3). No entanto, esse novo ciclo de crescimento demonstrou uma menor taxa de crescimento Tabela 4, quando comparado ao primeiro ciclo descrito anteriormente e ainda foi observado um decréscimo no número de raízes secundárias (de 236,33 para 110,33) e do diâmetro do caule (de 6,66 mm para 4,77 mm), sendo que este último pode ser explicado devido ao incremento em altura de plantas (de 23,33 para 40 cm).

Esse resultados corroboram com dados descritos pela literatura, onde foi constatada uma relação próxima entre regulação da redutase do nitrato e a fotossíntese. A redução de nitrito a amônio utiliza a ferredoxina reduzida, um produto da fotossíntese e uma abrupta parada ou diminuição da fotossíntese poderia gerar acúmulo de nitrito se a atividade da redutase do nitrato não fosse regulada (Lillo et al., 2003). Provavelmente, nesse caso os fotoassimilados exportados para fora dos cloroplastídeos funcionam como sinalizadores capazes de ativar a redutase do nitrato.

Outra característica interessante é que enzima redutase do nitrato utiliza energia advinda da fotossíntese e é fortemente regulada pelo fornecimento de esqueletos carbônicos para incorporação de nitrogênio em aminoácidos. Segundo Epstein & Bloom (2005), um quarto do gasto energético dos vegetais está relacionado com as várias reações na redução do nitrato e incorporação do nitrogênio às formas orgânicas, o que explicaria os ciclos de crescimento demonstrado pelas plantas neste experimento.

No tratamento déficit hídrico, a distribuição de fitomassa, apresentada na Tabela 5, mostrou um decréscimo contínuo de todos os parâmetros estudados a medida em que a duração do estresse aumentou, exceto para o diâmetro do caule, onde

foram constatadas oscilações do mesmo. Ou seja, não houveram mudanças significativas na razão parte aérea:raiz, uma vez que o número de folhas das plantas caiu de 57 para 13,50; a altura da planta diminuiu de 45,33 cm para 21,00 cm; o número de raízes secundárias caiu de 325,66 para 86,50, o diâmetro da raiz principal diminuiu de 5,20 mm para 2,47 mm e o comprimento da raiz principal também diminuiu de 3,66 cm para 1,00 cm.

Esses resultados discordam de outros encontrados na literatura, quando foram constatadas que a diminuição da disponibilidade hídrica do solo provoca redução do alongamento celular, e conseqüentemente, do consumo de carbono e energia, sendo uma maior proporção de fotoassimilados distribuída ao sistema radicular, diminuindo dessa forma a razão parte aérea/raiz das plantas, provavelmente, porque em condições de deficiência hídrica o sistema radicular tende a se desenvolver até que sua necessidade em fotoassimilados seja igual à quantidade que é produzida na parte aérea (Taiz & Zeiger, 2004).

As plantas tiveram um aumento progressivo com pequenas variações durante o período de déficit hídrico até a segunda semana, onde foi observado um aumento de 4,55 vezes na atividade enzimática no limbo foliar. No entanto logo após esse aumento na terceira semana do tratamento as plantas morreram.

Uma resposta fisiológica particularmente sensível à redução do potencial da água em plantas é a inibição de enzimas que apresentam alta relação síntese:degradação, como a redutase do nitrato. Sinha & Nicholas (1981), observaram que o estresse hídrico provoca reduções drásticas na atividade de redutase de nitrato já a partir de pequenos decréscimos no potencial da água.

Ainda foi observado que a atividade enzimática nas duas primeiras semanas sob estresse hídrico foi similar aos resultados obtidos quando as plantas foram irrigadas diariamente. Esses resultados apontam para o fato que pode ter havido certa adaptação da atividade da enzima após determinado período de deficiência hídrica. Corroborando com os resultados obtidos Ferreira et al. (2002), que estudou o metabolismo do nitrogênio associado à deficiência hídrica e sua recuperação em genótipos de milho, demonstrando que a atividade da enzima redutase do nitrato em milho não diferiu entre o tratamento de stress hídrico e o controle.



**Tabela 3.** Características agronômicas de um sistema em hipoxia.

Tratamento	Nº folhas	Altura (cm)	Nº raiz secundaria	Ø Caule (mm)	Ø Raiz (mm)	Comp raiz (ml)
12 horas	31,66±0,02	35,00±0,19	69,66±0,00	3,00±0,07	7,89±1,24	3,66±0,00
24 horas	21,33±0,09	21,33±0,11	76,66±0,06	3,00±0,15	6,41±0,44	2,33±0,00
1 semana	15,33±0,02	22,33±0,06	56,33±0,10	2,00±0,16	3,79±0,00	1,00±0,01
2 semanas	20,66±0,20	37,33±0,03	77,33±0,05	1,00±0,30	4,00±0,00	1,00±0,00

**Tabela 4.** Características agronômicas de um sistema em capacidade de campo.

Tratamento	Nº folhas	Altura (cm)	Nº raiz secundaria	Ø Caule (mm)	Ø Raiz (mm)	Comp raiz (ml)
12 horas	22,33±0,02	25,00±0,06	43,33±0,07	1,98±0,00	5,13±0,00	1,66±0,00
24 horas	40,66±0,09	32,00±0,03	66,33±0,15	3,42±0,00	5,43±0,00	2,33±0,00
1 semana	17,33±0,02	13,66±0,00	72,33±0,16	2,27±0,00	4,71±0,00	1,33±0,00
2 semana	43,66±0,20	25,33±0,06	99,00±0,30	3,49±0,00	5,65±0,00	2,66±0,01
3 semana	39,33±0,19	23,33±0,10	236,33±1,24	6,66±0,01	4,42±0,01	2,33±0,01
4 semana	38,33±0,11	40,00±0,05	110,33±0,44	4,77±0,00	5,95±0,03	2,66±0,01

**Tabela 5.** Características agronômicas de um sistema em deficit hídrico

Tratamento	Nº folhas	Altura (cm)	Nº raiz secundaria	Ø Caule (mm)	Ø Raiz (mm)	Comp raiz (ml)
12 horas	57,66±0,23	45,33±0,01	325,66±1,43	3,98±0,00	5,20±0,00	3,66±0,00
24 horas	25,66±0,07	28,66±0,07	63,33±0,26	2,40±0,00	5,23±0,00	3,33±0,01
1 semana	23,33±0,01	14,00±0,04	217,33±0,31	2,23±0,00	4,60±0,00	2,33±0,00
2 semanas	26,00±0,07	29,33±0,04	51,00±0,09	2,16±0,09	3,89±0,00	1,33±0,00
3 semanas	13,50±0,01	21,00±0,04	86,50±0,34	2,43±0,00	2,47±0,00	1,00±0,00

A atividade enzimática da redutase do nitrato em raízes de plantas de *Campomanesia sp.* variou de 1,86 a 295,62  $\mu\text{moles NO}_2^- \text{ h}^{-1} \text{ gm}^{-1}$  nos estudos realizados, como pode ser observado na Tabela 6.

Comparando-se os resultados obtidos entre raízes e folhas, observa-se que atividade da enzima redutase do nitrato é muito maior nas folhas do que nas raízes. Segundo Carelli & Fahl (1991), as raízes são consideradas como sítios de consumo de assimilados bem menos eficientes do que a parte aérea para assimilar nitrato.

Dessa forma é interessante enfatizar que uma característica dessa enzima é que ela utiliza energia advinda da fotossíntese e é bastante

regulada pelo fornecimento de esqueletos carbônicos para incorporação de nitrogênio em aminoácidos e, segundo Epstein & Bloom (2005), um quarto do gasto energético dos vegetais está relacionado com as várias reações na redução do nitrato e incorporação do nitrogênio às formas orgânicas.

No tratamento onde se manteve a irrigação d'água, na terceira e quarta semana do experimento foram observados os melhores resultados de atividade enzimática nas raízes, sendo constatado um aumento de 16,10 vezes na atividade enzimática entre a segunda e a terceira semana e de 4,05 vezes entre a terceira e a quarta semanas (Tabela 6).



**Tabela 6.** Atividade da enzima redutase do nitrato ( $\mu\text{moles NO}_2^- \text{ h}^{-1} \text{ gmf}^{-1}$ ) em raízes de plantas de campomanesia em diferentes lâminas d'água.

Tempo	Hipóxia	Capacidade de campo	Seca
0	1,858	1,858	1,858
12 horas	3,703	3,354	2,779
24 horas	3,209	2,543	2,738
1 semana	3,165	2,571	2,885
2 semanas	-----	4,531	5,148
3 semanas	-----	72,983	74,417
4 semanas	-----	295,616	-----

Novamente, tanto nas plantas irrigadas regularmente como nas plantas que sofreram estresse hídrico até a terceira semana, os resultados observados tiveram o mesmo comportamento nas folhas, indicando que este fato pode ser realmente um indicio de que pode ter havido certa adaptação da atividade da enzima após determinado período de deficiência hídrica. Esses dados estão de acordo com aqueles obtidos por Ferreira et al. (2002), que estudou o metabolismo do nitrogênio associado à deficiência hídrica e sua recuperação em genótipos de milho, demonstrando que a atividade da enzima redutase do nitrato em milho não diferiu entre o tratamento de stress hídrico e o controle.

Esses resultados evidenciam que, de forma geral, o nitrato absorvido pelas raízes pode ser assimilado nesses órgãos ou nos órgãos aéreos, dependendo da sua disponibilidade e da espécie vegetal, e que no caso da gabirola a assimilação é preponderantemente foliar. A assimilação do nitrogênio é considerada um processo dispendioso energeticamente às plantas, razão porque ocorre predominantemente nas folhas, centro de síntese de ATP e agentes redutores já que esse processo de incorporação do nitrogênio compete com a fotossíntese por massa e energia, consumindo 12 ATPs para cada nitrogênio assimilado pela planta (Blomm et al., 1992).

O comportamento enzimático da redutase do nitrato em relação ao déficit hídrico se manteve também quando comparamos as atividades de raízes e limbo foliar, pois em ambos foi notado um aumento progressivo com pequenas variações durante o período até a segunda semana, quando foi observado um aumento de 14,47 vezes na atividade enzimática radicular. No entanto logo após esse aumento na terceira semana do tratamento as plantas morreram.

Esses resultados corroboram em parte com os apresentados por Sinha & Nicholas (1981), onde foi observado que o estresse hídrico provoca reduções drásticas na atividade de redutase de nitrato já a partir de pequenos decréscimos no potencial da água.

Finalizando, no tratamento em condições de hipóxia, onde as plantas ficaram com as raízes submersas durante todo o período, a atividade enzimática radicular ao contrário da atividade enzimática foliar não sofreu variações em decorrência da diminuição da disponibilidade de  $\text{O}_2$  no meio durante o período de submissão das plantas ao estresse.

Esse fato pode ser explicado devido à ação da hipóxia principalmente nos tecidos radiculares devido à baixa difusão do  $\text{O}_2$  em solos alagados, limitando a produção de ATP pela mitocôndria, e conseqüentemente tornando a biossíntese de ATP pela fosforilação oxidativa desprezível em relação ao ATP gerado pela glicólise e fermentação (Drew, 1997). Com isso o consumo de glicose aumenta significativamente depletando as reservas de carboidratos dos tecidos vegetais e aumentando ainda mais a dependência do sistema radicular pela translocação de assimilados oriundo da parte aérea das plantas.

Esses resultados estão de acordo com os obtidos por Armstrong et al. (1994) que constataram uma menor eficiência na assimilação de nitrogênio em ambiente hipóxico devido ao alagamento das raízes. Outros autores citam ainda que a hipoxia provoca variações na respiração aeróbia (Joly, 1994; Rogge et al., 1998; Matsui & Tsuchiya, 2006) no nível nutricional (Drew, 1991; Medri et al., 2002; Alaoui-Sossé et al., 2005) e na fotossíntese (Liao & Lin, 1996; Olivella et al., 2000; Pryor et al., 2006; Fernandez, 2006), que afeta substancialmente o crescimento e desenvolvimento das diferentes partes da planta



em um ambiente alagado (Medri et al., 1998; Medri et al., 2002; Davanso et al., 2002; Pryor et al., 2006), o que pode explicar a morte das plantas nas primeiras semanas do experimento.

Uma resposta fisiológica particularmente sensível à redução do potencial da água em plantas é a inibição de enzimas que apresentam alta relação síntese:degradação, como a redutase do nitrato.

### Conclusões

As plantas de *Campomanesia* sp. apresentaram atividade da enzima redutase do nitrato em tecidos radiculares e foliares, sendo a atividade da enzima preponderantemente foliar;

As plantas de *Campomanesia* sp. apresentaram maior eficiência em assimilar nitrato em condições de seca do que em condições de alagamento;

### Referências

ALAOUI-SOSSÉ, B.; GÉRARD, B.; TOUSSAINT, M.; BADOT, P. Influence of flooding on growth, nitrogen availability in soil, and nitrate reduction of young oak seedlings (*Quercus robur* L.). **Annals of Forest Science**, v. 62, n. 6, p. 593-600, 2005.

ALMEIDA, S. P.; PROENÇA, E. B.; SANO, S. M.; RIBEIRO, J. F. **Cerrado- espécies vegetais úteis**. Planaltina, DF: EMBRAPA-CPAC, p. 464, 1998.

ARMSTRONG, W.; BRAENDLE, R.; JACKSON, M.B. Mechanisms of flood tolerance in plants. **Acta Botanica Neerlandica**, v. 43, p. 307-358, 1994.

ASLAM, M.; HUFFAKER, R.C.; RAINS, D.W.; RAO, K.P. Influence of light and ambient carbon dioxide concentration on nitrate assimilation by intact barley seedlings. **Plant Physiology**. v. 63, p.1205-1209, 1979.

BARRETO, A.G.T.; COSTA, R.C.L.; CRUZ, F., J.R.; CAMARGO, P.M.P.; LUZ, L.M.. Respostas Bioquímicas e Fisiológicas em plantas de sorgo [*Bicolor Sorghum* (L.) Moench] submetidas ao alagamento. In: VI SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFRA E XII SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL, 2008.

BARTELS, D.; SUNKAR, R. Drought and salt tolerance in plants. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Boca Raton, v. 24, n. 1, p. 23-58, 2005.

BATISTA, C.U.N.; MEDRI, M.E.; BIANCHINI, E.; MEDRI, C.; PIMENTA, J.A. Tolerância à inundação de *Cecropia pachystachya* Trec. (Cecropiaceae): aspectos ecofisiológicos e morfoanatômicos. **Acta Botânica Brasileira**, v.22, n.1, p.91-98, 2008.

BLOOM, A.J.; SUKRAPANNA, S.S.; WARNER, R.L. Root respiration associated with ammonium and nitrate absorption and assimilation by barley. **Plant Physiology**. v. 99, p. 1294 -1301, 1992.

BOTREL, A.; MAGNÉ, C.; KAISER, W.M. Nitrate reduction, nitrite reduction and ammonium assimilation in barley roots in response to anoxia. **Plant Physiology and Biochemistry**. v. 34, n. 5, p. 645-652. 1996.

CARELLI, M.L.C.; FAHL, J.I. Distribuição da assimilação do nitrato e da matéria seca em plantas jovens de café cultivadas em diferentes níveis de nitrogênio. **Bragantia**, Campinas, v.50, p.29-37, 1991.

COSTA, R.C.L. 1999. Assimilação de nitrogênio e ajustamento osmótico em plantas noduladas de feijão-de-corda [*Vigna unguiculata* (L.) (Walp.)] submetidas ao estresse hídrico. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Ceará. 225p

DAVANSO, V.M.; SOUZA, L.A.; MEDRI, M. E.; PIMENTA, J.A.; BIANCHINI, E. Photosynthesis, growth and development of *Tabebuia avellanadae* Lor. Ex Griseb. (Bignoniaceae) in flooded soil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**. v. 45, p. 375-384, 2002.

DREW, M.C. Oxygen deficiency and root metabolism: injury and acclimatation under hypoxia and anoxia. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 48, p. 223-250, June. 1997.

DREW, M.C. Oxygen deficiency in the root environment and plant mineral nutrition. p. 303-316. In: M.B. Jackson, D.D. Lambers (eds.).



**Plant life under deprivation.** Netherlands, SPB Academic Publishing, The Hague. 1991.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives.** Sunderland: Sinauer Associates, 2005. 400p.

FERNANDEZ, M.D. Changes in photosynthesis and fluorescence in response to flooding in emerged and submerged leaves of *Pouteria orinocoensis*. **Photosynthetica.** Heidelberg, v. 44, n. 1º, p. 32-38, 2006.

FERRARI, T.E.; VARNER, J.E. Intact tissue assay for nitrite reductase in barley aleurone layer. **Plant Physiology.** v. 47, p. 790-794, 1971.

FERREIRA, M. B. Frutos comestíveis nativos do D.F.: gabiobas, pitangas e araçás. **Cerrado,** Brasília, v. 4, n. 18, p. 11-16, 1972.

FERREIRA, V.M.; MAGALHÃES, P.C.; DURÃO, F.O.M.; OLIVEIRA, L.E.M.; PURCIN, A.A.C. Metabolismo do nitrogênio associado à deficiência hídrica e sua recuperação em genótipos de milho. **Ciência Rural,** Santa Maria, v.32, n.1, p.13-17, 2002.

FREITAS, J.M.N.; CARVALHO, K.S.; LOBATO, A.K.S.; CASTRO, D.S.C.; MAIA, P.S.P.; NETO, C.F.O.; COSTA, R.C.L.C. Atividade da Redutase do Nitrato, Conteúdo relativo de Água e teores de Clorofilas Solúveis totais em Folhas de Açaizeiro (*Euterpe edulis* Mart.) Submetidas ao Déficit Hídrico e ao Alagamento. *Revista Brasileira de Biociências,* Porto Alegre, v.5, supl. 2, p.924-926, jul. 2007.

GLAAB, J.; KAISER, W.M. Rapid modulation of nitrate reduction in pea roots. **Planta.** v.191, n.2, p.173-179, 1993.

HAGEMAN, R.H.; REED, A.J. Nitrate reductase from higher plants San Diego: Academic Press, *Methods in Enzymology,* v.69, p. 270-280, 1980.

JOLY, C.A. Flooding tolerance: a re-interpretation of Crawford's metabolic theory. **Proceedings of the Royal Society of Edinburgh** **102B:** 343-354. 1994.

KLEPPER, L., FLESHER, D. E., HAGEMAN, E. H. Generation of reduced nicotinamide adenine

dinucleotide for nitrate reduction in green leaves. **Plant Physiology,** v.48, p.580-90, 1971.

LEE, R.B. Inorganic nitrogen metabolism in barley root under poorly aerated conditions. **Journal of Experimental Botany.** v.29, n.3, p.693-708, 1978.

LEE, R.B. The release of nitrite from barley roots in response to metabolic inhibitors, uncoupling agents, and anoxia. **Journal of Experimental Botany.** v. 30, n. 1, p. 119-133, 1979.

LEGRAND, C.D.; KLEIN, R.M. **Flora ilustrada catarinense - Mirtáceas.** CNPq, IBDF, Herbário Barbosa Rodrigues, Itajaí-SC, Brasil. p.219-330. 1977.

LIAO, C.T.; LIN, C.H. Photosynthetic responses of grafted bitter melon seedlings to flood stress. **Environmental and Experimental Botany.** v. 36, p. 167-172, 1996.

LILLO, C.; LEA, U.S.; LEYDECKER, M.T.; MEYER, C. Mutation of the regulatory phosphorylation site of tobacco nitrate reductase results in constitutive activation of the enzyme in vivo and nitrite accumulation. **The Plant Journal,** v. 35, p. 566-573, 2003.

MARIN, A.; SANTOS, D.M.M.; DOS; BANZATTO, D.A.; CODOGNOTTO, L.M. Influência da disponibilidade hídrica e da acidez do solo no teor de prolina livre de guandu. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** v. 41, n. 2, p. 355-358. 2006.

MATSUI, T.; TSUCHIYA, T. Root aerobic respiration and growth characteristics of three *Typha* species in response to hypoxia. **Ecological Research.** v.21, p. 470-475, 2006.

MEDRI, M. E.; BIANCHINI, E.; PIMENTA, J. A.; COLLI, S.; MULLER, C. Estudos sobre a tolerância ao alagamento em espécies arbóreas nativas da bacia do rio Tibagi. p. 133-172. In: M.E. Medri; E. Bianchini; O.A. Shibatta ;J.A. Pimenta (eds.). **A Bacia do Rio Tibagi.** Londrina, edição dos Editores. 2002.

MEDRI, M.E.; BIANCHINI, E.; PIMENTA, J.A.; DELGADO, M.T.; CORREA, G.T. Aspectos morfo-anatômicos e fisiológicos de *Peltophorum*



*dubium* (Spr.) Taub. Submetida ao alagamento e aplicação de ethrel. **Revista Brasileira de Botânica**. v. 21, p. 261-267. 1998.

MEGURO, N.E., MAGALHÃES, A.C. Atividade da redutase de nitrato em cultivares de café. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.17, p.1725-31, 1982.

OLIVELLA, C.; BIEL, C.; VENDRELL, M.; SAVE, R. Hormonal and physiological responses of *Gerbera jamesonii* to flooding stress. **Hort Science** v. 35, p 222-225, 2000.

PRYOR, R.J.; DAVISON, N.J.; CLOSE, D.C. Waterlogging duration; Interspecific comparison of *Leptospermum scoparium* (Forst et Forst.f.), *Acacia melanoxylon* (R. Br.), *Nothofagus cunninghamii* (Hook.) and *Eucalyptus abliqua* (L'Herit). **Austral Ecology**. v.31, p 408-416, 2006.

ROOGE, G.D.; PIMENTA, J.A.; BIANCHINI, E.; MEDRI, M.E.; COLLI, S.; ALVES, L.M.T. Metabolismo respiratório de raízes de espécies arbóreas tropicais submetidas à inundação. **Revista Brasileira de Botânica**, v.21, p. 153-158. 1998.

SAEG: Sistema para análises estatísticas. Versão 9.1. Viçosa: UFV, 2007.

SHARNER, D.L.; BOYER, J.S. Nitrate reductase activity in maize (*Zea mays L.*) leaves. I. Regulation by nitrate flux. **Plant Physiology**. v.58, p. 499-504, 1976.

SILVA, D.B.; SILVA, J.A.; JUNQUEIRA, N. T. V.; ANDRADE, L. R. M. **Frutas do Cerrado**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 178, 2001.

SILVEIRA, J.A.G.; ROCHA, I.M.A.; VIÉGAS, R.A. **Metabolic responses of cowpea and cashew plants exposed to salt and water stress: new aspects on proline accumulation**. 2002. Disponível em: <sbq.iq.usp.br/arquivos/regional/2002/cdresumo/Palestras/016.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2007.

SINHA, S.K.; NICHOLAS, D.J.D. Nitrate Reductase. In: PALEG, L.G.; ASPINALL, D. (Ed.) **The physiology and biochemistry of**

**drought resistance in plants**. New York: Academic Press. p.145-168. 1981.

SODEK, L. Metabolismo do nitrogênio. In: KERBAUY, G. B (Ed.). **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 2004. p. 94-113.

SOUSA, C.A.F.; SODEK, L. The metabolic response of plants to oxygen deficiency. **Brazilian Journal of Plant Physiology**. v.14, n.2, p. 83-94. 2002.

SOUSA, C.A.F.; SODEK, L. Alanine metabolism and alanine aminotransferase activity in soybean (*Glycine max*) during hypoxia of the root system and subsequent return to normoxia. **Environmental and Experimental Botany**. v. 50, p. 1-8, August, 2003.

SOUSA, C.A.F., **Metabolismo de nitrogênio em plantas de soja [Glycine Max(L.) Merr. Cv. IAC-17] submetidas à deficiência de O<sub>2</sub> no sistema radicular**. 2001. 102 p. Tese (Doutorado), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil.

SOUZA, V.C.; LORENZI, H. Botânica sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de angiospermas da flora brasileira, baseado em APG II. **Instituto Plantarum**, Nova Odessa, Brasil, p. 640. 2005.

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

THOMAS, A.L. **Modificações morfológicas e assimilação de nitrogênio em plantas de soja (Glycine Max) com sistemas radiculares sob deficiência de O<sub>2</sub>**. 2004. 76 p. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil.

VALLILO, M.I.; LAMARDO, L.C.A.; GABERLOTTI, M.L.; OLIVEIRA, E.; MORENO, P.R.H. Composição química dos frutos de *Campomanesia adamantium* (Cambessédes) O.Berg **Ciência Tecnologia Alimentos**. Campinas, v. 26, n. 4, p. 805-810, 2006.

WIENDENROTH, E.M. Responses of roots to hypoxia: their structural and energy relations with



*Revista Agrarian*  
ISSN: 1984-2538

the whole plant. **Environmental and  
Experimental Botany**, v. 33, p. 41-51, 1993.