

- latossolo roxo.** Planaltina: Embrapa Cerrados, 1999. 25p. (Embrapa Cerrados. Boletim de Pesquisa, 4).
- SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do cerrado. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA. 2003. **Anais...** POTAFOS/ANDA. São Pedro, SP. 2003. (CD-ROM).
- SOUSA, D. M. G. de; VOLKWEISS, S. J. Reação do superfosfato triplo em grânulos com solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 11:133-140, 1987.
- SOUSA, D. M. G. de; VILELA, L.; REIN, T. A.; LOBATO, E. Eficiência da adubação fosfatada em dois sistemas de cultivo em um latossolo de cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Informação, globalização, uso do solo: anais.** Rio de Janeiro: SBCS, 1997. p. 57-60.
- SOUSA, D. M. G. de; VILELA, L.; LOBATO, E.; SOARES, W. V. **Uso de gesso, calcário e adubos para pastagens no cerrado.** Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. 22p. (Embrapa Cerrados, Circular Técnica, 12).
- SOUSA, D. M. G. de; REIN, T. A.; LOBATO, E.; SOARES, W. Eficiência agrônômica de fosfatos naturais reativos na região do cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., Brasília, 1999. **Anais...** Planaltina: Embrapa Cerrados, 1999. CD-ROM.
- VILELA, L.; SOARES, W. V.; SOUSA, D. M. G. de; MACEDO, M. C. M. **Calagem e adubação para pastagens na região do cerrado.** Planaltina: Embrapa Cerrados, 2000. 15 p. (Embrapa Cerrados. Circular Técnica, 37).
- VILELA, L., SOARES, W. V., SOUSA, D. M. G., MACEDO, M. C. M. Calagem e adubação para pastagens. In: SOUSA, D.M.G., LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação.** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2002. p.257-282.
- WINKS, L. Phosphorus and beef production in Northern Australia. 2. Response to phosphorus by ruminantes: a review. **Tropical Grasslands**, v.24, p. 140-158, 1990.
- WINTER, W. H.; COATES, D. B.; HENDRICKSEN, R. E.; KERRIDGE, P. C.; MCLEAN, R. W.; MILLER, C. P. Phosphorus and beef production in Northern Australia. 4. The response of cattle to fertilizer and supplementary phosphorus. **Tropical Grasslands**, v.24, p.170-184, 1990.
- YOST, R. S.; NADERMAN, G. C.; KAMPRATH, E. J.; LOBATO, E. Availability of rock phosphate as measured by an acid tolerant pasture grass and extractable phosphorus. **Agronomy Journal**, Madison, v. 74, n. 3, p. 462-468, 1982.
- ZIMMER, A. H.; EUCLIDES FILHO, K. As pastagens e a pecuária de corte brasileira. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUÇÃO ANIMAL EM PASTEJO, 1997. Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 1997. p. 349-379.

## ASPECTOS FISIOLÓGICOS E METABÓLICOS DA NUTRIÇÃO NITROGENADA DE PLANTAS FORRAGEIRAS

Patricia Menezes Santos<sup>1</sup>

### 1. Introdução

O nitrogênio é necessário à síntese de ácidos nucléicos, proteínas, hormônios, clorofila e vários outros compostos essenciais ao desenvolvimento das plantas. Sua presença na composição do tecido vivo é pequena quando comparada à presença do carbono, do hidrogênio e do oxigênio, contudo, enquanto estes três elementos podem ser facilmente adquiridos a partir de suas reservas naturais, o nitrogênio se mantém "preso" na atmosfera (apenas uma pequena fração deste nutriente se encontra em forma prontamente absorvível por plantas e animais).

Dos nutrientes considerados essenciais ao desenvolvimento das plantas, o nitrogênio é o que promove os maiores aumentos de produção de matéria seca. A resposta das plantas forrageiras à adubação com nitrogênio é bastante variada. Além disso, o uso indiscriminado de fertilizantes nitrogenados eleva o custo de produção e pode causar danos ao ambiente (acidificação do solo, liberação de gases do efeito estufa, eutroficação de lagoas e açudes) e à saúde humana (contaminação de mananciais hídricos por nitrato).

O conhecimento de aspectos metabólicos e fisiológicos das plantas pode contribuir para um melhor entendimento do papel do nitrogênio como modulador, regulador e potencializador do crescimento e, conseqüentemente, do seu efeito sobre a produção e a qualidade da forragem.

<sup>1</sup> Embrapa Pecuária Sudeste

## 2. Absorção, assimilação e mobilização de nitrogênio nas plantas

As plantas, de modo geral, absorvem o nitrogênio pelo sistema radicular a partir da solução do solo. O nitrogênio pode ser absorvido nas formas de íons inorgânicos (nitrato e amônio) (Marschner, 1995) ou na forma orgânica (uréia e aminoácidos) (Majerowicz, 1997; Persson & Näsholm, 2003).

A entrada de íons nas raízes pode ocorrer pelo simplasto (interior das células) ou pelo apoplasto (espaço intercelular). Ao atingir a endoderme, no entanto, estes são obrigados a entrar nas células devido à presença das "estrias de Caspary" (camada de suberina depositada na parede das células).

O carregamento do nitrato para o interior das células radiculares dá-se por transporte ativo (Taiz & Zeiger, 2002). Uma vez no citoplasma, o nitrato será assimilado (incorporado a substâncias orgânicas) ou armazenado no interior do vacúolo de células do próprio sistema radicular ou de outros órgãos da planta (Taiz & Zeiger, 2002; Layzell, 1990). Os mecanismos de controle da absorção de nitrogênio parecem envolver aminoácidos, ácidos orgânicos e açúcares simples como sacarose e glucose (Jeuffroy et al., 2002).

As plantas são capazes de armazenar elevados níveis de nitrato ou transportá-lo de um órgão para outro, sem que isto lhes provoque nenhum dano. Altos níveis de amônio, por outro lado, provocam danos à membrana celular e são tóxicos (Taiz & Zeiger, 2002). Por este motivo, todo amônio absorvido ou gerado é rapidamente assimilado ou armazenado no vacúolo das células.

A assimilação de nitrogênio é bastante complexa e envolve várias reações bioquímicas de elevado custo energético. O primeiro passo para a assimilação do nitrato é sua redução para nitrito (Oaks, 1994). Essa reação é catalisada pela enzima redutase do nitrato, formada pela associação de duas subunidades idênticas de três grupos prostéticos (FAD, heme e um co-fator de molibdênio) (Taiz & Zeiger, 2002). A redução do nitrato pode ocorrer nas folhas, raízes ou em ambas. Em muitas plantas, quando a quantidade de nitrato disponível é pequena, este é praticamente todo reduzido no sistema radicular; à medida que a disponibilidade de nitrato aumenta, uma maior proporção do mesmo é transportada e assimilada na parte aérea (Marschner, 1995).

Scheurwater et al. (2002) não encontraram correlação entre o ritmo de crescimento de diferentes gramíneas e o local de redução do nitrato, sendo a parte aérea o local predominante desta reação. Segundo Nambiar (1988), em espécies tropicais e subtropicais, esta reação ocorre principalmente na parte aérea.

A atividade da redutase do nitrato é controlada, em nível de transcrição e transdução, pela disponibilidade de nitrato e carboidratos e pela luz (Sivasankar & Oaks, 1996). Além disso, há um mecanismo de controle mais rápido, que depende de reações de fosforilação e desfosforilação (Taiz & Zeiger, 2002). Este mecanismo permite que a redutase do nitrato seja ativada na presença de luz, de elevados níveis de carboidratos e outros fatores ambientais e desativada quando no escuro e na presença de  $Mg^{+2}$  (Kaiser et al., 1999).

O nitrito formado a partir da redução do nitrato é transportado para os cloroplastos (células das folhas) ou para os plastídios (células radiculares), onde é convertido em amônio (Taiz & Zeiger, 2002). Esta reação é catalisada pela enzima nitrito redutase. A transcrição desta enzima é estimulada pela presença de  $NO_3^-$  e luz e inibida pela presença de asparagina e glutamina (produtos finais do processo de assimilação do nitrogênio) (Taiz & Zeiger, 2002).

O amônio é convertido em aminoácidos por meio de uma série de reações que envolvem as enzimas glutamina sintetase e glutamato sintase (GS/GOGAT). A primeira reação, mediada pela glutamina sintetase, combina o íon amônio com o glutamato para formar glutamina. Em seguida, a glutamato sintase catalisa a reação em que a glutamina é transformada em glutamato.

Após a assimilação como glutamina ou glutamato, o nitrogênio é incorporado a outros aminoácidos por meio de reações de transaminação.

A síntese de asparagina a partir de glutamina é mediada pela enzima asparagina sintetase. Estas duas amidas (asparagina e glutamina) representam um elo de ligação entre o metabolismo do carbono e do nitrogênio (Taiz & Zeiger, 2002).

Além do nitrogênio proveniente de absorção radicular, as plantas podem utilizar nitrogênio endógeno para seu desenvolvimento. Segundo Lemaire & Millard (1999), o armazenamento ocorre quando o C ou N podem ser remobilizados de um tecido e depois utilizados

para o crescimento ou manutenção de outro. Os autores destacam ainda a existência de dois tipos de armazenamento: reciclagem e formação de reservas. A reciclagem é uma conseqüência da renovação de tecidos na planta (ex.: reciclagem de proteínas durante a senescência foliar) e normalmente envolve um "estoque" metabolicamente ativo. Já a formação de reservas envolve a deposição de N ou C em organelas como vacúolos ou amiloplastos.

A reutilização de nitrogênio protéico depende da ação de proteases, enzimas que quebram a proteína em aminoácidos; estes, por sua vez, são mobilizados e utilizados na síntese de novos compostos em outras partes da planta.

A síntese de proteínas se inicia no núcleo celular, com a transcrição da informação contida no DNA em uma molécula de RNA mensageiro (mRNA). Essa informação é, posteriormente, traduzida com o auxílio do RNA de transferência (tRNA), de modo a "organizar" a seqüência de aminoácidos da proteína a ser sintetizada.

### 3. Aplicação de estudos sobre o metabolismo de nitrogênio

#### 3.1. Produção de forragem

O efeito do nitrogênio sobre a produção de forragem já é bastante conhecido. Uma revisão feita por Balsalobre et al. (2002), no entanto, mostra que a resposta das plantas forrageiras à adubação nitrogenada é bastante variada (5 a 89,2 kg MS/kg N). Essa variação está ligada a fatores tanto da planta quanto do ambiente e dificulta o planejamento de práticas de manejo e adubação.

Em plantas de *Panicum maximum* cv. Tanzânia sob crescimento livre, a absorção radicular é a principal fonte de nitrogênio para os órgãos em crescimento (Tabela 1) (Santos et al., 2002).

**Tabela 1.** Diferença no conteúdo total de nitrogênio (mg/planta) e porcentagem proveniente de absorção ou remobilização de reservas nos principais drenos do capim Tanzânia.

Parte da planta	$\Delta$ N total (mg/planta)	Absorção (%)	Remobilização (%)
Perfilhos novos	10,2101	83,2	16,8
Raiz	5,9368	99,9	0,1
Folha em expansão (8-13)	11,8116	88,4	11,6

Fonte: Santos et al. (2002).

O total de nitrogênio absorvido depende da disponibilidade de nitrogênio no solo e do crescimento e atividade do sistema radicular. Em condições de baixa disponibilidade de nitrogênio, a absorção depende, principalmente, da disponibilidade e distribuição do nitrogênio no solo e da distribuição do sistema radicular; já em condições de alta disponibilidade, a absorção depende da taxa de crescimento regulada internamente pela planta (Gastal & Lemaire, 2002).

Como a presença das "estrias de Caspary" força a entrada dos íons nas células (ver item "Absorção, assimilação e mobilização de nitrogênio nas plantas"), a atividade do sistema radicular está, em grande parte, ligada aos mecanismos de transporte através da membrana celular.

A capacidade de absorver rapidamente nutrientes da solução do solo torna as plantas mais competitivas. Em condições de elevada disponibilidade de nitrogênio, a absorção de amônio e nitrato pode exceder a capacidade de assimilação da planta e determinar um acúmulo de nitrogênio inorgânico que será metabolizado posteriormente (Taiz & Zeiger, 2002). Este mecanismo pode ser extremamente importante em ambientes tropicais e/ou em áreas adubadas, onde é comum a ocorrência de picos de nitrato no solo (Primavesi et al., 2001). A presença das "estrias de Caspary", por outro lado, permite que a planta absorva e concentre nutrientes em suas células, mesmo quando sua disponibilidade no solo é baixa.

O efeito do nitrogênio sobre acúmulo de massa depende de fatores como: relação entre taxa fotossintética e concentração de nitrogênio; distribuição do nitrogênio entre as folhas; e expansão e disposição das folhas no dossel e seu impacto sobre a interceptação luminosa (Gastal & Lemaire, 2002).

Dreccer et al. (2000) observaram que, em condições de saturação luminosa, a taxa fotossintética do trigo apresenta correlação com o conteúdo de nitrogênio por unidade de área foliar. Uma das razões para esta correlação é o fato de o nitrogênio fazer parte da composição de diversas moléculas envolvidas no processo fotossintético (ex: RUBISCO, PEP carboxilase). Além disso, diversos trabalhos têm demonstrado que a distribuição do nitrogênio nas folhas é muito próxima do ótimo teórico que maximiza a capacidade fotossintética do dossel (Hirose & Werger, 1987; Dreccer et al., 2000). A redistribuição

do nitrogênio no dossel parece ser mais importante quanto mais adensada é a comunidade de plantas (Hirose & Werger, 1987).

O nitrogênio irá influenciar, também, a alocação de carboidratos e o desenvolvimento da área foliar. O carbono fixado através da fotossíntese pode ser utilizado na respiração, perdido por lixiviação ou distribuído entre o sistema radicular, parte vegetativa e parte reprodutiva. A partição desses carboidratos depende de uma série de fatores genéticos, fisiológicos e do meio. Em alguns casos esses fatores podem ser manipulados de modo a aumentar a produtividade da cultura em questão.

Vários modelos têm sido desenvolvidos com o intuito de explicar a partição de carboidratos entre a parte aérea e a raiz nas plantas. O efeito da disponibilidade de nutrientes minerais sobre a partição de carboidratos depende do mineral que se encontra em níveis limitantes. Alguns trabalhos mostram que a baixa disponibilidade de N, P e S favorece o crescimento do sistema radicular, enquanto níveis deficientes de K, Mg e Mn determinam o efeito contrário; Ca, Fe e Zn praticamente não apresentam efeito sobre a partição de carboidratos (Ericsson, 1995; McDonald et al., 1996).

Ericsson (1995) concluiu que os efeitos dos níveis de nutrientes minerais sobre a partição de carboidratos na planta podem ser explicados pelo balanço interno entre N e C no sistema radicular e na parte aérea, como descrito no modelo de Thornley (modelo baseado na assimilação e transporte de carbono e nitrogênio que tem sido utilizado para explicar a resposta das plantas a fatores como deficiência hídrica e mineral, luminosidade, nível de CO<sub>2</sub>, desfolha e redução do sistema radicular). Marschner et al. (1996), no entanto, afirmam que a ciclagem interna de nutrientes na planta altera os padrões de resposta previstos pelo modelo de Thornley.

Pearse & Wilman (1984), em um estudo com azevém, mostraram que o uso de N aumentou o número de folhas emergentes, o número de folhas vivas expandidas por perfilho, a taxa de expansão foliar, o peso das lâminas foliares em expansão e o ganho líquido por perfilho por dia em termos de comprimento e peso das lâminas foliares (Tabela 2). O efeito do nitrogênio sobre estas variáveis morfogênicas e, também, sobre o perfilhamento, determina o aumento da área foliar e, conseqüentemente, do potencial fotossintético do dossel.

Como pode ser visto, o efeito do nitrogênio sobre o desenvolvimento das plantas envolve uma série de mecanismos, sendo que a

**Tabela 2.** Efeitos da aplicação de N, médias de quatro intervalos entre cortes e dois períodos de verão.

	kg N/ha.6 semanas			Erro padrão
	0	66	132	
Folhas vivas emergidas/perfilho	2.58	2.99	3.05	0.020
Taxa de expansão (mm/perf.dia)	4.2	8.3	12.1	0.33
Taxa de senescência (mm/perf.dia)	2.6	3.3	3.8	0.18
Ganho líquido em lâmina foliar (mm/perf.dia)	1.6	5.0	8.3	0.35

Fonte: Pearse & Wilman (1984).

interação entre o metabolismo do carbono e do nitrogênio desempenha um papel fundamental nesse processo. Devido à sua complexidade, o uso de modelagem pode auxiliar no entendimento desses mecanismos. A maioria dos modelos de simulação disponíveis considera o efeito do nitrogênio sobre a produção da cultura por meio de relações empíricas (Jeuffroy et al., 2002). O conhecimento e a incorporação de informações sobre o metabolismo e fisiologia das plantas com relação à nutrição nitrogenada permitirá o desenvolvimento de modelos mais acurados que poderão, inclusive, ser utilizados como ferramenta de manejo nas propriedades agrícolas. Essas informações poderão contribuir, também, para um melhor direcionamento dos programas de melhoramento de plantas forrageiras.

### 3.2. Rebrotas e persistência de plantas forrageiras

A importância das reservas orgânicas para a rebrota de plantas forrageiras é reconhecida desde o início do século XX (Davies, 1965). A partir de então, vários estudos foram desenvolvidos procurando-se usar informações sobre a reserva de carboidratos para a determinação do manejo de pastagens (Fulkerson & Slack, 1994).

Estudos recentes envolvendo isótopos estáveis, no entanto, têm demonstrado que a reserva de nitrogênio desempenha um papel tão ou mais importante quanto a de carboidratos na rebrota inicial das plantas forrageiras. Ourry et al. (1994) encontraram, em alfafa (*Medicago sativa* L.), correlação do nível de nitrogênio disponível nas raízes e coroas no início da rebrota com: a quantidade de N mobilizada para tecidos novos; a quantidade de N absorvida durante a rebrota; e a massa seca da parte aérea após 24 dias de rebrota. Nenhuma correlação desse tipo foi observada nas plantas com diferentes níveis iniciais de carboidratos nas raízes e coroas. Avice et al. (1996), também

trabalhando com alfafa, observaram que um total de 73% do carbono e 34% do nitrogênio encontrado em órgãos de reserva foram mobilizados nos primeiros trinta dias de rebrota, sendo que, enquanto todo o nitrogênio foi recuperado nos tecidos em crescimento, a maior parte do carbono foi perdida através de respiração (61% perdida pela respiração do sistema radicular; 8% pela respiração da parte aérea; e 5% recuperada nos tecidos novos). A porcentagem de nitrogênio proveniente de reserva na parte aérea foi de 87, 66 e 52% após três, dez e trinta dias de rebrota, respectivamente. A análise isotópica das diferentes frações químicas do tecido vegetal mostrou que entre 14 e 58% do carbono da parte aérea proveniente de órgãos de reserva estavam ligados à mobilização de compostos nitrogenados e não de carboidratos.

Schnyder & Visser (1999) observaram que, em plantas de azevém submetidas à desfolha, a rebrota estava associada a: redução no nível de carboidratos solúveis e diluição da biomassa estrutural nas áreas imaturas de folhas em expansão; rápida transição para o crescimento dependente de assimilação corrente; rápido restabelecimento do balanço entre C:N. Segundo os autores, as reservas nitrogenadas foram a fonte predominante de N nos três primeiros dias de rebrota e 60% do fluxo líquido de reservas de carbono foram constituídos de amino-C. Nesse experimento, a reserva de carboidratos foi uma fonte insignificante de C para o crescimento dos perfilhos após o primeiro dia de rebrota.

O uso de reservas nitrogenadas nas plantas forrageiras depende de fatores ligados à espécie, ao ambiente e ao manejo. Olf (1992), tentando correlacionar o padrão de partição de nitrogênio e matéria seca à capacidade competitiva das espécies, observou que a variabilidade é maior dentro da mesma espécie que entre espécies e concluiu que as diferenças em termos de partição de nutrientes entre espécies são pouco importantes diante da plasticidade das plantas.

Outros estudos, no entanto, mostram diferenças claras entre espécies. Thornton et al. (1993; 1994), comparando quatro espécies forrageiras (*Lolium perenne*, *Poa trivialis* L., *Agrostis castellana* Boiss. & Reut. e *Festuca rubra*), observaram que todas utilizavam nitrogênio proveniente de reserva e de absorção radicular para a rebrota, sendo que a contribuição relativa de cada fonte dependia da espécie. Segundo os autores, os resultados sugerem que a importância relativa

da mobilização de N para cada espécie esteja ligada à sua posição na ordem de sucessão em ambientes naturais.

Alguns experimentos indicam ainda uma interação entre a espécie e fatores ambientais como o fornecimento de nutrientes. Erley et al. (2000) observaram que o nível de fornecimento de N interferia no padrão de mobilização do nitrogênio de formas diferentes em festuca e azevém. Enquanto o azevém cessou a mobilização de N para perfilhos novos, favorecendo o sistema radicular quando o suprimento de N foi reduzido, a festuca continuou enviando a maior parte do N mobilizado para os perfilhos novos.

Kim et al. (1991) observaram que a desfolha alterava o padrão de mobilização de nitrogênio em alfafa. Nas plantas intactas a haste e a raiz principal foram os principais drenos, enquanto nas plantas submetidas à desfolha a maior parte das reservas nitrogenadas foi direcionada para a rebrota da parte aérea.

O efeito da desfolha sobre a mobilização de nitrogênio vai depender de sua frequência. Thornton & Millard (1997) observaram que, tanto em azevém quanto em festuca, a frequência entre desfolhas teve pouco efeito sobre a quantidade de nitrogênio proveniente de absorção radicular utilizada para o crescimento de folhas novas. No entanto, desfolhas mais frequentes levaram à redução da capacidade de mobilização e, conseqüentemente, a uma menor taxa de crescimento das folhas novas.

As reservas nitrogenadas podem ser utilizadas em diversas situações, como para superar períodos curtos de deficiência de nitrogênio (Vouillot & Devienne-Barret, 1999) e para garantir a rebrota após períodos de dormência e/ou inverno rigoroso (Thornton & Bausenwein, 2000; Bausenwein et al., 2001a; Bausenwein et al., 2001b) e após a desfolha (Ourry et al., 1994; Avice et al., 1996; Schnyder & Visser, 1999). Além disso, Aldana & Berendse (1997) sugerem que a capacidade de armazenar, mobilizar e reutilizar as reservas nitrogenadas contribui para a adaptação e competitividade das gramíneas às condições de baixa disponibilidade de nitrogênio no solo.

A mobilização de reservas nitrogenadas no capim Tanzânia, cultivar reconhecidamente exigente em fertilidade de solo, foi estudada por Santos et al. (2002). As plantas foram cultivadas em vasos, recebendo, inicialmente, uma solução nutritiva completa. Após o período

inicial, metade dos vasos passou a receber uma solução sem nitrogênio (as demais continuaram recebendo os níveis iniciais de nitrogênio). Neste estudo, foi observado que as folhas novas eram o principal dreno por nitrogênio no capim Tanzânia, mesmo quando o fornecimento deste nutriente era interrompido (Figura 1).

Como o capim Tanzânia é uma planta cespitosa, a "ocupação" (presença de plantas e sombreamento) da superfície do solo depende diretamente do desenvolvimento da parte aérea. Desta forma, a vantagem de se investir a maior parte da reserva no desenvolvimento de folhas parece ser a diminuição da chance de desenvolvimento de plantas novas nas áreas circunvizinhas. Com isso, se reduz a competição pelo fator de crescimento limitante. Esta estratégia, no entanto, coloca a maior parte da reserva da planta em um órgão facilmente coletado por corte ou pastejo.

No trabalho desenvolvido por Santos et al. (2002), foi observado ainda que a absorção radicular representa a principal fonte de nitrogênio para o desenvolvimento do capim Tanzânia (Tabela 1). Pagotto (2001) observou que não houve crescimento de raízes novas de capim Tanzânia até doze dias após o pastejo nas áreas sob intensidade de pastejo média e baixa. Nas áreas sob alta intensidade de pastejo, o crescimento de raízes novas só foi iniciado 21 dias após o pastejo. O autor concluiu que o desenvolvimento do sistema radicular no capim Tanzânia está inversamente relacionado à intensidade de desfolha, sendo que intensidades de pastejo altas retardam o desenvolvimento de raízes novas.

A recuperação mais lenta do sistema radicular, aliada à dependência de absorção radicular de nitrogênio e ao armazenamento de reservas nitrogenadas em órgãos facilmente eliminados durante o pastejo (Santos et al., 2002), parece ser um dos motivos para a baixa sobrevivência do capim Tanzânia quando submetido a pastejos intensos em condições de baixa fertilidade. Esta hipótese, no entanto, ainda precisa ser testada.

### 3.3. Qualidade da forragem

A produção animal está relacionada diretamente com a qualidade da dieta ingerida pelos animais. Alguns aspectos qualitativos da planta forrageira, do ponto de vista animal, podem ser explicados pelo estudo do metabolismo do nitrogênio.

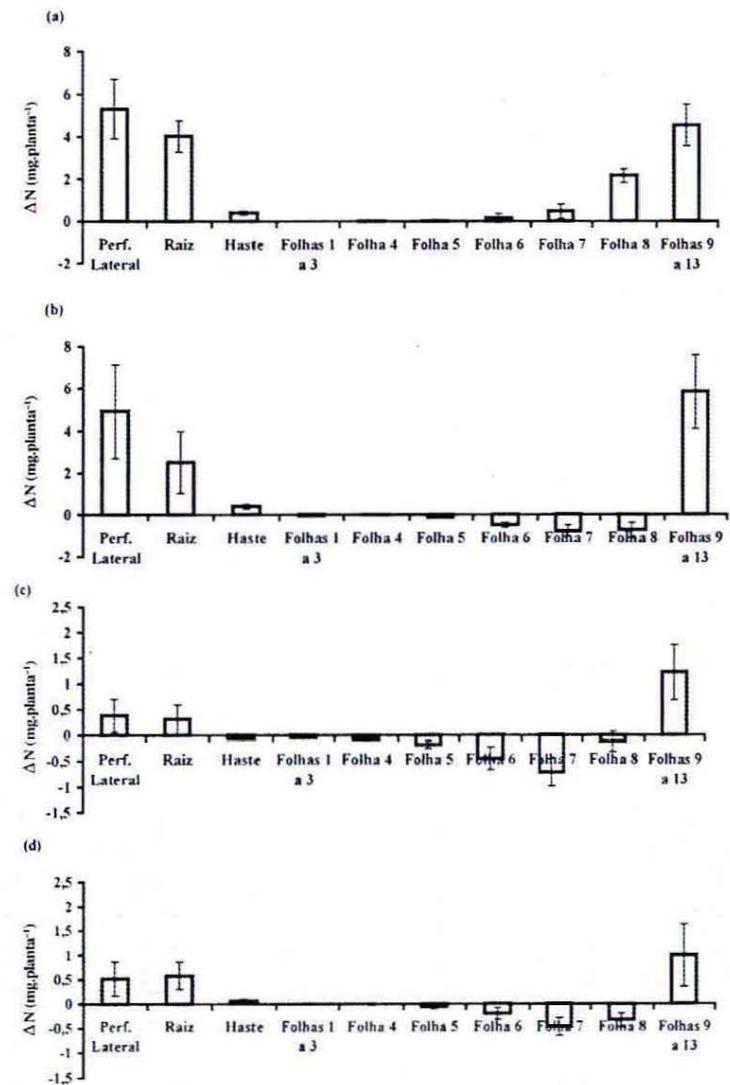


Figura 1. Variação no conteúdo de N total de partes da planta de capim Tanzânia: (a) diferença entre a primeira e a segunda coleta do tratamento +N; (b) diferença entre a segunda e a terceira coleta do tratamento +N; (c) diferença entre a primeira e a segunda coleta do tratamento zero N; (d) diferença entre a segunda e a terceira coleta do tratamento zero N. As barras, quando maiores que os símbolos, representam o erro padrão da diferença. Adaptado de Santos et al. (2002)

Nos vegetais há uma forte interdependência metabólica entre o carbono e o nitrogênio. Condições que elevam a disponibilidade de energia (ex.: altos níveis de luminosidade e carboidratos) estimulam o complexo enzimático GS/GOGAT, favorecendo a síntese de glutamina e glutamato, compostos ricos em carbono e que participam da síntese de outros compostos na planta; por outro lado, quando a disponibilidade de energia é limitada, a asparagina sintetase é estimulada, favorecendo a síntese de asparagina, um composto rico em nitrogênio e suficientemente estável para transportes a longas distâncias e armazenagem por períodos longos (Taiz & Zeiger, 2002). A energia e a estrutura molecular para incorporação do N são supridas pelo metabolismo dos carboidratos, cuja síntese, por sua vez, depende do processo fotossintético. Sob aporte de N reduzido, o carboidrato excedente é estocado na forma de amido e substâncias graxas ou desviado para síntese de lignina (Larcher, 2000). Mudanças no equilíbrio carbono:nitrogênio, portanto, interferem na qualidade da proteína e na digestibilidade da forragem.

O nitrogênio pode se apresentar sob várias formas na planta. Em relação à nutrição dos ruminante, Sniffen et al. (1992) classificaram as formas do nitrogênio em cinco frações:

- Fração A: é o N-não-protéico; essa parte da proteína é solúvel e de alta digestibilidade no rúmen;
- Fração B1: representa uma parte da proteína verdadeira; também é solúvel e tem rápida degradação ruminal;
- Fração B2: parte da proteína que não é solúvel, não faz parte da parede celular e também não é N-não-protéico; apresenta degradação média;
- Fração B3: parte da proteína aderida na FDN (fibra em detergente neutro); está disponível, porém com uma taxa de degradação muito lenta;
- Fração C: é a proteína indisponível, ou seja, é a parte da proteína contida na FDA (fibra em detergente ácido). Está associada com lignina, formando complexos de tanino e produtos da reação de Maillard que são altamente resistentes à degradação microbiana e enzimática.

Do ponto de vista da nutrição mineral das plantas, as formas do nitrogênio podem ser classificadas em: orgânica (aminoácidos, amidas,

peptídeos e as próprias proteínas) e inorgânica (amônio, nitrato ou nitrito). O nitrogênio inorgânico corresponde à fração A, enquanto o nitrogênio orgânico pode fazer parte das frações B1, B2, B3 ou C.

Quando há deficiência de magnésio ocorre aumento do N-não-protéico e redução do nitrogênio protéico, pois este nutriente atua na estabilidade da ligação entre o ribossomo (organela celular que atua na síntese protéica) e uma partícula necessária para que o processo de síntese protéica seja iniciado (SRP) (Sabatini e Adesnik, 1993). Altas concentrações de cálcio e, principalmente, de potássio inibem a absorção de  $Mg^{+2}$ . Na planta a relação de K/Mg varia de 7 a 10, sendo que sintomas de carência magnésiana poderão aparecer se essa relação for da ordem de 15 a 20 (Malavolta et al., 1997). Desta forma, níveis elevados de adubação com potássio também podem interferir, de forma indireta, na qualidade da proteína.

O acúmulo de N-não-protéico na planta pode também ser uma conseqüência da deficiência de molibdênio. A enzima redutase do nitrato, que atua no processo de assimilação do nitrato, é o principal composto das plantas que contém molibdênio. A falta deste nutriente, portanto, determina uma redução na assimilação e, conseqüentemente, acúmulo de nitrato na planta.

Apesar do efeito do metabolismo de nitrogênio sobre a qualidade da forragem, poucos estudos têm sido realizados com este enfoque.

#### 4. Considerações finais

Ao longo desta revisão, foram mostrados alguns exemplos de como informações básicas sobre o metabolismo e a fisiologia das plantas forrageiras podem contribuir para o entendimento dos mecanismos que condicionam a produção e qualidade da forragem em pastagens. Estudos com este enfoque ainda são escassos, principalmente com forrageiras tropicais. Um dos motivos disso é a necessidade de equipes multidisciplinares, que reúnam pesquisadores das áreas animal e vegetal, para planejamento, condução e interpretação dos resultados.

#### 5. Referências bibliográficas

- ALDANA, B. R. V. de; BERENDSE, F. Nitrogen-use-efficiency in six perennial grasses from contrasting habitats. *Functional Ecology*, v. 11, p. 619-626, 1997.

- AVICE, J. C.; OURRY, A.; LEMAIRE, G.; BOUCAUD, J. Nitrogen and carbon flows estimated by  $^{15}\text{N}$  and  $^{13}\text{C}$  pulse-chase labelling during regrowth of alfafa. *Plant Physiology*, v. 112, p. 281-290, 1996.
- BALSALOBRE, M. A. A.; SANTOS, P. M.; MENDONÇA DE BARROS, A.L. Inovações tecnológicas, investimentos financeiros e gestão de sistemas de produção animal em pastagens. In: PEIXOTO, A. M.; DE MOURA, J. C.; PEDREIRA, C. G. S.; DE FARIA, V. P. Simpósio sobre Manejo da Pastagem, 19. Anais. Piracicaba, 2002. p. 1-30.
- BAUSENWEIN, U.; MILLARD, P.; RAVEN, J. A. Remobilized old-leaf nitrogen predominates for spring growth in two temperate grasses. *New Phytologist*, v. 152, p. 283-290, 2001a.
- BAUSENWEIN, U.; MILLARD, P.; THORNTON, B.; RAVEN, J. A. Seasonal nitrogen storage and remobilization in the forb *Rumex acetosa*. *Functional Ecology*, v. 15, p. 370-377, 2001b.
- DAVIES, A. Carbohydrates levels and regrowth in perennial rye-grass. *Journal of Agricultural Science*, v. 65, p. 213-221, 1965.
- DRECCER, M. F.; VAN OIJEN, M.; SCHAPENDONK, A. H. C. M.; POT, C. S.; RABBINGE, R. Dynamics of vertical leaf nitrogen distribution in a vegetative wheat canopy. Impact on canopy photosynthesis. *Annals of Botany*, v. 86, p. 821-831, 2000.
- ERICSON, T. Growth and shoot:root ratio of seedlings in relation to nutrient availability. *Plant and Soil*, v. 168/169, p. 205-214, 1995.
- ERLEY, G. S.; RADEMACHER, J.; KÜHBAUCH, W. Growth response of *Lolium perenne* L. and *Festuca rubra* L. seedlings to differing nitrogen nutrition. In: GENERAL MEETING OF THE EUROPEAN GRASSLAND FEDERATION, 18., Aalborg, 2000. *Proceedings*. Tjele: European Grassland Federation, 2000. p. 397-399.
- FULKERSON, W. J.; SLACK, K. Leaf number as a criterion for determining defoliation time for *Lolium perenne*. 1. Effect of water-soluble carbohydrates and senescence. *Grass and Forage Science*, v. 49, p. 373-377, 1994.
- GASTAL, F.; LEMAIRE, G. N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. *Journal of Experimental Botany*, v. 53, p. 789-799, 2002.
- HIROSE, T.; WERGER, M. J. A. Maximizing daily canopy photosynthesis with respect to the leaf nitrogen allocation pattern in the canopy. *Oecologia*, v. 71, p. 520-526, 1987.
- JEUFFROY, M. H.; NEY, B.; OURRY, A. Integrated physiological and agronomic modelling of N capture and use within the plant. *Journal of Experimental Botany*, v. 53, p. 809-823, 2002.
- KAISER, W. M.; WEINER, H.; HUBER, S. C. Nitrate reductase in higher plants. A case study for transduction of environmental stimuli into control of catalytic activity. *Physiologia Plantarum*, v. 105, p. 385-390, 1999.
- KIM, T. H.; OURRY, A.; BOUCAUD, J.; LEMAIRE, G. Changes in source-sink relationship for nitrogen during regrowth of lucerne (*Medicago sativa* L.) following removal of shoots. *Australian Journal of Plant Physiology*, v. 18, p. 593-602, 1991.
- LARCHER W. *Ecofisiologia vegetal*. São Carlos, 2000, 531p.

- LAYZELL, D. B.  $\text{N}_2$  fixation,  $\text{NO}_3^-$  reduction and  $\text{NH}_4^+$  assimilation. In: DENNIS, D. T.; TURPIN, D. H. (Eds). *Plant physiology, biochemistry and molecular biology*. London. p. 389-406. 1990.
- LEMAIRE, G.; MILLARD, P. An ecophysiological approach to modelling resource fluxes in competing plants. *Journal of Experimental Botany*, v. 50, p. 15-28, 1999.
- MAJEROWICZ, N. Crescimento, assimilação e teores de compostos nitrogenados em plantas de *Catasetum fimbriatum* (Morren) Lindl. (Orchidaceae) cultivadas *in vitro* com diferentes fontes de nitrogênio. São Paulo. 184 p. Dissertação (Doutorado). Universidade de São Paulo. 1997.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; DE OLIVEIRA, S. A. *Avaliação do estado nutricional das plantas - princípios e aplicações*. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, Piracicaba-SP 1997.
- MARSDNER, H. *Mineral nutrition of higher plants*. 2 ed. Academic Press, Londres.
- MARSCHNER, H.; KIRKBY, E. A.; ÇAKMAK, I. Effect of mineral nutritional status on shoot-root partitioning of photoassimilates and cycling of mineral nutrients. *Journal of Experimental Botany*, v. 47, p. 1255-1263, 1996.
- MCDONALD, A. J.; ERICSSON, T.; LARSSON, C. M. Plant nutrition, dry matter gain and partitioning at the whole plant level. *Journal of Experimental Botany*, v. 47, p. 1245-1253, 1996.
- NAMBIAR, P. T. C.; REGO, T. J.; RAO, B. S. Nitrate concentration and nitrate reductase activity in the leaves of three legumes and three cereals. *Annals of Applied Biology*, v. 112, p. 547-553, 1988.
- OAKS, A. Primary nitrogen assimilation in higher plants and its regulation. *Canadian Journal of Botany*, v. 72, p. 739-750, 1994.
- OLFF, H. Effects of light and nutrient availability on dry matter and N allocation in six successional grassland species. *Oecologia*, v. 89, p. 412-421, 1992.
- OURRY, A.; KIM, T. H.; BOUCAUD, J. Nitrogen reserve mobilisation during regrowth of *Medicago sativa* L. *Plant Physiology*, v. 105, p. 831-837, 1994.
- PAGOTTO, D. S. Comportamento do sistema radicular do capim Tanzânia (*Panicum maximum*, Jacq.) sob irrigação e submetido a diferentes intensidades de pastejo. Piracicaba, 2002. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- PEARSE, P. J. & WILMAN, D. Effects of applied nitrogen on grass leaf initiation, development and death in field swards. *Journal of Agricultural Science*, v. 103, p. 405-413, 1984.
- PERSSON, J.; NÅSHOLM, T. Regulation of amino acid uptake by carbon and nitrogen in *Pinus sylvestris*. *Planta*, v. 217, p. 309-315, 2003.
- PRIMAVESI, O.; CORREIA, L. A.; PRIMAVESI, A. C.; CANTARELLA, H.; ARMELIN, M. J. A.; SILVA, A. G. da; FREITAS, A. R. de. Adução com uréia em pastagens de *Cynodon dactylon* cv. Coastcross sob manejo rotacionado: eficiência e perdas. (Embrapa Pecuária Sudeste, Circular Técnica no. 30). 2001.
- SABATINI, D. D.; ADESNIK, M. B. The biogenesis of membranes and organelles. Part II. Interscientia. In: <http://aix1.uottawa.ca/publications/interscientia/inter.2/organel2.html>, 1993.

- SANTOS, P. M.; THORNTON, B.; CORSI, M. Nitrogen dynamics in the intact grasses *Poa trivialis* and *Panicum maximum* receiving contrasting supplies of nitrogen. **Journal of Experimental Botany**, v. 53, p. 1-10, 2002.
- SCHEURWATER, I.; KOREN, M.; LAMBERS, H.; ATKIN, °K. The contribution of roots and shoots to whole plant nitrate reduction in fast- and slow-growing grass species. **Journal of Experimental Botany**, v. 53, p. 1635-1642, 2002.
- SCHNYDER, H.; VISSER, R. Fluxes of reserve-derived and currently assimilated carbon and nitrogen in perennial ryegrass recovering from defoliation. The regrowing tiller and its component functionally distinct zones. **Plant Physiology**, v.119, p. 1423-1435, 1999.
- SVASANKAR, S.; OAKS, A. Nitrogen assimilation in higher plants. The effect of metabolites and light. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 34, p. 609-620, 1996.
- SNIFFEN, C. J.; O'CONNOR, J. D.; VAN SOEST, P. J. et al. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. **Journal of Animal Science**, v. 70, p. 3562-3577, 1992.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology**. 3ed. Sunderland: Sinuauer Associates, 2002. 690p.
- THORNTON, B.; BAUSENWEIN, U. Seasonal protease activity in storage tissue of the deciduous grass *Molinia caerulea*. **New Phytologist**, v. 146, p. 75-81, 2000.
- THORNTON, B.; MILLARD, P. Increased defoliation frequency depletes remobilization of nitrogen for leaf growth in grasses. **Annals of Botany**, v. 80, p. 89-95, 1997.
- THORNTON, B.; MILLARD, P.; DUFF, E. I. Effects of nitrogen supply on the source of nitrogen used for regrowth of laminae after defoliation of four grass species. **New Phytologist**, v. 128, p. 615-620, 1994.
- THORNTON, B.; MILLARD, P.; DUFF, E. I.; BUCKLAND, S. T. The relative contribution of remobilization and root uptake in supplying nitrogen after defoliation for regrowth of laminae in four grass species. **New Phytologist**, v. 124, p. 689-694, 1993.
- VOUILLOT, M.; DEVIENNE-BARRET, F. Accumulation and remobilization of nitrogen in a vegetative winter wheat crop during or following nitrogen deficiency. **Annals of Botany**, v. 83, p. 569-575, 1999.

## MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA EM PASTAGENS

Geraldo Bueno Martha Júnior<sup>1</sup>

Lourival Vilela<sup>1</sup>

Luis Gustavo Barioni<sup>1</sup>

Djalma Martinhão Gomes de Sousa<sup>1</sup>

Alexandre de Oliveira Barcellos<sup>1, 2</sup>

### 1. Introdução

O uso de fertilizantes nitrogenados, em sistemas de produção animal em pastejo, tem o objetivo de aumentar a sustentabilidade do negócio, por meio do aumento na longevidade da pastagem, na rentabilidade do negócio e na flexibilização do manejo da fazenda. Essa maior flexibilidade é obtida, por exemplo, como resultado da menor necessidade de arrendar outras áreas de pasto ou em razão da liberação de áreas na fazenda para outros usos, como o cultivo com lavou- ras de grãos. Entretanto, a importância relativa desses objetivos varia com o perfil de cada sistema de produção.

Em sistemas com baixo nível de manejo/insumo, a reposição de nitrogênio (N) visa, prioritariamente, a garantir a sustentabilidade da comunidade vegetal. A deficiência de N no solo, comum nos sistemas de pecuária extensiva, é explicada pela maior imobilização do N durante a decomposição de resíduos orgânicos no solo, pela redução na taxa de mineralização da matéria orgânica do solo, pela distribuição errática de fezes e de urina na pastagem e pelas elevadas perdas do N da excreta, em especial do N-urina (Myers & Robbins, 1991; Wedin, 1996; Corsi & Martha Júnior, 1997). A deficiência de N determina a redução da produção do pasto e do valor nutritivo da forra-

1. Pesquisadores da Embrapa Cerrados.

2. Doutorando, Curso de Pós-graduação em Zootecnia da FCAV-UNESP, Jaboticabal, SP.