

# Avaliação da libertação de azoto a partir de correctivos orgânicos utilizando membranas de troca aniónica e um medidor de clorofila SPAD-502

## Nitrogen release from organic amendments assessed by using anion exchange membranes and the SPAD-502 chlorophyll meter

A. Pereira<sup>1</sup>, M. A. Rodrigues & M. Arrobas

### RESUMO

Neste trabalho divulgam-se resultados de experiências em vasos em que membranas de troca aniónica (MTA) foram inseridas directamente no solo para monitorar o teor de nitratos ao longo do tempo, e em que o estado nutritivo das plantas foi avaliado através de um medidor de clorofila SPAD-502. Na estação quente foi cultivado milho e no período outono-inverno nabiça e centeio. O milho foi semeado a 5 de Junho de 2004 e a nabiça e o centeio a 23 de Setembro de 2004. As plantas foram sujeitas aos seguintes tratamentos fertilizantes: Nutrisoil (Nut); Beiraadubo (Bei); Phenix (Phe); e Vegetum (Veg), quatro correctivos orgânicos comerciais; estrume de bovino (EB); casca de castanha (CC); nitrato de amónio (NA); e um tratamento sem azoto (T). Os resultados das MTA e os valores SPAD foram relacionados com a matéria seca produzida e o N exportado. Em Junho, na primeira amostragem, a concentração média de nitratos nos extractos das MTA variou entre 18,3 e 239,4 mg L<sup>-1</sup>, nos tratamentos CC e NA. Na primeira semana de Agosto, foram registados valores médios de nitratos no solo de

12,9 a 52,3 mg L<sup>-1</sup> nos tratamentos CC e Bei. Na última amostragem, em Setembro, os valores médios de nitratos no solo variaram entre 9,7 e 67,9 mg L<sup>-1</sup> nos tratamentos CC e Nut. As MTA revelaram boa capacidade para discriminar a forma como os diferentes fertilizantes libertaram o azoto ao longo do tempo e como este aspecto condicionou a absorção do nutriente e o desenvolvimento das plantas. Os valores SPAD revelaram-se bons indicadores do estado nutritivo azotado do milho, em condições em que foi possível controlar grande parte da variabilidade experimental. Os valores SPAD estiveram linearmente relacionados com a produção de matéria seca e o N exportado. Nas condições deste ensaio, em que a lixiviação e a desnitrificação foram controladas, as culturas intercalares centeio e nabiça recuperaram o N residual da cultura anterior até próximo do limite da sua senescência por falta de azoto.

### ABSTRACT

Results from pot experiments where anion exchange membranes (MTA) were in-

<sup>1</sup> CIMO – E. S. Agrária, 5301-855 Bragança, Email: [angelor@ipb.pt](mailto:angelor@ipb.pt):

serted into the soil to monitor soil nitrate levels over time, and the plant N nutritional status assessed with a SPAD-502 chlorophyll meter, are reported in this work. Maize was grown in the summer season and turnip and rye in the winter period. Maize was sown on June 5, 2004, and turnip and rye on September 23, 2004. The plants were subjected to the following treatments: Nutrisoil (Nut); Beiraadubo (Bei); Phenix (Phe); Vegethumus (Veg); cow manure (EB); chestnut fruit bark (CC); ammonium nitrate (NA); and control treatment, without N fertilization (T). Two weeks after the maize was sown, soil nitrate levels extracted by MTA ranged between 18.9 and 239.0 mg L<sup>-1</sup> in the CC and Bei treatments, respectively. In the first week of August mean soil nitrate values ranged between 12.9 and 52.3 mg L<sup>-1</sup> in the CC and Bei treatments. In September, the last sampling date, mean soil nitrate levels were found to be in the range of 9.7 and 67.9 mg L<sup>-1</sup> in the CC and Nut treatments. Relationships between MTA and SPAD results with dry matter yield and N uptake were established. The MTA were able to differentiate well as the organic amendments released their N during the season and this aspect influenced N uptake and plant growth. SPAD readings were also a good index of plant N nutritional status. SPAD values were linearly related with dry matter yield and N uptake. In this study, where the pots were managed to avoid nitrate leaching and denitrification, winter grown species recovered the residual N of maize fertilization. At the end of experiment the plants showed senescent leaves with deep N deficiency symptoms.

## INTRODUÇÃO

A recomendação de fertilização azotada baseada em análises de terras apresenta limi-

tações consideráveis. O teor de matéria orgânica no solo, por exemplo, não fornece informação relevante sobre a disponibilidade de azoto para as plantas durante a estação de crescimento (Jalil *et al.*, 1996; Jarvis *et al.*, 1996; Rodrigues, 2004 b). Indicadores baseados em incubações laboratoriais ou métodos de extração química têm envolvido o esforço de muitos investigadores (Stanford & Smith, 1972; Gianello & Bremner, 1986; Campbell *et al.*, 1997) mas continuam a apresentar grandes limitações de generalização. Uma alternativa à quantificação da dose aplicada à cultura no início da estação de crescimento é a transferência da decisão para o momento da cobertura, utilizando indicadores de disponibilidade de azoto no solo e/ou do estado nutritivo das plantas (Baethgen & Alley, 1989; Scharf, 2001; Rodrigues *et al.*, 2005).

Na cultura do milho, a determinação do teor de nitratos no solo imediatamente antes da cobertura, proposto por Magdoff *et al.* (1984) e conhecido por *presidedress soil nitrate test* (PSNT), teve enorme êxito e foi ensaiado por vários investigadores (Meisinger *et al.*, 1992; Andreski & Bundy, 2002; Rodrigues, 2004a). O PSNT avalia o teor em nitratos na camada 0-30 cm quando o milho apresenta 15 a 30 cm de altura. O teor de nitratos no solo determinado nesta fase do ciclo integra já factores edáficos e climáticos que influenciam a disponibilidade do nutriente, pelo que tende a apresentar boas relações com a produção e com o azoto exportado. No milho, um indicador do estado nutritivo azotado bastante utilizado tem sido a intensidade da cor verde das folhas, medida com o aparelho portátil SPAD-502 (Piekielek & Fox, 1992; Waskom *et al.*, 1996; Singh *et al.*, 2002). O medidor SPAD-502 mede a transmitância da luz através da folha, fornecendo indicação numérica adimensional da intensidade da cor verde (Blackmer & Schepers, 1994). Atendendo a que na clorofila está con-

tida a quase totalidade do azoto das folhas, é de esperar uma relação estreita entre teor de clorofila ou intensidade da cor verde e o estado nutritivo azotado da planta.

As membranas de troca iónica têm sido usadas nalguns laboratórios com fins idênticos aos dos agentes químicos, na preparação de extractos para determinação de iões (Qian *et al.*, 1992). As membranas de troca iónica são polímeros orgânicos sólidos que possuem carga electrostática que é neutralizada por iões de carga oposta. Em termos funcionais são consideradas semelhantes aos colóides do solo (Skogley & Dobermann, 1996). As membranas de troca aniónica possuem carga positiva e são saturadas com aniões de carga oposta ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ , ...). Na presença de  $\text{NO}_3^-$ , os aniões adsorvidos são trocados de forma estequiométrica. Qian & Schoenau (1995, 2005) utilizaram as membranas de troca aniónica em incubações laboratoriais para recuperar o anião nitrato, enterrando as membranas no solo. Em experiências de campo, Pare *et al.* (1995) sugeriram a incorporação das membranas directamente no solo com vista à avaliação da disponibilidade do nutriente *in situ*. As membranas de troca aniónica, ao permitirem monitorar como o ião nitrato surge no solo e se torna disponível para as plantas, na sequência dos processos de amonificação e nitrificação, podem revelar-se muito úteis, na medida em que a fertilização azotada continua a ser a mais difícil de gerir de entre os macronutrientes principais.

Neste trabalho, são apresentados resultados de um ensaio conduzido em vasos, em que se aplicaram diversas soluções fertilizantes que incluíram correctivos orgânicos de origem e composição variada, incluindo correctivos autorizados em agricultura biológica, e adubos minerais. Membranas de troca aniónica foram introduzidas no solo para monitorar a disponibilidade de azoto para as plantas durante a estação de cresci-

mento. O estado nutritivo do milho foi avaliado pela determinação dos valores de clorofila SPAD. São apresentados resultados de ambos os indicadores e da sua relação com a produção de matéria seca e azoto exportado na cultura do milho. O efeito residual dos fertilizantes foi avaliado através do uso das membranas de troca aniónica e do cultivo de centeio e nabiça como culturas de coberturas (intercalares de Inverno).

## MATERIAL E MÉTODOS

Um ensaio em vasos decorreu em Bragança (Lat. 41° 49' N; Long. 6° 46' W, Alt. 670 m) no abrigo do Laboratório de Solos da Escola Superior Agrária de Bragança, que se encontra protegido da precipitação com uma cobertura de PVC transparente. O ensaio decorreu entre 18 de Maio de 2004 e 20 de Abril de 2005. O solo usado apresentou textura franca, com 65 % areia, 19 % limo e 16 % argila. O teor de matéria orgânica foi de 6,9 mg kg<sup>-1</sup> e o de pH(H<sub>2</sub>O) de 6,0. Os teores em P e K extraídos pelo método do lactato de amónio foram de 18 e 60 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente. O solo foi crivado em fresco numa malha de 6 mm e seco ao ar.

A experiência incluiu oito tratamentos fertilizantes: quatro correctivos comerciais Vegethumus, Phenix, Nutrisoil e Beiraadubo, estando os três primeiros autorizados para agricultura biológica; estrume de bovino (EB) compostado; casca de castanha (CC), um subproduto do descasque do fruto; nitrato de amónio (NA); e uma modalidade controlo (T) sem aplicação de azoto. Algumas das características importantes dos correctivos são apresentadas no Quadro 1. Cada vaso recebeu uma mistura de 10 kg de terra e 1,5 g de N, variando a quantidade de correctivo em função do teor de matéria seca (MS) e conteúdo em azoto. Cada tratamento incluiu seis repetições (seis vasos).

QUADRO 1 - Principais aspectos da composição dos correctivos orgânicos

Correctivos	Matéria seca (%)	Razão C/N	N mineral (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> + NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) g kg <sup>-1</sup>
Nutrisoil	86	3	58,3
Phenix	95	8	6,9
Vegethumus	77	26	5,0
Beiraadubo	61	18	7,1
Estrume de bovino	25	24	4,8
Casca de castanha	61	97	5,4

A 5 de Junho de 2004 foram colocadas três sementes de milho a 2-3 cm de profundidade em cada vaso, seguindo-se a primeira rega com 1800 mL de água destilada. Após a emergência o excesso de plantas foi arrancado, ficando apenas uma por vaso. Durante a estação de crescimento o solo foi mantido húmido de forma a assegurar desenvolvimento adequado das plantas. Os volumes de água utilizados em cada rega variaram, atendendo às diferentes taxas de crescimento e transpiração das plantas sujeitas aos diversos tratamentos fertilizantes. Os pratos dos vasos evitaram perdas de água e, consequentemente, a lixiviação de nitratos. Evitou regar-se em excesso para prevenir fenómenos de desnitrificação de nitratos. Uma solução nutritiva sem azoto foi aplicada pouco tempo após a emergência das plantas.

Durante a estação de crescimento, o N libertado pelos fertilizantes foi monitorado através da recuperação do ião nitrato em tiras de 1 x 2 cm de membrana de troca aniónica, inseridas directamente no solo dos vasos com auxílio de uma espátula. As membranas foram inseridas no solo a 5 cm de profundidade a 16 de Junho e 29 de Julho e retiradas a 23 de Junho e 5 de Agosto, respectivamente. Um fio foi atado às membranas para permitir a sua localização e facilitar a recolha. As membranas extraídas do solo foram lavadas com água destilada para remover partículas de solo e os nitratos eluídos em soluções contendo 20 mL de 0,5 M HCl (Qian *et al.*, 1992; Pare *et al.*, 1995). A

concentração de nitratos nos extractos foi determinada por espectrofotometria UV/visível. Antes da utilização seguinte, as tiras foram regeneradas com NaHCO<sub>3</sub> 0,5M. As leituras com o medidor de clorofila SPAD foram recolhidas a 8 de Julho e 2 de Agosto, 33 e 58 dias após a sementeira (DAS) do milho. As leituras foram efectuadas na parte central da folha mais jovem com o limbo completamente expandido (corresponde à folha mais jovem que apresenta o colar visível), em posição lateral evitando a nervura média (Peterson *et al.*, 1993). Foram efectuados 15 registos em cada um dos lados simétricos da folha.

As plantas de milho foram cortadas na fase de 6 a 8 folhas, a 20 de Agosto, uma vez que nos tratamentos controlo, CC e Veg, as plantas apresentavam sintomas de deficiência profunda em N e algumas folhas começavam a ficar senescentes. A decisão de terminar precocemente o ciclo serviu para evitar perdas de azoto por volatilização a partir da canópia (Wetselaar & Farquhar, 1980; Palta & Fillery, 1993). Após a colheita do milho, foi simulada uma mobilização do solo com reviramento de leiva, ficando o sistema radicular misturado no solo. Após a colheita, o solo foi mantido húmido para estimular a actividade microbiana. A 9 de Setembro foram de novo inseridas as membranas no solo e retiradas a 14 de Setembro.

A experiência continuou no período outono-inverno com nabiça (*Brassica campestris*) e centeio (*Secale cereale*), no papel de culturas de cobertura. Os seis vasos por tra-

tamento inicialmente utilizados foram aleatoriamente divididos em duas partes, continuando a experiência com três repetições por espécie e tratamento. As necessidades em água continuaram a ser supridas através de rega com água destilada, para evitar entradas de azoto. A sementeira ocorreu a 23 de Setembro, tendo sido usada semente em excesso. Após a emergência foi ajustado a 30 o número de plantas por vaso, quer no centeio quer na nabiça. Imediatamente a seguir foi adicionada novamente uma solução nutritiva sem N. O crescimento das culturas de Inverno foi muito modesto devido à quase completa exaustão do N pelo milho. A nabiça foi cortada em 10 de Março de 2005, quando as plantas de algumas modalidades começaram a entrar em senescência. O centeio manteve-se até 12 de Abril, data em que se terminou a experiência.

As amostras da parte aérea de milho, nabiça e centeio foram secas em estufa a 70 °C e pesadas, o que permitiu avaliar a produção de matéria seca. Após moenda das amostras foi determinado o teor em N num Autoanalisador Kjeltac 1030. A partir da produção de matéria seca e da concentração de N nos tecidos foi calculado o N exportado.

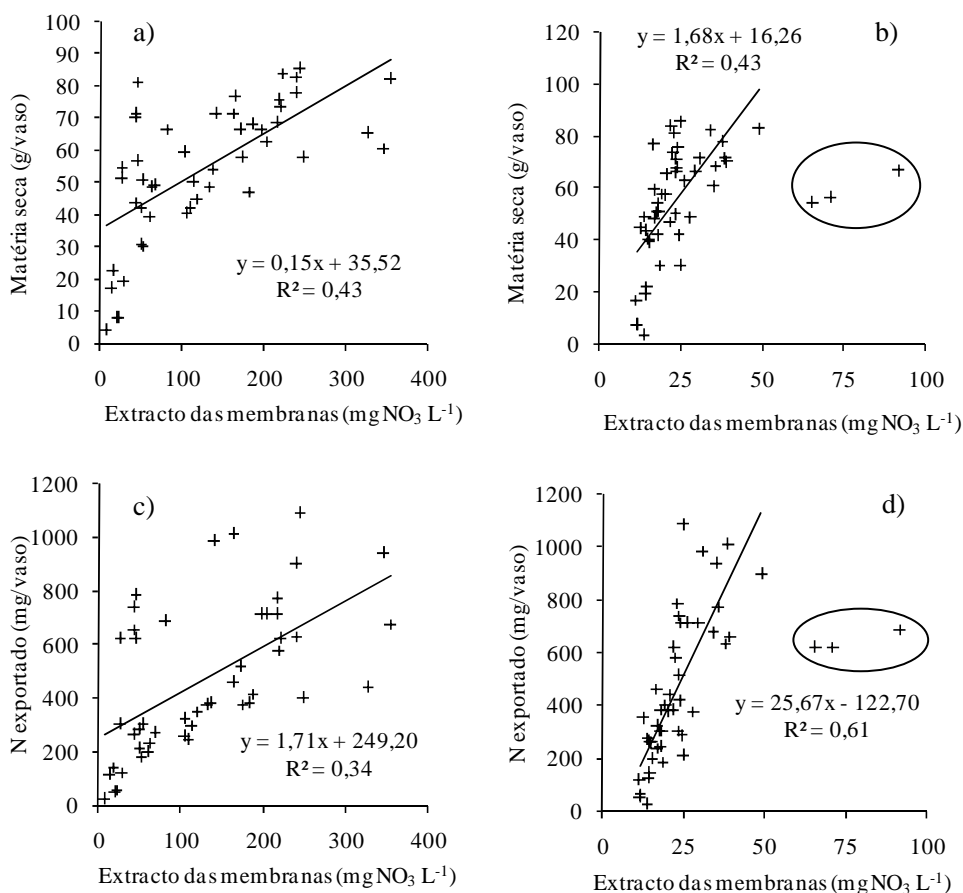
Diversas nuvens de pontos foram estabelecidas entre as variáveis nitratos extraídos nas membranas de troca e valores SPAD com a produção de matéria seca e N exportado no milho, nabiça e centeio. A algumas nuvens de pontos foi ajustada a equação linear  $y = a + b x$ , em que  $a$  e  $b$  são coeficientes estimados pelos dados experimentais e  $y$  e  $x$  as variáveis dependente e independente, respectivamente. A outras nuvens de pontos foi ajustado o modelo exponencial assintótico  $y = a - b \text{EXP}(c x)$ , em que  $y$  e  $x$  são as variáveis dependente e independente, respectivamente,  $a$  e  $b$  são coeficientes estimados pelos dados experimentais e  $c$  um coeficiente pré-determinado. O coeficiente  $c$

foi determinado pela equação  $c = [4 \ln(d)]/x_{max}$ , em que  $d$  assumiu os valores 0,03, 0,05, 0,10, 0,20, 0,35, 0,60, 0,90, 1,50 e 2,70 e  $x_{max}$  representa o limite superior da variável  $x$  (Neeteson & Wadman, 1987).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teor de nitratos no solo apresentou-se bastante variável na primeira data de inserção das membranas de troca (Figura 1 a,c), em resultado da utilização de nitrato de amónio e de fertilizantes orgânicos de natureza e composição muito diferentes. A concentração de nitratos nos extractos variou desde valores praticamente nulos até valores próximos de 400 mg NO<sub>3</sub> L<sup>-1</sup>. A relação entre o teor de nitratos no solo no início da estação de crescimento e a produção de matéria seca de milho (Figura 1a) mostrou que vasos com níveis de nitratos no solo bastante baixos, nesta fase, atingiram valores elevados de biomassa na data de corte, em resultado provável da mineralização de N em data posterior à inserção das membranas de troca aniónica. A relação do teor de nitratos no solo no início da estação de crescimento com o N exportado (Figura 1c) apresentou tendência semelhante, na medida em que em alguns tratamentos a teores baixos de nitratos no solo corresponderam valores relativamente elevados de N exportado e vice-versa. Contudo, foi possível estabelecer relações lineares significativas entre o teor de nitratos nos extractos das membranas e a produção de matéria seca e o N exportado.

A segunda data de inserção das membranas ocorreu oito semanas após a sementeira. Nesta data, as relações entre teor de nitratos no solo com matéria seca produzida (Figura 1b) e N exportado (Figura 1d) foram também ajustadas pela equação linear. Contudo, três pontos



**Figura 1** - Relação entre a quantidade de nitratos extraída pelas membranas de troca aniônica com a produção de matéria seca e o azoto exportado pelo milho. Membranas inseridas a 16 de Junho e retiradas a 23 de Julho (a,c); membranas inseridas a 29 de Julho e retiradas a 5 de Agosto (b,d); ajustamento linear estabelecido após exclusão dos pontos assinalados (b,d).

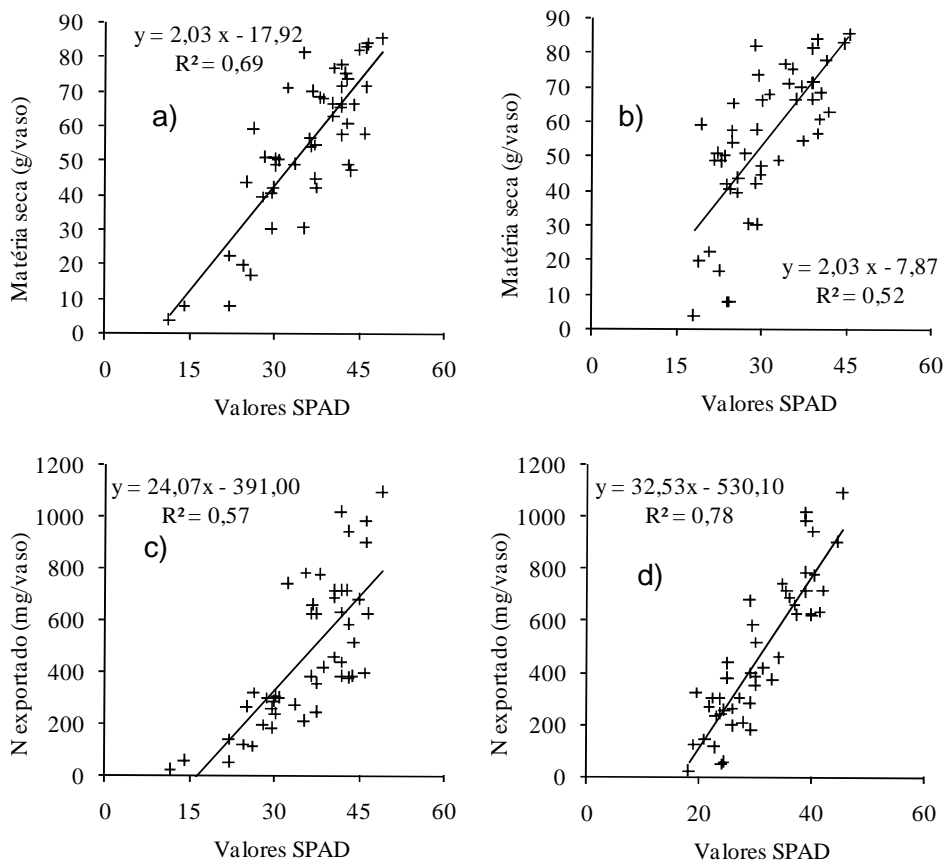
sairam fora do padrão geral. Correspondem a vasos fertilizados com Beiraadubo, cuja disponibilidade de nitratos no solo foi muito baixa na primeira data de amostragem (47,7 mg NO<sub>3</sub> L<sup>-1</sup>, valor apenas superior a CC e inferior a todos os restantes tratamentos, incluindo a testemunha) e se revelou muito elevada na segunda data (52,3 mg NO<sub>3</sub> L<sup>-1</sup>, o valor mais alto entre todos os tratamen-

tos). A elevada concentração de nitratos no solo registada nos vasos fertilizados com Beiraadubo, terá sido consequência de um balanço líquido bastante positivo do processo mineralização/imobilização nesta fase já mais avançada do ciclo. O atraso na libertação de N reduziu a oportunidade de ser absorvido pelo milho e de contribuir de forma mais decisiva para a biomassa produ-

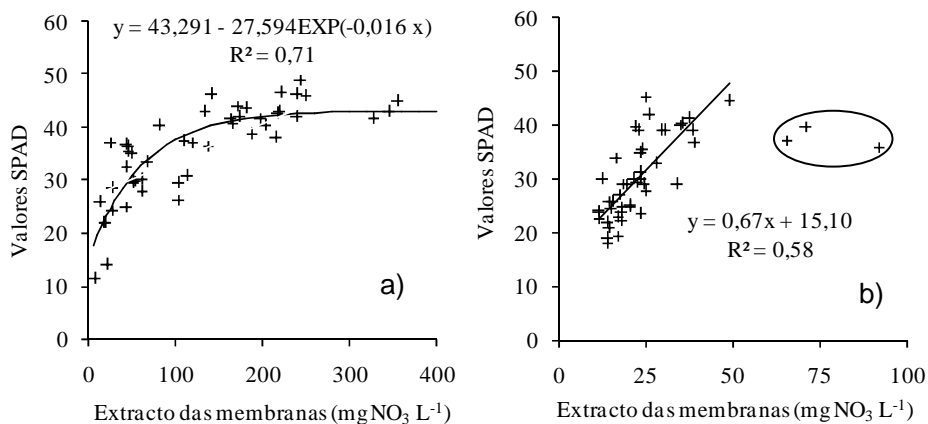
zida e N exportado. Assim, o desempenho do Beiraadubo terá sido penalizado pela decisão de se antecipar o fim do ciclo. De qualquer forma, fica claro que a determinação do N mineral no solo em fases de crescimento activo das plantas, como propõem Magdoff *et al.* (1984) para o PSNT, apresenta vantagens comparativamente à determinação deste indicador no início da estação de crescimento. Este aspecto é ainda mais decisivo quando se usam correctivos orgâ-

nicos, dada a imprevisibilidade na forma como decorre o processo de mineralização/imobilização (Mckenney *et al.*, 1995; Geypens & Vandendriessche, 1996).

Na utilização usual do medidor de clorofila SPAD-502 tomam-se 30 leituras em plantas diferentes num dado campo de cultura. Apesar do processo estar normalizado relativamente à folha e posição na folha em que se faz o registo (Peterson *et al.*, 1993), surge sempre variabilidade associada a factores



**Figura 2** - Relação entre os valores de clorofila-SPAD em 8 de Julho (a,c) e 2 de Agosto (b,d), 33 e 58 dias após a sementeira, com a produção de matéria seca (a,b) e o azoto exportado pelo milho (c,d).



**Figura 3** - Relação entre a quantidade de nitratos extraídos nas membranas de troca aniônica entre 16 e 23 de Junho (a) e entre 29 de Julho e 5 de Agosto (b) e os valores de clorofila-SPAD em 8 de Junho (a) e 2 de Agosto (b), respectivamente. No ajustamento linear foram excluídos os três pontos assinalados (b).

genéticos (variedades), ambientais e às práticas culturais (Schepers *et al.*, 1992; Blackmer *et al.*, 1993; Minotti *et al.*, 1994; Castillon, 1998). Neste trabalho as 30 leituras foram tomadas sobre a mesma folha, ainda que mantida a posição estandardizada do processo de leitura, o que terá reduzido a variabilidade experimental. Desta forma, foi possível obter relações lineares significativas entre valores SPAD e produção de matéria seca e N exportado e com coeficientes de determinação elevados (Figura 2). O medidor de clorofila SPAD forneceu, assim, um bom diagnóstico do estado nutritivo azotado do milho. Comparativamente com a avaliação do teor de nitratos no solo com as membranas de troca, os resultados do medidor SPAD beneficiaram do facto da primeira leitura ter sido efectuada 33 dias após a sementeira, bastante mais tarde que a primeira data de avaliação do teor de nitratos no solo com as membranas de troca.

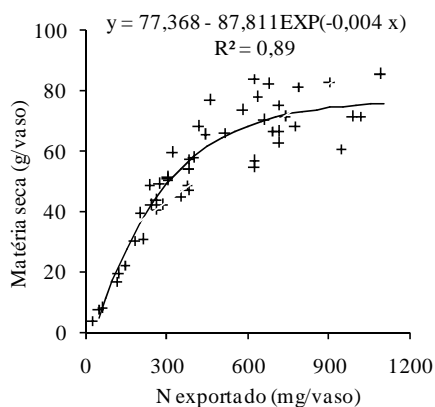
As relações entre os teores de nitratos no solo, avaliados pelas membranas de troca aniônica, e os valores de clorofila-SPAD

são apresentadas na Figura 3. A Figura 3a mostra uma curva em que parece ocorrer saturação do valor SPAD à medida que o teor de nitratos no solo aumenta. Em vários tratamentos terá sido atingido o SPAD máximo. A saturação do valor SPAD é um fenómeno conhecido que tem levado a que muitos autores expressem os resultados em termos relativos, por comparação dos dados de campo com os valores obtidos num talhão de referência onde se aplicou N em excesso para maximização da intensidade da cor verde (Schepers *et al.*, 1992; Blackmer & Schepers, 1994; Westcott & Wrait, 1995; Waskom *et al.*, 1996; Rodrigues, 2004 a).

Na segunda amostragem, a relação entre o teor de nitratos no solo e os valores SPAD foram ajustados pela equação linear (Figura 3b), após exclusão de três pontos correspondentes ao Beiraadubo. Em 2 de Agosto, 58 DAS, o milho estava numa fase muito activa de absorção de N, sendo a saturação da cor verde mais difícil de atingir, dadas as limitações da maioria dos materiais orgâni-



cos em libertar N (Beauchamp, 1986; Paul & Beauchamp, 1993; Fauci & Dick, 1994; Rodrigues *et al.*, 2001). Os valores dispersos assinalados na Figura 3b reflectem N recentemente nitrificado no tratamento com Beiraadubo. Nestes vasos, o valor SPAD começou a reflectir o aumento da disponibilidade de N, encontrando-se já próximo dos valores registados nas modalidades que libertaram mais N, designadamente o nitrato de amónio.



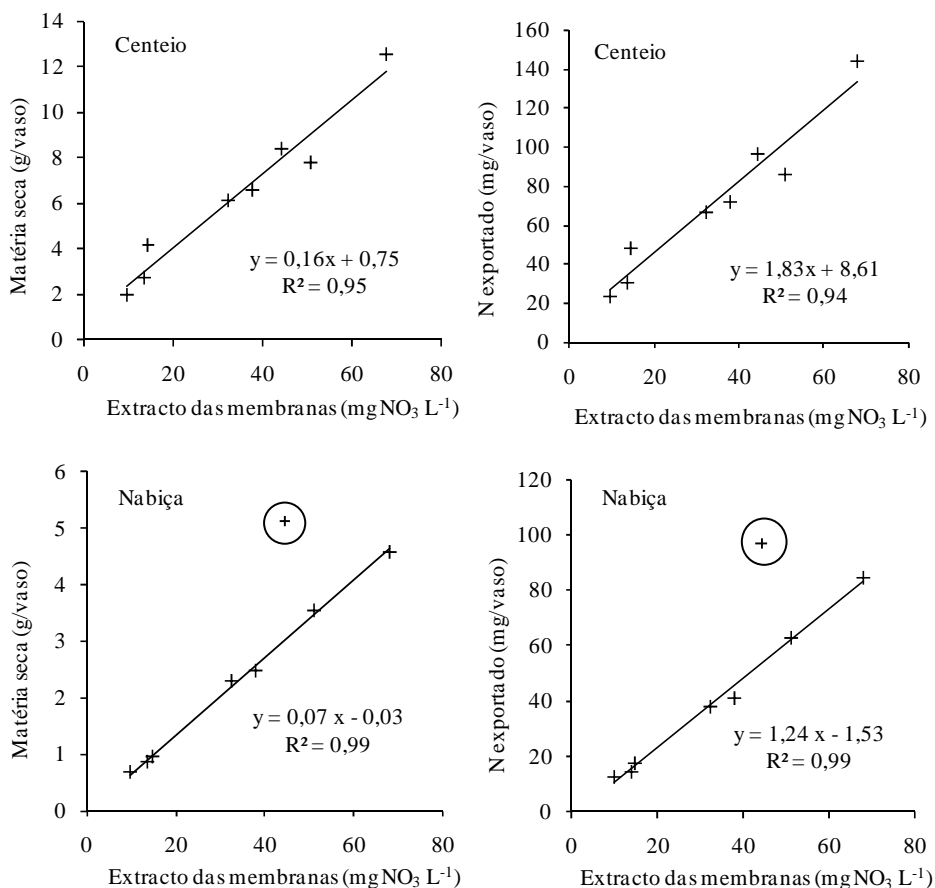
**Figura 4** - Relação entre azoto exportado e matéria seca produzida pelo milho.

A relação entre N absorvido e produção de biomassa apresentou uma curva de saturação típica (Figura 4). O azoto exportado aumentou sem que ocorresse acréscimo proporcional de biomassa, se bem que, nestas situações, tenda a ocorrer a concentração de elemento nos tecidos da planta (Black, 1993; Marschner, 1986). A gama de fertilizantes utilizados foi variada e muitos disponibilizaram pouco N. Por conseguinte, algumas plantas entraram precocemente em senescência e o ciclo cultural foi interrompido, para evitar perdas de N pela canópia. Este aspecto terá condicionado a utilização do azoto pelas plantas, reduzindo a eficiência fisiológica do nutriente (Tyler *et al.*, 1983; Cassman *et al.*, 1993; Rodrigues &

Coutinho, 1996), isto é, parte do N absorvido não terá contribuído para o aumento de biomassa, fenómeno habitualmente designado de consumo de luxo (Santos, 1996). Na data de corte as plantas preparavam-se para iniciar o lançamento das inflorescências, podendo ainda assimilar muito azoto nos tratamentos que mais nutriente libertaram.

O teor em nitratos no solo esteve linearmente relacionado com a produção de matéria seca e N exportado pelo centeio (Figura 5 a,b). Resultado idêntico foi obtido com a nabiça (Figura 5 c,d). O ponto que sai do padrão nas Figuras 5 c,d corresponde ao valor médio dos resultados do Beiraadubo. Os dados indicam que este correctivo terá continuado a libertar N em fases mais avançadas do ciclo, mesmo após a terceira inserção das membranas no solo. Os valores mais elevados do centeio em produção de biomassa e N exportado foram obtidos no tratamento com Beiraadubo, o que confirma a tese anterior. Por outro lado, o centeio produziu mais biomassa e exportou mais azoto que a nabiça, por permanecer mais tempo em crescimento. A nabiça, tal como o milho, começou a entrar precocemente em senescência nas modalidades que disponibilizaram menos N, tendo o ciclo sido terminado mais cedo. Desta forma, a nabiça não pôde recuperar parte do N que Beiraadubo libertou entre o fim de ciclo da nabiça (10 de Março) e o fim de ciclo do centeio (12 de Abril).

A utilização das culturas de Inverno para reduzir a lixiviação de nitratos que se formam no Outono, como resultado da mineralização de matéria orgânica ou de fertilizações azotadas excessivas, parece ser eficaz. Na data de corte, nabiça e centeio tinham parado de crescer em resultado da exaustão completa do N no solo. Contudo, refira-se que neste caso a lixiviação de nitratos foi controlada porque os vasos se encontravam



**Figura 5** - Relação entre a quantidade de nitrato extraído pelas membranas de troca aniónica com o azoto exportado e produção de matéria seca do centeio (a,b) e nabiça (c,d). Para estabelecer o ajustamento linear no ensaio com nabiça (c,d) foi excluído o ponto assinalado correspondente ao fertilizante Beiraadubo.

protegidos da chuva. Em campo, a capacidade destas culturas para absorver nitratos é limitada, sobretudo a do centeio, por apresentar taxas de crescimento baixas no período outono-inverno. Quando o centeio entra em fase activa de crescimento, associada ao encanamento, o período de maior precipitação já passou e os nitratos que se encontravam no solo no início do Outono tiveram oportunidade de sair do solo por lixiviação e

desnitrificação, como demonstraram resultados de ensaios de campo conduzidos no norte de Portugal (Rodrigues *et al.*, 2002).

## CONCLUSÕES

O uso de membranas de troca aniónica inseridas directamente no solo revelou-se um instrumento muito valioso na moni-

zação da evolução do teor de nitratos no solo, resultantes da mineralização da matéria orgânica nativa ou dos fertilizantes aplicados. A determinação do teor de clorofila-SPAD nas folhas apresentou-se como um indicador do estado nutritivo do milho valioso, em parte devido ao facto de ter sido removida alguma da variabilidade que normalmente interfere com a intensidade da cor verde das plantas. Os resultados obtidos com as membranas de troca aniônica e com o medidor SPAD-502 robustecem a informação favorável que havia disponível sobre estes dois instrumentos de gestão da fertilidade do solo nos campos de cultura e estimula a continuação do seu uso em trabalhos futuros.

### AGRADECIMENTO

O trabalho foi suportado financeiramente pelo Centro de Investigação de Montanha (CIMO), da Escola Superior Agrária de Bragança.

### REFERÊNCIAS

- Andreski, T.W. & Bundy, L.G. 2002. Using presidedress soil nitrate test and organic nitrogen crediting to improve crop nitrogen recommendations. *Agron. J.*, **94**: 1441-1418.
- Baethgen, W.E. & Alley, M.M. 1989. Optimizing soil and fertilizer nitrogen use by intensively managed winter wheat. II. Critical levels and optimum rates of nitrogen fertilizer. *Agron. J.*, **81**: 120-125.
- Beauchamp, E.G. 1986. Availability of nitrogen from three manures to corn in the field. *Can. J. Soil Sci.*, **66**: 713-720.
- Black, C.A. 1993. *Soil Fertility Evaluation and Control*. Lewis Publishers. Boca Raton, Florida.
- Blackmer, T.M. & Schepers, J.S. 1994. Techniques for monitoring crop nitrogen status in corn. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, **25** (9&10): 1791-1800.
- Blackmer, T.M., Schepers, J.S. & Vigil, M.F. 1993. Chlorophyll meter readings in corn as affected by plant spacing. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, **24**: 2507-2516.
- Campbell, C.A., Jame, Y.W., Jalil, A. & Schoneau, J. 1997. Use of hot KCl-NH<sub>4</sub>-N to estimate fertilizer N requirements. *Can. J. Soil Sci.*, **77**: 161-166.
- Cassman, K.J., Kropff, J.G. & Peng, S. 1993. Nitrogen use efficiency of rice reconsidered: what are the key constraints? *Plant Soil*, **155/156**: 359-362.
- Castillon, P. 1998. Using a chlorophyll meter to assess the nitrogen nutrition status of maize. Proc. 5<sup>th</sup> ESA Congress, vol. II, pp. 334-335. Nitra, Slovakia.
- Fauci, M.F. & Dick, R.P. 1994. Plant response to organic amendments and decreasing inorganic nitrogen rates in soils from a long-term experiment. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **58**: 134-138.
- Geypens, M. & Vandendriessche, H. 1996. Advisory systems for nitrogen fertilizer recommendations. *Plant Soil*, **181**: 31-38.
- Gianello, C. & Bremner, J.M. 1986. Comparison of chemical methods of assessing potentially available organic nitrogen in soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, **17** (2): 215-236.
- Jalil, A., Campbell C. A., Schoenau J., Henry J. L., Jame Y. W. & Lafond G. P. 1996. Assessment of two chemical extraction methods as indices of available nitrogen. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **60**: 1954-1960.
- Jarvis, S.C., Stockdale, E.A., Shepherd, M.A. & Powlson, D.S. 1996. Nitrogen management in temperate agricultural soils: processes and measurement. *Adv. Agron.*, **57**: 187-235.
- Magdoff, F.R., Ross, D. & Amadon, J. 1984. A soil test for nitrogen availability to

- corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **48**: 1301-1304.
- Marschner, H. 1986. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press, London.
- McKenney, D.J., Wang, S.-W., Drury, C.F. & Findlay, W.I. 1995. Denitrification, immobilization, and mineralization in nitrate limited and unlimited residue-amended soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **59**: 118-124.
- Meisinger, J.J., Bandel, V.A., Angle, J.S. & O'Keefe, B.E. 1992. Presidedress soil nitrate evaluation in Maryland. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **56**: 1527-1532.
- Minotti, P.L., Halseth, D.E. & Siczek, J.B. 1994. Field chlorophyll measurements to assess the nitrogen status of potato varieties. *HortScience*, **29**: 1497-1500.
- Neeteson, J.J. & Wadman, W.P. 1987. Assessment of economically optimum application rates of fertiliser N on the basis of response curves. *Fertil. Res.* **12**: 37-52.
- Palta, J.A. & Fillery, I.R. 1993. Postanthesis remobilisation and losses of nitrogen in wheat in relation to applied nitrogen. *Plant Soil*, **155/156**: 179-181.
- Pare, T., Gregorich, E.G. & Ellert, B.H. 1995. Comparison of soil nitrate extracted by potassium chloride and adsorbed on an exchange membrane in situ. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, **26**: 883-898.
- Paul, J.W. & Beauchamp, E.G. 1993. Nitrogen availability for corn in soils amended with urea, cattle slurry, and composted manures. *Can. J. Soil Sci.*, **73**: 253-266.
- Piekielek, W.P. & Fox, R.H. 1992. Use a chlorophyll meter to predict sidedress nitrogen requirements for maize. *Agron. J.*, **84**: 59-65.
- Peterson, T.A., Blackmer, T.M., Francis, D.D. & Schepers, J.S. 1993. *Nebguide: Using a Chlorophyll Meter to Improve N Management*. Coop. Ext., Inst. Agric. Nat. Res., Univ. Nebraska-Lincoln, G93, 1171-A.
- Qian, P. & Schoenau, J. J. 1995. Assessing nitrogen mineralization from soil organic matter using anion exchange membranes. *Fert. Res.*, **40**: 143-148.
- Qian, P. & Schoenau, J. J. 2005. Use of ion-exchange membrane to assess nitrogen-supply power of soils. *J. Plant Nutr.*, **28**: 2193-2200.
- Qian, P., Schoenau, J. J. & Huang, W.Z. 1992. Use of ion exchange membranes in routine soil testing. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, **23**: 1791-1804.
- Rodrigues, M.A, Coutinho, J. Martins, F. & Arrobas, M. 2005. Quantitative sidedress nitrogen recommendations for potatoes based upon crop nutritional indices. *Eur. J. Agron.*, **23/1**: 79-88.
- Rodrigues, M.A. 2004a. Establishment of continuous critical levels for indices of plant and presidedress soil nitrogen status in the potato crop. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, **35** (13 & 14): 2067-2085.
- Rodrigues, M.A. 2004b. An in situ incubation technique to measure the contribution of organic N to potatoes. *Agronomie*, **24**: 249-256.
- Rodrigues, M.A. & Coutinho, J. 1996. Efficiency of uptake and utilization of N from mineral and organic sources by potato crop. Proc. of 4<sup>th</sup> ESA-Congress. pp 368-369. Veldhoven-Wageningen.
- Rodrigues, M.A., Coutinho, J. & Martins, F. 2001. Efficiency of organic nitrogen fertilisation of potato in Northeast Portugal. *Acta Hort.*, **563**: 179-186.
- Rodrigues, M.A., Coutinho, J. & Martins, F. 2002. Efficacy and limitations of triticale as nitrogen catch crop in a Mediterranean environment. *Eur. J. Agron.*, **17/3**: 155-160.
- Santos, J. Q. 1996. *Fertilização - Fundamentos da Utilização dos Adubos e Correctivos*. Publicações Europa-América, Mem Martins.

- Scharf, P.C. 2001. Soil and plant tests to predict optimum nitrogen rates for corn. *J. Plant Nutr.*, **24** (6): 805-826.
- Schepers, J.S., Francis, D.D., Vigil, M. & Below, F.E. 1992. Comparison of corn leaf nitrogen concentration and chlorophyll meter readings. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, **23**: 2173-2187.
- Singh, B., Singh, Y., Ladha, J.K., Bronson, K.F., Balasubramanian, V., Singh, J. & Khind, C.S. 2002. Chlorophyll meter and leaf color chart-based nitrogen management for rice and wheat in Northwestern India. *Agron. J.*, **94**: 821-829.
- Skogley, E. O. & Dobermann A. 1996. Synthetic ion-exchange resins: soil and environmental studies. *J. Environ. Qual.*, **25**: 13-24.
- Stanford, G. & Smith, S.J. 1972. Nitrogen mineralization potentials of soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, **36**: 465-472.
- Tyler, K.B. Broadbent, F.E. & Bishop, J.C. 1983. Efficiency of nitrogen uptake by potatoes. *Am. Potato J.*, **60**: 261-269.
- Waskom, R.M., Westfall, D. G., Spellman, D.E. & Soltanpour, P.N. 1996. Monitoring nitrogen status of corn with a portable chlorophyll meter. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, **27**: 545-560.
- Westcott, M.P. & Wraith, J.M. 1995. Correlations of leaf chlorophyll readings and stem nitrate concentrations in peppermint. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, **26**: 1481-1490.
- Wetselaar, R. & Farquhar, G.D. 1980. Nitrogen losses from tops of plants. *Adv. Agron.* **33**: 263-302.