

Curva crítica de diluição de nitrogênio da cultivar Asterix de batata

Jerônimo Luiz Andriolo⁽¹⁾, Dilson Antônio Bisognin⁽¹⁾, Adalberto Luiz de Paula⁽¹⁾, Fabiana Luiza Matielo de Paula⁽¹⁾, Rodrigo dos Santos Godoi⁽¹⁾ e Gisele Teixeira Barros⁽¹⁾

⁽¹⁾Universidade Federal de Santa Maria, Dep. de Fitotecnia, Camobi, CEP 97105-900 Santa Maria, RS. E-mail: andriolo@smail.ufsm.br, dilsonb@smail.ufsm.br, adalbertodepaula@yahoo.com.br, fabiana.matielo@bol.com.br, godoi@mail.ufsm.br, gisele@mail.ufsm.br

Resumo – O objetivo deste trabalho foi ajustar a curva crítica de diluição do nitrogênio (N) da batata 'Asterix' e avaliar o seu emprego no manejo da adubação nitrogenada. Tubérculos dessa cultivar foram plantados em sacolas de polietileno com 5 dm³ de substrato orgânico, na densidade de 4,4 sacolas m⁻². Os tratamentos consistiram de cinco soluções nutritivas, com concentrações de N de 5, 8,3, 11,3, 14,3 e 16,3 mmol L⁻¹. Os demais nutrientes foram fornecidos nas concentrações: 8,3 de K⁺, 1,75 de Ca²⁺, 1,2 de H₂PO₄⁻, 0,7 de Mg²⁺ e 0,7 mmol L⁻¹ de SO₄²⁻, complementados por micronutrientes. Em intervalos de sete dias, entre os 43 e 99 dias após o plantio, foram determinados: a massa de matéria seca (MS) e o teor de N nas folhas, hastes e tubérculos. Foi ajustada a curva crítica de diluição [N (g kg⁻¹) = 36MS^{-0.37}] para a produção total de MS da planta. Essa curva pode ser usada, como referencial, na interpretação dos resultados de análise foliar e na estimativa das quantidades de N extraídas pelas plantas da batata 'Asterix', no decorrer do ciclo de crescimento e desenvolvimento.

Termos para indexação: *Solanum tuberosum*, alometria, adubação, massa de matéria seca.

Critical nitrogen dilution curve of the potato cultivar Asterix

Abstract – The objective of this work was to adjust the critical nitrogen (N) dilution curve of the potato cultivar Asterix and to evaluate its use on N management strategies. Tubers of this cultivar were planted in 5 dm³ polyethylene bags filled with organic substrate in the density of 4.4 bags m⁻². Treatments consisted of five nutrient solutions with N concentrations of 5, 8.3, 11.3, 14.3, and 16.3 mmol L⁻¹. Other macronutrients as 8.3 of K⁺, 1.75 of Ca²⁺, 1.2 of H₂PO₄⁻, 0.7 of Mg²⁺, 0.7 mmol L⁻¹ of SO₄²⁻ and micronutrients were added in standard concentrations. Dry matter and N concentration in leaves, stems and tubers were weekly determined, from 43 to 99 days after planting. The critical nitrogen curve [N (g kg⁻¹) = 36DM^{-0.37}] was adjusted, based on total dry matter production. This dilution curve may be used as an interpretation tool for foliar analysis results and as a parameter to estimate N extraction during growth and development of the potato cultivar Asterix.

Index terms: *Solanum tuberosum*, allometry, fertilization, dry matter.

Introdução

O nitrogênio (N) é um dos nutrientes de maior impacto na produtividade das culturas, por estar relacionado diretamente à fotossíntese e ao crescimento do compartimento vegetativo da planta (Yin et al., 2003). As doses de adubação nitrogenada, a serem fornecidas no decorrer do ciclo, devem ser determinadas considerando-se os critérios de produtividade e sustentabilidade da produção, porque o N não absorvido pelas plantas apresenta risco de poluição ambiental. Para tal, são necessários métodos precisos de diagnóstico do estado nutricional das culturas, nas diferentes fases do ciclo de crescimento e desenvolvimento.

Um dos métodos de diagnóstico da nutrição nitrogenada das culturas agrícolas está baseado na curva crítica de diluição, definida como a concentração mínima de N acima da qual não é mais observada a resposta no crescimento e produtividade (Lemaire & Salette, 1984; Lemaire et al., 1997). Essa curva é explicada, fisiologicamente, por um modelo mecanístico que leva em conta as dinâmicas de crescimento do compartimento metabólico e estrutural da planta (Caloin & Yu, 1984; Hardwick, 1987). Entretanto, a mesma curva ajusta-se a um modelo estatístico do tipo potencial, com a seguinte expressão matemática: $N \text{ (g kg}^{-1}\text{)} = aMS^{-b}$, em que N (g kg⁻¹) representa a concentração crítica de N (N_c); MS a massa de matéria seca da parte aérea,

em $t \text{ ha}^{-1}$; a e b são coeficientes de ajuste do modelo. Esta equação pode ser empregada para se estimarem as quantidades de N extraídas pelas culturas, com massa de matéria seca da parte aérea acumulada igual ou superior a $1 t \text{ ha}^{-1}$, por meio da equação: $N (\text{kg ha}^{-1}) = aMS^{(1-b)}$.

A N_c também pode ser empregada como referencial para se interpretarem os resultados da análise foliar, pelo índice de nutrição de nitrogênio (INN), obtido pelo quociente entre a N_c e a concentração da amostra (Justes et al., 1994; Lemaire et al., 1997). Os excessos ou as deficiências na adubação nitrogenada traduzem-se por valores do INN acima ou abaixo da unidade, respectivamente, e indicam as correções a serem efetuadas no manejo da adubação da cultura.

Inicialmente, os coeficientes do modelo de diluição do N eram ajustados separadamente para os dois grupos de espécies C_3 e C_4 . Posteriormente, passaram a ser ajustados para diferentes espécies como forrageiras (Lemaire & Salette, 1984), trigo (Justes et al., 1994) e tomateiro (Tei et al., 2002). No caso da batata, ajustes foram feitos por Duchènne et al. (1997) na França, e Bélanger et al. (2001) no Canadá. Entretanto, esses coeficientes não têm valor universal e devem ser ajustados para cada cultivar e condição de cultivo.

O objetivo deste trabalho foi ajustar a curva crítica de diluição do N da batata cv. Asterix e avaliar o seu emprego no manejo da adubação nitrogenada dessa cultura.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido no Dep. de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, em um abrigo de 200 m^2 , coberto com polietileno aditivado anti-UV, com $200 \mu\text{m}$ de espessura. As plantas foram cultivadas no interior de sacolas de polietileno com 5 dm^3 de substrato comercial orgânico. As sacolas foram colocadas sobre camalhões, cobertos com filme de polietileno opaco preto de $100 \mu\text{m}$ de espessura, no espaçamento de $0,75 \text{ m}$ entre fileiras e $0,30 \text{ m}$ entre sacolas, correspondente à densidade de $4,4$ sacolas por metro quadrado.

Um tubérculo-semente de alta qualidade fisiológica e sanitária foi plantado em cada sacola, em 2/9/2003. A água e os nutrientes foram fornecidos através de um tubo gotejador no centro de cada sacola, com vazão equivalente a $1,3 \text{ L h}^{-1}$. O conjunto formado pelas sacolas e tubo gotejador foi coberto com filme opaco de polietileno dupla-face, para reduzir a evaporação e evitar a incidência direta dos raios solares sobre o substrato. O volume de água retido na capacidade máxima de retenção foi de 1.250 mL , em cada sacola. A frequência

das fertirrigações foi determinada com base na demanda hídrica da cultura, estimada por unidade de radiação solar e de área foliar de hortaliças cultivadas no mesmo local, em ambiente protegido (Dalsasso et al., 1997).

Os tratamentos foram constituídos por cinco soluções nutritivas, com concentrações de N de 5 (T1), 8,3 (T2), 11,3 (T3), 14,3 (T4) e 16,3 mmol L^{-1} (T5). Os demais nutrientes foram fornecidos nas concentrações: 8,3 de K^+ , 1,75 de Ca^{2+} , 1,2 de H_2PO_4^- , 0,7 de Mg^{2+} e 0,7 mmol L^{-1} de SO_4^{2-} ; e de 0,03 de Mo; 0,26 de B; 0,06 de Cu; 0,50 de Mn; 0,22 de Zn e 1 mg L^{-1} de Fe. As fontes de nutrientes foram o nitrato de potássio, fosfato monopotássico, nitrato de cálcio, cloreto de potássio, sulfato de magnésio e nitrato de amônio. Em T1 foram empregados também o sulfato de potássio e o cloreto de cálcio. As fontes de micronutrientes e a metodologia de cálculo das quantidades de fertilizantes, empregadas para atingir as concentrações de cada tratamento, foram descritas por Andriolo (1999).

A condutividade elétrica foi de 1,7, 1,87, 2,19, 2,51 e 2,72 dS m^{-1} , respectivamente, para os tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5. O pH situou-se entre os limites de 5,3 e 6,0. Cada uma das soluções nutritivas foi preparada em um reservatório separado, ao qual foi conectada uma motobomba. As cinco motobombas foram controladas por um único programador horário, de forma a fertirrigar, concomitantemente, todas as plantas na área experimental. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com três repetições de uma fileira de 30 sacolas.

Em intervalos de sete dias, no período entre 43 e 99 dias após o plantio (dap), foram coletadas as plantas de cinco sacolas de cada tratamento, para determinação da massa de matéria seca. Imediatamente após a coleta, os limbos foliares, hastes com pecíolos e tubérculos foram separados e colocados para secagem, em estufa de circulação forçada de ar, a 60°C , até massa constante. A matéria seca de cada órgão foi moída em moinho do tipo Wiley, e a concentração de N foi determinada pelo método Kjeldahl (Tedesco et al., 1995).

A determinação dos pontos críticos, para o ajuste da curva crítica de diluição do N (Lemaire et al., 1997), foi feita conforme descrito por Justes et al. (1994). As médias de acumulação da matéria seca, das plantas que receberam as doses crescentes de N em cada coleta, foram comparadas pelo teste t. Dois grupos de médias foram distinguidos: com efeito significativo e sem efeito significativo das doses sobre o acúmulo de matéria seca. Duas equações lineares foram ajustadas sobre esses pontos, e o ponto crítico de diluição do N em cada coleta foi calculado pela resolução do sistema de equações. A curva crítica de diluição foi determinada pelo ajuste do modelo potencial sobre os pontos críticos de

terminados no decorrer do ciclo de crescimento e desenvolvimento da cultura.

Resultados e Discussão

O valor do coeficiente a, que indica a concentração de N nas fases jovens da planta, variou entre 26,3 e 36,1, sendo que o maior valor foi observado em T4 (Figura 1). Os teores mais baixos de N foram observados nas plantas de T1 e os mais elevados nas de T4. O coeficiente b, que indica a intensidade da diluição, no decorrer do crescimento da planta, aumentou de -0,51 em T1 para -0,29 em T5. As curvas mostraram que, independentemente da disponibilidade de N na solução nutritiva, houve uma diluição da concentração de N com o decorrer do ciclo das plantas (Figura 1). Entretanto, o aumento da concentração de N, na solução, promoveu aumento na produção e no teor de N da matéria seca, principalmente entre os tratamentos T1 e T4, e intensificou a diluição na planta inteira com o decorrer do ciclo.

Considerando-se as curvas de diluição do N na planta inteira e nos órgãos analisados separadamente, o maior valor do coeficiente a foi observado nas folhas e os menores, nos tubérculos e hastes (Figura 2), enquanto o menor valor do coeficiente b foi observado nas fo-

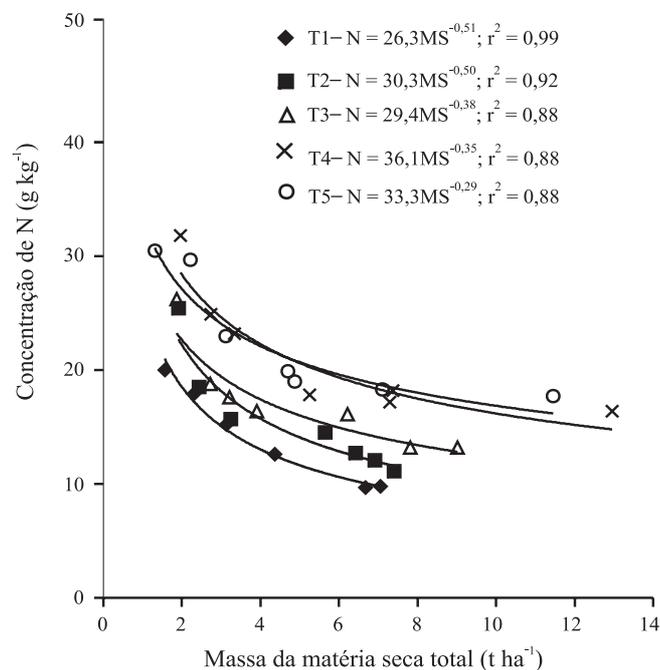


Figura 1. Curvas críticas de diluição do N, durante o ciclo de crescimento e desenvolvimento de plantas de batata 'Asterix' cultivada com concentrações de N de 5 (T1), 8,3 (T2), 11,3 (T3), 14,3 (T4) e 16,3 mmol L⁻¹ (T5).

lhas e o maior valor, nos tubérculos. Desta forma, as folhas apresentaram a maior concentração de N nas fases jovens da planta e a maior diluição com o decorrer do ciclo de crescimento e desenvolvimento das plantas (Figura 2 B). As menores concentrações de N foram observadas nas hastes e nos tubérculos, porém os tubérculos apresentaram menor diluição do que as hastes e, também, produção de matéria seca aproximadamente seis vezes superior (Figura 2 B e C). As folhas diminuíram mais rapidamente o teor de N, no decorrer do ciclo de crescimento da cultura, como indica o valor do coeficiente b, igual a -0,82, para esse órgão. A diluição apresentada pelos tubérculos foi fraca, indicada pelo valor de b igual a -0,22.

Verificou-se que houve uma diluição do N, no decorrer do ciclo de crescimento e desenvolvimento das plantas de batata 'Asterix', de forma semelhante às observadas por outros autores, em trabalhos com outras cultivares (Greenwood et al., 1990; Duchènne et al., 1997; Bélanger et al., 2001). Entretanto, os valores dos coeficientes do modelo diferem dos obtidos por aqueles autores.

Greenwood et al. (1990) ajustaram a curva crítica total com dados obtidos em lavouras localizadas na Holanda e na Inglaterra e obtiveram valores de 53,6 e -0,46 para os coeficientes a e b, respectivamente. Em lavouras localizadas na França, Duchènne et al. (1997) apontaram valores de 52,1 e -0,56, respectivamente.

Os valores obtidos por Bélanger et al. (2001), no Canadá, variaram entre 45 e 54 para o coeficiente a, e entre -0,42 e -0,58 para o coeficiente b, em trabalhos com diferentes cultivares e manejo diferenciado da irrigação.

O valor atual de 36, para o coeficiente a, foi inferior aos obtidos anteriormente, enquanto o valor de -0,37 para o coeficiente b foi superior. No primeiro caso, o valor inferior pode estar relacionado ao período de crescimento da cultura, entre o plantio e a primeira coleta de plantas, efetuada aos 43 dap. Em latitudes maiores, a amplitude das variações radiativa e fotoperiódica é maior ao longo das estações do ano.

O fotoperíodo é um dos elementos que mais influencia o início da fase de tuberação da planta da batata (Kooman et al., 1996), a qual tem início somente quando o fotoperíodo crítico da cultivar é atingido. Enquanto essa fase não é alcançada, o crescimento da cultura é apenas vegetativo, com teores mais elevados de N nos órgãos da parte aérea, em relação aos demais órgãos

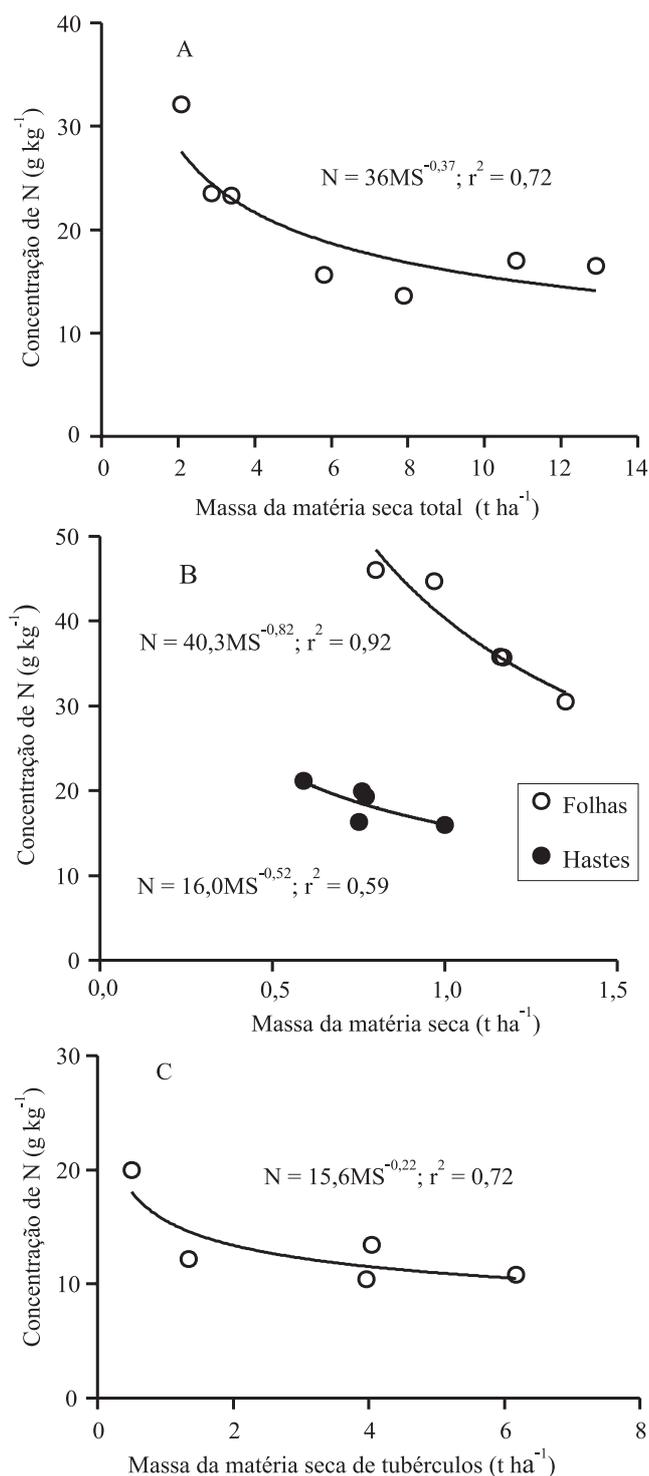


Figura 2. Curvas críticas de diluição do N na planta inteira (A), nas folhas e hastes (B) e nos tubérculos (C), durante o ciclo de crescimento e desenvolvimento de plantas de batata 'Asterix' cultivada com concentrações de N de 5 (T1), 8,3 (T2), 11,3 (T3), 14,3 (T4) e 16,3 mmol L^{-1} (T5).

de acumulação e reserva. Quanto maior for a duração da fase vegetativa, mais elevado será o teor de N na planta, pois ocorre somente acumulação de matéria seca vegetativa, com teores mais elevados de N do que os tubérculos.

A duração da fase vegetativa no Sul do Brasil é menor do que na França e no Canadá, e isso pode explicar as diferenças observadas no valor do coeficiente a do modelo. Entretanto, diferenças na duração da fase vegetativa têm pequena importância para o manejo da adubação da cultura, porque as necessidades de N nessa fase são ainda reduzidas. Na primeira coleta de plantas, efetuada aos 43 dap, a massa média da matéria seca de tubérculos representou apenas 5,1% do total determinado ao final do experimento. Nessa data, a quantidade de N extraída pela cultura representou 30,5% do total. A fração restante de N, 69,5%, foi absorvida nos 56 dias subsequentes.

O valor mais elevado do coeficiente b indica menor diluição no decorrer do ciclo, em relação aos resultados de outros autores (Figura 3). Esse coeficiente tem relação com a partição da matéria seca, entre a parte aérea e os tubérculos, que passa a ocorrer após o início da tuberização. Os tubérculos exercem efeito de diluição do N na planta inteira, em virtude da elevada fração ponderal na matéria seca total, que foi de 0,81 neste trabalho. Na fase final do ciclo da cultura, a matéria seca dos tubérculos, com baixo teor de N, passa a ser determinante do teor na planta inteira.

Na senescência, o fluxo do N na planta ocorre principalmente pela remobilização da parte aérea para os tubérculos, e isso contribui para a diminuição do teor de N na planta inteira. Quanto mais elevada a disponibilidade de N, maior será o crescimento da área foliar e a acumulação do nutriente, com posterior remobilização. Isso explica a diluição mais intensa observada nas plantas que receberam as doses de N mais elevadas.

A duração do ciclo de desenvolvimento da cultivar é outro fator que influencia a dinâmica de diluição do N. A Asterix é uma cultivar de ciclo relativamente curto, que atinge o ponto de colheita entre 90 e 110 dap, período inferior ao das cultivares empregadas em países de latitude mais elevada, que podem chegar a até 180 dap (Chambenoit et al., 2002). Também na produção comercial na Região Sul do Brasil, a colheita dos tubérculos é feita antes que os processos de senescência e de remobilização do N, da parte vegetativa da planta,

tenham sido plenamente concluídos. Isso significa que parte do N ainda permaneceria na parte aérea da planta no momento da colheita, e se refletiria em teores mais elevados desse nutriente.

As curvas críticas de diluição e de extração do N que foram ajustadas podem ser empregadas tanto como referencial para a interpretação dos resultados de análise foliar, como para o manejo da adubação da cultura. Para tal, faz-se necessário conhecer a matéria seca acumulada pela cultura, até o momento em que foram

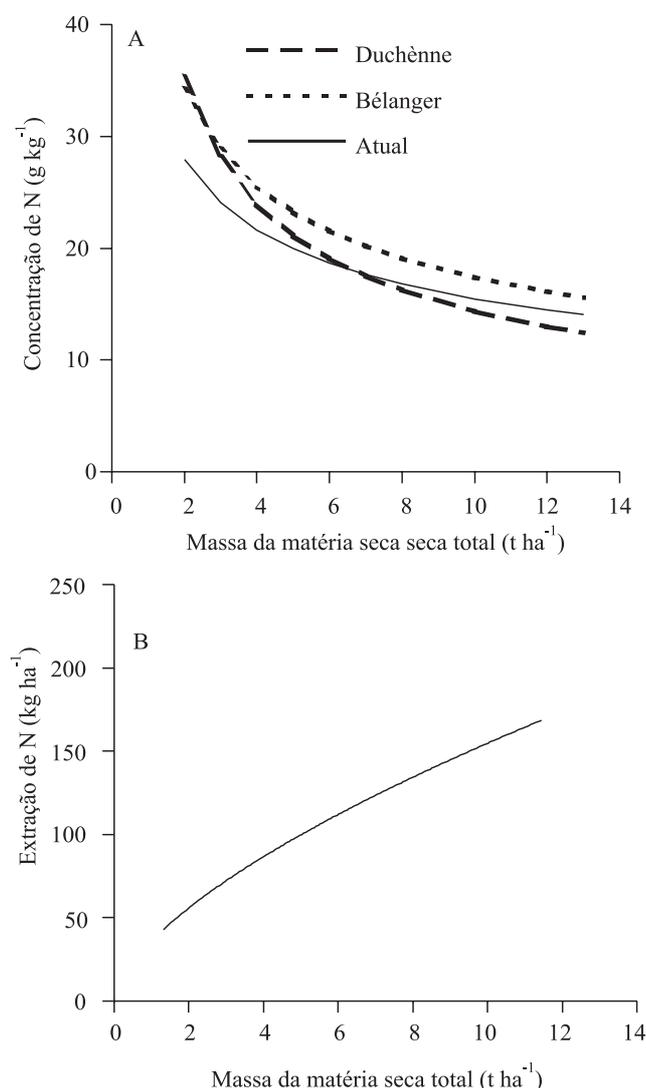


Figura 3. Curvas críticas de diluição atual [$N (g\ kg^{-1}) = 36MS^{-0,37}$], obtidas por Duchène et al. (1997) [$N (g\ kg^{-1}) = 52,1MS^{-0,56}$] e por Bélanger et al. (2001) [$N (g\ kg^{-1}) = 45,7MS^{-0,42}$] (A), e atual de acumulação [$N (kg\ ha^{-1}) = 36MS^{0,63}$] do N (B), no decorrer do ciclo de crescimento e desenvolvimento de plantas de batata.

coletadas as amostras a ser analisadas. Para culturas conduzidas na região e no período de primavera, essa estimativa pode ser realizada a partir da relação entre a acumulação de matéria seca total e o número de dias transcorridos desde o plantio (dap). Essa relação foi: $MS = 0,0912dap^2 - 7,2756dap + 189,67$ ($r^2 = 0,98$), até o limite de 100 dap.

As quantidades de N, a serem fornecidas pela adubação, podem ser estimadas conforme dados da Figura 3 B, de forma a ajustar essas quantidades às necessidades da cultura e reduzir as perdas por lixiviação no decorrer do ciclo. Essas quantidades são de até $183\ kg\ ha^{-1}$, para uma produtividade de tubérculos de $52,7\ t\ ha^{-1}$. A essas quantidades devem ser acrescidas as perdas inerentes às condições ambientais e de manejo da lavoura que determinam a eficiência de utilização do N pela cultura. No caso de outras cultivares, com modelos de crescimento diferentes dos padrões da 'Asterix', serão necessários ajustes que levem em consideração possíveis alterações na partição da matéria seca entre a parte aérea e os tubérculos.

Conclusões

1. Os valores ajustados dos coeficientes a e b, da curva crítica de diluição de batata 'Asterix' são 36,0 e -0,37, respectivamente.
2. A extração de nitrogênio, durante o ciclo de crescimento e desenvolvimento, pode ser estimada pelo modelo $N (kg\ ha^{-1}) = 36MS^{0,63}$.
3. As curvas ajustadas de diluição e de extração podem ser empregadas para determinar doses e épocas de aplicação do nitrogênio, em lavouras de batata 'Asterix', a partir da análise do teor nos tecidos da planta.

Referências

- ANDRIOLO, J.L. **Fisiologia das culturas protegidas**. Santa Maria: Ed. UFSM, 1999. 142p.
- BÉLANGER, G.W.; WALSH, J.R.; RICHARDS, J.E.; MILBURN, P.H.; ZIADI, N. Critical Nitrogen curve and nitrogen nutrition index for potato in Eastern Canada. **American Journal of Potato Research**, v.78, p.355-364, 2001.
- CALOIN, M.; YU, O. Analysis of the time course of change in nitrogen content in *Dactylis glomerata* L. using a model of plant growth. **Annals of Botany**, v.54, p.64-76, 1984.
- CHAMBENOIT, C.; LAURENT, F.; MACHET, J.M.; SCHEURER, O. (Coord.). **Fertilisation azotée de la pomme de terre**. Paris: Inra, 2002. 128p.

- DALSASSO, L.C.M.; HELDWEIN, A.; BURIOL, G.A.; SCHNEIDER, F.M.; STRECK, N.A.; DALMAGO, G.A. Consumo de água do tomateiro tipo salada em estufa plástica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.5, p.61-67, 1997.
- DUCHÈNNE, T.; MACHET, J.M.; MARTIN, M. Potatoes. In: LEMAIRE, G. (Ed.). **Diagnosis of the nitrogen status in crops**. Berlin: Springer-Verlag, 1997. p.119-130.
- GREENWOOD, D.J.; LEMAIRE, G.; GOSSE, G.; CRUZ, P.; DRAYCOTT, A.; NEETESON, J.J. Decline in percentage N of C₃ and C₄ crops with increasing plant mass. **Annals of Botany**, v.66, p.425-436, 1990.
- HARDWICK, R.C. The nitrogen content of plants and the self-thinning rule of plant ecology: a test of the core-skin hypothesis. **Annals of Botany**, v.60, p.439-446, 1987.
- JUSTES, E.; MARY, B.; MEYNARD, J.M.; MACHET, J.M.; THELIER-HUCHÉ, L. Determination of a critical nitrogen dilution curve for winter wheat crops. **Annals of Botany**, v.74, p.397-404, 1994.
- KOOMAN, P.L.; FAHEM, M.; TEGERA, P.; HAVERKORT, A.J. Effects of climate on different potato genotypes. 2. Dry matter allocation and duration of the growth cycle. **European Journal of Agronomy**, v.5, p.207-217, 1996.
- LEMAIRE, G.; GASTAL, F.; PLENET, D. Dynamics of N uptake and N distribution in plant canopies. Use of crop N status index in crop modelling. In: LEMAIRE, G. (Ed.). **Diagnostic procedures for crop N management**. Paris: Inra, 1997. p.16-29.
- LEMAIRE, G.; SALETTE, J. Relation entre dynamique de croissance et dynamique de prélèvement d'azote pour un peuplement de graminées fourragères. I. Étude de l'effet du milieu. **Agronomie**, v.4, p.423-430, 1984.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 173p.
- TEI, F.; BENINCASA, P.; GUIDUCCI, M. Critical nitrogen concentration in processing tomato. **European Journal of Agronomy**, v.18, p.45-55, 2002.
- YIN, X.; LANTINGA, E.A.; SHAPENDONK, H.C.M.; ZHONG, X. Some quantitative relationships between leaf area index and canopy nitrogen content and distribution. **Annals of Botany**, v.91, p.893-903, 2003.

Recebido em 20 de março de 2005 e aprovado em 7 de abril de 2006