

CARLA DO CARMO MILAGRES

**CRESCIMENTO DO SISTEMA RADICULAR, ÍNDICES DE NITROGÊNIO E
PRODUTIVIDADE DE TUBÉRCULOS DE BATATA, EM FUNÇÃO DO MODO DE
APLICAR NITROGÊNIO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do Programa de Pós-
graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de
Doctor Scientiae.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2015

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

M637c
2015

Milagres, Carla do Carmo, 1984-
Crescimento do sistema radicular, índices de nitrogênio e
produtividade de tubérculos de batata, em função do modo de
aplicar nitrogênio / Carla do Carmo Milagres. – Viçosa, MG,
2015.

ix, 75f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Paulo Cezar Rezende Fontes.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. *Solanum tuberosum*. 2. Batata - Cultivo. 3. Batata -
Produção. 4. Raízes (Botânica). 5. Planta- Efeito do nitrogênio.
6. Fertilização nitrogenada. 7. Uréia. I. Universidade Federal de
Viçosa. Departamento de Fitotecnia. Programa de Pós-graduação
em Fitotecnia. II. Título.

CDD 22. ed. 635.21

CARLA DO CARMO MILAGRES

**CRESCIMENTO DO SISTEMA RADICULAR, ÍNDICES DE NITROGÊNIO E
PRODUTIVIDADE DE TUBÉRCULOS DE BATATA, EM FUNÇÃO DO MODO DE
APLICAR NITROGÊNIO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do Programa de Pós-
graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de
Doctor Scientiae.

APROVADA: 19 de agosto de 2015.

Hermínia Emília Prieto Martinez

Carlos Nick Gomes

Renildes Lúcio Ferreira Fontes

Sânzio Mollica Vidigal

Paulo Cezar Rezende Fontes
(Orientador)

DEDICATÓRIA

Ao meu marido Laércio, ao qual serei grata para sempre, pelo amor, companheirismo, apoio, dedicação e incentivo, principalmente ajudando a me levantar e seguir em frente nas horas mais difíceis.

Aos meus pais Antônio Carlos e Eva pela imenso carinho e incentivo em todos momentos e que sempre fizeram o possível para que eu chegasse até aqui.

Ao meu irmão Ronaldo pela amizade, carinho e companheirismo de sempre, por estar sempre torcendo pelas minhas conquistas.

Chega um momento em sua vida, que você sabe:

Quem é imprescindível para você,

quem nunca foi,

quem não é mais,

quem será sempre!

Charles Chaplin

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Fitotecnia, pela oportunidade de realização do curso.

Ao CAPES e CNPq, pela concessão da bolsa.

Ao professor Paulo Cezar Rezende Fontes, pela oportunidade, orientação, ensinamentos e amizade.

Aos colegas do laboratório de Sementes pela amizade e agradável convívio.

Aos colegas, que estão perto e aos que estão longe, do laboratório de Nutrição Mineral de Plantas, pela ajuda nas avaliações, risadas no dia a dia e nos momentos de lazer, em especial, Heitor e Clarissa, que chegaram para alegrar ainda mais nossos dias.

Aos funcionários da Horta nova de pesquisa do Departamento de Fitotecnia e aos funcionários do laboratório de Nutrição Mineral, Domingos e Itamar, pelo auxílio fundamental nas análises.

A todos os meus familiares e amigos que de alguma forma ajudaram na realização deste trabalho.

Por fim, agradeço a todos que de uma forma ou de outra contribuíram para a realização desta tese.

Muito obrigada!

BIOGRAFIA

Carla do Carmo Milagres, filha de Antônio Carlos Milagres e Eva do Carmo Milagres, em 2004, iniciou o curso de Agronomia na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG, concluindo em janeiro de 2009. Em agosto de 2011, concluiu o curso de mestrado em Fitotecnia, na Universidade Federal de Viçosa, na área de nutrição mineral e adubação de plantas. E no mesmo ano iniciou o curso de doutorado na mesma área.

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT	viii
INTRODUÇÃO GERAL	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	4
CAPÍTULO 1 – PRODUTIVIDADE DE BATATA EM RESPOSTA À APLICAÇÃO E PARCELAMENTO DO NITROGÊNIO	6
1. INTRODUÇÃO.....	6
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	8
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	12
4. CONCLUSÕES.....	20
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21
CAPÍTULO 2 – ÍNDICES PARA O DIAGNÓSTICO DO ESTADO DE NITROGÊNIO DA PLANTA E PARA O PROGNÓSTICO DA PRODUÇÃO DE TUBÉRCULOS DE BATATA	24
1. INTRODUÇÃO.....	24
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	27
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4. CONCLUSÕES.....	49
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
CAPÍTULO 3 – DENVOLVIMENTO DO SISTEMA RADICULAR DE BATATA EM FUNÇÃO DO PARCELAMENTO DO NITROGÊNIO.....	56
1. INTRODUÇÃO.....	56
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	58
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
4. CONCLUSÕES.....	71
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72

RESUMO

MILAGRES, Carla do Carmo, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2015. **Crescimento do sistema radicular, índices de nitrogênio e produtividade de tubérculos de batata, em função do modo de aplicar nitrogênio.** Orientador: Paulo Cezar Rezende Fontes.

O objetivo do trabalho foi determinar o efeito do parcelamento do nitrogênio (N) sobre a produtividade de batata e sobre o desenvolvimento do sistema radicular da planta, além de selecionar índices para o diagnóstico do estado de N da planta e para o prognóstico da produção de tubérculos, das cultivares Ágata e Asterix. Os experimentos foram conduzidos na Horta Nova do Departamento de Fitotecnia (DFT) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), no período de junho a setembro de 2013. Os tratamentos constituíram-se por uma testemunha sem adubação nitrogenada (T1); dose de 220 kg ha⁻¹ de N parcelada em duas aplicações, 50% no plantio e 50% aos 22 dias após a emergência (T2); dose de 220 kg ha⁻¹ de N em dose única, aplicada no plantio (T3). Foi utilizada a ureia (44% de N) como fonte de N. Nos experimentos 1 e 2 os dados foram submetidos à análise de variância e as médias obtidas foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Ainda no experimento 2, os dados obtidos para os índices de N e de produtividade foram submetidos à análise de correlação linear de Pearson a 1 e 5% de probabilidade. O experimento 3 foi instalado no delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial 3 x 7, sendo três modos de aplicar o N e sete épocas de avaliação (10, 21, 34, 48, 62, 76 e 90 DAE), com três repetições. Para os três experimentos, o espaçamento foi 75 cm entre fileiras e 25 cm entre plantas. As variáveis avaliadas foram número, comprimento e massa seca de estólons; comprimento, área superficial, volume e massa seca de raízes. Também, aos 21 DAE, foram determinados os valores de índices de N na quarta-folha (número de folíolos; comprimento e largura; diâmetro de pecíolo; área foliar; massas fresca e seca; SPAD; clorofila; flavonoides; índice de balanço de N; teor de nitrato na seiva; teor de N na matéria seca e quantidade de N acumulada). Também foram determinadas na planta (número, comprimento, diâmetro, massas fresca e seca de haste; número de folhas; área foliar; massas fresca e seca de folhas e quantidade de N acumulada). Na colheita final, aos 90 DAE, foram avaliadas a produção de tubérculos das classes comercial e total. Para Ágata, não parcelar o N proporcionou as maiores massas fresca (1241,5 g/planta) e seca (190,9

g/planta) de tubérculos e o menor número total de tubérculos (13 tubérculos/planta). Para Asterix, que apresentou ciclo mais tardio, o parcelamento do N proporcionou o maior número total de tubérculos (29,3 tubérculos/planta) e maiores massas de tubérculos fresco (1608,0 g/planta) e seco (327,3 g/planta). Para Ágata, a avaliação do teor de nitrato na seiva do pecíolo da quarta folha, aos 21 DAE, pode ser indicada para estimar tanto o teor de N quanto a quantidade de N acumulada na quarta folha. Ainda para Ágata, a massa seca da quarta folha, aos 21 DAE, pode ser indicada para estimar a quantidade de N acumulada na planta. A massa seca e o diâmetro de pecíolo da quarta folha, avaliados aos 21 DAE, foram selecionados para prognosticar o número e a massa seca de tubérculos, respectivamente. Não foi possível selecionar nenhum índice para prognosticar a massa fresca de tubérculos de Ágata. Para Asterix, o índice SPAD, aos 21 DAE, foi selecionado para estimar o teor de N na quarta folha e a quantidade de N acumulada na quarta folha e na planta. Também, o índice SPAD é indicado para prognosticar o número e as massas fresca e seca de tubérculos de batata na colheita. Para ambas as cultivares, de modo geral, no final do desenvolvimento das plantas, o tratamento sem N propiciou a obtenção de maiores valores das características comprimento, área de superfície e volume radicular.

ABSTRACT

MILAGRES, Carla do Carmo, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August 2015. **Root growth, nitrogen indexes and potato tuber yield as a function of split nitrogen application.** Advisor: Paulo Cezar Rezende Fontes.

This study aimed to determine the effect of split nitrogen (N) application on potato tuber yield and root system development as well to select indexes for nitrogen (N) diagnosis and tubers yield prognosis for Ágata and Asterix cultivars. The experiments were conducted in Horta Nova, Department of Plant Science (DFT) on the Federal University of Viçosa (UFV), from June to September. Three split urea application treatments were: a control without N fertilization (T1); 220 kg ha⁻¹ of N split in two applications, 50% at planting and 50% at 22 days after plant emergence (T2) and 220 kg ha⁻¹ of N as a single rate, at planting (T3). Urea was the N source (44% N). In experiments 1 and 2, the data were submitted to analysis of variance and the means were compared by Tukey test at 5% probability. Also in experiment 2, the data obtained for N indexes and yield were submitted to Pearson linear correlation analysis, at 1 and 5% probability. The third experiment 3 was set up in a randomized block design, in factorial 3 x 7, three split urea application treatments and seven sampling date (10, 21, 34, 48, 62, 76 and 90 DAE), with three replications. Plant spacing was 75 cm between rows and 25 cm between plants for all the experiments. Variables evaluated were stolon number, length and dry weight; root length, surface area, volume and dry weight. At 21 DAE, they were also determined N indexes values on the fourth leaf (leaflet number; leaf length and width; stem diameter; area; fresh and dry weight; SPAD, chlorophyll and flavonoids readings; N balance index; sap nitrate content; N content in the dry matter and accumulated amount of N). Variables were also determined on the potato plant (stem number, length, diameter, fresh and dry weight; leaf number, area, fresh and dry weight; and accumulated amount of N). At the final harvest, 90 DAE, the commercial and total tuber yields were evaluated. For Ágata, non-split nitrogen application provides the largest tuber fresh (1241.5 g plant⁻¹) and dry matter (190.9 g plant⁻¹) and the lowest total tuber number (13 tubers plant⁻¹). For Asterix, which presented later cycle, N fertilizer split application resulted in the highest total tuber number (29.3 tubers plant⁻¹) and the largest tuber fresh (1608.0 g plant⁻¹) and dry weight (327.3 g plant⁻¹). For Ágata, at 21 DAE, the nitrate content in the sap of the fourth leaf petiole would be indicated to estimate both the N content as well, the accumulated amount

of N in the fourth leaf. The fourth leaf dry matter, at 21 DAE, would be indicated to estimate the accumulated amount of N in the plant. Fourth leaf petiole dry matter and diameter, evaluated at 21 DAE, were selected to predict the tuber number and dry weight, respectively. It was not possible to select any index to predict the Ágata tuber fresh weight. For Asterix, the SPAD index, at 21 DAE, was selected to estimate the N content in the fourth leaf and the N amount accumulated both in the fourth leaf and in the plant. In addition, the SPAD index is indicated to predict tuber number and both fresh and dry matter weight of potato tubers at harvest. For both cultivars, in general, at the end of plants development, the treatment without N favored to achieve higher values of root length, surface area and volume.

INTRODUÇÃO GERAL

A batata é o quarto alimento mais consumido no Brasil, após o arroz, o trigo e o milho. Essa hortaliça se destaca como a de maior relevância econômica para o país, com plantio em cerca de 130 mil hectares ano⁻¹, produzindo em média 3,6 milhões de toneladas (Agrianual, 2015).

Nesse cenário, a nutrição mineral desempenha papel importante, pois está relacionada ao adequado desenvolvimento da planta sendo a adubação uma das práticas agronômicas que mais afetam o crescimento das plantas e a produção de tubérculos de batata. Excessiva quantidade de fertilizante pode causar redução na lucratividade da cultura (Fontes et al., 2010), além de problemas ambientais (Shrestha et al., 2010).

Nas últimas décadas, a aplicação de fertilizantes nitrogenados aumentou significativamente o rendimento das culturas. Entretanto, a eficiência agronômica do uso do nitrogênio (N) é comprometida, em parte, por perdas que tem causado danos ao meio ambiente como a acidificação do solo e da água além da poluição do ar. O equilíbrio entre maximizar a produtividade e minimizar a poluição associada à aplicação de fertilizante nitrogenado às culturas avançará ao se compreender como determinadas variáveis respondem ao fertilizante nitrogenado aplicado no solo, dentre as quais o sistema radicular da planta. A configuração espacial ou a arquitetura do sistema radicular é complexa e determinante da produtividade das culturas. Pela complexidade e localização no solo, o estudo do sistema radicular das plantas tem sido um desafio para todas as áreas do conhecimento.

O sistema radicular tem funções importantes com destaque para a aquisição de nutrientes e água pelas plantas sendo o resultado do controle coordenado de fatores genéticos que regulam o crescimento, a organogênese e a ação de estímulos ambientais abióticos e bióticos. É conhecido que a nutrição nitrogenada afeta as funções da planta em todos os níveis incluindo crescimento, desenvolvimento e alocação de produtos do metabolismo. Também é conhecido que as plantas tem o potencial de adaptar-se às flutuações de disponibilidade de N pela modulação da capacidade de aquisição de nutrientes e pela alteração do metabolismo e morfologia dos órgãos, dentre os quais a raiz.

A absorção de N pelas plantas é dependente, em parte, de características anatômicas, morfológicas e fisiológicas do sistema radicular, determinantes do acesso e influxo do N na raiz. Essas características, por sua vez, são influenciadas pela concentração

iônica externa, principalmente quando a disponibilidade de N é de baixa a moderada, situação pouco comum na cultura da batata. É limitada a informação sobre o sistema radicular de batata sendo indicado que genótipos mais eficientes na utilização de N possuem sistema radicular significativamente maior do que genótipos menos eficientes (Sattelmacher et al., 1990) e que o desenvolvimento de raízes diminui em genótipos de batata com a redução do suprimento de N (Schum e Jansen, 2014).

O N é dinâmico na planta (Ruza et al., 2013), estando relacionado ao seu metabolismo, crescimento e desenvolvimento. É um dos nutrientes que causa maior impacto positivo na produtividade da cultura da batata. O N é absorvido principalmente nas formas de NO_3^- e NH_4^+ , formas minerais disponíveis no solo às plantas (Braun, et al., 2013), e que apresentam-se de forma dinâmica no solo, podendo ser perdidos por lixiviação ou volatilização.

O efeito de dose do N sobre a produtividade de tubérculos de batata tem sido amplamente investigado por diversos autores (Silva et al., 2009; Coelho et al., 2010; 2012; Souza et al., 2013; Silva et al., 2014), assim como o modo de aplicação do N (Busato, 2007; Cardoso et al., 2007; Milagres, 2011; Kawakami, 2015; Rens et al., 2015). As recomendações de adubação nitrogenada para a cultura da batata variam entre 60 a 250 kg ha^{-1} de N nos estados do Centro-Sul do Brasil (Fontes, 1997), em aplicações parceladas antes e depois do plantio. O conhecimento da resposta do sistema radicular da batata ao modo de parcelar o N pode ser ferramenta auxiliar na compreensão do efeito do parcelamento e no entendimento da nutrição de plantas (Wiren, 2011). O manejo da adubação nitrogenada envolve também a decisão de parcelar a dose de N o que pode melhorar a eficiência da absorção do nutriente pelas culturas.

A decisão de parcelar a dose de N pode ser suportada pelo resultado da avaliação do estado nitrogenado da planta. Essa avaliação pode ser feita por diversos modos, dentre os quais a análise do teor de N na matéria seca que é o procedimento padrão e por determinações indiretas, como avaliações do teor de clorofila utilizando-se índices apropriadamente calibrados (Fontes, 2001; 2011; Fontes e Araújo, 2007). Os principais índices indiretos disponíveis são SPAD, Dualex e teor de nitrato na seiva do pecíolo, além de índices biométricos como massa verde, massa seca e área foliar, entre outros (Fontes 2001; 2011).

Os valores dos índices tanto para o diagnóstico do estado de N da planta quanto para o prognóstico da produção de tubérculos são específicos para a interação ambiente e cultivar de batata (Fontes, 2011) e acredita-se que a escolha do índice possa ser influenciada pelo parcelamento da dose de N que causa diferenciada disponibilidade inicial do N no solo.

Assim, os objetivos da tese são:

- a) Determinar o efeito do modo de aplicar nitrogênio, parcelado ou não, sobre a produtividade total e comercial da batata;
- b) Selecionar índices medidos na 4^o folha e na parte aérea da planta, aos 21 dias após a emergência, indicativos da disponibilidade de N adicionado ao solo;
- c) Indicar os índices mais apropriados para o diagnóstico do estado de N da planta e para o prognóstico da produtividade de tubérculos de batata;
- d) Caracterizar o efeito do modo de aplicar N sobre o desenvolvimento, crescimento e morfologia de raízes da batateira.

A tese foi dividida em três capítulos:

Capítulo 1: Produtividade de batata em resposta à aplicação e parcelamento do nitrogênio.

Capítulo 2: Índices para o diagnóstico do estado de nitrogênio da planta e para o prognóstico da produção de tubérculos de batata.

Capítulo 3: Morfologia de raiz de batata em função do parcelamento do nitrogênio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIANUAL - **Anuário da Agricultura Brasileira**, 2015.

BRAUN, H.; COELHO, F.S.; SILVA, M.C.C.; FONTES, P.C.R.; CECON, P.R.; BUSATO, C. **Absorção, metabolismo e diagnóstico do estado de nitrogênio em plantas de batata**. Revista Ciência e Agrotecnologia, v. 56, n. 3, p. 185-195, 2013.

BUSATO, C. **Características da planta, teores de nitrogênio nas folhas e produtividade de tubérculos de cultivares de batata em função de doses de nitrogênio**. Viçosa: UFV (Mestrado em Fitotecnia), 2007.

CARDOSO, A.D.; ALVARENGA, M.A.R.; MELO, T.L.; VIANA, A.E.S. **Produtividade e qualidade de tubérculos de batata em função de doses e parcelamento de nitrogênio e potássio**. Revista Ciência e Agrotecnologia, v.31, n.6, p.1729-1736, 2007.

COELHO, F.S.; FONTES, P.C.R.; FINGER, F.L.; CECON, P.R. **Avaliação do estado nutricional do nitrogênio em batateira por meio de polifenóis e clorofila na folha**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 47, n. 4, p. 584-592, 2012.

COELHO, F.S.; FONTES, P.C.R.; PUIATTI, M.; NEVES, J.C.L.; SILVA, M.C.C. **Dose de nitrogênio associada à produtividade de batata e índices do estado de nitrogênio na folha**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 34, p. 1175-1183, 2010.

FONTES, P.C.R. **Diagnóstico do estado nutricional das plantas**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 122 p., 2001.

FONTES, P.C.R. **Nutrição mineral de plantas: avaliação e diagnose**. Viçosa: Editora Arka, 296 p., 2011.

FONTES, P.C.R. **Preparo do solo, nutrição mineral e adubação da batateira**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 42 p., 1997.

FONTES, P.C.R., ARAÚJO, C. **Adubações nitrogenada de hortaliças – princípios e práticas com o tomateiro**. Viçosa: Editora UFV, 148 p., 2007.

FONTES, P.C.R.; BRAUN, H.; BUSATO, C.; CECON, P.R. **Economic optimum nitrogen fertilization rates and nitrogen fertilization rate effects on tuber characteristics of potato cultivars**. Potato Research. v.53, p. 167-179, 2010.

KAWAKAMI, J. **Redução da adubação e doses e parcelamento de nitrogênio no crescimento e produtividade de batata**. Horticultura Brasileira v. 33,n.2 p. 168-173, 2015.

MILAGRES, C.C. **Índices de nitrogênio na planta e produção de batata-semente básica influenciados pelo parcelamento do fertilizante nitrogenado**. Viçosa: UFV (Mestrado em Fitotecnia), 2011.

RENS, L.R.; ZOTARELLI, L.; CANTLIFFE, D.J.; STOFFELLA, P.J.; GERGELA, D.; FOURMAN, D. **Biomass Accumulation, Marketable Yield, and Quality of Atlantic Potato in Response to Nitrogen**. Agronomy Journal, v. 107, p. 931-942, 2015.

RUZA, A.; SKRABULE, I.; VAIVODE, A. **Influence of nitrogen on potato productivity and nutrient use efficiency.** Proceedings of the latvian academy of sciences, v. 67, n.3, p. 247–253, 2013.

SATTELMACHER, B., KLOTZ, F., MARSCHNER, H. **Influence of the nitrogen level on root growth and morphology of two potato varieties differing in nitrogen acquisition.** Plant Soil, v.123, p.131-137. 1990.

SCHUM, A.; JANSEN, G. **In vitro method for early evaluation of nitrogen use efficiency associated traits in potato.** Journal of Applied Botany and Food Quality, v. 87, p.256-264. 2014.

SHRESTHA, R.K.; COOPERBAND, L.R.; MACGUIDWIN, A.E. **Strategies to reduce nitrate leaching into groundwater in potato grown in sandy soils: case study from North Central USA.** American Journal of Potato Research v. 87, p. 229-244, 2010.

SILVA, G.O.; PEREIRA, A.S.; SUINAGA, F.A.; PONIJALEKI, R. **Adubação nitrogenada no rendimento da cultivar de batata BRS Ana.** Horticultura Brasileira v. 32, n.1, p. 107-110, 2014.

SILVA, M.C.C.; FONTES, P.C.R.; MIRANDA, G.V. **Índice SPAD e produção de batata, em duas épocas de plantio, em função de doses de nitrogênio.** Horticultura Brasileira, v. 27, n. 1, p. 17-22 2009.

SOUZA, C.B.S.; FONTES, P.C.R.; MOREIRA, M.A.; CECON, P.R.; PUIATTI, M. **Produção de minitubérculos de batata semente básica em hidroponia em função de doses de nitrogênio.** Revista Ciência Agronômica, v. 44, n.4, p. 714-723, 2013.

WIRÉN, N.V. **Grand challenges in plant nutrition.** Specialty grand challenge article, v. 2, p. 1-3, 2011.

CAPÍTULO 1 – PRODUTIVIDADE DE BATATA EM RESPOSTA À APLICAÇÃO E PARCELAMENTO DO NITROGÊNIO

1. INTRODUÇÃO

A região sudeste do Brasil é o maior polo nacional produtor de batata, com destaque para o Estado de Minas Gerais, que responde por 53% do volume total produzido no país (Agrianual, 2015). A cultura da batata está entre as 18 principais culturas comerciais no Brasil, é a que apresenta maior consumo de fertilizantes por unidade de área (Mesquita et al., 2012). Adicionalmente, a cultura da batata apresenta elevada produção de tubérculos por unidade de área, alta taxa de crescimento e ciclo relativamente curto. Devido a isso e para o adequado desenvolvimento das plantas, a nutrição é fator essencial.

Dentre os nutrientes mais requeridos pelas plantas de batata, destaca-se o nitrogênio (N), que participa de várias etapas dos processos metabólicos da planta e de vários compostos, como os ácidos nucleicos, aminoácidos e clorofila. Os órgãos que apresentam maiores atividades metabólicas são aqueles que possuem as maiores concentrações deste nutriente (Taiz e Zeiger, 2004), sendo encontrado principalmente na forma orgânica, principalmente como aminoácidos e proteínas. Também, os reguladores de crescimento contêm N e a nutrição nitrogenada afeta os níveis endógenos de giberelinas, ácido abscísico e citocininas, o que faz com que esse nutriente desempenhe papel fundamental na tuberização da batateira (Fontes, 1997).

A adubação nitrogenada na cultura da batata é feita, principalmente, pela aplicação de sulfato de amônio ou de ureia, sendo que a dose aplicada influencia o teor e a exportação de N pelos tubérculos (Braun et al., 2011) e também a eficiência de utilização pela planta. A ureia é o fertilizante nitrogenado mais utilizado no Brasil, devido a sua concentração, menor custo e facilidade de fabricação, em relação aos demais adubos que contêm esse nutriente. No solo, o N da ureia transformasse em amônia (NH_3) gasosa e nitrato (NO_3^-).

O N aplicado como adubo que não é absorvido pela planta pode ser perdido, seja por lixiviação ou volatilização, principalmente em solos arenosos devido à intensa precipitação. Uma das maneiras de diminuir a probabilidade de perda de N é a aplicação do fertilizante nitrogenado de forma parcelada. Há estudos com N marcado que têm demonstrado que a aplicação parcelada do N, em período chuvoso, na cultura do arroz quase sempre proporciona maior eficiência de absorção desse nutriente do que a aplicação

total antes do plantio (Detatta et al., 1990). Na cultura da batata, a aplicação parcelada de N, no plantio e no início da tuberização, é mais aceita e, aparentemente, mais eficiente do que a aplicação total no plantio, pois favorece a absorção do nutriente e aumenta o peso do tubérculo e, conseqüentemente, a produção (Rodrigues et al., 2005).

Assim, em condições de campo, o parcelamento da dose de N é prática comumente proposta para melhorar a eficiência do uso do N, principalmente pela redução na probabilidade de perdas, além de redução do efeito salino no meio (Steiber e Mahler, 2003; Davenport et al., 2005; Barcelos et al., 2007). Apesar de variações, o parcelamento do N tradicionalmente mais utilizado na cultura da batata é aplicar parte do adubo no momento do plantio e o restante da dose imediatamente antes da amontoa.

Na literatura há inúmeros trabalhos relatando o efeito de doses de N sobre a cultura da batata (Cardoso et al., 2007; Mallmann et al., 2011; Coelho et al., 2012; 2013; Luz et al., 2014), mas poucos trabalhos são encontrados sobre o parcelamento da ureia na produção de tubérculos de batata (Kawakami, 2015). O autor mostrou que o fornecimento de forma parcelada da ureia, metade no plantio e metade em cobertura, em plantas de batata, resultou em alta produtividade de tubérculos mas não foi diferente da aplicação total do adubo no momento do plantio.

Além da dose e do parcelamento, a cultivar também influencia o manejo de N por apresentar resposta diferente de crescimento e absorção. A cultivar Asterix é menos eficiente do que a cultivar Ágata na utilização do N contido na formulação aplicada, pois exige maiores quantidades de N para atingir a máxima produtividade de tubérculos (Fernandes et al., 2011).

O objetivo do trabalho foi determinar o efeito da adubação nitrogenada e do parcelamento da ureia sobre a produtividade total e comercial das batata Ágata e Asterix.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Localização e caracterização da área experimental

Os experimentos foram conduzidos na Horta Nova do Departamento de Fitotecnia (DFT) da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo câmbico, e suas características químicas e físicas foram determinadas pela análise de amostras das camadas de 0 a 20 cm de profundidade.

Foram instalados, simultaneamente, dois experimentos no campo. Cada um correspondendo a uma cultivar de batata (*Solanum tuberosum* L.): Ágata e Asterix. A cultura foi conduzida segundo as recomendações de manejo preconizadas por Fontes (2005), onde foram feitas capinas manuais, irrigação por aspersão e o controle fitossanitário.

Material de propagação

O material de propagação foi tubérculo semente certificado, devidamente uniformizado e brotado naturalmente, adquirido de firma comercial produtora de semente, com massa média de 70 g cada tubérculo.

Tratamentos

Os tratamentos foram constituídos de por uma testemunha sem adubação nitrogenada, 220 kg ha⁻¹ de N parcelados em duas aplicações e 220 kg ha⁻¹ de N aplicados em dose única no plantio, sendo a fonte de N utilizada a ureia (44% de N).

Tratamento 1 – 0% de N (Testemunha sem adubo);

Tratamento 2 – 50% da dose de N no plantio + 50% da dose de N aos 22 (DAE);

Tratamento 3 – 100% da dose de N no plantio.

O experimento foi instalado no delineamento em blocos casualizados, com três repetições.

Instalação e condução do experimento

O solo foi preparado por uma aração utilizando-se arado de aiveca e duas passagens de grade niveladora. Em seguida, o solo foi sulcado e feita a adubação de pré-plantio com base na análise de solo, utilizando-se as seguintes doses dos respectivos nutrientes,

aplicadas no sulco de plantio: 384 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio (60% de K₂O); 1.800 kg ha⁻¹ de superfosfato simples (18% de P₂O₅); 200 kg ha⁻¹ de sulfato de magnésio (10% de Mg); 10 kg ha⁻¹ de boráx (10% de B); 10 kg ha⁻¹ de sulfato de zinco (20% de Zn); 10 kg ha⁻¹ de sulfato de cobre (24% de Cu); 0,5 kg ha⁻¹ de molibdato de sódio (39% de Mo).

Após a aplicação dos fertilizantes, foi adicionado ao sulco de plantio o adubo nitrogenado, correspondendo aos três tratamentos utilizados: 0, 110 e 220 kg ha⁻¹ de N, tratamentos 1, 2 e 3, respectivamente.

Após os fertilizantes serem aplicados no sulco e misturados, também foi aplicado ao solo o inseticida Carbofuran e logo em seguida feito o plantio dos tubérculos, no dia 20 de junho de 2013.

Cada parcela foi constituída de dezesseis plantas distribuídas em quatro linhas, espaçadas de 0,75 m entre fileiras e 0,25 m entre plantas, com dimensões de 1,0 m de comprimento x 3,0 m de largura e ocupando a área total de 3,0 m². As quatro plantas centrais foram consideradas úteis e as restantes foram consideradas bordaduras.

Durante a condução do experimento foi realizado o controle de pragas (plantas daninhas, insetos e doenças) sendo utilizados os seguintes princípios ativos Deltametrina, Methamidophos, Cymoxanil + Mancozeb, Clorotalonil, Fluazinam e Oxicloreto de cobre, de acordo com a necessidade.

As irrigações foram realizadas por aspersão convencional, no período da manhã. O solo foi mantido com umidade próxima à capacidade de campo, com suspensão da irrigação uma semana antes da colheita. A amontoa foi realizada aos 22 dias após a emergência (DAE).

Aos 22 DAE, antes da adubação de cobertura, e depois da colheita final, foram retiradas amostras de solo da área de cada parcela experimental para análise de condutividade elétrica. As amostras de solo foram retiradas na linha de plantio, com um trado de solo tipo holandês, na camada de 0 a 20 cm de profundidade, logo em seguida essas amostras foram levadas para o laboratório.

As colheitas das cultivares Ágata e Asterix foram realizadas aos 90 e 102 DAE, respectivamente. Com as ramas completamente secas, as plantas foram colhidas e os tubérculos arrancados. Estes permaneceram sobre o solo por 2 horas para o secamento da película, sendo posteriormente levados para um galpão, onde foram separados em comerciais e não comerciais, contados, pesados e avaliados.

1. Características avaliadas

A1. Número de tubérculos totais e comerciais: foi contado o número de tubérculos, mas antes, estes foram separados em classes 1, 2, 3 e 4 de acordo com o maior diâmetro transversal (PORTARIA N° 69, de 21/02/1995 do MAPA). Tubérculo 1 (≥ 85 mm); 2 (≥ 45 mm e < 85 mm); 3 (≥ 33 e < 45 mm); 4 (< 33 mm). Foram considerados tubérculos de categoria comercial os que pertenceram às classes 1, 2 e 3. Os tubérculos não-comerciais foram considerados aqueles pertencentes à classe 4, além dos podres, atacados por pragas e doenças e com defeitos (esverdeamento, embonecamento ou rachaduras).

A2. Massa fresca e seca de tubérculos totais e comerciais: a massa fresca (g/planta) dos tubérculos das categorias comerciais foram determinadas pela pesagem em balança analítica. Após a pesagem, os tubérculos foram cortados em pequenos pedaços, colocadas em placas de Petri e deixadas na mesa do laboratório para a secagem parcial. Posteriormente, as amostras foram colocadas em estufa de circulação forçada de ar, a 70°C, onde permaneceram até atingir peso constante, quando foi determinada a massa da matéria seca e, posteriormente calculado o teor de matéria seca nos tubérculos.

A3. Massa média de tubérculos totais e comerciais: a massa média (g/planta) dos tubérculos totais e comerciais foram determinadas pela divisão da produção total e comercial dos tubérculos pelo número de tubérculos por planta.

A4. Porcentagem de água nos tubérculos totais e comerciais: para a obtenção da porcentagem (%) de água nos tubérculos foi utilizada a seguinte fórmula:

$$\text{Porcentagem } \text{águ}a = \frac{\text{massa fresca} - \text{massa seca}}{\text{massa fresca}} \times 100$$

Onde:

massa fresca = peso dos tubérculos antes da secagem (g)

massa seca = peso dos tubérculos após a secagem a 70°C em estufa (g)

B1. Condutividade elétrica

No laboratório, as amostras de solo retiradas, entre plantas, aos 21 DAE e na colheita foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de malha 2 mm. As leituras de condutividade elétrica do extrato de saturação foram feitas com um condutivímetro de bancada.

Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias obtidas foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Número de tubérculos totais e comerciais

Número de tubérculos totais e comerciais em função dos tratamentos de aplicação do N, das cultivares de batata Ágata e Asterix, estão apresentados na Tabela 1.

No T1, sem adição de fertilizante nitrogenado, o teor de N no solo foi insuficiente para propiciar a formação de número elevado de tubérculos como ocorreu no T2. É sabido que a planta necessita de quantidades adequadas de N para os processos metabólicos e formação de vários compostos, como aminoácidos, ácidos nucleicos, proteínas, enzimas e clorofila (Taiz e Zeiger, 2004; Epstein e Bloom, 2005). Teores baixos de N no solo acarretam menor crescimento e desenvolvimento das plantas e, como consequência, em baixas produtividades (Coelho et al., 2010; 2012; Silva et al., 2014; Kawakami, 2015).

Para a cultivar Ágata, adubar com N de forma parcelada (T2) aumentou o número de tubérculos totais e comerciais. Já para a cultivar Asterix, o parcelamento (T2) proporcionou maior número de tubérculos totais do que a aplicação em dose única (T3) onde a concentração de N até amontoa era maior. Quanto ao número de tubérculos comerciais, não houve diferença significativa (Tabela 1). Em hidroponia, dose excessiva de N propiciou menor número de tubérculo de batata por planta (Medeiros e Cunha, 2003).

Pesquisas realizada por Silva (2007), tanto na época das águas quanto da seca, não mostraram diferença significativa quanto ao número de tubérculos totais e comerciais em função dos modos de aplicação de N. A resposta da batateira ao modo de aplicar o fertilizante varia de acordo com a cultivar, o que pode estar relacionado à capacidade de absorção de N pela planta (Zebarth et al., 2004), como verificado para as cultivares Ágata e Asterix.

Em ambas as cultivares, no T3, o teor de N no solo foi também inadequado para propiciar a formação de número elevado de tubérculos em relação a testemunha (Tabela 1). Isso provavelmente foi devido temporariamente à maior condutividade elétrica (CE) da solução do solo (Tabela 2). No T3, aos 22 DAE, os valores da CE da solução do solo foram $0,575 \text{ dS m}^{-1}$ e $0,656 \text{ dS m}^{-1}$ nas áreas onde cresceram as cultivares Ágata e Asterix, respectivamente. Tais valores são 72 e 100% maiores do que a CE verificada no solo sem aplicar N. Com o passar do tempo, na colheita, os valores correspondentes foram 35 e 18% mais elevados, respectivamente para o solo onde estavam as duas cultivares. O acréscimo no valor da CE da solução do solo causado pela aplicação total do N no momento do

plantio (T3) está também associado à redução do número de estólons e a massa seca de raízes (dados apresentados no Cap. 3).

A cultura da batata é moderadamente sensível à salinidade do solo, apresentando queda de produtividade em solos com alta CE. Em sistema hidropônico, à medida que se aumentou a CE de 0,3; 0,6 e 1,2 dS m⁻¹, houve diminuição do número de tubérculos de diâmetro maior que 2,5 por planta; por outro lado houve aumento no número de tubérculos com diâmetro menor que 2,5 (Goins e Yorio, 2004). No presente experimento, a CE alcançou nível limitado de 0,656 dS m⁻¹, aquém do valor de 1,6-1,7 dS m⁻¹ encontrado por Lima (1997) e Reis Jr. et al. (1999), considerando que este valor de CE afeta a produtividade de batata. CE, entre 2,3 e 3,6 dS m⁻¹, reduziu a superfície foliar da planta de batata (Karam et al., 1998), enquanto 7,0 dS m⁻¹ atrasou a emergência, o desenvolvimento da raiz e da parte aérea (Levy et al., 1993). Porém, níveis de salinidade até 6 dS m⁻¹ melhoraram a qualidade comercial dos tubérculos de batata, devido à redução da porcentagem não comercial dos mesmos (Nadler e Heuer, 1995).

Tabela 1 - Números de tubérculos totais e comerciais (n/planta), em função do modo de parcelamento do adubo nitrogenado em batata, cultivares Ágata e Asterix, UFV, Viçosa, MG, 2015.

Variável	Modos de aplicação			Média	CV
	T1	T2	T3		
	0% N	50% N + 50% N	100% N		
	Cv. Ágata				
Número de tubérculos totais	15,5 b	20,3 a	13,0 b	16,28	7,17
Número de tubérculos comerciais	4,5 c	11,33 a	7,0 b	7,61	8,76
	Cv. Asterix				
Número de tubérculos totais	22,5 b	29,3 a	20,0 b	23,94	5,02
Número de tubérculos comerciais	12,0 b	19,3 a	15,7 ab	15,67	8,24

Médias seguidas de mesma letra, nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 2 – Condutividade elétrica (dS m^{-1}) da solução saturada do solo na linha de plantio, aos 22 dias após a emergência (DAE) e na colheita final, em função do parcelamento do adubo nitrogenado em batata, cultivares Ágata e Asterix, UFV, Viçosa, MG, 2015.

Cultivar	Modos de aplicação			Média	CV (%)
	T1	T2	T3		
	0% N	50% N + 50% N	100% N		
	22 DAE				
Ágata	0,334 b	0,457 ab	0,575 a	0,455	17,31
Asterix	0,328 b	0,364 b	0,656 a	0,449	13,34
	COLHEITA FINAL				
Ágata	0,264 b	0,352 a	0,357 a	0,324	4,62
Asterix	0,265 b	0,385 a	0,312 a	0,321	8,10

Médias seguidas de mesma letra, nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Massas fresca, seca, média e porcentagem de água em tubérculos totais

Massas fresca, seca e média de tubérculos totais e porcentagem de água nos tubérculos em função dos tratamentos nas cultivares de batata Ágata e Asterix, estão apresentados na Tabela 3.

Não houve efeito da aplicação de N sobre a massa fresca de tubérculos totais para a cultivar Ágata. Enquanto que para a cultivar Asterix adubar com N (T2 e T3) aumentou a massa fresca de tubérculos totais. Enquanto que, a porcentagem de água nos tubérculos totais em ambas as cultivares não foi influenciada pela aplicação de N.

Para a cultivar Asterix, adubar com N aumenta a massa seca de tubérculos totais. O T3 apresentou maior massa média de tubérculos totais, para ambas as cultivares e massa seca de tubérculos totais, cultivar Ágata, isso devido ao menor número de tubérculos desenvolvidos (Tabela 1), pois, quanto menor o número de tubérculos, menor a competição por fotoassimilados, e maior o desenvolvimento destes. Porém, Cardoso et al., 2007 observou que o parcelamento do adubo nitrogenado não afetou significativamente o teor de massa seca dos tubérculos de batata. Já Mustonen et al. (2010), em condições de campo, concluiu que 120 kg ha⁻¹ de N reduziu teor de matéria seca de tubérculos.

Alguns estudos também mostram que altas doses de N favorecem a redução do teor de massa seca de tubérculos de batata (Mallmann, 2001). Em diversos trabalhos, foi observado que o adubo nitrogenado aumenta o rendimento de tubérculos de batata (Silva et al., 2009; Coelho et al., 2010; Fontes et al., 2010), enquanto em outros trabalhos, o parcelamento do N não eleva a produtividade de batata (Hong et al., 2003; Barcelos et al., 2007; Silva et al., 2009).

Tabela 3 - Massas fresca, seca e média de tubérculos totais (g/planta) e porcentagem de água nos tubérculos totais (%) em função do parcelamento do adubo nitrogenado em batata, cultivares Ágata e Asterix. UFV, Viçosa, MG, 2015.

Variável	Modos de aplicação			Média	CV
	T1 0% N	T2 50% N + 50% N	T3 100% N		
Cultivar Ágata					
Massa fresca de tubérculos totais	1055,5 a	1114,3 a	1241,5 a	1137,1	7,87
Massa seca de tubérculos totais	155,4 b	147,9 b	190,9 a	164,7	7,23
Massa média de tubérculos totais	68,6 b	54,7 b	95,5 a	71,6	9,81
Porcentagem de água nos tubérculos	85,2 a	86,7 a	84,6 a	85,4	2,15
Cultivar Asterix					
Massa fresca de tubérculos totais	941,5 b	1608,0 a	1502,0 a	1350,5	7,53
Massa seca de tubérculos totais	201,8 b	327,3 a	310,9 a	280,0	8,39
Massa média de tubérculos totais	41,8 c	54,8 b	75,0 a	57,23	2,98
Porcentagem de água nos tubérculos	78,6 a	79,6 a	79,3 a	79,2	0,89

Médias seguidas de mesma letra, nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Massas fresca, seca, média e porcentagem de água em tubérculos comerciais

Massas fresca, seca e média de tubérculos comerciais e porcentagem de água nos tubérculos em função do modo de aplicação de N, das cultivares de batata Ágata e Asterix, estão apresentados na Tabelas 4.

Para ambas as cultivares, há efeito de aplicação do N para as características avaliadas massas fresca, seca e média de tubérculos comerciais, não havendo diferença apenas quanto a porcentagem de água.

Para a cultivar Asterix adubar com N aumenta as massas fresca e seca de tubérculos comerciais. O N fornecido à planta em uma única dose pode aumentar a sua quantidade perdida seja por volatilização ou lixiviação e o parcelamento do N tende a diminuir essa perda. Por outro lado Kawakami (2015), observou que não houve efeito do parcelamento da adubação nitrogenada sobre o número, a massa fresca e seca de tubérculos comerciais, para a cultivar Ágata.

O T3 apresentou plantas com maior massa seca e média de tubérculos comerciais, isso se deve ao menor número de tubérculos desenvolvidos (Tabela 1), pois, com menor número de tubérculos, menor será a competição por fotoassimilados, e maior o desenvolvimento destes, reduzindo, conseqüentemente a massa fresca de tubérculos não comerciais.

Houve efeito positivo da aplicação de N sobre massa de tubérculos comerciais para ambas a cultivares. Por outro lado, não se observou efeito positivo do parcelamento. Efeito do parcelamento do fertilizante nitrogenado é relatado por Cardoso et al. (2007), em que a forma parcelada (50% no plantio e 50% na tuberização) da dose de N foi a que apresentou melhor resposta na produtividade de tubérculos (Classes I e II). Outros autores também concluíram que o parcelamento do fertilizante nitrogenado, aplicação de 2/3 (80 kg ha⁻¹) no plantio e 1/3 (40 kg ha⁻¹) em cobertura, está associado positivamente com a produtividade (Jadoski et al., 2010; Mallmann et al., 2011).

Tabela 4 - Massas fresca, seca e média de tubérculos comerciais (g/planta), porcentagem de água nos tubérculos comerciais (%), em função do parcelamento do adubo nitrogenado em batata, cultivar Ágata. UFV, Viçosa, MG, 2015.

Variável	Modos de aplicação			Média	CV
	T1 0% N	T2 50% N + 50% N	T3 100%N		
Cultivar Ágata					
Massa fresca de tubérculos comerciais	803,2 b	955,3 ab	1169,5 a	976,0	9,72
Massa seca de tubérculos comerciais	118,7 b	126,4 b	179,9 a	141,5	8,23
Massa média de tubérculos comerciais	180,6 a	84,27 b	168,0 a	144,3	9,89
Porcentagem de água nos tubérculos	84,1 a	85,3 a	85,4 a	84,9	1,46
Cultivar Asterix					
Massa fresca de tubérculos comerciais	655,7 b	1399,3 a	1444,0 a	1166,3	9,46
Massa seca de tubérculos comerciais	140,5 b	284,8 a	298,9 a	241,4	10,61
Massa média de tubérculos comerciais	54,6 c	72,5 b	92,1 a	73,1	4,37
Porcentagem de água nos tubérculos	78,9 a	79,2 a	79,3 a	79,1	1,15

Médias seguidas de mesma letra, nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

No presente trabalho, em geral, a melhor resposta para as características de produtividade avaliadas foi obtida com o tratamento não parcelado (T3), para ambas cultivares. Nesse tratamento, apesar de proporcionar menor número de tubérculos, foi obtida maior massa média de tubérculos, o que é interessante, pois não adianta ter muitos tubérculos, porém de classe inferior e que não são aceitos no mercado. O que se comprova pelas outras características avaliadas, sendo que a classe comercial são os tubérculos obtidos pela soma das classes de tamanho I, II e III, sendo os tubérculos da classe I e II os mais procurados nas gondolas dos supermercados. Embora considere a classe II a mais valorizada.

Além disso, o tratamento 100% de N no plantio (T3) foi o que proporcionou maior massa seca de tubérculos, característica importante para o setor industrial, sendo critério preponderante para a indústria classificar os tubérculos.

Diante dos dados obtidos para as cultivares Ágata e Asterix, recomenda-se aplicar 100% de N no plantio, visto que a aplicação em cobertura não aumentou a produção de tubérculos. Além disso, a aplicação de N em uma só operação, no plantio, contribui para a redução nos custos de produção (Oliveira et al., 2006).

4. CONCLUSÕES

Para ambas as cultivares:

- ✓ Adubar com N aumenta a massa fresca de tubérculos comerciais e diminui a massa fresca de tubérculos não comerciais.
- ✓ Parcelar o N propicia a formação de mais tubérculos do que não adubar ou não parcelar, no entanto reduz a massa média dos tubérculos, com incremento do percentual de tubérculos não comerciais e aplicar toda a dose de N no plantio aumenta a massa média de tubérculos da classe comercial.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIANUAL - **Anuário da Agricultura Brasileira**, 2015.

BARCELOS, D.M.; GARCIA, A.; MACIEL Jr., V.A. **Análise de crescimento da cultura da batata submetida ao parcelamento da adubação nitrogenada em cobertura, em um Latossolo Vermelho-Amarelo**. Ciência e Agrotecnologia, vol.31, n.1, p.21-27, 2007.

BRAUN, H.; FONTES, P. C. R.; BUSATO, C.; CECON, P. R. **Teor e exportação de macro e micronutrientes nos tubérculos de cultivares de batata em função de doses do nitrogênio**. Bragantia, vol. 70, p. 50-57, 2011.

CARDOSO, A.D.; ALVARENGA, M.A.R.; MELO, T.L.; VIANA, A.E.S. **Produtividade e qualidade de tubérculos de batata em função de doses e parcelamento de nitrogênio e potássio**. Revista Ciência e Agrotecnologia, vol.31, n.6, p.1729-1736, 2007.

COELHO, F.S.; FONTES, P. C. R.; PUIATTI, M.; NEVES, J. C. L.; SILVA, M. C. C. **Dose de nitrogênio associada à produtividade de batata e índices do estado de nitrogênio na folha**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 34, p. 1175-1183, 2010.

COELHO, F.S.; FONTES, P.C.R.; CECON, P.R.; BRAUN, H.; SILVA, I.R. **Valor e predição do nível crítico de índices para avaliar o estado nitrogenado da batateira**. Revista Ciência Agronômica, v. 44, n. 1, p. 115-122, 2013.

COELHO, F.S.; FONTES, P.C.R.; FINGER, F.L.; CECON, P.R. **Avaliação do estado nutricional do nitrogênio em batateira por meio de polifenóis e clorofila na folha**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 47, n. 4, p. 584-592, 2012.

DAVENPORT, J.R.; MILBURN, P.H.; ROSEN, C.J.; THORTON, R. E. **Environmental impacts of potatoes nutrient requirements**. American Journal of Potato Research, vol. 82, p.321-328, 2005.

DE DATTA, S.K.; BURESH, R.J.; OBCEMEA, W.N.; CASTILLO, E.G. **Nitrogen -15 balances and nitrogen fertilizer use efficiency in upland rice**. Fertilizer research, v. 26, n.1, p. 179-187, 1990.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Mineral nutrition of plants: principles and perspective**. 2ª edição, Sinauer Associates, 400 p., 2005.

FERNANDES, A.M.; SORATTO, R.P.; SILVA, B.L. **Extração e exportação de nutrientes em cultivares de batata: I – Macronutrientes**. Revista Brasileira da Ciência do Solo, vol.35, p. 2039-2056, 2011.

FONTES, P.C.R. **Cultura da batata**. In: FONTES, P.C.R. (Ed) Olericultura: teoria e prática. Viçosa: UFV, p.323-343, 2005.

FONTES, P.C.R. **Preparo do solo, nutrição mineral e adubação da batateira**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 42 p., 1997.

FONTES, P.C.R.; BRAUN, H.; BUSATO, C.; CECON, P.R. **Economic Optimum Nitrogen Fertilization Rates and Nitrogen Fertilization Rate Effects on Tuber Characteristics of Potato Cultivars.** Potato Research vol. 53, p.167–179, 2010.

GOINS, G.D.; YORIO, N.C. **Influence of nitrogen nutrition management on biomass partitioning and nitrogen use efficiency indices in hydroponically grown potato.** Journal of the American Society for Horticultural Science, vol. 129, n.1, p.134-140, 2004.

HONG, L.; PARENT, L.E.; KARAM, A.; TREMBLAY, C. **Efficiency of soil and fertilizer of a sod-potato system in the humid, acid and cool environment.** Plant Soil, vol. 251, p. 23-26, 2003.

JADOSKI, S. O.; MAGGI, M. F.; LIMA, A. dos SANTOS; VIEIRA, D. J.; WAZNE, R. **Avaliação da fórmula NPK 8-30-20 com adição de gesso agrícola em comparação à adubação convencional para produção de batata (*Solanum tuberosum L.*).** Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia, vol. 3, n.1, p.111-123, 2010.

KARAM, F.; KATERJI, N.; MASTRORILLI, M.; VAN HOORN, J.W.; HAMDY, A. **Effects of irrigation water salinity and soil texture on potatoes growth and production.** Acta Horticulturae, n.458, p.89-94, 1998.

KAWAKAMI, J. **Redução da adubação e doses e parcelamento de nitrogênio no crescimento e produtividade de batata.** Horticultura Brasileira v. 33, p. 168-173, 2015.

LEVY, D.; FOGELMAN, E.; YTZHAK, Y. **Influence of water and soil salinity on emergence and early development of potato (*Solanum tuberosum L.*) cultivars and effect of physiological age of seed tubers.** Potato Research, v.36, n.4, p.335-340, 1993.

LIMA, L.A. **Efeitos de sais no solo e na planta.** In: GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. F. (Ed.) Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Campina Grande: UFPB, p.113-136, 1997.

LUZ, J.M.Q.; QUEIROZ, A.A.; OLIVEIRA, R.C. **Teor crítico foliar de nitrogênio na batata ‘Asterix’ em função de doses de nitrogênio.** Horticultura Brasileira, vol. 32, n. 2, p. 225-229, 2014.

MALLMANN, N. **Efeito da adubação na produtividade, qualidade e sanidade de batata cultivada no centro-oeste paranaense.** Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 129p., 2001.

MALLMANN, N.; LUCCHESI, L.A.C.; DESCHAMPS, C. **Influência da adubação com NPK na produção comercial e rentabilidade da batata na região Centro-Oeste do Paraná.** Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias, Guarapuava-PR, vol. 4, n.3, p.67-82, 2011.

MEDEIROS, C.A.B.; CUNHA, B.P. **Cultivo hidropônico de sementes pré-básicas de batata: concentração de nitrogênio na solução nutritiva.** Horticultura Brasileira, vol. 21, n. 2, p. 372, 2003.

- MESQUITA, H.A.; PADUA, J.G.; YURI, J.E.; ARAUJO, T.H. **Fertilização da cultura da batata**. In: Batata: Tecnologias e sustentabilidade da produção. Informe agropecuário, vol.33, n. 270, p.52-61, 2012.
- MUSTONEN, L.; WALLIUS, E.; HURME, T. **Nitrogen fertilization and yield formation of potato during a short growing period**. Agricultural and Food Science, vol. 19, p. 173–183, 2010.
- NADLER, A.; HEUER, B. **Effect of saline irrigation and water deficit on tuber quality**. Potato Research, v.38, n.1, p.119-123, 1995.
- NAVA, G.; DECHEN, A.R.; IUCHI, V.L. **Produção de tubérculos de batata-semente em função das adubações nitrogenada, fosfatada e potássica**. Horticultura Brasileira vol.25, p. 365-370, 2007.
- OLIVEIRA, V.R.; ANDRIOLO, J.L.; BISOGNIN, D.A.; PAULA, A.L.; TREVISAN, A.P.; ANTES, R.B. **Qualidade de processamento de tubérculos de batata produzidos sob diferentes disponibilidades de nitrogênio**. Ciência Rural, vol.36, n.2, p.660-663, 2006.
- REIS JR., R.A.; FONTES, P.C.R.; NEVES, J.C.L.; SANTOS, N.T. **Total soil electrical conductivity and critical soil K^+ to Ca^{2+} and Mg^{2+} ratio for potato crops**. Scientia Agricola, v.56, n.4, 1999.
- RODRIGUES, M.A.; COUTINHO, J.; MARTINS, F.; ARROBAS, M. **Quantitative sidedress nitrogen recommendations for potatoes based upon crop nutritional indices**. European Journal of Agronomy, vol.23, p.79-88, 2005.
- SILVA, G.O.; PEREIRA, A.S.; SUINAGA, F.A.; PONIJALEKI, R. **Adubação nitrogenada no rendimento da cultivar de batata BRS Ana**. Horticultura Brasileira v. 32, n. 1, p. 107-110, 2014.
- SILVA, M.C.C. **CrITÉrios para o manejo da adubação nitrogenada da batata em duas épocas de plantio**. Universidade federal de viçosa, UFV, 177p. (Doutorado em Fitotecnia), 2007.
- SILVA, M.C.C.; FONTES, P.C.R.; MIRANDA, G.V. **Índice SPAD e produção de batata, em duas épocas de plantio, em função de doses de nitrogênio**. Horticultura Brasileira vol. 27, p. 017-022, 2009.
- STEIBER, T. D.; MAHLER, R. L. **Cropping practices survey: fertilizer results**. Idaho: University of Idaho. 3 p, 2003.
- TAIZ, Z.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3^o edição Porto Alegre: Artmed, 719p, 2004.
- ZEBARTH, B.J.; LECLERC, Y.; MOREATL, G. **Rate and timing of nitrogen fertilization of Russet Burbank potato: nitrogen use efficiency**. Canadian Journal of Plant Science, vol.84, p.845-854, 2004.

CAPÍTULO 2 – ÍNDICES PARA O DIAGNÓSTICO DO ESTADO DE NITROGÊNIO DA PLANTA E PARA O PROGNÓSTICO DA PRODUÇÃO DE TUBÉRCULOS DE BATATA

1. INTRODUÇÃO

A batata (*Solanum tuberosum* L.) é um dos vegetais de maior preferência na dieta da população brasileira. A eficiência produtiva da batateira garante elevado aproveitamento de áreas destinadas à produção de alimentos (Fernandes et al., 2010), especialmente quando a cultura é adequadamente adubada com nitrogênio (N).

O N apresenta acentuado dinamismo no sistema solo-planta, devido em parte à grande variação do seu número de oxidação possibilitando o aparecimento de várias formas no solo facilmente transformáveis de uma forma para outra, inclusive a gasosa. A rota seguida pelo N no sistema solo-planta é chamada de “Ciclo do Nitrogênio”. Esse ciclo é fortemente influenciado por diversos processos biológicos, características químicas e físicas do solo e condições climáticas, resultando em acentuada variabilidade das formas nitrogenadas no solo. Tal variabilidade dificulta a avaliação da disponibilidade de N e a recomendação da dose do adubo nitrogenado via análise de rotina do solo. Quase sempre, a dose de N recomendada para a cultura da batata é baseada no potencial de produção do sistema, no teor de matéria orgânica do solo e na eficiência de uso de N (Fontes et al., 2012).

Há tempo, a decisão de adubar em cobertura com base no estado nutricional nitrogenado da planta foi chamada de “adubação quando necessária” (Schepers et al., 1992). Neste caso, a resposta deve ser dada pela própria planta via apropriado índice precoce de avaliação do estado de N (Fontes, 2011).

Existem vários índices ou variáveis que podem ser utilizados para o monitoramento do estado nutricional nitrogenado de plantas. O mais tradicional é o teor de N na matéria seca de folhas completamente desenvolvidas, determinado por análise química (Fontes, 2011), apesar de outros órgãos da planta de batata, como folíolo, pecíolo e caule poderem ser analisados quimicamente e proporcionar índices para a avaliação do estado nutricional (Walworth e Muniz, 1993, Reis Jr. e Monnerat, 2000, Fontes 2001; 2011).

Alguns índices foram estabelecidos ou desenvolvidos para a batata e tem sido correlacionado com a produtividade da cultura, entre os quais: o teor de nitrato na seiva do pecíolo (Bélangier et al., 2003; Wu et al., 2007; Jidong et al., 2007; Majic et al., 2009); teor

de clorofila, medido indiretamente por meio do clorofilômetro SPAD-502 (Busato et al., 2010; Giletto et al., 2010; Silva et al., 2011; Cardoso et al., 2011; Coelho et al., 2010; 2012; 2013; Braun et al., 2013) e por meio do Dualex (Milagres, 2011; Coelho et al., 2012; Braun et al., 2013) que mede, simultaneamente, os índices de clorofila, flavonóides e de Balanço de N.

Além do índice SPAD, considerado uma ferramenta útil para avaliar o estado de N das plantas em tempo real (Muñoz-Huerta et al., 2013; Dunn e Goad, 2015; Zakeri et al., 2015; Zheng et al., 2015), há características biométricas ou biomarcadores que têm sido sugeridos como possíveis indicadores do estado de N da planta (Fontes, 2001). Os mais comuns são comprimento, largura, área, massa de matéria fresca de folha específica e número de folíolos (Fontes, 2001; Ronchi et al., 2001; Coelho e Fontes, 2005; Moreira et al., 2011; Souza et al., 2012; 2013).

Também, recentemente, em consonância com a agricultura de precisão, busca-se competência para decidir com especificidade local e em tempo real a dose de N a aplicar à cultura da batata. Isto tem sido feito, em parte, com base no potencial de produção de tubérculos do sistema o que torna necessário prever a produtividade da cultura (Fontes et al., 2012).

Ademais, a predição da produtividade também pode ser útil em várias outras situações, principalmente no estabelecimento de algoritmo destinado a estimar em tempo real a dose de adubo a aplicar em cobertura (Fontes, 2011); no planejamento de medidas gerenciais da propriedade; na organização sazonal da colheita e da comercialização; na seleção precoce de plântula em programa de melhoramento, dentre outros (Fontes, 2015 em preparo).

O prognóstico da produtividade de uma cultura pode ser realizado por uma característica ou índice precocemente determinado, em tempo real, como a altura da planta (Katsvairo et al., 2003; Yin et al., 2011; Sharma e Frazen, 2014; Zhou e Yin, 2014). Obviamente, a previsibilidade é mais factível em culturas irrigadas onde é menor a probabilidade da ocorrência de problemas após a amostragem das plantas para a determinação do índice. Especificamente para a batata, alguns trabalhos indicam que a produtividade de tubérculos pode ser prognosticada por índice ou combinação de índices de avaliação do estado de N (Gil et al., 2002; Coelho et al., 2010; Milagres, 2011; Braun, 2012; Leão, 2013).

Os valores dos índices tanto para o diagnóstico do estado de N da planta quanto para o prognóstico da produção de tubérculos são específicos para a interação ambiente e cultivar de batata (Fontes, 2011) e acredita-se que a escolha do índice possa ser influenciada pelo parcelamento da dose de N que causa diferenciada disponibilidade inicial do N no solo.

O objetivo do presente trabalho foi selecionar índices biométricos indicativos da disponibilidade de N adicionado ao solo e para o diagnóstico do estado de nitrogênio da planta além de propor índices para o prognóstico da produção de tubérculos de batata.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A área experimental, o material vegetal e a instalação e condução do experimento formam os mesmos descritos no capítulo 1.

Tratamentos

Os tratamentos foram três disponibilidades de N no solo no momento da avaliação dos índices, baixa, média e alta obtidas com as doses de N aplicadas no momento do plantio:

Dose baixa - sem nitrogênio adicionado como adubo;

Dose média - 110 kg ha⁻¹ de N aplicado como ureia;

Dose alta - 220 kg ha⁻¹ de N aplicado como ureia.

Características avaliadas

A. Índices biométricos na folha referência - quarta folha

Aos 21 DAE foram avaliados na quarta folha (QF) a partir do ápice das plantas as seguintes variáveis:

A1. Número de folíolos, comprimento e largura: determinados com auxílio de régua milimetrada, e o número de folíolos foi determinado por contagem direta.

A2. Diâmetro do pecíolo: determinado à 1 cm da base da inserção da folha com paquímetro digital.

A3. Área foliar: determinada com o medidor LI-COR 3100.

A4. Massas da matéria fresca e seca: a massa fresca da QF foi determinada pela pesagem, em balança analítica, incluindo-se a pesagem da secção usada para extração da seiva. Posteriormente, a massa fresca de folha foi acondicionada em sacos de papel e colocada em estufa de circulação forçada de ar à 70°C, onde permaneceu até atingir massa constante. Após secagem, a massa da folha seca foi determinada pela pesagem em balança analítica.

B. Índices biométricos da planta inteira: determinados aos 21 dias após a emergência (DAE) foram avaliados:

B1. Números de hastes (unidade): foi realizada a contagem do número de hastes de cada planta.

B2. Comprimento da haste principal (cm): o comprimento da haste ou caule principal da planta foi determinado com o auxílio de régua milimetrada. Esta medida foi realizada a partir do nível do solo até a região apical da planta.

B3. Diâmetro da haste principal (mm): o diâmetro da haste principal da planta foi determinado na altura de 3 cm acima da base da planta, com o auxílio de paquímetro digital.

B4. Massa fresca e seca da haste: a massa fresca (g/planta) da haste (caule) foi determinada pela pesagem em balança analítica. Posteriormente, as hastes foram acondicionadas em sacos de papel e colocadas em estufa de circulação forçada de ar à 70 °C, onde permaneceram até atingir peso constante. Após secagem, a massa seca da haste foi determinada pela pesagem em balança analítica.

B5. Número de folhas (unidade): foi realizada a contagem do número de folhas da planta.

B6. Área foliar (cm²): A área foliar da planta foi determinada com o medidor LICOR 3100.

B7. Massa fresca e seca de folhas (g/planta): a massa fresca das folhas foi determinada pela pesagem em balança analítica. Posteriormente, as folhas foram acondicionadas em sacos de papel e colocada em estufa de circulação forçada de ar à 70°C, onde permaneceram até atingir peso constante. Após secagem, a massa seca das folhas foi determinada pela pesagem em balança analítica.

B8. Número, massa fresca e seca de tubérculos: o número de tubérculos foi determinado pela contagem direta dos tubérculos por planta. A massa fresca (g/planta) dos tubérculos foi determinada pela pesagem em balança analítica. Posteriormente, os tubérculos foram acondicionados em sacos de papel e colocados em estufa de circulação forçada de ar à 70°C onde permaneceram até atingir peso constante. Após secagem, a massa seca dos tubérculos foi determinada pela pesagem em balança analítica.

C. Índice SPAD: determinado com o medidor portátil de clorofila SPAD-502 (Soil Plant Analysis Development-502) no folíolo terminal da QF, devido ser esta a folha recomendada para verificar o estado nutricional da batateira (Fontes, 2005). A medição foi

realizada pela manhã, entre 8:00 e 10:00 horas, sendo o valor obtido por meio de leitura direta na folha.

D. Índices de Clorofila, Flavonoides e Balanço de N: determinados com o medidor Dualex (Force A), no folíolo terminal da QF. O Dualex apresenta as leituras de CHL (clorofila), FLV (flavonóides) e NBI (Índice de Balanço de N). O índice NBI representa a razão clorofila/flavonóides (ou N/carbono). A avaliação foi feita entre 8:00 e 10:00 horas.

E. Teor de N-NO₃⁻ na seiva do pecíolo: imediatamente após a chegada ao laboratório, o pecíolo da QF foi seccionado 3 cm acima do ponto de inserção no caule. Em seguida, a secção do pecíolo foi espremida com auxílio de pinça. No suco celular foi determinada a concentração de nitrato por meio do medidor portátil C-141 Cardy Nitrate Meter, Horiba, equipado com microelétrodo sensível ao nitrato.

F. Teor de N na quarta folha, conteúdo de N acumulado na quarta folha (QNA 4F) e na planta (QNA P): após a secagem da quarta folha e da planta, esses foram moídos em moinho tipo Wiley, equipado com peneira de 20 mesh. Os materiais foram utilizados para a determinação do teor de N, após digestão sulfúrica, utilizando-se o reagente de Nessler (Jackson, 1958). Pela multiplicação da massa seca (g) pelo teor de N (g kg⁻¹) foram obtidos o conteúdo de N na quarta folha (QNA 4F) (mg/folha) e conteúdo de N na planta (QNA P) (mg/planta).

Análise estatística

O experimento foi instalado no delineamento em blocos casualizados, com três repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância. As médias obtidas para cada variável nos três tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os dados obtidos para os índices e de produtividade foram submetidos à análise de correlação linear de Pearson a 1% e 5% de probabilidade.

Seleção de índices indicativos da disponibilidade de nitrogênio

A seleção dos índices biométricos indicadores da disponibilidade de N adicionado ao solo foi realizada com base na significância do teste de média aplicado em cada variável determinada aos 21 DAE.

Seleção de índices para o diagnóstico do estado de nitrogênio da planta

A seleção de índice mais apropriado para a avaliação do estado nitrogenado da planta foi feita com base na significância das correlações entre as características determinadas aos 21 DAE tanto na quarta folha quanto na parte aérea da planta com o teor de N na matéria seca da quarta folha e a quantidade de N acumulada na quarta folha (QNA 4F) e na planta (QNA P).

Seleção de índices para o prognóstico da produção de tubérculos

A seleção de índice mais apropriado para o prognóstico da produção de tubérculos foi feita com base na significância da correlação entre as características da quarta folha e da parte aérea, determinadas aos 21 DAE, nos tratamentos 1 e 3, com as variáveis associadas à produção de tubérculos (número, massas fresca e seca, dados apresentados no capítulo 1).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Índices biométricos avaliados na quarta folha e na planta

Os valores dos índices biométricos medidos na quarta folha (número de folíolos, comprimento e largura da folha, diâmetro de pecíolo, área foliar e massas fresca e seca) estão apresentados na Tabela 1.

Os valores dos índices biométricos medidos na planta (número, comprimento, diâmetro, massa fresca e seca de haste, número de folhas, área foliar, massa fresca e seca de folhas) estão na Tabela 2.

Índices avaliados na planta e na quarta folha

Os valores dos índices medidos na quarta folha e na planta (SPAD, CHL, FLV, NBI, TN, Teor de N, QNA 4F e QNA P) estão na Tabela 3.

Tabela 1 - Valores na quarta folha das variáveis NFO (número de folíolos), CF (comprimento de folha), LF (largura de folha), DP (diâmetro do pecíolo), AF (área foliar), MF (massa fresca de folha) e MS (massa seca de folha) avaliada aos 21 DAE nas cultivares Ágata e Asterix, em ambientes de baixa, média e alta disponibilidade de nitrogênio, UFV, Viçosa, MG, 2015.

	NFO	CF	LF	DP	AF	MF	MS
Disponibilidade de nitrogênio		Cultivar Ágata					
Baixa	7 b	27,10 a	11,15 a	5,92 b	120,00 b	5,99 b	0,34 b
Média	11 a	25,85 a	13,85 a	6,64 a	166,53 a	10,10 a	0,69 a
Alta	10 a	24,40 a	12,37 a	6,26 ab	179,02 a	8,64 a	0,38 b
Média	9,55	25,78	12,46	6,27	155,18	8,24	0,48
CV (%)	9,22	4,56	10,93	2,65	7,17	9,60	11,61
Disponibilidade de nitrogênio		Cultivar Asterix					
Baixa	7,33 b	27,15 a	13,73 a	5,47 a	132,32 b	6,55 a	0,42 b
Média	8,33 a	28,80 a	15,70 a	5,47 a	187,19 a	9,60 a	0,62 ab
Alta	8,33 a	27,37 a	14,90 a	4,97 b	158,79 ab	9,47 a	0,66 a
Média	8,00	27,29	14,78	5,29	159,43	8,54	0,56
CV (%)	7,22	3,05	11,70	0,88	7,96	16,88	14,18

Em cada cultivar, médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

Tabela 2 – Valores determinados na planta, NH (número de hastes), CH (comprimento de haste), DH (diâmetro de haste), MFH (massa fresca de haste), MSH (massa seca de haste), NF (número de folhas), AF (área foliar), MFF (massa fresca de folha), MSF (massa seca de folha), avaliadas aos 21 DAE, em duas cultivares, Ágata e Asterix, em ambientes de baixa, média e alta disponibilidade de nitrogênio, UFV, Viçosa, MG, 2015.

	NH	CH	DH	MFH	MSH	NF	AF	MFF	MSF
Disponibilidade de nitrogênio									
Cultivar Ágata									
Baixa	7,5 a	30,80 b	7,50 b	56,00 b	2,53 b	44,50 b	3388,70 b	226,00 a	12,22 b
Média	6,5 a	35,20 a	10,24 a	105,00 a	4,76 a	64,67 a	5849,00 a	248,00 a	18,65 a
Alta	4,4 b	31,75 b	6,91 b	50,00 b	2,59 b	38,00 b	2690,90 b	141,67 b	9,96 b
Média	6,11	32,58	8,22	71,00	3,29	49,67	3976,19	205	13,61
CV (%)	9,24	2,38	9,29	5,14	4,12	7,14	7,04	10,91	5,91
Disponibilidade de nitrogênio									
Cultivar Asterix									
Baixa	5,00 b	43,45 a	9,39 ab	113,00 b	4,29 b	52,50 b	3838,60 b	216,00 b	12,25 b
Média	7,50 ab	37,70 b	8,55 b	130,00 b	5,08 b	59,50 ab	3542,10 b	204,00 b	12,04 b
Alta	8,00 a	44,80 a	11,42 a	153,00 a	6,37 a	71,50 a	5157,40 a	270,00 a	18,56 a
Média	6,83	41,98	9,79	132,00	5,24	61,17	4179,38	230,00	14,28
CV (%)	12,67	3,09	8,24	5,45	7,63	7,64	10,11	7,50	12,18

Em cada cultivar, médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 3 – Valores do índice SPAD, CHL (Clorofila), FLV (Flavonóides), NBI (Índice de Balanço de N), TN (Teor de nitrato na seiva do pecíolo) Teor de N (Teor de N na quarta folha), QNA 4F (Quantidade de N acumulada na quarta folha) e QNA P (Quantidade de N acumulada na planta) avaliadas aos 21 DAE, em duas cultivares, Ágata e Asterix, em ambientes de baixa, média e alta disponibilidade de nitrogênio, UFV, Viçosa, MG, 2015.

	SPAD	CHL	FLV	NBI	TN	Teor de N	QNA 4 F	QNA P
Disponibilidade de nitrogênio		Cultivar Ágata						
Baixa	43,95 a	29,80 b	0,94 a	39,85 b	1250,00 c	5,62 c	19,41 b	1061,8 b
Média	43,23 a	36,83 a	0,82 a	45,10 ab	3050,00 b	7,19 b	35,24 a	2336,6 a
Alta	46,50 a	42,17 a	0,63 b	57,05 a	4050,00 a	7,61 a	33,60 a	1204,7 b
Média	44,11	36,27	0,79	47,33	2783,33	6,68	29,42	1534,34
CV (%)	4,02	5,94	6,16	9,89	5,48	1,18	10,10	9,21
Disponibilidade de nitrogênio		Cultivar Asterix						
Baixa	36,53 c	33,20 c	1,18 a	28,60 b	2000,00 b	5,51 b	25,35 b	1013,6 b
Média	42,17 b	37,87 b	0,87 a	42,75 a	2150,00 b	6,95 a	42,46 a	1502,0 ab
Alta	46,35 a	41,10 a	0,97 a	52,70 a	3333,30 a	7,50 a	42,75 a	2107,2 a
Média	41,68	37,39	1,01	41,35	2494,44	6,65	36,85	1540,94
CV (%)	2,74	0,46	10,57	9,27	22,62	3,03	2,76	14,12

Em cada cultivar, médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Quanto ao número de folíolos (NFO) e a quantidade de N acumulada na quarta folha (QNA 4F), os maiores valores foram obtidos para os ambientes de média e alta disponibilidade de N (110 e 220 kg ha⁻¹ de N, respectivamente), para ambas as cultivares (Tabelas 1 e 3). Isto é, essas características não seriam adequadas para separar ambientes do solo com média e alta disponibilidade de N mas somente para diferenciar o ambiente de ausência de adição de fertilizante nitrogenado dos ambiente com média e alta disponibilidade de N. Para Ágata, as características área foliar da quarta folha (AF) e massa fresca da quarta folha (MF) (Tabela 1), índice de clorofila (CHL) e para Asterix, a característica índice de balanço de N (NBI), teor de N (Tabela 3) foram semelhantes à NFO e QNA 4F.

Não foi observada diferença significativa quanto ao comprimento (CF) e largura (LF) da quarta folha (Tabela 1), para ambas as cultivares. Assim, como para o SPAD (Tabela 3), cv. Ágata e para a massa fresca da quarta folha (MF) (Tabela 1) e índice flavonóide (FLV) (Tabela 3), cv. Asterix.

Os índices diâmetro de pecíolo (DP) e massa seca (MS) da quarta folha (Tabela 1), comprimento de haste (CH), diâmetro de haste (DH), massa fresca de haste (MFH), massa seca de haste (MSH), número de folhas (NF), área foliar (AF), massa fresca (MFF) e seca (MSF) de folha (Tabela 2) e quantidade de N acumulada na planta (QNA P) (Tabela 3), cultivar Ágata e os índices diâmetro de pecíolo (DP), área foliar (AF) da quarta folha (Tabela 1), comprimento de haste (CH), diâmetro de haste (DH), área foliar (AF), massa fresca (MFF) e seca (MSF) da quarta folha (Tabela 2), cultivar Asterix, não apresentaram efeito esperado dos tratamentos.

Na cultivar Ágata, o índice teor de nitrato na seiva do pecíolo (TN) e o teor de N na quarta folha (Tabela 3) foram apropriados, enquanto que os índices número de hastes (NH) (Tabela 2), índice flavonóides (FLV) e índice balanço de N (NBI) (Tabela 3) tendem a ser. Para a cultivar Asterix, os índices SPAD e índice clorofila (CHL) (Tabela 3) foram apropriados, enquanto que os índices massa seca (MS) da quarta folha (Tabela 1), número de haste (NH), massa fresca (MFH) e seca (MSH) de haste e número de folhas (NF) (Tabela 2), teor de nitrato na seiva do pecíolo (TN) e quantidade de N acumulada na planta (QNA P) tendem a ser.

Em suma, nas duas cultivares, em avaliação aos 21 DAE, houve efeito significativo dos ambientes de média e alta disponibilidade de N em relação ao ambiente de baixa

disponibilidade (testemunha) em variáveis número de folíolos da quarta folha (NFO) e quantidade de N acumulada na quarta folha (QNA 4F).

Para a interpretação do valor obtido para determinada característica da planta é necessário que haja um valor ou um índice considerado referencial em determinado estágio fisiológico da planta (Araújo et al., 2003). Busato (2007) estudando diferentes doses de N, em quatro cultivares de batata, encontrou efeito de dose de N sobre o número de folíolos, comprimento, largura, área foliar, massa fresca e seca da quarta folha.

Conforme observado no presente trabalho, a dose de N influenciou o número de hastes das cultivares avaliadas, sendo observada redução do número de hastes com a adubação de 220 kg ha⁻¹ de N no plantio, comparativamente ao tratamento sem adubação, para a cultivar Ágata, e aumento no número de hastes em função da aplicação de N, para a cultivar Asterix. Quanto ao número de hastes, Queiroz et al. (2013), aos 24 DAE, observaram pequeno efeito de diferentes doses de fertilizante nitrogenado sobre o número de hastes.

A aplicação de N leva a uma maior produção de hastes secundárias e maior índice de área foliar em estádios iniciais de desenvolvimento de plantas de batata (Scheidt et al., 2009). Assim, observa-se resposta diferenciada das cultivares à aplicação de N sobre o crescimento da parte aérea da planta. Na literatura há trabalhos que mostram efeito positivo de adequadas doses de N sobre o crescimento da parte aérea como observado por Biemond e Vos (1992), Vos e Puttem (1998), Busato (2007) e Leão (2013). A área foliar da planta é uma característica importante, pois sua redução é um fator limitante na utilização da energia solar, que repercute na produção final.

Em suma, as características avaliadas na parte aérea (Tabela 2) foram influenciadas por doses de N, com exceção do comprimento de haste, da cultivar Asterix. Para a maioria das características, as plantas no tratamento controle (sem adubação nitrogenada) e/ou apresentaram médias inferiores às médias verificadas nas plantas nos ambientes de média e ou altas disponibilidades de N. Plantas de Ágata, cultivar precoce, apresentaram os maiores valores das características avaliadas, exceto NH, em ambiente de média disponibilidade de N (110 kg ha⁻¹ de N). Entretanto, os valores destas características na planta de Asterix, mais tardia do que Ágata, exceto o CH, foram maiores com a alta disponibilidade de N. A avaliação dessas características relacionadas ao crescimento foi proposta por Fontes (2001) e Ronchi et al. (2001) para estimar o estado de N nas plantas, porém verifica-se que deve haver especificidade para cultivar.

Além dos índices biométricos, há outros índices que correlacionam-se com a quantidade de N presente na planta, como o SPAD. No presente trabalho, à medida que aumenta a disponibilidade de N aumenta o valor do índice SPAD, cultivar Asterix. Apesar de que não houve diferença estatística do índice SPAD para a cultivar Ágata. A concentração de N, de clorofilas e as leituras fornecidas pelo SPAD são correlacionadas (Schroder et al., 2000). Dentro do amplo limite, quanto maior a intensidade da cor verde da folha, maior é a leitura SPAD. Trabalhos avaliando o efeito de doses de N sobre as leituras obtidas com o índice SPAD, avaliadas aos 21 DAE para a cultura da batata são encontrados na literatura para as cultivares Ágata e Asterix (Coelho et al., 2010). Estes autores encontraram que o nível crítico do índice SPAD associado com a dose de N que propiciou a máxima eficiência econômica foi de 40,5 e 43,7 para as cultivares Ágata e Asterix, respectivamente.

O índice SPAD na quarta folha expandida da batateira é variável com a idade (Souza et al., 2012; 2013) e com a fase de crescimento da planta (Wu et al., 2007), sendo que esse índice medido na quarta folha aumenta com o aumento da dose de N e diminuiu com a idade das plantas (Sampaio Jr et al., 2009; Cardoso et al., 2011). Além disso, tem sido correlacionado com o status de N da planta e com a produtividade (Giletto et al., 2010), e também pode ser usado como ferramenta para indicar a época mais apropriada de se fazer a colheita dos tubérculos de batata (Cardoso et al., 2011).

Em Ágata, média e alta disponibilidade de N proporcionaram valores semelhantes de CHL enquanto em Asterix o valor de CHL foi maior em alta disponibilidade de N (Tabela 3). Na literatura são encontrados trabalhos onde os índices de CHL e NBI foram influenciados por doses de N aplicadas em planta de batata, sob condições de campo, aumentando linearmente com o aumento da dose (Coelho et al., 2012). Fontes (2011), indica que o índice CHL apresenta correlação positiva com o teor de N. Já índice FLV está relacionado à concentração de flavonóides na folha, que pode variar de 0 a 3,5 (Fontes, 2011). No presente trabalho, o índice FLV foi negativamente influenciado por dose de N, decrescendo com o aumento da dose de N, esses dados corroboram com aqueles encontrados por Coelho et al. (2012) e Braun (2012). Decréscimos do teor de FLV, determinado com o Dualex, também foram verificados para trigo (Tremblay et al., 2010), milho (Huan et al., 2010) e brócolis (Fortier et al., 2010), com o aumento das doses de N.

Em suma, os índices NBI e CHL determinados com o medidor Dualex, aos 21 DAE, aumentaram com o aumento da disponibilidade de N enquanto que o índice FLV decresceu. Esses dados corroboram com aqueles encontrados por Coelho et al. (2012).

O maior teor de nitrato (TN) na seiva está relacionado com a maior quantidade de N presente na planta. A medida que aumenta a disponibilidade do nutriente no solo as plantas de batata o absorve em maior quantidade; conseqüentemente, o seu transporte para as folhas será maior e de forma linear (Luz et al., 2014). No presente trabalho verifica-se que há diferença no TN das cultivares, uma das possíveis causas seria o desenvolvimento do sistema radicular da planta (dados apresentados capítulo 3). Não há diferença do sistema radicular entre as cultivares quando há alta disponibilidade de N no solo, porém quando a disponibilidade é baixa e média o comprimento, área de superfície e volume de raiz é mais desenvolvido na cultivar Asterix do que na cultivar Ágata. Sattelmacher et al. (1990) atribuíram à variação encontrada na eficiência de absorção entre duas cultivares de batata a diferenças em seus sistemas radiculares. Relação positiva de TN com doses de N foi também mostrada por Guimarães et al., 1998; Ronchi et al., 2001. Vários trabalhos têm demonstrado que é possível detectar diferenças no TN na seiva do pecíolo (Ronchi et al., 2001; Busato, 2007), quando são aplicadas doses de N.

Seleção de índices para o diagnóstico do estado de nitrogênio da planta

As estimativas dos coeficientes de correlação linear simples (r) entre as características determinadas aos 21 DAE, na quarta folha e na planta da batateira, e o teor de N e a quantidade de nitrogênio acumulada na quarta folha (QNA 4F) e na planta (QNA P), das cultivares Ágata e Asterix, estão apresentadas na Tabela 04.

Os índices significativos comuns nas duas cultivares para estimar o teor de N na QF aos 21 DAE foram NBI, CHL, FLV e massa fresca. Medição na planta inteira não proporcionou a obtenção de nenhuma variável com correlação significativa (Tabela 4). Teor de N é uma característica relativa na planta, isto é massa de N por unidade de massa da matéria seca. Por outro lado, QNA P é uma característica absoluta de planta, isto é quantidade de N (teor de N x massa).

Os índices significativos comuns nas duas cultivares para estimar a quantidade de N acumulada na QF aos 21 DAE foram CHL, FLV, área foliar e massa fresca. E para estimar a quantidade de N acumulada na planta, aos 21 DAE foi a massa seca da quarta folha.

Medição na planta inteira não proporcionou a obtenção de nenhuma variável com correlação significativa (Tabela 4).

Medição na quarta folha é mais fácil do que na planta inteira, sem ser destrutiva. Assim, o teor de nitrato na seiva da quarta folha é mais indicado para estimar o Teor de N na quarta folha (Figura 1) e QNA 4F (Figura 2) e a massa seca da quarta folha é a mais indicada para estimar o QNA P (Figura 3), cultivar Ágata.

Para a cultivar Asterix, por questão de praticidade e sendo significativo com teor, QNA 4F e QNA P, o SPAD é um bom indicador de N, figuras 4, 5 e 6, respectivamente. O teor de clorofila na folha está relacionado com o estado de N da planta. Assim, correlação positiva, ou seja, entre a adição de N e o aumento no teor de clorofila da folha da batata foi obtida por Gil et al. (2002); Silva et al. (2011); Coelho et al. (2010; 2012).

Tabela 4 - Estimativas do coeficiente de correlação linear simples (r) entre as características avaliadas aos 21 dias após a emergência, na quarta folha e na planta, com o teor de nitrogênio na matéria seca (Teor de N) e com quantidade de nitrogênio acumulada na quarta folha (QNA 4F) e na planta (QNA P), das cultivares de batata Ágata e Asterix, UFV, Viçosa, MG, 2015.

Características	Cultivar Ágata			Cultivar Asterix		
	Teor de N	QNA 4F	QNA P	Teor de N	QNA 4F	QNA P
Da quarta folha						
SPAD	0,62	0,16	-0,27	0,97**	0,91**	0,93**
NBI	0,77*	0,57	-0,08	0,97**	0,90**	0,90**
CHL	0,93**	0,83**	0,19	0,96**	0,89**	0,91**
FLV	-0,87**	-0,73*	-0,07	-0,78*	-0,84*	-0,44
Área foliar	0,89**	0,83**	0,40	0,62	0,78*	0,34
Nitrato na seiva	0,94**	0,87**	0,26	0,57	0,43	0,65
Comprimento	-0,72*	-0,67	-0,03	0,15	0,35	0,20
Largura	-0,50	0,67	0,62	0,38	0,52	0,22
N ^o de folíolos	0,68	0,63	0,56	0,47	0,50	0,55
Diâmetro de pecíolo	0,67	0,62	0,61	-0,62	-0,55	-0,66
Massa fresca	0,74*	0,78*	0,75*	0,71*	0,79*	0,66
Massa seca	0,40	0,65	0,95**	0,83*	0,86*	0,83**
Da planta						
Comprimento de haste	-0,02	0,62	0,60	0,28	0,29	0,24
N ^o de hastes	-0,27	0,33	0,36	0,29	0,29	0,28
N ^o de folhas	-0,06	0,43	0,45	0,08	0,24	0,21
Diâmetro de haste	-0,20	0,20	0,24	0,24	0,48	0,24
Área foliar	-0,05	0,73*	0,77*	0,28	0,28	0,48
Massa fresca de folhas	-0,10	0,69	0,73*	0,24	0,37	0,46
Massa seca de folhas	0,04	0,77*	0,80**	0,37	0,49	0,57
Massa fresca de hastes	0,12	0,83**	0,93**	0,23	0,47	0,41
Massa seca de hastes	0,13	0,84**	0,92**	0,23	0,46	0,40

** e * - Significativos a 1 e 5 % de probabilidade pelo teste "t", respectivamente

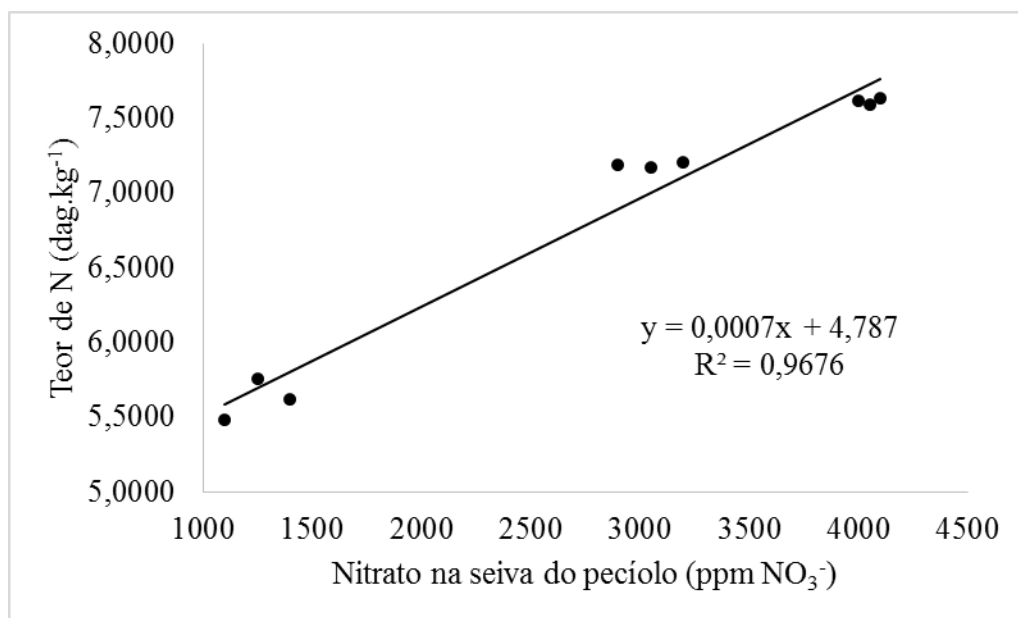


Figura 1 – Relação entre o teor de N e o nitrato na seiva do pecíolo da quarta folha de batata, aos 21 dias após a emergência, cultivar Ágata.

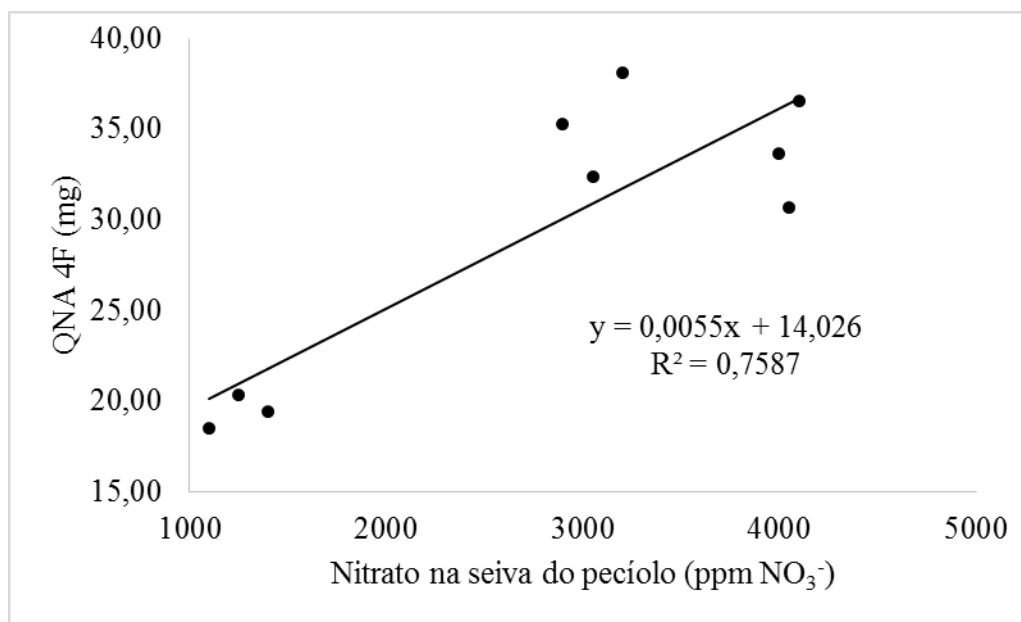


Figura 2 – Relação entre a quantidade de N acumulada na quarta folha e o nitrato na seiva do pecíolo da quarta folha de batata, aos 21 dias após a emergência, cultivar Ágata.

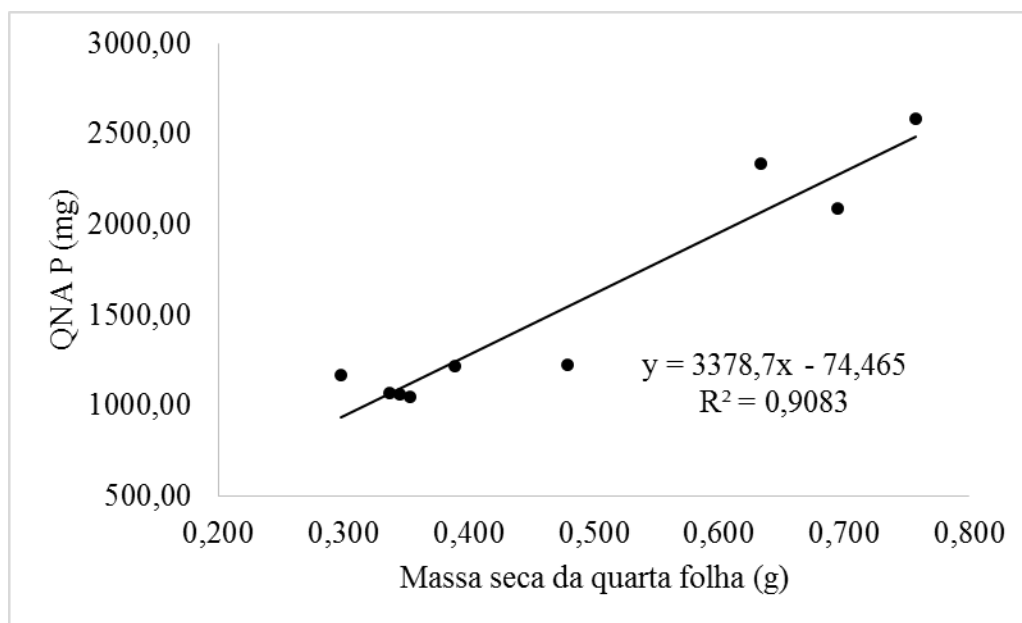


Figura 3 - Relação entre a quantidade de N acumulada na planta e a massa seca da quarta folha de batata, aos 21 dias após a emergência, cultivar Ágata.

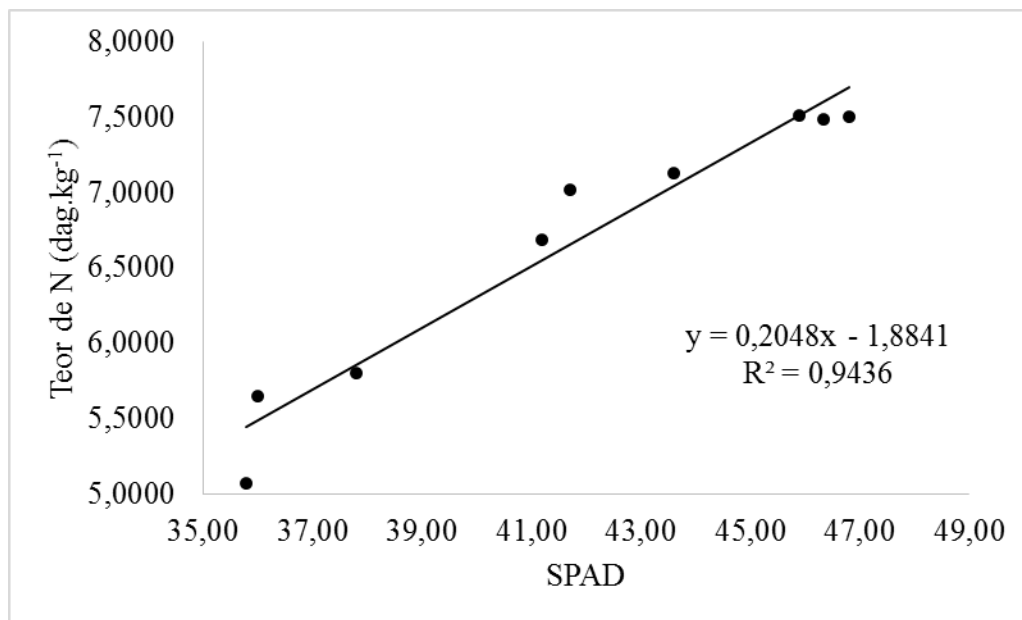


Figura 4 – Relação entre o teor de N e o SPAD na quarta folha de batata, aos 21 dias após a emergência, cultivar Asterix.

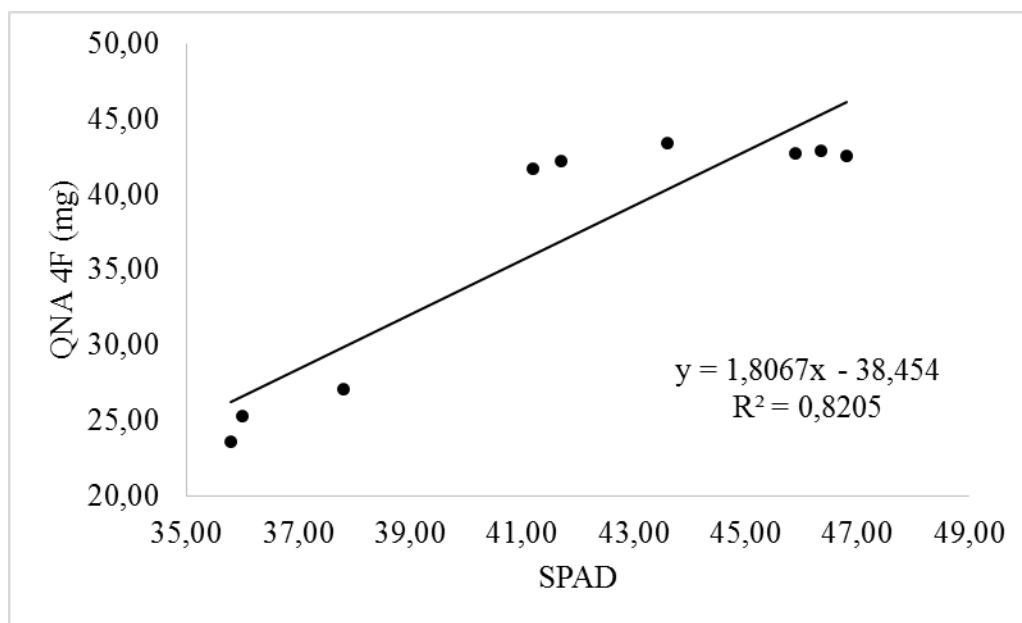


Figura 5 – Relação entre a quantidade de N acumulada na quarta folha e o SPAD na quarta folha de batata, aos 21 dias após a emergência, cultivar.

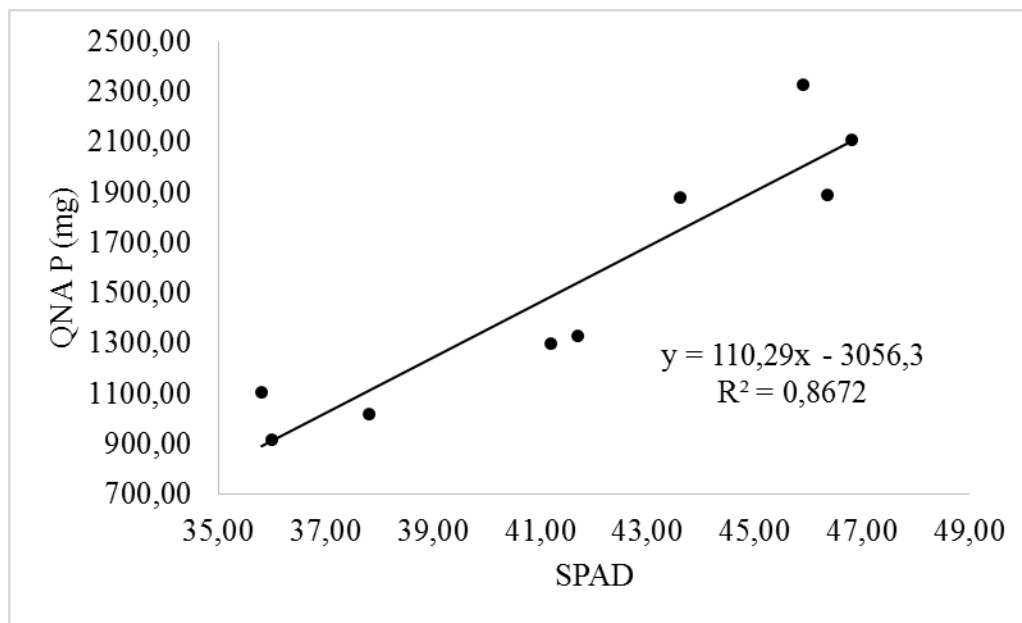


Figura 6 – Relação entre a quantidade de N acumulada na planta e o SPAD na quarta folha de batata, aos 21 dias após a emergência, cultivar Asterix.

Seleção de índices para o prognóstico da produção de tubérculos

As estimativas dos coeficientes de correlação linear simples (r) entre as características, determinadas aos 21 DAE, na quarta folha e na planta da batateira, com o número de tubérculos (NT), massa fresca de tubérculos (MFT) e massa seca de tubérculos (MST), das cultivares Ágata e Asterix, estão apresentados na Tabela 05.

Para prognosticar o número de tubérculos, cultivar Ágata, os índices avaliados na quarta folha: CHL, nitrato na seiva, n^o de folíolos, massa fresca e seca e os índices avaliados na planta: massa fresca e seca de haste podem ser usados. Entretanto, a medição na quarta folha é mais fácil do que na planta inteira, sem ser destrutiva. Dessa forma, por questão de praticidade, a característica massa seca da quarta folha (Figura 7) é a mais indicada prognosticar o número de tubérculos por planta.

Para a massa fresca de tubérculos, cultivar Ágata, não houve nenhuma característica da quarta folha ou avaliadas na planta que correlacionou com a massa fresca de tubérculos (Tabela 5).

Para a massa seca de tubérculos, cultivar Ágata, características como NBI, CHL, FLV, n^o de folíolos, diâmetro de pecíolo avaliados na quarta folha e massa fresca e seca de haste avaliados na planta, apresentam correlação com a massa seca de tubérculos. Entretanto, a medição na quarta folha é mais fácil do que na planta inteira, sem ser destrutiva. Por simplicidade de avaliação e para usar apenas uma variável sugere-se utilizar a variável diâmetro de pecíolo da quarta folha (Figura 8).

Para prognosticar o número, massa fresca e seca de tubérculos, cultivar Asterix, os índices avaliadas na quarta folha: SPAD, NBI, CHL, área foliar, diâmetro de pecíolo, massa fresca e seca podem ser usados. As características avaliadas na quarta folha, FLV e comprimento da quarta folha, correlacionam-se com a massa seca e número de tubérculos, respectivamente. Não houve nenhuma característica da planta que se correlacionou com o prognóstico de tubérculos. Por simplicidade de avaliação e para usar apenas uma variável que se correlacione com o prognóstico do número, massa fresca e seca de tubérculos, sugere-se utilizar a variável SPAD, Figuras 9, 10 e 11, respectivamente.

A diagnose precoce é de grande importância, pois possibilita tomar decisões em tempo real para adubações de cobertura sem comprometer a produção. Coelho et al. (2012) encontrou correlação entre os índices avaliados com o Dualex e a produtividade comercial de tubérculos de batata. Em trabalho realizado por Tremblay et al. (2009) foi encontrada

correlação positiva entre a produtividade e as leituras realizadas pelo Dualex, sendo que a relação CHL/FLV foi a variável que melhor se correlacionou com a produtividade.

Na literatura são encontrados trabalhos em que são correlacionados os valores do índice SPAD e a produção de tubérculos (Gil et al., 2002; Coelho et al., 2010), ou seja, esse índice pode ser usado no prognóstico da produtividade da cultura. O SPAD mede a intensidade de verde da folha, que está relacionado ao teor de clorofila e à taxa fotossintética da planta (Fontes, 2011). Assim, de acordo com Fontes e Silva (2006), os teores de N na folha são correlacionados positivamente com a taxa fotossintética da planta, e com o aumento da produção (Stone et al., 2002; Singh et al., 2011). Outros parâmetros que se correlacionam com os teores de N na planta e podem ser utilizados para avaliação do status de N, e para o prognóstico da produtividade como o comprimento da folha (Jadoski et al., 2012). O prognóstico da produção baseado em avaliações precoces das características biométricas da planta pode ser útil para o planejamento da colheita e comercialização dos tubérculos.

Tabela 5– Estimativa dos coeficientes de correlação linear simples (r) entre as características avaliadas na quarta folha e na planta aos 21 DAE, com o número de tubérculos (NT), massa fresca de tubérculos (MFT) e massa seca de tubérculos (MST) na colheita final de duas cultivares de batata, Ágata e Asterix, UFV, Viçosa, MG, 2015.

Características	Cultivar Ágata			Cultivar Asterix		
	NT	MFT	MST	NT	MFT	MST
Da quarta folha						
SPAD	0,09	0,54	0,40	0,91**	0,95**	0,95**
NBI	0,56	0,14	-0,88*	0,88*	0,90**	0,92**
CHL	0,92**	0,43	-0,88*	0,90**	0,91**	0,92**
FLV	-0,68	-0,19	0,83*	-0,75	-0,78	-0,81*
Área foliar	0,61	0,23	-0,80	0,95**	0,95**	0,97**
Nitrato na seiva	0,93**	0,43	-0,78	0,16	0,09	0,12
Comprimento	-0,51	0,02	0,38	0,82*	0,80	0,78
Largura	0,54	0,29	-0,57	0,55	0,60	0,63
N ^o de folíolos	0,81*	0,18	-0,84*	0,48	0,53	0,55
Diâmetro de pecíolo	0,85*	0,12	-0,85*	-0,87*	-0,83*	-0,84*
Massa fresca	0,90**	0,58	-0,66	0,86*	0,87*	0,86*
Massa seca	0,95**	0,53	-0,71	0,90**	0,93**	0,91**
Da planta						
Comprimento de haste	0,67	0,63	-0,69	0,12	0,03	0,02
N ^o de hastes	0,49	-0,20	-0,56	0,25	0,21	0,19
N ^o de folhas	0,57	0,13	-0,69	-0,20	-0,20	-0,25
Diâmetro de haste	-0,28	0,32	0,03	-0,24	-0,24	-0,19
Área foliar	0,79	0,70	-0,56	0,35	0,45	0,39
Massa fresca de folhas	0,67	0,62	-0,39	0,36	0,48	0,43
Massa seca de folhas	0,78	0,79	-0,46	0,32	0,44	0,38
Massa fresca de hastes	0,83*	0,58	-0,83*	0,29	0,32	0,27
Massa seca de hastes	0,87*	0,50	-0,88*	0,26	0,31	0,25

** e * - Significativos a 1 e 5 % de probabilidade pelo teste "t", respectivamente

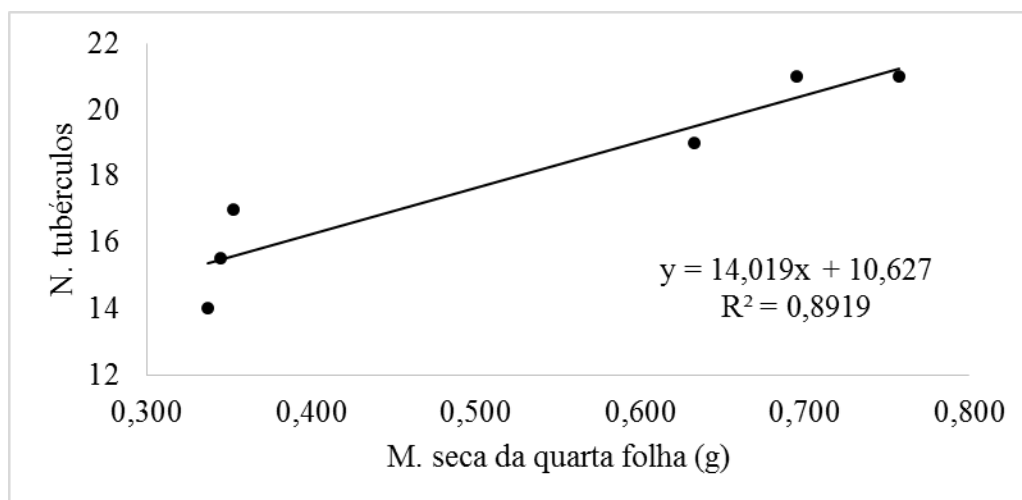


Figura 7 – Equação para prognosticar o número de tubérculos na colheita pela avaliação da massa seca da quarta folha, aos 21 dias após a emergência da planta, cultivar Ágata.

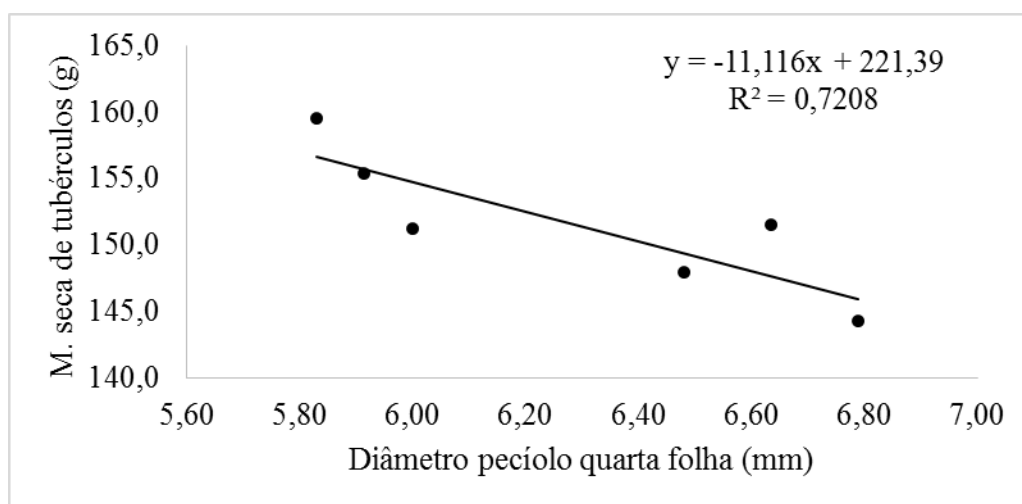


Figura 8 – Equação para prognosticar a massa seca de tubérculos na colheita pela avaliação do diâmetro do pecíolo da quarta folha, aos 21 dias após a emergência da planta, cultivar Ágata.

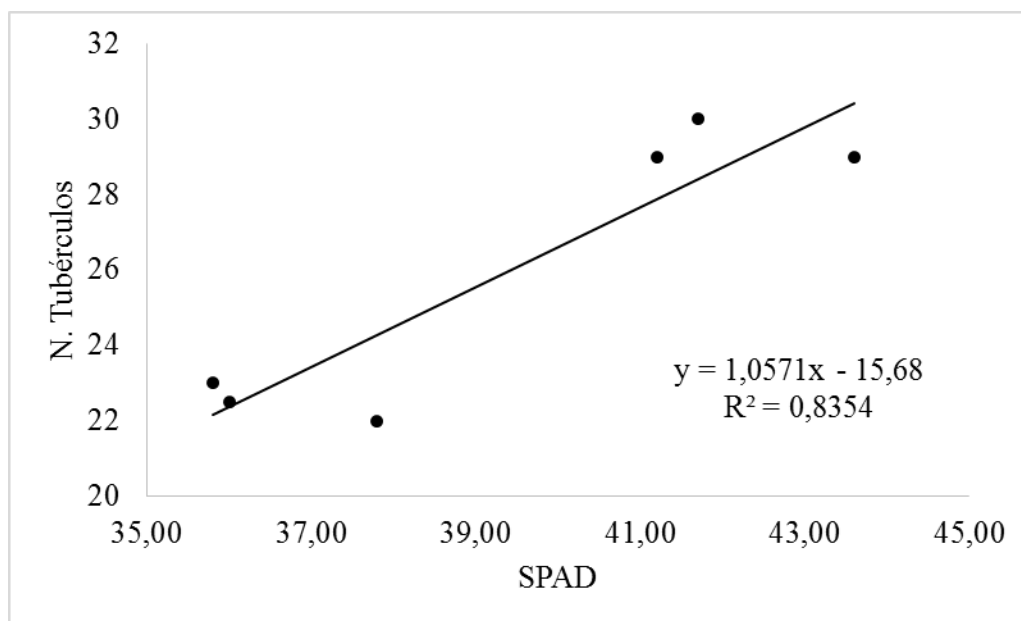


Figura 9 – Equação para prognosticar o número de tubérculos na colheita pela avaliação do SPAD na quarta folha, aos 21 dias após a emergência da planta, cultivar Asterix.

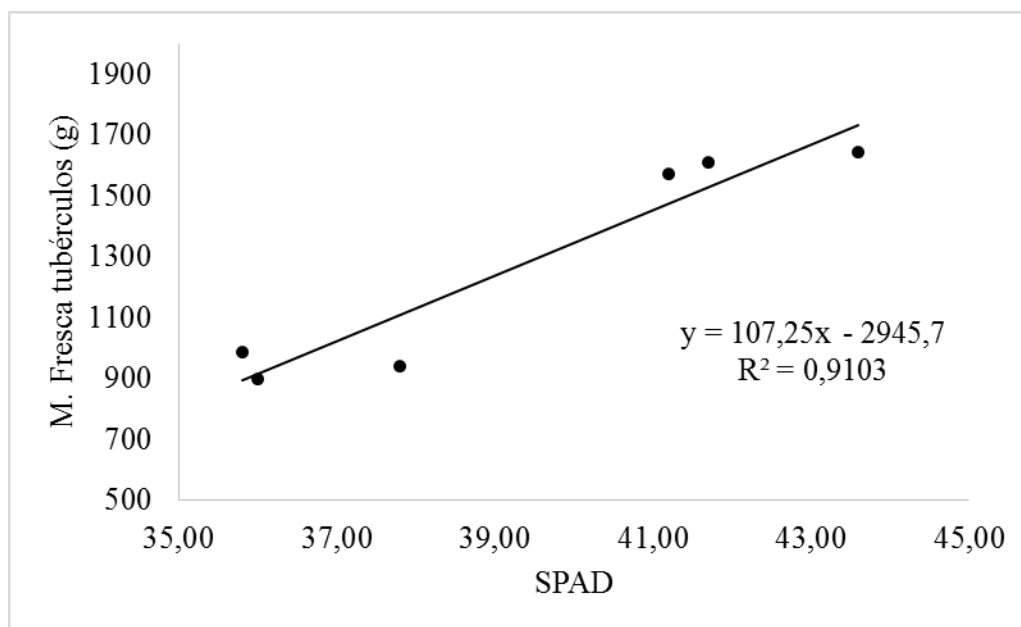


Figura 10 – Equação para prognosticar a massa fresca de tubérculos na colheita pela avaliação do SPAD na quarta folha, aos 21 dias após a emergência da planta, cultivar Asterix.

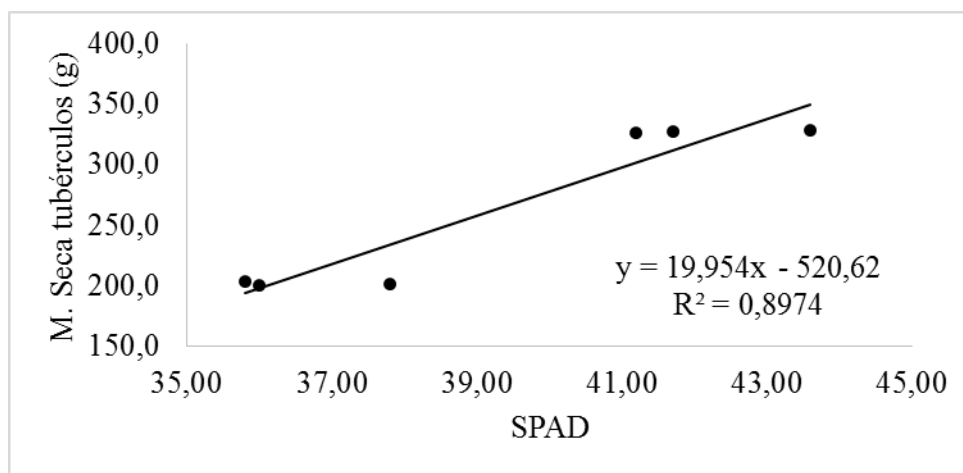


Figura 11 – Equação para prognosticar a massa seca de tubérculos na colheita pela avaliação SPAD na quarta folha, aos 21 dias após a emergência da planta, cultivar Asterix.

4. CONCLUSÕES

Para a cultivar Ágata:

- ✓ Teores de nitrato na seiva do pecíolo e de N na matéria seca da quarta folha de batata, avaliados aos 21 DAE, são os índices mais indicados para diferenciar a disponibilidade de N aplicado ao solo.
- ✓ Indica-se medir o teor de nitrato na seiva do pecíolo da quarta folha, aos 21 DAE para estimar tanto o teor de N quanto a quantidade de N acumulada na quarta folha.
- ✓ Indica-se medir a massa seca da quarta folha, aos 21 DAE, para diagnosticar a quantidade de N acumulada na planta.
- ✓ As características massa seca e o diâmetro de pecíolo da quarta folha, avaliados aos 21 DAE, são uteis para prognosticar o número e a massa seca de tubérculos, respectivamente.
- ✓ Não foi encontrado índice para o prognóstico de massa fresca de tubérculo de batata.

Para a cultivar Asterix:

- ✓ Os índices SPAD e CHL (Dualex) são uteis para separar condições de adição ou não de adubo nitrogenado ao solo, para avaliar disponibilidade também.
- ✓ Indica-se avaliar o índice SPAD, aos 21 DAE, para estimar o teor de N na quarta folha e a quantidade de N acumulada na quarta folha e na planta. Além disso o índice SPAD é eficiente para prognosticar o número e as massas fresca e seca de tubérculos de batata na colheita.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, C.; FONTES, P.C.R.; SILVA, G.H. **Relação entre teores de nitrato na folha e seiva do tomateiro.** Horticultura Brasileira, vol.21, n.2, p.369-373, 2003.
- BÉLANGER, G.; WALSH, J.R.; RICHARDS, J.E.; MILBURN, P.H.; ZIADI, N. **Critical petiole nitrate concentration of two processing potato cultivars in Eastern Canada.** American Journal of Potato Research, vol.80, p.251-261, 2003.
- BIEMOND, H.; VOS, J. **Effects of nitrogen on the potato plant.** 2. The partitioning of dry matter, nitrogen and nitrate. Annals of Botany, vol.70, p.37-45, 1992.
- BRAUN, H. **Produtividade, índices fisiológicos e nitrogenados avaliados na planta em tempo real, influenciados pelo manejo do nitrogênio, época de cultivo e cultivar de batata.** Viçosa. UFV, 223p. (Doutorado em Fitotecnia), 2012.
- BRAUN, H.; COELHO, F.S.; SILVA, M.C.C.; FONTES, P.C.R.; CECOM, P.R.; BUSATO, C. **Absorção, metabolismo e diagnóstico do estado de nitrogênio em plantas de batata.** Revista Ciência Agrárias, vol. 56, n. 3, p. 185-195, 2013.
- BUSATO, C. **Características da planta, teores de nitrogênio nas folhas e produtividade de tubérculos de cultivares de batata em função de doses de nitrogênio.** Viçosa: UFV, 142p. (Mestrado em Fitotecnia), 2007.
- BUSATO, C.; FONTES, P.C.R.; BRAUN, H.; CECOM, P.R. **Seasonal Variation and Threshold Values for Chlorophyll Meter Readings on Leaves of Potato Cultivars.** Journal of Plant Nutrition, vol. 33, n. 14, p. 2148-2156, 2010.
- CARDOSO, A.D.; ALVARENGA, M.A.R.; MELO, T.L.; VIANA, A.E.S.; MATSUMOTO, S.N. **Índice SPAD no limbo foliar da batateira sob parcelamentos e doses de nitrogênio e potássio.** Revista Ciência Agrônômica, vol. 42, n. 1, p. 159-167, 2011.
- COELHO, E.V.; FONTES, P.C.R. **Índices agronômicos do meloeiro associada a dose adequada de nitrogênio, em ambiente protegido e no campo.** Ciência e Agrotecnologia, vol.29, n.5, p.974-979. 2005.
- COELHO, F. S.; FONTES, P. C. R.; CECOM, P. R.; BRAUN, H.; SILVA, I. R. **Valor e predição do nível crítico de índices para avaliar o estado nitrogenado da batateira.** Revista Ciência Agrônômica, vol. 44, p. 115-122, 2013.
- COELHO, F.S.; FONTES, P. C. R.; BRAUN, H.; SILVA, M. C. C. **Using a Chlorophyll Meter Readings for Monitoring Nitrogen Status of Potato Cultivars.** Journal of Agricultural Science and Technology, vol. 2, p. 248-256, 2012.

COELHO, F.S.; FONTES, P. C. R.; PUIATTI, M.; NEVES, J. C. L.; SILVA, M. C. C. **Dose de nitrogênio associada à produtividade de batata e índices do estado de nitrogênio na folha.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 34, p. 1175-1183, 2010.

COELHO, F.S.; FONTES, P.C.R.; FINGER, F.L.; CECON, P.R. **Avaliação do estado nutricional do nitrogênio em batateira por meio de polifenóis e clorofila na folha.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, vol.47, n.4, p.584-592, 2012.

DUNN, B.L.; GOAD, C. **Effect of foliar nitrogen and optical sensor sampling method and location for determining ornamental cabbage fertility status.** HortScience, vol.50, n.1, p.74-77, 2015.

FERNANDES, A.M.; SORATTO, R.P.; SILVA, B.L.; SCHLICK, G.D.S. **Crescimento, acúmulo e distribuição de matéria seca em cultivares de batata na safra de inverno.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, vol. 45, n. 8, p. 826-835, 2010.

FONTES, P.C.R.; SILVA, M.C.C.; MIRANDA, G.V. **Statistical models in plant diagnosis and calculating recommended nitrogen rates.** In: He, Z.; Larkin, R.; Honeycutt, W. (Eds). (Org.). Sustainable Potato Production: Global Case Studies. New York: Springer, vol.1, p.1-13, 2012.

FONTES, P.C.R. **Diagnóstico do estado nutricional das plantas.** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 122p., 2001.

FONTES, P.C.R. **Nutrição mineral de plantas: avaliação e diagnose.** Viçosa: Editora Arka, 296p, 2011.

FONTES, P.C.R., SILVA, M.C.C. **Proposição de uma tabela de cor (UFV 80 - Monalisa) para a avaliação do estado de N da batateira.** Batata Show, vol.6, n.16, 2006.

FORTIER, E.; DESJARDINS, Y.; TREMBLAY, N.; BÉLEC, C.; CÔTÉ, M. **Influence of irrigation and nitrogen fertilization on broccoli polyphenolics concentration.** Acta Horticulturae. (ISHS), vol.856, p.55-62, 2010.

GIL, P.T. **Índices e eficiência de utilização de nitrogênio pela batata influenciados por doses de nitrogênio em pré-plantio e em cobertura.** Viçosa: UFV, 81p. (Mestrado em Fitotecnia), 2001.

GIL, P.T.; FONTES, P.C.R.; CECON, P.R.; FERREIRA, F.A. **Índices SPAD para diagnóstico do estado de nitrogênio e para o prognóstico da produtividade da batata.** Horticultura Brasileira, vol. 20, n. 4, p. 611-615, 2002.

GILETTO, C.M., DÍAZ, C., RATTÍN, J.E., ECHEVERRÍA, H.E., CALDIZ, D.O. **Green index to estimate crop nitrogen status in potato processing varieties Chilean.** Journal of Agricultural research, vol. 70, n.1, p.142-149, 2010.

GUIMARÃES, T.G.; FONTES, P.C.R.; PEREIRA, P.R.G.; ALVAREZ, V.H.; MONNERAT, P.H. **Determinação dos teores de N na seiva do tomateiro por meio de medidor portátil.** Horticultura Brasileira, vol.16, n.2, p.144-151, 1998.

HUAN, Y.; HUA-SONG, W. ZHI-JIE, W. **Evaluation of SPAD and Dualex for in-season corn nitrogen status estimation.** Acta Agronomica Sinica, vol.36, n.5, p.840–847, 2010.

JACKSON, M.L. **Nitrogen determinations for soil and plant tissue.** In: JACKSON, M.L., ed. Soil chemical analysis. Englewood Chiffs, Prentice Hall, p.183-204, 1958.

JADOSKI, S.O.; LOPES, E.C.; MAGGI, M.F.; SUCHORONCZEK, A.; SAITO, L.R.; DENEGA, S. **Método de determinação da área foliar da cultivar de batata Ágata a partir de dimensões lineares.** Semina: Ciências Agrárias, Londrina, vol. 33, n.1, p. 2545-2554, 2012.

JINDONG, W.A.; DONG, B.; ROSEN, C.J.; BAUER, M.E. **Comparison of petiole nitrate concentrations, SPAD chlorophyll readings, and QuickBird satellite imagery in detecting nitrogen status of potato canopies.** Field Crops Research, vol.101, p.96–103. 2007.

KATSVAIRO, T.W., COX, W.J.; Van Es, H.M. **Spatial growth and nitrogen uptake variability of corn at two nitrogen levels.** Agronomy Journal, vol.95, p.1000–1011. 2003.

LEÃO, A.B. **Produtividade de tubérculos e índices de nitrogênio em plantas de batata influenciados por fontes e doses de nitrogênio.** Viçosa: UFV, (Doutorado em Fitotecnia), 2013.

LUZ, J.M.Q.; QUEIROZ, A.A.; OLIVEIRA, R.C. **Teor crítico foliar de nitrogênio na batata ‘Asterix’ em função de doses de nitrogênio.** Horticultura Brasileira, vol.32, n.2: p. 225-229, 2014.

MAJIC, A.; POLJAK, M.; SABLJO, A.; SEFO, E.; KNEZOVIC, Z. **Nitrate-nitrogen rates in petiole sap potato crop (*Solanum tuberosum*).** Acta Horticulturae, vol.846, p.333-338, 2009.

MILAGRES, C.C. **Índices de nitrogênio na planta e produção de batata-semente básica influenciados pelo parcelamento do fertilizante nitrogenado.** Viçosa: UFV (Mestrado em Fitotecnia), 2011.

MOREIRA, M.A.; FONTES, P.C.R.; CECON, P.R.; ARAÚJO, R.F. **Índices para avaliar o estado de nitrogênio da batata multiplicada por distintos materiais propagativos.** Revista Ceres, vol.58, n.3, p. 384-392, 2011.

MUÑOZ-HUERTA, R.F.; GUEVARA-GONZALEZ, R.G.; CONTRERAS-MEDINA, L.M.; TORRES-PACHECO, I.; PRADO-OLIVAREZ, J.; OCAMPO-VELAZQUEZ, R.V.

A review of methods for sensing the nitrogen status in plants: advantages, disadvantages and recent advances. Sensors, vol.13, n.8, p.10823–10843, 2013.

QUEIROZ, L.R.M.; KAWAKAMI, J.; MULLER, M.M.L.; UMBURANAS, R.C.; ESICHEMBACK, V. **Tamanho de tubérculo-semente e espaçamento na produtividade de batata em condições de campo.** Comunicata Scientiae, vol.4, n.3, p. 308-315, 2013.

REIS JÚNIOR, R.A.; MONENERAT, P.H. **Nutrient concentrations in potato stem petiole and leaflet in response to potassium fertilizer.** Scientia Agrícola, vol.57, p.251-255, 2000.

RONCHI, C.P.; FONTES, P.C.R.; PEREIRA, P.R.G.; NUNES, J.C.S.; MARTINEZ, H.E.P. **Índices de N e de crescimento do tomateiro em solo e em solução nutritiva.** Revista Ceres, vol.48, n.278, p.469-484, 2001.

SAMPAIO JR, J.D.; FONTES, P.C.R.; GUIMARÃES, M.A., MOREIRA, M. A. **Produção de mini-tubérculos de batata propagada por brotos, em função de doses de N aplicadas ao substrato.** Bioscience Journal, vol. 25, n. 5, p. 75-82, 2009.

SATTELMACHER, B.; KLOTZ, F.; MARSSCHNER, H. **Influence of nitrogen level on root growth and morphology of two potato varieties differing in nitrogen acquisition.** Plant and soil, Dordrecht, vol.23, n.2, p.131-137, 1990.

SCHEIDT, M.F.C.; STOETZER, A.; BALDIN, I.; KAWAKAMI, J. **Efeito da adubação nitrogenada em parâmetros morfológicos de plantas de batata cultivar ágata em guarapuava.** Horticultura Brasileira vol.27, n.2, p.S3228-S3231, (Suplemento - CD Rom), 2009.

SCHEPERS, J.S.; FRANCIS, D.D.; VIGIL, M.; BELOW, F.E. **Comparison of corn leaf nitrogen concentration and chlorophyll meter readings.** Communications in Soil Science and Plant Analysis, vol.23, n.17/20, p.2173-2187. 1992.

SCHRODER, J.J.; NEETESON, J.J; OENEMA, O.; STRUIK, P.C. **Does the crop or the soil indicate how to save nitrogen in maize production? Reviewing the state of the art.** Field Crops Research, vol.66, p.151-164, 2000.

SHARMA, L.K.; FRANZEN, D.W. **Use of corn height to improve the relationship between active optical sensor readings and yield estimates.** Precision Agriculture, vol. 15, n. 3, p. 331-345, 2014.

SILVA, M.C.C; COELHO, F.S.; BRAUN, H.; FONTES, P.C.R. **Índice SPAD em função de diferentes horários e posições no folíolo da batata sob fertilização nitrogenada.** Revista Ciência Agronômica, vol. 42, n. 04, p. 971-977, 2011.

SINGH, V.; SINGH, Y.; SINGH, B.; THIND, H.S.; KUMAR, A.; VASHISTHA, M. **Calibrating the leaf colour chart for need based fertilizer nitrogen management in**

different maize (*Zea mays L.*) genotypes. Field Crop Research, vol. 120, n. 2, p. 276-282, 2011.

SOUZA, C.B.S.; FONTES, P.C.R.; MOREIRA, M.A.; CECON, P.R.; PUIATTI, M. **Produção de minitubérculos de batata semente básica em hidroponia em função de doses de nitrogênio.** Revista Ciência Agronômica, vol.44, n.4, Fortaleza, 2013.

SOUZA, C.B.S.; FONTES, P.C.R.; MOREIRA, M.A.; PUIATTI, M.; MARTINEZ, H.E.P.; ARAÚJO, R.F. **Production of basic potato seed minitubers in substrate and different nitrogen rates.** Revista Ceres, Viçosa, vol.59, n.6, 2012.

STONE, L.F.; SILVA, G.M.E.; MOREIRA, J.A.A. **Uso do clorofilômetro SPAD-502 na estimativa do nitrogênio foliar específico e da produtividade do feijoeiro.** In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, Resumos. Universidade Federal de Viçosa, UFV, p.743-746, 2002.

TREMBLAY, N.; BÉLEC, C.; JENNI, S.; FORTIER, E.; MELLGREN, R. **The Dualex - A new tool to determine nitrogen sufficiency in broccoli.** Acta Horticulturae. (ISHS), vol.824, p.121-132, 2009.

TREMBLAY, N.; WANG, Z.; BÉLEC, C. **Performance of Dualex in spring wheat for crop nitrogen status assessment, yield prediction and estimation of soil nitrate content.** Journal of Plant Nutrition, vol.33, n.1, p.57 -70, 2010.

VOS, J.; van der PUTTEN PEL. **Effect of nitrogen supply on leaf growth, leaf nitrogen economy and photosynthetic capacity in potato.** Field Crops Research vol.59, p.63-72, 1998.

WALWORTH, J.L.; MUNIZ, J.E. **A Compendium of tissue nutrient concentrations for field-grown potatoes.** American Potato Journal, vol.70, p.579-597, 1993.

WU, J.; WANG, D.; ROSEN, C.J.; BAUER, M.E. **Comparison of petiole nitrate concentration, SPAD chlorophyll readings, and QuickBird satellite imagery in detecting nitrogen status of potato canopies.** Field Crops Research, vol.101, p.96-103, 2007.

YIN, X.; McCLURE, M.A.; JAJA, N.; TYLER, D.D.; HAYES, R.M. **In-season prediction of corn yield using plant height under major production systems.** Agronomy Journal, vol.103, p.923-929, 2011.

ZAKERI, H.; SCHOENAU, J.; VANDENBERG, A.; ALIGODARZ, M.T.; BUECKERT, R.A. **Indirect estimations of lentil leaf and plant n by SPAD chlorophyll meter.** International Journal of Agronomy, vol.2015, p.1-10, 2015.

ZHENG, H.; LIU, Y.; QIN, Y.; CHEN, Y; FAN, M. **Establishing dynamic thresholds for potato nitrogen status diagnosis with SPAD chlorophyll meter.** Journal of Integrative Agriculture, vol. 14, n.1, p.190-195, 2015.

ZHOU, G.; YIN, X. **Relationship of cotton nitrogen and yield with Normalized Difference Vegetation Index and plant height.** Nutrient Cycling in Agroecosystems, vol. 100, n. 2, p. 147-160, 2014.

CAPÍTULO 3 – DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA RADICULAR DE BATATA EM FUNÇÃO DO PARCELAMENTO DO NITROGÊNIO

1. INTRODUÇÃO

A batateira (*Solanum tuberosum* L., Solanaceae) apresenta raiz, caule subterrâneo, caule aéreo, folhas e, dependendo das condições e da cultivar, pode apresentar flor e frutos. O sistema radicular é adventício e superficial, com raízes concentrando-se até 30 cm de profundidade. Na extremidade do caule subterrâneo ou estólón é formado o tubérculo, órgão armazenador de reservas e que é a parte comercial da planta.

A compreensão no desenvolvimento da parte aérea das plantas torna-se mais completa quando também é entendido o que acontece abaixo da superfície do solo, principalmente com relação ao crescimento de raízes. Sabe-se que a cultura da batata possui sistema radicular superficial (Porter et al., 1999) e baixa capacidade para penetrar em solo compactado (Gregory e Simmonds, 1992). Porém, apesar de importante, o estudo do sistema radicular, por ser trabalhoso, tem sido deixado para plano secundário.

O estudo de raízes não somente pela absorção de água e de nutrientes é importante para a compreensão do crescimento e desenvolvimento da parte aérea. A variabilidade de condições físicas, químicas e biológicas do solo tem influência na distribuição das raízes (Vasconcelos et al., 2003).

A distribuição das raízes no solo é resultante de uma série de processos complexos e dinâmicos. Normalmente existe relação direta, positiva e estreita entre o desenvolvimento do sistema radicular das plantas, o volume da copa e a produção agrícola (Tinker, 1981). Embora o desenvolvimento do sistema radicular dependa principalmente de fatores genéticos da planta, certas limitações do solo podem inibi-lo, reduzindo o volume de raízes e, conseqüentemente, o volume de solo explorado, afetando o crescimento e o desenvolvimento da planta e a produção agrícola. Entre as limitações do solo está a disponibilidade de nutrientes.

Entre os nutrientes, a disponibilidade de nitrogênio (N), que apresenta intensa dinâmica no solo, influencia o crescimento do sistema radicular. Em resposta à disponibilidade limitada de N podem ocorrer mudanças fisiológicas e morfológicas no sistema radicular das plantas (Zhang e Forde, 1998; Gojon et al., 2009; Lima et al., 2010).

A aplicação de alta dose de N, combinada com o sistema radicular superficial da batateira, pode levar à perda desse nutriente, principalmente por lixiviação. Assim, para

melhorar a absorção e minimizar os riscos de perdas de N por lixiviação ou desnitrificação o parcelamento do adubo nitrogenado tem sido recomendado (Prochnow et al., 2014). No caso da cultura da batata é possível encontrar recomendação de fazer o parcelamento do adubo nitrogenado em até cinco vezes (Steiber e Mahler, 2003), sendo mais comum o parcelamento, normalmente parte no plantio e parte antes da amontoa.

A eficiência de utilização da dose de N aplicada em parcelamento depende de vários fatores entre os quais o desenvolvimento do sistema radicular da planta. Apesar de importante, em poucos estudos se avaliou o sistema radicular da cultura da batata (Wishart et al., 2012; Gao et al., 2014; Villordon et al., 2014). Isto é devido, principalmente, à dificuldade de avaliação e à elevada variabilidade dos resultados.

Estudos sobre o crescimento radicular devem ser feitos a partir da avaliação periódica das características das raízes, como massa, comprimento e área em conjunto com fatores que possam influenciar a distribuição do sistema radicular, específicos do solo onde crescem as raízes (Bohm, 1979). De acordo com Atkinson (2000), das características mensuráveis, o comprimento da raiz determina o potencial de absorção de água e nutrientes do solo; a massa da raiz determina o estoque total de material subterrâneo e nutrientes acumulados; o volume determina o volume de solo ocupado pelas raízes e a área determina a capacidade de captação de água e nutrientes existentes no solo.

O objetivo do trabalho foi caracterizar o desenvolvimento do sistema radicular de duas cultivares de batata, Ágata e Asterix, em função do modo da aplicação e parcelamento adubo nitrogenado.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O material e métodos utilizados nestes experimentos estão descritos no capítulo 1.

Tratamentos

Os tratamentos foram constituídos de uma testemunha, sem N (T1), 220 kg ha⁻¹ de N aplicados parcelado em duas aplicações (T2) e em dose única no plantio (T3), sendo a fonte utilizada, ureia (44% de N).

Tratamento 1 – 0% de N;

Tratamento 2 – 50% da dose de N no plantio + 50% da dose de N aos 22 (DAE);

Tratamento 3 – 100% da dose de N no plantio.

As avaliações do sistema radicular foram realizadas em seis épocas: 10, 21, 34, 48, 62 e 76 DAE. Para os tubérculos, foi incluída a última avaliação realizada aos 90 DAE para Ágata e 102 para Asterix.

Nas datas de avaliação, exceto a última que foi reportada no capítulo 1, foi colhida uma planta, escolhida aleatoriamente na parcela experimental. Em seguida, a planta foi dividida em parte aérea (folha e caule) e parte subterrânea (raízes e tubérculos). A parte subterrânea foi retirada em monolito de 25x25x25 cm, tomando-se o cuidado para não deixar nenhum tubérculo da planta sem ser colhido. Em seguida, o material foi acondicionado em saco plástico e transportado para o laboratório.

Para a caracterização morfológica das raízes, todo o solo contendo o sistema radicular foi transferido para uma peneira de 20 mesh, sendo lavado com água corrente. Imediatamente após a lavagem, as raízes das plantas foram armazenadas em vidro contendo etanol 70% e armazenadas em geladeira para avaliação posterior.

Características avaliadas:

A1. Número, comprimento e massa seca de estólons

Foi contado o número de estólons por planta. Em seguida, 10 estólons, escolhidos aleatoriamente por planta, tiveram o comprimento aferido com o auxílio de uma régua milimetrada. Em seguida, os estólons foram acondicionados em sacos de papel e colocados em estufa com circulação forçada de ar, à 70°C, onde permaneceram até atingir massa constante. Após a secagem, foi determinada a massa seca (g/planta) dos estólons por meio da pesagem em balança analítica.

A2. Comprimento, superfície radicular e volume de raiz

O sistema radicular foi avaliado por análise de imagens, utilizando-se o software WinRhizo Pro 2009a (Basic, Reg, Pro & Arabidopsis for Root Measurement) acoplado a um scanner EPSON Perfection V700/V750 equipado com luz adicional (TPU), com definição de 400 dpi. As raízes foram avaliadas quanto ao comprimento (cm), superfície (cm²) e volume (cm³).

A3. Massa seca de raiz

As raízes da planta foram acondicionadas em sacos de papel e colocadas em estufa circulação forçada de ar, à 70°C, onde permaneceram até atingirem massa constante. Após a secagem, a massa seca (g/planta) foi determinada por pesagem em balança analítica.

A4. Número, massa fresca e seca de tubérculos

Foi contado o número de tubérculos por planta, e em seguida esses foram submetidos à pesagem em balança analítica para determinação da massa fresca (g/planta). Posteriormente, os tubérculos foram acondicionados em sacos de papel e colocados em estufa com circulação forçada de ar, à 70°C, onde permaneceram até atingir massa constante. Após a secagem, foi determinada a massa seca dos tubérculos por pesagem em balança analítica.

Análise estatística

O experimento foi instalado no delineamento em blocos casualizados, no esquema fatorial 3 x 7, para cultivar Ágata, e 3 x 8, para cultivar Asterix (modo de aplicação x época de avaliação), com três repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas diversas épocas de amostragens, o número de estólons foi influenciado pelos tratamentos em ambas as cultivares, Ágata (Fig. 1A) e Asterix (Fig. 2A). O tubérculo da batata é o resultado do intumescimento da extremidade dos estólons, que são caules subterrâneos modificados, produzidos pelo acúmulo de reservas de amido nas células parenquimatosas, ou seja, a produção de tubérculos está na dependência do crescimento e desenvolvimento dos estólons (Tavares, 2002).

O comprimento dos estólons foi influenciado pelo modo de aplicar N, sendo que para ambas cultivares, Ágata e Asterix (Fig. 1B e 2B, respectivamente), em geral, o tratamento sem aplicação de N foi o que proporcionou o maior comprimento. Resultados contrários foram obtidos por Bregagnoli (2006), que não encontrou diferença no comprimento de estólons devido à diferentes doses de N com a média de 2,5 e 6,0 cm para as cultivares Asterix e Atlantic, respectivamente. Estólons curtos favorecem o “embolamento”, que os tubérculos fiquem juntos e entrelaçados, prejudicando o seu desenvolvimento e classificação. Porém, estólons longos podem originar tubérculos fora da linha de plantio, correndo-se o risco de sofrerem lesões devido às práticas de amontoa e capina (Bregagnoli, 2006).

Elevado suprimento de N antes da diferenciação dos tubérculos, resulta em estólons extremamente longos e pode impedir a formação dos tubérculos (Krauss e Marchner, 1982; Smith, 1977) o que, provavelmente, contribui para o atraso no seu crescimento. Dados da literatura mostram que condições de dias curtos favorecem a formação precoce dos tubérculos e de estólons curtos, com menor estatura de plantas, enquanto dias longos atrasam a tuberização, induzem estólons maiores e crescimento mais abundante da parte aérea (Beukema e Zaag, 1979).

O diâmetro de estólons não foi influenciado pelos tratamentos, apresentando pequena variação entre os modos de aplicação do N, para cultivar Ágata (Fig. 1C). Para a cultivar Asterix (Fig. 2C), o parcelamento da dose de N (T2) e a aplicação de 100% da dose no plantio (T3) apresentaram plantas com maior diâmetro de estólons quando comparado ao tratamento sem aplicação de N (T1).

Comparando-se as médias da massa seca de estólons, ao longo do desenvolvimento da cultura a planta no tratamento sem aplicação de N foi, em geral, o que apresentou maiores valores, tanto para Ágata (Fig. 1D) quanto para Asterix (Fig. 2D).

As raízes de estólons são aquelas raízes emitidas na base dos estólons e se encontram na junção do estolon com o caule subterrâneo (Villordon et al., 2014). Raízes basais podem ser importantes para a absorção de água e de ancoragem enquanto que as raízes de estólons podem se espalhar a partir dos estólons horizontalmente em níveis mais altos podendo ser mais importantes na aquisição de nutrientes e formação de tubérculos (Wishart et al., 2012).

Houve efeito do modo de aplicação de N sobre a massa seca de raiz de estólons, sendo que, ao longo do desenvolvimento, a massa seca de raízes de estólons teve um pequeno aumento, mas em seguida diminuiu. Em geral, para a cultivar Ágata (Fig. 1E), para todos os tratamentos há uma diminuição da massa seca de raiz de estolon, ao longo do desenvolvimento da planta. Resultado semelhante foi obtido para a cultivar Asterix (Fig. 2E), sendo observado aumento de massa seca de raiz de estólons no início do desenvolvimento seguido de queda, com exceção que das últimas três avaliações para o tratamento com 100% de N aplicado no plantio, para o qual se obteve maior massa seca. A massa seca foi afetada pelo modo de aplicar N, apresentando comportamento diferente para as cultivares estudadas. Resultados semelhantes foram encontrados por Wishart et al. (2012), que observaram variabilidade entre os dados obtidos para a massa seca de raiz de estólons comparando diferentes genótipos de batata.

Quanto à massa seca de raiz, para a cultivar Ágata há uma redução de massa seca de raiz ao longo do desenvolvimento da cultura, sendo que o tratamento sem adição de N foi o que apresentou os maiores valores em comparação aos demais tratamentos (Fig. 1F). A cultivar Asterix (Fig. 2F) apresentou comportamento semelhante, redução da massa seca de raiz ao longo das avaliações.

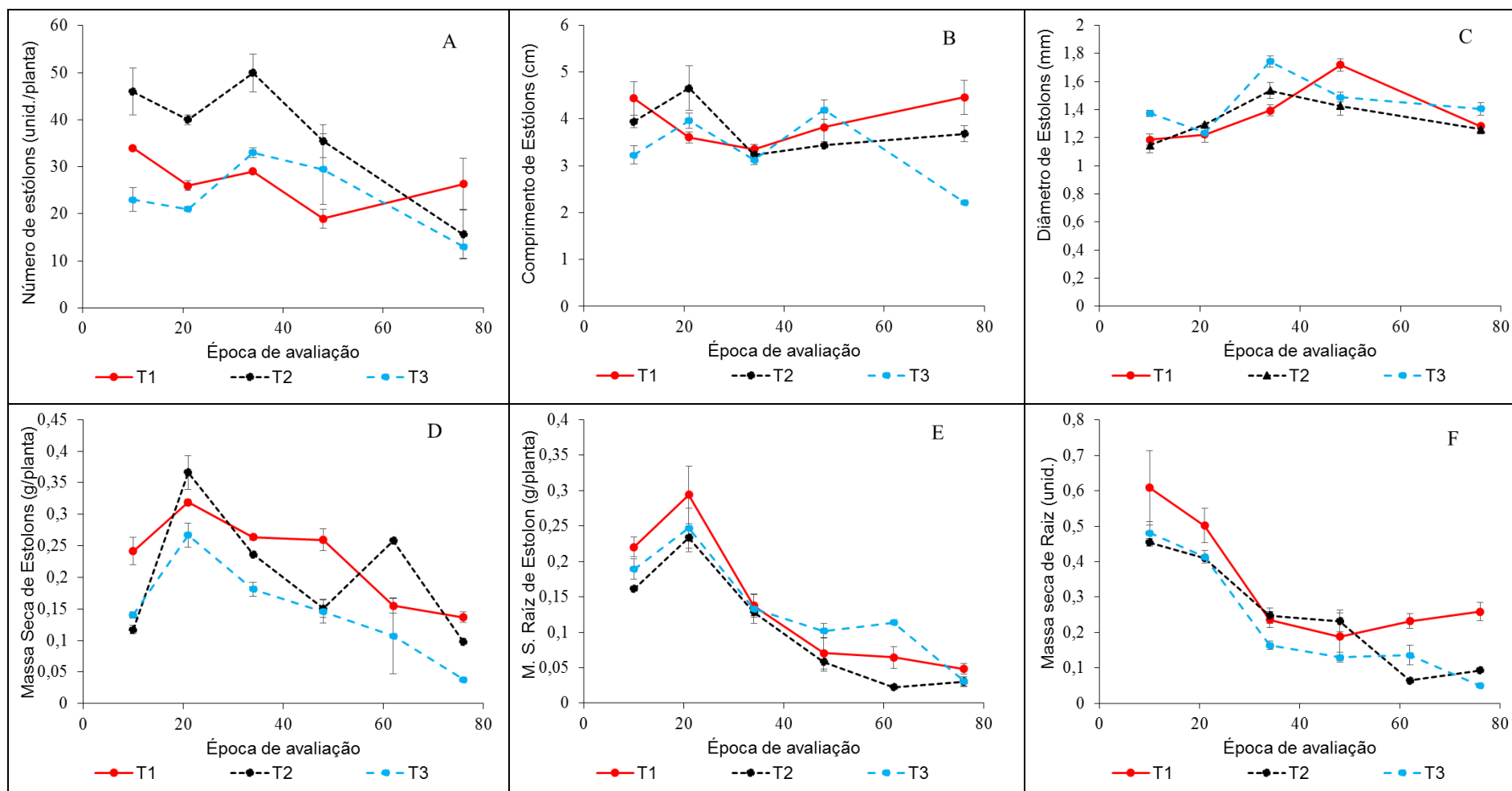


Figura 1 – Efeito dos diferentes modos de aplicar nitrogênio sobre o número de estólons(A) Comprimento de estólons (B) Diâmetro de estólons (C) Massa seca de estólons (D) Massa seca de raiz nos estólons (E) Massa seca de raiz (F) ao longo do tempo, cultivar Ágata. T1 – 0% de N; T2 – 50% de N no plantio e 50% de N em cobertura; T3 – 100% de N no plantio.

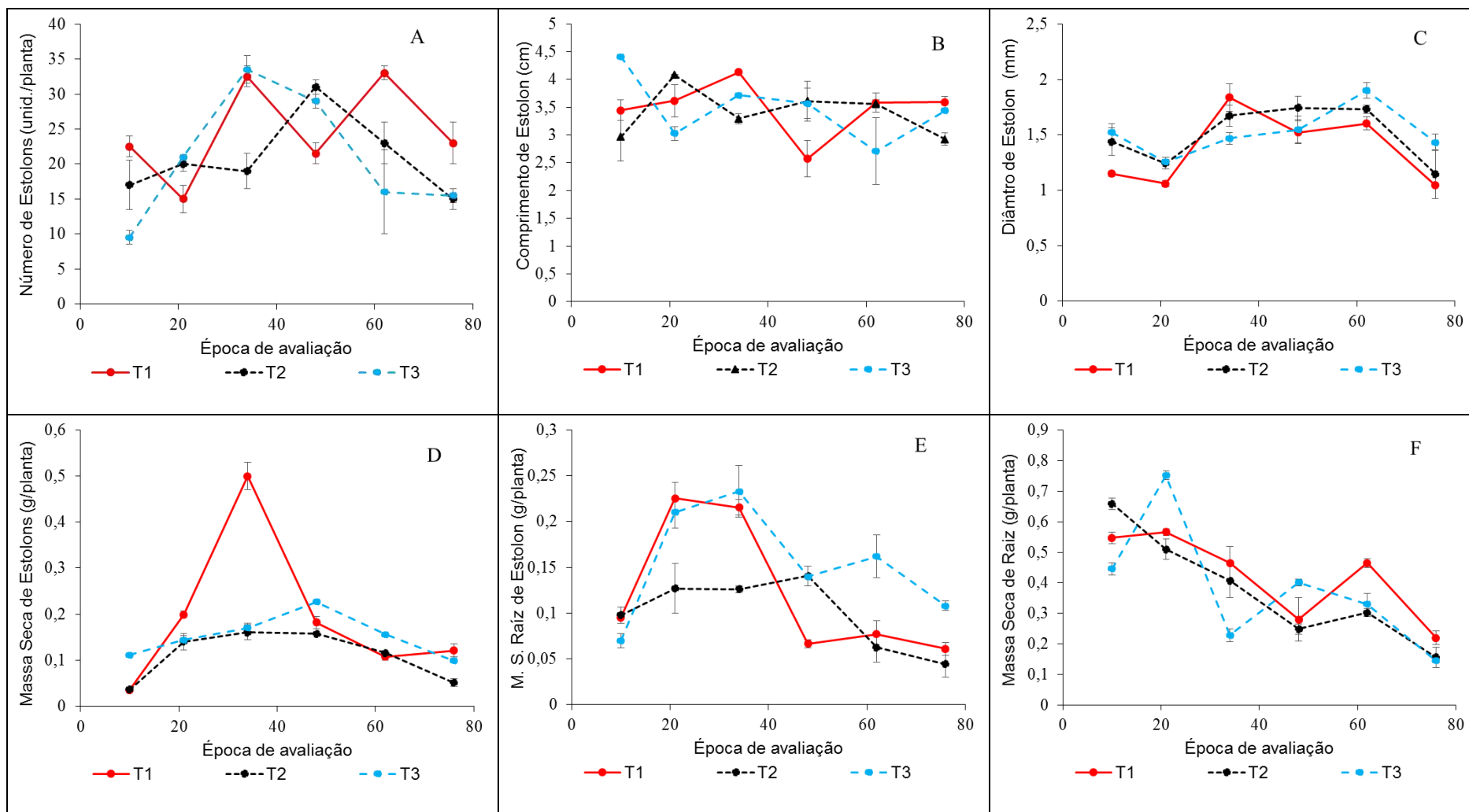


Figura 2 – Efeito dos diferentes modos de aplicar nitrogênio sobre o número de estólons(A) Comprimento de estólons (B) Diâmetro de estólons (C) Massa seca de estólons (D) Massa seca de raiz nos estólons (E) Massa seca de raiz (F) ao longo do tempo, cultivar Asterix. T1 – 0% de N; T2 – 50% de N no plantio e 50% de N em cobertura; T3 – 100% de N no plantio

Quanto ao comprimento radicular, à superfície radicular e ao volume radicular das raízes de batata, em geral, foi observada redução nesses parâmetros ao longo do desenvolvimento de raiz, tanto para a cultivar Ágata (Fig. 3 A, B e C), quanto para a cultivar Asterix (Fig. 3 D, E e F). Em geral, para ambas as cultivares, as plantas do tratamento sem aplicação de N (T1) apresentaram maiores valores para essas características em comparação com os demais tratamentos. Em linhagens de milho, em geral foram observados valores estatisticamente diferentes entre as linhagens para comprimento, volume e superfície radicular, em baixa e alta disponibilidade de N (Soares et. al., 2009).

O desenvolvimento de raiz da planta no tratamento com a aplicação de 100% de N no plantio (T3) foi inicialmente afetado, para ambas as cultivares. Uma das possíveis causas seria o aumento da condutividade elétrica da solução do solo, como discutido no capítulo 1.

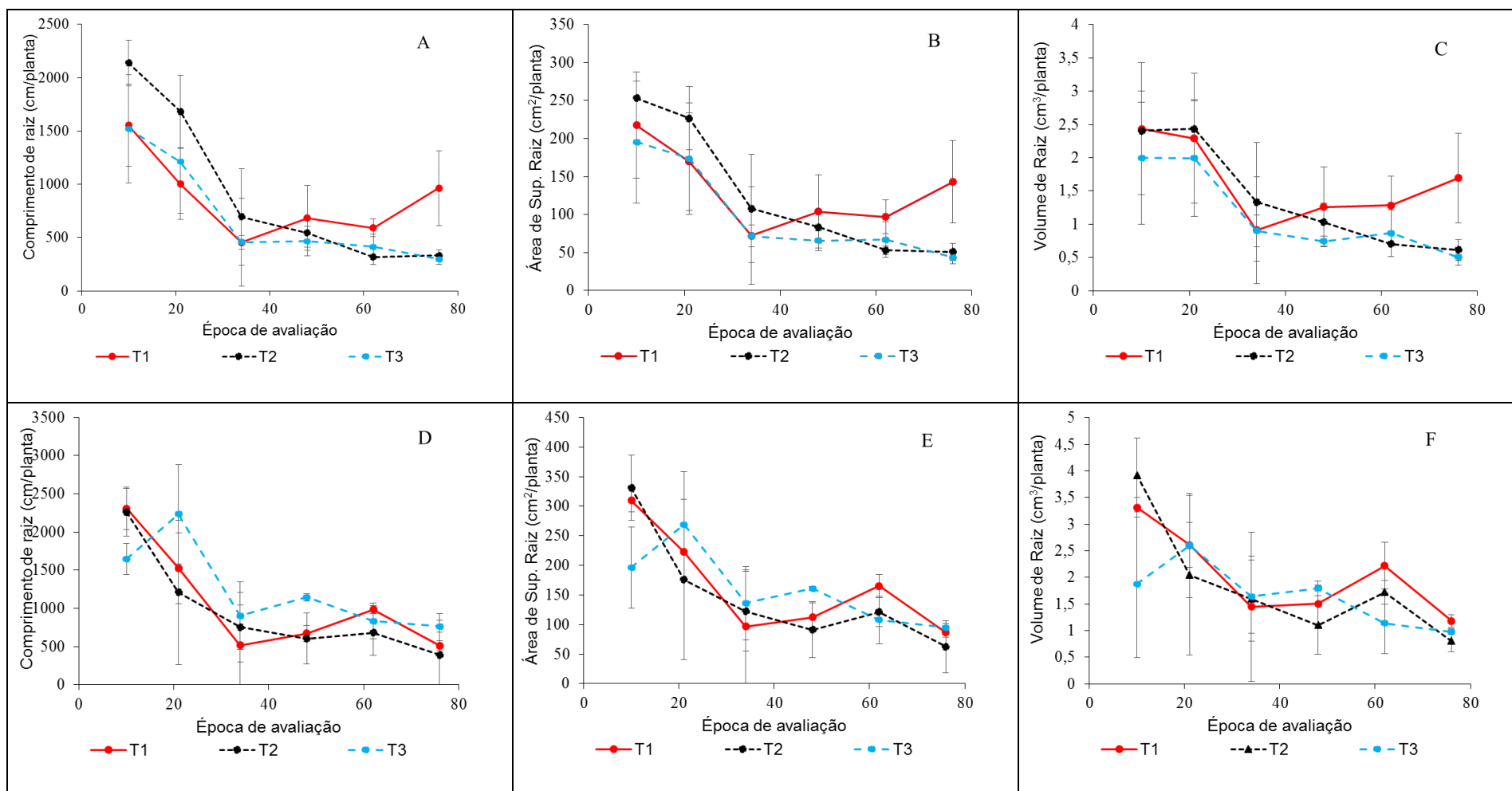


Figura 3 – Características morfoanatômicas de raiz de batata cultivares Ágata (A, B e C) e Asterix (D, E e F), cultivadas sob os diferentes modos de aplicar nitrogênio. (A, D) Comprimento de raiz; (B, E) Área de superfície de raiz; (C, F) Volume de raiz. T1 – 0% de N; T2 – 50% de N no plantio e 50% de N em cobertura; T3 – 100% de N no plantio.

Houve efeito dos tratamentos sobre o número de tubérculos, tanto para a cultivar Ágata, quanto para a cultivar Asterix. Na literatura são encontrados trabalhos de campo mostrando que o incremento na dose de N aumenta o número total de tubérculos (Gil et al., 2002; Leão, 2013). Já, resultados obtidos em casa de vegetação, demonstram que não há efeito da dose de N aplicada ao substrato sobre o número de tubérculos por vaso (Fontes et al., 2008; Sampaio Júnior et al., 2009) e da dose e do modo de aplicação do N sobre o número de tubérculos (Milagres et al., 2013).

Para a cultivar Ágata, na primeira avaliação aos 21 DAE, quando ainda não havia sido colocado o restante da dose de N em cobertura o tratamento sem N (T1) foi o que apresentou plantas com o maior número de tubérculos, mas no decorrer das avaliações o tratamento parcelado (T2) foi o que proporcionou os maiores valores de números de tubérculos (Fig. 4A). Para a cultivar Asterix (Fig. 4D), houve tendência de maiores valores de número de tubérculos comparado aos demais tratamentos, exceto na colheita final, em que o tratamento com aplicação de N parcelado (T2) apresentou maior resultado. O critério utilizado neste trabalho para a contagem do número de tubérculos foi a presença do início da formação dos tubérculos na extremidade do estólón. Assim, a variação na quantidade de tubérculos entre as datas de avaliação pode ser explicada em parte, pelo fato de nem todos os tubérculos em início de desenvolvimento, que foram contados, se desenvolveram. Além disso, a planta durante o seu desenvolvimento continuou emitindo estólons.

Quanto à variável massa fresca de tubérculos, para a cultivar Ágata (Fig. 4B), o parcelamento do N em 50% no plantio e 50% em cobertura foi o tratamento que proporcionou os maiores valores em comparação com os demais. Já para a cultivar Asterix (Fig. 4E), a massa fresca do tubérculo é a principal característica para o mercado “*in natura*”

A evolução dos valores de matéria seca dos tubérculos, ao longo do ciclo da cultura, em função do modo de parcelar a ureia está mostrada para Ágata (Fig. 4C) e para Asterix (Fig. 4F). A matéria seca dos tubérculos é importante no processamento da batata na forma de frituras (Lopes e Buso, 1997). Sendo que a maior quantidade de matéria seca implica em menor absorção de gordura e conseqüentemente em produto final mais crocante, com melhor sabor e aparência (Melo, 1999).

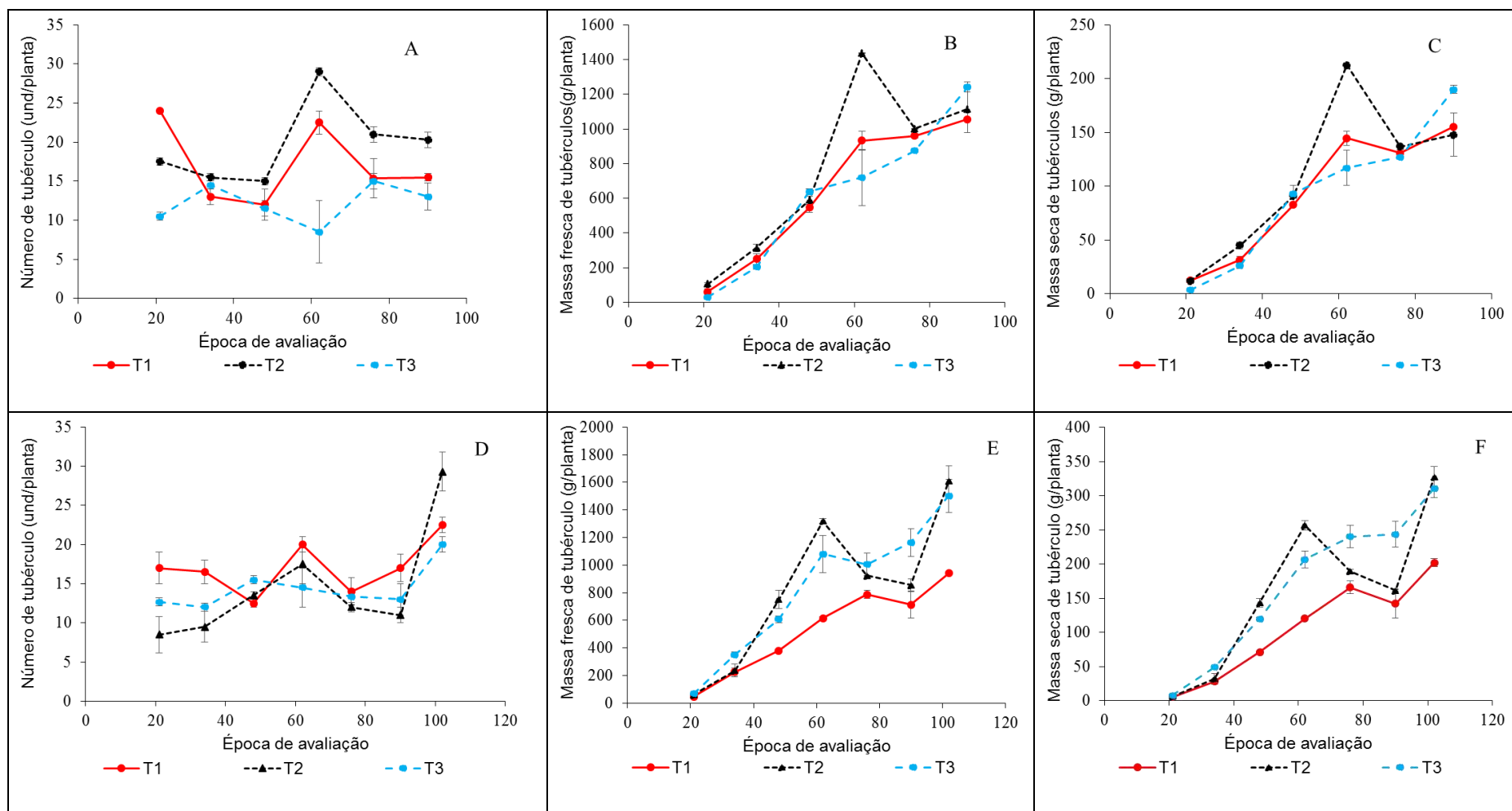


Figura 4 - Número, massas fresca e seca de tubérculos de batata, cultivares Ágata (A, B e C) e Asterix (D, E e F), cultivada sob os diferentes modos de aplicar nitrogênio (A, D) Número de tubérculos por planta (B, E) Massa fresca de tubérculo (C, F) Massa seca de tubérculo. T1 – 0% de N; T2 – 50% de N no plantio e 50% de N em cobertura; T3 – 100% de N no plantio.

A resposta da arquitetura do sistema radicular varia de acordo com o elemento que se encontra em deficiência ou excesso no solo. No caso do N, que apresenta mobilidade no solo, e portanto, facilidade de ser perdido ao longo do perfil, o crescimento da raiz primária é mantido, uma vez que esta pode alcançar o N que tenha descido no perfil no solo (Silva e Delatorre, 2009). Em altas concentrações de NO_3^- no solo, o fluxo de massa transporta N suficiente para o sistema radicular, sendo a taxa de absorção dependente unicamente da taxa de transporte da superfície da raiz. Em contrapartida em concentrações menores de NO_3^- no solo, a importância da taxa até a difusão torna-se maior, podendo ser limitante (Engels e Marschner, 1995). Nesse caso a arquitetura de raiz começa, então, a ter uma maior importância, já que a superfície de absorção, juntamente com o conteúdo de água no solo, influenciam significativamente a taxa de difusão (Robinson, 1996; 2001).

Nesse caso ocorre alongamento das raízes laterais, sem alteração no comprimento da raiz principal, a fim de localizar no solo regiões com maior concentração de N e, nesses locais, as plantas emitem raízes secundárias, terciárias, quaternárias e pelos radiculares (Silva e Delatorre, 2009). Isso pode ser verificado no presente trabalho, nas Figuras 1 e 2, no tratamento sem aplicação de N, que apresenta maior massa seca de raiz em comparação com os demais tratamentos, para ambas as cultivares Ágata e Asterix. Essa proliferação de raízes em áreas ricas em N, à primeira vista, parece não trazer benefícios, uma vez que o N encontra-se em alta concentração e, portanto com alta disponibilidade. Porém, considerando um ambiente competitivo, a proliferação de raízes fornece maior capacidade de captação de N àquele indivíduo (Robinson, 2001). A planta, portanto, apenas altera a arquitetura incrementando o número de raízes laterais quando há condições reais de maior captação do N. Portanto, alto teor de N no solo causa inibição do desenvolvimento de raízes laterais (Zhang e Forde, 2000). A cultura da batata é moderadamente sensível a salinidade do solo. No presente trabalho, no início do desenvolvimento do sistema radicular, para ambas as cultivares, foram afetadas pela condutividade elétrica.

Mudanças na arquitetura da raiz, aumento da razão raiz: parte aérea e aumento da superfície de raiz são respostas conhecidas de plantas ao estresse deficiência de N. Um estudo feito por Schum e Jansen (2014) mostrou genótipos de batata, *in vitro*, com maior desenvolvimento radicular sob estresse de deficiência de N. Enquanto em alguns genótipos a massa fresca de raiz continuamente diminuiu com a redução disponibilidade de N, as demais cultivares intensificaram o desenvolvimento das raízes sob redução do suprimento de N.

Vários experimentos também têm mostrado que a fonte do N também pode afetar o desenvolvimento de raiz. Osaki et al. (1995) encontraram em experimento de campo que NO_3^- estimula o crescimento de estólons de batata em comparação com a NH_4^+ . Já em experimentos de hidroponia, tanto o número quanto o comprimento de estólons por planta foram maiores em tratamento com NO_3^- do que com NH_4^+ (Gao et al., 2014). No presente trabalho, o número de estólons é afetado pelo modo de aplicação do N, porém ele não afeta o comprimento de estólons, como pode ser observado na Figura 1, para a cultivar Ágata. Para a cultivar Asterix (Fig. 2) tanto o número quanto o comprimento do estólons não são afetados pelo N.

Um dos motivos para que o tratamento sem aplicação de N (T1) tenha apresentado em geral, maior resultado no final do desenvolvimento de raiz de batata que os demais tratamentos, é o fato da planta desenvolver mais o sistema radicular em busca de N no solo para enchimento dos tubérculos. O aumento da área, volume, massa e extensão, além do acréscimo das ramificações, possivelmente representam estratégias alternativas na exploração do volume do solo e na aquisição dos recursos encontrados pelo sistema radicular (Harper et al., 1991).

Aos 21 DAE, observa-se que há inibição do desenvolvimento de tubérculos de batata para o tratamento não parcelado (T3), cultivar Ágata (Fig. 4 A,B,C), isso pode estar relacionado ao fato que o N está envolvido no controle da tuberização (Krauss, 1985; Jackson, 1999). Níveis elevados de N podem retardar a diferenciação e crescimento inicial dos tubérculos, ou alterar níveis de reguladores de crescimento na planta, assim doses consideradas elevadas de N podem atrasar o início da tuberização (Bélanger et al., 2001); e reduzir a translocação do carbono da folha para os tubérculos e aumentam o fluxo de N para as folhas novas (Oparka, 1987). O mesmo não é observado para a cultivar Asterix (Fig. 4 D,E,F), uma vez que cada cultivar responde de forma diferente ao manejo de N. Ao longo do ciclo, a cultivar Asterix é menos eficiente na utilização do N aplicado, pois exige maiores quantidades de N para atingir a máxima produtividade de tubérculos, do que a cultivar Ágata (Fernandes et al., 2011).

Na colheita final, aos 90 DAE, cultivar Ágata, o tratamento não parcelado (T3), apresentou um menor número de tubérculos totais comprado com os demais tratamentos, foi também o que apresentou apesar de não ter diferença estatística quanto à massa fresca de tubérculos, foi o que apresentou maior massa seca de tubérculos em comparação aos demais tratamentos. A massa média dos tratamentos 1 (0% de N), 2 (50% da dose de N no

plantio e 50% da dose de N em cobertura) e 3 (100% da dose de N) foram 68,1; 54,7 e 95,5, respectivamente.

Resultado semelhante para a cultivar Asterix, na colheita final 102 DAE, apresentou um menor número de tubérculos nos tratamentos sem N e 100% da dose de N no plantio comprado com o tratamento parcelado, e apresentando maior massa fresca e seca de tubérculos para os tratamentos parcelado e não parcelado em comparação com o tratamento sem aplicação de N. A massa média dos tratamentos 1 (0% de N), 2 (50% da dose de N no plantio e 50% da dose de N em cobertura) e 3 (100% da dose de N) foram 41,8; 54,8 e 75,0, respectivamente.

4. CONCLUSÕES

- ✓ Foi caracterizado o desenvolvimento do sistema radicular (comprimento, área, volume e massa) de estólons e de tubérculos de batata, cultivares Ágata e Asterix em função do modo de aplicar a ureia no solo.
- ✓ As características relacionadas ao desenvolvimento do sistema radicular, estólons e tubérculos foram influenciadas diferentemente pelo modo de parcelar a ureia dependendo da época de avaliação e de cultivar.
- ✓ Em Ágata, os valores das características relacionadas ao desenvolvimento do sistema radicular foram maiores no tratamento não adubado com nitrogênio.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ATKINSON, D. **Root characteristics: Why and what to measure.** In: SMIT, A.L.; BENGOUGH, A.G.; ENGELS, C.; VAN NOORDWIJK, M.; PELLERIN, S.; VAN DE GEIJN, S.C. (Eds) *Root methods: a handbook.* Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, p.305-341. 2000.
- BÉLANGER, G.; WALSH, J.R.; RICHARDS, J.E.; MILBUM, P.H.; ZIADI, N. **Tuber growth and biomass partitioning of two potato cultivars grown under different N fertilization rates with and without irrigation.** *American Potato Journal*, v. 78, p. 109-117, 2001.
- BEUKEMA, H.P.; ZAAG, D.E. Vna der. **Potato improvement: some factors and facts.** Wageningen: International Agricultural Centre, 224p., 1979.
- BOHM, W. **Methods of studying root systems.** New York: Springer-Verlag, 189p., 1979.
- BREGAGNOLI, M. **Qualidade e produtividade de cultivares de batata para a indústria sob diferentes adubações.** Tese doutorado, Piracicaba, 2006.
- ENGELS, C.; MARSCHNER, H. **Plant uptake and utilization of nitrogen.** In: BACON, P. E. (ed) *Nitrogen fertilization in the environment.* New York: Marcel Dekker, p. 41-81, 1995.
- FERNANDES, A.M.; SORATTO, R.P.; SILVA, B.L. **Extração e exportação de nutrientes em cultivares de batata: I – Macronutrientes.** *Revista Brasileira da Ciência do Solo*, vol.35, p. 2039-2056, 2011.
- FONTES, P.C.R.; SAMPAIO JUNIOR, J.D.; MOREIRA, M.A.; GUIMARÃES, M.A.; PUIATTI, M.; LANI, E.R.G. **Produção de mini-tubérculos de batata-semente em função de doses de nitrogênio aplicadas ao substrato.** *Horticultura Brasileira* 26: p.116-120, 2008.
- GAO, Y.; JIA, L.; HU, B.; ALVA, A.; FAN, M. **Potato Stolon and Tuber Growth Influenced by Nitrogen Form.** *Plant Prod. Sci.* 17(2): 138—143, 2014.
- GIL, P.T.; FONTES, P.C.R.; CECON, P.R.; FERREIRA, F.A. **Índices SPAD para diagnóstico do estado de nitrogênio e para o prognóstico da produtividade da batata.** *Horticultura Brasileira*, vol. 20, n. 4, p. 611-615, 2002.
- GOJON, A.; NACRY, P.; DAVIDIAN, J.C. **Root uptake regulation: a central process for NPS homeostasis in plants.** *Current Opinion in Plant Biology*, 12: p.328–338, 2009.
- GREGORY, P.J.; SIMMONDS, L.P. **Water relation and growth of potatoes.** In: *Harris The potato crop: the scientific basis for improvement.* North Yorkshire: Chapman & Hall, Chap. 5, p. 214-241, 1992.

HARPER, J.L.; JONES, M.; SACKVILLE – HAMILTON, N.R. **The evolution of roots and the problems of analyzing their behavior.** In: Atkinson, D. (Ed.) Plant root growth: Anecological perspective. Oxford: Blackwell, p.3-22, 1991.

JACKSON, S.D. **Multiple Signaling Pathways Control Tuber Induction in Potato.** Plant Physiology 119: 1-8., 1999.

KRAUSS, A.; MARCHNER, H. **Influence of nitrogen nutrition, daylength and temperature on contents of gibberellic and abscisic acid and in tuberization in potato plants.** Potato Reseach, Wagenigen, vol. 25, p.13-21, 1982.

KRAUSS, A. **Interaction of nutrients and tuberization.** In: LI PH. Potato Physiology. London, Academic Press, p. 209-230, 1985.

LEÃO, A.B. **Produtividade de tubérculos e índices de nitrogênio em plantas de batata influenciados por fontes e doses de nitrogênio.** Viçosa: UFV, (Doutorado em Fitotecnia), 2013.

LIMA, J. E.; KOJIMA, S.; TAKAHASHI, H.; AND VON WIRÉN, N. **Ammonium triggers lateral root branching in Arabidopsis in an ammonium transporter1;3-dependent manner.** Plant Cell 22, 3621–3633, 2010.

LOPES, C.A.; BUSO, J.A. **Cultivo da batata.** Instruções Técnicas da Embrapa Hortaliças, Brasília, vol.8, 35p., 1997.

MELO, P.E. **Cultivares de batata potencialmente úteis para processamento na forma de fritura no Brasil e manejo para obtenção de tubérculos adequados.** Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.20, n.197, p.112-119, 1999.

MILAGRES, C.C.; FONTES, P.C.R.; PUIATTI, M.; SILVA, L.J. **Mini-tubérculos de batata semente básica produzidos sob parcelamento e doses de nitrogênio em substrato.** Horticultura Brasileira 31: p. 445-449, 2013.

OSAKI, M., SHIRAI, J., SHINANO, T.; TADANO, T. **Effects of ammonium and nitrate assimilation on the growth and tuber swelling of potato plants.** Soil Sci. Plant Nutr. v.41: p. 709-719, 1995.

OPARKA, K.J.; DAVIES, H.V.; PRIOR, D.A.M. **The influence of applied N on export and partitioning of current assimilate by field-grown potato plants.** Annals of Botany59: 484-488, 1987.

PORTER, G.A.; BRADBURY, W.B.; SISSON, J.A.; OPENA, G.B.; MCBURNIE, J.C. **Soil management and supplemental irrigation effects on potato: I. Soil properties, tuber yield, and quality.** Agronomy Journal, Madison, v. 91, n.3, p.416-425, 1999.

PROCHONOW, L.I.; CASARIN, V.; STIPP, S.R. **Nitrogênio e Enxofre.** In: Boas práticas para o uso eficiente de fertilizantes, vol. 2, p.5-70, 2014.

ROBINSON, D. **Resource capture by localized root proliferation: Why do plants bother?** Annals of Botany, v. 77, p. 179-185, 1996.

ROBINSON, D. **Root proliferation, nitrate inflow and their carbon costs during nitrogen capture by competing plants in patchy soil.** Plant and Soil, v. 232, p. 41-50, 2001.

SAMPAIO JR, J.D.; FONTES, P.C.R.; GUIMARÃES, M.A., MOREIRA, M. A. **Produção de mini-tubérculos de batata propagada por brotos, em função de doses de N aplicadas ao substrato.** Bioscience Journal, v. 25, n. 5, p. 75-82, 2009.

SCHUM, A.; JANSEN, G. **In vitro method for early evaluation of nitrogen use efficiency associated traits in potato.** Journal of Applied Botany and Food Quality 87, 256 – 264, 2014.

SILVA, A. A.; DELATORRE, C. A. **Alterações na arquitetura de raiz em resposta à disponibilidade de fósforo e nitrogênio.** Revista de Ciências Agroveterinárias. Lages, v.8, n.2, p. 152-163, 2009.

SMITH, O. **Potatoes: production, storing, processing.** 2ª edição Westport: The Avi Publishing Company, 776 p., 1977.

SOARES, M.O.; MARRIEL, I.E.; MAGALHÃES, P.C.; GUIMARÃES, L.J.M.; CANTÃO, F.R.O.; ROCHA, M.C.; CARVALHO JÚNIOR, G.A.; MIRANDA, G.V. **Discriminação de linhagens de milho quanto à utilização de nitrogênio, por meio da avaliação de características do sistema radicular.** Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.8 n.1, p. 93-103, 2009.

STEIBER, T. D.; MAHLER, R. L. **Cropping practices survey: fertilizer results.** Idaho: University of Idaho, 3 p., 2003.

TAVARES, S. **Tuberização.** Revista Batata Show, ano 2, Nº 05, p.18, 2002.

TINKER, P. B. **Root distribution and nutrient uptake.** In.: RUSSEL, R. S.; IGUE, K.; MEHTA, Y. R. The soil/root system en relation to Brazilian Agriculture. Londrina, PR: IAPAR, p. 115-136, 1981.

VASCONCELOS, A.C.M.; CASAGRANDE, A.A.; PERECIN, D.; JORGE, L.A.C.; LANDELL, M.G.A. **Avaliação do sistema radicular de cana-de-açúcar por diferentes métodos.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.27, p.849-858, 2003.

VILLORDON, A.Q.; GINZBERG, I.; FIRON, N. **Root architecture and root and tuber crop productivity.** Trends in Plant Science, Vol. 19, No. 7, 2014.

WISHART, J.; GEORGE, T.S.; BROWN, L. K.; RAMSAY, G.; BRADSHAW, J. E.; WHITE, P. J.; GREGORY, P. J. **Measuring variation in potato roots in both field and**

glasshouse: the search for useful yield predictors and a simple screen for root traits. Plant Soil, 2012.

ZHANG, H.; FORDE, B.G.: **An Arabidopsis MADS box gene that controls nutrient-induced changes in root architecture.** Science, 279: p.407-409, 1998.

ZHANG, H. M.; FORDE, B. G. **Regulation of arabidopsis root development by nitrate availability.** Journal of Experimental Botany, London, v. 51, n.342, p. 51-59, 2000.