

ARMINDO BEZERRA LEÃO

**PRODUTIVIDADE DE TUBÉRCULOS E ÍNDICES DE
NITROGÊNIO EM PLANTAS DE BATATA INFLUENCIADOS
POR FONTES E DOSES DE 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
2013

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

L437p
2013

Leão, Armindo Bezerra, 1976-

Produtividade de tubérculos e índices de nitrogênio em plantas de batata influenciados por fontes e doses de nitrogênio / Armindo Bezerra Leão. – Viçosa, MG, 2013.

xiii, 131 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Paulo Cezar Rezende Fontes.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 104-127.

1. *Solanum tuberosum*. 2. Fertilizantes nitrogenados.
3. Adubos e fertilizantes. 4. Análise espectral. 5. Plantas -
Efeito do nitrogênio. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Fitotecnia. Programa de Pós-Graduação em
Fitotecnia. II. Título.

CDD 22. ed. 631.84

ARMINDO BEZERRA LEÃO

**PRODUTIVIDADE DE TUBÉRCULOS E ÍNDICES DE
NITROGÊNIO EM PLANTAS DE BATATA INFLUENCIADOS
POR FONTES E DOSES DE 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: 13 de março de 2013.

Marialva Alvarenga Moreira

Roberto Fontes Araújo

Mario Puiatti

Paulo Roberto Cecon

Paulo Cezar Rezende Fontes
(Orientador)

“Vontade ou permissão, de Deus, tudo é maravilhoso”!

À minha família, em especial minha mãe, Altamira Bezerra Leão.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo Seu amor incondicional, tendo tornado possível a realização desse trabalho.

A Universidade Federal de Viçosa (UFV) e ao Departamento de Fitotecnia (DFT), a oportunidade de ter cursado a pós-graduação, nível de doutorado, em Fitotecnia.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos. Ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) e Fundação de Amparo a Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio financeiro e material durante a pesquisa do projeto original.

Ao professor Paulo Cezar Rezende Fontes, pela orientação.

Ao professor Paulo Roberto Cecon pela orientação estatística.

Aos professores Mario Puiatti, Paulo Roberto Cecon, Fernando Luiz Finger, José Antonio Grossi, Vicente Casali e Marco Aurélio pelos conselhos, carinho e amizade.

Aos funcionários do laboratório de Nutrição Mineral de Plantas, Domingos Sávio e Itamar Duarte pelo auxílio e orientação nas análises químicas.

A secretária do curso de pós graduação em Fitotecnia Tatiani Gouveia por sua gentileza em sempre auxiliar.

A amiga Dra. Marialva Alvarenga Moreira pela amizade, atitude desinteressada, apoio fundamental para execução da tese.

Aos amigos que fiz durante o curso: Fabrício Coelho, José da Matta, Marcelo Cleon, Paula Acácia, Andreia, Perciane, Mônica, Gessimar, Anatércia, Ana Paula, Heitor Sampaio, Alvimar Júnior e orientandos de nutrição mineral de plantas dentre outros pela convivência somada e sonhos divididos.

A todas as pessoas e todas as coisas que conspiraram a favor para conclusão do curso, elaboração, condução e término do projeto de tese.

SUMÁRIO

RESUMO	ix
ABSTRACT	xii
INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 1	15
Produtividade e índices de diagnóstico de nitrogênio em batata influenciados por fontes e doses de nitrogênio	15
RESUMO	15
1. INTRODUÇÃO	17
2. MATERIAL E MÉTODOS	21
2.1. Localização e caracterização da área experimental	21
2.2. Tratamentos e delineamento experimental	22
2.3. Instalação e caracterização do experimento	23
2.4. Variáveis determinadas na quarta folha	24
2.5. Variáveis determinadas nas folhas e hastes	35
2.6. Colheita dos tubérculos	26
2.7. Análise estatística e determinação do nível crítico	27
3. RESULTADOS	28
3.1. Produção comercial e total de tubérculos	28
3.2. Determinações na quarta folha	29
3.3. Determinações nas folhas	30
3.4. Determinações nas hastes	32
4. DISCUSSÃO	34
4.1. Efeito de dose de N sobre a produtividade de tubérculos	35
4.2. Índices nitrogenados	38
5. CONCLUSÕES	46

CAPÍTULO 2	47
Análises visual e foliar do estado de nitrogênio da batateira em função de doses de nitrogênio	47
RESUMO	47
1. INTRODUÇÃO	49
2. MATERIAL E MÉTODOS	53
2.1. Avaliações na quarta folha	53
2.1.1. Índice SPAD	53
2.1.2. Análise visual – fotografia e nota	54
2.1.3. Área comprimento, largura, número de folíolos, massas de matéria fresca e matéria seca	55
2.1.4. Teor e conteúdo de N	56
2.2. Avaliações na colheita	56
2.3. Análise estatística	57
2.4. Estabelecimento do valor crítico de cada análise	57
3. RESULTADOS	58
3.1. Índice SPAD	59
3.2. Análise visual – fotografia e nota	59
3.3. Área comprimento, largura, número de folíolos, massas de matéria fresca e matéria seca da quarta folha (QF)	62
3.4. Teor e conteúdo de N	64
3.5. Produção comercial de tubérculos na colheita	65
3.6. Correlações entre as características avaliadas aos 21 DAE na quarta folha e a produção comercial de tubérculos na colheita	65
4. DISCUSSÃO	67
5. CONCLUSÕES	70
CAPÍTULO 3.....	71

Índices espectrais para caracterizar o estado de nitrogênio da batata submetida a diferentes doses e formas de nitrogênio	71
RESUMO	72
1. INTRODUÇÃO	73
2. MATERIAL E MÉTODOS	81
2.1. Avaliações	81
2.2. Análise estatística	84
2.3. Estabelecimento do valor crítico de cada índice analisado	85
3. RESULTADOS	87
4. DISCUSSÃO	96
5. CONCLUSÕES	103
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	104
APÊNDICE	128

RESUMO

LEÃO, Armino Bezerra, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março, 2013. **Produtividade de tubérculos e índices de nitrogênio em plantas de batata influenciados por fontes e doses de nitrogênio.** Orientador: Paulo Cezar Rezende Fontes.

Os objetivos da tese foram: a) determinar o efeito de fontes e doses de nitrogênio (N) sobre índices de avaliação do estado de N na batata determinados na quarta folha e na planta; b) sobre a massa e número de tubérculos de batata; c) avaliar o efeito de doses de N aplicadas na forma de ureia sobre características morfofisiológicas da batateira; d) caracterizar e estabelecer índice para o prognóstico da produtividade de tubérculos em fase precoce do ciclo da planta; e) avaliar índices espectrais do dossel da batateira em resposta a doses e fontes de N, selecionar os mais apropriados para estimar o estado de N da planta e determinar o nível crítico dos índices selecionados. Foram conduzidos experimentos, com a cultivar de batata Ágata. O primeiro obedeceu ao delineamento experimental em blocos casualizados, em esquema fatorial 5 x 3, constituído de três fontes (sulfato de amônio, ureia e nitrato de amônio) e cinco doses (0, 50, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹) de N, com quatro repetições. Aos 21 após emergência das plantas (DAE), determinou-se o índice SPAD, peso da massa fresca e seca e teor de N na quarta folha completamente expandida, a partir do ápice das plantas. Foram avaliadas ainda nas plantas: caule (comprimento, quantidade, massa seca e fresca e teor de N); folha (número, massa seca e fresca, teor de N). Posteriormente, por ocasião da colheita, aos 90 DAE, foi avaliada a produção de tubérculos. O segundo trabalho foi realizado tendo como fonte a ureia, no delineamento em blocos casualizados, com cinco doses (0, 50, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹) de N e quatro repetições. Foram determinadas variáveis na quarta folha, aos 21 DAE. Essas variáveis foram aparência, pela aquisição da imagem da folha, características morfológicas (comprimento, largura, número de folíolos), índice SPAD, massas frescas e secas, teor de N, além da produção de tubérculos no final do ciclo da cultura. O terceiro estudo teve como base a

obtenção de dados espectrais, com a cultura instalada em campo, no primeiro experimento. Na época apropriada para decidir sobre a aplicação de nitrogênio em cobertura (21 DAE), foram estimados valores de 29 índices vegetação, com auxílio de espectrorradiometria do dossel das plantas. Foram obtidas medidas de refletância nos comprimentos de onda de 400 a 900 nm. Entre os 29 índices, foram selecionados cinco com base na significância do coeficiente de determinação (r^2) da relação linear. Posteriormente foram estimados os coeficientes de correlação linear (r) entre cada um dos cinco índices selecionados com as variáveis determinadas na quarta folha e na colheita (índice SPAD, área, teor de nitrogênio e produtividade comercial de tubérculos), cujos valores foram adquiridos no primeiro experimento. Não houve efeito da interação (fontes x doses) sobre as variáveis. Houve efeito de fontes apenas sobre área foliar, massa seca e conteúdo de N nas folhas. Por outro lado, ocorreu efeito de doses sobre o índice de intensidade do verde (SPAD), análise visual (nota) e índices da planta (área foliar, comprimento, número de folíolos, massas da matéria fresca e matéria seca). A produção de tubérculos apresentou resposta de forma quadrática às doses de N, atingindo o valor máximo estimado da produção comercial de 47.920 kg ha⁻¹ e 58.300 kg ha⁻¹ com 185,25 e 186,6 kg.ha⁻¹ de N, correspondentes ao primeiro e segundo experimento, respectivamente. A análise espectral do dossel da batateira demonstrou que na região do visível (400 a 700 nm) a refletância, aparentemente, seguiu a mesma tendência para os diferentes tratamentos de doses e fontes, com o comportamento típico da vegetação verde. De modo oposto, os valores dos índices hiperespectrais foram influenciados por dose de N, sendo que os índices NPCI, MCARI (705, 750) e NVID1 obtiveram maior grau de ajustamento entre os valores observados da refletância do dossel e doses de N. Independente da fonte, os índices MCARI (705, 750) e NVID1 aumentaram com o incremento das doses e o inverso ocorreu com o índice NPCI que diminuiu com o incremento das doses de N. Houve correlação significativa entre os valores daqueles índices com os valores das variáveis estudadas e com a produtividade comercial de tubérculos. O valor considerado crítico ou apropriado do índice NPCI variou de 0,28 a 0,29 e do índice MCARI (705, 750) variou de 127,0 a 128,0 sendo ambos apropriados

índices para avaliar o estado de N da planta no momento de decidir a necessidade de aplicar nitrogênio em cobertura na cultura da batata.

ABSTRACT

LEÃO, Armindo Bezerra, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March, 2013. **Tuber yield and nitrogen contents in potato plants influenced by nitrogen sources and rates** Adviser: Paulo Cezar Rezende Fontes.

The objectives of the thesis were: a) to determine the effect of nitrogen (N) sources and rates on plant N evaluation indices determined in the fourth leaf and in the potato tuber; b) on the potato tuber yield; c) to evaluate the N effect as urea on the morphophysiological potato plant characteristics; d) to characterize and to establish at an early potato plant stage indices to forecast tuber yield; e) to assess potato canopy spectral indices in response to different N sources and rates, selecting the most appropriate for estimating the plant N status and determining the critical level of the selected indices. Experiments were conducted with the potato cultivar Agata. The first followed a randomized complete block design in a factorial 5 x 3, consisting of three N sources (ammonium sulphate, urea and ammonium nitrate) and five N rates (0, 50, 100, 200 and 300 kg ha⁻¹) with four replications. At 21 days after plant emergence (DAE) were determined the SPAD index, weight of fresh and dry weight and N content in the fourth leaf from the apex of the plants. Also it was evaluated in the plants: stem (length, number, fresh and dry matter and N content) and leaves (number, fresh and dry matter, N content). Later, at 90 DAE commercial potato tubers was evaluated. The second study was carried out using urea as N source in a randomized block design, five N rates (0, 50, 100, 200 and 300 ha⁻¹), with four replications. Variables were determined in the fourth leaf at 21 DAE. These variables were leaf aspect by leaf image, leaf morphology (length, width, number of leaves), SPAD index, fresh and dry weight, N content besides tuber yield at the end of the crop cycle. The third study was based on the spectral data acquisition with the culture installed in the field, in the first experiment. Approximately 21 DAE, the appropriate time to decide on N sidedressing, 29 vegetation indices were obtained with the aid of spectroradiometry in the plant canopy. Measures were taken at 400 to 900

nm. From the 29 indices, five indices were selected based upon in the coefficient of determination (r^2) of the linear relationship significance. After, they were estimated the coefficients of linear correlation (r) between each one of the five selected index with the variables determined both in the fourth leaf and in the final tuber harvest (SPAD index, leaf area, nitrogen content and commercial tuber yield). There was no interaction (N source and rates) effects on the variables. The effect of sources was only on the leaf area, dry matter and N content in the leaves. Significant N rate effect was observed on the leaf green intensity (SPAD), visual analysis (note) and plant indices (leaf area, length, leaflets number, masses of the fresh and dry matter). The commercial tuber yield showed a quadratic response to N rates, reaching maximum value of 47,920 and 58,300 kg ha⁻¹ at 185.25 and 186.6 kg ha⁻¹ of N, corresponding to the first and second experiment, respectively. Spectral analysis of the potato canopy demonstrated that in the visible region (400-700 nm) the reflectance apparently followed the same trend for the N treatments, N rates and source, with the typical behavior of green vegetation. Conversely, the values of hyperspectral indices were influenced by N rates. NPCI MCARI (705, 750) and NVID1 indices obtained the highest degree of fit between the observed values of canopy reflectance and nitrogen rates. Regardless of the N source, the indices MCARI (705, 750) and NVID1 increased with increasing in the N rates and the opposite occurred with the NPCI index which decreased with the increasing in the N rates. There was significant correlation between the values of those indices with the values of the variables and the commercial tuber yield. NPCI index value considered critical or appropriate ranged from 0.28 to 0.29 and the index MCARI (705, 750) ranged from 127.0 to 128.0 and both indices are appropriate to evaluate the plant N status at the time to decide to make nitrogen side dress in the potato culture.

INTRODUÇÃO

A produção brasileira de batata em 2012 foi 3.511.892 t em 130.402 ha, atingindo a produtividade média de 26,93 t ha⁻¹ (Agrianual, 2013). A produção de tubérculos de batata é dependente de diversos fatores, dentre os quais o fornecimento adequado de nitrogênio. O nitrogênio participa de diversas etapas do processo metabólico da planta e é constituinte de vários compostos como os ácidos nucleicos, aminoácidos e a clorofila (Taiz & Zeiger, 2009). O N na planta é convertido em aminoácidos, unidades de formação das proteínas, bases para o crescimento e desenvolvimento das plantas, e enzimas, proteínas especializadas na catálise de reações biológicas, necessárias para as reações enzimáticas na planta. Sabe-se que o nitrogênio é elemento essencial na produção das culturas sendo que escassez ou excesso pode reduzir a produtividade das culturas tanto pela reduzida quantidade de massa produzida quanto pela ineficiente partição de fotossos assimilados para os tubérculos (Marschner, 1995; Chambenoit, 2002).

Normalmente, dose pequena de N propicia reduzida área foliar da planta (Alva et al., 2002) propiciando baixa produtividade de tubérculos, com menor teor de sólidos solúveis (Braun et al., 2010). Por outro lado, dose excessiva de N favorece o crescimento luxuriante de folhas e hastes provocando retardamento na maturação do tubérculo e redução da produtividade (Errebhi et al., 1998; Gil et al., 2002; Busato, 2007).

O nitrogênio originário da matéria orgânica do solo e do resíduo de culturas antecessoras pode ser importante fonte para as plantas, mas dificilmente poderá suprir a elevada quantidade de N exigida pela cultura da batata. É sabido que a disponibilidade de N no solo para a cultura da batata varia entre anos e com as condições climáticas no ano (Zebarth et. al., 2005). Há diversas formas de N no solo, sendo as principais a nítrica, amoniacal e amino-ácidos. A absorção destes íons pela raiz envolve um complexo conjunto de sistemas de transporte por membranas. A importância relativa para a planta dos diferentes pools de N no solo é difícil de medir e depende de diversos fatores ambientais. Uma série de genes transportadores e assimiladores têm sido identificados recentemente que começam a propiciar ferramentas moleculares para a busca da forma de N acessada pela planta (Miller & Cramer, 2005). Ademais, atividades antropogênicas alteram a quantidade e a abundância relativa das formas de nitrogênio no solo que estão disponíveis para absorção pelas plantas (Evans & Belnap, 1999). O nitrogênio passa por complexas transformações químicas e biológicas no solo sendo as principais mineralização, nitrificação e imobilização. A conjunção destas transformações, fortemente dependente de condições edafo-climáticas vigentes e manejo da cultura, dita a capacidade do solo em fornecer N às plantas e de perder N. As principais “perdas” são por remoção pelas plantas, lixiviação, denitrificação, volatilização superficial e erosão.

Prescrever com precisão a dose de fertilizante nitrogenado é um desafio, pois além da variabilidade da produtividade no tempo e no espaço há a oscilação na disponibilidade de N no solo. Qualquer teste de solo

visando suportar a prescrição da dose de adubo nitrogenado precisa ser adequado e calibrado à variabilidade existente no complexo solo-ambiente-prática cultural/ano. Os métodos rápidos ainda não são os aceitos, não havendo ainda uma recomendação consistente (Wang et al., 2001). Acertada predição da quantidade de N inorgânico liberado no solo pela mineralização da matéria orgânica é passo inicial e essencial no estabelecimento da possível contribuição do solo no manejo da adubação nitrogenada. Entretanto, quantificar a mineralização da matéria orgânica do solo é difícil, pois além do N mineral acumulado pela planta há reações de imobilização, perdas gasosas, fixação pela argila do solo e lixiviação, antes e durante o período de desenvolvimento da cultura. O mesmo acontece com o adubo adicionado ao solo.

Efeito de dose de N sobre a produtividade de tubérculos tem sido amplamente observado por diversos autores (Meyer & Marcum, 1998; Bélanger et al., 2000; Rodrigues et al., 2005; Gil et al., 2002; Silva et al., 2009; Coelho et al., 2010). O aumento de produtividade, normalmente resulta em aumento de exportação de N e de vários outros nutrientes pelo tubérculo (Braun et al., 2011). A produção de tubérculos pela planta está condicionada ao adequado crescimento e o desenvolvimento das hastes, folhas e área foliar (Oliveira, 2000).

A adição de fertilizante nitrogenado mineral ao solo é uma prática comum na produção de batata. Não somente o sistema de produção convencional é fortemente dependente da adição de fontes nitrogenadas. Também os sistemas de produção orgânicos de batata são limitados por N (Haase et al., 2007). De modo geral, o aproveitamento do fertilizante

nitrogenada pelas plantas está relacionado a diversos fatores como fonte do N, método de aplicação, características físico-químicas do solo, frequência e intensidade das chuvas, presença de outros nutrientes no fertilizante.

A recomendação ou prescrição da dose de fertilizante nitrogenado para a cultura da batata é empírica e pode ser baseada na associação da eficiência do uso do nitrogênio, na expectativa da produtividade, do crédito ao teor de N existente no solo (normalmente representado pelo teor de matéria orgânica) e na cultura antecessora. Entretanto, há limitações a essa associação. Isso devido às incertezas quanto à futura condição climática local que interagirá com o genótipo, ambiente, solo e manejo da cultura e determinará a real e momentânea disponibilidade de N no solo e a produtividade esperada (Fontes, 2011).

Ademais, pode haver efeito da fonte de N usada com adubo. Diferenças de resposta das culturas às fontes de N podem ocorrer devido a vários fatores como mecanismos de perdas, interação com outros nutrientes e condições de pH do solo (Maças, 2008) além de diferenciadas interações do manejo cultural com as condições edafoclimáticas. A partir daí, há questionamento freqüente no que diz respeito à fonte de nitrogênio mais apropriada a ser aplicada na cultura da batata.

Há dezenas de fontes de nitrogênio usadas como fertilizantes nitrogenados comercializados no Brasil, 5ª Aproximação (Ribeiro et al, 1999). Os mais comuns utilizados na agricultura são sulfato de amônio, uréia e nitrato de amônio. O sulfato de amônio possui 20 % de nitrogênio e 22 % de enxofre. A uréia é comercializada na forma de grânulos brancos com 46 % de N na forma amídica. Quando aplicada ao solo, pela ação da enzima

urease, a uréia produz amônia (NH_3^-), um gás, que combina com o H^+ , formando o amônio (NH_4^+). Na presença de oxigênio, o NH_4^+ é rapidamente nitrificado a nitrato. Por ter carga positiva, o NH_4^+ pode ser adsorvido pelas cargas negativas (CTC) das argilas do solo, logo é menos sujeito às perdas do que o nitrato (Facre, 2007). Para minimizar perdas por volatilização, a uréia necessita ser incorporada ao solo. O nitrato de amônio é um produto sólido, branco, cristalino com 32 % de nitrogênio (50 % N-nítrico e 50 % N-amoniaco). Esse adubo sofre menor perda por volatilização e acidifica menos o solo, comparado aos principais fertilizantes nitrogenados (Mesquita, 2007).

Nos últimos anos estudos vêm sendo direcionados visando à utilização da tecnologia baseada no conceito de aplicar dose variada de um nutriente, como o nitrogênio, em determinada área de plantio de acordo com o local ou com a necessidade da planta. Para tal é necessário avaliar o estado de nitrogênio da planta (AENP) que pode ser feita por meios de análises diretas e indiretas de folha ou do dossel através de índices apropriadamente calibrados (Fontes & Araújo, 2007). O método mais comumente difundido é a análise química do teor de N na matéria seca de determinada folha, comumente em batata a quarta folha a partir do ápice. Tal determinação é onerosa, realizada por pessoa qualificada em laboratório além de ser demorada. Os meios indiretos são aqueles em que a AENP é estimada por meio de uma característica cujos valores são correlacionados com as concentrações de N na folha ou na planta. Mas, em consonância com a agricultura de precisão, índice ou teste para AENP precisa ser rápido,

prático, eficaz e possível de ser realizado no campo em tempo real (Fontes, 2011).

Para AENP da planta em tempo real, estudos têm sido publicados utilizando-se a análise da intensidade do verde indicando indiretamente o teor de clorofila de folha. A cor verde da folha é devida, principalmente, às moléculas de clorofila *a* (verde-azulada) e *b* (verde-amarelada) que refletem mais o verde e absorvem mais o azul e vermelho e pouco verde. Doses de N proporcionam diferentes tons de verde pelas folhas. Assim, a cor verde da folha, representada pelo teor de clorofila, surgiu como alternativa para avaliar o estado de N da planta, pois é possível de ser medida em tempo real, por medidor portátil (Yadava, 1986), ou clorofilômetro, que proporciona leitura instantânea. O teor de clorofila da folha dita a absorbância e refletância da luz incidente na planta, propriedades fundamentais dos métodos de AENP em tempo real.

O teor de clorofila da folha, medido com o clorofilômetro ou outro equipamento, quase sempre se correlaciona com a concentração de N na planta e com a produtividade de várias espécies inclusive batata (Minotti et al., 1994; Rodrigues et al., 2000; Gil et al., 2002; Gianquinto, 2003; Rodrigues, 2004; Busato, 2007). O mais comum clorofilômetro é o SPAD - 502 que é referência para outros que estão sendo lançados no mercado como o atLEAF (Zhu et al., 2012).

Via sensoriamento remoto, ou sensoriamento “on-the-go”, alguns grupos de pesquisas têm buscado estabelecer índices de refletância do dossel das plantas, uma vez que, o entendimento da interação entre radiação solar com dosséis vegetativos são explorados em culturas

agrícolas. Nesse sentido, Richards et al. (1975) e Kollenkark et al. (1982) comentam que dosséis das culturas exibem quatro componentes com diferentes propriedades de refletância ótica que são vegetação iluminada, solo iluminado, vegetação sombreada e solo sombreado; a magnitude de cada um destes componentes varia com a cobertura vegetal, orientação e espaçamento das fileiras, morfologia do dossel, estrutura interna dos elementos que compõem o dossel, diâmetro da copa e altura das plantas, teor de água na planta e no solo, condições fitossanitárias, ângulo azimutal e zenital do Sol e sua nutrição nitrogenada. Formas de utilização dos mesmos no manejo do N em grandes culturas como trigo, milho, arroz e algodão (Zillmann et al., 2006; Yabaji et al., 2009; Bronson et al., 2012; Diacono & Rubino, 2013) tem sido estudadas. Com a possibilidade de geração de dados de forma remota, passível de ser realizada em grandes áreas, está-se conjecturando a utilização dos mesmos para AENP. Essa possibilidade tem sido vislumbrada, mais ainda, com o sensoriamento remoto hiperespectral com bandas espectrais estreitas (<10 nm) ao longo de uma faixa contínua. Esse enfoque está em estágio incipiente e desafiador necessitando melhor aperfeiçoamento do procedimento.

Alternativamente, há estudos utilizando a reflectância de determinada folha, sensoriada de forma estática (Araújo & Fontes, 2006; Coelho et al., 2012). Referências sobre métodos para a AENP são disponibilizadas na literatura (Samborski et al., 2008; Hartfield et al., 2008; Goffart et al., 2008; Fontes, 2011) sendo que Goffart et al. (2008) revisaram criticamente em termos de exatidão, precisão, sensibilidade, sensibilidade e factibilidade alguns métodos para AENP da batata.

Assim, as refletâncias, tanto do dossel quanto de uma folha são características úteis na AENP e, mais recentemente, passaram a ter marcante importância na prescrição da dose do fertilizante nitrogenado requerido em tempo real, de acordo com a necessidade da planta. A tecnologia de aplicar dose variada de N, ainda em fase de afirmação, necessita de apropriado índice na planta ou na folha, estabelecido por sensoriamento em tempo real, com sensor que capta a luz refletida pela folha ou a luz ativa, modulada, emitida pelo próprio sensor e refletida pelo dossel (Fontes, 2011).

Há diversos índices de nitrogênio na planta que podem ser determinados por sensor embarcado em algum veículo móvel como o trator, sendo o sistema avaliar-prescrever dinâmico ou “on-the-go” (Fontes, 2011). Também, de forma não menos técnica, o sistema de avaliar-prescrever pode não ser embarcado, sendo estático e segmentado ou descompartimentalizado em avaliar e prescrever (Fontes, 2011). Determinadas “on-the-go” ou de forma estática, as características sensorizadas podem ser usadas isoladamente ou associadas transformando-se em índice que reflita o estado de N da planta.

É necessário, porém, dispor de valor crítico e ou de “testemunha” e ou de referência que sirva de indicador do significado de determinado índice. Várias estratégias têm sido utilizadas para estabelecer o significado de determinado índice de N da planta como o uso de parcela ou faixa de referência, índice de suficiência, índice de resposta, “calibration stamp”, “ramp calibration strip” (Bronson et al., 2012). Através de equações calibradas ou algoritmos o índice de N é transformado em dose de N a ser

aplicada na cultura (Fontes, 2011). Desta forma, o índice para a AENP deve ser acoplado à resposta da planta à adição de N no solo.

O emprego de índices adequadamente calibrados que suporte a decisão de quanto adubar com N em cobertura ainda é pouco comum na agricultura mundial. Independentemente de tal fato, o índice de avaliação-prescrição precisa ser calibrado para ser usado no momento em que seja tecnicamente desejável e possível aplicar o adubo em cobertura na cultura da batata. Atualmente, tal prática somente é possível até o momento de realizar a amontoa, em torno de 20 dias após a emergência da planta (Fontes, 2005). Esse procedimento pode mudar com a possibilidade de aplicar o adubo nitrogenado via água de irrigação (Marouelli & Fontes, 2011).

O manejo do nitrogênio com base em índices de refletância do dossel das plantas tem sido avaliado e mostrado ser eficaz em algumas culturas como tomate, algodão, milho, cana, feijão (Araújo & Fontes, 2006; Yabaji et al., 2009; Barker, 2011; Bronson et al., 2012; Loftona et al., 2012; Maia et al., 2012). Tais estudos normalmente envolvem experimentos de campo delineados para estabelecer características possíveis de serem sensoriadas e utilizadas na AENP e no desenvolvimento de algoritmos para a prescrição da dose de N a ser aplicada na cultura. É pouco provável que um único e específico índice seja o ideal para todas as culturas sendo concomitantemente sensível (capacidade de identificar casos verdadeiros de deficiência ou de excesso), específico (capacidade de descartar situações verdadeiras de deficiência ou de excesso) e factível de ser determinado.

Adicionalmente, características morfofisiológicas da planta, determinadas com facilidade e de forma não destrutiva, como área da folha, número de folhas e altura de plantas talvez possam ser utilizadas como teste indireto para AENP em alternativa ou em complementaridade à análise do verde da folha (Fontes, 2001; Ronchi et al., 2001; Coelho & Fontes, 2005). Valores de índices relacionados com o estado de nitrogênio da batata têm sido recentemente publicados (Busato et al., 2008; Moreira et. al., 2011). Tais características morfofisiológicas da planta podem ser consideradas biomarcadores do estado de nitrogênio da planta sendo escassos os trabalhos buscando utilizar biomarcadores como critério de AENP.

A AENP em tempo real vem crescendo em importância, mesmo que possa ser menos sensível e específica do que a análise padrão realizada em laboratório. Esse tema vem sendo enfaticamente estudado nos últimos anos por diversos grupos de pesquisa em todo mundo. Para maior porcentagem de acerto na avaliação pode ser desejável combinar mais de um método de análise. Além disto, a AENP deve ser realizada depois da anamnese do sistema de produção e for constatado que o estresse nitrogenado é o fator limitante do sistema (Fontes, 2011).

Atualmente a agricultura de precisão é uma tecnologia em desenvolvimento que se apresenta como alternativa à agricultura convencional. Pode ser considerada como um sistema de gerenciamento a sítio específico da atividade agrícola com base em informações de mapas que contenham a variabilidade espacial e ou temporal da produção e dos fatores a ela relacionados, tendo como objetivo aumentar a eficiência do processo produtivo (Queiroz et al., 2000). Técnicas de sensoriamento têm

sido desenvolvidas em nível de dossel de diversas culturas, na tentativa de favorecer o manejo do nitrogênio durante o estágio de desenvolvimento das culturas. A detecção precoce de possível deficiência de N além da oportuna e adequada aplicação de fertilizante, tornam-se importantes procedimentos na prática da adubação nitrogenada na agricultura de precisão.

Para a agricultura de precisão o sensoriamento remoto tem se mostrado ser uma das técnicas mais promissoras, podendo ser definido, de maneira simples e usual, como uma técnica de aquisição de informações dos objetos existentes na superfície terrestre, sem que haja contato físico direto com o mesmo. Essas informações podem ser adquiridas em níveis: terrestre, sub-orbital e orbital, de acordo com a distância entre o objeto de interesse e o sensor (Meneses & Madeira, 2001).

O uso do sensoriamento remoto para a agricultura de precisão consiste em obter, por meio de sensores, dados espectrais relacionados com as características agronômicas das culturas. Estas informações auxiliam na determinação do estado fisiológico da vegetação, na detecção de estresse, na discriminação de espécies, no monitoramento de características fenológicas e na estimativa da produtividade (Blackburn, 2007) com atenção também voltada para a utilização de técnicas não destrutivas na quantificação de elementos nas folhas, principalmente o nitrogênio.

Com base nos dados espectrais pode se conhecer a resposta das plantas com relação ao seu estado nutricional. Alguns fatores influenciam os dados espectrais tais como: a proporção de cobertura do solo e da

vegetação, arquitetura e desenvolvimento dos caules e folhas, além do crescimento vegetal (Yoder & Pettigrew-Crosby, 1995). A partir de espectros construídos da refletância da energia eletromagnética incidente na vegetação, podem ser verificadas diferenças em plantas das mesmas espécies, sendo intensificada ou atenuada em diferentes comprimentos de ondas. Nesse sentido, diversas pesquisas têm sido estimuladas (Barnes, 1996; Diker & Bausch, 2003). Os dados espectrais podem ser transformados em índices de vegetação, que tem por função maximizar a variável em estudo, como o teor de nitrogênio na folha e minimizar diferentes fatores de variação, como a arquitetura do dossel, a influência do solo, o estágio fenológico da vegetação, a geometria de iluminação e de visada.

Índices espectrais derivados de medições com espectrômetros manual, distal e espacial começam a ser avaliados e propostos para AENP da batata (Herrmann et al., 2010; Cohen et al., 2010). Mas, ainda é um grande desafio em termos de menor risco e maiores produtividade e lucratividade das culturas desenvolver e adaptar tecnologias e ferramentas de manejo envolvendo o sensoriamento do N nas plantas salientando aspectos que necessitam ainda serem desenvolvidos na cultura da batata (Thessler et. al., 2011).

Qualquer que seja o método de AENP ele propiciará índice cujo valor necessita ser interpretado. Para isso, é preciso haver disponibilidade do valor considerado referencial ou ótimo para cada teste em específicos estádios fisiológicos da planta e sistema de produção, inclusive cultivar. Na verificação de diagnóstico visual ou na busca de deficiência incipiente de N, comparação deve ser feita entre o resultado do valor obtido pela análise de

determinado índice com o valor crítico ou referencial deste índice (Barker & Pilbeam, 2007).

Diversos trabalhos reportando valores de nível ou de faixa crítica têm sido publicados. Para comparações precisas é necessário dispor de detalhes dos procedimentos utilizados na determinação do valor do nível crítico. Quanto mais específico e ajustado à situação vigente for o “valor ótimo ou crítico ou referencial” usado na comparação maior será a porcentagem de acerto na avaliação e maior precisão na tomada de decisão. Mesmo assim, como comentam alguns autores (Fontes 2001; Andriolo et al., 2006), não há valor universal de nível crítico que deve ser ajustado para cada condição específica de cultivo da batata. Ademais, em planta anual, o valor referencial ou crítico precisa estar disponível em fases do ciclo da planta quando ainda seja possível aplicar eficientemente o fertilizante nitrogenado em cobertura.

Dependendo do foco de determinado grupo de trabalho, é comum o trabalho de pesquisa buscar índices na planta e não somente em determinada folha para AENP. Acredita-se que a análise de um índice da planta e não somente de determinada folha possa ser uma alternativa importante na avaliação “on-the-go” do estado de N da cultura quando se torna difícil concentrar a avaliação em uma única folha. Mas é pouco comum encontrar trabalhos na literatura enfocando o efeito de fontes de nitrogênio sobre a variabilidade dos índices de AENP, sejam na planta ou na folha.

A presente tese foi dividida em três capítulos, com os seguintes objetivos:

- 1) determinar o efeito de fontes de nitrogênio sobre índices de avaliação do estado de nitrogênio na batata, determinados na quarta folha e

na planta, propor o valor crítico para cada um dos índices e determinar o efeito de fontes e doses de nitrogênio sobre a massa e número de tubérculos de batateira.

2) caracterizar o efeito de doses de nitrogênio aplicadas em pré-plantio, na forma de uréia, sobre o aspecto morfofisiológico, produção de massas das matérias fresca e seca, teor e conteúdo de nitrogênio na matéria seca da quarta folha e sobre a produtividade de tubérculos da batateira, visando estabelecer índice para o prognóstico da produtividade de tubérculos em ciclo precoce da planta.

3) avaliar índices espectrais do dossel de plantas (IE) da batateira submetida a doses e fontes de nitrogênio além de selecionar IE mais apropriados para estimar a intensidade do verde, teor de nitrogênio e área da quarta folha para prognosticar a produtividade comercial de tubérculos de batata.

CAPÍTULO 1

PRODUTIVIDADE E ÍNDICES DE DIAGNÓSTICO DE NITROGÊNIO EM BATATA INFLUENCIADOS POR FONTES E DOSES DE NITROGÊNIO

RESUMO. A batata, *Solanum tuberosum* L., é exigente em nitrogênio (N). O N participa de diversas etapas do processo metabólico das plantas, sendo constituinte de vários compostos como os ácidos nucléicos, aminoácidos e a clorofila. Para avaliar o estado de N da planta são utilizados índices de diagnóstico. Os mais usuais são o teor de N na matéria seca e a intensidade da cor verde da folha indicadora, que para a batateira é a quarta folha completamente expandida a partir do ápice da planta (QF). O objetivo do trabalho foi determinar o efeito de fontes e doses de N sobre os valores dos índices comumente utilizados no diagnóstico do estado de N da batateira. O experimento foi conduzido na Horta de Pesquisa da UFV, com a cultivar Ágata. Os tratamentos consistiram de cinco doses (0, 50, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹) e três fontes de N (nitrato de amônio, uréia e sulfato de amônio). O delineamento experimental foi blocos casualizados em esquema fatorial 5 x 3, com 4 repetições. Aos 21 dias após a emergência das plantas foram coletadas as informações sobre os índices na QF. Para determinar a intensidade do

verde foi utilizado o SPAD-502. A área foliar foi determinada pelo integrador de área foliar modelo WinDias. Na matéria seca foram determinados os teores de N-NO_3^- e Norgânico, pelo método de Catoldo e Nessler, respectivamente. Os dados foram submetidos às análises de variância e de regressão. Não houve efeito de fonte e nem da interação fonte x dose de N, ocorrendo efeito significativo apenas de doses. Os índices de nitrogênio apresentaram resposta de forma quadrática às doses de N, de maneira análoga àquela observada com a produtividade comercial de tubérculos. O nível crítico dos teores de Norgânico e de nitrato foi 6,12 e 1,79 dag kg^{-1} , respectivamente; da leitura SPAD foi 39,6 e da área foliar foi 256 cm^2 . A máxima produtividade comercial de tubérculos, 47.920 kg ha^{-1} , foi obtida com 185 kg ha^{-1} de N. Não é necessário adicionar adubo nitrogenado em dose que maximize o teor de N ou o índice SPAD na quarta folha.

1. INTRODUÇÃO

A batata (*Solanum tuberosum* L.) é uma espécie hortícola importante em todo o mundo, com alto valor nutritivo, sendo importante fonte calórica e protéica na alimentação humana. As regiões sudeste e sul são os maiores produtores dessa hortaliça do país, destacando-se Minas Gerais e São Paulo com produções de 1.130.264 e 679.197 t, respectivamente (Agrianual, 2013).

A produção de tubérculos de batata é dependente de diversos fatores, dentre os quais o fornecimento adequado de nitrogênio (N) que participa de diversas etapas do processo metabólico da planta e é constituinte de vários compostos como os ácidos nucleicos, aminoácidos e a clorofila (Taiz & Zeiger, 2009). O N na planta é convertido em aminoácidos, unidades de formação das proteínas, bases para o crescimento e desenvolvimento das plantas, e enzimas, proteínas especializadas na catálise de reações biológicas, necessárias para as reações enzimáticas na planta.

Normalmente, a dose de N tem sido estabelecida por meio de curvas de resposta obtidas no campo, ao contrário dos demais macronutrientes cuja limitação pode ser prevista pela análise do solo (Coelho & Fontes, 2005). Tanto a deficiência quanto o excesso de N podem prejudicar a produção de tubérculos de batata (Meyer & Marcum, 1998; Belanger et al., 2000; 2001; Chambenoit et al., 2002; Zvomuya et al., 2003; Silva et al. 2007; Wu et al., 2007; Coelho et al., 2010).

De modo geral, o aproveitamento do fertilizante nitrogenado pelas plantas está relacionado à forma do nitrogênio, o método de aplicação, às características físico-químicas do solo, a frequência e intensidade das chuvas, a presença de outro nutriente na formulação, dentre outros. Há vários fertilizantes químicos nitrogenados disponíveis no mercado sendo mais comuns uréia, sulfato de amônio e nitrato de amônio. O sulfato de amônio $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ contém o nitrogênio na forma de íons de amônio e 23 % de enxofre na forma de sulfato. O nitrogênio da uréia $(\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ é transformada no solo em NO_3^- (nitrato) e NH_3^- (amônia - gasosa) que pode se perder por volatilização caso seja aplicada na superfície do solo e não incorporada por água ou solo. O nitrato de amônio (NH_4NO_3) tem metade do N na forma nítrica (NO_3^-) e metade na forma amoniacal (NH_4^+).

Diferenças na resposta das culturas a essas fontes podem ocorrer devido à vários fatores como mecanismos de perdas, interação com outros nutrientes e condições de pH do solo (Maçãs, 2008) além de diferenciadas interações edafoclimáticas. A partir daí, há questionamento freqüente no que diz respeito à fonte de nitrogênio mais apropriada a ser aplicada na cultura da batata, incluindo a questão econômica.

Adicionalmente, as fontes nitrogenadas utilizadas comercialmente podem ter liberação mais lenta ou acelerada do nitrogênio, podendo propiciar diferente estado nutricional de nitrogênio da planta. Tal ajuste não tem sido destacado na literatura.

O índice mais comum para avaliar o estado nutricional nitrogenado da planta é o teor de N na matéria seca da quarta folha (Fontes & Araújo, 2007). Há outros possíveis índices como teor de N-NO_3^- na seiva e

intensidade do verde da folha medida com o SPAD e tabela de cor, além de índices biométricos propostos Fontes (2011) como massa verde, massa seca e área foliar da quarta folha, entre outros.

Tem sido proposto o uso de medidores portáteis, denominados clorofilômetros, para avaliar o estado de N da planta em tempo real, pela análise da intensidade do verde das folhas. Um desses medidores portáteis é o SPAD-502, apresentado na década de 90, que apresenta facilidade de operação, permite avaliações *in situ* e já foi utilizado com sucesso em feijão (Madeira et al., 2000), milho (Argenta et al., 2001), algodão-herbáceo (Neves et al., 2005), amendoim (Samdur et al., 2000) e melão (Azia & Stewart, 2001) como indicador indireto do estado de N da planta. No caso da cultura da batata, Vos & Bom (1993) verificaram, pioneiramente, alta correlação das leituras do clorofilômetro SPAD com as determinações analíticas de clorofila e da concentração de N nas folhas.

Apropriadamente calibrado, isto é, dispondo-se de valor referencial ou crítico para dada situação, o índice de N na planta permite decidir a necessidade ou não de aplicar adubo nitrogenado em cobertura. A interpretação desses índices está relacionada com a utilização do critério de concentração ou faixa crítica de concentração (Fontes, 2011). Valores de níveis críticos determinados aos 21 dias após a emergência foram adequados para fazer avaliações precisas de suficiência de N, de forma estática, em estágio precoce de avaliação na cultura da batata (Coelho et al., 2013).

Dependendo do foco de determinado grupo de trabalho, é comum o trabalho de pesquisa buscar índices na planta e não somente em determinada

folha para AENP. Acredita-se que a análise de um índice da planta e não somente de determinada folha possa ser uma alternativa importante na avaliação “on-the-go” do estado de N da cultura quando se torna difícil concentrar a avaliação em uma única folha. Mas é pouco comum encontrar trabalhos na literatura enfocando o efeito de fontes de nitrogênio sobre a variabilidade dos índices de AENP, sejam na planta ou na folha.

O presente trabalho objetivou determinar o efeito de fontes de nitrogênio sobre índices de avaliação do estado de nitrogênio na batata, determinados na quarta folha e na planta. Também, o trabalho objetivou propor o valor crítico para cada um dos índices além de determinar o efeito de fontes e doses de nitrogênio sobre a massa e número de tubérculos de batata.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização e caracterização da área experimental

Foi realizado um experimento de campo, entre os meses de junho e setembro de 2010, safra de inverno. Implantado na Horta de Pesquisa do Departamento de Fitotecnia (DFT) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), que possui como coordenadas geográficas altitude de 693 m, latitude sul 20° 45' e longitude oeste 42° 51 '. Sua classificação climática, segundo Koeppen (1948) é do tipo "Cwa", caracterizada pelo clima tropical de altitude, com chuvas no verão e seca no inverno, tendo temperatura média do mês mais quente superior a 22°C.

O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo câmbico (EMBRAPA, 2006).

Previamente a instalação do experimento foi coletada amostras do solo, na camada 0-20 cm de profundidade, para sua caracterização química e física. Os resultados das análises químicas e físicas do solo estão na Tabela 1.

Tabela 1 – Características químicas e físicas do solo nas camadas 0-20 cm de profundidade, antes da instalação do experimento.

Características químicas	
pH em água – 1:2,5	6,0
Matéria orgânica (dag kg ⁻¹) ¹	1,4
P disponível (mg dm ⁻³) ²	18,7
K disponível (mg dm ⁻³) ²	65,0
Ca ⁺² trocável (cmol _c dm ⁻³) ³	2,7
Mg ⁺² trocável (cmol _c dm ⁻³) ⁴	0,6
Acidez trocável – Al ⁺³ (cmol _c dm ⁻³) ³	0,0
Acidez potencial – H + Al (cmol _c dm ⁻³) ⁴	5,45
Soma de bases – SB (cmol _c dm ⁻³)	3,47
CTC efetiva – t (cmol _c dm ⁻³)	3,47
CTC a pH 7,0 – T (cmol _c dm ⁻³)	8,92
Saturação por bases – V (%)	39,0
Características Físicas ⁵	
Areia (dag g ⁻¹)	35
Silte (dag g ⁻¹)	14
Argila (dag g ⁻¹)	51
Classificação textural	Argiloso

¹Matéria orgânica = carbon organic x 1,724 (Walkley & Black, 1934)

²Extrator Mehlich (Defelipo & Ribeiro, 1997)

³Extrator KCl 1 mol L⁻¹ (Defelipo & Ribeiro, 1997)

⁴Extrator acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ (Defelipo & Ribeiro, 1997)

⁵Método da pipeta, dispersão em NaOH 1 mol L⁻¹ (EMBRAPA, 1999)

2.2. Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos consistiram da combinação de cinco doses de nitrogênio, aplicadas em pré-plantio: 0, 50, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ de N; três fontes de nitrogênio: Sulfato de amônio (20% de N), Uréia (45% de N) e Nitrato de amônio (34% de N).

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 5 x 3, com quatro repetições. Cada parcela foi constituída de quatro fileiras com 8 plantas cada, espaçadas de 0,75 m entre fileiras e 0,25 m entre plantas, ocupando uma área de 6 m². Tendo sido utilizadas como bordaduras as fileiras laterais e uma planta nas extremidades das fileiras centrais, perfazendo um total de 12 plantas úteis por parcela.

2.3. Instalação e condução do experimento

Anteriormente a instalação do experimento houve cultivo de milho, sem utilização de adubo nitrogenado, com o objetivo de reduzir o N disponível no solo. O preparo do solo foi composto de aração, com auxílio de arado de aiveca, e duas passagens de grade niveladora, conforme recomendado por Fontes (2007). Após o preparo do solo foi feita adubação, manualmente, no sulco, em pré-plantio, com base na 5^a aproximação (Ribeiro et al., 1999). Para tanto, foram usados 1.800 kg ha⁻¹ de superfosfato simples, 384 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio, 200 kg ha⁻¹ de sulfato de magnésio, 10 kg ha⁻¹ de bórax, 10 kg ha⁻¹ de sulfato de zinco, 10 kg ha⁻¹ de sulfato de cobre e 0,5 kg ha⁻¹ de molibdato de sódio. O sulfato de amônio, uréia e nitrato de sódio foram aplicados com os demais adubos, de acordo com tratamento e incorporados ao sulco. Em seguida procedeu-se o plantio dos tubérculos.

Foram usadas batatas-sementes certificadas da cultivar Ágata, com tamanho uniforme, previamente brotadas, com brotos de cerca de 3 cm, tendo massa de média de 70 g. A cultivar, de origem holandesa, atualmente é a mais cultivada no Brasil, devido ao seu potencial produtivo e precocidade

(ABBA, 2008). Possui como característica morfológicas hastes finas, folhas moderadamente grandes com folíolos largos e cor verde clara, tubérculos ovalados, com casca amarelada e predominantemente lisa, polpa de cor amarela clara e gemas superficiais.

A condução da cultura seguiu recomendações de manejo preconizadas por Fontes (2005), tendo sido feitas capinas manual e controle fitossanitário com defensivos de ingredientes ativos Carbofuran, Deltamitra, Metamidofós, Cimoxanil, Mancozeb e Oxicloreto de Cobre. O manejo de irrigação deu-se por um sistema de irrigação por aspersão convencional, no período da manhã, mantendo-se o solo com umidade próxima a capacidade de campo, utilizando-se uma lamina de água estabelecida a partir da estimativa da evapotranspiração de referencia e coeficiente (K_c) da cultura. A estimativa de evapotranspiração de referência foi obtida pelo método Penman-Monteith, proposto pela FAO (Allen, 1998).

2.4. Variáveis determinadas na quarta folha

Após a completa emergência das plantas (80 % das plantas emergidas) foram selecionadas, ao acaso, quatro plantas, competitivas e representativas por parcela útil e marcadas individualmente. Aos 21 dias após a emergência (DAE) foram realizadas leituras com o medidor portátil SPAD-502 (Soil-plant analysis development-502) nas plantas selecionadas entre 08 e 11 horas da manhã, seguindo-se procedimentos utilizados por Guimarães et al. (1999). As medições foram realizadas em cinco pontos da quarta folha completamente expandida (QF) a partir do ápice da planta folha no folíolo terminal, a partir das quais foi calculada a média para cada folíolo

amostrado, que representou o valor SPAD na QF. A média das leituras realizadas na QF das quatro plantas selecionadas representou a parcela.

Posteriormente, a folha foi coletada, levada para laboratório em isopor com gelo, onde foi determinada a área foliar com o sistema de análise de imagem WinDias 3 da Delta-T Device. Em seguida foi obtida a massa da matéria fresca da QF. Após, o material foi acondicionado em saco de papel e colocado em estufa de circulação forçada de ar a 70 °C até atingir massa constante para a obtenção da massa da matéria seca.

A matéria seca da folha foi triturada em moinho tipo Wiley, equipado com peneira de 20 mesh e armazenada para posterior determinação do teor de N orgânico, após digestão sulfúrica utilizando-se o reagente de Nessler (Jackson, 1958). Em outra subamostra, foi extraído o N- NO_3^- com água desmineralizada, em banho-maria, a 45 °C por 1 h, determinou-se a concentração de N- NO_3^- por colorimetria, em espectrofotômetro a 410 nm segundo metodologia de Cataldo et al. (1975). O teor de N_{total} foi obtido pela soma do teor de N-orgânico e N- NO_3^- . O conteúdo de N da QF foi determinado pela multiplicação da quantidade de matéria seca pelo teor de N-total na matéria seca.

2.5. Variáveis determinadas nas folhas e hastes

Também aos 21 DAE, para cada tratamento, coletou-se a parte aérea de uma planta por parcela, essa foi levada para o laboratório onde foi separada em hastes e folhas, determinadas: massas das matérias fresca das folhas (menos a QF que foi previamente destacada e avaliada) e das hastes; número de hastes e folhas; comprimento de plantas (relativa à

medida da base ao fim da haste principal). Folhas e hastes foram colocadas, separadamente, em sacos de papel e levados para estufa de circulação forçada de ar a 70 °C até atingirem peso constante quando foram obtidas as massas das matérias secas.

As matérias secas das folhas e hastes foram trituradas em moinho tipo Wiley, equipado com peneira de 20 mesh e armazenadas para posterior determinação do teor de N após digestão sulfúrica utilizando-se o reagente de Nessler (Jackson, 1958). Em outra subamostra, foi extraído o N- NO_3^- com água desmineralizada, em banho-maria, a 45 °C por 1 h, determinou-se a concentração de N- NO_3^- por colorimetria, em espectrofotômetro a 410 nm segundo metodologia de Cataldo et al. (1975). O teor de N_{total} foi obtido pela soma do teor de N obtido pelo reagente de Nessler com o teor de N- NO_3^- . O conteúdo de N da QF foi determinado pela multiplicação da quantidade de matéria seca pelo teor de N-total na matéria seca.

2.6. Colheita dos tubérculos

Aos 90 dias após a emergência (DAE), quando as ramas estavam completamente secas, as plantas foram colhidas e os tubérculos da área útil de cada parcela foram retirados do solo. Os tubérculos permaneceram sobre o solo por cerca de duas horas para a secagem da periderme e posteriormente foram levados para o galpão, onde foram separados e classificados em comerciais e não comerciais, contados e pesados.

Os tubérculos foram classificados segundo normas vigentes no Brasil, regulamentadas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (1995) em função do diâmetro transversal (classe 1: diâmetro maior ou igual

8,5 cm; classe 2: maior que 4,5 e menor que 8,5 cm; classe 3: maior que 3,3 e menor que 4,5 cm e classe 4: menor ou igual a 3,3 cm). A produção comercial foi obtida pela soma das classes 1, 2 e 3. Os tubérculos não comerciais foram considerados aqueles pertencentes à classe 4, além dos podres e aqueles com defeitos de esverdeamento, embonecamento e rachaduras.

2.7. Análise estatística e determinação de nível crítico

Os dados obtidos das características estudadas foram submetidos à análise de variância, teste de medias para as fontes e regressão para as doses, com a utilização do software estatístico SAEG 9.1 (SAEG, 2007). Para a característica que não foi influenciada por fontes de N foi utilizada a média da mesma obtida com as três fontes. Os modelos de regressão foram escolhidos com base no significado biológico, na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste de t e coeficiente de determinação ($R^2 = SQ_{regressão}/SQ_{tratamento}$).

O nível crítico de todas as variáveis dependentes foi determinado segundo procedimento mostrado em Fontes e Ronchi (2002). Basicamente foi ajustado um modelo que melhor descrevesse a relação entre os valores da variável avaliada e doses de nitrogênio. Nesse modelo foi introduzido o valor da dose ótima de N (aquela que propiciou a maior produtividade comercial de tubérculos) obtendo-se o valor ótimo de cada variável (Fontes, 2001).

3. RESULTADOS

3.1. Produção comercial e total de tubérculos

Não houve efeito de fontes e da interação entre fontes e doses sobre as características produção total e comercial de tubérculos ($P > 0,10$) que cresceram com as doses de N seguindo o modelo quadrático (Figura 1).

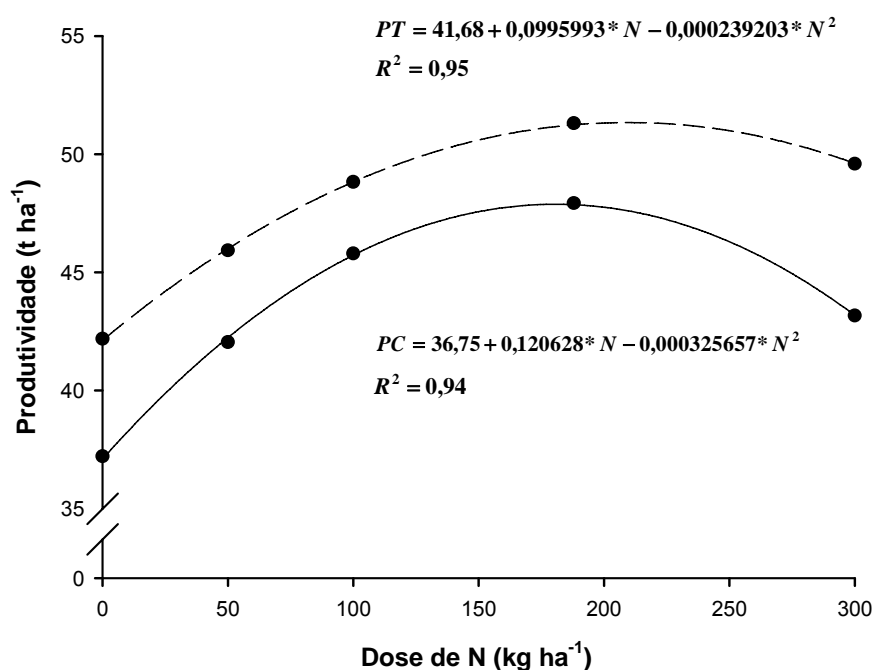


Figura 1 – Produtividade total (PT) e comercial (PC) de tubérculos de batata, em função das doses de nitrogênio (N). (*) significativo a 5% de probabilidade, pelo teste “t”.

A dose de 208,18 kg ha⁻¹ de N proporcionou a máxima produtividade total de tubérculos, atingindo o valor de 51.297 kg ha⁻¹. A máxima produtividade comercial de 47.920 kg ha⁻¹ foi obtida com a dose de 185,25 kg ha⁻¹ de N.

Obeve-se efeito significativo de doses de N para a variável número total de tubérculos (N° TTB) não sendo verificado o mesmo para o número de tubérculos comerciais (N° CTB). A equação ajustada para o N° TTB está apresentada na Tabela 2, o nível crítico (NC) foi de 13,49 tubérculos por planta obtido com a dose de N que propiciou a máxima produtividade comercial.

Tabela 2– Equação ajustada para o numero total de tubérculo (N° TTB) e número de tubérculo comercial (N° CTB) em função de doses de nitrogênio (N) e nível critico (NC) associado à dose de N para máxima produtividade comercial de tubérculos

Características	Equação	R ²	NC
N ° TTB	$\hat{y} = 10,423 + 0,0315877^* N - 0,00008107^{**} N^2$	0,96	13,49
N° CTB	$\hat{y} = 6,72$	-	-

** e * : significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste “t”.

3.2. Determinações na quarta folha

As variáveis analisadas na quarta folha da batata quais sejam teores de nitrogênio total (Ntot4f), orgânico (NorgF) e nitrato (NO₃⁻4f); conteúdo de nitrogênio (CN4F); área foliar (AF4F); índice SPAD (SPAD4F); massas de matérias fresca (MF4f) e seca (MS4f) não foram influenciadas por fontes de nitrogênio. Da mesma forma, não houve efeito significativo da interação entre fontes e dose de N sobre essas variáveis medidas da quarta folha. Entretanto, houve efeito significativo de dose de nitrogênio sobre todas as variáveis acima listadas exceto teor de N-orgânico (Norg4f) e massa de matéria fresca de folha (MF4f). A equação matemática entre as variáveis

dependentes e doses de N encontra-se na Tabela 3. Também está listado na Tabela 3 o valor crítico (NC) de cada variável dependente associado à dose de N para a máxima produtividade comercial de tubérculos.

Tabela 3 – Equações ajustadas para os teores de nitrogênio total (N_{tot}4f), orgânico (N_{org}4f) e nitrato (NO₃⁻4f); conteúdo de nitrogênio (CtN4F); área foliar (AF4F); índice SPAD (SPAD4F); massas de matérias fresca (MF4f) e seca (MS4f) na quarta folha de batata em função de dose de nitrogênio (N) e nível crítico (NC) associado à dose de N para máxima produtividade comercial de tubérculos

Variáveis medidas na quarta folha	Equações ajustadas	R ² /r ²	NC
N _{tot.} 4F (dag kg ⁻¹)	$\hat{y} = 4,0055 + 0,0163984^*N - 0,0000297254^{***}N^2$	0,98	6,12
N _{Org.} 4F (dag kg ⁻¹)	$\hat{y} = 4,37$	-	-
NO ₃ ⁻ 4F (dag kg ⁻¹)	$\hat{y} = 0,340463 + 0,009267^{**}N - 0,000018905^*N^2$	0,98	1,79
CtN4F(dag/planta)	$\hat{y} = 0,129430 + 0,0395585^{**}N - 0,0000680140^{***}N^2$	0,90	5,55
AF4F (cm ²)	$\hat{y} = 176,695 + 0,640811^*N - 0,00116258^{**}N^2$	0,75	256,5
SPAD4F	$\hat{y} = 34,0981 + 0,0408582^*N - 0,0000711188^{**}N^2$	0,62	39,6
MF4f (g)	$\hat{y} = 6,14$	-	-
MS4f (g)	$\hat{y} = 0,514153 + 0,001942281^*N$	0,99	0,87

** ; * e *** : significativo a 1; 5 e 10 % de probabilidade, respectivamente, pelo o teste "t".

3.3. Determinações nas folhas

As variáveis analisadas nas demais folhas, exceto na quarta folha, quais sejam teores de nitrogênio total (N_{tot}F), orgânico (N_{org}F) e nitrato (NO₃F); conteúdo de nitrogênio (CNF); área foliar (AFF); massas de matérias fresca (MFF) e seca (MSF) e número de folhas (NF) não foram influenciadas por fontes de nitrogênio, exceto o conteúdo de nitrogênio (CNF), área foliar

(AFF) e matéria fresca de folhas (MFF). O efeito de fontes de N sobre as mesmas está na Tabela 4.

Não houve efeito significativo da interação fontes x dose de N sobre as variáveis medidas nas folhas. Entretanto, houve efeito significativo de dose de nitrogênio sobre todas as variáveis medidas nas folhas exceto teor de N-orgânico (NorgF). A relação matemática entre as variáveis dependentes e doses de N encontra-se na Tabela 5. Também está listado na Tabela 5 o valor crítico (NC) de cada variável dependente associado à dose de N para a máxima produtividade comercial de tubérculos.

Tabela 4 – Valores do conteúdo de nitrogênio nas folhas (CNF), área foliar (AFF) e matéria seca de folhas (MSF) em resposta às fontes de nitrogênio sulfato de amônia (SAM), uréia e nitrato de amônia (NAM)

Fontes de nitrogênio	CNF (g)	AFF (cm ²)	MSF (g)
SAM	9,38 ab	4120,48 b	19,49 ab
Uréia	8,69 b	4620,99 a	17,32 b
NAM	11,09 a	3931,46 b	21,20 a

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna não diferiu ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 5 – Equações ajustadas para teores nas folhas de nitrogênio total (N_{tot}F), orgânico (N_{org}F) e nitrato (NO₃⁻F); conteúdo de nitrogênio (CtNF); número (N^o F), área foliar total (AFT); massa de matéria fresca (MFF) e massa de matéria seca (MFS) em função de dose de nitrogênio (N) e nível crítico (NC) associado à dose de N para máxima produtividade comercial de tubérculos.

Variáveis medidas nas folhas	Equações ajustadas	R ² /r ²	NC
N _{tot} F (dag kg ⁻¹)	$\hat{y} = 4,48262 + 0,00450128^{**} N$	0,94	5,32
N _{Org} .F (dag kg ⁻¹)	$\hat{y} = 4,37$	-	-
NO ₃ ⁻ F (dag kg ⁻¹)	$\hat{y} = 0,156341 + 0,00839671^{*} N - 0,000019473^{***} N^2$	0,97	1,19
CtNF (dag /folha)	$\hat{y} = 6,79605 + 0,0225439^{*} N$	0,94	10,87
N ^o .F	$\hat{y} = 58,6897 - 0,0223563^{*} N$	0,93	54,55
AFT(cm ²)	$\hat{y} = 3361,85 + 6,63433^{*} N$	0,89	4590,8
MFF (g)	$\hat{y} = 248,62$	-	-
MSF (g)	$\hat{y} = 15,4059 + 0,0277122^{*} N$	0,92	20,54

** ; * e *** : significativo a 1, 5 e 10 % de probabilidade, respectivamente, pelo teste “t”.

3.4. Determinações nas hastes

As variáveis analisadas nas hastes da batata quais sejam teores de nitrogênio total (N_{tot}Ht), orgânico (N_{org}Ht) e nitrato (NO₃⁻Ht); conteúdo de nitrogênio (CNHt); massas de matérias fresca (MFHt) e seca (MSHt), número de hastes (NHt) e altura de haste (AHt) não foram influenciadas por fontes de nitrogênio. Também, não houve efeito significativo da interação entre fontes e dose de N sobre aquelas variáveis medidas nas hastes. O efeito de doses de N sobre as mesmas estão na Tabela 6.

Tabela 6 – Equações ajustadas para teores de nitrogênio total (NtotHt), orgânico (NorgHt) e nitrato (NO₃⁻Ht); conteúdo de nitrogênio (CtNHt); massas de matéria fresca (MFHt) e seca (MSHt), número de hastes (NHt) e altura de haste (AHt) em função de dose de nitrogênio (N) e nível crítico (NC) associado à dose de N para máxima produtividade comercial de tubérculos

Variáveis medidas nas hastes	Equações Ajustadas	R ² /r ²	NC
N _{tot} .Ht (dag kg ⁻¹)	$\hat{y} = 2,30$	-	-
N _{Org} Ht (dag kg ⁻¹)	$\hat{y} = 1,85$	-	-
NO ₃ ⁻ Ht (dag kg ⁻¹)	$\hat{y} = 0,477$	-	-
CtNHt (dag/folha)	$\hat{y} = 0,19071 + 0,00303421^*N$	0,85	0,75
MFHt (g)	$\hat{y} = 83,6251 + 0,461989^{**}N^{1/2} - 0,0251045^{**}N$	0,94	39,27
MSHt (g)	$\hat{y} = 6,32270 + 0,39665^{**}N^{1/2} - 0,021303^{**}N$	0,97	3,01
N ^o Ht (unidade)	$\hat{y} = 6,28$	-	-
AHt (cm)	$\hat{y} = 39,68$	-	-

* e ** : significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste "t".

4. DISCUSSÃO

No presente trabalho não se verificou efeito da interação fontes x doses de N sobre nenhuma variável analisada. Também, não houve efeito de fontes de N sobre: a produtividade (massa e número) de tubérculos de batata e nem sobre as variáveis determinadas na quarta folha e nas hastes. Em experimento em ano anterior, idêntico ao presente trabalho, não reportado na presente tese, também não foi verificado efeito significativo de fonte de N sobre a produtividade de tubérculos (Leão et al., 2010). Buddy et al. (1986) encontraram maior produtividade de batata com a utilização do sulfato de amônio do que nitrato de amônio, uréia e nitrato de cálcio, talvez devido ao íon sulfato e a perdas por lixiviação e ou volatilização das duas fontes.

O efeito de fontes de N somente foi observado sobre as variáveis conteúdo de N nas folhas, área das folhas e massa seca das folhas, sendo que o efeitos do sulfato de amônio (SAM) e do nitrato de amônio (NAM) foram semelhantes. A uréia propiciou maior área foliar da planta, 12 e 18%, e menor massa de matéria seca de folhas, 13 e 22%, do que SAM e NAM, respectivamente. Menor massa de folhas acarretou menor conteúdo de N. Portanto, a uréia propiciou maior expansão das folhas em detrimento ao aumento da massa das mesmas.

Não foi constatado o possível efeito benéfico do enxofre contido no sulfato de amônio, como verificado por Collamer et al. (2007). Os autores reportam que o enxofre contido no sulfato de amônio melhora a absorção e o aproveitamento do N pelas culturas devido à sinergia entre esses nutrientes além de aumentar a solubilidade do fósforo e do manganês do solo. O efeito

diferenciado do sulfato não era mesmo esperado, pois grande quantidade de sulfato foi colocada em todas as parcelas como íon acompanhante do fósforo, magnésio e micronutrientes no momento do plantio. Em experimento em ano anterior, não reportado na presente tese, foi verificado efeito significativo de fonte de N sobre a área foliar da planta (Leão et al., 2010).

Com eficiências idênticas das três fontes estudadas (sulfato de amônio, uréia e nitrato de amônio) sobre a produção (massa e número de tubérculos) e apesar de limitações na estocagem, a uréia pode ser apontada como a melhor opção de utilização pelo produtor por apresentar menor custo por kg de N aplicado e de ser relativamente fácil de ser adquirida.

4.1. Efeito de doses de N sobre a produtividade de tubérculo

Dose de nitrogênio influenciou de forma quadrática, tanto o número quanto a massa de tubérculos de batata. Efeito de dose de N sobre a produtividade de tubérculos tem sido amplamente observado por diversos autores (Meyer & Marcum, 1998; Bélanger et al., 2000; Rodrigues et al., 2005; Gil et al, 2002; Silva et al., 2009; Coelho et al., 2010). O crescimento e o desenvolvimento das hastes, folhas e área foliar condicionam a produção de tubérculos pela planta (Oliveira, 2000). Quase sempre, doses pequenas de N propicia reduzida área foliar (Alva et al., 2002) propiciando baixa produtividade de tubérculos pequenos. Por outro lado, dose excessiva de N favorece o crescimento luxuriante de folhas e hastes provocando retardamento na maturação do tubérculo e redução da produtividade (Errebhi et al., 1998; Gil et al., 2002; Busato, 2007). Sabe-se que o nitrogênio é elemento essencial na produção das culturas sendo que

escassez ou excesso pode reduzir a produtividade de batata tanto pela reduzida quantidade produzida quanto pela ineficiente partição de fotoss assimilados para os tubérculos (Marschner, 1995; Chambenoit, 2002).

No presente experimento foi observado comportamento quadrático no número total de tubérculos em função de doses de N. O nível crítico de tubérculos foi 13,49/planta com a dose de N que propiciou a máxima produtividade comercial. Por outro lado, o número de tubérculo comercial não foi influenciado por doses de N e alcançou 6,72/planta. Assim, aumento na dose de N até aquela que propiciou a máxima produtividade comercial aumentou em 6,77 tubérculos/planta os quais, provavelmente, não tiveram tempo para crescer suficientemente. Portanto, incremento na dose de nitrogênio aumenta o número total de tubérculos de forma quadrática sem, contudo aumentar o número de tubérculos comerciais por planta. Aumento linear no número de tubérculos em função de dose de N foi verificado por Gil et al. (2002). O oposto foi observado por Cardoso (2007) que não obteve significância estatística quando analisou o número de tubérculos por planta, na cultivar Ágata com diferentes parcelamentos e doses de nitrogênio e de potássio.

A máxima produtividade comercial de tubérculos no presente estudo foi 47,92 t ha⁻¹ com 185,25 kg ha⁻¹ de N. Tal produtividade é superior a media nacional de 27,0 t ha⁻¹ (Agrianual, 2013). A recomendação da dose de N para o cultivo da batata irrigada é variável em diferentes regiões do mundo, desde 30 a 350 kg ha⁻¹ (Williams & Maier, 1990). Nos países da Europa e nos Estados Unidos, a dose de N varia de 70 a 330 kg ha⁻¹, com ciclo de cultivo em

torno de cinco meses (Kolbe & Beckmann, 1997; Stark et al., 2004). No Canadá, a dose varia de 75 a 225 kg ha⁻¹ (Zebarth et al. 2004; Zebarth & Rosen, 2007; Waterer & Heard, 2010; Moulin et al., 2012). No Brasil, a recomendação pode variar de 60 a 250 kg ha⁻¹ (Fontes et al., 2012). Após a aplicação, somente parte do fertilizante é absorvida pela planta, o restante é perdido e imobilizado no solo, isto é incorporado em formas orgânicas.

Em trabalhos realizados com a cultivar Ágata no período das secas, na mesma região do presente estudo, sendo utilizados o sulfato de amônio ou a uréia, foram obtidas produtividades comerciais de 33,1 e 45,0 t ha⁻¹ com as doses de 168 e 297 kg de N ha⁻¹, respectivamente (Fontes et al., 2010; Coelho et al. 2010). Em experimento com as cultivares Ágata e Asterix, utilizando o sulfato de amônio, também em época das secas, Busato (2007) obteve produtividade comercial máxima de 33,1 e 32,3 t ha⁻¹ com 168 e 212 kg ha⁻¹ de N, respectivamente. Silva et al. (2009), em experimento estudando o comportamento da cultivar Monalisa sob regime de adubação nitrogenada, em época seca do ano, com irrigação suplementar, encontraram valores de 40,72 e 39,7 t ha⁻¹ correspondente a doses de 177,68 e 184,37 kg ha⁻¹ de N em pré-plantio, respectivamente. Em outros países, como Canadá, Zebarth & Milburn (2003) obtiveram a produtividade de 45,45 t ha⁻¹ com 180 kg ha⁻¹ de N. Na Venezuela é reportado o uso de 250 kg ha⁻¹ de N (Machado & Sarmiento, 2012). No Irã foi verificado aumento de produtividade até 31,7 t ha⁻¹ com 160 kg ha⁻¹ de N (Mahmoodabad et al. 2011). Nos USA, maior produtividade de batata foi obtida com a dose variando de 134 a 201 kg ha⁻¹ de N, dependendo do ano (Reiter et al., 2012).

Diversos fatores podem ser responsáveis pela variabilidade de resposta, mas ainda é incompleto o conhecimento para identificar fatores mensuráveis capazes de descreverem o desempenho agrônômico da cultura na complexa interação genótipo-ambiente-manejo (Fontes et al., 2012). Não é esperado que a produtividade e a absorção de N reflitam unicamente a dose de N adicionada ao solo. Durante o desenvolvimento, a planta absorve o N mineralizado, originalmente presente ou recém mineralizado. Com o passar do tempo, pode haver acúmulo no solo de “N orgânico” originalmente vindo do adubo. Para ser utilizada pela planta, a fração orgânica precisa ser mineralizada. A taxa de mineralização do N recentemente imobilizado é maior do que a que ocorre com a matéria orgânica original do solo. Em novo plantio, após a mineralização, a fração orgânica do N mais a quantidade fornecida como adubo ficam disponíveis para as plantas. Não é esperado que mudanças em ambos os processos, desenvolvimento da planta e disponibilidade de N, sejam controlados na mesma intensidade pelos fatores ambientais tais como umidade do solo, topografia, temperatura, práticas culturais, quantidades original de N e de matéria orgânica no solo além do adubo nitrogenado adicionado ao solo. Assim, a intensidade da resposta, em massa e em número de tubérculos à dose de N é variável com diversos fatores ligados ao solo, genótipo e manejo da cultura que influenciam a disponibilidade de N à batata.

4.2. Índices nitrogenados

Fontes de N e a interação entre fontes x doses de N não influenciaram nenhum índice nitrogenado avaliado na quarta folha, ou seja: teores de

nitrogênio total, orgânico e nitrato; conteúdo de nitrogênio; área foliar; índice SPAD; teor de clorofila total; massas das matérias fresca e seca.

Das variáveis analisadas, teor de N orgânico e massa de matéria fresca da quarta folha não foram influenciadas por doses de N, não apresentando variabilidade necessária para serem usadas como índice de avaliação do estado nutricional nitrogenado da planta. Os outros índices de nitrogênio, exceto amassa de matéria seca da quarta folha, apresentaram resposta de forma quadrática às doses de N, de maneira análoga àquela observada com a produtividade de tubérculos.

A dose de N de 185 kg ha⁻¹ propiciou o valor máximo da produção comercial de tubérculos e as doses de 295, 287 e 275 kg ha⁻¹ propiciaram o valor máximo do teor de clorofila, índice SPAD e teor de N total na quarta folha, respectivamente. Portanto, não é necessário adicionar adubo nitrogenado em dose que maximize o teor de N ou índice SPAD na quarta folha para se obter a produtividade máxima.

Nitrogênio é essencial para a síntese de clorofila que é necessária para a fotossíntese que, em parte, determina a produtividade da cultura. Em condição de insuficiência de N houve baixa concentração de clorofila nas folhas possivelmente ocasionando restrição na utilização da energia luminosa e reduzida habilidade na absorção de nutrientes e produção de carboidratos para o crescimento e desenvolvimento da planta. Normalmente há correlação entre os teores de N e de clorofila nas folhas, pois mais da metade do N contido nas folhas está incorporado em enzimas associadas aos cloroplastos (Taiz & Zeiger, 2009). Glutamato, composto que contém amina (NH₂), é importante precursor da síntese da clorofila. Além de

precursor de outros aminoácidos, o glutamato é também precursor do ácido aminolevulínico que é considerado um precursor universal dos tetrapirrólicos. Portanto, a deficiência de N provoca redução nas sínteses de glutamato, de ácido aminolevulínico e de clorofila provocando a clorose das plantas em caso de acentuada deficiência (Chu et al., 2007).

A concentração de nitrogênio tem relação direta com a eficiência fotossintética. Isto se deve ao fato das clorofilas absorverem quantas de luz e serem responsáveis pela conversão desta energia luminosa à química, sendo mediada por fotorreceptores específicos (Larcher, 2000). O processo ocorre devido ao metabolismo dos cloroplastos decorrerem da incorporação deste elemento nas folhas pela dependência de enzimas, constituídas basicamente de proteínas, havendo assim, uma interdependência com o nitrogênio (Larcher, 2000). Os pigmentos clorofilianos nos cloroplastos são constantemente destruídos e sintetizados, dependendo das condições ambientais e da própria planta. Neste caso, um dos fatores determinantes do conteúdo desses pigmentos, além da luminosidade, é a nutrição mineral, principalmente no que diz respeito ao N, pois além de integrarem a estrutura molecular das plantas, atua diretamente na própria síntese dos pigmentos fotossintéticos (Taiz & Zeiger, 2009).

A cor verde das plantas está diretamente associada com o teor de clorofila foliar, e este, altamente relacionado com o teor de N na maioria das plantas. Os pigmentos fotossintéticos (clorofilas *a* e *b* e carotenóides) são essenciais para o desenvolvimento das plantas, pois são responsáveis pela captura da energia solar usada na fotossíntese, sendo elas essenciais na conversão da radiação luminosa em energia química, na forma de ATP e

NADPH (Taiz & Zeiger, 2009). O teor de clorofila na folha tem sido utilizado nas últimas décadas, principalmente por fundamentar-se na correlação positiva existente entre o teor de clorofila e o teor de N na folha. A cor e os espectros de absorção e reflexão da luz dependem dos pigmentos existentes na folha, caroteno, xantofila e clorofilas a e b, que absorvem e refletem determinados comprimentos de onda da luz incidente. Deficiências de diversos nutrientes, com reflexo na concentração de clorofila e de carotenóides, têm influência sobre a absorção e reflexão da luz na folha (Baltzer & Thomas, 2005). Assim, os índices relacionados com a intensidade da cor verde das folhas da batata podem ser afetados por fatores que não somente a disponibilidade de N, como por exemplo, ano, localidade (Minotti et al., 1994) e material de propagação (Sampaio Jr. et al., 2008). Em outras espécies tem sido reportada a influência de fatores como época do ano, cultivar, data de determinação, estágio de desenvolvimento da planta e temperatura sobre a intensidade da coloração verde da folha e leitura pelo clorofilômetro.

Vários trabalhos com a cultura da batata têm demonstrado haver correlação entre as leituras com o SPAD e os teores de clorofila e N determinados por métodos analíticos de extração (Gil et al., 2002; Rodrigues, 2004; Gianquinto et al., 2004; Busato et al., 2010; Coelho et al., 2010).

O nível crítico do teor de N_{total} e do teor de nitrato na quarta folha, índices diretos de avaliação do estado de nitrogênio da planta, foram 6,12 e 1,79 dag kg⁻¹, respectivamente. Valores críticos da concentração de N em folhas de batata foram publicados por diversos autores (Walworth & Muniz,

1993; Mills & Jones, 1996). É citada, de maneira ampla, como suficiente para a batata a faixa de concentração de N de 4 a 6 dag.kg⁻¹ na matéria seca de folhas novas completamente desenvolvidas de plantas jovens e de 3 a 4 dag.kg⁻¹ em folhas novas de plantas já com tubérculos, na metade do desenvolvimento (Mills & Jones Jr., 1996). Huett et al. (1997) citam valores de concentração de N em diversos órgãos e fases de crescimento da batata que em início de tuberização deve apresentar a faixa de 5,0 a 6,5 dag.kg⁻¹ para o N na matéria seca do pecíolo. Gil et al. (2002) verificaram que o teor de N na massa seca da quarta folha da batata aumentou de maneira quadrática com o incremento das doses de N, encontrando o valor de 6,15 dag kg⁻¹ associado com dose que proporcionou a maior produção de tubérculos comerciais. Coelho et al. (2012a) mostraram haver maior potencial de usar o teor de N_{total} como indicador do estado nutricional das plantas de batata em fase mais precoce da cultura. Nesta fase, 21 dias após a emergência, o teor de N_{total} na quarta folha da batata apresentou maior correlação com a produtividade comercial de tubérculos do que em fase mais adiantada do ciclo da cultura (42 dias após a emergência). Também, foi observado que o teor de N_{total} na quarta folha apresentou menor correlação com a produtividade de batata do que o índice SPAD (Coelho et al. 2010).

O valor estimado do nível crítico da leitura SPAD na quarta folha foi 39,6. Tem sido verificada variação de 35 a 53 no valor crítico do índice SPAD medido na quarta folha da batata aos 21 dias após a emergência na região de Viçosa em diferentes condições experimentais, épocas de plantio e cultivares (Gil et al., 2002; Busato et al., 2010; SILVA et al., 2009; 2011; FONTES et al., 2010; Coelho et al., 2012). Em determinações realizadas

entre os 29 e 37 dias após o plantio, Minotti et al. (1994) obtiveram valores críticos de SPAD variando de 49 a 56, dependendo do ano, cultivar e localidade. Na Argentina, Giletto et al. (2010) indicam como apropriado o valor 40 unidades SPAD para a batata em estágio inicial de desenvolvimento.

Em experimento realizado em solução nutritiva, em estufa, Rodrigues et al. (2000b) determinaram o valor de 39,6 unidades SPAD na quarta folha jovem completamente expandida da cultivar Monalisa, com 57 dias de idade, como o nível crítico associado à dose de N que propiciou a máxima produção de matéria seca da parte aérea da batata. Também em estufa, associado à máxima produção de tubérculos de batata Monalisa em vaso contendo substrato, o índice crítico SPAD na quarta folha, em avaliação aos 37 DAE, foi 41,5; 47,9 e 45,7 para plantas multiplicadas por plântulas micropropagadas, brotos e minitubérculo, respectivamente (Sampaio Jr., 2008).

O valor crítico do índice SPAD pode ser afetado por vários fatores como posição de leitura na folha, estado hídrico da folha, genótipo, estágio de crescimento da planta, idade da folha, temperaturas extremas, luminosidade no momento da leitura, época do ano, inclusão da nervura na leitura e outros (Arregui et al., 2000; Fontes & Araújo, 2007; Silva et al., 2010; Coelho et al., 2013). Além dos fatores que influenciam o valor da leitura SPAD, há influência marcante do procedimento adotado para os cálculos da dose ótima de N (Fontes, 2011) e do nível crítico (Fontes & Ronchi, 2002), contribuindo para a amplitude de valores verificados.

O nível crítico da área da quarta folha foi 256 cm². A possibilidade de análise de características biométricas da planta, como a área da folha, na avaliação do estado de nutrientes das plantas é baseada na hipótese que a limitação parcial do nutriente irá provocar mudança quantitativa em uma ou várias características da planta e prende-se à necessidade de diagnosticar em tempo real a existência de “fome oculta” (Fontes, 2001). Busato et al. (2008) determinaram os valores ótimos de dois índices fisiológicos na planta, área foliar (2234 cm²) e massa de matéria seca (41 g), associados à dose de nitrogênio para a máxima produção comercial de tubérculos de batata, cultivar Ágata. Os referidos índices foram medidos aos 21 dias após a emergência da planta, época de decidir sobre a adubação em cobertura com nitrogênio.

Várias outras características, mensuráveis no campo em tempo real, podem ser utilizadas para avaliação indireta do estado de N da planta, como por exemplo, número de folhas, diâmetro do caule, altura da planta, área de folha referência, número de folíolos e outras características em determinada fase do crescimento da cultura. Talvez, essas características possam ser usadas de forma isolada ou preferivelmente combinadas em um modelo com diversas variáveis constituindo-se em bioindicadores do estado de N da planta. Esse enfoque, diferente da análise visual que é feita com base em sintomas qualitativos de deficiência severa, tem sido pouco enfatizado nos trabalhos de pesquisas.

Diversos fatores proporcionam diferente valor para o nível crítico de N no tecido da planta em diferentes experimentos. Todos os fatores que proporcionarem mudanças diferenciadas nos valores das taxas de

crescimento e de absorção do N acarretarão diferentes concentrações do mesmo no tecido, provocando mudanças no nível considerado crítico. Segundo Fontes (2011), os principais fatores que podem proporcionar a obtenção de diferentes níveis críticos são inadequado crescimento da planta devido à isolada ou interativas imperfeições edáficas, climáticas, genotípicas e humanas; idade da planta; órgão analisado; cultivar; critério, método e substrato utilizados para a definição do nível crítico; métodos de extração e de dosagem do N na amostra. Padronizar procedimentos pode contornar, em parte, a relativamente ampla variabilidade existente na literatura de valor crítico dos índices.

5. CONCLUSÕES

- Não houve efeito de fontes e da interação fonte x dose de N sobre as características estudadas;
- Os índices de nitrogênio apresentaram resposta de forma quadrática às doses de N, de maneira análoga àquela observada com a produtividade comercial de tubérculos;
- O nível crítico dos teores de Ntotal e de N-nitrato foi de 6,12 e 1,79 dag kg⁻¹, respectivamente; da leitura SPAD foi de 39,6 e da área foliar de 256 cm², na folha índice de batateira.
- A máxima produtividade comercial de tubérculos, 47.920 kg ha⁻¹, foi obtida com 185 kg ha⁻¹ de N.
- Não é necessário adicionar adubo nitrogenado em dose que maximize o teor de N ou o índice SPAD na quarta folha.

CAPÍTULO 2

ANÁLISES VISUAL E FOLIAR DO ESTADO DE NITROGÊNIO DA BATATEIRA EM FUNÇÃO DE DOSES DE NITROGÊNIO

RESUMO O nitrogênio é um dos nutrientes mais absorvidos pela batateira, influenciando o padrão de desenvolvimento das plantas, tanto da parte aérea e aumento de tubérculos. A forma mais comum utilizada para nutrição (fertilização) de N na batateira é aplicação de N via fertilizante mineral. Para adequar o programa de adubação nitrogenada à cultura, devem ser utilizadas técnicas de diagnóstico, dessas, avaliações que venham prover a rapidez do diagnóstico do estado nutricional de N são mais destacáveis por favorecer agilidade na correção de N no solo. O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito de doses de nitrogênio (N) aplicadas em pré-plantio, na forma de uréia, sobre as características morfofisiológicas e produtividade de tubérculos da batateira. Objetivou-se ainda caracterizar, em fase precoce do ciclo, a planta adequadamente nutrida de nitrogênio e estabelecer índice para o prognóstico da produtividade de tubérculos. O experimento foi localizado na Horta de Pesquisa da UFV. A cultivar usada foi a cultivar Ágata e os tratamentos constaram de cinco doses de N: 0, 50, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ na forma de uréia. Utilizou-se como delineamento experimental blocos ao acaso, com 4 repetições. Aos 21 dias após a emergência das plantas foram coletadas as informações sobre os índices na QF. Determinou-se a intensidade do verde com o uso do SPAD-502;

aquisição de imagens da quarta folha com câmera digital FUJIFILM, modelo FinePix Z10fd modelo com lente à distancia focal 6,3 mm; e área foliar com o integrador de área foliar modelo WinDias. Na matéria seca foram determinados os teores de N-NO_3^- , por espectrofotometria a 410 nm e Norg (pelo método de Nessler). Os dados foram submetidos às análises de variância e regressão. Os índices de intensidade do verde (determinada pelo índice SPAD), análise visual (nota), índices morfofisiológicos da planta (área foliar, comprimento, número de folíolos, massas da matéria fresca e matéria seca) e teor de nitrogênio N na matéria seca da quarta folha, além da produção de tubérculos foram influenciados por dose de N. A dose para a máxima produção comercial de tubérculos (58,3 t/ha) foi de $186,6 \text{ kg ha}^{-1}$ de nitrogênio; a quarta folha da batateira adequadamente nutrida de nitrogênio deve apresentar aos 21 DAE as seguintes características: 40,6 de índice SPAD; 4,1 de nota visual; 288 cm^2 de área; 19,6 cm de comprimento; 13,2 cm de largura; 6,6 folíolos; 4,9 g de massa fresca; 0,79 g de massa seca; $2,7 \text{ dag kg}^{-1}$ de Norgânico (reagente de Nessler) e $4,5 \text{ dag kg}^{-1}$ de Ntotal na matéria sec. O índice mais indicado para o prognóstico da produtividade de tubérculos é a análise visual medida por nota, seguida pelo índice SPAD, teor de N orgânico e número de folíolos.

1. INTRODUÇÃO

Para a obtenção de alta produtividade e máximo retorno econômico, a batateira requer, dentre outros fatores, o uso de nutrientes. Dentre os nutrientes utilizados pela cultura da batata, destaca-se o nitrogênio (N) pela quantidade exigida e funções que exerce na planta. Normalmente, a dose de N utilizada na cultura é baseada em recomendação geral, raramente pela análise da planta.

A recomendação da quantidade a ser aplicada de N no momento do plantio ou em cobertura é variável. A variação nas doses pode ser justificada por diversos fatores como: os critérios utilizados para defini-la, cultivar utilizada, modo de aplicação do fertilizante nitrogenado, quantidade de matéria orgânica do solo, teor de N mineral ou N-NO_3^- no solo e o potencial de produção da cultura no sistema de cultivo utilizado. Como resultados podem ocorrer condições de deficiência ou excesso de N. Se houver falta ou excesso de um nutriente, isto se manifestará em sintomas visíveis, os quais são típicos para um determinado elemento. O sintoma visual de deficiência ou toxidez é o último passo de uma série de problemas metabólicos, irreversíveis, e que quando aparecem, de maneira geral, a produção já foi comprometida (Faquim, 2007).

A aplicação de N influencia várias características da batateira, como produtividade, gravidade específica, coloração e composição química dos tubérculos (Westermann & Kleinkopf, 1985; Maier et al., 1994; Meyer & Marcum, 1998; Bélanger et al., 2000; Wu et al., 2007). Dose reduzida de N pode resultar em baixa produtividade e tubérculos pequenos, devido à

reduzida área foliares (Alva et al., 2002; Lawlor, 2002). Por outro lado, dose excessiva de N favorece o crescimento excessivo das folhas, retardando a maturação do tubérculo, reduzindo a qualidade (Errebhi et al., 1998; Zvomuya et al., 2003) e o teor de massa da matéria seca dos tubérculos (Darwish et al., 2006).

Portanto, importância deve ser atribuída a utilização de critérios ou índices de adubação nitrogenada na cultura da batata, para manejar adequadamente o programa de fertilização, bem como para monitorar o estado de nitrogênio das plantas. Para esse monitoramento pode ser usada tanto a análise química da massa da matéria seca de folhas quanto aos teores de N-orgânico e de N-NO_3^- . Tais procedimentos são onerosos, demorados e realizados por pessoas qualificadas (Fontes, 2001 e 2011).

Para evitar condições de deficiência ou excesso de N vários critérios podem ser utilizados para recomendação da dose de N a ser aplicada na batateira. Para tal, são necessários métodos precisos de diagnóstico do estado nutricional das culturas (Fontes, 2001; Andriolo et al., 2006, Fanquin, 2007). Os índices de N na planta são testes rápidos que permitem o sensoriamento em tempo real do estado nutricional (Fontes, 2011) podendo tornar-se também uma alternativa viável para o sistema de produção de batata.

Várias pesquisas têm demonstrado que o conteúdo de clorofila medido com clorofilômetro correlaciona-se com a concentração de nitrogênio na planta e também com o rendimento de diversas espécies (Schepers et al., 1992; Guimarães et al., 1999; Schoröder et al., 2000; Azia & Stewart, 2001; Sexton & Carrol, 2002; Fontes e Araújo, 2007), inclusive para a batata

(Vos & Bom, 1993; Minotti et al., 1994; Rodrigues et al., 2000; Gil et al., 2002; Rodrigues, 2004; Silva et al. 2009; Coelho et al. 2010), podendo ser usado como ferramenta auxiliar indireta para caracterizar a necessidade de adubação nitrogenada no campo.

Adicionalmente, características morfofisiológicas da folha ou da planta, determinadas com facilidade e de forma não destrutiva, como área da folha, número de folhas e altura de plantas talvez possam ser utilizadas como teste indireto para avaliar o estado de nitrogênio da planta (AENP) em alternativa ou em complementaridade à análise do verde da folha (Fontes, 2001; Ronchi et al., 2001; Coelho & Fontes, 2005). Valores de índices morfofisiológicos relacionados com o estado de nitrogênio da batata têm sido recentemente publicados (Busato et al, 2008; Moreira et. al., 2011). Tais características morfofisiológicas da planta podem ser consideradas biomarcadores do estado de nitrogênio da planta sendo escassos os trabalhos buscando utilizar biomarcadores como critério de AENP.

No campo, a planta está exposta a fatores bióticos e abióticos que podem afetar as suas características morfológicas como número, área, coloração e taxa de aparecimento de folhas, dentre outras. Como diversas características podem ser determinadas de forma não destrutiva, talvez seja eficiente a utilização de várias características reunidas na forma de índice ou nota (Fontes & Araújo, 2007). O método visual pode ser usado diretamente no diagnóstico de deficiência de N sendo de baixo custo e rápido. Os sintomas visuais são obtidos muitas vezes em vaso ou solução nutritiva (Fontes, 2011) ou menos comumente em campo.

O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito de doses de nitrogênio (N) aplicadas em pré-plantio, na forma de uréia, sobre características morfofisiológicas da planta e produtividade de tubérculos e estabelecer índice para o prognóstico da produtividade da batateira em fase precoce do seu ciclo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em campo no período de junho a setembro de 2010.

Os detalhes sobre localização, caracterização da área, instalação e condução do experimento foram semelhantes aos descritos no Capítulo 1.

No presente experimento, os tratamentos foram constituídos de cinco doses de nitrogênio (0, 50, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ de N), aplicadas em pré-plantio, utilizando-se a uréia como fonte de N (45% de N). O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com quatro repetições. Cada parcela experimental foi constituída de quatro fileiras com oito plantas cada, espaçadas de 0,75 m entre fileiras e 0,25 m entre plantas, ocupando uma área de 6 m². Consideraram-se como bordaduras as duas fileiras laterais e as duas plantas das extremidades das fileiras centrais, sendo 12 plantas úteis.

2.1. Avaliações na quarta folha

Após a completa emergência das plantas (80 % das plantas emergidas) foram selecionadas, ao acaso, quatro plantas úteis, competitivas e representativas por parcela, marcadas individualmente. Aos 21 dias após a emergência (DAE), nessas quatro plantas foram determinados:

2.1.1. Índice SPAD

O índice SPAD foi determinado com medidor portátil SPAD-502 (Soil-plant analysis development-502). As medições foram realizadas no folíolo terminal da quarta folha completamente expandida (QF) a partir do ápice da

planta, entre 08 e 11 horas da manhã, onde foram efetuadas cinco leituras, a média das leituras representou o valor do índice SPAD na QF e a média das leituras na QF das quatro planta a média da parcela.

2.1.2. Análise visual – fotografia e nota

A quarta folha foi destacada e levada para uma caixa projetada (Figura 1) para ser fotografada com uma câmera digital FUJIFILM, modelo FinePix Z10fd. A caixa utilizada foi projetada para criar um ambiente apropriado que não houvesse distorções na imagem adquirida por interferências externas, mantendo a QF a uma mesma profundidade de campo da imagem, uma vez que a profundidade de campo varia com a área da imagem formada pela lente. A luminosidade foi controlada com auxílio de duas lâmpadas fluorescentes.

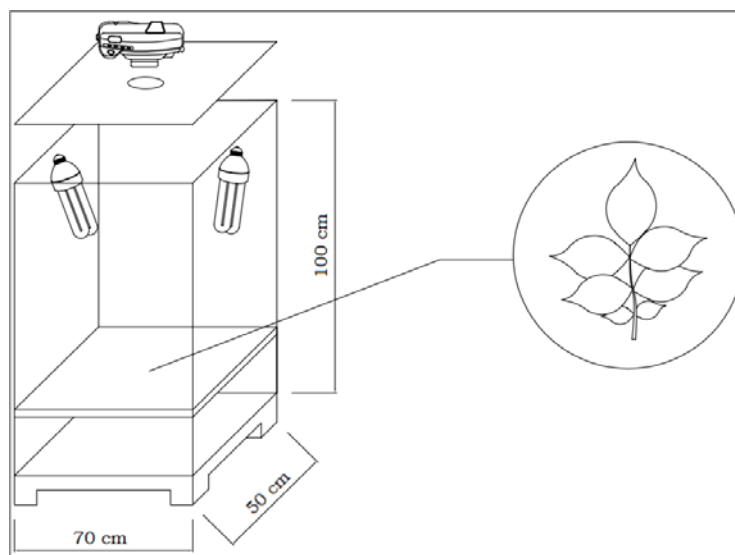


Figura 1 – Esquema do ambiente para aquisição da imagem da folha da batateira.

Após ser fotografada, cada QF foi avaliada visualmente sendo atribuídas notas de 1 a 5 (1= péssimo; 5= ótimo), de acordo com os seguintes critérios: aspecto da folha com base na cor, tamanho, brilho, inserção, facilidade de quebra do pecíolo, deformidades e número de folíolos, procedimento semelhante ao utilizado no tomateiro por Fontes e Araújo (2007).

2.1.3. Área, comprimento, largura, número de folíolos, massas da matéria fresca e matéria seca

A quarta folha de cada planta foi acondicionada individualmente em saco plástico e encaminhada para laboratório em caixa de isopor com gelo. Imediatamente após a chegada no laboratório determinou-se a área foliar com o sistema de análise de imagem WinDias 3 da Delta-T Device. Foram medidos o comprimento e a largura da QF, contados o número de folíolos e pesada a massa da matéria fresca. Posteriormente, as amostras da QF

foram acondicionadas em sacos de papel e colocadas em estufa de circulação forçada de ar à 70 °C até massa constante para a obtenção da massa da matéria seca.

2.1.4. Teor e conteúdo de N

A massa da matéria seca da quarta folha foi moída em moinho tipo Wiley, equipado com peneira de 20 mesh e armazenadas, para posterior determinação do teor de Norgânico após digestão sulfúrica utilizando-se o reagente de Nessler (Jackson, 1958). Em outra subamostra, foi extraído o N-NO_3^- , com água desmineralizada, em banho-maria, a 45 °C por 1 h, sendo a concentração de N-NO_3^- determinado por colorimetria, em espectrofotômetro, a 410 nm (Cataldo et al., 1975). O teor de N_{total} foi obtido pela soma dos teores de Norgânico e de N-NO_3^- .

O conteúdo de N_{total} da QF (dag/folha) foi determinado pela multiplicação da quantidade de matéria seca pelo teor de N_{total} na massa da matéria seca da quarta folha.

2.2. Avaliações na colheita

A colheita dos tubérculos ocorreu em setembro de 2010, 90 DAE, quando as ramas estavam completamente secas. As plantas da área útil de cada parcela foram colhidas e os tubérculos permaneceram sobre o solo por cerca de duas horas para o secamento da periderme; posteriormente foram levados para o galpão, onde foram separados, classificados em comerciais e não comerciais, contados e pesados.

Os tubérculos foram classificados, de acordo com diâmetro transversal

em: classe 1: diâmetro maior ou igual 8,5 cm; classe 2: maior que 4,5 e menor que 8,5 cm; classe 3: maior que 3,3 e menor que 4,5 cm e classe 4: menor ou igual a 3,3 cm), segundo as recomendações do Ministério de Agricultura Pecuária e Abastecimento (1995).

A produção comercial de tubérculos foi obtida pela soma das classes 1, 2 e 3. Os tubérculos não comerciais foram considerados aqueles pertencentes à classe 4, além dos podres e com defeitos de esverdeamento, embonecamento e rachaduras.

2.3. Análise estatística

Os resultados obtidos foram submetidos às análises de variância e de regressão com a utilização do software estatístico SAEG 9.1 (SAEG, 2007). Os modelos de regressão foram escolhidos baseados na ocorrência biológica, na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste t adotando-se o nível de até 10 % de probabilidade e no coeficiente de determinação ($R^2 = \text{SQRegressão}/\text{SQTratamento}$). Foram estimados os coeficientes de correlação linear entre as variáveis em estudo.

2.4. Estabelecimento do valor crítico de cada variável

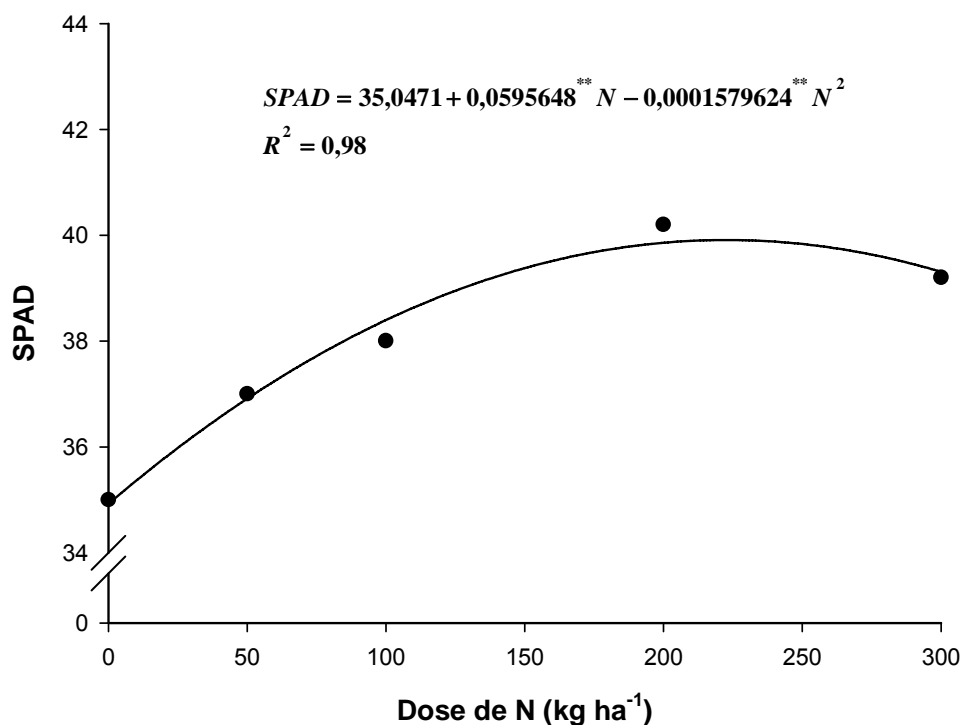
O nível crítico de todas as variáveis dependentes foi determinado segundo procedimento mostrado em Fontes e Ronchi (2002). Basicamente foi ajustado um modelo que melhor descrevesse a relação entre os valores da variável avaliada e doses de nitrogênio. Nesse modelo foi introduzido o valor da dose ótima de N (aquela que propiciou a maior produtividade

comercial de tubérculos) obtendo-se o valor ótimo ou crítico de cada variável (Fontes, 2001).

3. RESULTADOS

3.1. Índice SPAD

Houve efeito de dose de nitrogênio (N) sobre o índice SPAD determinado no folíolo terminal da quarta folha completamente expandida (SPADQF). O modelo para a relação entre a dose de N e o índice SPAD está na Figura 2.



** - significativo a 1 % de probabilidade.

Figura 2. Relação entre os valores do índice SPAD na quarta folha da batateira (SPAD) e de dose de nitrogênio (N).

O índice SPAD na QF aumentou com o incremento na dose de N, atingindo o valor máximo de 40,6 unidades SPAD na dose de 188,5 kg ha⁻¹ de N (Figura 2).

O valor crítico estimado para o índice SPAD associado à dose de N (186,6 kg ha⁻¹) que proporcionou a produção máxima comercial de tubérculos (58,3 t/ha) foi 40,6 unidades SPAD.

3.2. Análise visual – fotografia e nota

A avaliação da quarta folha realizada aos 21 DAE por meio de análise visual da fotografia está na Figura 3. De acordo com as doses de N foram observadas as seguintes características:

0 kg ha⁻¹ de N - Folhas com amarelecimento pronunciado, pequenas e poucos folíolos, em algumas, houve ausências de folíolos terciários, opacidade pronunciada, pecíolos mais delgados acompanhando coloração amarelada dos folíolos; pecíolos frágeis. Pouca pilosidade presente.

50 kg ha⁻¹ de N - Folhas com amarelecimento pronunciado, e poucos folíolos, em algumas ausências de folíolos terciários, opacidade pronunciada, pecíolos mais delgados acompanhando coloração amarelada dos folíolos. Alguma pilosidade presente.

100 kg ha⁻¹ de N – Folhas com tonalidade de verde claro, com presença de algum amarelecimento nos folíolos secundários; pecíolos mais resistentes e coloração mais verde em comparação as doses de 0 e 50 kg ha⁻¹ de N. Pilosidade presente.

200 kg ha⁻¹ de N – Folhas com tonalidade de verde escuro, sem presença de amarelecimento nos folíolos principal e intermediários, com boa

conformação, com brilho; pecíolos resistentes e coloração verde escura. Folha com simetria bilateral. Pilosidade presente.

300 kg ha⁻¹ de N - Folhas apresentando folíolos com tonalidade verde escura no folio terminal e secundários, presença de tons claros nos folíolos secundários e terciários. Folhas com problemas relacionados a defeitos morfológicos, limbo foliar com enrolamento, possivelmente devido ao desenvolvimento exagerado do limbo em detrimento a nervura e/ou folíolos fendidos; pecíolos quebradiços; Bainha grande e quebradiça. Bastante pilosidade presente.





















Doses de N (kg ha ⁻¹)	Repetição 01	Repetição 02	Repetição 03	Repetição 04	Nota
0					2,25
50					3,0
100					3,5
200					4,5
300					3,75

Figura 3 – Quarta folha de plantas de batata submetidas a doses de N, aos 21 dias após a emergência.

Houve efeito de dose de N sobre a avaliação visual realizada na forma de nota na QF, aos 21 DAE. O modelo para a relação entre a dose de N e a avaliação visual dada pela escala de nota é representado pela seguinte equação: $\hat{y} = 15,9587 + 0,0456161^{**}N - 0,00013943^{**}N^2$, com $R^2 = 0,82$. O índice da avaliação visual dada pela escala de nota na QF aumentou com o incremento na dose de N, atingindo o valor máximo de 4,2 na dose de 163,58 kg N ha⁻¹. Com a dose de N (186,6 kg ha⁻¹) que proporcionou a máxima produção comercial de tubérculos o valor crítico estimado para a avaliação visual foi 4,1.

3.3. Área, comprimento, largura, número de folíolos, massas da matéria fresca e matéria seca da quarta folha (QF)

Houve efeito de dose de N sobre a área (AF), o comprimento (C), o número de folíolos (N_{Fo}), a massa da matéria fresca (MF) e a massa da matéria seca (MS) da quarta folha (QF). Por outro lado, não houve efeito de dose de N sobre a largura da QF que alcançou o valor médio estimado de 13,21 cm. Isto é, a largura de folha não é uma característica que altera com a variação da dose de nitrogênio, portanto não é um índice apropriado para avaliação do estado de N na planta.

Os modelos para a relação entre a dose de N e as características da QF estão na Tabela 2. A área e a massa da matéria seca da QF aumentaram linearmente com o incremento na dose de N, atingindo o maior valor estimado de 339,5 cm² e 0,93g com a dose de 300 kg N ha⁻¹.

As variáveis, comprimento, número de folíolos e massa da matéria fresca da QF aumentaram com o incremento na dose de N, atingindo o valor

máximo estimado de 19,7 cm para o comprimento da QF na dose de 163,6 kg N ha⁻¹; 6,7 unidades de folíolos na QF na dose de 234 kg N ha⁻¹ e 5,0g de massa da matéria fresca na QF na dose de 112,8 kg N ha⁻¹.

Os valores críticos estimados associados à dose de N (186,6 kg ha⁻¹) que propiciou a máxima produção de tubérculo comercial para as características área foliar (AF), comprimento (C), largura (L), número de folíolos (NFo), massa da matéria fresca (MF) e massa da matéria seca (MS) da quarta folha (QF) aos 21 DAE estão na Tabela 2.

Tabela 2 - Equações ajustadas e nível crítico para a área foliar (AF), o comprimento (C), a largura (L), o número de folíolos (NFo), a massa da matéria fresca (MF) e a massa da matéria seca (MS) da quarta folha (QF) da batateira, aos 21 dias após a emergência (DAE) em função de doses de nitrogênio (N)

Características	Equações ajustadas	R ² /r ²	Nível Crítico
AF (cm ²)	$\hat{y} = 204,093 + 0,451335*N$	0,92	288,3
C (cm)	$\hat{y} = 15,9587 + 0,0456161**N - 0,00013943**N^2$	0,98	19,6
NFo (unidade)	$\hat{y} = 4,28278 + 0,0210172**N - 0,000044895***N^2$	0,94	6,6
MF (g)	$\hat{y} = 4,86101 + 0,002668226***N - 0,00001182*N^2$	0,93	4,9
MS (g)	$\hat{y} = 0,545662 + 0,00128464*N$	0,94	0,79
L (cm)	$\hat{y} = 13,21$	-	-

** , * e *** - significativos a 1, 5 e 10 % de probabilidade pelo teste "t", respectivamente.

3.4. Teor e conteúdo de nitrogênio

Houve efeito de dose de N sobre o teor de N orgânico e o conteúdo de N na quarta folha. Não foi verificado efeito sobre o teor de nitrato (N-NO₃⁻), que alcançou o valor médio estimado de 1,62 dag kg⁻¹.

Os modelos para a relação entre a dose de N e teores de Norgânico, Ntotal e conteúdo de N estão na Tabela 3. O teor de Norgânico e N total na QF aumentaram com o incremento na dose de N. O primeiro atingiu o valor máximo estimado de 2,73 dag kg⁻¹ com a dose de 173 kg N ha⁻¹ e o segundo atingiu o valor máximo de 4,6 dag kg⁻¹ com a dose de 131,6 kg N ha⁻¹. O conteúdo de N total na QF atingiu o maior valor estimado de 2,6 dag/folha, na dose de 300 kg N ha⁻¹.

Os valores críticos estimados para teor e conteúdo de nitrogênio da quarta folha (QF), associados à dose de N (186,6 kg ha⁻¹) que propiciou a máxima produção de tubérculo comercial aos 21 DAE, estão na Tabela 3.

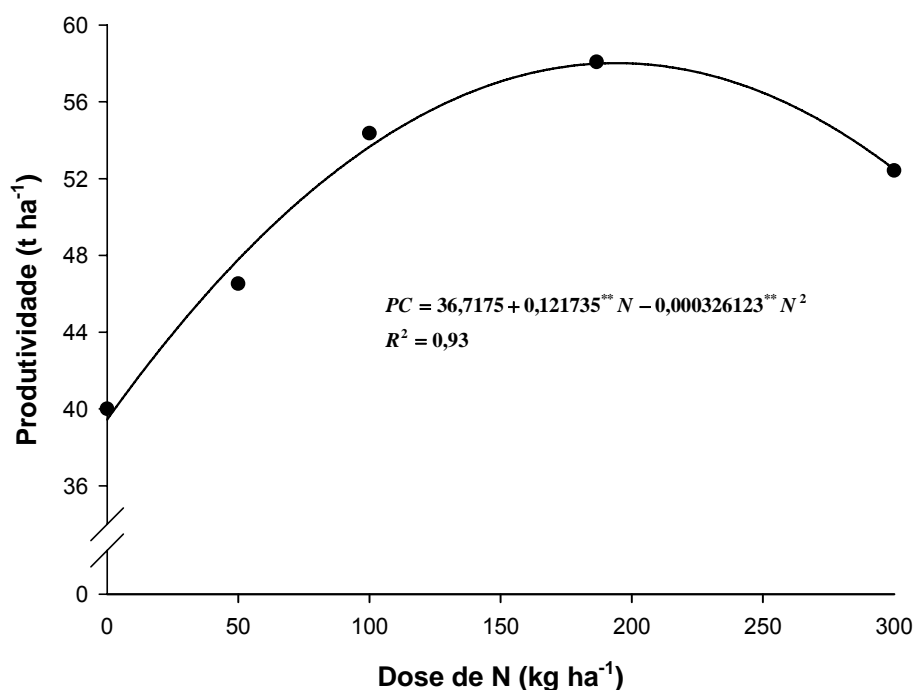
Tabela 3 - Equações ajustadas e nível crítico (NC) para o teor de Norgânico (N_{Org.}), teor de nitrato (N-NO₃⁻), teor de nitrogênio total (N_{tot}) e conteúdo de nitrogênio total (CN_{tot}) da quarta folha (QF) da batateira, aos 21 dias após a emergência (DAE) em função de doses de nitrogênio (N).

Características	Equações ajustadas	R ² /r ²	NC
N _{Org.} (dag kg ⁻¹)	$\hat{y} = 2,56579 + 0,0019693^{**}N - 0,00000569^{**}N^2$	0,97	2,7
N-NO ₃ (dag kg ⁻¹)	$\hat{y} = 1,62$	-	-
N tot (dag kg ⁻¹)	$\hat{y} = 4,4098 + 0,00275148^{**}N - 0,000010458^{*}N^2$	0,97	4,5
CN tot (dag/folha)	$\hat{y} = 2,1676 + 0,00143279^{*}N$	0,99	2,4

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

3.5. Produção comercial de tubérculos na colheita

Houve efeito da dose de N sobre a produtividade comercial de tubérculos na colheita final (Figura 3). A produção de tubérculos aumentou com o incremento na dose de N, atingindo o valor máximo estimado de 58,3 t ha⁻¹ com 186,6 kg ha⁻¹ de N.



** - significativo a 1 % de probabilidade.

Figura 4 – Relação entre os valores da produção comercial de tubérculos na colheita e doses de nitrogênio (N).

3.6. Correlações entre as características avaliadas aos 21 DAE na quarta folha e a produção comercial de tubérculos na colheita.

As estimativas dos coeficientes de correlação linear das características determinadas na QF aos 21 DAE com a produtividade de tubérculo na colheita no final do ciclo estão na Tabela 4.

Tabela 4 - Estimativas do coeficiente de correlação linear simples (r) entre cada característica avaliada na quarta folha (QF) da batateira aos 21 dias após a emergência (DAE) e a produção comercial de tubérculos na colheita.

Características da QF aos 21 DAE	Produção comercial tubérculos
SPAD (unidade SPAD)	0,85*
Análise visual – Nota	0,97**
Área (cm ²)	0,46 ^{ns}
Comprimento (cm)	0,77***
Largura (cm)	0,06 ^{ns}
Número de folíolos (unidade)	0,80*
Massa fresca (g)	0,44 ^{ns}
Massa seca (g)	0,69***
Teor Norgânico (dag kg ⁻¹)	0,82*
Teor N-NO ₃ (dag kg ⁻¹)	-0,58 ^{ns}
Teor N total (dag kg ⁻¹)	0,48 ^{ns}
Conteúdo N total (dag/folha)	0,56 ^{ns}

** , * e ***- significativos a 1, 5 e 10% de probabilidade pelo teste "t", respectivamente.

ns: não significativo

4. DISCUSSÃO

Aumento do índice SPAD na QF, com o incremento de doses de N foi obtido por Gil et al. (2002), Busato (2007), Silva et al. (2009) e Coelho et al. (2010). Aumento no índice SPAD significa aumento na intensidade da cor verde da planta e, segundo Fontes (2011), o índice SPAD mede de forma indireta o teor de clorofila, indicando o estado de N da planta. A clorofila é o pigmento envolvido na fotossíntese e, correlações positivas entre a taxa fotossintética e os teores de N da planta têm sido observadas por diversos autores. Vos e Bom (1993) também verificaram correlação positiva entre o teor da clorofila na planta e a adição do N na cultura da batata, indicando que o teor de clorofila na planta está relacionado com o estado nutricional nitrogenado..

O valor SPADE de 40,6 obtido na QF está abaixo do índice crítico SPAD encontrado por Busato (2007) de 43,02 aos 21 dias após a emergência (DAE) da batateira, para cultivar Ágata com a dose de 168,17 kg ha⁻¹, dose esta que propiciou a maior produção comercial, Gil et al. (2002) encontraram o valor SPAD de 44,9, aos 20 DAE para cultivar 'Monalisa' e Coelho (2011) encontrou o índice SPAD na quarta folha da batateira associado à máxima produção de tubérculos, aos 21 DAE de 45,4 e 46,5 ao ser utilizado o plantio na safra de inverno e águas, respectivamente.

A análise visual da quarta folha utilizando a fotografia e escala de nota, constitui um método visual e subjetivo de avaliação, o que pode contribuir para o diagnóstico. O diagnóstico nutricional das plantas exige postura investigativa, baseada na observação da planta (Fontes, 2011). A

recomendação da adubação nitrogenada baseada em características indicadoras da aparência do tomateiro foi estudada Fontes e Araújo (2007). Estes autores realizaram observações visuais da “aparência” da planta, considerando principalmente cor e número de folhas, diâmetro do caule e altura da planta.

Adicionalmente, apesar de laborioso, o método fotogramétrico, via fotografia digital de toda a planta e não somente da folha, pode ser usado para estimar o índice de área foliar. Mas, o índice de área foliar da batata pode ser mais rapidamente estimado de forma indireta por um interceptômetro, instrumento ótico denominado ceptometro, que se baseia na relação exponencial negativa entre a radiação solar interceptada e o índice de área foliar (DE LA CASA et al., 2007).

Assim como observado por Alonso (1996) e Vos e Puttem (1998), que obtiveram aumento da área foliar com o incremento de N, há efeito positivo de adequadas doses de N sobre o aumento da área foliar da batateira. Nesse trabalho, o fornecimento das maiores doses de N não acarretou aumento de produtividade, apesar de ter resultado em maior área foliar. Vos e Puttem (1998) verificaram em experimento que a dose de 100 mg dm^{-3} de N proporcionou aumento de área foliar três vezes maior do que quando utilizou $12,5 \text{ mg dm}^{-3}$, mostrando que a expansão da área foliar é muito sensível ao efeito do N.

Houve aumento linear da massa da matéria seca da QF com o incremento da dose de N. Gil (2001) também encontrou efeito linear da

aplicação de N em pré-plantio sobre o aumento da massa da matéria seca de folha na cultivar de batata Monalisa.

O teor de Ntotal de 4,6 dag kg⁻¹ na QF aos 21 DAE está dentro da faixa de concentração de N total de 4 a 6 dag kg⁻¹ na matéria seca de folhas novas completamente desenvolvidas de plantas jovens citadas, como suficientes para a batata (Mills & Jones Jr., 1996).

A produtividade comercial máxima estimada de tubérculos obtida na colheita foi de 58,3 t ha⁻¹ na dose de 186,6 kg ha⁻¹ de N. Coelho et al. (2010) utilizando cultivar Ágata, obtiveram produtividade comercial de 45 t ha⁻¹ com a dose de 297 kg de N ha⁻¹, já Mahmoodabad et al. (2011) verificaram aumento de produtividade em função de doses de N, atingindo a produtividade de tubérculos de 31,7 t ha⁻¹ com a dose de 160 kg ha⁻¹ de N, enquanto que Bélanger et al. (2000) observaram que para a máxima produção comercial, a melhor dose de N variou entre 151 e 250 kg ha⁻¹ de N.

Correlação das características avaliadas na QF aos 21 DAE com a produção comercial de tubérculos na colheita permite estabelecer índices para o prognóstico da produtividade de batata. Entre as características avaliadas na quarta folha, aos 21 DAE a avaliação visual pela escala de notas, índice SPAD, teor de Norgânico e número de folíolos apresentaram maiores coeficiente de correlação linear com produção tubérculos na colheita. Gil et al. (2002) e Coelho et al. (2010) observaram que os valores SPAD na QF correlacionaram com a produção de tubérculos. Aumento da intensidade da cor verde da planta com o incremento da dose de N possibilita aumento na produção (Busato, 2007; Silva et al., 2009; Coelho et al., 2010; Singh et al., 2011).

5. CONCLUSÕES

- Os índices de intensidade do verde (determinada pelo índice SPAD), análise visual (nota), índices morfofisiológicos da planta (área foliar, comprimento, número de folíolos, massas da matéria fresca e matéria seca) e teor de nitrogênio N na matéria seca da quarta folha além da produção de tubérculos, são influenciados por dose de N;

- A dose para a máxima produção comercial de tubérculos ($58,3 \text{ t ha}^{-1}$) é $186,6 \text{ kg ha}^{-1}$ de nitrogênio;

- A quarta folha da batateira adequadamente nutrida de nitrogênio deve apresentar aos 21 DAE as seguintes características: 40,6 de índice SPAD; 4,1 de nota visual; 288 cm^2 de área; 19,6 cm de comprimento; 13,2 cm de largura; 6,6 folíolos; 4,9 g de massa fresca; 0,79 g de massa seca; $2,7 \text{ dag kg}^{-1}$ de Norgânico (reagente de Nessler) e $4,5 \text{ dag kg}^{-1}$ de Ntotal na matéria seca.

- O índice mais indicado para o prognóstico da produtividade de tubérculos é a análise visual medida por nota, seguida pelo índice SPAD, teor de N orgânico e número de folíolos.

CAPÍTULO 3

ÍNDICES ESPECTRAIS PARA CARACTERIZAR O ESTADO DE NITROGÊNIO DA BATATA SUBMETIDA A DIFERENTES FONTES E DOSES DE NITROGÊNIO

RESUMO. O objetivo do trabalho foi avaliar índices espectrais do dossel de plantas (IE) obtidos em comprimentos de onda compreendidos entre as regiões do visível até o infravermelho próximo (NIR), para caracterizar o comportamento da batateira submetida a diferentes doses e fontes de nitrogênio além de selecionar IE mais apropriados para estimar a intensidade do verde, teor de nitrogênio e área da quarta folha e para prognosticar a produtividade comercial de tubérculos. O experimento foi conduzido na Universidade Federal de Viçosa, durante o período de julho a setembro de 2010. Os tratamentos foram constituídos da combinação de três fontes de nitrogênio (nitrato de amônio, uréia e sulfato de amônio) e cinco doses de nitrogênio (0, 50, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ de N), aplicadas em pré-plantio. O delineamento do experimento foi em blocos ao acaso, com quatro repetições. Aos 21 dias após a emergência das plantas (DAE), época apropriada para decidir sobre a aplicação de nitrogênio na cultura da batata, foram determinados 29 índices espectrais. Esses índices foram obtidos em comprimentos de onda compreendidos entre as regiões do visível ao

infravermelho próximo (NIR) com a resolução espectral de 0,34 nm. As medidas de refletância do dossel foram realizadas por um sistema “dual fiber”, com dois espectrorradiômetros. Aos 21 DAE também foram determinados os valores das variáveis SPAD, teor de N e área da quarta folha além da produção de tubérculos no final do ciclo da cultura. Os valores dos índices hiperespetrais foram influenciados por dose de N. Com as três fontes de N, os índices NPCI (430, 680 nm), MCARI (705, 750 nm) e NVID1 (715, 726, 734, 747 nm) figuraram como os de maior grau de ajustamento entre os valores observados da refletância do dossel e doses de nitrogênio. Independente da fonte de N, os índices MCARI (705, 750) e NVID1 aumentaram com o incremento das doses e o inverso ocorreu com o índice NPCI. Também, com as três fontes de N houve correlação significativa entre os valores daqueles índices com os valores das variáveis SPAD, área foliar e teor de N na matéria seca da quarta folha e produtividade comercial de tubérculos, porém com menores valores do coeficiente de correlação. NPCI, MCARI (705, 750) e NDVI8 são índices correlacionados com a produção de tubérculos comerciais de batata. O valor considerado crítico ou apropriado do índice NPCI variou de 0,28 a 0,29 e do índice MCARI (705, 750) variou de 127,0 a 128,0 e servem de referencial para AENP e determinar a necessidade de aplicar N em cobertura na cultura.

1. INTRODUÇÃO

A produção anual de batata (*Solanum tuberosum* L.) no Brasil, foi estimada em 2012 em torno de 3.511.892 t em 130.402 ha, atingindo a produtividade média de 26,93 t ha⁻¹ (Agriannual, 2013). Altas produtividade e qualidade de tubérculo são dependentes de diversos fatores dentre os quais adequado suprimento de nitrogênio (N). Tanto a falta quanto o excesso de N são prejudiciais à cultura e ao meio ambiente, principalmente pelo aumento do risco de lixiviação do excesso de nitrato (NO₃⁻ - N) no perfil do solo. Assim, adequado manejo de N é desejável na cultura da batata.

O fertilizante nitrogenado é aplicado na cultura da batata em taxa uniforme na gleba não considerando a variação espacial e temporal do N disponível para planta, resultado da variabilidade e da interação das características do solo, meio ambiente e manejo da cultura. Devido à variabilidade temporal e espacial da oferta de N do solo, estratégias baseadas em detectar o estado de N na planta e decidir em tempo real sobre o manejo do fertilizante nitrogenado de acordo com o local, embora com resultados econômicos ainda incertos em todas as situações, parece ser uma estratégia útil e que está em acentuada evolução (Fontes, 2011).

Para o manejo do programa de adubação nitrogenada de acordo com o local e a necessidade da cultura é necessário avaliar o estado de nitrogênio da planta (AENP) através de índices apropriadamente calibrados (Fontes, 2001; Fontes & Araújo, 2007). O método mais comumente difundido de AENP é pela análise química do teor de N na matéria seca de determinada folha, comumente em batata a quarta folha a partir do ápice.

Tal determinação é onerosa e necessita de pessoa qualificada em laboratório e não pode ser realizada em tempo real. Porém, em consonância com a agricultura de precisão ou da prescrição e aplicação simultâneas do N, a AENP precisa ser realizada por procedimento rápido, prático, eficaz e possível de ser realizado no campo em tempo real (Fontes, 2011).

Normalmente, o estado de N da planta está correlacionado com o teor de clorofila das folhas sendo esse mais factível de ser determinado. Com essa premissa, estudos têm sido publicados utilizando-se a análise da intensidade do verde ou do teor de clorofila de folha para AENP da planta em tempo real (Haboudane et al., 2008). A cor verde da folha é devida, principalmente, às moléculas de clorofila a (verde-azulada) e b (verde-amarelada). O teor de clorofila da folha dita a absorbância e a refletância da luz incidente na planta, propriedades fundamentais dos métodos de AENP em tempo real. Plantas deficientes em nitrogênio refletem a luz de modo diferente do que as não deficientes sendo a magnitude do fenômeno dependente da região do espectro. Essa possibilidade tem sido explorada para a caracterização do estado de nitrogênio da planta e decidir sobre o manejo do nutriente em cobertura (Scharf & Lory, 2009).

Avaliar a intensidade da cor verde da folha, representada pelo teor de clorofila, surgiu como uma alternativa prática para AENP, em tempo real, com o desenvolvimento de medidor portátil (Yadava, 1986) ou clorofilômetro. Posteriormente, diversos trabalhos têm sido publicados utilizando o clorofilômetro portátil, principalmente o SPAD 502, na AENP das plantas (Prost e Jeuffroy, 2007), inclusive batata (Minotti et al., 1994; Gil et al., 2002; Zebarth et al., 2003; Silva et al., 2009; Busato et al., 2010; Coelho et al.,

2010). A medição com o clorofilômetro SPAD é realizada na folha, em contato, sendo difícil de ser operacionalizada em extensas áreas de plantio (Miao et al., 2009) ou quando a AENP está acoplada em operações simultâneas com a prescrição e aplicação da dose de nitrogênio (Fontes, 2011). Em pequenas áreas é possível AENP por sensoriamento de contato, mas em áreas extensas o sensoriamento remoto é mais apropriado.

Entende-se por AENP por sensoriamento remoto a obtenção de informação sobre o estado de N da planta pela análise de dados obtidos por algum equipamento que não está em contato direto com a planta. Tanto sensores passivos quanto ativos podem ser usados na coleta da radiação refletida do dossel da planta (Fontes, 2011). Didaticamente e para especificidade e clareza, esse autor classificou o sensoriamento remoto em orbital (quando o sensor estiver montado em satélite); suborbital (sensor em aviões, balões infláveis), proximal ou terrestre (sensor em tripé, trator). As técnicas de sensoriamento remoto do dossel da planta podem ser mais adequadas para AENP em áreas extensas ou de maneira não estática e têm recebido grande atenção atualmente.

Via sensoriamento remoto a avaliação é feita pela refletância da energia na planta que depende de diversos fatores principalmente das características físicas, morfológicas e biológicas das folhas e dos caules, peculiaridades do sensor, das condições de energia radiante vigente e da região espectral avaliada. O uso da tecnologia de sensoriamento remoto para estimar o estado de N nas culturas baseia-se na obtenção e interpretação de imagens da refletância diferencial da energia luminosa na

planta em razão de diferentes tonalidades do verde. Do lado da planta, a refletância da energia depende dos pigmentos existentes na folha, principalmente as clorofilas. Essas são lipofílicas, ocorrem na forma de complexo clorofila-proteína nas membranas dos tilacóides e no visível (400-700 nm) absorvem principalmente em dois comprimentos de ondas, azul (450 nm) e vermelho (660 nm) e refletem mais na região do verde (550 nm). Além destas, há aumento da refletância na faixa 700-720 nm, red-edge (Zhao et al., 2003).

Devidamente processadas, as medições da refletância da luz nas regiões do espectro permitem estimar a intensidade de verde presente na folha. Essa intensidade tem sido correlacionada com teor e conteúdo de clorofila e parâmetros biométricos como área de folhas, massa e altura da planta, entre outras variáveis. Normalmente, nos comprimentos de ondas do visível e infravermelho há correlação significativa entre a refletância/absorbância da luz e o teor de clorofila nas folhas (Thomas & Gausman, 1977; Blackmer et al. 1994; Fillela et al., 1995). Sabe-se que a diminuição da concentração dos pigmentos clorofilados, ocasionada pela carência em N, interfere na refletância espectral na região do espectro visível.

O uso de medidas de refletância como indicador do estado de N da planta ainda está em fase inicial em relação a outros métodos de diagnose nutricional. O sensoriamento remoto por refletância requer a escolha de uma ou mais bandas de resposta. Isto é, qual o comprimento de onda, único ou em combinação, propicia a mais apropriada avaliação do estado de nitrogênio da planta em determinada situação. O padrão é comparar a

refletância no verde ou no vermelho ou no infravermelho próximo (Heege et al., 2008). Porém, a relação entre os valores de refletâncias em duas bandas espectrais pode ser mais apropriada, por exemplo, R_{800}/R_{670} ; R_{800}/R_{550} ; $(R_{800}-R_{670})/R_{800} + R_{670}$. Dependendo das observações obtidas na combinação de diferentes comprimentos de ondas, índices envolvendo razão, subtração, soma, multiplicação e relações espectrais têm sido avaliados (Fontes, 2011).

Com a possibilidade de geração de dados de forma remota, possível de ser realizada em grandes áreas, tem sido possível conjecturar a utilização de imagens multiespectrais para AENP. Mas, imagens multiespectrais possuem bandas espectrais largas e descontínuas, apresentando limitações para análises mais acurada. Dados hiperespectrais têm o potencial de detectar maior variação na vegetação do que dados multiespectrais porque utilizam canais espectrais mais estreitos para a obtenção de medidas radiométricas (Thenkabail et al., 2000). Tem sido vislumbrada a possibilidade de AENP com o sensoriamento remoto hiperespectral com bandas espectrais estreitas (<10 nm) ao longo de uma faixa continua (Vigneau et al., 2011). Esse enfoque está em estágio incipiente e desafiador necessitando melhor aperfeiçoamento do procedimento.

As imagens coletadas por sensoriamento remoto hiperespectral têm dezena a centena de faixas espectrais estreitas e contínuas e propiciam imensa quantidade de dados. O grande volume de dados gerados necessita ser apropriadamente processado e analisado para ser mais amplamente utilizado, pois oferecem oportunidades interessantes e potenciais para avaliar o estado nutricional da planta (Fontes, 2011). Mas,

extrair informações úteis do sensoriamento remoto hiperespectral é tarefa árdua e mais complexa do que o sensoriamento remoto multiespectral (Diacono & Montemurro, 2013).

O grande número de dados contínuos torna a análise complexa e demorada sendo necessário simplificar pela seleção de limitado e apropriado conjunto de faixas para discriminar a variação do estresse nitrogenado. Os dados espectrais são transformados em índice espectral que é o resultado de operações matemáticas entre valores numéricos de pixels das bandas de uma imagem. Quase sempre, um índice espectral é referenciado como índice de vegetação que é uma função matemática que combina duas ou mais bandas refletidas da planta cuja combinação busca medir a intensidade do verde da planta.

Um dos mais comuns índices de vegetação para a análise do verde da planta por sensoriamento remoto é o NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada). A estimativa deste é baseada em medições nas bandas amplas no vermelho, absorção de energia, e infravermelho próximo, refletância e transmitância. Outro índice de vegetação é o GNDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada no Verde) que é estimado da mesma forma do que o anterior exceto que a banda do vermelho é substituída pela banda de luz no verde. No estabelecimento de índices para AENP procura-se aquele que mais bem reflita o estado nutricional nitrogenado das espécies, como arroz (Ryu et al., 2009; Bajwa et al., 2010), milho (Bausch e Khosla, 2010), trigo (Feng et al., 2008; Li et al., 2010) e batata (Jain et al., 2007; Cohen et al., 2010).

Índices espectrais de vegetação foram originalmente idealizados a partir da forma característica da resposta espectral da vegetação verde, combinando a baixa refletância nos comprimentos de onda do visível com a alta refletância nos comprimentos de onda do infravermelho próximo do espectro eletromagnético com o objetivo de melhorar a relação desses dados com os parâmetros biofísicos da vegetação (Daughtry et al., 2000). Porém, a absorção pela clorofila é possivelmente confundida por outros pigmentos vegetais (Hatfield et al., 2008), que podem afetar a precisão da estimativa do N pelo sensoriamento remoto. Além disso, o teor de clorofila na planta também é afetado por outros estresses que não a deficiência de N, tais como água, doença e outras deficiências ou excessos nutricionais. Posteriormente, inúmeros outros índices têm sido propostos com base na combinação entre bandas espectrais e calculadas no interesse de representar ou destacar a variável desejada e minimizar os efeitos de fatores externos ambientais não desejáveis. Devido aos fatores que influenciam as características espectrais da energia e intrínsecas da folha e do dossel, vários índices de refletância têm sido propostos para avaliar o estado de nitrogênio na planta que, provavelmente, sejam específicos para cada campo/espécie. Ademais, o estágio de crescimento da cultura tem marcada influência do desempenho de diferentes índices de refletância e na seleção do comprimento de onda sensível à variação do teor de nitrogênio na planta (Li et al., 2010). Os diversos índices existentes ou os novos propostos necessitam ser validados na tentativa de caracterizar a variabilidade do teor de N na planta (Zebarth & Rosen 2007) ou outra desejada característica.

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar índices espectrais do dossel da batateira em resposta a doses e fonte de nitrogênio; selecionar os índices mais apropriados para estimar o estado de nitrogênio da planta e determinar o nível crítico dos índices selecionados.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os detalhes experimentais são os mesmos do Capítulo 1, exceto os listados a seguir.

2.1. Avaliações

Aos 21 dias após a emergência das plantas (DAE), época apropriada para decidir sobre a aplicação de nitrogênio em cobertura na cultura da batata foi estimados os valores de 29 índices de vegetação espectrais. No presente experimento foram realizadas leituras nos comprimentos de onda compreendidos entre 400 e 900 nm (NIR- near infrared) com a resolução espectral de 0,34 nm. Há centenas de outros índices espectrais possíveis de serem construídos com base na medição da refletância da planta em diferentes bandas espectrais, variando da região do violeta (350nm) até a banda SWIR (1000 – 3000 nm), passando pelas bandas do verde (520-565 nm), vermelho (625-700 nm), red-edge (705-745 nm) e NIR (740- 1000nm). As medidas de refletância do dossel da batateira foram realizadas nas plantas, por parcela, de 11:00 às 13:00 horas para minimizar as possíveis mudanças da geometria de iluminação (ângulo zenital solar e ângulo azimutal solar). Para as medições foi utilizado um sistema “dual fiber”, com dois espectrorradiômetros, modelos SD2000 (OCEAN OPTICS, USA), seguindo-se procedimento utilizado por Abrahão et al. (2009). O primeiro espectrorradiômetro estava equipado com fibra ótica e possuía campo de visão de 25° ficando apontado verticalmente para baixo, para medir a radiância do dossel. O segundo espectrorradiômetro, equipado com fibra ótica e um receptor com correção de cosseno (sensor que não mostra

dependência no ângulo zênite ou azimute da radiação incidente) foi apontado verticalmente para cima medindo a radiação do sol, simultaneamente ao primeiro sensor.

Os espectrorradiômetros foram instalados em um tripé, a altura de 3m do solo, possibilitando assim amostrar a área de 1,4 m de diâmetro, aproximadamente. A posição da altura do espectrorradiômetro sobre o dossel de batata foi mantida constante. Os espectrorradiômetros foram calibrados antes da medida do dossel da batateira em cada parcela e a cada 20 minutos. O tempo de integração dos espectrorradiômetros foi automaticamente modificado de acordo com as condições de iluminação, de forma que ambos os canais sempre estavam distribuindo quantia suficiente de luz para preencher a matriz do CCD (sensor) entre 75 e 95%. As medidas de radiância do dossel da planta e irradiância do sol foram intercaladas com as medidas de radiância de um painel padrão de refletância branco, cujo espectro de refletância é conhecido (Figura 1). O painel utilizado foi o Spectralon (Labsphere, USA).

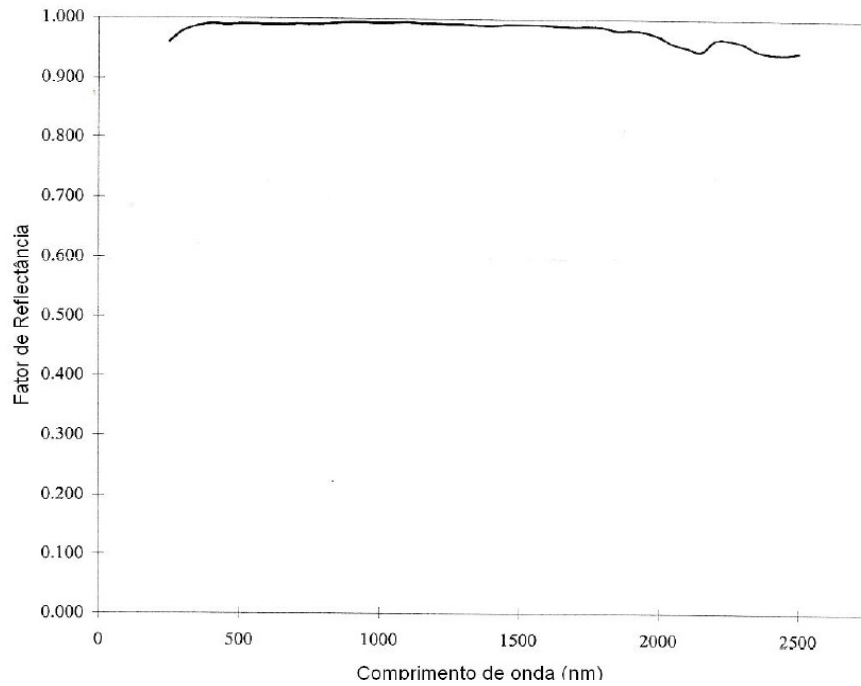


Figura 1 - Espectro do fator de refletância do painel padrão de refletância branco Spectron.

Com os dados gerados pelos espectrorradiômetros foram realizados os cálculos da refletância do dossel (alvo) ou refletância bidirecional (FBR), para cada comprimento de onda (λ) variável entre sim 0,3 nm, nas plantas de cada parcela. Para tal, a metodologia proposta por Gitelson et al. (2005), que permite obter a estimativa numérica da refletância do dossel das plantas das parcelas, foi usada, via fórmula a seguir:

$$p\lambda = (L_{\lambda}^{batata} / E_{\lambda}^{inc.} * E_{\lambda}^{cal.} / L_{\lambda}^{cal.}) * 100p_{\lambda}^{cal}$$

Onde:

$p\lambda$: Refletância do dossel no comprimento de onda λ , em %;

$p_{\lambda}^{cal.}$: Fator de refletância do painel, adimensional;

L_{λ}^{batata} : Radiância do dossel de batata, em $W\ m^{-2}\ sr^{-1}$;

$L_{\lambda}^{cal.}$: Radiância do painel, em $W\ m^{-2}\ sr^{-1}$;

$E_{\lambda}^{inc.}$: Irradiância do dossel de batata, em $W\ m^{-2}\ sr^{-1}$;

$E_{\lambda}^{cal.}$: Irradiância do painel, em $W\ m^{-2}\ sr^{-1}$.

O fator de refletância do painel é introduzido na Equação 1 para corrigir a radiância do mesmo, uma vez que essa medida deveria ser realizada em superfícies refletoras perfeitamente difusas. Cada valor da refletância utilizada para o cálculo do índice hiperespectral originou-se da média dos três valores circunvizinhos a este, medidos pelos espectrorradiômetros.

O termo refletância bidirecional (FBR) é apropriado, pois o valor medido de refletância dependerá dos ângulos de posição do sensor e da fonte em relação à amostra.

Os valores médios da estimativa da refletância foram aplicados na equação de cada índice de vegetação hiperespectrais, em seus respectivos comprimentos de ondas a serem testados para cada tratamento. No presente experimento foram avaliados 28 índices, relacionados a pigmentação da vegetação (Tabela 1), propostos por diversos autores para estimativas do N ou da clorofila na planta.

2.2. Análise estatística

Para cada fonte de nitrogênio, os valores dos 29 índices espectrais avaliados no dossel da batateira (refletância bidirecional) em função de dose de

nitrogênio foram submetidos às análises de variância e de regressão linear com a utilização do software estatístico SAEG 9.1 (SAEG, 2007).

Em seguida, foram selecionados cinco índices espectrais determinados no dossel da batateira. Esses índices foram selecionados para cada fonte, com base na significância do coeficiente de determinação (r^2) da relação linear entre os valores de dose de nitrogênio e refletância bidirecional dos índices espectrais no dossel da batateira.

Posteriormente, para as três fontes de N, foram estimados os coeficientes de correlação linear (r) entre cada um daqueles cinco índices da planta previamente selecionados com as variáveis determinadas na quarta folha e na colheita (índice SPAD, área, teor de nitrogênio e produtividade comercial de tubérculos, cujos valores foram apresentados no Capítulo 1). Entre os cinco índices de refletância bidirecional selecionados para cada fonte de N (Tabela 4), foram destacados aqueles (Tabela 5) cujo o grau de relação linear com as variáveis SPAD, área foliar (AF), N_{total} e produção comercial de tubérculos (PC) apresentaram valores de r maiores que 0,79 para SPAD; 0,63 para AF; 0,58 para N_{total} e 0,40 para PC. Cada um destes valores foi o valor médio das três fontes de nitrogênio.

2.3. Estabelecimento do valor crítico de cada índice selecionado

O cálculo do nível crítico (NC) de cada um dos cinco índices espectrais selecionados para cada fonte foi realizado seguindo-se metodologia mostrada em Fontes (2001) utilizando-se a dose de 185,25 kg ha^{-1} de N, média das fontes, que proporcionou a máxima produção comercial de tubérculos (Capítulo 1).

Tabela 1 – Índices de vegetação hiperespectrais avaliados, equações para a estimativa do valor dos índices e as respectivas referências bibliográficas.

Índices de Vegetação	Equação	Referência
Razão simples (RS)		
Green index (G)	$R554/R677$	Smith et al. (1995)
Pigment specific simple ratio a (PSSRa)	$R800/R680$	Blackburn (1998)
Pigment specific simple ratio b (PSSRb)	$R800/R635$	Blackburn (1998)
Pigment specific simple ratio c (PSSRc)	$R800/R470$	Blackburn (1998)
Simple ratio pigment index (SRPI)	$R430/R680$	Peñuelas et al. (1994)
Índices de diferença (ID) e de diferença normalizada (IND)		
Difference index 1 (DI1)	$R800-R550$	Buschman e Nagel (1993)
Difference vegetation index (DVI)	$R800-R680$	Jordan (1969)
Red-edge model index (R-M)	$(R750/R720)-1$	Gitelson et al. (2005)
Green model (G-M)	$(R750/R550)-1$	Gitelson et al. (2005)
Green normal difference vegetation index (GNDVI)	$(R801-R550)/(R800+R550)$	Daughtry et al. (2000)
Normalized pigments chlorophyll ratio index (NPCl)	$(R680-R430)/(R680+R430)$	Peñuelas et al. (1994)
Normalized difference vegetation index 1 (NDVI1)	$(R734-R747)/(R715+R726)$	Vogelmann et al. (1993)
Normalized difference vegetation index 2 (NDVI2)	$(R800-R700)/(R800+R700)$	Gitelson e Merzlyak (1994)
Normalized difference vegetation index 3 (NDVI3)	$(R780-R550)/(R780+R550)$	Gitelson et al. (1996)
Normalized difference vegetation index 4 (NDVI4)	$(R800-R600)/(R800+R600)$	Ma et al. (1996)
Normalized difference vegetation index 5 (NDVI5)	$(R900-R680)/(R900+R680)$	Serrano et al. (2000)
Normalized difference vegetation index 6 (NDVI6)	$(R760-R708)/(R760+R708)$	Steddom et al. (2003)
Normalized difference vegetation index 7 (NDVI7)	$(R573-R440)/(R573+R440)$	Hansen e Schjoerring (2003)
Normalized difference vegetation index 8 (NDVI8)	$(R503-R483)/(R503+R483)$	Stroppiana et al. (2009)
Índices integrados		
Red edge inflation point (REIP)	$700+40*\{[(R670+R780)/2]-R700\}/(R740-R700)$	Guyot et al. (1988)
Transformed vegetation index (TVI)	$0.5*[120*(R750-R550)-200*(R670-R550)]$	Broge & Leblanc (2000)
Modified chl. absorption reflectance index (MCARI)	$[(R700-R670)-0,2*(R700-R550)]/(R700/R670)$	Daughtry et al. (2000)
Transformed CARI (TCARI)	$3*[(R700-R670)-0,2*(R700-R550)]/(R700/R670)]$	Haboudane et al. (2002)
Optimal soil adjusted vegetation index (OSAVI)	$(1+0,16)(R800-R670)/(R800+R670+0,16)$	Rondeaux et al. (1996)
MCARI (705, 750)	$[(R750-R705)-0,2*(R750-R550)]/(R750/R705)$	Wu et al. (2008)
TCARI (705, 750)	$3*[(R750-R705)-0,2*(R750-$	Wu et al. (2008)

OSAVI (705, 750)	R550)/(R750/R705)] (1+0.16)(R750- R705)/(R750+R705+0,16)	Wu et al. (2008)
MCARI/OSAVI (705, 750)	MCARI/OSAVI	Wu et al. (2008)
TCARI/OSAVI (705, 750)	TCARI/OSAVI	Wu et al. (2008)

3. RESULTADOS

As curvas de refletância do dossel da batateira, no intervalo entre 400 a 900 nm, aos 21 DAE, para cada dose e fonte de N estão nas Figuras 2 (nitrito de amônio), 3 (sulfato de amônio) e 4 (uréia).

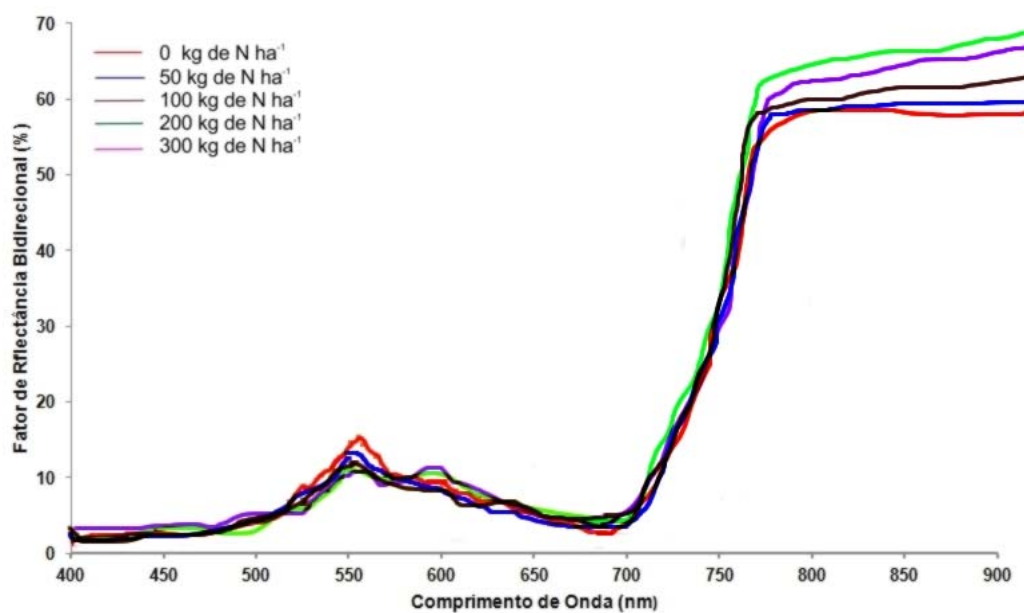


Figura 2 – Fator de refletância bidirecional do dossel da batateira, em função do comprimento de onda (nm) para respectivas doses de N ao utilizar o nitrito de amônio.

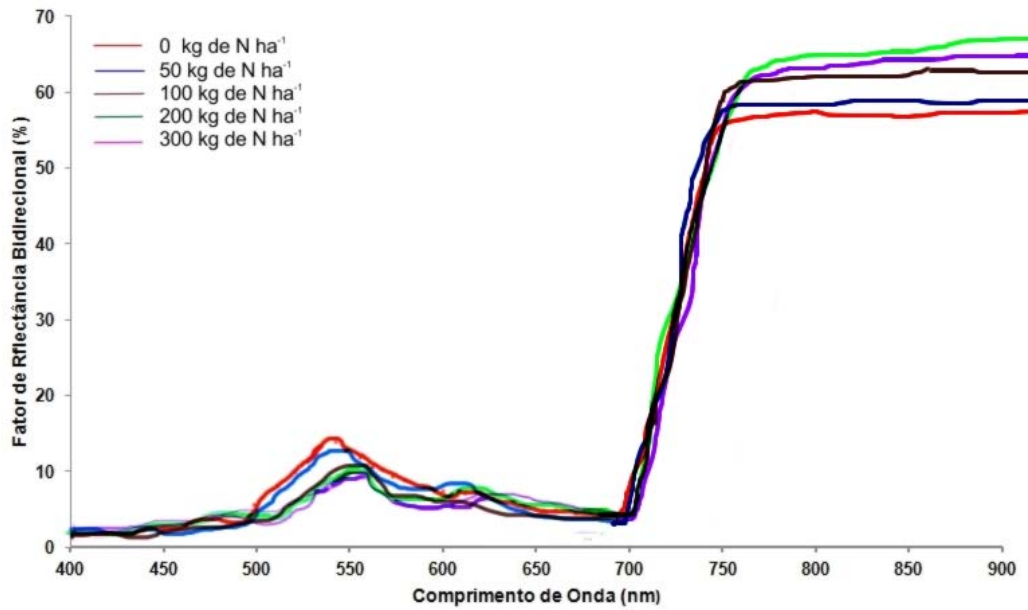


Figura 3 – Fator de refletância bidirecional do dossel da batateira, em função do comprimento de onda (nm) para as respectivas doses de N ao utilizar o sulfato de amônio.

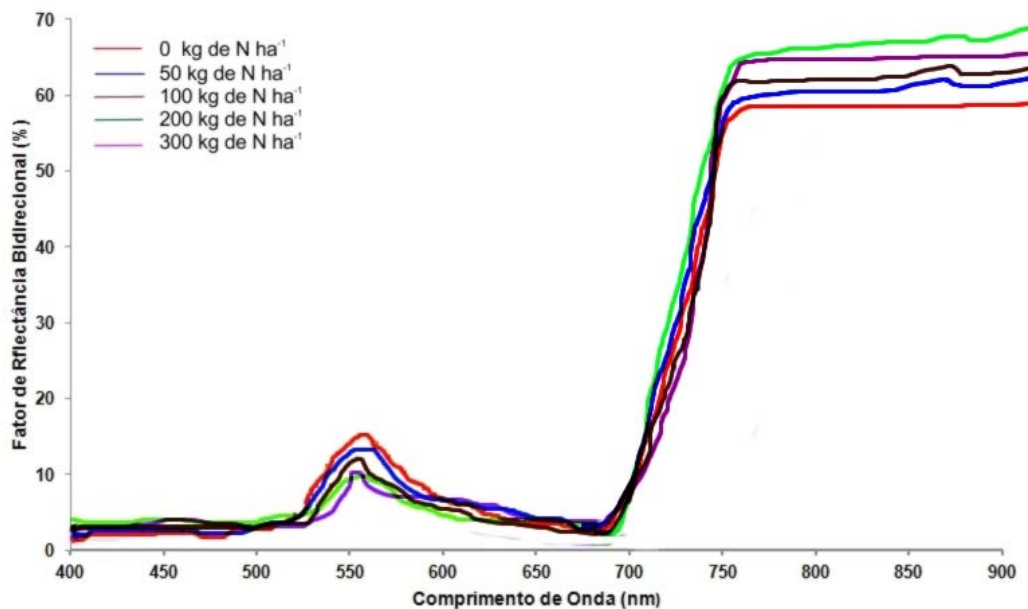


Figura 4 – Fator de refletância bidirecional do dossel da batateira, em função do comprimento de onda (nm) para as respectivas doses de N ao utilizar a uréia.

Houve efeito de dose de N sobre todos os índices espectrais avaliados no dossel da batateira ao ser utilizado o nitrato de amônio. O mesmo aconteceu com a utilização do sulfato de amônio e a uréia, exceto para o índice DVI. O coeficiente de determinação (r^2) obtido para a relação entre os valores das doses de N e refletâncias do dossel da batateira, para todos os índices avaliados e para as três fontes nitrato de amônio, sulfato de amônio e uréia, estão na Tabela 2.

Tabela 2 - Coeficiente de determinação (r^2) da relação linear entre os valores de dose de nitrogênio e da refletância bidirecional dos índices espectrais estudados no dossel da batateira para cada fonte, nitrato de amônio, sulfato de amônio e ureia.

Índices	Fonte de nitrogênio		
	Nitrato de amônio	Sulfato de amônio	Uréia
Green index (G)	0,68	0,53	0,67
Pigment specific simple ratio a (PSSRa)	0,43	0,48	0,51
Pigment specific simple ratio b (PSSRb)	0,67	0,68	0,73
Pigment specific simple ratio c (PSSRc)	0,74	0,71	0,75
Simple ratio pigment index (SRPI)	0,79	0,73	0,73
Difference index 1 (DI1)	0,80	0,73	0,78
Difference vegetation index (DVI)	0,46	ns	ns
Green model (G-M)	0,72	0,70	0,65
Green normalized difference vegetation index (GNDVI)	0,69	0,74	0,76
Normalized difference vegetation index 1 (NDVI1)	0,80	0,87	0,79
Normalized difference vegetation index 2 (NDVI2)	0,77	0,81	0,86
Normalized difference vegetation index 3 (NDVI3)	0,72	0,37	0,58
Normalized difference vegetation index 4 (NDVI4)	0,42	0,40	0,54
Normalized difference vegetation index 5 (NDVI5)	0,48	0,24	0,71
Normalized difference vegetation index 6 (NDVI6)	0,48	0,53	0,16
Normalized difference vegetation index 7 (NDVI7)	0,72	0,28	0,57
Normalized difference vegetation index 8 (NDVI8)	0,83	0,05	0,82
Normalized pigments chlorophyll ratio index (NPCI)	0,93	0,88	0,91
Red-edge model index (R-M)	0,81	0,81	0,65
MCARI (705, 750)	0,86	0,79	0,80
MCARI/OSAVI (705, 750)	0,34	0,37	0,21
Modified chl. absorption reflectance index (MCARI)	0,28	0,23	0,27
Optimal soil adjusted vegetation index (OSAVI)	0,11	0,31	0,09
OSAVI (705, 750)	0,51	0,40	0,47
Red edge inflation point (REIP)	0,58	0,36	0,70
TCARI (705, 750)	0,82	0,75	0,68
TCARI/OSAVI (705, 750)	0,51	0,41	0,47
Transformed CARI (TCARI)	0,24	0,23	0,27
Transformed vegetation index (TVI)	0,70	0,55	0,61

Os cinco índices selecionados para cada fonte, o modelo linear ajustado caracterizando o efeito da dose de N e valor crítico de cada índice para as fontes nitrato de amônio, sulfato de amônio e uréia estão na Tabela 3.

Ao ser utilizado o nitrato de amônio, os cinco índices selecionados foram NPCI, MCARI (705, 750), NDVI 8, R-M e NDVI 1(Tabela 4). Ao ser utilizado o sulfato de amônio, os índices selecionados foram NPCI, NDVI1, R-M, NDVI2 e MCARI (705, 750). Ao utilizar a uréia, os índices selecionados foram NPCI, NDVI2, NDVI8, MCARI (705, 750) e NDVI1 (Tabela 3).

Com as três fontes de N, os índices NPCI e MCARI (705, 750) e NDVI1 figuraram como os de maior coeficiente de determinação, ou seja, com maior grau de ajustamento entre os valores observados da refletância espectral no dossel da batateira e doses de nitrogênio. Independente da fonte de N, os valores observados da refletância espectral do índice MCARI (705, 750) e NDVI1 aumentaram com o incremento das doses de N sendo que o inverso ocorreu com o índice NPCI que diminuíram com o incremento das doses de N.

Tabela 3 – Relação linear entre os valores de dose de nitrogênio (N) e da refletância bidirecional (Y), valores de r^2 em ordem decrescente e do nível crítico (NC) dos cinco índices selecionados para cada fonte de N (nitrato de amônio, sulfato de amônio e ureia).

Índices	Equações ajustadas	r^2	NC
-----Nitrato de amônio-----			
NPCI - Nor. pigments chl. ratio index	$\hat{y} = 0,3365 - 0,0002675^{**}N$	0,93	0,28
MCARI (705, 750)	$\hat{y} = 124,317 + 0,014163^{**}N$	0,86	127,0
NDVI8 - Nor difference veg. index 8	$\hat{y} = 0,01925 + 0,000107^{**}N$	0,83	0,039
Red-edge model index (R-M)	$\hat{y} = 0,7935 + 0,0001543^{**}N$	0,81	0,82
NDVI1 - Nor difference veg. index 1	$\hat{y} = 0,113 + 0,000230^{**}N$	0,80	0,16
-----Sulfato de amônio-----			
NPCI - Nor. pigments chl. ratio index	$\hat{y} = 0,3510 - 0,0003225^{**}n$	0,88	0,29
NDVI1 - Nor difference veg. index 1	$\hat{y} = 0,114329 + 0,0002085^{**}n$	0,87	0,15
Red-edge model index (R-M)	$\hat{y} = 0,7750 + 0,0001717^{**}n$	0,81	0,81
NDVI2 - Nor difference veg. index 2	$\hat{y} = 0,7505 + 0,0002325^{**}n$	0,81	0,79
MCARI (705, 750)	$\hat{y} = 125,5889 + 0,01314^{**}n$	0,79	128,0
-----Uréia-----			
NPCI - Nor. pigments chl. ratio index	$\hat{y} = 0,3440 - 0,0003035^{**}n$	0,91	0,29
NDVI2 - Nor difference veg. index 2	$\hat{y} = 0,7495 + 0,0002301^{**}n$	0,86	0,79
NDVI8 - Nor difference veg. index 8	$\hat{y} = 0,01760 + 0,0001087^{**}n$	0,82	0,038
MCARI (705, 750)	$\hat{y} = 124,651 + 0,013594^{**}n$	0,80	127,0
NDVI1 - Nor difference veg. index 1	$\hat{y} = 0,118 + 0,000175^{**}n$	0,79	0,15

** - significativos a 1 % de probabilidade pelo teste "t"

Estão listadas na Tabela 4 as estimativas dos coeficientes de correlação linear (r) entre os cinco índices espectrais selecionados com as variáveis determinadas na quarta folha, SPAD, área foliar e teor de nitrogênio total (N_{total}) e produtividade comercial de tubérculos de batata (PC), para as três fontes, nitrato de amônio, sulfato de amônio e uréia.

Tabela 4 – Estimativas do coeficiente de correlação linear (r) entre os valores da refletância bidirecional do índices de refletância selecionados e dos valores dos índices determinados na quarta folha, SPAD, área foliar (AF), teor de nitrogênio total (Ntotal) e produtividade comercial de tubérculos de batata (PC), para as três fontes, nitrato de amônio, sulfato de amônio e ureia.

Selecionados índices de refletância na planta	Índice determinado na folha			PC
	SPAD	AF	Ntotal	
-----Nitrato de amônio-----				
NPCI - Nor. pigments chl. ratio index	-0,89**	-0,67**	-0,63**	-0,58**
MCARI (705, 750)	0,86**	0,70**	0,59**	0,63**
NDIV1 - Nor difference veg. index 1	0,72**	0,65**	0,62**	0,34***
NDIV8 - Nor difference veg. index 8	0,77**	0,62**	0,60**	0,50*
Red-edge model index (R-M)	0,70**	0,62*	0,49**	0,44*
-----Sulfato de amônio-----				
NPCI - Nor. pigments chl. ratio index	-0,85**	-0,68**	-0,76**	-0,05***
MCARI (705, 750)	0,89**	0,58**	0,68**	0,51*
NDVI1 - Nor difference veg. index 1	0,71**	0,68**	0,65**	0,45*
NDVI2 - Nor difference veg. index 2	0,84**	0,68**	0,74**	0,32***
Red-edge model index (R-M)	0,65**	0,63**	0,68**	0,13*
-----Uréia-----				
NPCI - Nor. pigments chl. ratio index	-0,78**	-0,60**	-0,39**	-0,48*
MCARI (705, 750)	0,85**	0,55**	0,53**	0,43*
NDVI1 - Nor difference veg. index 1	0,82**	0,60**	0,49**	0,23**
NDVI2 - Nor difference veg. index 2	0,77**	0,69**	0,44*	0,34***
NDVI8 - Nor difference veg. index 8	0,72**	0,48*	0,38*	0,50*

** , * e ***- significativos a 1, 5 e 10% de probabilidade pelo teste "t", respectivamente.
ns: não significativo

Tabela 5 – Destacados índices de refletância determinados no dossel da batateira para estimar o verde (SPAD), área (AF) e teor de nitrogênio (Ntotal) determinados na folha e produtividade comercial (PC) de tubérculos, nas três fontes, nitrato de amônio, sulfato de amônio e ureia.

Fonte de N	Índices determinados na folha			
	SPAD	AF	Ntotal	PC
Nitrato de amônio	NPCI MCARI	MCARI NPCI NDVI1	NPCI NDVI1 NDVI8 MCARI	MCARI NPCI NDVI8 R-M
Sulfato de amônio	MCARI NPCI NDVI2	NPCI NDVI1 NDVI2 R-M	NPCI NDVI2 MCARI R-M NDVI1	MCARI NDVI1
Uréia	MCARI NDVI1	NDVI2	Não	NDVI8 NPCI MCARI

Não: apesar de haver índice de reflectância com coeficiente de relação linear (r) significativo, o valor de r ficou aquém do valor médio das fontes.

NPCI - Normalized pigments chlorophyll ratio index

MCARI (705, 750)

NDVI1 - Normalized difference vegetation index 1

NDVI2 - Normalized difference vegetation index 2

NDVI8 - Normalized difference vegetation index 8

Red-edge model index (R-M)

4. DISCUSSÃO

Na região do visível (400 a 700 nm), verificou-se que a refletância do dossel da batateira, aparentemente, apresentou conjuntamente semelhante tendência para os tratamentos de doses e de fontes, com o comportamento típico da vegetação verde. As clorofilas e os carotenóides determinam as propriedades espectrais da folha na região do visível. Nessa faixa, a energia é seletivamente absorvida e estocada na forma de componentes orgânicos. Os valores de refletância ficaram baixos entre os comprimentos de onda de 400 a 500 nm e nos comprimentos de ondas próximos a 680 nm com valores entre 5 e 7 %. Valores de refletância próximos a 550 nm alcançaram um pico atingindo 15 %. Em torno deste comprimento de onda, o qual explica a percepção da cor verde da vegetação, houve aparente decréscimo da refletância do dossel com o aumento das doses de N, independentemente da fonte de N. Tal fato indica a presença de quantidade elevada de clorofila nas plantas adubadas com as maiores doses do nutriente. Alto teor de clorofila está relacionado a alto teor de N na folha; por conseguinte, a maior parte da radiação que incide sobre o dossel vegetativo é absorvida pelos os pigmentos fotossintéticos do mesófilo foliar (Moreira, 2011).

Na região do infravermelho próximo (acima de 750 nm), onde o mecanismo de refletância interna das folhas é intenso e a absorção de luz é baixo, em parte devido ao conteúdo de água da folha (Tucker & Garratt, 1977), a refletância tendeu a aumentar com o incremento das doses de N. Na região final do visível até o início do infravermelho próximo (700 a 750 nm) a refletância apresentou valores crescentes atingidos níveis próximos de 70 %. Geralmente, no infravermelho próximo (NIR) de 750 a 1000 nm, a

refletância da folha verde aumenta significativamente. Há uma abrupta transição entre a forte absorção da luz na faixa do visível (680 nm) e de refletância no infravermelho próximo (750 nm). O ponto máximo da refletância do dossel entre aqueles comprimentos de ondas é chamado de 'red edge' (Horler et al. 1983). Luz nas bandas red-edge e NIR penetra na maior fração do dossel. Mas, no caso de AENP em estágio inicial do crescimento talvez essa característica não seja tão importante. Vista de cima, no fundo está o solo, pois normalmente a planta não cobriu toda a área. Devido solo e planta terem diferentes taxas de refletâncias pode haver interferência do solo.

A refletância no infravermelho próximo é influenciada pelas estruturas internas das folhas. Folhas bem hidratadas, saudáveis, permitem que as células do mesofilo reflitam fortemente neste comprimento de onda (Gates et al., 1965). No entanto, observou-se menor percentagem de energia refletida pelas plantas adubadas com 300 kg ha⁻¹ de N do que pelas plantas adubadas com 200 kg ha⁻¹ de N. Talvez, isso possa ser explicado pelo desequilíbrio nutricional, haja vista a produção de tubérculos.

Na análise visual das figuras (2,3 e 4) é possível constatar que houve inclinação nas curvas por volta de 750 nm e que a partir desse ponto a curva tendeu a estabilizar. A inclinação indica o ponto crítico em torno do limite do espectro do vermelho (Thenkabail et al., 2000). Nessa região a refletância da vegetação é sensível ao estresse e fornece a informação adicional sobre o estado de clorofila e do nitrogênio das plantas (Clevers, 1989).

Normalmente, nos comprimentos de ondas visível e infravermelho há correlação significativa entre a refletância/absorbância da luz e o teor de

clorofila nas folhas (Thomas & Gausman, 1977; Blackmer et al. 1994; Fillela et al., 1995). Com a deficiência de N ocorre diminuição da quantidade de clorofila e do conteúdo de proteína solúvel e da taxa de expansão foliar, além de redução no desenvolvimento da planta (Read et al., 2002). Sabe-se que a diminuição da concentração dos pigmentos clorofilados, ocasionada pela carência em N, interfere na refletância espectral na região do espectro visível. Cohen et al. (2010) estudaram a relação entre a refletância espectral em diversas combinações do espectro entre 400-900 nm e nível de N em pecíolos e folhas de batata. Os autores encontraram que a refletância da folha correlacionou melhor com o teor de N na folha do que com o teor de nitrato, mas a correlação somente ocorreu na fase de tuberização da cultura.

Há diversos parâmetros responsáveis pelo comportamento espectral do dossel. Os principais parâmetros são ângulos de iluminação e visada, presença de plantas de outras espécies, área descoberta de solo além de atributos morfofisiológicos dos órgãos aéreos da planta (área foliar, distribuição angular das folhas, hábito de crescimento do caule, entre outros). Do lado do vegetal, as características de refletância estão relacionadas ao estado fisiológico e de crescimento da planta (Erdle et al. 2011).

Na região do infravermelho próximo, mas acima de 750 nm, os efeitos das doses de N foram mais diferenciados, principalmente com as fontes sulfato de amônio e uréia. Com as três fontes de N, os índices NPCI, MCARI (705, 750) e NDVI11 figuraram entre os índices com o maior coeficiente de determinação, ou seja, com maior grau de ajustamento entre os valores

observados dos índices espectrais no dossel da batateira e doses de nitrogênio.

Independente da fonte de N, os índices MCARI (705, 750) e NDVI1 aumentaram com o incremento das doses de N sendo que o inverso ocorreu com o índice NPCI que diminuiu com o incremento das doses de N. Os índices MCARI (705, 750) e NVDI1 utilizam banda NIR e o índice NPCI utiliza os comprimentos de ondas do visível (430 e 680 nm).

Os valores de refletância do índice NPCI diminuíram com o incremento das doses de N e apresentaram valores negativos com o incremento nas doses de N indicando que a média dos valores da refletância na banda do vermelho (680 nm) é menor que a média dos valores na banda do azul (430 nm). O índice NPCI foi especialmente desenvolvido para a detecção do teor de clorofila das plantas. Os dados espectrais em 680 e 430 nm podem ser utilizados para estimar os pigmentos de clorofilas e de carotenóides sendo sensível aos teores de pigmentos de folhas verdes (Köksal et al., 2010).

O índice MCARI (705, 750) apresentou sensibilidade às variações de doses de N independentemente da fonte nitrogenada aplicada. Esse índice, que mede a refletividade na banda do vermelho de transição (705 nm) para o infravermelho próximo (750nm), aumentou linearmente com o incremento das doses de N. A banda do infravermelho próximo (NIR 770 a 2500 nm) tem sido usada na tentativa de determinar o estado de N das plantas (Young et al., 1997; Velasco & Mollers, 2000; Min et al. 2006; Lima et al. 2008; Shibayama et al., 2009). O MCARI é uma versão modificada do índice CARI (Índice de refletância e absorção de clorofila) desenvolvido por Kim (1994)

para reduzir o efeito de diversos materiais não fotossintéticos sobre a refletância da planta. Esse índice foi modificado por Wu et al. (2008) por meio do uso das refletâncias nos comprimentos de onda de 705 e 750nm, de modo a reduzir os efeitos da rápida saturação espectral da região da banda de 660-680nm e considerar os distúrbios da sombra, refletância do solo e de materiais não fotossintetizantes. O índice foi utilizado por Wu et al. (2008) e mostrou-se apropriado para estimar o teor de clorofila em fase inicial do trigo.

No presente trabalho, o NDVI1 (Normalized Difference Vegetation Index) figurou entre os índices cujos valores espectrais apresentaram alto grau de ajustamento com as doses de nitrogênio. Independente da fonte de N, o índice NDVI1 aumentou com o incremento das doses de N. O NDVI foi concebido para reduzir os efeitos de diferenças de iluminação, sombreamento, atenuação atmosférica e variação topográfica (Huete et al., 2002). Variantes do NDVI (1, 2,... 8) têm sido propostas. Nessas variantes os índices estão relacionados com regiões onde há maior refletividade da energia eletromagnética.

Para a faixa espectral de 400 a 1000 nm, Blackmer et al. (1996) concluíram que a radiação refletida a 550 e 710 nm proporcionou a melhor detecção da deficiência de N. A banda do infravermelho próximo (NIR) de 1100 a 2500 nm foi eficiente para a determinação do teor de nitrogênio em folhas de milho e de soja (Santos et al., 2012). Um conjunto de curvas de calibração relacionando a concentração de nitrogênio em folhas de algodão com diversas razões de refletância entre 280 e 1100 nm foram estudadas por Tarpley et al. (2000). Precisão e acurácia somente foram obtidas nas

razões que combinavam medições no vermelho (700 ou 716 nm) com medições no infravermelho próximo (755 - 920 e 1000 nm), comprimento de onda de alta refletância. Da mesma forma, em batata, na faixa de 400 a 1070 nm, as melhores bandas de seleção para nível de N foram 560, 650, 730 e 760 nm (Jain et al., 2007; Ray et al., 2010). Erdle et al. (2011) encontraram que o mais potente e temporalmente estável índice indicador do estado de N do trigo foi índice NIR obtido pela divisão de refletância a 760nm pela refletância em 730nm. Também para o trigo, Li et al. (2010) encontraram que a combinação do comprimento de ondas em 370 e 400 nm propiciou índice consistente, mas também as bandas red-edge e NIR foram mais efetivas para estimar o teor de N em trigo quando o dossel não estava totalmente fechado. Thessler et al. (2011) relatam medições de refletância do dossel de batata nas faixas do vermelho (656nm) e do NIR (774nm) e afirmam que a AENP de batata necessita adicionais melhorias como sensoriamento na red-edge e medições multi-temporais.

Com as três fontes de N, os índices NPCI, MCARI (705, 750) e NDVI1 figuraram entre aqueles cujos valores de refletância no dossel das plantas apresentaram maior grau de ajustamento com os valores das doses de nitrogênio. Também, com as três fontes de N, houve correlação significativa entre os valores destes índices com os valores das variáveis SPAD, área foliar e teor de N na matéria seca da quarta folha medidas na mesma época, 21 DAE (Tabela 5). Da mesma forma, ocorreu com a produtividade comercial de tubérculos, porém com menores valores de coeficiente de correlação.

Dependendo da fonte de nitrogênio, o valor considerado crítico ou apropriado do índice NPCI variou de 0,28 a 0,29 e do índice MCARI (705, 750) variou de 127,0 a 128,0 e servem de referencial para AENP e determinar a necessidade de aplicar N em cobertura na cultura. Para AENP é possível usar um índice de nutrição nitrogenada (INN) que pode ser calculado pela relação entre os valores de determinado índice na planta dividido pelo índice crítico do índice. Quando INN for maior do que um, a planta está adequadamente nutrida (Mistele Schmidhalter, 2008).

5. CONCLUSÕES

- Os valores dos índices hiperespetrais são influenciados por dose de N. Com as três fontes de N, em avaliação aos 21 dias após a emergência, os índices NPCI, MCARI (705, 750) e NVID1 figuraram como aqueles com maior grau de ajustamento entre os valores observados da refletância do dossel da batateira e doses de nitrogênio. Independente da fonte de N, os índices MCARI (705, 750) e NVID1 aumentaram com o incremento das doses de N e o inverso ocorreu com o índice NPCI que diminuiu com o incremento das doses de N.

- Também, com as três fontes de N houve correlação significativa entre os valores daqueles índices com os valores das variáveis SPAD, área foliar e teor de N na matéria seca da quarta folha e produtividade comercial de tubérculos, porém com menores valores de coeficiente de correlação.

- NPCI, MCARI (705, 750) e NDVI8 são os índices da planta destacados para estimar as variáveis SPAD, área foliar e teor de N na matéria seca da quarta folha e com a produção de tubérculos comerciais de batata.

- O valor considerado crítico ou apropriado do índice NPCI variou de 0,28 a 0,29 e do índice MCARI (705, 750) variou de 127,0 a 128,0 e servem de referencial para AENP e determinar a necessidade de aplicar N em cobertura na cultura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBA. Associação Brasileira da Batata. Disponível em: <www.abbatatabrasileira.com.br/2008/variedades.asp> acessado em 02 de janeiro de 2013.

ABRAHAO, S.A.; PINTO, F.A.C.; QUEIROZ, D.M.; TERRA, N.; GLERIANI, J.M.; ALVES, E.A. Índices de vegetação de base espectral para discriminar doses de nitrogênio em capim-tanzânia. Revista Brasileira de Zootecnia, v.38, n.9, p. 1637-1644. 2009.

AGRIANUAL 2013: Anuário da Agricultura Brasileira. 18 ed. São Paulo: FNP, Consultoria & Agroinformativo, 2013, 590 p.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 300p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).

ALONSO, F. El cultivo da potato. Barcelona: Ediciones Mundi Prensa, 1996. 272p.

ALVA, A.K.; HODGES, T.; BOYDSTON, A.; COLLINS, H.P. Dry matter and nitrogen accumulations and partitioning in two potato cultivars. Journal of Plant Nutrition, New York, v.25, p.1621-1630, 2002.

ANDRIOLO, J.L.; BISOGNIN, D.A.; PAULA, A.L.; PAULA, F.M.P.; GODOI, R.S.; BARROS, G.T. Curva crítica de diluição de nitrogênio da cultivar Asterix de batata. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.41, n.7, p.1179-84. 2006.

ARREGUI, L.M.; MERINA, M.; MINGO-CASTEL, A.M. Aplicacion del medidor portatil de clorofila em los programas de fertilizacion nitrogenada em patata de siembra. Actas Del Congresso Iberoamericano de Investigación y Desarrollo em Patata, Vitória-Gasteis. 157-170. 2000.

AZIA, F., STEWART, K.A. Relationships between extractable chlorophyll and SPAD values in muskmelon leaves. *Journal of Plant Nutrition*, New York, v.24, p.961-966, 2001.

BAJWA, S. G.; MISHRA, A. R.; NORMAN, R. J. Canopy reflectance response to plant nitrogen accumulation in rice. *Precision Agriculture*, v.11, p. 488-506. 2010.

BALTZER, J.L.; THOMAS, S.C. Leaf optical responses to light and soil nutrient availability in temperate deciduous trees. *American Journal of Botany*, v. 92, n.2, p. 214–223, 2005.

BARKER, A.V.; PILBEAM, D.J. *Handbook of plant nutrition*. Boca Raton, Florida: RCRC Press. 2007. 613p.

BARKER, D.W. Utilization of active canopy sensors for nitrogen fertilizer management in corn. Iowa State University. DS Thesis. Paper 10057. 110p. 2011.

BARNES, E. M. MORAN, M. S.; PINTER, P. J.; CLARKE, T. R. Multispectral remote sensing and site-specific agriculture: examples of current technology and future possibilities. In: *Proceedings 3rd Int. Conference in Precision Agriculture*, 1996, Minneapolis, p. 847-854.

BARRACLOUGH, P.B.; KYLE, J. Effect of water stress on chlorophyll meter readings in winter wheat. In HORST, W.J. et al. (Eds.), *Plant nutrition-food security and sustainability of agro-ecosystems*, Dordrecht: The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2001, p, 722–723.

BAUSCH, W.; KHOSLA, R. QuickBird satellite versus ground-based multispectral data for estimating nitrogen status of irrigated maize. *Journal of Precision Agriculture*, v 10 p.1-17. 2010.

BÉLANGER, G. W.; WALSH, J. R.; RICHARDS, J. E.; MILBURN, P. H.; ZIADI, N. Critical nitrogen curve and nitrogen nutrition index for potato in Eastern Canada. *American Journal of Potato Research*, v. 78, p. 355-364, 2000.

BLACKBURN, G.A. Hyperspectral remote sensing of plant pigments. *Journal of Experimental Botany*, v.58, n.4, p.855-867. 2007.

BLACKBURN, G.A. Quantifying chlorophylls and carotenoids at leaf and canopy scales: An evaluation of some hyper-spectral approaches. *Remote Sensing of Environment*, v. 66, p. 273–285, 1998.

BLACKMER, T.M.; SCHEPERS, J.S.; VARVEL, G.E. Light reflectance compared with other nitrogen stress measurements in corn leaves. *Agronomy Journal*, v.86, p.934-938. 1994.

BLACKMER, T.M.; SCHEPERS, J.S.; VARVEL, G.E; WALTER-SHEA, E.A. Nitrogen deficiency detection using reflected shortwave radiation from irrigated corn canopies. *Agronomy Journal*, v.88, p.1-5, 1996.

BOTHA, E.J.; LEBLON, B.; ZEBARTH, B.; WATMOUGH, J. Non-destructive estimation of potato leaf chlorophyll from canopy hyperspectral reflectance using the inverted PROSAIL model. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v.9, n.4, p. 360-374. 2007.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Norma de identidade, qualidade, acondicionamento e embalagem da batata para fins de comercialização. Portaria nº 69 de 21/02 1995.

BRAUN, H. FONTES, P.C.R.; FINGER, F,L.; BUSATO, C.; CECON, P.R. Carboidratos e matéria seca de tubérculos de cultivares de batata influenciados por doses de nitrogênio. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 34, p. 285-293, 2010a.

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*, v. 70, p. 50-57, 2011.

BRAUN, H.; FONTES, P.C.R.; BUSATO, C.; CECON, P.R.; COELHO, F.S.; SILVA, M.C.C. Effect of nitrogen rates and days of light exposure on greening evaluated by visual scale and chlorophyll meter of washed and

unwashed tubers of potato cultivars. *International Journal of Food, Agriculture and Environment*, v. 9, p. 933-938, 2010.

BROGE, N.H.; LEBLANC, E. Comparing prediction power and stability of broadband and hyperspectral vegetation indices for estimation of green leaf area index and canopy chlorophyll density. *Remote Sensing of Environment*, v. 76, p.156–172, 2000.

BRONSON, K.F.; WHEELER, T.A.; BROWN, C.M.; TAYLOR, R.K.; SCHARF, P.C.; BARNES, E.M. Use of nitrogen calibration ramps and canopy reflectance on farmers' irrigated cotton fields. *Soil Science Society of America Journal*, v. 76, p.1060-1067. 2012.

BUDDY, L.G.; WOLKOWSKI, R.P.; WEIS,G.G., Nitrogen source evaluation for potato production on irrigated sandy soils *Jornal americano Batata*, V.63, 385-397, 1986.

BUSATO, C. Características da planta, teores de nitrogênio na folha e produtividade de tubérculos de cultivares de batata em função de doses de nitrogênio. Viçosa: UFV, 2007. 129p. (Tese de MS em Fitotecnia).

BUSATO, C. FONTES, P.C.R.; BRAUN, H.; CECON, P.R. Seasonal variation and threshold values for chlorophyll meter readings on leaves of potato cultivars. *Journal of Plant Nutrition*, v. 33, n. 14, 2148-2156, 2010.

BUSATO, C.; FONTES, P.C.R. et al. Valor de índices agronômicos da planta associado à dose adequada de nitrogênio para a produção de tubérculos de cultivares de batata. *Horticultura Brasileira*, v.26, p.S4098-S4103. 2008.

BUSATO, C.; FONTES, P.C.R.; BRAUN, H.; CECON, P. Seasonal variation and threshold values for chlorophyll meter readings on leaves of potato cultivars. *Journal of Plant Nutrition*, v.33, p.2148-2156. 2010.

BUSCHMAN, C.; NAGEL, E. In vivo spectroscopy and internal optics of leaves as a basis for remote sensing of vegetation. *International Journal of Remote Sensing*, v. 14, p. 711–722, 1993.

CARDOSO, A.D.; ALVARENGA, MA.R.; MELO, T.L.; VIANA, A.E.S. Produtividade e qualidade de tubérculos de batata em função de doses e parcelamentos de nitrogênio e potássio. *Ciência e Agrotecnologia*, 31(6), 1729-1736. 2007.

CATALDO, D.A.; HARRON, M.; SCHRADER, L.E.L.; YOUNGS, V.L. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v.6, p.71-80, 1975.

CHAERLE, L.; STRAETEN, D.V.D. Imaging techniques and the early detection of plant stress. *Trends in Plant Science*, v. 5, p. 495–501, 2000.

CHAMBENOIT, L. Fertilisation azotée de la pomme de terre. QUAE edition. 2002.

CHU, H.; HOSEN, Y.; YAGI, K. NO, N₂O, CH₄ and CO₂ fluxes in winter barley field of Japanese Andisol as affected by N fertilizer management. *Soil Biology and Biochemistry*, v.39, n.1, p.330-339, 2007.

CLEVERS, J.G.P.W. The application of a weighted infrared-red vegetation index for estimating Leaf Area Index by correcting for soil moisture. *Remote Sensing of Environment.*, v. 29, p. 25-37, 1989.

COELHO, E.L.; FONTES, P.C.R. Índices agrônômicos do meloeiro associados à dose adequada de nitrogênio, em ambiente protegido e no campo. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 29, n.5, p. 974-979, 2005.

COELHO, F.S. Uso do clorofilômetro como ferramenta de manejo da adubação nitrogenada da cultura da batata. Viçosa: UFV, 2011. 162p. (Doutorado em Fitotecnia).

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 B*, v. 2, p. 248-256, 2012.

COELHO, F.S.; FONTES, P.C.R.; CECON, P.R.; BRAUN, H.; SILVA, I.R. da. 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, jan-mar, 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. p. 584-592, 2012a.

COELHO, F.S.; FONTES, P.C.R.; PUIATTI, M.; NEVES, J.C.L.; SILVA, M.C.C. Dose de nitrogênio associada à máxima produtividade econômica de tubérculos de cultivares de batata e índices do estado de nitrogênio da planta. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, n.4, p. 1175-1183. 2010.

COHEN, Y. et al. Leaf nitrogen estimation in potato based on spectral data and on simulated bands of the VEN μ S satellite. *Precision Agriculture*, v.11, n.5, p.520-537. 2010.

COLLAMER, D.J.; GEARHART, M.; MONESMITH, F.L.; RESINS, H.; HOPEWELL, C. Três formas de fertilizantes nitrogenados e o futuro: sulfato de amônio. *Informações Agronômicas*, Piracicaba. n. 120, p. 7-8, dez. 2007.

DAR, Z. Potato crop protocol. Bet Dagan, Israel: Ministry of Agriculture Extension Service. In Hebrew., 2002.

DARWISH, T.W., ATALLAH, T.W., HAJHASAN, S., HAIDAR, A. Nitrogen and water use efficiency of fertigated processing potato. *Agricultural Water Management*, v.85, p.95-104, 2006.

DAUGHTRY, C.S.T.; WALTHALL, C.L.; KIM, M.S.; BROWN DE COLSTOUN, E.; MCMURTREY III, J.E. Estimating corn leaf chlorophyll concentration from leaf and canopy reflectance. *Remote Sensing Environment*, v. 74, p. 229-239, 2000.

DE LA CASA, A.; OVANDO, G.; BRESSANINI, L.; RODRIGUEZ, A.; MARTONEZ, J. Uso del índice de área foliar y del porcentaje de cobertura

del suelo para estimar la radiación interceptada en papa. *Agricultura Técnica*, v.67, n.1, p.78-85. 2007.

DEFELIPO, B.V.; RIBEIRO, A.C. *Análise química do solo, metodologia*. 2.ed. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1997. 26p.

DIACONO, M.; MONTEMURRO, F. Precision nitrogen management of wheat. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, v.33, n.1, p 219-241. 2013.

DIKER, K.; BAUSCH, W.C. Radiometric field measurements of maize for estimating soil and plant nitrogen. *Biosystems Engineering*, v.86, n.4, p. 411-420. 2003.

EMBRAPA-EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

ERDLE, K.; MISTELE, B.; SCHMIDHALTER, U. Comparison of active and passive spectral sensors discriminating biomass parameters and nitrogen status in wheat cultivars. *Field Crops Research*, v.124, p. 74-84. 2011.

ERREBHI, M.; ROSEN, C.J.; GUPTA, S.C.; BIRONG, D.E. Potato yield response and nitrate leaching as influenced by nitrogen management. *Agronomy Journal*, Madison, v.90, p.10-15, 1998.

EVANS, R.D.; BELNAP, J. Long-term consequences of disturbance on nitrogen dynamics in an arid ecosystem. *Ecology*, v.80, p. 150–160. 1999.

FACRE, W.R. Três formas de fertilizantes nitrogenados e o futuro: uréia. *Informações Agronômicas*, Piracicaba. n. 120, p. 5-6, dez. 2007.

FAQUIN, V. *Nutrição Mineral de plantas*. Lavras: UFLA/FAEPE, 2007. 183p.

FENG, W. et al. Monitoring leaf nitrogen status with hyperspectral reflectance in wheat. *European Journal of Agronomy*, 28, 394–404. 2008.

FERGUSON, R.B.; HERGERT, G.W.; SCHEPERS, J.S.; GOTWAY, C.A.; CAHOON, J.E.; PETERSON, T.A. Site-specific nitrogen management of irrigated maize: Yield and soil residual nitrate effects. *Soil Science Society of American Journal*, v. 66, p. 544–553, 2002.

FILLELA, I.; SERRANO, L.; SERRA, J.; PENUELAS, J. Evaluating wheat nitrogen status with canopy reflectance indices and discriminant analysis. *Crop Science*, v. 35, p.1400-1405, 1995.

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

FONTES, P. C. R.; ARAÚJO, C. *Adubação nitrogenada de hortaliças: princípios e práticas com o tomateiro*. Viçosa:UFV, 2007.

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

FONTES, P.C.R. *Diagnóstico do estado nutricional das plantas*. Viçosa: UFV, 2001.

FONTES, P.C.R. *Olericultura: Teoria e prática*. Editor. Viçosa: MG; UFV. 2005. 486 p.

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, n.03, p.167-179, 2010.

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

FONTES, P.C.R.; ARAÚJO, C. Use of a chlorophyll meter and plant visual aspect for nitrogen management in tomato fertigation. *Journal of Applied Horticulture*, v.8, n.1, p.8-11. 2006.

FONTES, P.C.R.; RONCHI, C.P. Critical values of nitrogen indices in tomato plants grown in soil and nutrient solution determined by different statistical procedures. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.37, n.10 p.1421-1429. 2002.

GATES, D.M.; KEEGAN, H.J.; SCHLETER, J.C.; WEIDNER, V.R. Spectral properties of plants. *Applied Optics*, n 4, v.1, p. 11-20, 1965.

GIANQUINTO, G.; GOFFART, J.P.; OLIVIER, M.; GUARDA, G.; COLAUZZI, M.; DALLA COSTA, L.; VEDOVE, D.; VOS, J.; MACKERRON, D.K.L. The use of hand-held chlorophyll meters as a tool to assess the nitrogen status and to guide nitrogen fertilization of potato crop. *Potato Research*, v. 47, n. 1-2, p. 35-80, 2004.

GIANQUINTO, G.; SAMBO, P.; BONA, S. The use of SPAD-502 chlorophyll meter for dynamically optimizing the nitrogen supply in potato crop: A methodological approach. *Acta Horticulturae*, v.607, p. 197-204. 2003.

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

GILETTO, C.M.; DIAZ, C.; RATTIN, J.E.; ECHEVERRIA, H.E.; CALDIZ, D.O. Green index to estimate crop nitrogen status in potato processing varieties. *Chilean Journal of Agricultural Research*, v.70, n.1, p.142-149.2010.

GITELSON, A.; KAUFMAN, Y.; MERZLYAK, M. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, v. 58, p. 289–298, 1996.

GITELSON, A.; MERZLYAK, M. Quantitative estimation of chlorophyll-a using reflectance spectra: Experiments with autumn chestnut and maple leaves. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, v. 22 p. 247–252, 1994.

GITELSON, A.A.; GRITZ, U.; MERZLYAK, M.N. Relationships between leaf chlorophyll content and spectral reflectance and algorithms for non-destructive chlorophyll assessment in higher plant leaves, *Journal Plant Physiology*, v. 160, p. 271 – 282, 2003.

GITELSON, A.A.; VIÑA, A.; CIGANDA, V.; RUNDQUIST, D. C.; ARKEBAUER, T.J. Remote estimation of canopy chlorophyll content in crops. *Geophysical Research Letters*, 32, L08403. doi:10.1029/2005GL022688, 2005.

GOFFART, J.P.; OLIVIER, M.; FRANKINET, M. Potato crop nitrogen status assessment to improve N fertilization management and efficiency: past-present-future. *Potato Research*, v.51, p.355-383, 2008.

GUIMARÃES, T.G.; FONTES, P.C.R.; PEREIRA, P.R.G.; ALVAREZ, V.H.; MONNERAT, P.H. Teores de clorofila determinados por medidor portátil e sua relação com formas de nitrogênio em folhas de tomateiro cultivado em dois tipos de solo. *Bragantia*, Campinas, v.58, n.1, p.209-216, 1999.

GUYOT, G.; BARET, F.; MAJOR, D. J. High spectral resolution: Determination of spectral shifts between the red and the near infrared. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 11, p. 750–760, 1988.

HAASE, T., SCHÜLER, C.; HEB, J. The effect of different N and K sources on tuber nutrient uptake, total and graded yield of potatoes (*Solanum tuberosum* L.) for processing. *European Journal of Agronomy*, v.26, p.187-197. 2007.

HABOUDANE, D.; MILLER, J.R.; TREMBLAY, N.; ZARCO-TEJADA, P.J.; DEXTRAZE, L. Integrated narrowband vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precision agriculture. *Remote Sensing of Environment*, v. 81, p. 416–426, 2002.

HABOUDANE, D.; TREMBLAY, N.; MILLER, J.R.; VIGNEAULT, P. Remote estimation of crop chlorophyll content using spectral indices derived from

hyperspectral data. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, v. 46, p. 423–437, 2008.

HANSEN, P.M.; SCHJOERRING, J.K. Reflectance measurement of canopy biomass and nitrogen status in wheat crops using normalized difference vegetation indices and partial least square regression. Remote Sensing of Environment, v. 86, p. 542–553, 2003.

HARTFIELD, J.L.; GITELSON, A.A.; SCHEPERS, J.S.; WALTHALL, C.L. Application of spectral remote sensing for agronomic decisions. Agronomy Journal, v.100, S-117-131. 2008.

HEEGE, H.J.; REUSCH, S.; THIESSEN, E. Prospects and results for optical systems for site-specific on-the-go control of nitrogen –top-dressing in Germany. Precision Agriculture, v.9, n.3, 115-131. 2008.

HERRMANN, I., KARNIELIA, A., BONFILB, D.J., COHEN, Y., ALCHANATIS,V. Spectral indices derived from handheld, airborne and spaceborne spectrometers are used for assessing N content. International Journal of Remote Sensing, v.31, n.19, p.5127-5143. 2010.

HORLER, D.N.H. ; DOCKRAY, M.; BARBER, J. The red edge of plant leaf reflectance. International Journal of Remote Sensing, v.4, n.2, p. 1983.

HUETE, A.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E.P.;GAO, X.; FERREIRA; L.G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices, Remote Sensing of Environment, v. 83, p.195–213, 2002.

HUETT, D.O.; MAIER, N.A.; SPARROW, L.A.; PIGGOTT,T.J. Vegetables. In: REUTER, D.J.; ROBINSON, J.B. Eds. Plant Analysis: an interpretation manual. Second edition. Collingwood, Australia: CSIRO, p. 385-464. 1997.

INSKED, W. P.; BLOOM, P.R. Extraction coefficients of chlorophyll *a* e *b* in N,N Dymethylformamide and 80% acetone. Plant Physiology, v. 77, p. 483-485, 1985.

JACKSON, M. L. Soil chemical analysis. Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1958.

JAIN, N.; RAY, S.S.; SINGH, J.P.; PANIGRAHY, S. Use of hyperspectral data to assess the effects of different nitrogen applications on a potato crop. *Precision Agriculture*, v. 8, n. 4-5, p. 225-239. 2007.

JORDAN, C.F. Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor. *Ecology*, v. 50, p. 663–667, 1969.

KEENEY, D.R. Nitrogen-availability indices. p. 711–734. *In* A.L. Page et al. (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2.* 2nd ed. ASA and SSSA, Madison, WI. 1982.

KIM, M. S.; DAUGHTRY, C.S.T.; CHAPELLE, E.W.; MCMURTREY, J.E. The use of high spectral resolution bands for estimating asorbed photosynthetically actvy radiation (APAR). *In*: *International Symposium On Physical Measurments And Signatures In Remote Sensing*, 6. Toulouse, Proceedings... France: CNES Editions, p. 299-306, 1994.

KOEPPEN, W. *Climatologia*. Tradução: Pedro R. H. Perez. Buenos Aires, Gráfica Panamericana, 1948. 478 p.

KOKSAL, O.; GUNES, E.O.; OZER, O.; OZDEN, M. Analysis of effective factors on information sources at Turkish Oregano farms. *African Journal of Agricultural Research*, v 5, p. 142-149, 2010.

KOLBE H; BECKMANN SE. 1997. Development, growth and chemical composition of the potato crop (*Solanum tuberosum* L.). I. leaf and stem. *Potato Research* 40: 111-129.

KOLLENKARK, J.C.; VANDERBILT, V.C.; BAUER, M.E.; HOUSLEY, T.L. Effect of cultural pratices on agronomic and reflectance characterstics of soybean canopy. *Agronomy Journal*, v. 74, p.751-758. 1982.

LARCHER, W. *Ecofisiologia vegetal*. São Carlos: Rima, 2000. 531 p.

LAWLOR, D.W. Carbon and nitrogen assimilation in relation to yield: Mechanisms are the key to understanding production systems. *Journal Experimental Botany*, v.53, p.773-787, 2002.

LEÃO, A.B.; MARTINS, A.D.; FONTES, P.C.R.; COELHO, F.S.; BRAUN, H. Fontes doses de nitrogênio no desenvolvimento e produtividade de batata. *Horticultura Brasileira*, v.28, n.2, S3957-3963. 2010.

LI, F. et al. Evaluating hyperspectral vegetation indices for estimating nitrogen concentration of winter wheat at different growth stages. *Precision Agriculture*, v.11, n.4, p.335-357. 2010.

LIMA, K.M.G.; TREVISAN, M.G.; POPPI, R.J.; ANDRADE, J.C.de. Determinação não destrutiva do nitrogênio total em plantas por espectroscopia de reflectância difusa no infravermelho próximo. *Química Nova*, v.31, n.3, p. 700-703. 2008.

LOFTONA, J.; TUBANA, B.S.; KANKEA, Y.; TEBOHA, J.; VIATORB, H. Predicting sugarcane response to nitrogen using a canopy reflectance-based response index value. *Agronomy Journal*, v.104, n.1, p.106-113. 2012.

MA, B.L.; MORRISON, M.J.; DWYER, M.L. Canopy light reflectance and field greenness to assess nitrogen fertilization and yield of maize. *Agronomy Journal*, v. 88, p. 915–920, 1999.

MAÇÃS, J.E.S. Nitrogênio nítrico e amoniacal no desenvolvimento da parte aérea de milho cultivado em argissolo. 2008 72 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Faculdade de Agronomia - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

MACHADO, D.; SARMIENTO, L. Respuesta del cultivo de papa a la combinación de diferentes fuentes de fertilización nitrogenada: evaluando la hipótesis de la sincronización. *Bioagro*, v.24, n.2, p. 83-92. 2012.
<http://www.scielo.org.ve/pdf/ba/v24n2/art02.pdf>

MAHMOODABAD, R.Z., SOMARIN, S.J.; KHAYATNEZHAD. M.; GHOLAMIN, R. Correlation of tuber yield whit yield components of potato

affected by nitrogen application rate in different plant density. *Advances in Environmental Biology*, v.5, p.131-135. 2011.

MAIA, S.C.M.; SORAT, R.P.; NASTARO, B.; FREITAS, L.B. The nitrogen sufficiency index underlying estimates of nitrogen fertilization requirements of common bean. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.36, n.1, p. 183-192 . 2012.

MAIER, N.A., DAHLENBURG, A.P., WILLIAMS, M.J. Effects of nitrogen, phosphorus, and potassium on yield, specific gravity, crisp colour, and tuber chemical composition of potato (*Solanum tuberosum* L.) cv. Kennebec. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, v.34, p.813-824, 1994.

MARQUELLI, W.A; FONTES, P.C.R. Irrigação e fertirrigação na cultura da batata.. In: Sousa, V.F.; Marouelli, W.A.; Coelho, E.F.; Pinto, J.M.; Coelho Filho, M.A. (Org.). *Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças*. 1ed.Brasília: EMBRAPA, 2011, v. 1, p. 553-584.

MARSCHNER, H. *Mineral nutrition of higher plants*. London: Academic Press, 1995. 889p.

MENESES, R.; MADEIRA NETO, J. S. Sensoriamento remoto-reflectância alvos naturais. Brasília: EMBRAPA, 2001, 262 p.

MESQUITA, L.A.V. Três formas de fertilizantes nitrogenados e o futuro: nitrato de amônio. *Informações Agronômicas*, Piracicaba. n. 120, p. 6-7, dez. 2007.

MEYER, R.D.; MARCUM, D.V. Potato yield, petiole nitrogen, and soil nitrogen response to water and nitrogen. *Agronomy Journal*, v.90, p.420-429. 1998.

MIAO, Y.; MULLA, D.J.; RANDALL, G.W.; VETSCH, J.A.; VINTILA, R. Combining chlorophyll meter readings and high spatial resolution remote sensing images for in-season site-specific nitrogen management of corn. *Precision Agriculture*, v. 10, p. 45–62, 2009.

MILLER, A.J.; CRAMER, M.D. Root nitrogen acquisition and assimilation. p.1-36. In: Hans Lambers, H.; Colmer, T.D. (Eds). Root Physiology: from Gene to Function. Springer Netherlands. 2005.

MILLS, H. A.; JONES Jr.; J. B. Plant analysis handbook II. Georgia, USA: Micromacro Publishing, 1996. 422p.

MIN, M.; LEE, W.S.; KIM, Y.H.; BUCKLIN, R.A. Nondestructive detection of nitrogen in Chinese cabbage leaves using VIS-NIR spectroscopy. Hortscience, v.41, n.2, p.162–166. 2006.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Portaria n 69 de 21 de fevereiro de 1995. Norma de identidade, qualidade, acondicionamento e embalagem de batata para fins comercialização.

MINOTTI, P.L.; HALSETH, D.E.; SIECZHA, J.B. Field chlorophyll measurements to assess the nitrogen status of potato varieties. Hortscience, v.29, n.12, p. 1497-1500. 1994.

MISTELE B, SCHMIDHALTER U Spectral measurements of the total aerial N and biomass dry weight in maize using a quadrilateral-view optic. Field Crops Research, v.106, 94–103. 2008.

MOREIRA, M.A. Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação, 4 a. ed atual e ampl. – Viçosa, MG: Editora. UFV, 2011, 422p.

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

MOULIN, A.P.; COHEN, Y.; ALCHANATIS, V.; TREMBLAY, N.; VOLKMAR, K. Yield response of potatoes to variable nitrogen management by landform element and in relation to petiole nitrogen – A case study. Canadian Journal of Plant Science, v.92, n.4, p.771-781. 2012.

NATIONAL POTATO COUNCIL (NPC). Potato statistical yearbook, 2006–2007. Washington, DC: National Potato Council. 2006.

OLIVEIRA, C.A.S. Potato crop growth as affected by nitrogen and plant density. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.35, p.939-950, 2000.

OLIVIER, M.; GOFFART, J.P.; LEDENT, J.F. Threshold value for chlorophyll meter as decision tool for nitrogen management of potato. *Agronomy Journal*, v.98, n.3, p.496-506, 2006.

PEÑUELAS, J.; GAMON, J.A.; FREDEEN, A.L., MERINO, J.; FIELD, C.B. Reflectance indices associated with physiological changes in nitrogen- and water-limited sunflower leaves. *Remote Sensing of Environment*, v. 48, p. 135–146, 1994.

PIEKIELEK, W.P., FOX, R.H., TOTH, J.D., MACNEAL, K.E. Use of a chlorophyll meter at the early dent stage of corn to evaluate nitrogen sufficiency. *Agronomy Journal*, v.87, 403–408. 1995.

PROST, L.; JEUFFROY, M.H. Replacing the nitrogen nutrition index by the chlorophyll meter to assess wheat N status. *Agronomy for Sustainable Development*, v. 27, p. 321-330, 2007

QUEIROZ, D.M. de; DIAS, G.P.; MANTOVANI, E.C. Agricultura de precisão na produção de grãos. In: Borém et al. (ed.). *Agricultura de Precisão*. Viçosa: A. Borém e outros, p.1-42, 2000.

RAY, S.S.; SINHG, J.P.; PANIGRAPHY, S. Use of hyperspectral remote sensing data for crop stress detection: ground based studies. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, v.38, p.562-567. 2010.

REITER, M.S., RIDEOUT, S.L., FREEMAN, J.H. Nitrogen fertilizer and growth regulator impacts on tuber deformity, rot, and yield for russet potatoes. *International Journal of Agronomy*. 2012.
<http://www.hindawi.com/journals/ija/2012/348754/>

RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G; ALVAREZ V, V.H. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 1ª Ed. – Viçosa, MG: Editora UFV, 1999, 359p.

RICHARDSON A.J.; WIEG, C.L.; GAUSMAN, H.W.; CUELLER, J.A. GERBERMANN, A.H. Plant, soil and shadow reflectance components of row crops. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 41, n.11, p. 1401-1407. 1975

RODRIGUES, F.A.; FONTES, P.C.R.; MARTINEZ, H.E.P.; PEREIRA, P.R.G. Nível crítico do índice SPAD na folha da batateira, em solução nutritiva. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v.18, p.764-765, suplemento, 2000.

RODRIGUES, M.A. Establishment of continuous critical levels for indices of plant and presidedress soil nitrogen status in the potato crop. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.35, n.13/14, p.2067-2085, 2004.

RODRIGUES, M.A.; COUTINHO, J.; MARTINS, F.; ARROBAS, M. Quantitative sidedress nitrogen recommendations for potatoes based upon crop nutritional indices. *European Journal Agronomy*, v. 23, p.79-88, 2005.

RONCHI, C.P.; FONTES, P.C.R.; PEREIRA, P.R.; NUNES, J.C.; MARTINEZ, H.E. Índices de nitrogênio e de crescimento do tomateiro em solo e em solução nutritiva. *Revista Ceres*, v.48, 469-484. 2001.

RONDEAUX, G.; STEVEN, M.; BARET, F. Optimization of soil-adjusted vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, v. 55, p. 95–107, 1996.

RYU; C.; SUGURI, M.; UMEDA, M. Model for predicting the nitrogen content of rice at panicle initiation stage using data from airborne hyperspectral remote sensing. *Biosystems Engineering*, v.104, n. 4, p.465-475, 2009.

SAEG – Sistema para análises estatísticas, versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes – UFV – Viçosa, 2007.

SAMBORSKI, S.M.; TREMBLAY, N. & FALLON, E. Strategies to make use of plant sensors-based diagnostic information for nitrogen recommendations. *Agronomy Journal*, v.101, p. 800-816. 2009.

SAMPAIO JR., J.D.; FONTES, P.C.R.; MOREIRA, M.A.; GUIMARÃES, M.A. Produção de mini-tubérculo semente de batata, em função de doses de nitrogênio aplicadas ao substrato. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v.24, n.1, p.1-9, 2008.

SANTOS, G.A.; SANTOS, A.P.; KORNDÖRFER, G.H. Sistema por infravermelho próximo (NIR) para análises de nitrogênio foliar *Bioscience Journal*, v. 28, S.1, p. 83-90. 2012.

SAS INSTITUTE INC. 1990. SAS/STAT User's Guide. Version 6, 4^a ed., volume 02, Cary, NC: SAS Institute Inc.

SCHARF; P.C.; LORY, J.A. Calibrating reflectance measurements to predict optimal sidedress nitrogen rate for corn. *Agronomy Journal*, v.101, n.4, p.615-625. 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*, New York, v.23, n.17/20, p.2173-2187, 1992.

SCHRÖDER, 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*, Madison, v.66, p.151-164, 2000.

SERRANO, L.; FILELLA, I.; PENUELAS, J. Remote sensing of biomass and yield of winter wheat under different nitrogen supplies. *Crop Science*, v. 40, p. 723–731, 2000.

SEXTON, P., CARROL, J. Comparison of SPAD chlorophyll meter readings vs. petiole nitrate concentration in sugarbeet. *Journal of Plant Nutrition*, New York, v.25, n.9, p.1975-1986, 2002.

SHIBAYAMA, T. et al. Effects of fire on the recruitment of rain forest vegetation beneath *Pinus caribaea* plantations, Sri Lanka. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v. 226, p. 357-363, 2009.

SILVA, M.C.C. Critérios para o manejo da adubação nitrogenada da batata em duas épocas de plantio. Viçosa: UFV, 2007. 144p. (Tese de DS em Fitotecnia).

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*, v. 42, n. 4, p. 971-977, 2011.

SILVA, M.C.C.; Fontes, P.C.R. et al. Relação entre índices SPAD e tabela de cor foliar para avaliar o estado de nitrogênio da batata em canteiros. I. Época seca. *Horticultura Brasileira*, v.27, p.2444 - 2447. Suplemento. 2009.

SILVA, M.C.C.; FONTES, P.C.R., MIRANDA, G.V. Modelos estatísticos para descrever a produtividade de batata em função da adubação nitrogenada. *Horticultura Brasileira*, v.25, p.360-364. 2007.

SILVA, M.C.C.; FONTES, P.C.R.; BRAUN, H.; COELHO, F.S.; BUSATO, C.; MARTINS, A.D.; STOCK, V.M. Relação entre índices SPAD e tabela de cor foliar para avaliar o estado de nitrogênio da batata em canteiros. I. Época seca. *Horticultura Brasileira*, v.27, p.2444 - 2447. Suplemento. 2009a.

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, p. 17-22, 2009.

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*, v.120, n.2, p.276-282, 2011.

SMITH, R.C.G.; ADAMS, J.; STEPHENS, D.J.; HICK, P.T. Forecasting wheat yield in a Mediterranean- type environment from the NOAA satellite. *Australian Journal of Agricultural Research*, v. 46, p.113–125, 1995.

STARK, J.; WESTERMANN, D.; HOPKINS, B. Nutrient management guidelines for Russet Burbank potatoes. University of Idaho. BUL 840. 12 p. 2004.

STEDDOM, K.; HEIDEL, G.; JONES, D.; RUSH, C. M. Remote detection of rhizomania in sugar beets. *Phytopathology*, v. 93, p. 720–726, 2003.

STROPPIANA, D.; BOSCHETTI, M.; BRIVIO, P. A.; BOCCHI, S. Plant nitrogen concentration in paddy rice from field canopy hyperspectral radiometry. *Field Crops Research*, v. 111, p. 119–129, 2009.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia Vegetal*. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

TARPLEY, L.; REDDY, K.R.; SASSENATH-COLE, G.F. Reflectance indices with precision and accuracy in predicting cotton leaf nitrogen concentration. *Crop Science*, v. 40, n.6, p.1814-1819. 2000.

THENKABAIL, P.S.; SMITH, R.B.; PAUW, E. Hyperspectral vegetation indices and their relationships with agricultural crop characteristics. *Remote Sensing of Environment*, v.71, n.158–182. 2000.

THESSLER, S.; KOOISTRA, L.; TEYE, F.; HUITU, H.; BREGT, A.K. Geo sensor to support crop production: current applications and user requirements. *Sensors*, v.11, n.7, p. 6656-6687. 2011.

THOMAS, J.R.; GAUSMAN, H.W. Leaf reflectance vs. leaf chlorophyll and carotenoid concentration for eight crops. *Agronomy Journal*, v. 69, p.799-802, 1977.

THOMAS, J.R.; OERTHER, G.F. Estimating nitrogen content of sweet pepper leaves by reflectance measurements. *Agronomy Journal*, v.64, n.1, p.11-13, 1972.

TUCKER, C.J.; GARRATT, M.W. Leaf optical system modelled as a stochastic process. *Applied Optics*, v. 16, p. 635-642. 1977.

VELASCO, L.; MOLLERS, C. Use of near-infrared reflectance spectroscopy to assess nitrogen concentration in different plant tissues of rapeseed. *Communication Soil Science Plant Analysis*, v.20, n.19-20, p.2987-2995. 2000.

VIGNEAU, N.; ECARNOT, M.; RABATEL, G.; ROUMET, P. Potencial of field hyperspectral imaging as a non destructive method to assess leaf nitrogen content in wheat. *Field Crops Research*, v.122, p.25-31. 2011.

VINA, A.A.; GITELSON, A.; RUNDQUIST, D.C.; KEYDAN, G.; LEAVITT, B.; SCHEPERS, J. Monitoring maize (*Zea mays* L.) phenology with remote sensing. *Agronomy Journal*, v. 96, p.1139-1147, 2004.

VOGELMANN, J.E.; ROCK, B.N.; MOSS, D.M. Red edge spectral measurements from sugar maple leaves. *International Journal of Remote Sensing*, v.14, p.1563–1575. 1993.

VOS, J., BOM, M. Hand-held chlorophyll meter: a promising tool to asses the nitrogen status of potato foliage. *Potato Research*, v.36, n.4, p.301-308, 1993.

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

VOS, J.; VAN DER PUTTEN, P.E.L.; BIRCH, C.J. Effect of nitrogen supply on leaf appearance, leaf growth, leaf nitrogen economy and photosynthetic capacity in maize (*Zea mays* L.). *Field Crop Research*, v.93, n.1, p.64-73, 2005.

WALKLEY, A.; BLACK, I.A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, v. 37, p.29-38, 1934.

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

WANG; W.; SMITH, C.J.; CHALK, P.M.; CHEN; C. Evaluating chemical and physical indices of nitrogen mineralization capacity with an unequivocal reference. *Soil Science Society of America Journal*, v.65, p.368-376. 2001.

WATERER, D., HEARD, J. Fertility and Fertilizers. *Manitoba Agriculture, Food and Rural*. http://www.gov.mb.ca/agriculture/crops/potatoes/bda04s04-34.html#Fertility_and_Fertilizers.2010.

WESTERMANN, D.T., KLEINKOPF, G.E. Nitrogen requirements of potatoes. *Agronomy Journal*, v.77, p.616-621, 1985.

WILLIAMS, C.M.J.; MAIER, N. A. Determination of the N status of irrigated potato crops. II. A simple on farm quick test for NO₃-N in petiole sap. *Journal Plant Nutrition*, v.13, p.985-993. 1990.

WU, C.Y.; NIU, Z.; TANG; Q.; HUANG, W.J. Estimating chlorophyll content from hyperspectral vegetation indices: Modeling and validation. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 148, p. 1230–1241, .2008.

WU, J.; WANG, D.; 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*, v.101, p.96-103, 2007.

YABAJI, R.; NUSZ, J.W.; BRONSON, K.F.; MALAPATI, A.; BOOKER, J.D.; NICHOLS, R.L., THOMPSON, T.L. Nitrogen management for subsurface drip irrigated cotton: Ammonium thiosulfate, timing, and canopy reflectance. *Soil Science Society American Journal*, v.73, p.589–597. 2009.

YADAVA, U. L. A rapid and nondestructive method to determine chlorophyll in intact leaves. *Hortscience*, v. 21, p. 1449-1450, 1986.

YODER, B.J., PETTIGREW-CROSBY, R.E. Predicting nitrogen and chlorophyll content and concentrations from reflectance spectra (400–2500 nm) at leaf and canopy scales. *Remote Sensing Environment*, v.53, p.199-211. 1995.

YOUNG, M.W.; MACKERRON, D.K.L.; DAVIES, H.V. Calibration of near infrared reflectance spectroscopy to estimate nitrogen concentration in potato tissues. *Potato Research*, v.40, n.2, p.215-220. 1997.

ZEBARTH, B.J. et al. Mapping spatial variation in potato nitrogen status using the N sensor. *Acta Horticulturae*, n. 627, p.267-273, 2003.

ZEBARTH, B.J.; LECLERC, Y.; MOREAU, G.; SANDERSON, J.B.; ARSENAULT, W.J.; BOTHA, E.; WANG-PRUSKI, G. Estimation of soil nitrogen supply in potato fields using a plant bioassay approach. *Canadian Journal of Soil Science*, 85: 377–386. 2005.

ZEBARTH, B.J.; MILBURN, P.H. Spatial and temporal distribution of soil inorganic nitrogen concentration in potato hills. *Canadian Journal of Soil Science*, 83: 183-195. 2003.

ZEBARTH, B.J.; ROSEN, C. J. Research perspective on nitrogen BMP development for potato. *American Journal of Potato Research*, v. 84, p. 3–18, 2007.

ZEBARTH, B.J.; TAI, G.; TARN, R.; JONG, H.; MILBURN, P.H. Nitrogen use efficiency characteristics of commercial potato cultivars. *Canadian Journal of Plant Science*, v.84, n.2, p.589-598, 2004.

ZHAO, D.; REDDY, K.R.; KAKANI, V.G.; READ, J.J.; CARTER, G.A. Corn (*Zea mays* L.) growth, leaf pigment concentration, photosynthesis and leaf hyperspectral reflectance properties as affected by nitrogen supply. *Plant Soil*, v.257, p.205–217. 2003.

ZHU, J.; TREMBLAY, N.; LIANG, Y. Comparing SPAD and atLEAF values for chlorophyll assessment in crop species. *Canadian Journal of Soil Science*, v.92, n.4, p.645-648. 2012.

ZILLMANN, E.; GRAEF, S.; LINK, J.; BATCHELOR, W.D.; CLAUPEIN, W. Assessment of cereal nitrogen requirements derived by optical on-the-go sensors on heterogeneous soils. *Agronomy Journal*, v.98, n.3, p.682-690. 2006.

ZVOMUYA, F., ROSEN, C.J. Biomass partitioning and nitrogen use efficiency of 'Superior' potato following genetic transformation for resistance to Colorado potato beetle. *Journal American Society Horticultural Science*, v.127, p.703-709, 2003.

APÊNDICES

Tabela 1 – Resumo da análise de variância da produção total (PTot), produção comercial (PCom), número de tubérculos total (NTtotal) e comercial (NTcom) na cultura da batata, cv. Ágata, submetida a fontes e doses diferentes de N.

Fonte de Variação	GL	Quadrados médios (significância)			
		PTot	PCom	N T Total	N T Com.
Blocos	3	119,0152 ^{ns}	73,49 ^{ns}	26,33 ^{ns}	16,21 ^{ns}
Fonte	2	175,8411 ^{ns}	132,61 ^{ns}	47,72 ^{ns}	34,77 ^{ns}
Dose	4	207,5079*	225,28**	553,77*	419,67**
Dose x fonte	8	64,88665 ^{ns}	61,74 ^{ns}	40,78 ^{ns}	37,917 ^{ns}
Resíduo	42	83,50939	73,87	16,54	11,62
CV (%)		19,5	19,115	12,24	15,40

**; * e ^{ns}: significativo a 1; 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente, para o teste F.

Tabela 2 – Resumo da análise de variância do teor nitrogênio total (Ntot4F); teor de nitrogênio orgânico(Nog4F); teor de nitrato (NO₃⁻4F); conteúdo de nitrogênio total (ContN4F); área foliar (AF4F); índice SPAD (SPAD4F); massa fresca (MF4F) e massa seca (MS4F) da quarta folha totalmente expandida da batata aos 21 DAE, submetida a diferentes fontes e doses de N.

Fonte de Variação	GL	Quadrados médios (significância)							
		Ntot4F	Nog4F	NO ₃ ⁻ 4F	ContN4F	AF4F	SPAD 4F	MF4F	MS4F
Blocos	3	0,76	0,505	0,19	0,023	6856,22	6,49	1,56	0,017
Fonte	2	0,45 ^{ns}	0,67 ^{ns}	0,040 ^{ns}	0,008*	2123,1*	1,40 ^{ns}	2,14 ^{ns}	0,035*
Dose	4	13,07*	4,105*	2,644**	0,565**	21616*	108,18*	5,43**	0,768**
Dose x fonte	8	11,2 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,044 ^{ns}	0,016 ^{ns}	2089,3 ^{ns}	1,66 ^{ns}	0,97 ^{ns}	0,051 ^{ns}
Resíduo	42	0,249	0,187	0,069	0,004	2578,93	3,04	0,89	0,021
CV (%)		9,29	9,896	26,11	15,32	21,11	4,59	7,9	17,98

**; * e ^{ns}: significativo a 1; 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente, para o teste F

Tabela 3 – Resumo da análise de variância do teor nitrogênio total (NtotF); teor de nitrogênio orgânico(NorgF); teor de nitrato (NO₃⁻F); conteúdo de nitrogênio total (CNF); número (N^o F); área foliar (AFT); massa fresca (MFF) e massa seca (MSF) da folhagem de plantas de batata aos 21 DAE, submetida a diferentes fontes e doses de N.

Fonte de Variação	GL	Quadrados médios (significância)							
		NtotF	NorgF	NO ₃ ⁻ F	CNF	N ^o F	AFT	MFF	MSF
Blocos	3	0,628	0,644	0,023	24,16	2,64	1015074,0	5655,528	117,2
Fonte	2	0,46 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,01 ^{ns}	30,6 ^{ns}	24,6 ^{ns}	2539020 ^{ns}	1857,91 ^{ns}	79,1 ^{ns}
Dose	4	3,759*	0,959 *	1,591*	93,65 *	93,2**	8577569**	9292,48*	145,2*
Dose x fonte	8	0,26 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,01 ^{ns}	9,21 ^{ns}	220 ^{ns}	129819,9 ^{ns}	2142,45 ^{ns}	17,5 ^{ns}
Resíduo	42	0,480	0,426	0,013	5,74	182,0	337254,0	1969,766	24,11
CV (%)		13,67	14,92	16,38	24,64	24,18	13,75	17,85	25,83

**; * e ^{ns}: significativo a 1; 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente, para o teste F.

Tabela 4 – Resumo da análise de variância do teor nitrogênio total (NtotHt); teor de nitrogênio orgânico(NorgHt); teor de nitrato (NO₃⁻Ht); conteúdo de nitrogênio total (CNHt); massa fresca (MFHt) e massa seca (MSHt) das hastes de plantas de batata aos 21 DAE, submetida a diferentes fontes e doses de N.

Fonte de Variação	GL	Quadrados médios (significância)						
		NtotHt	NorgHt	NO ₃ ⁻ Ht	CN Ht	CompHt	MFHt	MSHt
Blocos	3	3,52	0,32	0,33	0,0083	29,72	509,04	10,32
Fonte	2	1,31 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,105 ^{ns}	0,001 ^{ns}	4,15 ^{ns}	203,81 ^{ns}	0,92 ^{ns}
Dose	4	13,19*	0,50**	1,19*	0,018**	83,69**	1130,2*	8,02*
Dose x fonte	8	6,81 ^{ns}	0,066 ^{ns}	0,065 ^{ns}	0,009 ^{ns}	2,81 ^{ns}	506,00 ^{ns}	7,60 ^{ns}
Resíduo	42	6,08	0,29	0,18	0,0033	13,55	403,34	4,17
CV (%)		29,26	29,13	25,52	24,85	9,27	20,95	27,58

**; * e ^{ns}: significativo a 1; 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente, para o teste F.

Tabela 5 – Resumo da análise de variância do teor nitrogênio total (Ntot); teor de nitrogênio orgânico(Nog); teor de nitrato (NO₃⁻); conteúdo de nitrogênio total (CNtotal); área foliar (AFQF); índice SPAD (SPAD); comprimento (CQF); número de folíolos (NFo); massa fresca (MFQF) e massa seca (MSQF); largura (LQF); nota da quarta folha totalmente expandida da batata aos 21 DAE e da produção comercial de tubérculos, submetida a diferentes fontes e doses de N.

Fonte de Variação	GL	Quadrados médios (significância)												
		NOrg.	NO ₃ -	Ntotal	CNtotal	SPAD	AFQF	CQF	NFo	MFQF	MSQF	LQF	Nota	PRODCom
Blocos	3	0,16	5,54	1,09	0,015	0,66	150,82	0,15	0,018	3,68	0,051	7,105	0,583	14,12
Dose	4	5,61*	0,74 **	5,12 *	0,119**	40,7*	12891**	30,27*	4,241*	15,35*	0,102**	0,892*	4,20*	78,22*
Resíduo	12	0,25	2,41	2,37	0,007	0,71	1143,05	0,52	0,408	1,022	0,018	2,393	0,166	7,63
Média Geral														
CV (%)		12,11	25,79	28,74	22,14	2,12	12,86	3,68	11,14	15,68	18,98	11,71	12,18	6,38

** , * e ^{ns}: significativo a 1; 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente, para o teste F.