

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

CAROLINE MERLO MENEGHELLI

**PROPOSIÇÃO DE ALGORITMOS BASEADOS EM ANÁLISE DE IMAGENS PARA
RECOMENDAR A DOSE DE NITROGÊNIO EM COBERTURA NA CULTURA DA
BATATA**

**VIÇOSA – MINAS GERAIS
2022**

CAROLINE MERLO MENEGHELLI

**PROPOSIÇÃO DE ALGORITMOS BASEADOS EM ANÁLISE DE IMAGENS PARA
RECOMENDAR A DOSE DE NITROGÊNIO EM COBERTURA NA CULTURA DA
BATATA**

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*.

Orientador: Paulo Cezar Rezende Fontes

Coorientadora: Carla do Carmo Milagres

**VIÇOSA – MINAS GERAIS
2022**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

M541p
2022
Meneghelli, Caroline Merlo, 1993-
Proposição de algoritmos baseados em análise de imagens
para recomendar a dose de nitrogênio em cobertura na cultura da
batata / Caroline Merlo Meneghelli. – Viçosa, MG, 2022.
1 tese eletrônica (115 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Paulo Cezar Rezende Fontes.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Agronomia, 2022.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2022.246>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. *Solanum tuberosum*. 2. Batata - Adubos e fertilizantes.
3. Agricultura de precisão. 4. Inovações tecnológicas. I. Fontes,
Paulo Cezar Rezende, 1948-. II. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Agronomia. Programa de Pós-Graduação em
Fitotecnia. III. Título.

CDD 22. ed. 635.21894

Bibliotecário(a) responsável: Alice Regina Pinto CRB6 2523

CAROLINE MERLO MENEGHELLI

**PROPOSIÇÃO DE ALGORITMOS BASEADOS EM ANÁLISE DE IMAGENS PARA
RECOMENDAR A DOSE DE NITROGÊNIO EM COBERTURA NA CULTURA DA
BATATA**

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: 21 de fevereiro de 2022.

Assentimento:



Caroline Merlo Meneghelli
Autora



Paulo Cezar Rezende Fontes
Orientador

À minha família, minha base.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por estar presente em todos os momentos da minha vida, guiar e abençoar meus passos.

A Universidade Federal de Viçosa e, em especial, ao Departamento de Fitotecnia, pela estrutura e oportunidade da realização do curso.

Ao CAPES e CNPq pela concessão da bolsa.

Ao professor orientador Paulo Cezar Rezende Fontes, pela orientação, ensinamentos, amizade, estímulo e confiança.

A minha coorientadora Carla do Carmo Milagres, pela atenção, colaborações, ensinamentos e amizade.

À toda minha família, pelo amor e carinho de sempre. Em especial ao meu pai e minha mãe (*in memoriam*), minha maior motivação para seguir em frente.

A todos meus amigos da Pós-graduação, pelo apoio e amizade. Em especial aos amigos Karoline, Louise, Jhuly, José Maria, a minha irmã Lorena e aos colegas do Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas.

Aos funcionários da Horta Nova de pesquisa do Departamento de Agronomia e aos técnicos do laboratório de Nutrição Mineral, Edimaldo e Itamar, pelas colaborações, ensinamentos e auxílio fundamental nas análises.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001”.

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

Muito obrigada!

BIOGRAFIA

Caroline Merlo Meneghelli, filha de Maria Naidés Merlo e Antônio José Meneghelli, nasceu no dia 02 de novembro de 1993, na cidade de Santa Teresa-ES.

No ano de 2010 concluiu o ensino médio pela EEFM “Frederico Pretti”. Iniciou o curso de graduação em Agronomia em março de 2011 no Instituto Federal do Espírito Santo- *campus* Santa Teresa, concluindo em dezembro de 2015. Em março de 2016 iniciou na Universidade Federal do Espírito Santo, ES, o Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, na área de recursos hídricos e geoprocessamento agrícola de sistemas, concluindo em fevereiro de 2018. No mesmo ano, iniciou na Universidade Federal de Viçosa, MG, o Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, na área de Nutrição Mineral de Plantas.

RESUMO

MENEGHELLI, Caroline Merlo, D.Sc. Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2022. **Proposição de algoritmos baseados em análise de imagens para recomendar a dose de nitrogênio em cobertura na cultura da batata.** Orientador: Paulo Cezar Rezende Fontes. Coorientadora: Carla do Carmo Milagres.

O nitrogênio (N) desenvolve papéis obrigatórios na planta, sendo componente da clorofila, aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, coenzimas e constituintes da membrana. O objetivo do trabalho foi avaliar a proposição de algoritmos baseados em análise de imagens para recomendar a dose de nitrogênio em cobertura na cultura da batata. Os experimentos foram conduzidos na Horta Nova do Departamento de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa, no período de junho a setembro dos anos de 2018 e 2019 e foram instalados no delineamento de blocos casualizados, no esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições, cujos tratamentos, na parcela, foram por cinco doses de N em pré-plantio e nas subparcelas por três critérios de recomendação de adubação nitrogenada em cobertura. No momento da amontoa, o clorofilômetro (SPAD) foi utilizado como indicador da necessidade de adubação em cobertura, após a medição na quarta folha a partir do ápice da planta e cálculo do índice de suficiência de N. As variáveis analisadas foram o valor SPAD, quantidade de N aplicado aos 21 dias após a emergência (DAE), produtividade total, produtividade comercial, número de tubérculos comerciais e não comerciais, teor de matéria seca de tubérculos, massa seca da parte aérea, massa seca de tubérculos, teor de matéria seca total, teor de N da quarta folha, teor de N da parte aérea, teor de N dos tubérculos, quantidade de N absorvido pela parte aérea, tubérculos e total, índice de colheita, eficiência de uso de N, eficiência agrônômica de N e eficiência fisiológica de N. Os dados foram avaliados por meio de análise de variância. Para o fator qualitativo as médias foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade, e para o fator quantitativo foi utilizada análise de regressão. As variáveis foram significativamente influenciadas pela dose de N aplicado no momento do plantio. Os maiores valores das variáveis foram obtidos quando se aplicou de 200 a 300 kg.ha⁻¹ de N. Com relação às variáveis de eficiência de uso de N, eficiência agrônômica de N, os melhores valores foram aqueles nos quais se aplicaram em média de 100 a 150 kg.ha⁻¹ de N. Para o experimento que tinha como objetivo verificar a possibilidade de utilizar a análise de imagens digitais na avaliação do status de N da batata, o delineamento foi em blocos

ao acaso, no esquema fatorial 5x3 (dose de N x época de avaliação), com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos pelas doses 0, 50, 100, 200 e 300 kg.ha⁻¹ de N, e pelas épocas de avaliação, 21, 48 e 77 dias após a emergência. As avaliações foram realizadas na quarta folha completamente expandida a partir do ápice do ramo principal, avaliando-se as seguintes variáveis: índice SPAD, índices de balanço de nitrogênio (NBI), de Clh e Flv, característica da imagem e teor de N. Na análise de imagem, a superfície foliar foi digitalizada com um scanner de mesa e fotografada com um smartphone. Utilizando os valores médios dos componentes vermelho, verde e azul das imagens, foram calculadas dez diferentes combinações de funções desses planos. As funções nomeadas 3, 7, 8 e 9, tanto para o scanner, quanto para o smartphone, foram as que apresentam os maiores coeficientes de correlação com o SPAD, N total e Chl. Conclui-se que a análise de imagens obtidas por scanner ou smartphone utilizando as funções 3, 7, 8 e 9 estimam adequadamente o status de N da batata.

Palavras-chave: *Solanum tuberosum* L.. Adubação. Nutriente. Agricultura de Precisão. Novas Tecnologias.

ABSTRACT

MENEGHELLI, Caroline Merlo, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2022. **Proposition of algorithms based on image analysis to recommend the dose of nitrogen in topdressing in the potato crop.** Adviser: Paulo Cezar Rezende Fontes. Co-adviser: Carla do Carmo Milagres.

Nitrogen (N) plays mandatory roles in the plant, being a component of chlorophyll, amino acids, proteins, nucleic acids, coenzymes and membrane constituents. The objective of this work was to evaluate the proposition of algorithms based on image analysis to recommend the dose of nitrogen in topdressing in the potato crop. The experiments were conducted in Horta Nova of the Department of Agronomy of the Federal University of Viçosa, from June to September of the years 2018 and 2019 and were installed in a randomized block design, in a split-plot design, with four replications, whose treatments, in the plot, they were by five doses of N in pre-planting and in the subplots by three criteria of recommendation of nitrogen fertilization in cover. At the time of hilling, the chlorophyll meter (SPAD) was used as an indicator of the need for topdressing fertilization, after measuring the fourth leaf from the apex of the plant and calculating the N sufficiency index. The variables analyzed were the SPAD value, amount of N applied at 21 days after emergence (DAE), total yield, commercial yield, number of commercial and non-commercial tubers, tuber dry matter content, shoot dry mass, tubers dry mass, dry matter content total, fourth leaf N content, area N content, N content of tubers, amount of N absorbed by shoots, tubers and total, harvest index, N use efficiency, N agronomic efficiency and physiologic of N. Data were evaluated by means of analysis of variance. For the qualitative factor, the means were compared using the Tukey test at 5% probability, and for the quantitative factor, regression analysis was used. The variables were significantly influenced by the dose of N applied at the time of planting. The highest values of the variables were obtained when 200 to 300 kg.ha⁻¹ of N were applied. Regarding the variables of N use efficiency, N agronomic efficiency, the best values were those in which they were applied in an average of 100 to 150 kg.ha⁻¹ of N. For the experiment that aimed to verify the possibility of using digital image analysis to evaluate the N status of potatoes, the design was in randomized blocks, in a 5x3 factorial scheme (N dose x evaluation time), with four replications. The treatments consisted of the doses 0, 50, 100, 200 and 300 kg.ha⁻¹ of N, and the evaluation times, 21, 48 and 77 days after emergence. The

evaluations were carried out on the fourth leaf completely expanded from the apex of the main branch, evaluating the following variables: SPAD index, nitrogen balance indices (NBI), Clh and Flv, image characteristic and N content. In image analysis, the leaf surface was scanned with a flatbed scanner and photographed with a smartphone. Using the average values of the red, green and blue components of the images, ten different combinations of functions of these planes were calculated. The functions named 3, 7, 8 and 9, both for the scanner and for the smartphone, were the ones with the highest correlation coefficients with SPAD, total N and Chl. It is concluded that the analysis of images obtained by scanner or smartphone using functions 3, 7, 8 and 9 adequately estimate the N status of potato.

Keywords: *Solanum tuberosum* L.. Nutrient. Fertilizing. Precision Agriculture. New Technologies.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Capítulo I

- Figura 1 Relação entre a quantidade de N aplicada em cobertura e a dose de nitrogênio aplicada em pré-plantio em cada critério de recomendação de N em cobertura nos experimentos de 2018 (a) e 2019 (b) 35
- Figura 2 Relação entre doses de N aplicadas em pré-plantio e os valores médios do índice SPAD na folha de batata nos experimentos de 2018 (a) e 2019 (b)..... 37
- Figura 3 Relação entre doses de N aplicadas em pré-plantio e a produtividade total de tubérculos nos experimentos de 2018 (a) e 2019 (b) 41
- Figura 4 Relação entre doses de N aplicadas em pré-plantio e a produtividade comercial de tubérculos nos experimentos de 2018 (a) e 2019 (b)..... 42
- Figura 5 Relação entre doses de N aplicadas em pré-plantio e a massa seca da parte aérea no experimento de 2018..... 44
- Figura 6 Relação entre doses de N aplicadas em pré-plantio e a massa seca de tubérculos nos experimentos de 2018 (a) e 2019 (b) 45
- Figura 7 Relação entre doses de N aplicadas em pré-plantio e a massa seca total de planta nos experimentos de 2018 (a) e 2019 (b)..... 46

Capítulo II

- Figura 1 Relação entre doses de N aplicadas em pré-plantio e o teor de N da quarta folha no experimento de 2018 (a) e 2019 (b) 67
- Figura 2 Teor de N da parte aérea em função das doses de nitrogênio aplicadas em pré-plantio no experimento de 2018 (a) e 2019 (b) 68

Figura 3	Teor de N dos tubérculos em função das doses de nitrogênio aplicadas em pré-plantio e dos critérios de recomendação de N em cobertura no experimento de 2018 (a) e teor de N dos tubérculos em função das doses de nitrogênio aplicadas em pré-plantio no experimento de 2019 (b)	69
Figura 4	Quantidade de N absorvido pela parte aérea em função das doses de nitrogênio aplicadas em pré-plantio no experimento de 2018 (a) e 2019 (b)	71
Figura 5	Quantidade de N absorvido pelos tubérculos em função das doses de nitrogênio aplicadas em pré-plantio no experimento de 2018 (a) e 2019 (b)	72
Figura 6	Quantidade total de N absorvido pela planta em função das doses de nitrogênio aplicadas em pré-plantio no experimento de 2018 (a) e 2019 (b)	73
Figura 7	Eficiência de uso do N na matéria seca em função das doses de nitrogênio aplicadas em pré-plantio e dos critérios de recomendação de N em cobertura no experimento de 2018 (a) e em função das doses de N aplicadas em pré-plantio (b) e dos critérios de recomendação de N em cobertura (c) no experimento de 2019.	74
Figura 8	Eficiência de uso do N no peso fresco de tubérculos em função das doses de nitrogênio aplicadas em pré-plantio e dos critérios de recomendação de N em cobertura no experimento de 2018 (a) e em função das doses de N aplicadas em pré-plantio (b) e dos critérios de recomendação de N em cobertura (c) no experimento de 2019	75
Figura 9	Eficiência agrônômica de N em função das doses de nitrogênio aplicadas em pré-plantio (Figura a-b) e em função dos critérios de recomendação de N em cobertura (Figura c-d) no experimento de 2018 e 2019, respectivamente	78

Capítulo III

Figura 1 Caixa utilizada para fotografar as folhas de batata	94
Figura 2 Imagem digital obtida pelo scanner antes (a) e após passar pelo software ImageJ® (b).	95
Figura 3 Relação entre doses de N aplicadas em pré-plantio e os valores médios do Índice SPAD, NBI, Chl (a), Flv (b) e teor de nitrogênio (c) na folha de batata.....	97
Figura 4 Valor R (a) e G (b) obtidos pelo scanner em função das épocas de avaliação e doses de nitrogênio aplicadas em pré-plantio e valores de G (c) obtidos pelo smartphone em função das doses de nitrogênio aplicadas em pré-plantio.....	100
Figura 5 Função 5 obtida pelo scanner (a) e funções 1 (b), 2 (c) e (d) 4 obtidas pelo smartphone em função das épocas de avaliação e doses de nitrogênio aplicadas em pré-plantio	103

LISTA DE TABELAS

Capítulo I

Tabela 1 Valor mensal de temperatura máxima, mínima e média, umidade relativa do ar máxima e mínima e precipitação pluviométrica no período do experimento de 201827

Tabela 2 Valor mensal de temperatura máxima, mínima e média, umidade relativa do ar máxima e mínima e precipitação pluviométrica no período do experimento de 201928

Tabela 3 Características químicas e físicas do solo nas camadas 0-20 cm de profundidade, antes da instalação dos experimentos, nos anos de 2018 e 2019. ...28

Tabela 4 Equações ajustadas, nível crítico, dose de N e dose de N por unidade SPAD em resposta ao índice SPAD para os critérios A1 e A230

Tabela 5 Valores médios das variáveis produtividade não comercial (PNC), número de tubérculos comerciais (NTC), número de tubérculos não comerciais (NTNC) e teor de matéria seca de tubérculos (TMST) para o experimento de 2018.....38

Tabela 6 Valores médios das variáveis produtividade não comercial (PNC), número de tubérculos comerciais (NTC), número de tubérculos não comerciais (NTNC), massa seca da parte aérea (MSPA) e teor de matéria seca de tubérculos (TMST) para o experimento de 2019.....40

Capítulo II

Tabela 1 Valores médios das variáveis índice de colheita (IC), eficiência de utilização do N (EUTN), eficiência de absorção do N (EABN) e eficiência fisiológica do N (EFN) para o experimento de 2018.....65

Tabela 2 Valores médios das variáveis índice de colheita (IC), eficiência de utilização do N (EUTN), eficiência de absorção do N (EABN) e eficiência fisiológica do N (EFN) para o experimento de 2019	66
--	----

Capítulo III

Tabela 1 Características químicas e físicas do solo nas camadas 0-20 cm de profundidade, antes da instalação do experimento	92
---	----

Tabela 2 Funções combinando R, G e B para o scanner e smartphone	96
--	----

Tabela 3 Valores médios dos índices SPAD, NBI, Chl, Flv e teor de nitrogênio em função das épocas de avaliação aos 21, 48 e 77 DAE	97
--	----

Tabela 4 Valor de B obtido pelo scanner e R e B obtidos pelo smartphone em função das épocas de avaliação	101
---	-----

Tabela 5 Funções 1, 2, 3 e 4 obtidas pelo scanner e 3 e 5 obtidas pelo smartphone	104
---	-----

Tabela 6 Correlações das funções com as variáveis analisadas na primeira época de avaliação (21 DAE).	104
---	-----

Tabela 7 Correlações das funções com as variáveis analisadas na segunda época de avaliação (77 DAE)	105
---	-----

Tabela 8 Correlações das funções com as variáveis analisadas na terceira época de avaliação (77 DAE)	105
--	-----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL.....	16
REFERÊNCIAS.....	20
CAPÍTULO I- PRODUTIVIDADE DA BATATA EM RESPOSTA À APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO EM COBERTURA COM USO DE ALGORITMOS	23
1 INTRODUÇÃO	25
2 MATERIAL E MÉTODOS	27
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4 CONCLUSÃO	49
REFERÊNCIAS.....	50
CAPÍTULO II- ÍNDICES DE EFICIÊNCIA DO NITROGÊNIO EM BATATA EM FUNÇÃO DE DOSES DE NITROGÊNIO EM COBERTURA COM USO DE ALGORITMOS	55
1 INTRODUÇÃO	58
2 MATERIAL E MÉTODOS	61
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	65
4 CONCLUSÃO	81
REFERÊNCIAS.....	82
CAPÍTULO III- STATUS DE NITROGÊNIO EM BATATA VIA ANÁLISE DE IMAGEM	86
1 INTRODUÇÃO	88
2 MATERIAL E MÉTODOS	92
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	97
4 CONCLUSÃO	110
REFERÊNCIAS.....	111

1 INTRODUÇÃO GERAL

A batata (*Solanum tuberosum*) é considerada o sexto mais importante produto agrícola, depois da cana-de-açúcar, milho, arroz, trigo e leite (Enciso-Rodriguez et al., 2018). Os tubérculos de batata são ricos em amido e contêm minerais e vitaminas, além de aminoácidos essenciais. O tubérculo contém metabólitos secundários relacionados à saúde humana, como carotenoides, principalmente xantofilas e antocianinas, além de glicoalcalóides esteroides tóxicos (Fogelman et al., 2019). Devido à composição em nutrientes e ao alto teor de amido, a batata serve como alimento básico, ração e matéria-prima para diversos fins industriais, incluindo a produção de bioetanol e espessante de alimentos (Van Harselaar et al., 2017).

Para uma boa produção de batata é necessário adequado programa de manejo dos nutrientes que refletirá na produtividade das plantas e na saúde dos consumidores. No manejo dos nutrientes, a aplicação de fertilizantes é a ferramenta central para alta produtividade e qualidade dos tubérculos de batata (Nurmanov; Chernenok; Kuzdanova, 2019). Dos nutrientes, um dos mais significativos para o crescimento e desenvolvimento de biomassa das plantas é o nitrogênio (N) (Hopkins et al., 2008).

O N desenvolve papéis obrigatórios na planta como componente da clorofila, aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, coenzimas e constituintes da membrana (Andrews et al., 2013). Adicionalmente, o N modula a arquitetura das plantas refletindo no aumento da produtividade (Nunes et al., 2006; Le et al., 2020). Recentemente, descobriu-se que o nitrato e alguns de seus derivados metabólicos (controlando a expressão de mais de 1000 genes) são essenciais como compostos semelhantes a hormônios, determinando em última análise as peculiaridades da morfogênese e dos processos de produção nas plantas. Em resposta às flutuações externas de suprimento de N, as plantas podem ativar redes regulatórias complexas para otimizar a absorção e utilização de N via sensores responsivos ao N, transportadores e moléculas de sinalização (Xuan et al., 2017). O papel do nitrato absorvido pela planta, como importante agente de sinalização, é evidente em diferentes células, tecidos e órgãos, bem como na regulação do metabolismo geral (Izmailova et al., 2018).

Apesar de especificidade varietal (Van Dingenen et al., 2019), a nutrição nitrogenada tem impacto direto no desenvolvimento da planta e na produtividade e qualidade dos tubérculos de batata (Mahamud et al., 2015; Nurmanov; Kuzdanova,

2017). O N incorpora-se às plantas de batata principalmente durante a primeira metade do período de vegetação, quando as hastes e folhas crescem intensamente (Nurmanov; Eleshev, 2017). Com isso, aumenta-se a eficiência da fotossíntese, pelo aumento da taxa de interceptação de radiação e partição de matéria seca e formação dos tubérculos (Ahmed et al., 2015). Assim, é necessário adequado suprimento de N para alcançar produtividades economicamente viáveis e para atingir metas de qualidade para o processamento dos tubérculos produzidos (Cambouris et al., 2016).

A deficiência de N é caracterizada pela baixa taxa de crescimento da planta, folhas de tamanho reduzido, morte prematura das folhas mais velhas, raízes sem ramificações, colapsos e distúrbios gerais no desenvolvimento dos cloroplastos, folhas cloróticas com necroses no estágio mais avançado da deficiência (Mengel; Kirkby, 1987). Por outro lado, o excesso de N pode prolongar a fase vegetativa e, assim, interferir no início da tuberização da batata, diminuindo a produtividade e acúmulo de matéria seca nos tubérculos (Dangi et al., 2018). Além disso, a aplicação excessiva de N aumenta o potencial de lixiviação do nutriente (Wen et al., 2019) e problemas ambientais.

A dose de N que propicia a máxima produtividade de tubérculos é variável, sendo dependente de diversos fatores relacionados ao solo, à planta e às condições ambientais que modelam a produtividade esperada e a eficiência do seu uso. De maneira geral, na região sudeste brasileira, é necessário aplicar 1 kg de N para a produção de 190 ± 40 kg de tubérculos de batata (Fontes; de Castro Silva; Miranda, 2012). Assim, para obter-se $31,6 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, média brasileira (IBGE, 2019), a aplicação de N deve variar de 140 a $210 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Há situações diferenciadas nas regiões brasileiras, pois a dose ótima a ser fornecida depende de vários fatores, como produtividade esperada, pluviosidade, cultura anterior, práticas culturais, modelo ajustado, entre outros (Fontes, 2001).

Em termos teóricos, a dose de N é ditada pela combinação dos fatores demanda da planta, capacidade do solo, eficiência de utilização do N e de partição de assimilados, em complexa interação solo-planta-ambiente (Fontes; de Castro Silva; Miranda, 2012). O fornecimento de dose insuficiente ou mais do que suficiente de N pode diretamente e indiretamente reduzir a produtividade e, conseqüentemente, a lucratividade da cultura (Coelho et al., 2010), influenciar a qualidade dos tubérculos, a eficiência do uso do N do fertilizante além de propiciar risco ambiental. Normalmente, a dose de N ainda tem sido estabelecida por meio de curvas de resposta obtidas no

campo, uma vez que não pode ser adequadamente prevista pela análise do solo (Coelho; Fontes, 2005). Baseado em abrangente revisão da literatura, as doses ótimas de N resultaram em aumento da produtividade e eficiência do uso de N e redução dos impactos ambientais negativos, os quais desempenham papel importante na manutenção da produção sustentável de batata (Wang et al., 2020).

Normalmente, a dose de N é parcelada, sendo parte aplicada antes do plantio e o restante em cobertura (Milagres et al., 2019). O parcelamento da dose de N é recomendado no intuito de melhorar o aproveitamento do nutriente pelo sistema radicular das plantas, sendo necessário que parte da dose seja adicionada no sulco de plantio. Há estudos indicando que, em determinadas situações, a aplicação do fertilizante nitrogenado em duas vezes é mais eficiente do que a aplicação total no plantio, pois favorece a absorção do nutriente e aumenta o peso do tubérculo e, conseqüentemente, a produção (Cardoso et al., 2007).

Mas, uma dúvida que existe é quanto aplicar de N em cobertura. Como a análise do solo ainda não é comum para o N, pode ser utilizada a análise da planta para indicar o parcelamento da dose de N, aplicando-se o princípio da “adubação quando necessária” (Schepers et al., 1992). Neste caso, para complementar a quantidade de N aplicada no momento do plantio, a resposta de quanto aplicar de N em cobertura deve ser dada pela planta, via índices da avaliação do estado de N apropriadamente calibrados (Fontes, 2011).

Técnicas de diagnóstico do estado nutricional vem sendo desenvolvidas com a finalidade de avaliar o estado de N nas plantas ou até mesmo de adequar o programa de adubação para a cultura. Há diversos índices para a avaliação do estado de N da planta, com destaque para o teor de N na matéria seca da folha ou parte da folha, a massa de matéria seca da planta, o teor e a quantidade de N acumulada pela planta, teor de $N-NO_3^-$ na seiva do pecíolo, intensidade da cor verde da folha, teor de clorofila na folha, índices espectrais da folha, índice relativo de clorofila (IRC), índice SPAD, índice DUALEX (Chl, Flv e NBI) e outros (Fontes; Araújo, 2007; Fontes, 2016). Nesse contexto, o gerenciamento para a melhoria da eficiência do uso do N passa pela resposta de quanto de N aplicar em cobertura na cultura da batata.

Assim, os objetivos da tese são:

a) Determinar o efeito do modo de aplicar N por meio de algoritmos obtidos com as características teores de clorofila e de N na folha sobre a produtividade total e comercial da batata;

- b) Avaliar o efeito do modo de aplicação de N por meio de algoritmos obtidos com as características teores de clorofila e de N na folha sobre diferentes índices de eficiência do N em batata Asterix;
- c) Avaliar a utilização de análises de imagens originadas de scanner e smartphone sobre o diagnóstico do status de N em batata
- d) Propor funções a partir de análise digital de imagens utilizadas no diagnóstico do status de N em batata.

REFERÊNCIAS

- AHMED, A.; ZAKI, M.; SHAFEEK, M.; HELMY, Y.; EL-BAKY, M. A. Integrated use of farmyard manure and inorganic nitrogen fertilizer on growth, yield and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.). **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 4, p. 325–349, 2015.
- ANDREWS, M.; RAVEN, J. A.; LEA, P. J. Do plants need nitrate? The mechanisms by which nitrogen form affects plants. **Annals of applied biology**, v. 163, p. 174-199, 2013.
- CAMBOURIS, A. N.; ST LUCE, M.; ZEBARTH, B. J.; ZIADI, N.; GRANT, C. A.; PERRON, I. Potato response to nitrogen sources and rates in an irrigated Sandy soil. **Agronomy Journal**, v. 108, p. 391-401, 2016.
- CARDOSO, A. D.; ALVARENGA, M. A. R.; MELO, T. L.; VIANA, A. E. S. Produtividade e qualidade de tubérculos de batata em função de doses e parcelamento de nitrogênio e potássio. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, p. 1729-1736, 2007.
- COELHO, E. L.; FONTES, P. C. R. Índices agronômicos do meloeiro associado 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.; FONTES, P. C. R.; PUIATTI, M.; NEVES, J. C. L.; SILVA, M. C. D. C. Dose de nitrogênio associada à produtividade de batata e índices do estado de nitrogênio na folha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1175-1183, 2010.
- DANGI, R. S.; SINGH, S. P.; GAUR, D.; DIXIT, J. P.; SHARMA, S.; PATIDAR, R. Response of potato (*Solanum tuberosum* L.) to nitrogen levels under different cultural practices. **International Journal of Chemical Studies**, v. 6, n. 4, p. 1589-1593, 2018.
- ENCISO-RODRIGUEZ, F.; DOUCHES, D.; LOPEZ-CRUZ, M.; COOMBS, J.; DE LOS CAMPOS, G. Genomic selection for late blight and common scab resistance in tetraploid potato (*Solanum tuberosum*). **G3: Genes, Genomes, Genetics**, v. 8, n. 7, p. 2471-2481, 2018.
- FOGELMAN, E.; OREN-SHAMIR, M.; HIRSCHBERG, J.; MANDOLINO, G.; PARISI, B.; OVADIA, R.; TANAMI, Z.; FAIGENBOIM, A.; GINZBERG, I. Nutritional value of potato (*Solanum tuberosum*) in hot climates: anthocyanins carotenoids, and steroidal glycoalkaloids. **Planta**, v. 249, n. 4, p. 1143-1155, 2019.
- FONTES, P. C. R. **Diagnóstico do estado nutricional das plantas**. Viçosa, MG: UFV, 2001. 122p.
- FONTES, P. C. R. **Nutrição mineral de plantas: anamnese e diagnóstico**. Viçosa, Editora UFV, 2016. 216p.

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

FONTES, P. C. R.; DE CASTRO SILVA, M. C.; MIRANDA, G. V. Statistical models in plant diagnosis and calculating recommended nitrogen rates. **Sustainable Potato Production: Global Case Studies**, p. 391-402, 2012.

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

HOPKINS, B. G.; ROSEN, C. J.; SHIFFLER, A. K.; TAYSOM, T. W. Enhanced efficiency fertilizers for improved nutrient management: Potato (*Solanum tuberosum* L.). **Crop Management**, v. 7, n. 1, p. 1-16, 2008.

IBGE. **Sistema IBGE de recuperação automática - SIDRA**. 2019. Disponível em: <<http://www.ibge.com.br>>. Acesso em: 20 nov. 2020.

IZMAILOV, S. F.; NIKITIN, A. V.; RODIONOV, V. A. Nitrate signaling in plants: introduction to the problem. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 65, n. 4, p. 477-489, 2018.

LE, L.; ZHANG, Y.; XU, G. How does nitrogen shape plant architecture? **Journal of Experimental Botany**, v. 71, n. 15, p. 4415-4427, 2020.

MAHAMUD, M. A.; CHOWDHURY, M. A. H.; RAHIM, M. A.; MOHIUDDIN, K. M. Mineral nutrient contents of some potato accessions of USA and Bangladesh. **Journal of the Bangladesh Agricultural University**, v. 13, n. 2, p. 207-214, 2015.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. Bern: International Potash Institute, 1987. 687p.

MILAGRES, C. C.; FONTES, P. C. R.; SILVA, J. M. Potato tuber yield and plant morphological descriptors as affected by nitrogen application. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 50, n. 15, p. 1897-1906, 2019.

NUNES, J. C. S.; FONTES, P. C. R.; ARAÚJO, E. F. Potato plant growth and macronutrients uptake as affected by soil tillage and irrigation systems. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 12, p. 1787-1792, 2006.

NURMANOV, E. T.; ELESHEV, R. E. Effect of N fertilizer on productivity and quality potato varieties Tamasha. News of the Nacional Academy of Sciences of the Republico f Kazakhstan. **Agricultural Sciences**, v. 1, n. 37, p. 56-62, 2017.

NURMANOV, E. T.; KUZDANOVA, R. SH. The effect of nitrogen fertilizers on Newskiy potato productivity and a quality under settings of Karaganda Region. **A Econ.: Econ. Agric.**, v. 11, n. 23, 2017.

NURMANOV, Y. T.; CHERNENOK, V. G.; KUZDANOVA, R. S. Potato in response to nitrogen nutrition regime and nitrogen fertilization. **Field crops research**, v. 231, p. 115-121, 2019.

OLIVEIRA, R. C.; DA SILVA, J. R. R.; LANA, R. M. Q.; DE AZEVEDO PEREIRA, A. I.; CASTOLDI, R.; DE CAMARGO, R.; LUZ, J. M. Q. Fertilizer application levels in potato crops and the Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS). **Agronomy**, v. 11, n. 51, p 1-13, 2021.

SCHEPERS, J. S.; FRANCIS, D. D.; VIGIL, M.; BELOW, F. E. Comparação da concentração de nitrogênio na folha do milho e leituras do medidor de clorofila. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 23, p. 2173-2187, 1992.

VAN DINGENEN, J.; HANZALOVA, K.; SALEM, M. A. A.; ABEL, C.; SEIBERT, T.; GIAVALISCO, P.; WAHL, V. Limited nitrogen availability has cultivar-dependent effects on potato tuber yield and tuber quality traits. **Food chemistry**, v. 288, p. 170-177, 2019.

VAN HARSSELAAR, J. K.; LORENZ, J.; SENNING, M.; SONNEWALD, U.; SONNEWALD, S. Genome-wide analysis of starch metabolism genes in potato (*Solanum tuberosum* L.). **BMC genomics**, v. 18, n. 1, p. 1-18, 2017.

WANG, C.; ZANG, H.; LIU, J.; SHI, X.; LI, S.; CHEN, F.; CHU, Q. Optimum nitrogen rate to maintain sustainable potato production and improve nitrogen use efficiency at a regional scale in China. A meta-analysis. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 40, n. 5, p. 1-14. 2020.

WEN, G.; CAMBOURIS, A. N.; BERTRAND, A.; ZIADI, N.; LI, H.; KHELIFI, M. Nitrogen fertilization effects on the leaf chemical concentrations in Russet Burbank potato. **Field crops research**, v. 232, p. 40-48, 2019.

XUAN, W.; BEECKMAN, T.; XU, G. Plant nitrogen nutrition: sensing and signaling. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 39, p. 57-65, 2017.

CAPÍTULO I

PRODUTIVIDADE DA BATATA EM RESPOSTA ÀS DOSES DE NITROGÊNIO ESTIMADAS POR ALGORITMOS E APLICADAS EM COBERTURA

RESUMO

Objetivou-se com a realização deste trabalho avaliar a produtividade da batata Asterix em resposta às doses de nitrogênio (N) estimadas por algoritmos e aplicadas em cobertura. Foram instalados dois experimentos; um no ano de 2018 e outro em 2019. Os experimentos foram instalados no delineamento em blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições, cujos tratamentos, na parcela, foram compostos por cinco doses de N em pré-plantio (0, 50, 100, 200 e 300 kg.ha⁻¹) e nas subparcelas por três critérios de recomendação de N em cobertura. Aos 21 DAE foi avaliada a quarta folha totalmente desenvolvida, com o clorofilômetro SPAD. Essa leitura foi utilizada como indicadora da necessidade de adubação em cobertura. Adicionalmente, aos 21 dias após a emergência (DAE), foi avaliada a quantidade aplicada de N em cobertura. Na colheita dos tubérculos foram avaliadas as seguintes variáveis: produtividade total e comercial, número de tubérculos comerciais e não comerciais, teor de matéria seca de tubérculo, massa seca da parte aérea, massa seca de tubérculo e teor de matéria seca total. Os critérios de aplicação de N em cobertura não influenciaram significativamente as variáveis relacionadas à produtividade e à matéria seca. Porém, as variáveis foram significativamente influenciadas pela dose de N aplicada no momento do plantio, nos dois experimentos. A produtividade total de tubérculos de batata aumentou com aumento das doses de N aplicadas no momento do plantio, atingindo valores máximos de 47,47 e 27,12 toneladas.ha⁻¹, com as doses de 278,98 e 153,25 kg.ha⁻¹ de N para os experimentos de 2018 e 2019, respectivamente. O critério A1 se mostra mais eficiente na recomendação de N em cobertura, pois recomendou doses menores de N em cobertura sem influenciar a produtividade.

Palavras-chave: Dose. Fertilizante. Índices.

POTATO PRODUCTIVITY IN RESPONSE TO NITROGEN DOSES ESTIMATED BY ALGORITHMS AND APPLIED IN COVERAGE

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the productivity of Asterix potato in response to nitrogen (N) doses estimated by algorithms and applied in top dressing. Two experiments were installed; one in 2018 and another in 2019. The experiments were installed in a randomized block design, in a split-plot scheme, with four replications, whose treatments, in the plot, were composed of five doses of N in pre-planting (0, 50, 100, 200 and 300 kg.ha⁻¹) and in the subplots by three criteria for N coverage recommendation. At 21 DAE, the fourth fully developed leaf was evaluated with the SPAD chlorophyll meter. This reading was used as an indicator of the need for topdressing fertilization. Additionally, at 21 days after emergence (DAE), the amount of N applied in coverage was evaluated. In the tubers harvest, the following variables were evaluated: total and commercial yield, number of commercial and non-commercial tubers, tuber dry matter content, shoot dry mass, tuber dry mass and total dry matter content. The N application criteria in topdressing did not significantly influence the variables related to productivity and dry matter. However, the variables were significantly influenced by the dose of N applied at the time of planting, in both experiments. The total productivity of potato tubers increased with increasing N doses applied at planting, reaching maximum values of 47.47 and 27.12 tons.ha⁻¹, with doses of 278.98 and 153.25 kg. ha⁻¹ of N for the 2018 and 2019 experiments, respectively. Criterion A1 is more efficient in the recommendation of N in topdressing, as it recommended lower doses of N in topdressing without influencing productivity.

Keywords: Dose. Fertilizer. Indexes.

1 INTRODUÇÃO

A batata (*Solanum tuberosum* L.) em 2019, no Brasil, ocupou 125.865 ha com a produção de 3,8 milhões de toneladas e a produtividade média de 31,6 t.ha⁻¹ (IBGE, 2019). No mundo, a produção mundial de batata foi estimada em 388.10⁶ t em cerca de 19,3 milhões de ha (FAOSTAT, 2019). A batata é a base da alimentação de muitos povos e possui uma gama alta de possibilidades de utilização, o que torna a produção uma atividade atrativa em quase todos os países.

Há países que podem atingir produtividade média de mais de 45 t.ha⁻¹, enquanto a produtividade da maioria dos países é consideravelmente mais baixa, propiciando a produtividade média de 20 t.ha⁻¹ em todo o mundo (Koch et al., 2020). Entre os diversos fatores que influenciam na variabilidade da produtividade, estão o tipo e a disponibilidade de nutrientes no solo (Oliveira et al., 2021).

Nesse cenário, a adequada disponibilidade de nutrientes desempenha papel importante, pois é um dos fatores relevantes para a obtenção de elevada produtividade e a qualidade nutricional dos tubérculos, especificamente o teor de proteína, cinzas, gordura e carboidratos (Petropoulos et al., 2020). Dos nutrientes, é mais comum a aplicação de fósforo, potássio e nitrogênio (N) (Davenport et al. 2005), com destaque para o efeito quase sempre positivo do N sobre a produtividade e qualidade dos tubérculos (Fontes et al., 2010; Tolessa, 2019; Milagres et al., 2019; Trawczyński, 2019; Assunção et al., 2020; Zaeen et al., 2020). Porém, excessiva quantidade de N pode causar redução na produtividade de tubérculos (Zaeen et al., 2020), lucratividade da cultura (Fontes et al., 2010), além de problemas de poluição ambiental (Shrestha; Cooperband; Macguidwin, 2010).

Tem-se buscado o equilíbrio entre maximizar a produtividade e minimizar a poluição associada à aplicação de fertilizantes nitrogenados. Estratégias conservacionistas sugerem o parcelamento da adubação nitrogenada, onde parte da dose de N é aplicada no momento do plantio e parte em cobertura, após a emergência da planta (Mackerron, 2000).

Considerando que a recomendação de adubação nitrogenada baseada na associação entre a disponibilidade de N no solo e a necessidade da cultura é difícil de ser atingida na prática, uma abordagem alternativa ou complementar que pode ser utilizada na recomendação de N em cobertura é uso das plantas como indicadoras. Segundo Olivier; Goffart; Ledent (2006), o uso da planta como indicadora parece ser

mais apropriado e conveniente do que o solo, devido a amostragem e o tempo para as análises serem mais rápidas, além da imperfeição e instabilidade na análise do teor de N no solo.

A avaliação do teor de N da planta pode ser feita de várias maneiras, entre os quais a análise do teor de N pela determinação indireta da clorofila. Um medidor portátil de clorofila que faz leituras instantâneas, sem necessidades de destruição da folha, surgiu como ferramenta para estimar o nível de N na planta (Fontes, 2016). As leituras efetuadas pelo medidor portátil SPAD-502 representam um método indireto da avaliação do estado de produção real e potencial de biomassa vegetal. Através da leitura da intensidade da cor verde presente nas folhas, relacionadas ao teor de clorofila (Porto et al., 2014), que por sua vez, apresenta forte correlação positiva com o nível nutricional e acúmulo de massa seca da folha na planta.

Baseado nas leituras disponibilizadas pelo medidor portátil de clorofila é necessário arquitetar modelos de aplicação de N que devem ser capazes de executar rápida avaliação do status de N da planta e derivar uma recomendação de N baseada nessa avaliação. Na cultura da batata, a relação entre teor de clorofila obtido pelo medidor de clorofila e a concentração de N foliar é conhecida na cultura da batata (Busato, 2007; Coelho, 2010; 2011; Braun, 2012), mas são escassos os trabalhos propondo derivar a recomendação da dose de N a ser aplicada em cobertura com base na avaliação do estado nitrogenado da planta, estimado por clorofilômetro portátil, em tempo real.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a produtividade da batata Asterix em resposta da aplicação de doses de N em cobertura estabelecidas por algoritmos obtidos com os teores de clorofila e de N na folha.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Localização e caracterização da área experimental

Foram instalados e conduzidos dois experimentos no campo em anos consecutivos, em 25 de junho de 2018 e o outro em 27 de maio de 2019, em áreas próximas, na Horta Nova, Unidade de Pesquisa e Extensão do Departamento de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa – MG. O município de Viçosa situa-se a 694 m de altitude, a uma latitude de 20°45'14" Sul e a uma longitude de 42°52'55" Oeste, com classificação de Koeppen do tipo Cwa, definido pelo clima tropical de altitude com chuvas no verão e seca no inverno. Os dados climáticos foram coletados, diariamente, durante todo período experimental, na estação meteorológica da Ufv, instalada aproximadamente a 3 km da área experimental. Os valores mensais dos anos de 2018 e 2019 estão descritos nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1 - Valor mensal de temperatura máxima, mínima e média, umidade relativa do ar máxima e mínima e precipitação pluviométrica no período do experimento de 2018

	Mês					
	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out
Temp. Máxima (°C)	28,8	29,1	27,9	28,2	30,6	33
Temp. Mínima (°C)	5,5	8,8	8,2	8,7	9,3	13,1
Temp. Média (°C)	17,15	18,95	18,05	18,45	19,95	23,05
Umid. Máxima (%)	98	97	97	97	97	97
Umid. Mínima (%)	30	39	34	24	30	33
Precipitação (mm)	12,6	7,2	9,0	85,4	56,8	96,0

Fonte: Próprio autor.

Tabela 2 - Valor mensal de temperatura máxima, mínima e média, umidade relativa do ar máxima e mínima e precipitação pluviométrica no período do experimento de 2019

	Mês					
	May	Jun	Jul	Ago	Set	Out
Temp. Máxima (°C)	29,7	29,8	28,9	30,7	36,1	34,6
Temp. Mínima (°C)	11,3	8,2	5,2	5,6	10,9	11,9
Temp. Média (°C)	20,5	19	17,05	18,15	23,5	23,25
Umid. Máxima (%)	98	98	98	98	97	97
Umid. Mínima (%)	42	40	26	29	22	22
Precipitação (mm)	52,6	24,0	1,0	7,6	60,4	143,6

Fonte: Próprio autor.

O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo Câmbico (EMBRAPA, 2006). Antes da instalação dos experimentos, foram coletadas amostras de solos na camada de 0-20 cm de profundidade para caracterização física e química dos mesmos (Tabela 3).

Tabela 3 - Características químicas e físicas dos solos na camada 0-20 cm de profundidade, antes da instalação dos experimentos, nos anos de 2018 e 2019

Características químicas	Ano	
	2018	2019
pH em água	5,50	4,81
Matéria Orgânica (dag kg ⁻¹)	2,96	2,80
P disponível (mg dm ⁻³)	20,7	61,9
K disponível (mg dm ⁻³)	120	65
Ca ⁺² trocável (cmol _c dm ⁻³)	2,72	1,93
Mg ⁺² trocável (cmol _c dm ⁻³)	0,65	0,38
Acidez trocável – Al ⁺³ (cmol _c dm ⁻³)	0,0	0,0
Acidez potencial – H ⁺ Al (cmol _c dm ⁻³)	4,95	5,20
Soma de bases –SB (cmol _c dm ⁻³)	3,68	2,48
CTC efetiva – t (cmol _c dm ⁻³)	3,68	2,48

CTC a pH 7 – T (cmol _c dm ⁻³)	8,63	7,68
Saturação por bases – V (%)	42,6	32,3

Características físicas

Classificação textural	Argiloso
------------------------	----------

Ca-Mg-Al- Extrator: KCl 1 mol L⁻¹; P – K - Extrator Mehlich 1; H+Al-Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol L⁻¹ pH 7,0.

Fonte: Próprio autor.

Instalação e condução dos experimentos

O solo das duas áreas, onde antes estava implantada a cultura do milho, foi preparado por uma aração com arado de aiveca e duas passagens de grade niveladora. Com o objetivo de elevar a saturação por bases da camada de 0-20 cm de solo foi aplicado 3,10 t ha⁻¹ e 3,64 t ha⁻¹ de calcário dolomítico, a lanço, na superfície do solo nos anos de 2018 e 2019, respectivamente. Em seguida, o solo foi sulcado e aplicado os fertilizantes (FONTES, 2005): 324 kg.ha⁻¹ e 550 kg.ha⁻¹ de cloreto de potássio (60% de K₂O); 1.800 kg.ha⁻¹ e 600 kg.ha⁻¹ de superfosfato simples (18% de P₂O₅); 200 kg.ha⁻¹ e 340 kg.ha⁻¹ de sulfato de magnésio (10% de Mg); 10 kg.ha⁻¹ e 10 kg.ha⁻¹ de boráx (10% de B); 10 kg.ha⁻¹ e 10 kg.ha⁻¹ de sulfato de zinco (20% de Zn); 10 kg.ha⁻¹ e 10 kg.ha⁻¹ de sulfato de cobre (24% de Cu) e 0,2 kg.ha⁻¹ e 0,2 kg.ha⁻¹ de molibdato de sódio (39% de Mo) nos experimentos dos anos de 2018 e 2019, respectivamente. Após a aplicação dos fertilizantes, foi adicionado ao sulco de plantio o adubo nitrogenado, na forma de ureia, correspondendo aos tratamentos utilizados: 0, 50, 100, 200 e 300 kg.ha⁻¹ de N. Em seguida, os fertilizantes foram misturados ao solo e feita a distribuição os tubérculos nos sulcos. Antes do fechamento dos sulcos, aplicou-se o inseticida Carbofuran.

A cultivar plantada foi a Asterix, de origem holandesa, considerada uma variedade semi-tardia, que apresenta rápida emergência, número médio de hastes e folhagem bem desenvolvida. Caracteristicamente, seus tubérculos são grandes com formato oval-alongado, gemas superficiais e película vermelha, ficando rosada durante o plantio em épocas quentes, de polpa amarela, alta produtividade e teor de matéria seca (SILVA, 2012).

Para o plantio, foram utilizados tubérculos de batata-semente naturalmente brotados, com brotos de aproximadamente 0,5 a 1 cm. A emergência das plantas foi considerada completa quando pelo menos 90% das plantas apresentaram uma haste

emergida. Aos 22 dias após a emergência (DAE) das plantas foi realizada a amontoa.

As irrigações foram efetuadas por aspersão convencional, seguindo o procedimento adotado por Nunes (2004). O solo foi mantido próximo à capacidade de campo, sendo a irrigação suspensa duas semanas antes da colheita. A cultura foi conduzida no campo de acordo com as recomendações de Fontes (2005), sendo o controle de pragas realizado com a aplicação de defensivos químicos.

Tratamentos e delineamento experimental

Em ambos os experimentos, 2018 e 2019, os tratamentos consistiram da combinação de cinco doses de N: 0, 50, 100, 200 e 300 kg.ha⁻¹; aplicadas em pré-plantio e três critérios de recomendação de adubação nitrogenada em cobertura: Critério do nível crítico utilizando informações de Coelho (2011); Critério do nível crítico utilizando informações de Busato et al. (2007) e Critério do índice de suficiência de nitrogênio (ISN).

Os três critérios de recomendação de adubação nitrogenada foram derivados/formulados da seguinte maneira:

- Critérios do Nível Crítico (NC)

Os critérios de nível crítico propostos foram baseados em experimentos anteriores realizados por Coelho (2011) e Busato (2007), onde os autores estudaram o estabelecimento do valor crítico de SPAD medido na quarta folha (QF) da batateira Asterix aos 21 DAE, em função das doses de N. O critério oriundo do artigo de Coelho (2011) foi chamado de critério/ algoritmo A1. O critério oriundo do artigo de Busato (2007) foi chamado de critério/ algoritmo A2. Assim, via as relações estabelecidas nos trabalhos de Coelho (2011) e Busato (2007), foi possível calcular o nível crítico de SPAD e a dose de N que deveria ser aplicada para cada valor de leitura SPAD a partir das equações obtidas pelos autores e empregá-los neste trabalho (Tabela 4).

Tabela 4 - Equações ajustadas, nível crítico, dose de nitrogênio (N) e dose de N por unidade SPAD em resposta ao índice SPAD para os critérios A1 e A2

Critério	Equação ajustada	Nível crítico	Dose N	Dose N por
----------	------------------	---------------	--------	------------

		(kg.ha ⁻¹)	und. SPAD
A1- Coelho (2011)	$Y = 35,4 + 0,82017N^{0,5} - 0,018413N$	43,70	30
A2- Busato (2007)	$Y = 42,2901 + 0,057099N - 0,0000987N^2$	47,78	39

Fonte: Adaptado de Coelho (2011) e Busato (2007)

Dessa forma, aos 21 DAE, as plantas de cada parcela foram diagnosticadas pela realização de leitura com o medidor portátil SPAD. Quando o valor medido pelo SPAD foi menor do que o nível crítico proposto pelo critério (43,7 para A1 e 47,78 para A2), a planta foi diagnosticada como deficiente. Ao ser diagnosticada como deficiente, a planta recebeu a dose de 30 e 39 kg.ha⁻¹ de N para o critério A1 e A2, respectivamente para cada unidade de SPAD abaixo do valor crítico que se encontravam (Tabela 4). Por outro lado, se o valor da leitura SPAD medido na folha fosse superior ao nível crítico proposto, a planta era diagnosticada como suficiente e não recebia adubação em cobertura.

- Critério do índice de suficiência de N (ISN) ou de referência

Neste critério, o valor crítico da leitura SPAD ou valor referência foi obtido como a média das leituras SPAD de todas as plantas da parcela adubadas com 300 kg.ha⁻¹ de N. No experimento em 2018, o valor referência determinado foi 45. No experimento em 2019, o valor referência foi 48. Para as parcelas consideradas deficientes, ou seja, com valor de leitura SPAD menor que o valor de referência, a dose de N aplicada em cobertura foi determinada pela seguinte equação:

$$\text{Dose de N} = (\text{SPAD}_{\text{referência}} - \text{SPAD}_{\text{parcela}}) \times 25$$

Na relação acima, Dose de N é a dose recomendada (kg.ha⁻¹) para aplicação de N em cobertura; SPAD_{referência} é o índice SPAD médio entre as parcelas referências; SPAD_{parcela} é o índice SPAD obtido para a parcela avaliada e 25 é a dose de N necessária para elevar em uma unidade o índice SPAD na QF, de acordo com Coelho et al. (2010).

Assim, os critérios de diagnose e recomendação da dose de N em cobertura

foram baseados no índice SPAD aos 21 DAE. O índice SPAD foi obtido pela média de três leituras no folíolo terminal da QF, utilizando-se o clorofilômetro SPAD-502 (Konica-Minolta, Tóquio, Japão). Quando recomendada, a aplicação de N em cobertura foi realizada com o adubo fertilizante ureia, imediatamente antes da prática da amontoa.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas no espaço, com quatro repetições. Na parcela ficaram as doses de N aplicadas em pré-plantio e nas subparcelas os três critérios de recomendação de adubação nitrogenada em cobertura.

Cada parcela foi constituída por 16 linhas de plantio, sendo quatro linhas para cada critério (A1, A2 e ISN) e mais quatro linhas para a testemunha. A testemunha consistiu somente na aplicação do N em pré-plantio. A subparcela possuiu 1,25 m de comprimento e 3,75 m de largura e foi constituída por quatro linhas e cinco plantas por linhas. As duas fileiras laterais e as duas plantas das extremidades da fileira útil foram consideradas bordaduras. As três plantas medianas foram consideradas plantas úteis. O espaçamento entre fileiras foi de 0,80 m e de 0,30 m entre plantas.

Variáveis avaliadas

- Quantidade de N aplicada em cobertura aos 21 DAE

Quantidade de N aplicada seguindo-se os três critérios de recomendação de N em cobertura.

- Índice SPAD

Valores de índice SPAD obtidos pela média de três leituras no folíolo terminal da QF das plantas de cada parcela aos 21 DAE. As leituras de índice SPAD é a única variável obtida antes da aplicação do segundo fator (critérios de recomendação de adubação nitrogenada em cobertura), portanto não foi considerada a interação nesta variável, somente fator isolado para doses de N aplicadas em pré-plantio.

- Variáveis morfológicas componentes de produtividade

Produtividade total, comercial e número de tubérculos

As colheitas dos tubérculos dos experimentos de 2018 e 2019 foram realizadas aos 120 e 110 dias após o plantio (DAP), respectivamente. Com a parte aérea completamente seca, os tubérculos foram arrancados e permaneceram sobre o solo por 2 horas para o secamento da película, sendo posteriormente levados para um galpão, onde foram lavados e avaliados em comerciais e não comerciais, contados e pesados. Além disso, os tubérculos foram classificados de acordo com o diâmetro transversal (PORTARIA Nº 69, de 21/02/1995 do MAPA), onde tubérculos com $\varnothing \geq 8,5$ e $\varnothing > 3,3$ e $< 4,5$ cm foram classificados como comerciais. Os tubérculos quando apresentaram $\varnothing \leq 3,3$ cm, podridões, ataques de pragas e doenças, defeitos de esverdeamento, embonecamento ou rachaduras foram classificados como não comerciais.

Teor de matéria seca de tubérculos (%)

Após a classificação, foram retiradas amostras de tubérculos comerciais de cada parcela, sendo pesadas, trituradas e, posteriormente, colocadas em estufa com ventilação forçada de ar a 70 °C, até atingirem massa constante. Os valores foram registrados para a determinação do teor de matéria seca (TMS) pela equação: $TMS = (MF/MS) \times 100$, em que TMS = teor de matéria seca (%), MF = massa da matéria fresca de tubérculos (g) e MS = massa da matéria seca de tubérculos (g).

Massa seca da parte aérea (kg.ha⁻¹)

Para obtenção da massa seca da parte aérea, quando as plantas começaram a apresentar sintomas de senescência, foram coletadas duas plantas em cada parcela. Os materiais vegetais foram alocados em estufa com ventilação forçada de ar a 70 °C, até atingirem massa constante. Em seguida, foi realizada a pesagem dos materiais em balança eletrônica de precisão. De posse das massas secas das plantas das parcelas, os resultados foram extrapolados para kg.ha⁻¹.

Massa seca de tubérculos (kg.ha⁻¹)

Após a classificação, foram retiradas amostras de tubérculos comerciais de cada parcela, sendo pesadas, trituradas e, posteriormente, colocadas em estufa com ventilação forçada de ar a 70 °C, até atingirem massa constante. Em seguida, foi realizada a pesagem dos materiais em balança eletrônica de precisão. De posse da massa seca das amostras, os resultados foram extrapolados para kg.ha⁻¹.

Quantidade de matéria seca total (kg.ha⁻¹)

Para obtenção da quantidade de matéria seca total da planta foram somadas as massas das matérias seca da parte aérea e dos tubérculos.

Análise estatística

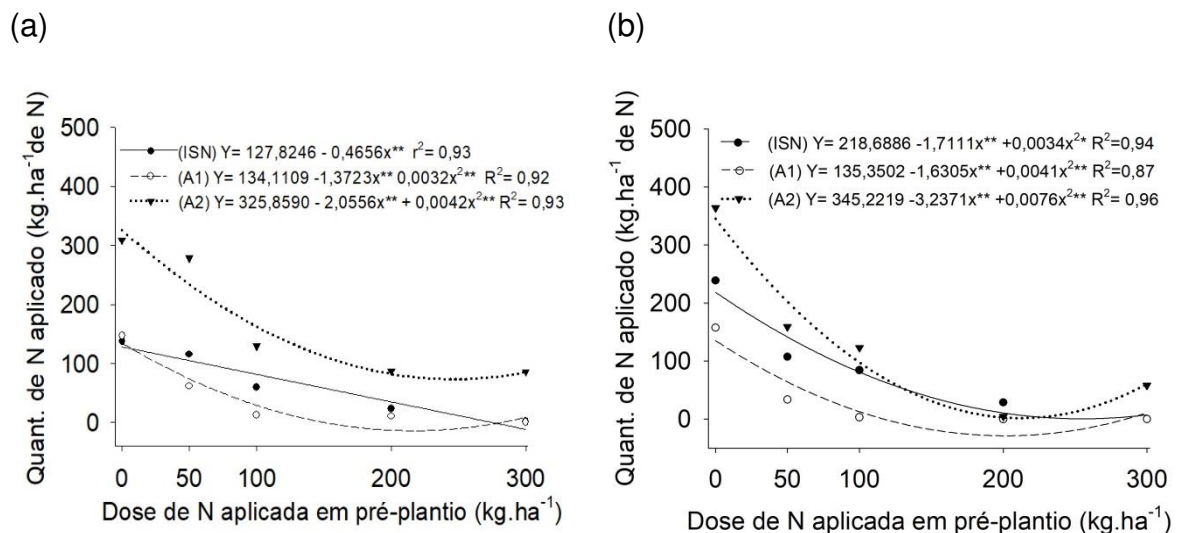
Os dados foram analisados por análise de variância. Para o fator qualitativo (critérios de recomendação de N em cobertura) as médias foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey adotando-se o nível de 5% de probabilidade. O fator quantitativo (doses de N aplicadas em pré-plantio) foi utilizada a análise de regressão e a seleção do modelo que melhor se ajustou aos dados foi feita com base na lógica biológica, no coeficiente de determinação (R^2) e significância dos coeficientes de regressão. Quando não houve efeito significativo da interação e nem de critérios de aplicação, os valores da variável dependente, em cada dose de N, referem-se às médias dos critérios de aplicação. Similar procedimento foi adotado para todas as variáveis dependentes.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

- Quantidade de N aplicada em cobertura aos 21 DAE

Houve efeito significativo da interação dose de N aplicada em pré-plantio x critérios de recomendação de N em cobertura para a variável quantidade de N aplicada aos 21 DAE ($p < 0,05$) (Figura 1 a-b).

Figura 1 - Relação entre a quantidade de nitrogênio (N) aplicada em cobertura e a dose de N aplicada em pré-plantio em cada critério de recomendação de N em cobertura nos experimentos de 2018 (a) e 2019 (b)



Fonte: Próprio autor.

Em ambos os experimentos, 2018 e 2019, o aumento da dose de N aplicada em pré-plantio resultou em menor quantidade de N aplicada em cobertura (Figura 1a-b). No experimento de 2018, o critério ISN propiciou a maior aplicação de N em cobertura (127,82 kg.ha⁻¹) com a dose de 0 kg.ha⁻¹, enquanto a menor aplicação de N em cobertura (11,85 kg.ha⁻¹) foi observada com a dose de 300 kg.ha⁻¹. Pelo critério A1, observou-se comportamento quadrático onde a maior quantidade de N aplicado em cobertura (134,11 kg.ha⁻¹) foi com a dose de 0 kg.ha⁻¹ e a menor (13 kg.ha⁻¹) com a dose de 214,42 kg.ha⁻¹. Já pelo critério A2, também houve comportamento quadrático, onde o maior valor de quantidade de N aplicado em cobertura (325,85 kg.ha⁻¹) foi obtido na dose de 0 kg.ha⁻¹ e a menor (74,34 kg.ha⁻¹) com a dose de 244,71

kg.ha⁻¹ (Figura 1a).

Para o experimento de 2019, o critério ISN propiciou a maior aplicação de N em cobertura (218,68 kg.ha⁻¹) com a dose de 0 kg.ha⁻¹, enquanto a menor aplicação de N em cobertura (3,4 kg.ha⁻¹) foi observada na dose de 251,63 kg.ha⁻¹. Pelo critério A1, observou-se comportamento quadrático onde a maior quantidade de N aplicado em cobertura (135,35 kg.ha⁻¹) foi com a dose de 0 kg.ha⁻¹ e a menor (26,10 kg.ha⁻¹) com a dose de 198,84 kg.ha⁻¹. Já pelo critério A2, também houve comportamento quadrático, onde o maior valor de quantidade de N aplicado em cobertura (345,22 kg.ha⁻¹) foi obtido na dose de 0 kg.ha⁻¹ e a menor (0,5 kg.ha⁻¹) com a dose de 212,96 kg.ha⁻¹ (Figura 1b).

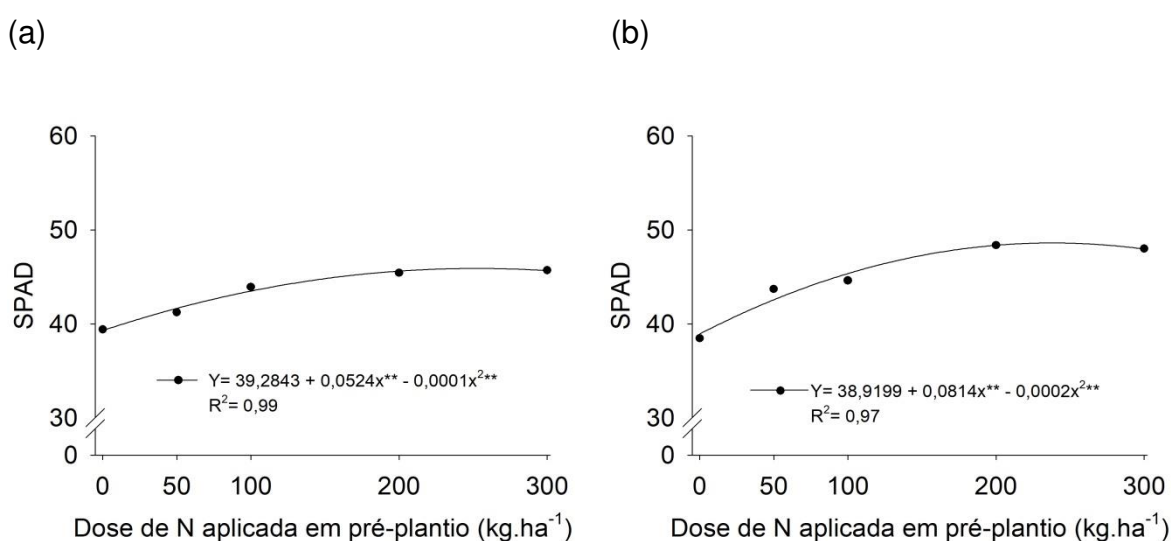
De maneira geral, as maiores quantidades de N aplicadas em cobertura, ocorreram com a dose de 0 kg.ha⁻¹ para os três critérios de aplicação. Tal fato, em parte era esperado, já que os menores valores das leituras do índice SPAD encontrados na dose de 0 kg.ha⁻¹, sugerem a necessidade de aplicação de maior quantidade de N em cobertura (Figura 1a-b). Isso porque os critérios utilizam o valor da leitura SPAD para calcular a quantidade de N a ser aplicada em cobertura. Nas maiores doses de N aplicadas em pré-plantio, observou-se pequeno aumento da quantidade de N aplicado em cobertura. Novamente, isso é atribuído ao índice SPAD que tendeu a ter pequena redução nas maiores doses de N aplicadas em pré-plantio (Figura 2a-b).

Nos dois experimentos realizados, o critério A2 foi o que mais indicou aplicação de N, seguido pelo ISN e A1. O critério A2 e A1 demonstraram marcante diferença na indicação de aplicação de N em cobertura principalmente com as doses mais baixas de N em pré-plantio. Isso ocorreu porque o critério A2 tem valor de nível crítico de SPAD mais alto (47,78) do que o critério A1 (43,70) (Figura 1), ou seja, quanto menor for o valor da leitura SPAD observado na QF em campo, maior foi a diferença entre o valor da leitura SPAD obtido em campo e o valor crítico do algoritmo, acarretando em maior indicação de aplicação de N. Além disso, a dose de N aplicada em cobertura por cada unidade SPAD pelo critério A1 foi de 30, enquanto no A2 foi de 39 (Figura 1), o que também justifica a maior recomendação de aplicação de N em cobertura pelo critério A2.

- Índice SPAD

Nos dois experimentos, em determinações realizadas na QF, aos 21 DAE, portanto antes da implementação do segundo fator, houve efeito significativo de doses de N aplicadas em pré-plantio sobre o índice SPAD, relação mostrada nas Figuras 2a e 2b. No primeiro ano, o índice SPAD aumentou até atingir o máximo de 46,15 com a dose de 262,0 kg.ha⁻¹ e no segundo ano os valores correspondentes foram 47,20 e 203,5 kg.ha⁻¹, respectivamente. Assim, independentemente do critério adotado para estimar a dose de N em cobertura, o valor do índice SPAD aumentou com o aumento da dose de N em pré-plantio e atingiu diferente valor máximo com diferentes doses de N dependendo do ano.

Figura 2 - Relação entre doses de nitrogênio (N) aplicadas em pré-plantio e os valores médios do índice SPAD na folha de batata nos experimentos de 2018 (a) e 2019 (b)



Fonte: Próprio autor.

O aumento do valor do índice SPAD devido ao aumento da dose de N aplicada em pré-plantio indicou a relação entre esse nutriente e a intensidade de cor verde da planta, a maior síntese de clorofila e o possível aumento da atividade fotossintética (TAIZ; ZEIGER, 2013). Por outro lado, a aparente estabilização da leitura SPAD observada nas doses mais altas pode estar relacionada com o consumo de luxo de N. Segundo Coelho et al. (2012), sob altas doses de N, o índice SPAD tende a aumentar até certo ponto, a partir do qual se mantém invariável ou tende a declinar.

Tal fato pode ser devido o aparelho detectar, indiretamente, o aumento de N apenas quando está sendo incorporado em moléculas de clorofila, e não na forma livre, não incorporada, na qual o N se acumula quando há consumo de luxo (Argenta et al., 2001). Os resultados obtidos nesse experimento corroboram com os obtidos por Milagres et al. (2018) que encontram na folha da cultivar Asterix, aos 21 DAE, o valor crítico SPAD de 46,35 com a dose de 220 kg.ha⁻¹ de N em pré-plantio.

- Variáveis morfológicas e componentes de produtividade

No experimento de 2018, as variáveis produtividade não comercial (PNC), número de tubérculos comerciais (NTC), número de tubérculos não comerciais (NTNC) e teor de matéria seca de tubérculos (TMST) não foram significativamente ($p > 0,05$) influenciados pela interação dose de N em pré-plantio e critérios de recomendação de N em cobertura e nem pelos fatores independentes critério de recomendação de N em cobertura e dose de N aplicada em pré-plantio. Os valores médios destas variáveis encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5 - Valores médios das variáveis produtividade não comercial (PNC), número de tubérculos comerciais (NTC), número de tubérculos não comerciais (NTNC) e teor de matéria seca de tubérculos (TMST) em função das doses de nitrogênio (N) para o experimento de 2018, de acordo com as doses em pré-plantio

Critérios	Dose de N (kg.ha ⁻¹)	Variáveis			
		PNC (t.ha ⁻¹)	NTC (un.)	NTNC (un.)	TMST (%)
A1	0	6,0	8	5	17,9
	50	4,3	8	5	16,3
	100	5,5	8	5	16,9
	200	6,9	10	4	17,1
	300	5,3	7	5	18,1
	Média	5,6	8,2	4,8	17,3

	0	6,0	8	5	16,4
	50	6,1	8	5	16,3
A2	100	7,0	9	6	16,5
	200	6,8	9	5	17,4
	300	7,8	8	4	16,9
	Média	6,7	8,4	5	16,7
	0	5,3	7	6	20,8
	50	4,1	8	7	16,2
ISN	100	6,0	9	5	19,9
	200	4,4	10	5	17,3
	300	5,9	9	5	17,4
	Média	5,1	8,6	5,6	18,3

Fonte: Próprio autor.

No experimento de 2019, as variáveis que não apresentaram efeito significativo ($p > 0,05$) para a interação dose de N em pré-plantio e critérios de recomendação de N em cobertura, nem para os fatores independentes critérios de recomendação de N em cobertura e dose de N aplicada em pré-plantio foram a produtividade não comercial (PNC), número de tubérculos comerciais (NTC), número de tubérculos não comerciais (NTNC), massa seca da parte aérea (MMSA) e teor de matéria seca de tubérculos (MST). Os valores médios destas variáveis encontram-se na Tabela 6.

Tabela 6 - Valores médios das variáveis produtividade não comercial (PNC), número de tubérculos comerciais (NTC), número de tubérculos não comerciais (NTNC), massa seca da parte aérea (MSPA) e teor de matéria seca de tubérculos (TMST) em função das doses de nitrogênio (N) para o experimento de 2019

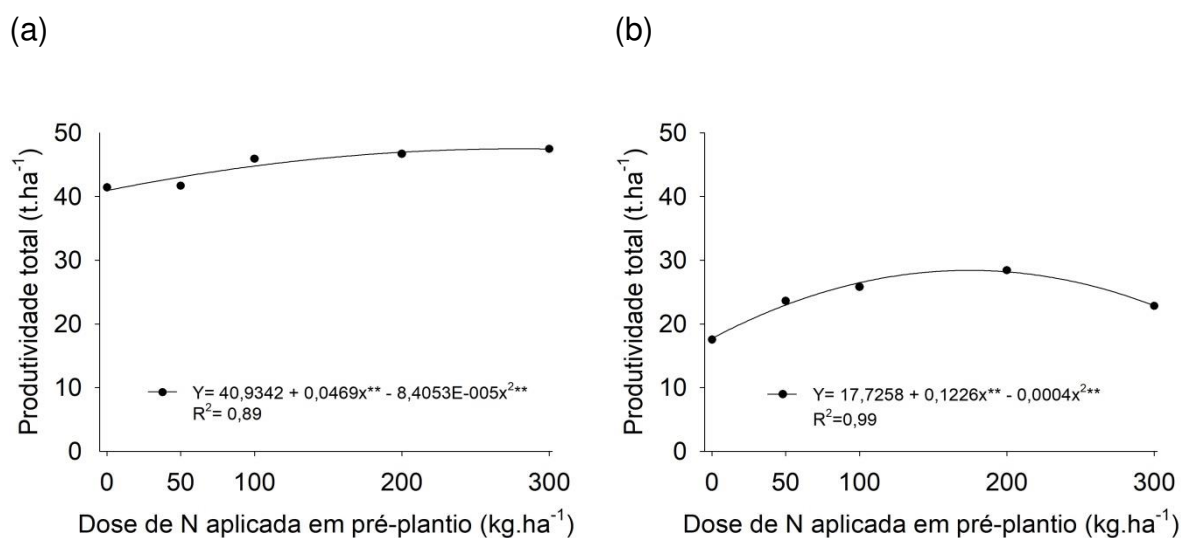
Critérios	Dose de N (kg.ha ⁻¹)	Variáveis				
		PNC	NTC	NNC	MSPA	TMST
		(t.ha ⁻¹)	(un.)	(un.)	(kg.ha ⁻¹)	(%)
A1	0	3,8	3	4	1344	20,4
	50	6,1	4	4	1464	22,5
	100	6,9	4	4	1492	22,2
	200	6,0	3	3	1548	23,0
	300	2,2	3	1	1373	22,6
	Média	5	3,4	3,2	1444,2	22,14
A2	0	5,0	3	4	1323	20,4
	50	4,8	5	3	1480	22,6
	100	6,6	4	4	1547	22,1
	200	5,3	3	3	1474	22,8
	300	4,7	3	3	1437	23,1
	Média	5,3	3,6	3,4	1452,2	22,2
ISN	0	5,5	2	3	1317	19,3
	50	5,4	4	5	1418	21,1
	100	6,1	4	3	1492	22,2
	200	3,9	4	3	1523	23,3
	300	4,7	3	1	1343	22,4
	Média	5,1	3,4	3	1418,6	21,7

Fonte: Próprio autor.

Produtividade total e comercial

Nos dois experimentos, houve apenas efeito isolado das doses de N aplicadas em pré-plantio sobre a produtividade total sendo que relação se ajustou ao modelo quadrático (Figura 3 a-b).

Figura 3 - Relação entre doses de nitrogênio (N) aplicadas em pré-plantio e a produtividade total de tubérculos nos experimentos de 2018 (a) e 2019 (b)



Fonte: Próprio autor.

No ano de 2018, a produtividade total aumentou até atingir o máximo de 47,47 t.ha⁻¹ com a dose de 278,98 kg.ha⁻¹ de N em pré-plantio (Figura 3a) e no ano de 2019, os valores correspondentes foram de 27,12 t.ha⁻¹ e 153,25 kg.ha⁻¹ (Figura 4a), respectivamente. Na testemunha não adubada com N em pré-plantio foram verificados os menores valores de produtividade total, sendo 40,93 t.ha⁻¹ e 17,72 t.ha⁻¹ para os experimentos de 2018 e 2019, respectivamente.

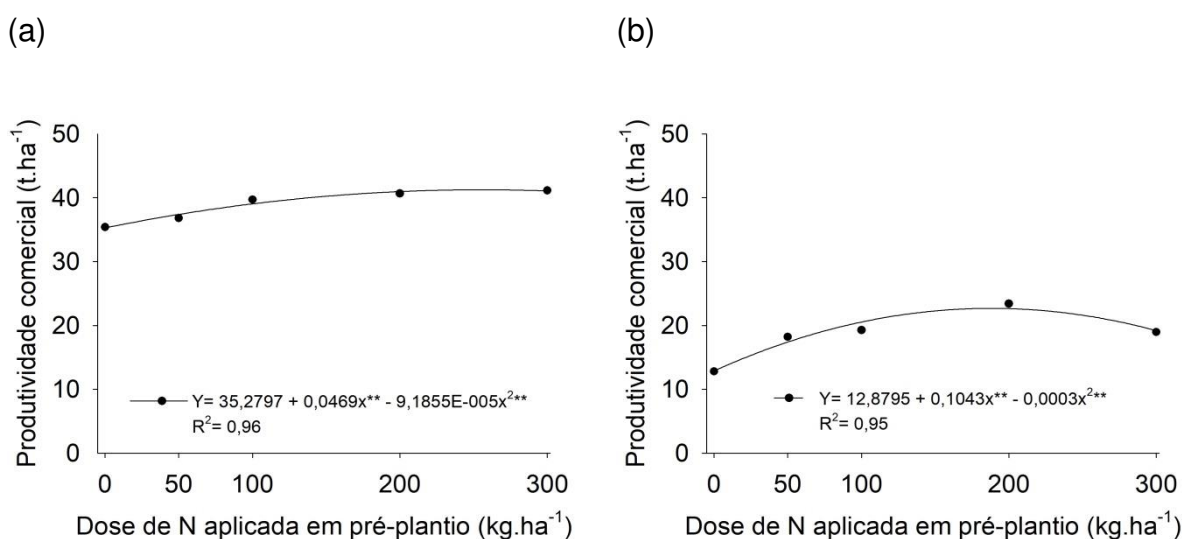
No experimento do ano de 2019, a máxima produtividade total foi menor do que em 2018, cerca de 20,35 t.ha⁻¹ a menos do observado no experimento do ano anterior. Acredita-se que tal fato se deve ao uniforme ataque de lagarta-rosca (*Agrotis ipsilon* (Lepidoptera: Noctuidae)) que ocorreu na metade do ciclo da cultura. Durante o dia, essa praga se escondia sob a superfície do solo e à noite atacavam as plantas, cortando as hastes da batata rente ao solo. A lagarta-rosca é considerada difícil de controlar por ser inseto de hábito noturno, o que dificulta a visualização no campo

durante o dia (Kaiser et al., 2020).

A alta produtividade total observada na dose 0 kg.ha⁻¹ de N em pré-plantio, principalmente observada no experimento do ano de 2018 (Figura 3a), se deveu, provavelmente, ao alto nível de matéria orgânica no solo, além de condições climáticas diferentes (Tabela 1 e 2). A área onde foram instalados os experimentos foi utilizada por anos consecutivos na produção de milho. Dessa forma, a palhada deixada sob a superfície do solo ao final da colheita pode sofrer mineralização, transformando o N orgânico para a forma mineral.

Assim como para a variável produtividade total, houve efeito isolado das doses de N em pré-plantio para a variável produtividade comercial, onde os dados se ajustaram ao efeito quadrático, para os dois experimentos (Figura 4 a-b).

Figura 4 - Relação entre doses de nitrogênio (N) aplicadas em pré-plantio e a produtividade comercial de tubérculos nos experimentos de 2018 (a) e 2019 (b)



Fonte: Próprio autor.

Em 2018, a dose ótima de N em pré-plantio estimada pela análise de regressão foi de 255,29 kg.ha⁻¹ proporcionando a produtividade comercial de 41,26 t.ha⁻¹ (Figura 4a). Em 2019, a dose ótima foi 173,83 kg.ha⁻¹ propiciando a produtividade comercial de 21,94 t.ha⁻¹ (Figura 4b). Os menores valores de produtividade comercial foram verificados na testemunha não adubada, sendo 35,27 t.ha⁻¹ e 12,87 t.ha⁻¹ para o experimento de 2018 e 2019, respectivamente.

De modo geral, a produtividade comercial seguiu o mesmo comportamento que

a produtividade total. Ambos os experimentos apresentaram uma queda na produtividade comercial em relação a total, o que é esperado, obedecendo à mesma proporção para os dois experimentos.

Em muitos anos de estudos realizados em várias localidades, sabe-se que as taxas de aplicação de N variam de 30 a 330 kg.ha⁻¹ (Darwish et al., 2006; Fontes et al., 2010; Srek; Hejcman; Kunzova (2010); Ierna et al., 2011; Wang et al., 2017; Rens et al., 2015), dependendo das condições de cultivo. No Brasil, as doses de N que propiciaram as máximas produtividades totais de tubérculos são de 60 a 250 kg.ha⁻¹ de N (Busato; Fontes; Braun, 2009). Em MG, é recomendada a dose de 190 kg.ha⁻¹ de N (Fontes, 1999). Trabalhos desenvolvidos com a cultivar Asterix também encontraram valores de N parecidos com os obtidos nesse trabalho. Fontes et al. (2010) observaram a maior produtividade total (36,49 t.ha⁻¹) com a dose de 201 kg.ha⁻¹. A dose de 261 kg.ha⁻¹ de N proporcionou as máximas produtividades total de tubérculos para a cultivar Asterix em experimento conduzido por Coelho et al. (2010).

Assim, as doses que propiciaram os maiores valores de produtividade total, tanto no experimento de 2018 quanto no de 2019, estão dentro das doses recomendadas no Brasil e no mundo. Efeitos positivos na produção de tubérculos em resposta à fertilização nitrogenada foram observados por Banjare; Sharma; Verma (2014). Os autores explicaram que esse efeito positivo pode ser atribuído a um aumento no número de hastes através do efeito na biossíntese de giberelinas na planta da batata. Além disso, detectaram que o maior rendimento total de tubérculos foi registrado na dose 225 kg.ha⁻¹ de N.

O nível de nutrição de N tem um impacto direto no crescimento e na produtividade da batata (Mahamud et al., 2015). O excesso de nutrição de N é indesejável, pois causa crescimento excessivo das hastes e, ao contrário, crescimento retardado de tubérculos (Nurmanov; Chernenok; Kuzdanova, 2019). Dessa forma, acredita-se que a queda de produtividade total da cultivar Asterix observada nas doses mais altas de N aplicadas em pré-plantio pode estar relacionada com um excesso de N, o que conferiu um crescimento excessivo da parte aérea, reduzindo o tempo de enchimento dos tubérculos.

Com relação a variável produtividade comercial, assim como neste trabalho, Coelho et al. (2010), observaram que a produtividade comercial aumentou significativamente com o incremento das doses de N, seguindo o modelo quadrático, onde a máxima produtividade comercial, de 46.500 kg.ha⁻¹, foi obtida com a dose de

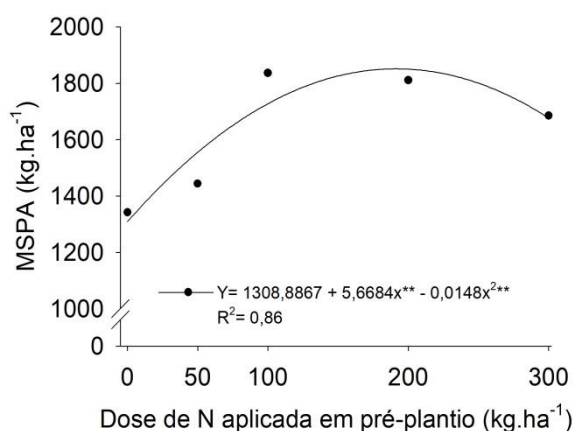
250 kg.ha⁻¹ de N. Fontes et al. (2010), em trabalho realizado na mesma região do presente experimento obtiveram produtividade comercial máxima de 32,3 t.ha⁻¹ com a dose de 212 kg.ha⁻¹ de N. Alemayehu; Nigussie; Tamado (2015) relataram que o rendimento total de tubérculos comercializáveis e não comercializáveis foram aumentados pela aplicação de N na taxa de 110 kg.ha⁻¹. Tanios et al. (2020) observaram que o tratamento com N inferior (100 kg.ha⁻¹) proporcionou produção significativamente reduzida de aproximadamente metade do que os tratamentos com N superior (200 e 300 kg.ha⁻¹).

Assim como para a produtividade total, o menor valor de produtividade comercial no experimento de 2019 (Figura 4b) se deveu em parte ao ataque de lagarta rosca.

Massa seca da parte aérea, dos tubérculos e total

Para a variável massa seca da parte aérea houve efeito isolado das doses de N em pré-plantio, onde os dados se ajustaram ao efeito quadrático somente para o experimento do ano de 2018 (Figura 5 a). Para o experimento de 2019 não houve efeito da interação dose de N em pré-plantio x critérios de recomendação em cobertura e para os fatores isolados.

Figura 5 - Relação entre doses de nitrogênio (N) aplicadas em pré-plantio e a massa seca da parte aérea no experimento de 2018.



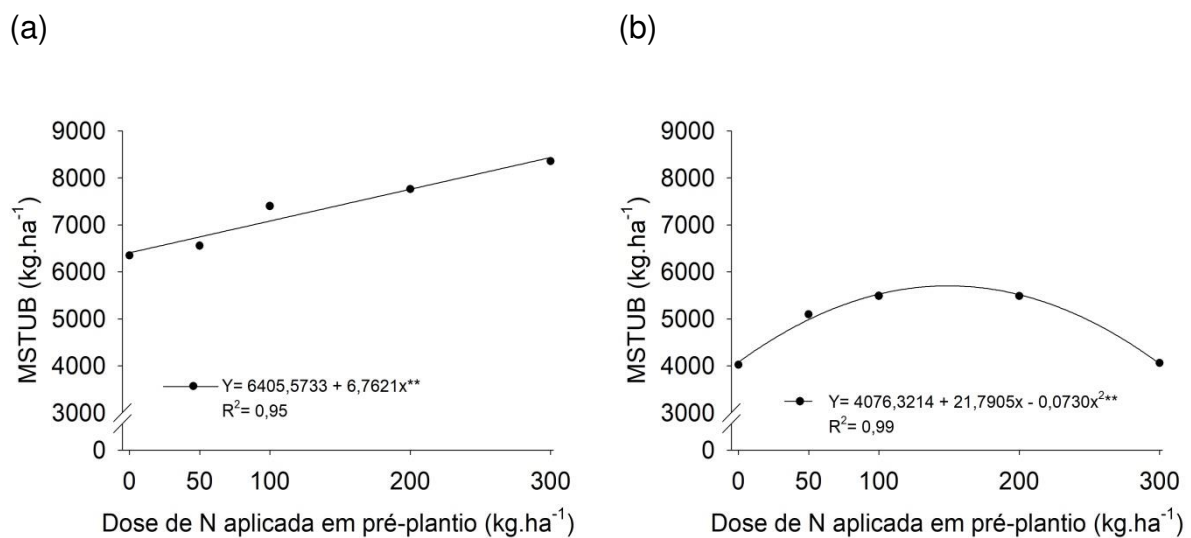
Fonte: Próprio autor.

A dose ótima de N em pré-plantio estimada foi de 195,46 kg.ha⁻¹,

proporcionando uma massa seca da parte aérea de 1851,4041 kg.ha⁻¹ para o experimento de 2018 (Figura 5). Um aumento da massa seca da parte aérea na dose ótima estimada, deve-se, provavelmente, ao aumento progresso vegetativo, expresso pelo comprimento da planta, número e área das folhas e hastes, devido ao fato de que uma maior concentração de N estimulou a assimilação de carboidratos e proteínas, o que por sua vez favoreceu as divisões celulares e a formação de mais tecidos que resultou em maior crescimento vegetativo das plantas de batata (Moussa; Hafez; El-Fad, 2018).

Houve efeito isolado das doses de N em pré-plantio para a variável massa seca de tubérculos, onde os dados se ajustaram ao modelo linear para o ano de 2018 (Figura 6a) e quadrático para o experimento de 2019 (Figura 6b).

Figura 6 - Relação entre doses de nitrogênio (N) aplicadas em pré-plantio e a massa seca de tubérculos nos experimentos de 2018 (a) e 2019 (b).

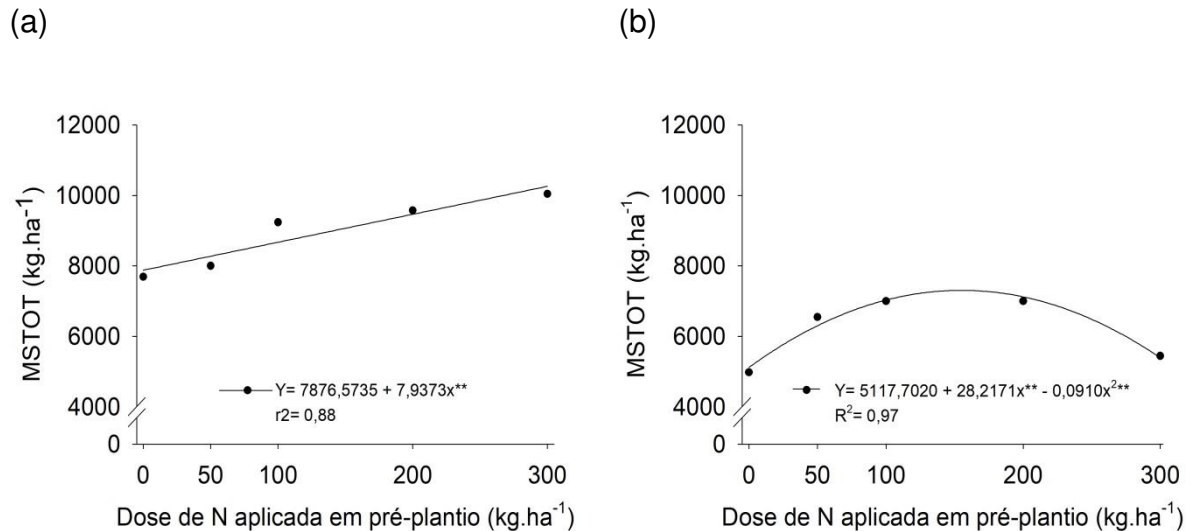


Fonte: Próprio autor.

Em 2018, a dose de 300 kg.ha⁻¹ de N em pré-plantio proporcionou o maior valor de massa seca de tubérculos de 8434,20 kg.ha⁻¹ (Figura 6a). Em 2019, a dose ótima foi de 149,25 kg.ha⁻¹, propiciando 5702,43 kg.ha⁻¹ de massa seca de tubérculos (Figura 6b). Acredita-se que o aumento da matéria seca com a aplicação de N deve-se ao fato de que doses elevadas de N podem ter aumentado a produção de fotossíntese, resultando em um acúmulo de matéria seca nos tubérculos (Jha; Jha; Deepshikha, 2008).

Para a variável massa seca total houve efeito isolado das doses de N em pré-plantio, onde os dados se ajustaram ao modelo linear para o ano de 2018 (Figura 7a) e quadrático para o experimento de 2019 (Figura 7b).

Figura 7 - Relação entre doses de nitrogênio (N) aplicadas em pré-plantio e a massa seca total de planta nos experimentos de 2018 (a) e 2019 (b)



Fonte: Próprio autor.

Em 2018, o maior valor de massa seca total (10257,76 kg.ha⁻¹) foi observado na dose de 300 kg.ha⁻¹ de N em pré-plantio (Figura 7a). Em 2019, a dose ótima foi 155,03 kg.ha⁻¹, propiciando a massa seca total de 7305,07 kg.ha⁻¹ (Figura 7b). Os menores valores de massa seca total foram verificados na testemunha não adubada, sendo 7876,54 kg.ha⁻¹ e 5117,70 kg.ha⁻¹ para o experimento de 2018 e 2019, respectivamente.

Assim como neste trabalho, os resultados de Singh et al. (2016) revelaram que a adição de 180 kg de N + 50 kg S ha⁻¹ aumentou significativamente os caracteres vegetativos. Os autores explicam que esses resultados podem ser devidos ao fato de que a aplicação de fertilização aumentou o número de hastes independentes e a absorção de N durante o período de crescimento, resultando em aumento no tamanho das células, alongamento e aprimoramento da divisão celular, o que acaba aumentando o crescimento das plantas e conseqüentemente a massa seca da parte aérea.

Por outro lado, diferentemente deste trabalho, que proporcionou uma redução

da massa seca da parte aérea em doses mais elevadas de N, Banjare; Sharma; Verma (2014) observaram que o maior peso seco da parte aérea por planta foi observado no tratamento $300 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de N. Segundo os autores, a aplicação de doses mais altas de N resultou em aumento na altura e folhagem das plantas, aumentando assim o peso fresco e seco da parte aérea por planta.

A deficiência de N (menores doses de N aplicadas) e o excesso (maiores doses de N aplicadas) causaram reduções na massa seca da parte aérea. A redução da massa seca nas doses mais baixas já era esperada, uma vez que a deficiência de N resulta em baixo desenvolvimento da batata. Segundo da Silva Filho et al. (2018), quando comparadas às plantas fertilizadas com N, plantas em deficiência de N produzem apenas 31% a 45% em biomassa e 68% a 72% no número de tubérculos, dependendo da variedade. Por outro lado, esperava-se que o excesso de N promovesse um aumento da massa seca da parte aérea, uma vez que o excesso de N normalmente provoca um crescimento excessivo das hastes (Nurmanov; Chernenok; Kuzdanova, 2019). No entanto, neste trabalho, a massa seca da parte aérea reduziu em doses elevada de N.

O fato da redução da massa seca da parte aérea pode estar relacionado com a menor produtividade total e comercial observadas nas doses mais baixas e nas mais altas de N aplicado (Figura 3 e 4). Tanto a produção de hastes, quanto de folhas é fundamental para obtenção de maior área foliar, o que favorece a realização da fotossíntese e conseqüentemente maior produção de fotoassimilados e outros compostos de reservas para crescimento dos tubérculos (Bisognin et al., 2008). Sendo assim, com uma menor quantidade de folhas e hastes, menor será a taxa fotossintética e conseqüentemente menos assimilados serão direcionados para os tubérculos. Além disso, no caso de deficiência de N ocorre uma redução da síntese de clorofila e a planta passa a utilizar menos luz solar como fonte de energia para fotossíntese, resultando em uma redução da taxa fotossintética (Dechen; Natchtigall, 2007).

O excesso de N pode reduzir a massa seca e o amido nos tubérculos devido o retardamento da maturação e prolongamento da duração do período vegetativo (Cardoso et al., 2017), o que é prejudicial, uma vez que a cultivar estudada é destinada ao processamento devido seu maior teor de matéria seca. Tal fato pode explicar a redução da matéria seca no experimento do ano de 2019 nas doses mais altas de N aplicado (Figura 6b).

Trabalhos semelhantes demonstram que o aumento da aplicação de N pode afetar a massa seca dos tubérculos. Regassa et al. (2016) salienta-se que o rendimento de tubérculos foi afetado significativamente pelos níveis de N. Etemad; Sarajuoghi (2012) identificaram que o maior número de tubérculos e a maior parte do peso seco dos tubérculos foram alcançados após o uso de 200 kg.ha⁻¹ de N. Kandi et al. (2011) relataram uma porcentagem reduzida de matéria seca de tubérculos de batata à medida que as taxas de N aumentavam. Zelalem et al. (2009) indicaram que a fertilização nitrogenada reduziu significativamente o teor de matéria seca dos tubérculos sem afetar o número de caules, o rendimento e o número de tubérculos não comercializáveis. Os autores explicaram que essa diminuição ocorrida no conteúdo de matéria seca de tubérculos pode estar associada à influência do N na biossíntese de giberelinas e outras atividades fitohormonais que influenciam diretamente o crescimento das plantas e o acúmulo de matéria seca. Por outro lado, assim como no experimento de 2018 (Figura 6a), Banjare; Sharma; Verma (2014) encontraram o peso seco máximo de tubérculo por planta na aplicação de 375 kg.ha⁻¹ de N.

4 CONCLUSÕES

A produtividade de tubérculos de batata aumentou com o aumento das doses de N no plantio, atingindo o valor máximo de 47,47 e 27,12 toneladas.ha⁻¹, com a dose de 278,98 e 153,25 kg.ha⁻¹ de N, para os experimentos de 2018 e 2019, respectivamente.

O valor da leitura SPAD aumentou com o aumento da dose de N em pré-plantio até a dose de 262,0 kg.ha⁻¹ e 203,5 kg.ha⁻¹ para os experimentos de 2018 e 2019, respectivamente.

Os critérios de aplicação não influenciaram significativamente as variáveis ligadas à produtividade não comercial, número de tubérculos, matérias massa seca da parte aérea e teor de matéria seca de tubérculos.

O critério A1 se mostra mais eficiente na recomendação de N em cobertura, pois recomendou doses menores de N em cobertura sem influenciar na produtividade.

REFERÊNCIAS

- Alemayehu, T. G.; Nigussie, D.; Tamado, T. Response of potato (*Solanum Tuberosum* L.) yield and yield components to nitrogen fertilizer and planting density at Haramaya, Eastern Ethiopia. **Journal of Plant Sciences**, v. 3, p. 320–7, 2015.
- Argenta, G.; Silva, P. R. F. Da; Bortolini, C. G. Teor de clorofila na folha como indicador do nível de N em cereais. **Ciência Rural**, v. 31, n. 3, p. 715-722, 2001.
- Assunção, N. S.; Fernandes, A. M.; Soratto, R. P.; Mota, L. H. S.; Ribeiro, N. P.; Leonel, M. Tuber yield and quality of two potato cultivars in response to nitrogen fertilizer management. **Potato Research**, p.1-20, 2020.
- Banjare, S.; Sharma, G.; Verma, S. K. Potato crop growth and yield response to different levels of nitrogen under Chhattisgarh plains agro-climatic zone. **Indian Journal of Science and Technology**, v. 7, n. 10, p.1504, 2014.
- Bisognin, D. A. B. A.; da Costa, L. C.; Andriolo, J. L.; Muller, D. R. M.; Bandinelli, M. G. Produtividade e qualidade de tubérculo de clones de batata. **Ciência e Natura**, v. 30, n.1, p. 43-56, 2008.
- Busato, C. **Características da planta, teores de nitrogênio na folha e produtividade de tubérculos de cultivares de batata em função de doses de nitrogênio**. 142 f. 2007. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.
- Busato, C.; Fontes, P. C. R.; Braun, H. Produção de tubérculos de cultivares de batata em função de doses de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, v. 27, n. S1284-S1288, 2009.
- Braun, H. **Produtividade, índices fisiológicos e nitrogenados avaliados na planta em tempo real, influenciados pelo manejo do nitrogênio, época de cultivo e cultivar de batata**. 241 f. 2012. Tese (Doutorado em Fitotecnia)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.
- Cardoso, A. D.; Alvarenga, M. A. R.; Dutra, F. V.; Melo, T. L.; Viana, A. E. S. Características físico-químicas de batata em função de doses e fracionamentos de nitrogênio e potássio. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. 3, p. 567-575, 2017.
- Cardoso, A. F.; Queiroz, A. D. A.; Lana, R. M. Q.; De Oliveira, R. C.; Luz, J. M. Q. Adubação nitrogenada em cultivares de batata em diferentes condições edafoclimáticas no estado de Minas Gerais-Brasil. **Revista de la Facultad de Agronomía**, v. 115, n. 2, p. 221-228, 2016.
- Coelho, F. S. **Uso do clorofilômetro como ferramenta de manejo da adubação nitrogenada da cultura da batata**. 162 f. 2011. Tese (Doutorado Fitotecnia)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.
- Coelho, F. S.; Fontes, P. C. R.; Puiatti, M.; Neves, J. C. L.; Silva, M. C. C. Dose de nitrogênio associada à produtividade de batata e índices do estado de nitrogênio na

- folha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1175-1183, 2010.
- Coelho, F. S.; Fontes, P. C. R.; Finger, F. L.; Cecon, P. R. Avaliação do estado nutricional do nitrogênio em batateira por meio de polifenóis e clorofila na folha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 4, p. 584-592, 2012.
- Darwish, T. M.; Atallah, T. W.; Hajhasan, S.; Haidar, A. N and water use efficiency of fertigated processing potato. **Agricultural Water Management**, v. 85, p. 95-104, 2006.
- da Silva Filho, J. B.; Cezar Rezende Fontes, P.; Martinez, H. E. P.; Cecon, R. P.; McGiffen, M. E. Index for potato nitrogen status diagnosis in a three-phase hydroponic system. **Journal of Plant Nutrition**, v. 41, n. 17, p. 2183-2188, 2018.
- Davenport, J. R.; Milburn, P. H.; Rosen, C. J.; Thornton, R. E. Environmental impacts of potato nutrient management. **American Journal Potato Research**, v. 82, p. 321–328. 2005.
- Dechen, A. R.; Nachtigall, G. R. **Elementos requeridos à nutrição de plantas**. In: Novais, R. F.; Alvarez-V, V. H.; Barros, N. F.; Fontes, R. L. F.; Cantarutti, R. B.; Neves, J. C. L. (Eds.). *Fertilidade do solo*. Viçosa: SBCS, 2007. p. 91-132.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.
- Etemad, B.; Sarajuoghi, M. Study of the effect of different levels and application timing of nitrogen fertilizer on yield and number of potato tuber of Agria in Ghorveh, Iran. **Annals of Biological Research**, v. 3, n. 3, p. 1385-1387, 2012.
- FAOSTAT - **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/faostat>. 2019>. Acesso em 10 nov. de 2020.
- Fontes, P. C. R.; Braun, H.; Busato, C.; Cecon, P. R. Economic optimum nitrogen fertilization rates and nitrogen fertilization rate effects on tuber characteristics of potato cultivars. **Potato Research**, v. 53, p. 167-179, 2010.
- Fontes, P. C. R. **Cultura da batata**. In: FONTES, P. C. R. (ed.). *Olericultura: teoria e prática*. Viçosa: UFV, 2005. p. 323-343.
- Fontes, P. C. R. **Batata**. In: Ribeiro, A. C.; Guimarães, P. T. G.; Alvarez V., V. H. (eds.). *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação*. Viçosa: Comissão de fertilidade do solo do estado de Minas Gerais, 1999. p. 179-179.
- Fontes, P. C. R. **Nutrição mineral de plantas: anamnese e diagnóstico**. Viçosa. MG: Editora UFV, 2016. 315p.

lerna A.; Pandino, G.; Lombardo, S.; Mauromicale, G. Tuber yield, water and fertilizer productivity in early potato as affected by a combination of irrigation and fertilization. **Agricultural Water Management**, v. 101, p. 35-41, 2011.

Jha, K. K.; Jha, A. K.; Deepshikha, B. H. T. Quality of potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers as affected by varieties and NPK levels. **Int J Tropical Agric.**, v. 26, n. 1-2, p. 271-72, 2008.

Kaiser, I. S.; Lima, V. L. S.; Pratissoli, D.; Machado, L. C.; Freitas Bueno, R. C. O. Toxicidade de *Bacillus thuringiensis* em diferentes idades de lagartas de *Agrotis ipsilon* (Lepidoptera: Noctuidae). **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 19, n. 1, p. 118-121, 2020.

Kandi, M. A. S.; Tobeh, A.; Gholipoor, A.; Jahanbakhsh, S.; Hassanpanah, D.; Sofalian, O. Effects of different nitrogen fertilizer rate on starch percentage, soluble sugar, dry matter, yield and yield components of potato cultivars. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 5, n. 9, p. 1846-1851, 2011.

Mackerron, D. K. L. Perspectives for use in practice: How can assessment of plant and crop nitrogen status be used in practice. In: HAVERKORT, A. J.; MACKERRON, D. K. L. (ed.). **Management of nitrogen and water in potato production. Wageningen Pers, Wageningen, the Netherlands**, p. 103-110, 2000.

Mahamud, M. A.; Chowdhury, M. A. H.; Rahim, M. A.; Mohiuddin, K. M. Mineral nutrient contents of some potato accessions of USA and Bangladesh. **Journal of the Bangladesh Agricultural University**, v. 13, n. 2, p. 207-214, 2015.

Milagres, C. C.; Fontes, P. C. R.; da Silva, J. M. Potato tuber yield and plant morphological descriptors as affected by nitrogen application. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 50, n. 15, p. 1897-1906. 2019.

Milagres, C. D. C.; Fontes, P. C. R.; Silveira, M. V. D.; Moreira, M. A.; Lopes, I. P. D. C. Índices de nitrogênio e modelo para prognosticar a produção de tubérculos de batata. **Revista Ceres**, v. 65, n. 3, p. 261-270, 2018.

Nunes, J. C. S. **Sistema de preparo do solo para plantio manual e mecanizado da batateira irrigada por aspersão e gotejamento**. 2004. 120f. Tese (Doutorado em Fitotecnia)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

Nurmanov, Y. T.; Chernenok, V. G.; Kuzdanova, R. S. Potato in response to nitrogen nutrition regime and nitrogen fertilization. **Field crops research**, v. 231, p. 115-121, 2019.

Moussa, S. A.; Hafez, L. M.; El-Fadl, N. I. A. Effect of different levels of sulphur and nitrogen fertilizers on potato productivity, acrylamide formation and amino acids content in processed potatoes. **Middle East Journal of Agriculture Research**, v. 7, n. 4, p. 1626-1646, 2018.

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.

Petropoulos, S. A.; Fernandes, Â.; Polyzos, N.; Antoniadis, V.; Barros, L.; CFR Ferreira, I. The Impact of fertilization regime on the crop performance and chemical composition of potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivated in central Greece. **Agronomy**, v. 10, n. 4, p. 474-491, 2020.

Porto, J. S.; de Queiroz Costa, R.; Rebouças, T. N. H.; Lemos, O. L.; Luz, J. M. Q.; Amorim, Y. F. Índice SPAD e crescimento do tomateiro em função de diferentes fontes e doses de nitrogênio. **Scientia Plena**, v. 10, n. 11, p. 1-8, 2014.

Regassa, D.; Tigre, W.; Mellise, D.; Taye, T. Effects of nitrogen and phosphorus fertilizer levels on yield and yield components of Irish potato (*Solanum Tuberosum*) at Bule Hora District, Eastern Guji Zone, Southern Ethiopia. **Intl. J. Agric. Econ**, v. 1, n. 3, p. 71-77, 2016.

Rens, L. R.; Zotarelli, L.; Cantliffe, D. J.; Stoffella, P. J.; Gergela, D.; Fourman. D. Biomass accumulation, marketable yield, and quality of Atlantic potato in response to nitrogen. **Agronomy Journal**, v. 107, n. 3, p. 931-942, 2015.

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

Silva, A. S. **Percloroeto de ferro como sinalizador de injúrias em tubérculos de batata e caracterização de isolados de Pectobacterium spp.** 134 f. 2012. Tese (Doutorado em Agronomia)- Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.

Singh, H.; Sharma, M.; Goyal, A.; Bansal, M. Effect of nitrogen and sulphur on growth and yield attributes of potato (*Solanum tuberosum* L.). **International Journal of Plant and Soil Science**, v. 9, n. 5, p. 1-8, 2016.

Srek, P.; Hejzman, M. Kunzova. E. Multivariate analysis of relationship between potato (*Solanumtuberosum* L.) yield, amount of applied elements, their concentrations in tubers and uptake in a long-term fertilizer experimete. **Field Crop Research**, v. 118, p. 183-193, 2010.

Taiz, L.; Zeiger, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954 p.

Tanios, S.; Tegg, R.; Eyles, A.; Thangavel, T.; Wilson, C. Potato tuber greening risk is associated with tuber nitrogen content. **American Journal of Potato Research**, v. 97, p.360–366,2020.

Tolessa, E. S. A review on water and nitrogen use efficiency of potato (*Solanum tuberosum* L.) in relation to its yield and yield components. **Archives of Agriculture and Environmental Science**, v. 4, n. 2, p. 119-132. 2019.

Trawczyński, C. Influence of nitrogen fertilization on the yield, quality and nitrogen utilization efficiency of early potato tubers harvested on two dates." **Journal of Elementology**, v. 24, n. 4, p. 1253-1267, 2019.

Zaeen, A. A.; K. Sharma, L.; Jasim, A.; Bali, S.; Buzza, A.; Alyokhin, A. Yield and quality of three potato cultivars under series of nitrogen rates. **Agrosystems, Geosciences & Environment**, v. 3, n. 1, p. 1-24, 2020.

Zelalem, A.; Takalign, T.; Nigussie, D. Response of potato (*Solanum tuberosum* L.) to different rate of nitrogen and phosphorus fertilization on vertisols at Debre Birhan, in the central highlands of Ethiopia. **African Journal of Plant Science**, v. 3, p. 16-24, 2009.

Wang, Y.; Jensen, C. R.; Liu F. Nutritional responses to soil drying and rewetting cycles under partial root-zone drying irrigation. **Agricultural Water Management**, v. 179, p. 254-259, 2017.

CAPÍTULO II

ÍNDICES DE EFICIÊNCIA DO NITROGÊNIO DA BATATA EM RESPOSTA ÀS DOSES DE NITROGÊNIO ESTIMADAS POR ALGORITMOS E APLICADAS EM COBERTURA

RESUMO

Objetivou-se com a realização deste trabalho avaliar o efeito da aplicação de doses de nitrogênio (N) estimadas por algoritmos e aplicadas em cobertura sobre diferentes índices de eficiência do nitrogênio em batata Asterix. Foram instalados dois experimentos no campo, um no ano de 2018 e outro no de 2019. Os experimentos foram instalados no delineamento em blocos casualizados, no esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições, cujos tratamentos, na parcela, foram determinados por cinco doses de N em pré-plantio (0, 50, 100, 200 e 300 kg.ha⁻¹) e nas subparcelas por três critérios de N em cobertura. Aos 21 dias após a emergência (DAE) foi avaliada a quarta folha de batata totalmente desenvolvida, com o clorofilômetro SPAD. Essa leitura foi utilizada como indicadora da necessidade de adubação em cobertura. Adicionalmente, aos 21 DAE foi analisada a variável teor de N da quarta folha. Na colheita dos tubérculos foram determinadas as seguintes variáveis: teor de N da parte área, teor de N dos tubérculos, quantidades de N absorvido pela parte aérea, tubérculos e total, índice de colheita, eficiência de uso de N, eficiência agrônômica de N e eficiência fisiológica de N. Houve efeito de da aplicação de doses de N em cobertura estimadas por algoritmos sobre as variáveis eficiência do uso de N na matéria seca e eficiência do uso de N no peso fresco. As variáveis foram significativamente influenciadas pela dose de N aplicado no momento do plantio. Os critérios de aplicação não influenciaram significativamente nas variáveis ligadas a teor e quantidade de N absorvido, com exceção para o teor de N dos tubérculos no experimento de 2018. As variáveis teor de N da QF, teor de N da parte aérea, quantidade de N absorvido pela parte aérea, tubérculo e planta e a eficiência agrônômica de N foram significativamente influenciadas pela dose de nitrogênio aplicado no pré-plantio. A variável eficiência agrônômica de N foi significativamente influenciada pela dose de nitrogênio estimada pelos critérios de recomendação de N

em cobertura. Os maiores valores obtidos das variáveis relacionadas com teor e quantidade de N absorvido foram aqueles nos quais se aplicaram de 200 a 300 kg.ha⁻¹ de N. Não houve efeito significativo do fator critério de recomendação. Entretanto, o critério A1 merece destaque por ser o que menos recomendou N em cobertura.

Palavras-chave: Fertilização Nitrogenada. Asterix. Teor de Nitrogênio.

POTATO NITROGEN EFFICIENCY INDICES IN RESPONSE TO NITROGEN DOSES ESTIMATED BY ALGORITHMS AND APPLIED IN COVERAGE

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the effect of applying nitrogen rates (N) estimated by algorithms and applied in topdressing on different nitrogen efficiency indices in Asterix potato. Two experiments were installed in the field, one in 2018 and another in 2019. The experiments were installed in a randomized block design, in a split-plot scheme, with four replications, whose treatments, in the plot, were determined by five doses of N in pre-planting (0, 50, 100, 200 and 300 kg.ha⁻¹) and in the subplots by three criteria of N in coverage. At 21 days after emergence (DAE) the fourth fully developed potato leaf was evaluated with the SPAD chlorophyll meter. This reading was used as an indicator of the need for topdressing fertilization. Additionally, at 21 DAE, the variable N content of the fourth leaf was analyzed. In the tuber harvest, the following variables were determined: N content of the area part, N content of the tubers, amounts of N absorbed by the shoot, tubers and total, harvest index, N use efficiency, N agronomic efficiency and Physiological efficiency of N. There was an effect of the application of N doses in topdressing estimated by algorithms on the variables N use efficiency in dry matter and N use efficiency in fresh weight. The variables were significantly influenced by the dose of N applied at the time of planting. The application criteria did not significantly influence the variables related to the content and amount of N absorbed, with the exception of the N content of the tubers in the 2018 experiment. The variables N content of the QF, N content of the shoot, N amount uptake by shoot, tuber and plant and the agronomic efficiency of N were significantly influenced by the dose of nitrogen applied at pre-planting. The variable N agronomic efficiency was significantly influenced by the nitrogen dose estimated by the N coverage recommendation criteria. The highest values obtained for the variables related to content and amount of absorbed N were those in which 200 to 300 kg.ha⁻¹ of N were applied. There was no significant effect of the recommendation criterion factor. However, criterion A1 deserves to be highlighted for being the one that least recommended N in coverage.

Keywords: Nitrogen Fertilization. Asterix. Nitrogen Content.

1 INTRODUÇÃO

A batata (*Solanum tuberosum* L.), um dos vegetais mais consumidos na dieta da população brasileira, apresenta elevado potencial produtivo, especialmente quando a cultura é adequadamente fertilizada com nitrogênio (N). Falta ou excesso de N é prejudicial à cultura, ao produtor e ao meio ambiente, tornando desejável o manejo adequado do N na cultura (Milagres et al., 2018).

A maneira mais simples de recomendar a fertilização nitrogenada consiste em utilizar, em todas as situações, uma dose fixa de N para a cultura, independentemente da cultivar, época de plantio, ciclo cultural, potencial produtivo do sistema de produção, conteúdo de matéria orgânica no solo antes do plantio, modo de parcelamento da dose de N, tipo de solo, entre outros. Neste caso, não há preocupação com o aumento na eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado e nem com a quantidade de N residual deixada no solo por ocasião da colheita (Araújo et al., 2007).

Para a cultura da batata no Brasil, geralmente, a dose de N tem sido definida de maneira empírica, baseando-se na experiência do produtor ou, raramente, em relação derivada da produtividade esperada da cultura e eficiência do uso do N. Neste caso, ao se aplicar uma dose fixa, sem a preocupação com a eficiência do uso do N, aumenta-se a probabilidade de deixar alta quantidade de N-residual no solo por ocasião da colheita. Além disso, a aplicação de excesso de adubo nitrogenado para alcançar maior produtividade pode levar a menor sustentabilidade da cultura (Silva et al., 2013).

Nas últimas décadas, esforços têm sido direcionados no sentido de maximizar a eficiência de utilização do N pelas plantas, visando reduzir os custos de produção, evitar a degradação dos recursos ambientais e aumentar a produtividade das culturas. A eficiência do uso do fertilizante nitrogenado (EUN) pode ser expressa de várias formas, sendo mais comumente expressa em produção de tubérculos por kg de N adicionado ao solo como adubo estando em média em torno de 55% (Rens et al., 2016). A exploração da base genética da EUN é uma possibilidade (Getahun et al. 2020). Estudos demonstram que a EUN na cultura da batata decresceu 7% em condição de deficiência de N (Zhang et al., 2020). Já em vasos, a EUN (produção de tubérculo.dose⁻¹) decresceu (696; 398 e 273 kg.kg⁻¹) com aumento da dose de N (46; 92 e 138 kg.ha⁻¹) como ureia (Zareabyaneh; Bayatvarkeshi, 2015).

O N tem grande mobilidade no solo, especialmente em solos mais arenosos, onde a batata é comumente cultivada (Silva et al., 2018). Diante da impossibilidade da utilização de outro critério, a dose de N pode ser definida com base na produção esperada, pela relação 1 kg de N para \pm 40 kg de tubérculos (Fontes; de Castro Silva; Miranda, 2012).

Aparentemente, a batata necessita de maior disponibilidade, mas apresenta menor utilização de N em comparação com outras espécies (Goffart et al., 2008). Tem sido relatada eficiência de recuperação de N do fertilizante de 21 a 62% (Cambouris et al., 2008), em grande parte devido à variação na dose de N aplicada (Trawczyński, 2020).

Obviamente, a relação de eficiência pode ser alterada por vários fatores como cultura anterior, precipitação, tipo de solo, cultivar, práticas culturais, idade do tubérculo plantado, espaçamento, fonte nitrogenada e o parcelamento adotado da dose de N.

Quando a aplicação de fertilizante com N ocorre em uma única aplicação, a probabilidade de lixiviação no solo é aumentada em comparação com a aplicação dividida da mesma dose de N (Scholberg et al., 2013). Áreas agrícolas com alta suscetibilidade a perdas de N requerem estratégias de aplicação de fertilizantes para minimizar a probabilidade de lixiviação de N no solo por eventos de chuva (Cambouris et al., 2016). Ademais, a recuperação do N dos fertilizantes nitrogenados pelas plantas é relativamente baixa devido, em parte, à volatilização de amônia, lixiviação e desnitrificação do nitrato, tornando-se um nutriente suscetível à perda no sistema (Rodrigues et al., 2018).

Uma das maneiras de reduzir as possíveis perdas de N é aumentando a eficiência de utilização de N pelas plantas de batata, adicionando inibidor da nitrificação ao fertilizante (Souza et al., 2020). Entretanto, tal procedimento não está incorporado ao processo de produção de batata.

Nesse contexto, busca-se a determinação da dose ótima de N para a produção agrícola que minimiza o risco de degradação ambiental e requeira menos empirismo. Assim, o melhor manejo de N na planta de batata visa não apenas melhorar a produtividade e a qualidade dos tubérculos, mas também aumentar a eficiência do uso do fertilizante nitrogenado e reduzir o risco de poluição ambiental (Fontes; de Castro Silva; Miranda, 2012).

Objetivou-se com o presente trabalho avaliar o efeito da aplicação de doses de N estimadas por algoritmos e aplicadas em cobertura sobre diferentes índices de eficiência do N em batata Asterix.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram instalados e conduzidos dois experimentos no campo, em 2018 e 2019. A localização e caracterização da área experimental, tratamentos e delineamento experimental e instalação e condução do experimento foram os mesmos descritos no capítulo 1.

Variáveis avaliadas

- Teor de N da quarta folha, parte aérea e tubérculos

Para avaliação do teor de N da quarta folha (QF), as folhas foram coletadas aos 21 DAE. Para avaliar o teor de N da parte aérea e tubérculos foram coletadas duas plantas por parcela no início do período de senescência (65 a 70 DAE) e três plantas ao final do ciclo (colheita), respectivamente. Os materiais foram levados para o laboratório e separados em parte aérea (caule e folhas) e tubérculos. As partes foram pesadas separadamente, devidamente identificadas, colocadas em sacos de papel em estufa com ventilação forçada de ar à 70°C até atingir peso seco constante. Os materiais, após secos, foram pesados e triturados em moinho tipo Willey com malha de 20 mesh e encaminhados ao laboratório para a determinação do N-total pelo método Kjeldahl, determinando-se o teor de N por titulometria, após a destilação de amônia por arraste de vapor. A partir dos dados de matéria seca e teor de N-total (g.kg^{-1}), foram calculadas as seguintes variáveis:

- Quantidade de N total absorvido

O N total absorvido pela planta foi aferido pela soma entre o absorvido pela parte aérea e pelos tubérculos:

$$N_{\text{total}} = N_{\text{pa}} + N_{\text{tub}}$$

Em que: N_{total} = quantidade total de N absorvida (kg.ha^{-1} de N); N_{pa} = quantidade N absorvida pela parte aérea (kg.ha^{-1} de N); e N_{tub} = quantidade de N absorvida pelos tubérculos (kg.ha^{-1} de N).

- Índice de colheita

O índice de colheita (IC) foi determinado pela razão entre a massa seca de tubérculos e a massa de matéria seca total da planta:

$$IC (\%) = M_{\text{Stubérculos}} / M_{\text{Splanta}}$$

Em que: $M_{\text{Stubérculos}}$ = matéria seca de tubérculos no tratamento ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$); e M_{Splanta} = matéria seca de planta total no tratamento ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$).

- Eficiência de absorção do N (EABN)

A eficiência de absorção do N foi dada pela equação:

$$EABN (\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}) = Q_{\text{NPANx}} / N_x$$

Em que: Q_{NPANx} = quantidade de N na parte aérea da planta no tratamento N_x ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$); N_x = dose de N aplicada no tratamento ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$).

- Eficiência de uso do N (EUSN)

A eficiência de uso do N foi expressada na base de matéria seca e no peso fresco de tubérculos, conforme equações abaixo, respectivamente:

$$EUSN_{\text{ms}} (\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}) = M_{\text{Stubérculos}N_x} / N_x$$

Em que: $M_{\text{Stubérculos}N_x}$ = matéria seca de tubérculos no tratamento N_x ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$); e N_x = dose de N aplicada no tratamento ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$).

$$EUSN_{\text{pf}} (\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}) = P_{\text{Ctubérculos}N_x} / N_x$$

Em que: $P_{\text{Ctubérculos}N_x}$ = produção comercial de tubérculos no tratamento N_x (peso fresco) ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$); e N_x = dose de N aplicada no tratamento ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$).

- Eficiência de utilização do N (EUTN)

A eficiência de utilização do N foi dada pela equação abaixo:

$$EUTN \text{ (kg.kg}^{-1}\text{)} = M\text{StubérculosNx} / QNPANx$$

Em que: MStubérculos= matéria seca de tubérculos no tratamento Nx (kg.ha⁻¹); e QNPANx= quantidade de N na parte aérea (k.ha⁻¹ de N) no tratamento Nx.

- Eficiência agronômica do N (EAGN)

A eficiência agronômica do N foi dada pela equação:

$$EAGN \text{ (kg.kg}^{-1}\text{)} = (M\text{StubérculosNx} - M\text{stubérculosN0}) / Nx$$

Em que: MStubérculosNx= matéria seca de tubérculos no tratamento Nx (kg.ha⁻¹); MStubérculosN0= matéria seca de tubérculos na parcela sem adubação (kg.ha⁻¹); Nx= dose de N aplicada no tratamento (kg.ha⁻¹).

- Eficiência fisiológica do N (EFN)

A eficiência fisiológica do N foi dada pela equação:

$$EFN \text{ (kg.kg}^{-1}\text{)} = M\text{StubérculosNx} - M\text{stubérculosN0} / (QNPANx - QNPAN0)$$

em que: MStubérculosNx= matéria seca de tubérculos no tratamento Nx (kg.ha⁻¹); MStubérculosN0= matéria seca de tubérculos na parcela sem adubação (kg.ha⁻¹); QNPANx= quantidade de N na parte aérea (k.ha⁻¹ de N) no tratamento Nx; QNPAN0= quantidade de N na parte aérea (kg.ha⁻¹ de N) na parcela sem adubação.

Análise estatística

Os dados foram analisados por análise de variância. Para o fator qualitativo

(critérios de recomendação de N em cobertura) as médias foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey, adotando-se o nível de 5% de probabilidade. Para o fator quantitativo (doses de N aplicadas em pré-plantio) foi utilizada a análise de regressão e a seleção do modelo que melhor se ajustou aos dados foi feita com base na lógica biológica, no coeficiente de determinação (R^2) e significância dos coeficientes de regressão. Quando não houve efeito significativo da interação e nem de critérios de aplicação, os valores da variável dependente, em cada dose de N, referem-se às médias dos critérios de aplicação. Similar procedimento foi adotado para todas as variáveis dependentes.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No experimento de 2018, as variáveis índice de colheita (IC), eficiência de absorção do N (EABN), eficiência fisiológica do N (EFN) e eficiência de utilização do N (EUTN) não foram significativamente ($p > 0,05$) influenciados pela interação dose de N em pré-plantio e critérios de recomendação de N em cobertura e nem pelos fatores independentes critério de recomendação de N em cobertura e dose de N aplicada em pré-plantio. Os valores médios destas variáveis encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 - Valores médios das variáveis índice de colheita (IC), eficiência de utilização do N (EUTN), eficiência de absorção do N (EABN) e eficiência fisiológica do N (EFN) em função das doses de nitrogênio (N) para o experimento de 2018

Critérios	Dose de N (kg.ha ⁻¹)	Variáveis			
		IC (%)	EUTN (kg.kg ⁻¹)	EABN (kg.kg ⁻¹)	EFN (kg.kg ⁻¹)
A1	0	0,8159	202,8897	0,2225	87,7869
	50	0,8246	197,537	0,3389	199,3733
	100	0,8143	184,4611	0,3723	103,9012
	200	0,8215	173,4535	0,2114	89,0446
	300	0,8303	160,7557	0,1747	89,8233
	Média	0,8213	183,8194	0,26401	113,9859
A2	0	0,8255	193,4365	0,1126	65,1965
	50	0,8466	188,2209	0,1103	58,1199
	100	0,7999	158,3169	0,2120	72,6786
	200	0,8146	162,4312	0,1798	86,1527
	300	0,8224	159,1458	0,1377	80,9505
	Média	0,8218	172,3102	0,150515	72,61969
ISN	0	0,8351	230,9747	0,2181	188,3844
	50	0,8093	163,6581	0,2444	44,4542
	100	0,7885	156,8087	0,3046	56,4515
	200	0,7931	133,8654	0,2584	53,4130
	300	0,8415	166,7507	0,1762	102,4653

Média	0,8135	170,4115	0,2404	89,0337
-------	--------	----------	--------	---------

Fonte: Próprio autor.

No experimento de 2019, as variáveis índice de colheita (IC), eficiência de absorção do N (EABN), eficiência fisiológica do N (EFN) e eficiência de utilização do N (EUTN) não foram significativamente ($p > 0,05$) influenciados pela interação dose de N em pré-plantio e critérios de recomendação de N em cobertura e nem pelos fatores independentes critério de recomendação de N em cobertura e dose de N aplicada em pré-plantio. Os valores médios destas variáveis encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores médios das variáveis índice de colheita (IC), eficiência de utilização do N (EUTN), eficiência de absorção do N (EABN) e eficiência fisiológica do N (EFN) em função das doses de nitrogênio (N) para o experimento de 2019

Critérios	Dose de N (kg.ha ⁻¹)	Variáveis			
		IC (%)	EUTN (kg.kg ⁻¹)	EABN (kg.kg ⁻¹)	EFN (kg.kg ⁻¹)
A1	0	0,7411	199,5417	0,1400	175,2265
	50	0,7613	185,6165	0,3824	322,7634
	100	0,7766	187,1173	0,3014	299,4438
	200	0,7865	172,7843	0,1613	336,8564
	300	0,7402	112,5243	0,1208	86,9420
	Média	0,7678	171,5168	0,2212	244,2464
A2	0	0,9428	171,1485	0,0717	500,6035
	50	0,7807	185,3834	0,1745	439,8461
	100	0,7699	166,23	0,1519	212,0654
	200	0,7809	171,4477	0,1583	227,3336
	300	0,7463	117,5004	0,1023	104,2907
	Média	0,8041	162,342	0,131823	296,8279
ISN	0	0,8472	160,2968	0,1078	176,3729
	50	0,7915	198,5623	0,2352	461,2956
	100	0,7682	167,4362	0,1920	216,6947
	200	0,7781	149,0135	0,1676	184,4595

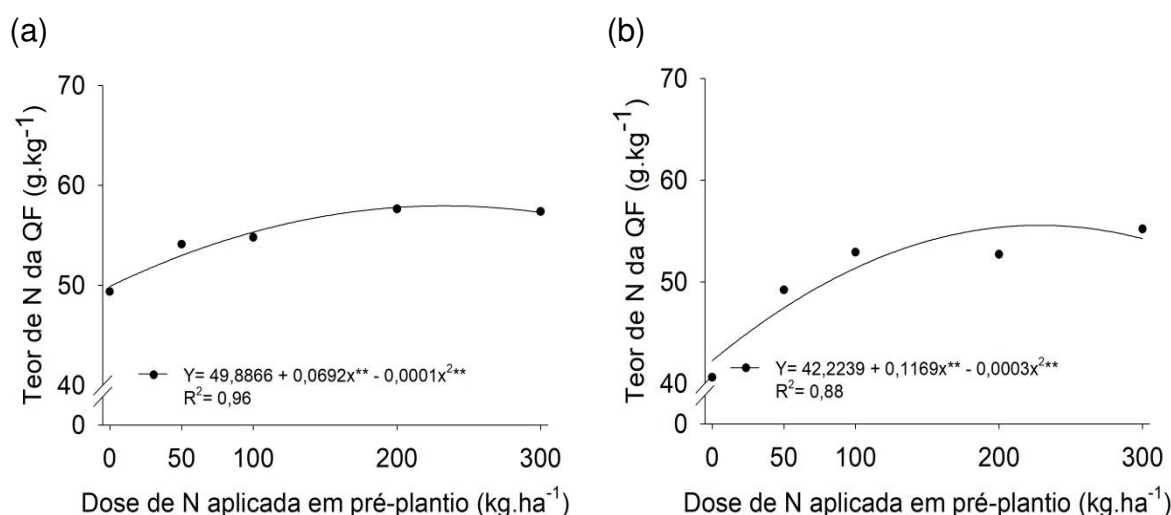
300	0,7651	116,6541	0,1154	85,7793
Média	0,7900	158,3926	0,1636	224,9204

Fonte: Próprio autor.

- Teor de N da quarta folha

Nos dois experimentos, em determinações realizadas na QF, aos 21 DAE, portanto antes da implementação do segundo fator, houve efeito significativo de doses de N aplicadas em pré-plantio sobre as determinações do teor de N na QF ($p < 0,05$), sendo que a relação se ajustou ao modelo quadrático (Figura 1 a-b).

Figura 1 - Relação entre doses de nitrogênio (N) aplicadas em pré-plantio e o teor de N da quarta folha nos experimentos de 2018 (a) e 2019 (b).



Fonte: Próprio autor.

No primeiro ano, o teor de N aumentou até atingir o máximo de $57,90 \text{ g.kg}^{-1}$ com a dose de 232 kg.ha^{-1} (Figura 1a) e no segundo ano, os valores correspondentes foram $55,58 \text{ g.kg}^{-1}$ e $228,44 \text{ kg.ha}^{-1}$, respectivamente (Figura 1b). Na testemunha não adubada com N em pré-plantio foram verificados os menores valores de teor de N da QF, sendo $49,88$ e $42,22 \text{ g.kg}^{-1}$ para os experimentos de 2018 e 2019, respectivamente.

Valores de 40 a 65 g.kg^{-1} de N na matéria seca da folha completamente desenvolvida de batateira jovem são citados como adequados (Rodrigues et al.,

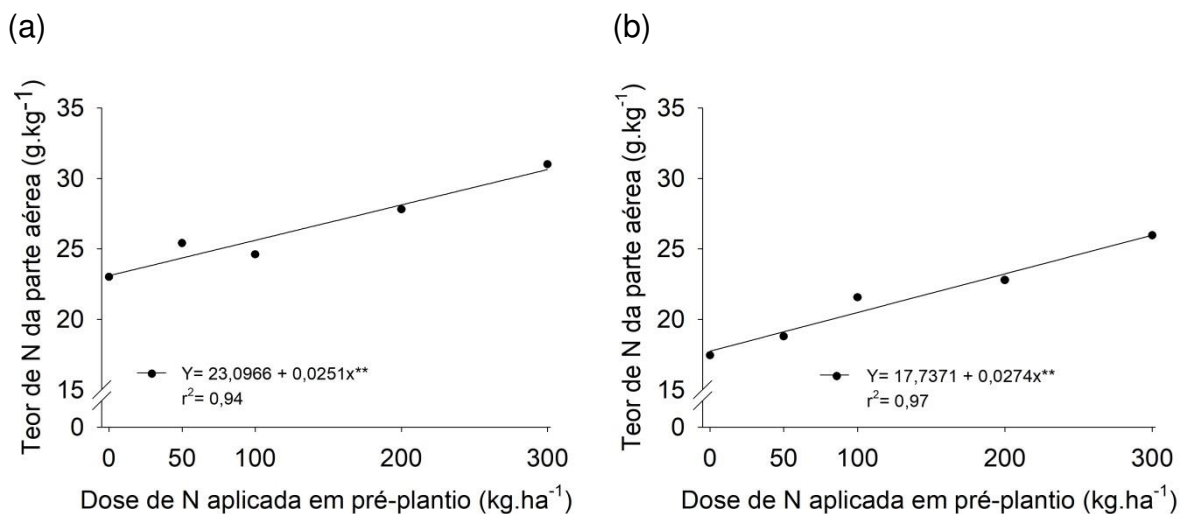
2000). Dessa forma, os resultados encontrados nesse trabalho estão dentro do limite considerado adequado.

Acréscimos nas concentrações de N na folha têm sido detectados com o aumento da quantidade da adubação nitrogenada (Coelho et al., 2010). Os aumentos tendem a atingir variações pronunciadas, que decrescem à medida que aumenta a quantidade do fertilizante aplicado (White; Sanderson, 1983). Assim como neste trabalho, Gil et al. (2002) verificaram que o teor de N na matéria seca da QF da batata no campo também aumentou de maneira quadrática com o incremento das doses de N em pré-plantio, encontrando o valor de $61,5 \text{ g.kg}^{-1}$ para a dose de N que propiciou a maior produção de tubérculos comerciais. Já Coelho et al. (2010) com objetivo de determinar a dose ótima de N associada à máxima produtividade física e econômica de tubérculos de cultivares de batata Asterix, encontraram na dose de $277,37 \text{ kg.ha}^{-1}$ um teor de N na QF de $75,52 \text{ g.kg}^{-1}$.

- Teor de N na parte aérea e tubérculos

Houve apenas efeito isolado das doses de N aplicadas em pré-plantio sobre as determinações do teor de N na parte aérea, sendo que a relação se ajustou ao modelo linear (Figura 2 a-b).

Figura 2 - Teor de nitrogênio (N) da parte aérea em função das doses de N aplicadas em pré-plantio nos experimentos de 2018 (a) e 2019 (b)



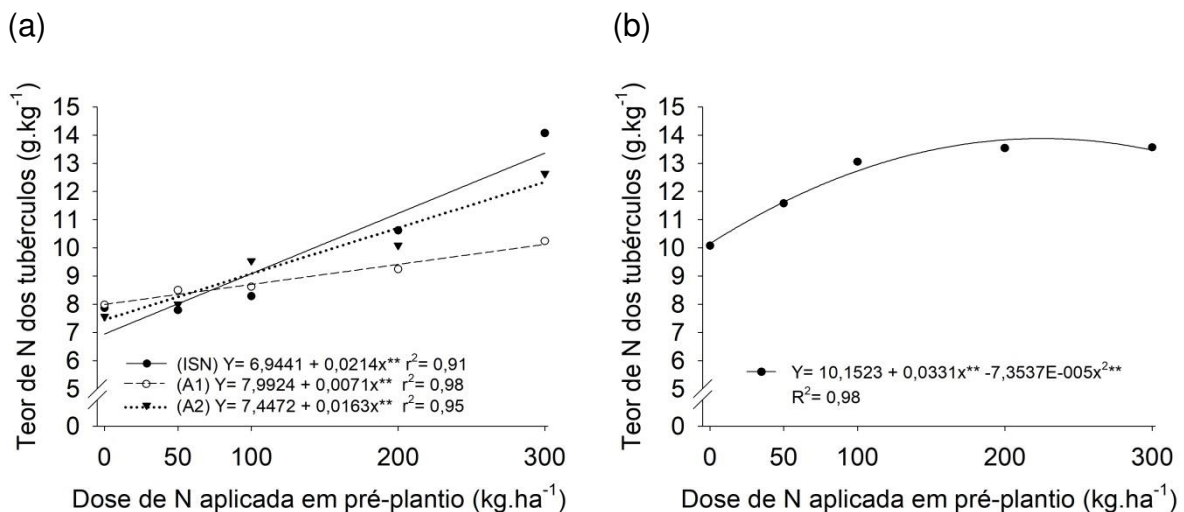
Fonte: Próprio autor.

Em 2018, a dose de 300 kg.ha⁻¹ de N em pré-plantio proporcionou o maior valor do teor de N na parte aérea de 30,62 g.ha⁻¹ (Figura 2a). O mesmo ocorreu em 2019, sendo que 300 kg.ha⁻¹ propiciaram 25,95 g.ha⁻¹ de teor de N na parte aérea (Figura 2b). Na testemunha não adubada com N em pré-plantio foram verificados os menores valores de teor do N da parte aérea, sendo 23,09 e 17,73 g.kg⁻¹ para os experimentos de 2018 e 2019, respectivamente.

Observa-se que o teor de N da parte aérea (Figura 2a-b) foi o dobro do teor de N dos tubérculos (Figura 3a-b). Assim como neste trabalho, o conteúdo de N foi mostrado como sendo duas vezes mais alto na folhagem da batata do que nos tubérculos, com essas diferenças aumentando continuamente com a taxa de fertilizante N (Ruza et al. 2013).

No experimento de 2018 houve efeito significativo da interação dose de N aplicada em pré-plantio x critérios de recomendação de N em cobertura para a variável teor de N dos tubérculos (Figura 3 a). Para o experimento de 2019, houve efeito significativo, apenas de doses de N aplicadas em pré-plantio sobre as determinações do teor de N da parte aérea, sendo que a relação se ajustou ao modelo quadrático (Figura 3b).

Figura 3 - Teor de nitrogênio (N) dos tubérculos em função das doses de N aplicadas em pré-plantio e dos critérios de recomendação de N em cobertura no experimento de 2018 (a) e teor de N dos tubérculos em função das doses de N aplicadas em pré-plantio no experimento de 2019 (b).



Fonte: Próprio autor.

O aumento da dose de N aplicada em pré-plantio no experimento de 2018, resultou em maior teor de N dos tubérculos, onde todas as relações se ajustaram ao modelo linear. O critério ISN propiciou o maior teor de N dos tubérculos ($13,36 \text{ g.ha}^{-1}$) com a dose de 300 kg.ha^{-1} de N em pré-plantio, enquanto o menor ($6,94 \text{ g.ha}^{-1}$) foi observado na testemunha não adubada. Pelo critério A1, o maior valor de teor de N dos tubérculos ($10,12 \text{ g.kg}^{-1}$) foi com a dose de 300 kg.ha^{-1} de N em pré-plantio e o menor ($7,99 \text{ g.kg}^{-1}$) com a dose de 0 kg.ha^{-1} . Já pelo critério A2, o maior valor de teor de N dos tubérculos ($12,33 \text{ g.ha}^{-1}$) foi obtido na dose de 300 kg.ha^{-1} de N em pré-plantio e o menor ($7,44 \text{ g.ha}^{-1}$) na dose de 0 kg.ha^{-1} (Figura 3a).

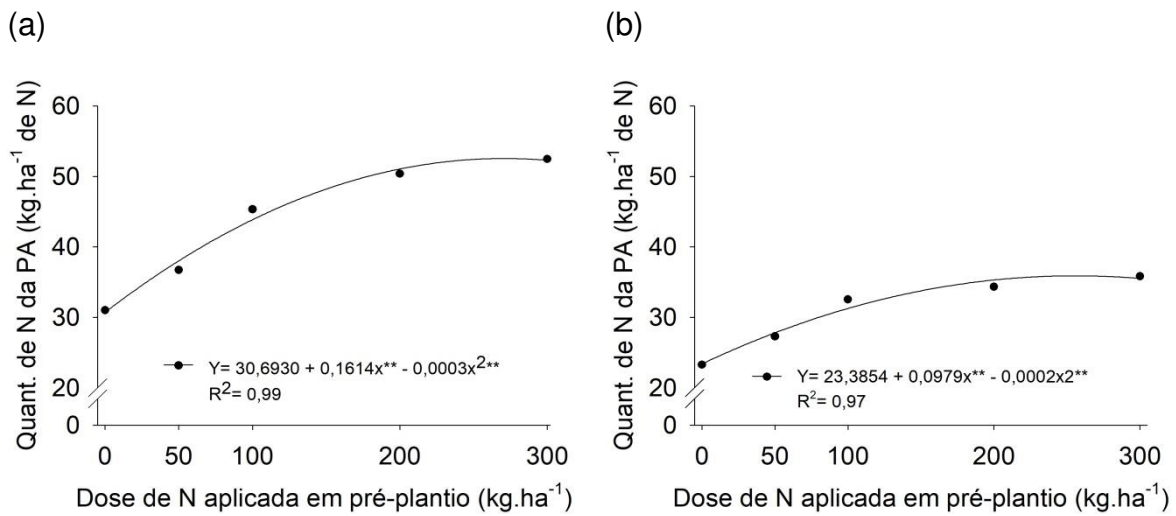
Em 2019, a dose que proporcionou o maior valor de teor de N dos tubérculos ($13,87 \text{ g.ha}^{-1}$) foi a de $225,05 \text{ kg.ha}^{-1}$. Na testemunha não adubada com N em pré-plantio foram verificados o menor valor de teor de N dos tubérculos ($10,15 \text{ g.ha}^{-1}$) (Figura 3b). Em geral, o aumento das taxas de fertilização com N mostra aumento no conteúdo de N no tubérculo (Ruza et al. 2013), embora esta relação possa variar com as condições experimentais e variedade.

Em experimento realizado na Austrália, Tanios et al. (2020), observaram que o aumento nas taxas de fertilização com N de 35 para 185 kg.ha^{-1} aumentou o teor de N do tubérculo na cultivar Maranca, enquanto o inverso foi observado para a cultivar Nicola, levando a uma diminuição no teor de N no tubérculo. Segundo os autores, a falta de associação consistente entre fertilização com N e o conteúdo de N no tubérculo pode ser potencialmente explicado pela mobilização de N nas plantas de batata. O suprimento excessivo de N é conhecido por aumentar a produção de matéria seca em outras partes da planta além dos tubérculos. Por exemplo, alta quantidade de N pode reduzir a proporção de assimilados fornecidos às partes da planta abaixo do solo (Oparka et al. 1987). Portanto, a aplicação de doses excessivas de N pode resultar na redução da partição de N em tubérculos, como observado no experimento de 2019.

- Quantidade de N absorvido pela parte aérea, tubérculos e total

Para os dois experimentos, houve efeito isolado das doses de N aplicadas em pré-plantio sobre a quantidade de N absorvido pela parte aérea, sendo que as relações se ajustaram ao modelo quadrático (Figura 4 a-b).

Figura 4 - Quantidade de nitrogênio (N) absorvido pela parte aérea em função das doses de N aplicadas em pré-plantio nos experimentos de 2018 (a) e 2019 (b)

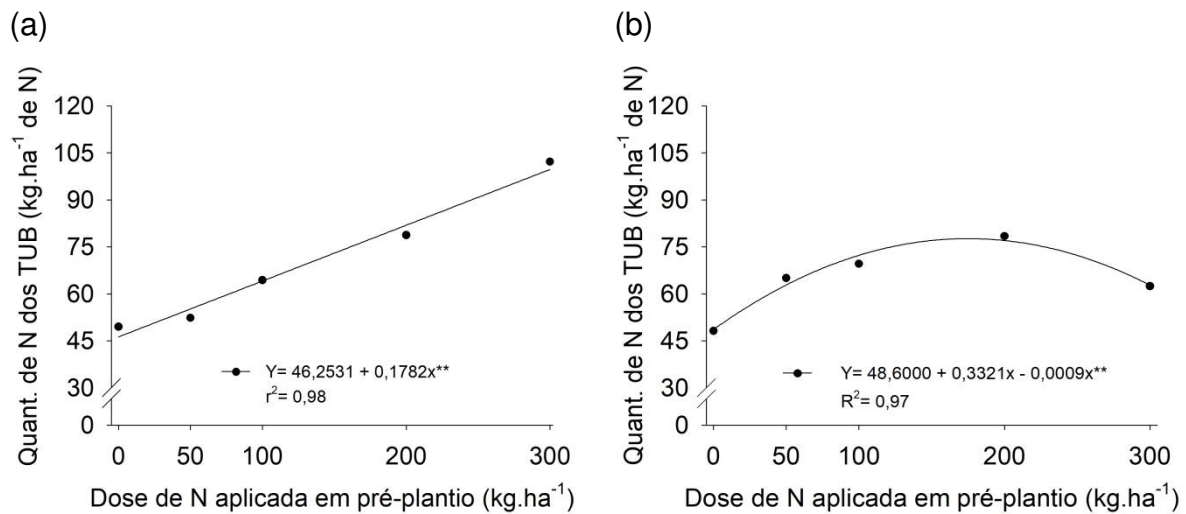


Fonte: Próprio autor.

A dose ótima estimada pela análise de regressão para a dose de N aplicada em pré-plantio foi de 277,37 kg.ha⁻¹ proporcionando uma quantidade de N absorvido pela parte de 52,40 kg.ha⁻¹ para o experimento de 2018 (Figura 4a). No experimento de 2019, a dose ótima foi de 244,75 kg.ha⁻¹, promovendo 35,36 kg.ha⁻¹ de N absorvido pela parte aérea. Os menores valores de quantidade de N absorvido pela parte aérea foram obtidos na testemunha não adubada, sendo de 30,69 kg.ha⁻¹ e 23,38 kg.ha⁻¹ para o experimento de 2018 e 2019, respectivamente.

Houve efeito significativo das doses de N aplicadas em pré-plantio sobre a quantidade de N absorvido pelos tubérculos, sendo que as relações se ajustaram ao modelo linear para o experimento de 2018 e quadrático para 2019 (Figura 5 a-b).

Figura 5 - Quantidade de nitrogênio (N) absorvido pelos tubérculos em função das doses de N aplicadas em pré-plantio nos experimentos de 2018 (a) e 2019 (b)



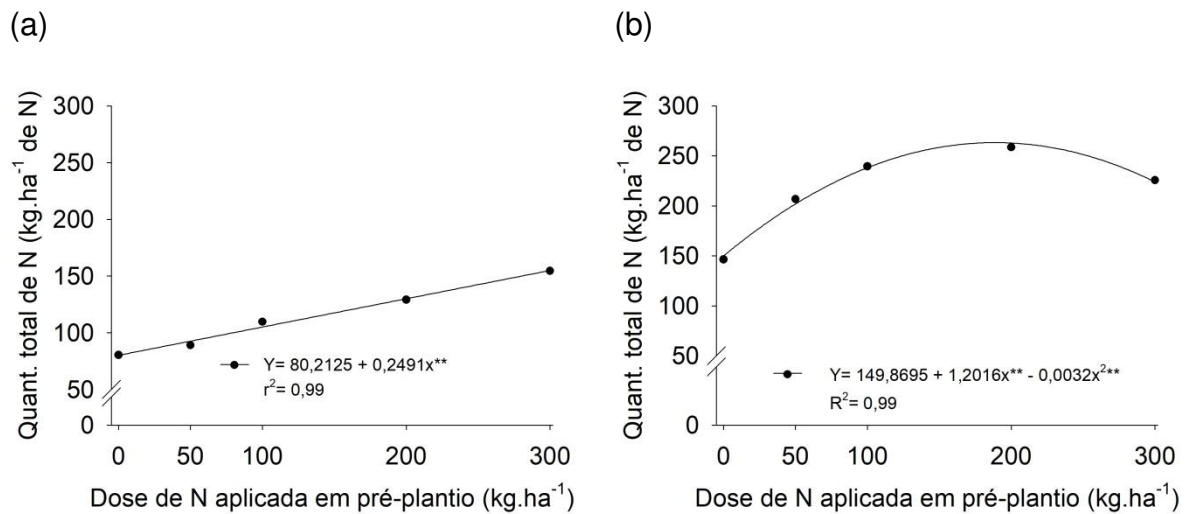
Fonte: Próprio autor.

Em 2018, a dose de 300 kg.ha⁻¹ de N em pré-plantio proporcionou o maior valor de quantidade de N absorvido pelos tubérculos de 99,65 kg.ha⁻¹ (Figura 5a). Em 2019, a dose ótima estimada pela análise de regressão para a dose de N em pré-plantio foi de 184,5 kg.ha⁻¹, proporcionando uma quantidade de N absorvido pelos tubérculos de 79,23 kg.ha⁻¹ (Figura 5b).

A quantidade de N absorvido pelos tubérculos foi menor no experimento de 2019. Tal fato já era esperado, uma vez que a quantidade de N absorvido pela parte aérea também foi menor no experimento de 2019 (Figura 4). Com uma menor absorção pela parte aérea, acredita-se que menos N foi translocado para os tubérculos, explicando o fato da menor absorção dos tubérculos.

Houve efeito significativo das doses de N aplicadas em pré-plantio sobre a quantidade total de N absorvido pela planta, sendo que as relações se ajustaram ao modelo linear para o experimento de 2018 e quadrático para 2019 (Figura 6 a-b).

Figura 6 - Quantidade total de nitrogênio (N) absorvido pela planta em função das doses de N aplicadas em pré-plantio nos experimentos de 2018 (a) e 2019 (b)



Fonte: Próprio autor.

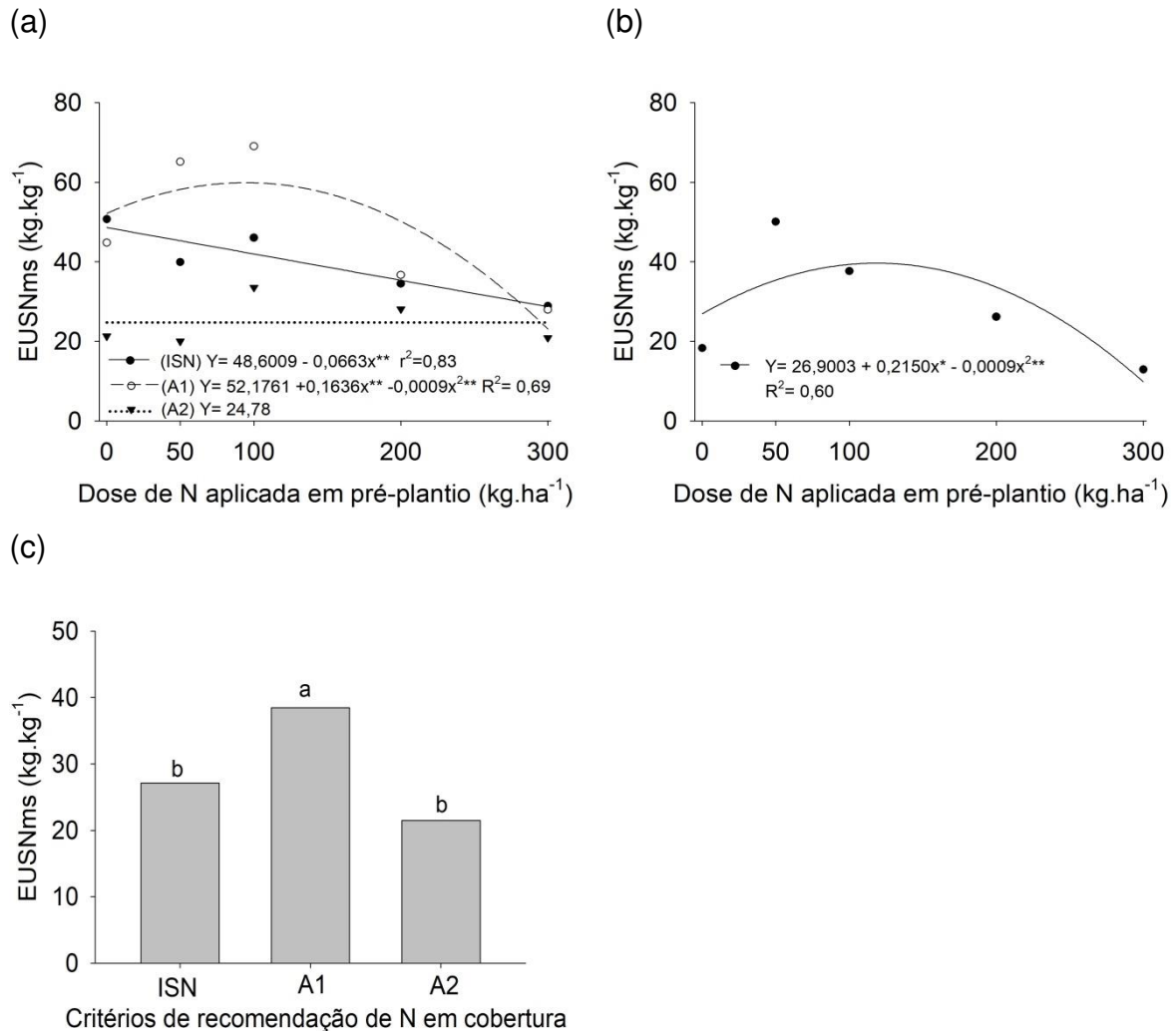
A dose de 300 kg.ha⁻¹ de N em pré-plantio proporcionou o maior valor de quantidade total de N absorvido pela planta, que foi de 154,91 kg.ha⁻¹ de N para o experimento de 2018. Em 2019, a dose de 187,75 kg.ha⁻¹ de N em pré-plantio proporcionou a quantidade de N absorvido pela planta de 262,66 kg.ha⁻¹ de N (Figura 6b).

Tal comportamento já era esperado, visto que a quantidade total de N absorvido é o somatório da quantidade de N absorvido pela parte aérea e pelos tubérculos (Figuras 4 e 5).

- Eficiência de uso do N (EUSNms)

No experimento de 2018 houve efeito significativo da interação doses de N em pré-plantio x critérios de recomendação de N em cobertura para a variável EUSNms (Figura 7a). Para o experimento de 2019, houve efeito significativo para os fatores independentes doses de N aplicadas em pré-plantio (Figura 7b) e critérios de recomendação de N em cobertura (Figura 7c).

Figura 7 - Eficiência de uso do nitrogênio (N) na matéria seca em função das doses de N aplicadas em pré-plantio e dos critérios de recomendação de N em cobertura no experimento de 2018 (a) e em função das doses de N aplicadas em pré-plantio (b) e dos critérios de recomendação de N em cobertura (c) no experimento de 2019



Fonte: Próprio autor.

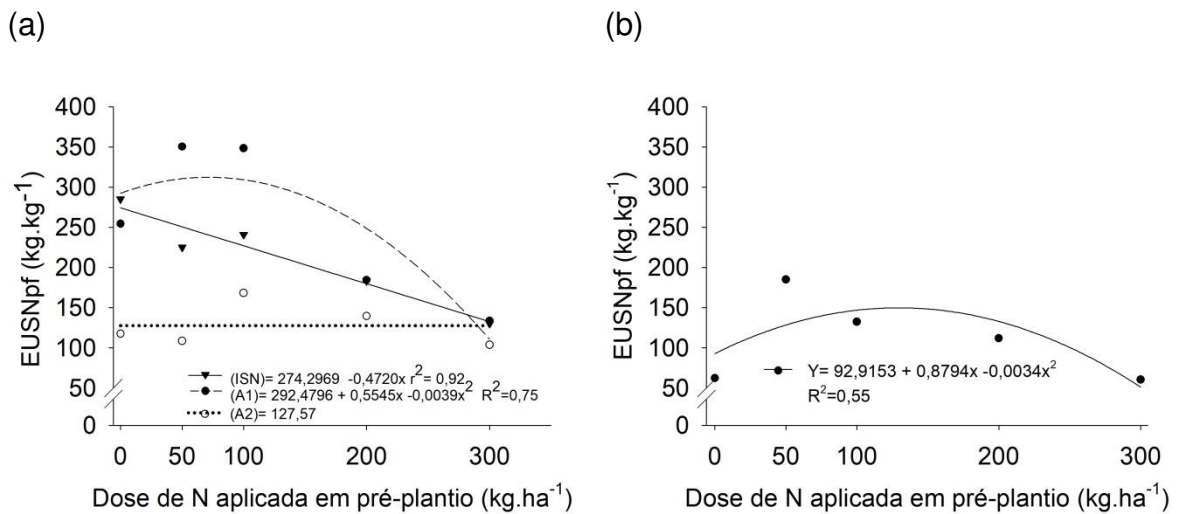
De forma geral, o aumento da dose de N aplicada em pré-plantio resultou em uma menor EUSNms nos dois experimentos. Em 2018, o critério A1 propiciou o maior valor de EUSNms ($59,60 \text{ kg.kg}^{-1}$) na dose de $90,88 \text{ kg.ha}^{-1}$ em pré-plantio, sendo a relação ajustada ao modelo quadrático. Pelo critério ISN, o maior valor de EUSNms ($48,60 \text{ kg.kg}^{-1}$) foi com a dose de 0 kg.ha^{-1} em pré-plantio e a menor ($28,71 \text{ kg.kg}^{-1}$) com a dose de 300 kg.ha^{-1} , sendo a relação ajustada ao modelo linear. O critério de avaliação A2 não foi significativo (Figura 7a).

Em 2019, a dose de $119,44 \text{ kg.ha}^{-1}$ de N aplicada em pré-plantio proporcionou uma EUSNms de $39,74 \text{ kg.kg}^{-1}$. Por outro lado, a maior dose de N aplicada em pré-

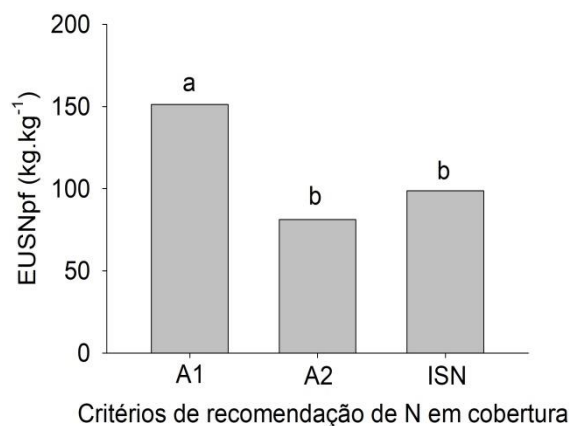
plântio, 300 kg.ha⁻¹ de N, foi a que propiciou o menor valor de EUSNms (10,40 kg.kg⁻¹) (Figura 7b). Com relação aos critérios de recomendação de N em cobertura em 2019, a maior EUSNms foi obtida no critério A1, seguido pelos critérios A2 e ISN, que não apresentaram diferença significativa entre eles (Figura 7c).

Com relação a EUSNpf, no experimento de 2018 houve efeito significativo da interação dose de N em pré-plântio x critérios de recomendação de N em cobertura para a variável EUSNpf (Figura 8a). Para o experimento de 2019, houve efeito significativo para os fatores independentes doses de N aplicadas em pré-plântio (Figura 8b) e critérios de recomendação de N em cobertura (Figura 8c).

Figura 8 - Eficiência de uso do nitrogênio (N) no peso fresco de tubérculos em função das doses de N aplicadas em pré-plântio e dos critérios de recomendação de N em cobertura no experimento de 2018 (a) e em função das doses de N aplicadas em pré-plântio (b) e dos critérios de recomendação de N em cobertura (c) no experimento de 2019



(c)



Fonte: Próprio autor.

Da mesma forma que para a variável EUSNms, o aumento da dose de N aplicada em pré-plantio resultou em uma menor EUSNpf nos dois experimentos. Em 2018, o critério A1 propiciou o maior valor de EUSNpf ($312,18 \text{ kg.ha}^{-1}$) na dose de 71 kg.ha^{-1} de N em pré-plantio, sendo a relação ajustada ao modelo quadrático, enquanto o menor valor ($107,82 \text{ kg.ha}^{-1}$) foi obtido na dose de 300 kg.ha^{-1} de N em pré-plantio. Pelo critério ISN, o maior valor de EUSNpf ($274,29 \text{ kg.kg}^{-1}$) foi com a dose de 0 kg.ha^{-1} em pré-plantio e a menor ($132,69 \text{ kg.kg}^{-1}$) com a dose de 300 kg.ha^{-1} , sendo a relação ajustada ao modelo linear. O critério de avaliação A2 não foi significativo (Figura 8a).

Em 2019, a dose de $129,32 \text{ kg.ha}^{-1}$ de N aplicada em pré-plantio proporcionou uma EUSNpf de $149,77 \text{ kg.kg}^{-1}$. Por outro lado, a maior dose de N aplicada em pré-plantio, 300 kg.ha^{-1} de N, foi a que propiciou o menor valor de EUSNpf ($50,61 \text{ kg.kg}^{-1}$) (Figura 8b). Com relação aos critérios de recomendação de N em cobertura em 2019, a maior EUSNpf foi obtida no critério A1, seguido pelos critérios A2 e ISN, que não apresentaram diferença significativa entre eles (Figura 8c).

Uma elevada eficiência no uso do N é alcançada com o manejo correto da adubação nitrogenada. O procedimento de recomendação da dose de N a ser aplicada é importante, podendo-se aplicar o fertilizante de maneira fracionada, em pré-plantio e em cobertura, concomitantemente com a demanda da planta (Binder et al., 2000). Nos dois experimentos, observa-se que o critério de recomendação de N em cobertura A1 foi o que possibilitou uma maior EUSNms. Segundo Neeteson; Zwetsloot (1989), a batateira é menos eficiente na utilização do N quando o conteúdo de N do solo é muito elevado, mostrando que a planta responde melhor quando se

conhece a quantidade deste nutriente no solo, fornecendo assim subsídios para uma correta fertilização. Dessa forma, a adubação de N em cobertura utilizando esse critério, pode levar a redução da dose do fertilizante para uma quantidade que propicie otimização da produção, redução da lixiviação do N e os impactos ambientais acarretados pela mesma, além de possibilitar uma economia de adubo nitrogenado.

De modo geral, a aplicação de $0 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N em pré-plantio resultou nos maiores valores de EUSNms. Segundo Coelho et al. (2010), maiores valores de EUSN sem aplicação de N em pré-plantio, indica haver quantidade de N no solo. Assim, o N existente no solo supre parte da necessidade da planta. Além disso, os autores enfatizam que a redução da EUSN com a aplicação de doses elevadas de N em pré-plantio pode acarretar em um decréscimo do seu aproveitamento, em função da disponibilidade de N ultrapassar a necessidade da cultura. Outra explicação para tal resultado é dada por Gil (2001), que relata em seu trabalho que a redução da EUSN em maiores doses de N pode estar associada à saturação dos carregadores, já que a absorção do N é ativa. Um deles é o HATS (“high affinity transport system”) o qual é ativado nos casos de baixa concentração de N- no solo, sendo altamente eficiente; o outro é o LATS (“light affinity transport system”) que funciona quando existem altas concentrações de N- no solo (Von Wirén et al., 1997).

Nesse contexto, também é válido salientar que o critério de recomendação de N em cobertura A1 foi o que menos recomendou N em cobertura (Figura 1 do Cap.1). Acredita-se que o N existente no solo e a aplicação de N em cobertura em menor quantidade recomendada pelo critério, foi suficiente para suprir a necessidade da planta, sem ultrapassar a necessidade da cultura, propiciando um manejo de aplicação de N em cobertura que favorece o desenvolvimento da cultura e ao mesmo tempo reduz a aplicação de N, garantindo uma economia de adubo e atenuando os impactos ambientais que estão relacionados à elevada aplicação de N em lavouras de batata.

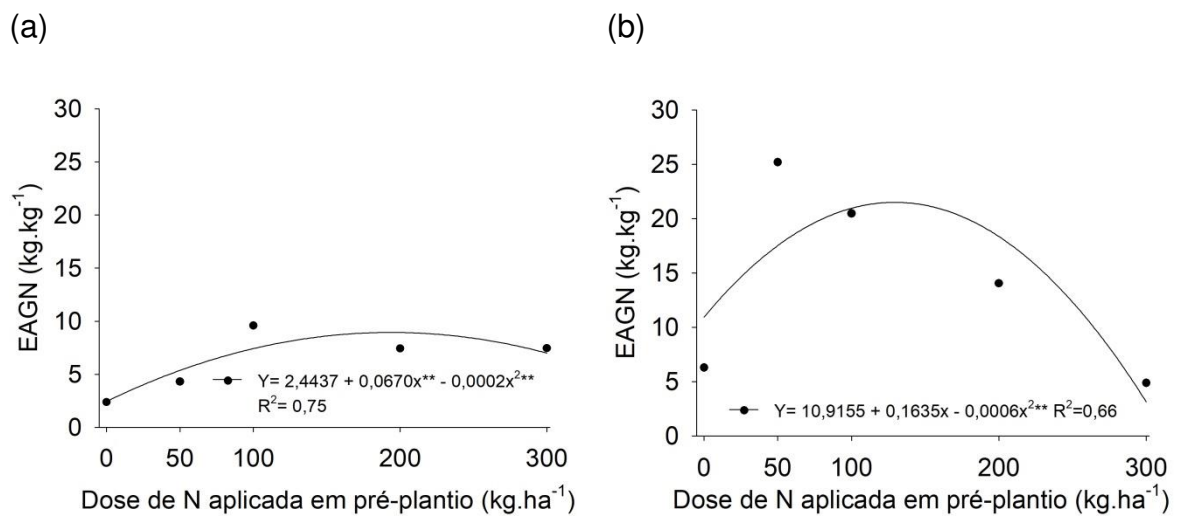
Outros autores também observaram o comportamento obtido neste trabalho. Fontes et al. (2010) observou que a EUSN foi maior com a diminuição da taxa de fertilização com N. Getahun et al. (2019) estudando a diversidade genética de cultivares de batata para EUN sob regimes de N contrastantes observaram valores médios mais elevados em N baixo do que em N alto em ambos os locais de avaliação. Silva (2007) observou que quanto maior a dose aplicada de N, menor foi a EUSN e vice-versa, indicando que maior proporção de N fornecido não foi recuperado pelos

tecidos da planta ou ficou retido no perfil da zona radicular, sendo perdido para camadas profundas. Zebarth et al. (2004) verificaram que a EUSN diminuiu de forma quadrática com o aumento da dose de N aplicada na cultivar de batata Russet Burbank, onde o decréscimo deve-se às perdas de amônia, que aumentam com a dose de aplicação de N.

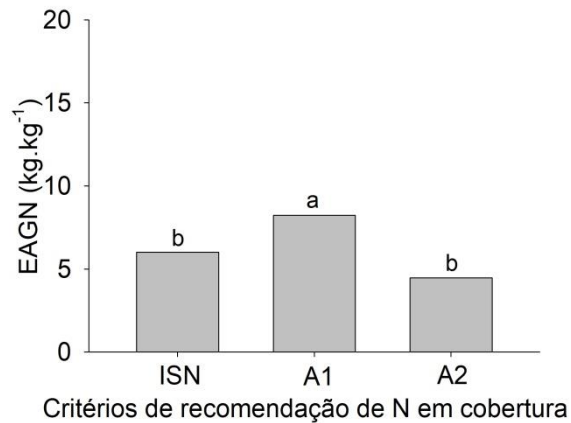
- Eficiência agrônômica de N

Houve efeito significativo para os fatores independentes doses de N aplicadas em pré-plantio e critérios de recomendação de N em cobertura para os dois experimentos (Figura 9a-d).

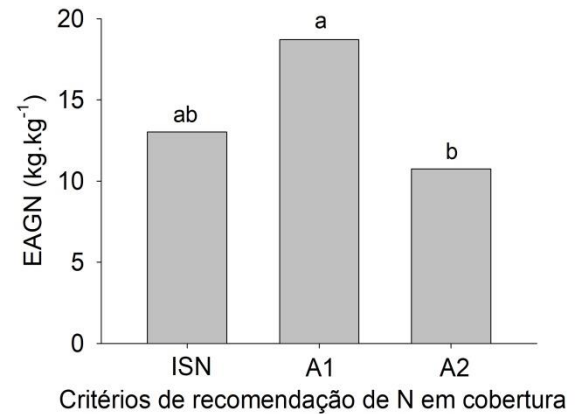
Figura 9 - Eficiência agrônômica de nitrogênio (N) em função das doses de N aplicadas em pré-plantio (Figura a-b) e em função dos critérios de recomendação de N em cobertura (Figura c-d) nos experimentos de 2018 e 2019, respectivamente



(c)



(d)



Fonte: Próprio autor.

Em 2018, a dose de $167,5 \text{ kg.ha}^{-1}$ de N aplicado em pré-plantio proporcionou uma EAGN de $8,05 \text{ kg.kg}^{-1}$. Por outro lado, o menor valor de EAGN ($2,44 \text{ kg.kg}^{-1}$) foi obtido na testemunha não adubada (Figura 9a). Em 2019, a dose que proporcionou o maior valor de EAGN ($22,05 \text{ kg.kg}^{-1}$) foi a de $136,25 \text{ kg.ha}^{-1}$ de N. Já a dose de N aplicada de 300 kg.ha^{-1} em pré-plantio foi a que gerou o menor valor de EAGN ($5,9655 \text{ kg.kg}^{-1}$) (Figura 9b).

Com relação aos critérios de recomendação de N em cobertura em 2018, a maior EAGN foi obtido no critério A1, seguido pelos critérios A2 e ISN, que não apresentaram diferença significativa entre eles (Figura 9c). Em 2019, a maior EAGN foi obtido no critério A1 que não diferiu do ISN (Figura 9d).

A EAGN reflete a quantidade de tubérculos produzidos por unidade de N aplicado. Assim como para a variável anterior, nos dois experimentos, observa-se que o critério de recomendação de N em cobertura A1 foi o que possibilitou uma maior EAGN. Souza (2014) estudando fontes e manejo de N na cultura da batata em solos arenosos observou em três experimentos que a eficiência agrônômica com a aplicação parcelada da dose 120 kg ha^{-1} de N foi mais eficiente que a maior dose estudada (160 kg ha^{-1}). Esses resultados indicam que o parcelamento da dose de N promove melhor aproveitamento do N pela cultura da batata, sugerindo limite na taxa de absorção de N. Dessa forma, a aplicação de maiores doses ou a aplicação de toda a dose no plantio proporcionou adicional de N no solo, o qual permaneceu por mais tempo sujeito a lixiviação e desnitrificação.

A dose de 300 kg.ha^{-1} de N em pré-plantio diminuiu drasticamente a EAGN. Em

contrapartida, as doses entre 100 a 200 kg.ha⁻¹ de N em pré-plantio foram as que possibilitaram os maiores valores de EAGN. Segundo Cancellier et al. (2011) a partir de um certa dose de N aplicada, representa um nível acima do qual a resposta à aplicação do N será muito baixa ou nenhuma. Assim sendo, a aplicação do fertilizante irá diminuir a eficiência da adubação nitrogenada em função da maior dose aplicada (Barbosa Filho et al., 2008).

Resultados semelhantes foram encontrados por outros autores. Em experimento avaliando a influência do N na produtividade da batata e na eficiência do uso de nutrientes, Ruza et al. (2013) observaram um aumento da EAGN até a dose de 120 kg.ha⁻¹ de N. Aumento adicional na taxa de N reduziu a EAGN. Outros estudos também confirmam a redução da eficiência agrônômica de N com o aumento da taxa de N (Darwish et al., 2006; Kumar et al., 2007; Fontes et al., 2010).

4 CONCLUSÃO

Houve efeito da aplicação de doses de N em cobertura estimadas por algoritmos sobre as variáveis eficiência do uso de N na matéria seca e eficiência do uso de N no peso fresco.

Os critérios de aplicação não influenciaram significativamente nas variáveis ligadas a teor e quantidade de N absorvido, com exceção para o teor de N dos tubérculos no experimento de 2018.

Os melhores resultados para as variáveis de eficiência de uso de N e eficiência agronômica de N foram aqueles nos quais se aplicaram em média de 100 a 150 kg.ha⁻¹ de N em pré-plantio.

As variáveis teor de N da QF, teor de N da parte aérea, quantidade de N absorvido pela parte aérea, tubérculo e planta e a eficiência agronômica de N foram significativamente influenciadas pela dose de N aplicado no pré-plantio.

A variável eficiência agronômica de N foi significativamente influenciada pela dose de N estimada pelos critérios de recomendação de N em cobertura.

Os maiores valores obtidos das variáveis relacionadas com teor e quantidade de N absorvido foram aqueles nos quais se aplicaram de 200 a 300 kg.ha⁻¹ de N em pré-plantio.

Não houve efeito significativo do fator critério de recomendação. Entretanto, o critério A1 merece destaque por ser o que menos recomendou N em cobertura.

REFERÊNCIAS

- Akter, Z.; Lupwayi, N. Z.; Balasubramanian, P. M. Nitrogen use efficiency of irrigated dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes in southern Alberta. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 97, n. 4, p. 610-619, 2017.
- Araújo, C. D.; Fontes, P. C. R.; Sedyama, C. S.; Coelho, M. B. Critérios para a determinação da dose de nitrogênio a ser aplicada no tomateiro em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v. 25, n. 3, p. 327-332, 2007.
- Barbosa Filho, M. P.; Cobucci, T.; Fageria, N. K.; Mendes, P. N. Determinação da necessidade de adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro irrigado com auxílio do clorofilômetro portátil. **Ciência Rural**, v. 38, n. 7, p.1843-1848, 2008.
- Binder, D. L.; Sander, D. H.; Walters, D. T. Maize response to time of nitrogen application as affected by level of nitrogen deficiency. **Agronomy Journal**, v. 92, p. 1228-1236, 2000.
- Cambouris, A. N.; St. Luce, M.; Zebarth, B. J.; Zia, di N.; Grant, C. A.; Perron, I. Potato response to nitrogen sources and rates in an irrigated sandy soil. **Agronomy Journal**, v. 108, p. 391-401, 2016.
- Cambouris, A. N.; Zebarth, B. J.; Nolin, M. C.; Laverdière, M. R. Apparent fertilizer nitrogen recovery and residual soil nitrate under continuous potato cropping: effect of N fertilization rate and timing. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 88, p. 813-825, 2008.
- Cancellier, E. L.; Barros, H. B.; Kischel, E.; Gonzaga, L. A. D. M.; Brandão, D. R.; Fidelis, R. R. Eficiência agrônômica no uso de nitrogênio mineral por cultivares de arroz de terras altas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 4, p. 650-656, 2011.
- Coelho, F. S.; Fontes, P. C. R.; Finger, F. L.; Cecon, P. R. Avaliação do estado nutricional do nitrogênio em batateira por meio de polifenóis e clorofila na folha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 4, p. 584-592, 2012.
- Coelho, F. S. C.; Fontes, P. C. R.; Martins, A. D.; Braun, H.; Leão, A. B.; Silva, M. C. C. Índices de eficiência do nitrogênio em cultivares de batata em função de doses de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, v. 28, p. 3615-3621, 2010.
- Darwish, T. M.; 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.
- Fontes, P. C.; 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. 3, p. 167-179, 2010.

Fontes, P. C. R.; de Castro Silva, M. C.; Miranda, G. V. Statistical models in plant diagnosis and calculating recommended nitrogen rates. **In Sustainable Potato Production: Global Case Studies**, p. 391-402, 2012.

Kumar, P.; Pandey, S. K.; Singh, B. P.; Singh, S. V.; Kumar, D. Effect of nitrogen rate on growth, yield, economics and crisps quality of Indian potato processing cultivars. **Potato Research**, v. 50, p. 143-155, 2007.

Getahun, B. B.; Kassie, M. M.; Visser, R. G.; Van der Linden, C. G. Genetic diversity of potato cultivars for nitrogen use efficiency under contrasting nitrogen regimes. **Potato Research**, p. 1-24, 2019.

Getahun, B. B.; Visser, R. G.; Van der Linden, C. G. Identification of QTLs associated with nitrogen use efficiency and related traits in a diploid potato population. **American Journal of Potato Research**, v. 97, p. 1-17, 2020.

Gil, P. T. de; 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 da batata. **Horticultura Brasileira**, v. 20, p. 611-615, 2002.

Gil, P. T. de. **Índices e eficiência de utilização de nitrogênio pela batata influenciados por doses de nitrogênio em pré-plantio e em cobertura**. 2001. 81 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa - MG, 2001.

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.

Milagres, C. D. C.; Fontes, P. C. R.; Silveira, M. V. D.; Moreira, M. A.; Lopes, I. P. D. C. Índices de nitrogênio e modelo para prognosticar a produção de tubérculos de batata. **Revista Ceres**, v. 65, n. 3, p. 261-270, 2018.

Neeteson, J. J.; Zwetsloot, H. J. C. An analysis of the response of sugar beet and potatoes to fertilizer nitrogen and soil mineral nitrogen. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, v. 37, p. 129- 141, 1989.

Oparka, K. J.; Davies, H. V.; Prior, D. A. M. The influence of applied N on export and partitioning of current assimilate by field-grown potato plants. **Annals of Botany**, v. 59, p. 311-323, 1987.

Rens, L. R.; Zotarelli, L.; Alva, A.; Rowland. D.; Liu, G., Morgan, K. Fertilizer nitrogen uptake efficiencies for potato as influenced by application timing. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 104, p. 175-185, 2016.

Rodrigues, F. A.; Fontes, P. C. R.; Pereira, P. R. G.; Martinez, H. E. P. Crescimento e teor crítico de N-NO₃ na seiva da batateira cultivada em solução nutritiva. **Horticultura Brasileira**, v. 18, p. 766-767, 2000.

Rodrigues, F. J.; Barcarol, M. A.; Adams, C. R.; Klein, C.; Berwanger, A. L. Eficiência Agronômica da Cultura do Milho Sob Diferentes Fontes de Nitrogênio em Cobertura. **Uniciências**, v. 22, n. 2, p. 66-70, 2018.

Ruza, A.; Skrabule, I.; Vaivode. A. Influence of nitrogen on potato productivity and nutrient use efficiency. **Proceedings of the Latvian Academy of Sciences**, v. 67, p. 247-253, 2013.

Scholberg, J. M. S.; Zotarelli, L.; Dukes, M. D.; Ozores-Hampton, M.; Liu, G. D. Enhancing fertilizer efficiency in high input cropping systems in Florida. **Sustainable Agriculture Reviews**, v. 12, p. 143–174, 2013.

Silva, A. L. B. R.; Zotarelli, L.; Dukes, M. D.; Agehara, S.; Asseng, S.; Van Santen, E. Irrigation method and application timing effect on potato nitrogen fertilizer uptake efficiency. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 112, n. 2, p. 253-264, 2018.

Silva, G. O.; Stoker, G.; Ponijaleki, R.; Pereira, A. S. Rendimento de tubérculos de três cultivares de batata sob condições de estiagem. **Horticultura Brasileira**, v. 31, p. 216-219, 2013.

Silva, M. C. C. **Critérios para manejo da adubação nitrogenada da batata em duas épocas de plantio**. 2007. 177 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia)- Universidade Federal de Viçosa - MG, 2007.

Souza, E. D. F. C. D. **Fontes e manejo de nitrogênio na cultura da batata em solos arenosos**. 134f. 2014. Tese (Doutorado em Agronomia)- Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho”, Botucatu, 2014.

Souza, E. F.; Soratto, R. P.; Sandaña, P.; Venterea, R. T.; Rosen, C. J. Split application of stabilized ammonium nitrate improved potato yield and nitrogen-use efficiency with reduced application rate in tropical sandy soils. **Field Crops Research**, v. 254, p. 1-13, 2020.

Tanios, S.; Tegg, R.; Eyles, A.; Thangavel, T.; Wilson, C. Potato tuber greening risk is associated with tuber nitrogen content. **American Journal of Potato Research**, v. 97, p. 360-366, 2020.

Trawczyński, C. The effect of nitrogen fertilization on yield efficiency and quality of tubers potato varieties cultivated in an integrated production system. **Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin**, n. 288, p. 15-22, 2020.

Von Wirén, N. V.; Gazzarrini, S.; Frommer, W. B. Regulation of mineral nitrogen uptake in plants. **Plant and Soil**, v. 196, p. 191-199, 1997.

White, R. P.; Sanderson, J. B. Effect of planting date, nitrogen rate, and plant spacing on potatoes grown for processing in Prince Edward Island. **American Potato Journal**, v. 60, p. 115- 126, 1983.

Zareabyaneh, H.; Bayatvarkeshi, M. Effects of slow-release fertilizers on nitrate leaching, its distribution in soil profile, N-use efficiency, and yield in potato crop. **Environmental earth sciences**, v. 74, n. 4, p.3385–93. 2015.

Zebarth, B. J.; Tai, G.; Tarn, R. D.; De 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.

Zhang, J.; Wang, Y.; Zhao, Y.; Zhang, Y.; Zhang, J.; Ma, H.; Han, Y. Transcriptome analysis reveals Nitrogen deficiency induced alterations in leaf and root of three cultivars of potato (*Solanum tuberosum* L.). **PloS one**, v. 15, n. 10, e0240662, p. 1-17, 2020.

CAPÍTULO III

ESTADO DE NITROGÊNIO DA BATATA DETERMINADO PELA ANÁLISE DE IMAGEM

RESUMO

O processamento de imagens tem sido usado para detectar problemas potenciais de algumas plantas, como deficiências de nitrogênio (N). Objetivou-se com a realização deste trabalho avaliar o uso de análises de imagens obtidas por scanner e smartphone e propor funções para o diagnóstico do estado de N em batata. Os tratamentos foram constituídos pelas doses 0, 50, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ de N em pré-plantio, tendo como fonte a ureia e pelas épocas de avaliação, aos 21, 48 e 77 dias após a emergência. O delineamento foi em blocos ao acaso, no esquema fatorial 5x3, (dose de N em pré-plantio x época de avaliação, respectivamente), com quatro repetições. A cultivar de batata utilizada foi a Asterix. Na quarta folha completamente expandida a partir do ápice do ramo principal, avaliou-se as variáveis índice SPAD, índices de balanço de nitrogênio, de Clh e Flv, característica da imagem e teor de N. Na análise de imagem, a superfície foliar foi digitalizada com um scanner de mesa e também fotografada com um smartphone. Utilizando os valores médios dos componentes vermelho, verde e azul foram calculadas dez diferentes combinações de funções desses planos. De modo geral, observa-se que as funções 3, 7, 8 e 9, tanto para o scanner, quanto para o smartphone foram as que apresentam os maiores coeficientes de correlação com o SPAD, N total e Chl. Análises de imagens originadas de scanner e smartphone podem ser utilizadas no diagnóstico do estado de N sendo propostas quatro funções possíveis de serem utilizadas em batata Asterix.

Palavras-chave: Processamento de Imagens. Deficiência. Índices Espectrais.

POTATO NITROGEN STATE DETERMINED BY IMAGE ANALYSIS

ABSTRACT

Image processing has been used to detect potential problems in some plants, such as nitrogen (N) deficiencies. The objective of this work was to evaluate the use of image analysis obtained by scanner and smartphone and to propose functions for the diagnosis of N state in potato. The treatments were constituted by the doses of 0, 50, 100, 200 and 300 kg ha⁻¹ of N in pre-planting, having urea as source and the evaluation times, at 21, 48 and 77 days after emergence. The design was in randomized blocks, in a 5x3 factorial scheme (dose of N in pre-planting x evaluation period, respectively), with four replications. The potato cultivar used was Asterix. On the fourth leaf completely expanded from the apex of the main branch, the variables SPAD index, nitrogen balance indices, Clh and Flv, image characteristic and N content were evaluated. In the image analysis, the leaf surface was digitized with a flatbed scanner and also photographed with a smartphone. Using the average values of the red, green and blue components, ten different combinations of functions of these planes were calculated. In general, it is observed that functions 3, 7, 8 and 9, both for the scanner and for the smartphone, presented the highest correlation coefficients with SPAD, total N and Chl. Analyzes of images originated from scanner and smartphone can be used in the diagnosis of the state of N being proposed four possible functions to be used in Asterix potato.

Keywords: Image Processing. Deficiency. Spectral Indices.

1 INTRODUÇÃO

A batateira por ser uma planta que apresenta alta taxa de crescimento, elevada produção por unidade de área e ciclo relativamente curto, torna-se bastante exigente quanto à presença de nutrientes. Dentre os nutrientes destaca-se o nitrogênio (N), cujas principais funções na planta são participar da síntese da clorofila, aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, coenzimas e membranas celulares (Koch et al., 2020).

O N tem marcada influência, tanto sobre o dossel da planta, quanto sobre a produção de tubérculos, via adequadas fotossíntese e partição de assimilados (Villa et al., 2020). Assim, Lombardo; Pandino; Mauromicale (2020) mostraram que a biomassa do dossel e os componentes da produção de tubérculos são influenciados por dose de N, enquanto a interação entre dose de N e ano de cultivo pode ou não ser significativa. Porém, independentemente do ano, plantas não adubadas produzem menos tubérculos do que as adubadas com N (Fontes et al., 2010; Lombardo; Pandino; Mauromicale, 2020). Escassa disponibilidade de N leva à senescência foliar precoce, crescimento e produtividade reduzidos (Pagola et al., 2009), enquanto o excesso pode prolongar a fase vegetativa e interferir no início da tuberização, diminuindo a produtividade e o acúmulo de matéria seca nos tubérculos (Dangi et al., 2018).

Além disso, o uso em excesso de fertilizantes nitrogenados, principalmente a ureia que é a mais utilizada, induz a impactos ambientais graves, como eutrofização da água e segurança alimentar (Gao et al., 2015). Dessa forma, o equilíbrio entre maximizar a produtividade de tubérculos, diminuir gastos monetários e minimizar a poluição, avançará ao se realizar manejo eficiente da aplicação de fertilizante nitrogenado à cultura da batata.

Um método de manejo da dose de N, amplamente usado na cultura da batata, é aplicar uma dose fixa de N à cultura. Parte desta dose é aplicada no momento do plantio (pré-plantio) e a parte restante adicionada em cobertura, imediatamente antes da amontoa. Esse procedimento de aplicar uma determinada dose em pré-plantio e complementá-la com uma dose de N em cobertura é desafiador. O principal desafio é a capacidade de estimar a dose adequada a ser aplicada em cobertura em complemento à dose aplicada em pré-plantio devido às interações de ano, cultivar, crescimento da parte aérea e tuberização, que são influenciados pelas condições climáticas vigentes naquele momento de decisão. Até o momento, dezenas de

instruções e protocolos tem sido introduzidos para a fertilização com N. No entanto, de acordo com fatores ambientais, bióticos e abióticos, a absorção e a necessidade de N pelas plantas podem ser alteradas (Vakilian; Massah, 2017) provocando variação no estado de N da planta.

A ferramenta mais usual para avaliar o estado nitrogenado da planta é a análise do teor de N na matéria seca da folha em laboratório. Esse procedimento apresenta a desvantagem de não poder ser realizado em tempo real. O desejável é conseguir que a planta por meio de expressão de alguma característica fenotípica, anatômica, morfológica, visual e/ou ótica, indique a sua necessidade real de N via sensoriamento em tempo real, podendo ser proximal ou remoto (Fontes, 2016). Em consonância com a agricultura de precisão, a análise do estado de nutrientes das plantas em tempo real vem crescendo em importância, principalmente para análise do N.

Quase sempre o estado de N da planta está vinculado ao teor de clorofila das folhas, possível de ser estimado por diversos tipos de sensores e sistemas de processamento de imagens, variando de sensores remotos de imagens hiperespectrais (Fontes, 2011; Nigon et al, 2015; Berger et al., 2020; Lu et al., 2020). Até o sensoriamento de contato via sensores mais simples, práticos e de menor custo, como o SPAD (refletância da folha), o Dualex (fluorescência da clorofila), a tabela de tons do verde da folha, a escala RGB, via análise de imagem digital das folhas, entre outros possíveis de serem usados em condição de campo, em tempo real e de forma não destrutiva (Fontes, 2016).

O SPAD é chamado de clorofilometro, pois há relação linear entre a leitura obtida na folha com o equipamento e o teor de clorofila extraível na mesma folha em laboratório, dependendo do solo, como mostrado em trabalho pioneiro no país (Guimarães et al., 1999). As leituras SPAD são baseadas na refletância da folha e desde o ano de 2002 há resultados iniciais e pioneiros no país, apontando para a viabilidade técnica do equipamento SPAD ser utilizado na avaliação do estado de N e no prognóstico da produtividade de batata (Gil et al., 2002).

Assim como o SPAD, o Dualex é um equipamento portátil possível de ser usado em condição de campo, em tempo real e de forma não destrutiva, via fluorescência da clorofila da folha (Fontes, 2016). Há resultados iniciais, pioneiros no país, desde 2012, apontando para a viabilidade técnica do equipamento Dualex em batata (Milagres et al., 2012; 2018; Coelho et al., 2012).

A estimativa do teor de clorofila também pode ser feita por uma tabela de

intensidade de cor verde (Silva et al., 2009), cujas leituras apresentaram correlação com as leituras SPAD. No entanto, a desuniformidade entre as diversas tabelas de cor, tanto no número de divisões quanto na intensidade do verde dos diferentes segmentos, proporciona dúvidas no momento da leitura. As imagens RGB, por sua vez, podem ser distinguidas pelas faixas de comprimento de onda das bandas espectrais (Li et al., 2020). Tentativas tem sido feitas, principalmente via análise de imagens, incluindo-se a utilização de escala RGB (Li et al. 2020), espectroscopia, fluorescência (Vakilian & Massah, 2017; Li et al., 2020; Liu et al., 2021).

Entre as ferramentas mais populares usadas para determinar características visíveis dos objetos estão as câmeras RGB (Hernández-Hernández et al., 2016), devido a resolução, portabilidade e baixo custo (Vakilian & Massah, 2017). O sistema Android do smartphone tem sido usado em vários campos para aquisição de imagens, inclusive, recentemente, para estimar o conteúdo de clorofila das folhas de plantas (Rigon et al., 2016; Barman; Choudhury, 2020). Esse fornece as informações espectrais de Vermelho/red, Verde/green, Azul/blue (RGB), com diferentes índices de cores RGB úteis na estimativa da intensidade do verde da folha (Barman; Choudhury, 2020). As imagens RGB usam câmeras geralmente CCD ou CMOS para registrar no comprimento de 400-700 nm que é a faixa da visão humana.

Outra ferramenta, o scanner é um aparelho de leitura ótica que permite converter uma imagem visual para o formato digital ou em imagem digital a qual pode ser manipulada em computador. Há diversos tipos no mercado, sendo comum o scanner de mesa, que gera padrões diversos como o formato TIFF (Tagged Image File Format), que oferece relativamente elevado número de cores de alta qualidade de imagem. Foi mostrada a viabilidade de utilização de scanner óptico na obtenção de imagem digital de folhas, que permite calcular a intensidade do verde da folha (Doi, 2012).

Com o aumento do interesse pelo uso de imagens digitais, ocorre também um impulso do desenvolvimento de programas computacionais específicos para análises de plantas. O software ImageJ® é um programa de processamento de imagens digitais (obtidas com câmera ou scanner) de domínio público, escrito em Java e desenvolvido pelo National Institutes of Health, EUA, de código aberto (<https://imagej.nih.gov/ij/features.html>) (Schneider; Rasband; Eliceiri, 2012).

Qualquer que seja o programa computacional utilizado, sempre é necessário padronizar os procedimentos como a cultivar, idade da planta e a posição da folha

para a determinação dos valores apropriados de refletância ou de fluorescência para diagnosticar o estado de N de cultivares de batata (Busato et al., 2010). Dessa forma, apesar de todos os avanços trazidos pelo processamento de imagens no manejo de N em plantas, ainda há espaço para pesquisas que forneçam informações quanto à diferença de cultivares e época de avaliação, e que ao mesmo tempo, sejam de simples uso e baixo custo.

Objetivou-se com a realização deste trabalho avaliar o uso de análises de imagens obtidas por scanner e smartphone e propor funções para o diagnóstico do estado de N em batata.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado e conduzido na Horta Nova, Unidade de Pesquisa e Extensão do Departamento de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa – MG no período de junho a setembro de 2019. O município de Viçosa situa-se a uma altitude de 694 m, latitude de 20°45'14" Sul e longitude de 42°52'55" Oeste, com classificação de Koeppen do tipo Cwa, definido pelo clima tropical de altitude com chuvas no verão e seca no inverno.

O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo Câmbico (EMBRAPA, 2006) e foi utilizado anteriormente para o cultivo de milho. Antes da instalação do experimento, foram coletadas amostras de solos na camada de 0-20 cm de profundidade para caracterização física e química do mesmo (Tabela 1). Aos 30 dias antes da instalação do experimento foi realizada a calagem, com o objetivo de elevar a saturação por bases, na camada superficial do solo para 70%.

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	4,81
Matéria Orgânica (dag kg ⁻¹)	2,80
P disponível (mg dm ⁻³)	61,9
K disponível (mg dm ⁻³)	65
Ca ⁺² trocável (cmol _c dm ⁻³)	1,93
Mg ⁺² trocável (cmol _c dm ⁻³)	0,38
Acidez trocável – Al ⁺³ (cmol _c dm ⁻³)	0,0
Acidez potencial – H ⁺ Al (cmol _c dm ⁻³)	5,2
Soma de bases –SB (cmol _c dm ⁻³)	2,48
CTC efetiva – t (cmol _c dm ⁻³)	2,48
CTC a pH 7 – T (cmol _c dm ⁻³)	7,68
Saturação por bases – V (%)	32,3
Características físicas	
Classificação textural	Argiloso

Ca-Mg-Al- Extrator: KCl 1 mol L⁻¹; P – K - Extrator Mehlich 1; H+Al-Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol L⁻¹ pH 7,0.

Fonte: Próprio autor.

A adubação foi realizada no sulco de plantio com a aplicação dos fertilizantes em função da análise de solo e segundo as recomendações para a cultura (Fontes, 2005): 384 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio (60% de K₂O); 1.800 kg.ha⁻¹ de superfosfato simples (18% de P₂O₅); 200 kg.ha⁻¹ de sulfato de magnésio (10% de Mg); 10 kg.ha⁻¹ de boráx (10% de B); 10 kg.ha⁻¹ de sulfato de zinco (20% de Zn); 10 kg.ha⁻¹ de sulfato de cobre (24% de Cu); 0,5 kg.ha⁻¹ de molibdato de sódio (39% de Mo). Após a aplicação dos fertilizantes, foi adicionado ao sulco de plantio o adubo nitrogenado, correspondendo aos tratamentos utilizados: 0, 50, 100, 200 e 300 kg.ha⁻¹ na forma de ureia. Em seguida, os fertilizantes foram misturados ao solo e feito o plantio dos tubérculos, aplicando-se o inseticida Carbofuran e fechando o sulco.

Os tratamentos foram constituídos por doses de N em pré-plantio (0, 50, 100, 200 e 300 kg.ha⁻¹), tendo como fonte a ureia (45% de N) e por épocas de avaliação (21, 48 e 77 dias após a emergência (DAE)). O delineamento foi em blocos ao acaso, no esquema fatorial 5x3, com quatro repetições. Cada parcela experimental foi constituída de quatro linhas com cinco plantas por linhas. As duas fileiras laterais e as duas plantas das extremidades da fileira útil foram consideradas bordaduras. As três plantas medianas foram consideradas plantas úteis. O espaçamento entre fileiras foi de 0,80 m e de 0,30 m entre plantas.

A cultivar de batata utilizada foi a Asterix, de origem holandesa. É considerada semi-tardia, apresenta rápida emergência, número médio de hastes, folhagem bem desenvolvida e tubérculos grandes de formato oval-alongado, gemas superficiais e película vermelha, ficando rosada durante o plantio em épocas quentes, possuem polpa amarela e com alto teor de matéria seca (Silva, 2012). Para o plantio, foram utilizados tubérculos de batata-semente previamente brotados, com brotos de aproximadamente 1 cm. A emergência das plantas foi considerada completa quando pelo menos 90% das plantas estiveram com ao menos uma haste emergida. O manejo amontoa foi realizado aos 22 DAE da cultura.

As irrigações foram efetuadas por aspersão convencional, seguindo o procedimento adotado por Nunes (2004). A cultura foi conduzida no campo de acordo com as recomendações de Fontes (2005), sendo o controle de pragas realizado com a aplicação de defensivos químicos.

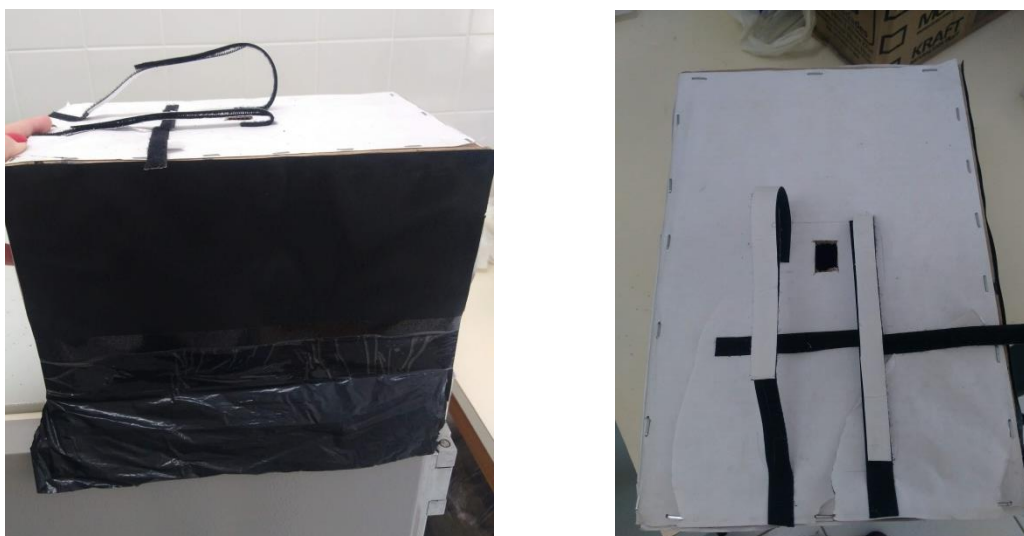
As avaliações foram realizadas pela manhã, entre 8:00 e 10:00 h, sendo o valor

obtido por leitura direta na quarta folha, completamente expandida, a partir do ápice do ramo principal. Foram avaliados os índices SPAD, balanço de N (NBI), Clh, Flv, teor de N e análise de imagem digital.

Ainda em campo, foram determinados o índice SPAD com a leitura do medidor portátil de clorofila SPAD-502 (Soil Plant Analysis Development-502) e os índices de CHL, FLV e NBI, com o medidor Dualex.

Em seguida, as folhas foram retiradas e levadas para o laboratório para realizar a análise de imagem. As superfícies destinadas ao ensaio foram digitalizadas, com um scanner de mesa, gerando imagens TIFF (Tagged Image File Format) com 300 dpi (dots per inch). Além disso, foram obtidas imagens digitais por meio de um smartphone. Com intuito de evitar influência da luminosidade externa, as folhas foram colocadas dentro de uma caixa com interior de cor preta, onde a câmera foi posicionada acima da caixa em um orifício que permitia obter as fotos das folhas no interior da caixa (Figura 1). As imagens foram obtidas com flash.

Figura 1 - Caixa utilizada para fotografar as folhas de batata



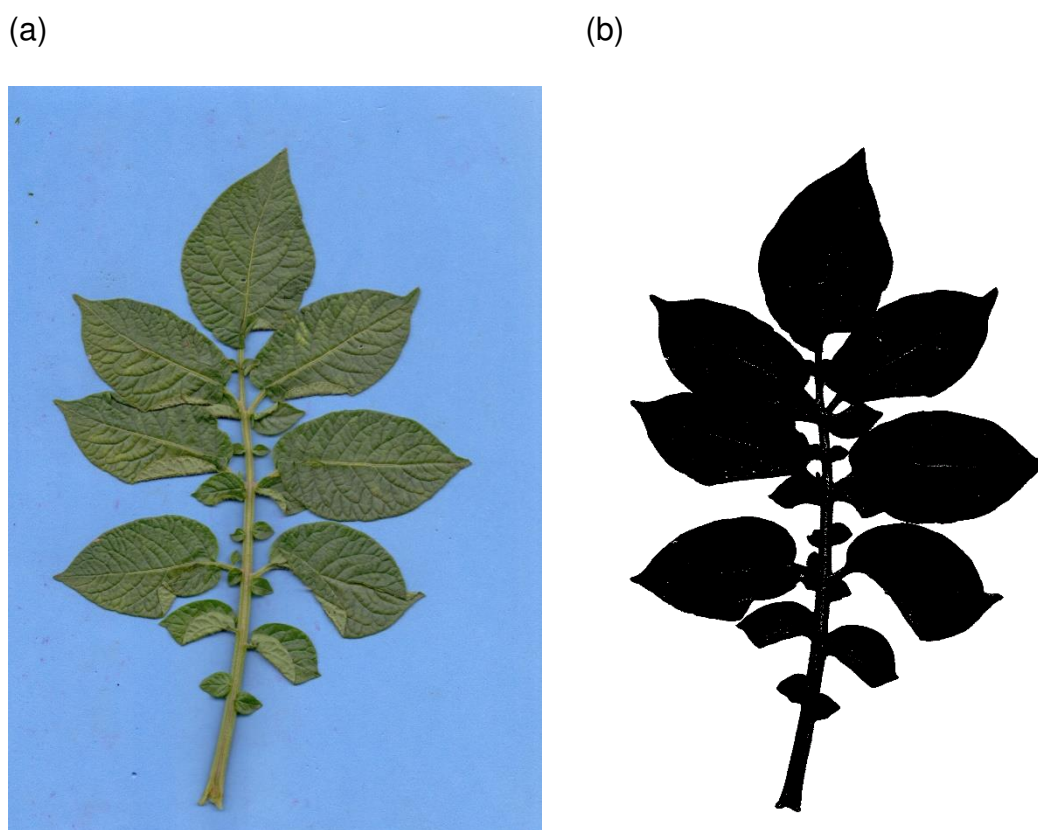
Fonte: Próprio autor.

Após serem fotografadas, as folhas foram colocadas em sacos de papel e em estufa com ventilação forçada de ar à 70 °C até atingir peso constante. Os materiais, após secos, foram pesados e triturados em moinho tipo Willey, com malha de 20 mesh; e posteriormente encaminhados ao laboratório para a determinação pelo método Kjeldahl, do teor de N por titulometria, após a destilação de amônia por arraste

de vapor.

As imagens obtidas pelo scanner e pelo smartphone foram importadas para o software ImageJ®, que permite quantificar o valor médio das cores presentes na imagem. Na Figura 2 é possível observar um exemplo de uma imagem digital obtida pelo scanner antes, (a) e após (b) passar pelo software ImageJ®.

Figura 2 - Imagem digital obtida pelo scanner antes (a) e após (b) passar pelo software ImageJ®



Fonte: Próprio autor.

Os valores médios dos componentes vermelho, verde e azul (RGB) da imagem, extraídos pelo software ImageJ®, foram salvos em planilha do Microsoft® Excel e em seguida foram utilizados para calcular diferentes combinações de funções desses planos. As funções foram aplicadas para os valores de R, G e B obtidos pelo scanner e pelo smartphone (Tabela 2). A correlação dessas funções foi feita com os índices SPAD, NBI, Chl, Flv e os valores de N total obtidos em laboratório, para cada época de avaliação. Somente as correlações significativas ($p < 0,05$) foram apresentadas.

Tabela 2 - Funções combinando R, G e B para o scanner e smartphone

Função	Referência Scanner	Referência Smartphone
$(R-B)/(R+B)$	1S	1C
$(R+B)/(R-B)$	2S	2C
$G/(R+G+B)$	3S	3C
$R/(R+G+B)$	4S	4C
G/R	5S	5C
$R+G$	6S	6C
$G/(R+B)$	7S	7C
$2B/(R+G+B)$	8S	8C
B/G	9S	9C
$(R+2G).(R+G)/2B(R-G)$	10S	10C

Fonte: Próprio autor.

Os dados foram submetidos à análise de variância, e posteriormente ao teste de média e de correlação. As médias dos tratamentos qualitativos foram comparados pelo teste de Tukey a 5% de significância. A seleção de características mais apropriada para a avaliação do estado nitrogenado da planta foi feita com base na significância da correlação entre as características das imagens do Scanner e do Smartphone e os índices SPAD, NBI, CHL, FLV e o teor de N na matéria seca da quarta folha.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para as variáveis índices SPAD, NBI, Chl, Flv e teor de N na matéria seca (N), a análise de variância indicou não haver efeito significativo ($p < 0,05$) para a interação entre as doses e as épocas de avaliação, porém foi observado efeito significativo para os dois fatores, individualmente.

Os efeitos de dose e época são apresentados na Tabela 3 e Figura 3, respectivamente.

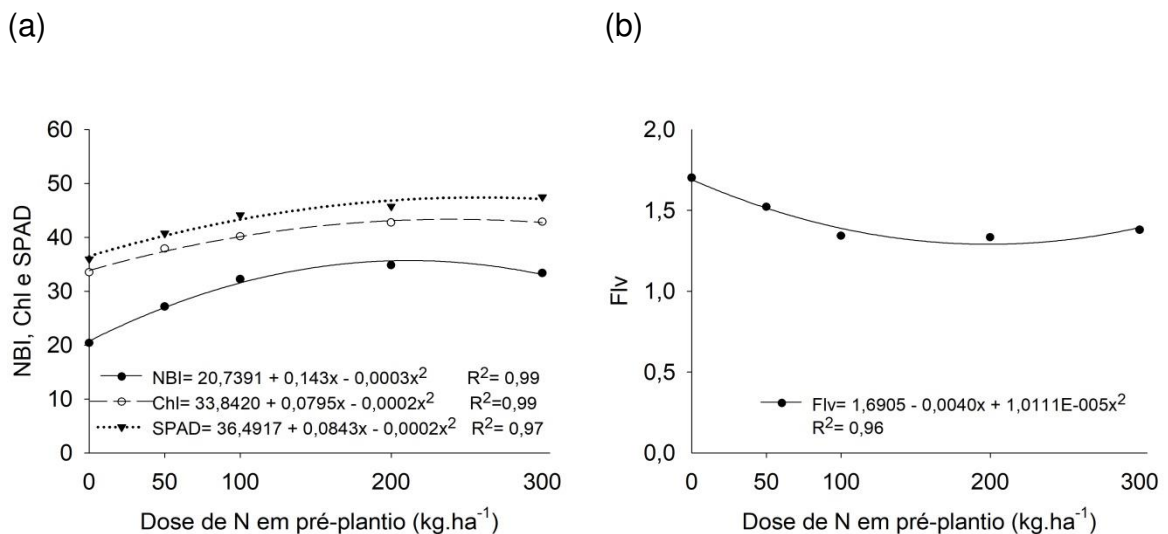
Tabela 3 - Valores médios dos índices SPAD, NBI, Chl, Flv e teor de N de acordo com as épocas de avaliação aos 21, 48 e 77 dias após a emergência

Época	SPAD	NBI	Chl	FLV	Teor de N (%)
21	44,235 a	36,66 a	41,275 a	1,189 b	5,012 a
48	44,24 a	27,445 b	42,55 a	1,645 a	3,956 b
77	39,935 b	24,68 b	34,485 b	1,5335 a	3,323 c

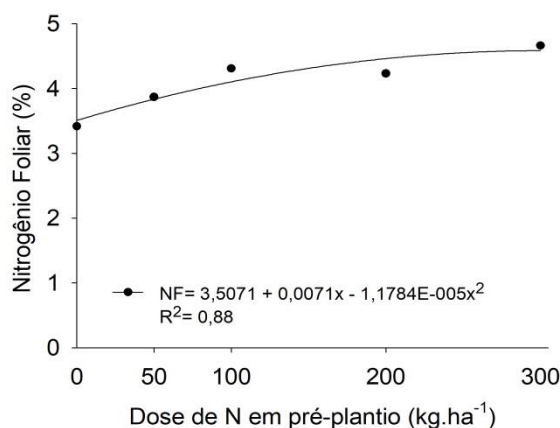
Médias seguidas das mesmas letras na coluna são estatisticamente iguais entre si ou não diferem entre si ($p > 0,05$) pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Próprio autor.

Figura 3 - Relação entre doses de nitrogênio (N) aplicadas em pré-plantio e os valores médios dos Índices SPAD, NBI, Chl (a), Flv (b) e teor de N (c) na folha de batata



(c)



Fonte: Próprio autor.

Os maiores valores de índice SPAD foram observados nas épocas de avaliação 1 e 2, onde ambas diferiram estatisticamente da época 3 (Tabela 3). Provavelmente a diminuição do índice SPAD na época 3 é devido a remobilização do N dos tecidos vegetativos para os tubérculos. Segundo Fontes (2001), a redução do teor de N foliar com a idade da planta pode ser explicada por mecanismos que envolvem absorção de N, acumulação e distribuição no interior da planta, bem como o seu desenvolvimento.

O aumento das doses de N em pré-plantio resultou em um aumento da leitura SPAD, tendendo a uma estabilização nas doses de N mais elevadas (Figura 3a). O índice SPAD aumentou até atingir o máximo de 45,37 com a dose de 210,75 kg.ha⁻¹ de N em pré-plantio (Figura 3a). Na testemunha não adubada com N em pré-plantio foram verificados os menores valores (36,49) de índice SPAD.

Segundo Coelho et al. (2012), sob altas doses de N, o índice SPAD tende a aumentar até certo ponto, a partir do qual se mantém invariável ou tende a declinar. Tal fato pode ser devido o aparelho detectar, indiretamente, o aumento de N apenas quando está sendo incorporado em moléculas de clorofila, e não na forma livre, não incorporada, na qual o N se acumula quando há consumo de luxo (Argenta; Silva; Bortolini, 2001).

O índice FLV aumentou com a idade da planta (Tabela 3) e teve comportamento quadrático com o aumento das doses de N em pré-plantio (Figura 3(b)). Os maiores valores de índice FLV foram observados nas menores e maiores doses de N aplicadas. Na testemunha não adubada o índice FLV foi de 1,69, enquanto na dose

de 300 kg.ha⁻¹ foi de 1,40. O menor valor de índice FLV (1,29) foi observado na dose de 197,82 kg.ha⁻¹ de N em pré-plantio.

Os flavonoides são metabolitos secundários dos vegetais e possuem diversas funções, como a defesa (Kumar; Pandey, 2013). Teixeira et al. (2016) relata que o tipo de adubação pode influenciar a síntese destes compostos. Sabe-se que em situações de deficiência nutricional as plantas aumentam a biossíntese de fenilpropanoides e, por conseguinte de flavonoides (Cesco et al., 2010), explicando o maior valor de índice FLV nas menores doses de N aplicadas. Por outro lado, acredita-se que os maiores valores encontrados nas doses mais elevadas de N podem ser devido ao excesso de N, causando estresse e levando à produção desses compostos. Esses resultados corroboram com Coelho et al. (2012) e Milagres et al. (2018) que, avaliando o estado nutricional do N em batateira por meio de polifenóis e clorofila na folha e estudando índices de N e modelo para prognosticar a produção de tubérculos de batata, respectivamente, também observaram decréscimo no índice FLV com o aumento das doses de N.

Um comportamento parecido foi observado para as variáveis NBI, CHI e teor de N, que decresceram com a idade da planta (Tabela 3) e aumentaram com as doses de N aplicadas se ajustando ao modelo quadrático (Figura 3(a, c)). A variável NBI aumentou até atingir o máximo de 37,77 com a dose de 238,33 kg.ha⁻¹ de N em pré-plantio (Figura 3a). Na testemunha não adubada com N em pré-plantio foram verificados os menores valores (20,73) de NBI. Para a variável Chl, o maior valor (41,74) foi observado na dose de 198,75 kg.ha⁻¹ de N em pré-plantio e o menor (33,84) na testemunha não adubada com N em pré-plantio. O teor de N foliar apresentou o maior valor (4,57) na dose de 300 kg.ha⁻¹ de N em pré-plantio (Figura 3c) e o menor valor (3,50) na testemunha não adubada com N em pré-plantio.

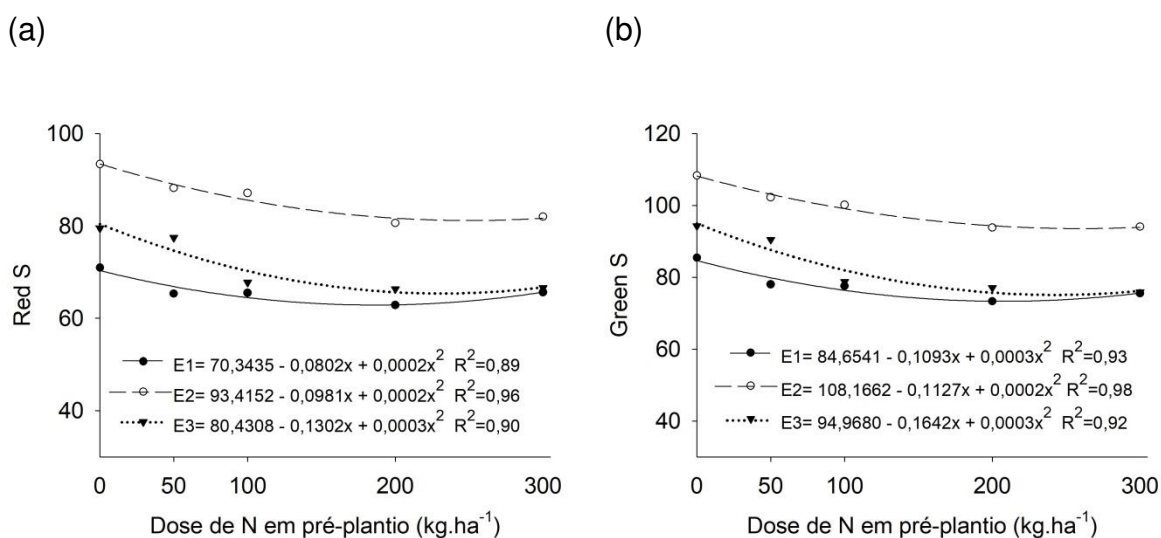
O NBI e a clorofila possuem correlação direta com o N presente nas folhas. Dessa forma, era esperado que com a redução do N presente nas folhas ao longo do ciclo, houvesse também uma redução do NBI e Chl. Do mesmo modo, como relatado acima, acredita-se que essa redução do teor de N foliar com a idade da planta pode ser explicada por mecanismos que envolvem absorção de N, acumulação e distribuição no interior da planta. Bregagnoli et al. (2004), em condições de campo, mostraram o acúmulo de N nos tecidos aos 45 DAP tendo como teor médio no tubérculos, folha e haste, de 1,7; 5,41 e 2,09%, respectivamente. Similarmente, ocorreu aos 65 DAP, porém, com elevação da concentração nos tubérculos (2,11%),

diminuição nas folhas (4,4%) e hastes (1,38%), devido a sua translocação para os tubérculos. Assim, com o aumento do ciclo a planta tende a translocar o N absorvido para os órgãos de interesse comercial, que neste caso os tubérculos, e com isso, reduzindo o teor de N foliar.

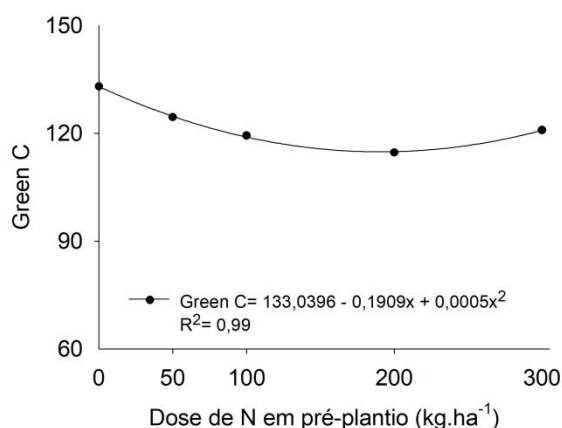
Com relação ao aumento do teor de N foliar com a elevação das doses de N aplicadas, segundo White; Sanderson (1983), os aumentos tendem a atingir variações pronunciadas, que decrescem à medida que aumenta a quantidade do fertilizante aplicado, explicando o comportamento observado neste trabalho. Gil et al. (2002) verificaram que o teor de N na matéria seca da quarta folha da batata no campo, também aumentou de maneira quadrática com o incremento das doses de N em pré-plantio. Coelho et al. (2010) observaram que o modelo quadrático foi o que melhor descreveu o efeito de doses de N sobre o teor de N total na quarta folha.

Para os valores R, B e G obtidos pelo scanner e o smartphone, foi observada interação entre as doses de N em pré-plantio e as épocas de avaliação somente no R e G obtidos no scanner (Figura 4). Para o G obtido pelo smartphone foi observado efeito simples para o fator época de avaliação e doses de N aplicadas em pré-plantio (Figura 4(c)). Já para o B obtido pelo scanner e o R e B obtidos pelo smartphone foi observado somente efeito simples para o fator época de avaliação (Tabela 4).

Figura 4 - Valor R (a) e G (b) obtidos pelo scanner, para épocas de avaliação, em função das doses de nitrogênio aplicadas em pré-plantio e valores de G (c) obtidos pelo smartphone em função das doses de nitrogênio aplicadas em pré-plantio



(c)



Fonte: Próprio autor.

Tabela 4 - Valor de B obtido pelo scanner e R e B obtidos pelo smartphone em função das épocas de avaliação

Época	Blue S	Red C	Blue C
1	59,644 b	92,970 b	76,718 a
2	73,094 a	110,601 a	83,839 a
3	56,375 c	92,914 b	67,989 b

Médias seguidas das mesmas letras na coluna são estatisticamente iguais entre si ou não diferem entre si ($p > 0,05$) pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Próprio autor.

O aumento da dose de N aplicada em pré-plantio resultou em menor valor de R obtido pelo scanner (Figura 4a). Na época 1 de avaliação observou-se comportamento quadrático, onde o maior valor de R (70,34) foi com a dose de 0 kg.ha⁻¹ de N em pré-plantio, enquanto a aplicação de 200,5 kg.ha⁻¹ de N em pré-plantio proporcionou o menor valor de R (62,30). Para a época 2 de avaliação, também observou-se comportamento quadrático e o maior valor de R (93,41) foi com a dose de 0 kg.ha⁻¹ de N em pré-plantio. O menor valor de R (81,38) foi observado quando aplicado 245 kg.ha⁻¹ de N em pré-plantio. Já para a época 3 de avaliação, o maior valor de R (80,43) foi observado na dose de 0 kg.ha⁻¹ de N em pré-plantio e o menor (66,30) na dose de 217 kg.ha⁻¹ de N aplicado em pré-plantio.

Para o valor de G obtido pelo scanner (Figura 4b), observa-se que na época 1

de avaliação, o maior valor foi 84,65 com a dose de 0 kg.ha⁻¹ de N em pré-plantio, enquanto a aplicação de 182,16 kg.ha⁻¹ de N em pré-plantio proporcionou o menor valor de G (74,69). Para a época 2 de avaliação, o maior valor de G (108,16) foi com a dose de 0 kg.ha⁻¹ de N em pré-plantio, enquanto o menor valor (92,28) foi observado quando aplicado 281,75 kg.ha⁻¹ de N em pré-plantio. Já para a época 3 de avaliação, o maior valor de G (94,96) foi observado na dose de 0 kg.ha⁻¹ de N em pré-plantio e o menor (72,49) na dose de 273,66 kg.ha⁻¹ de N aplicado em pré-plantio.

Com relação ao G obtido pelo smartphone (Figura 4c), observa-se que o maior valor de G (133,03) foi obtido na dose de 0 kg.ha⁻¹ de N em pré-plantio, enquanto a aplicação de 190,9 kg.ha⁻¹ de N em pré-plantio proporcionou o menor valor de G (114,81).

A luz refletida de qualquer objeto ou “corpo” oferece uma grande quantidade de cores que se consegue distinguir, através das combinações das três cores básicas (vermelho, azul e verde), dentro de seus respectivos comprimentos, sendo azul (450-495 nm), o verde (495-570 nm) e o vermelho (620-750 nm) (Gonzales; Woods, 2008). Nota-se que os valores de G e R, tanto para o smartphone, quanto para o scanner (Figura 4) tenderam a diminuir com o aumento da dose de N aplicada em pré-plantio. Segundo Streit et al. (2005), a diferença de refletância espectral dos comprimentos de onda sobre uma mesma folha de planta pode ser aplicada na avaliação da concentração de suas moléculas, pois a clorofila é altamente correlacionada com o teor de N na planta. Essa refletância pode ser captada pelos equipamentos digitais e ser armazenada na forma de valores de 0 e 255 para cada pixel que forma a imagem. Com isso, o fato da planta possuir mais clorofila faz com que ela reflita mais comprimento de onda verde, que responde em baixos valores para a cor verde na imagem, correspondendo assim, a um alto valor de intensidade para a cor verde na imagem (Mancin, 2019), explicando assim, o fato do valor de G diminuir com o incremento de doses de N.

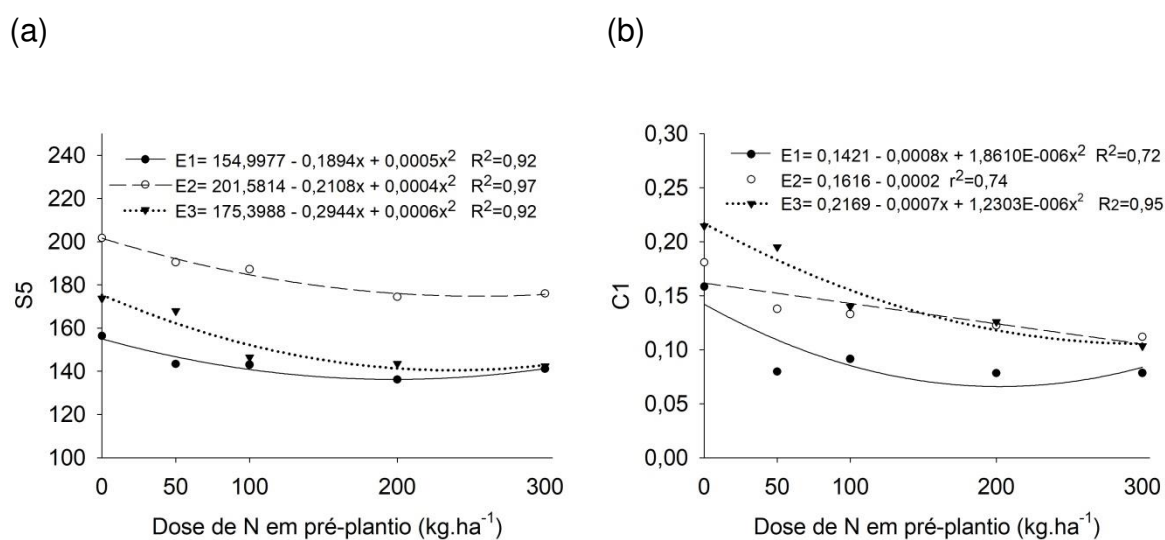
Outros autores também observaram esse comportamento. Backes et al. (2010), estudando o estado nutricional de nitrogênio da grama esmeralda, avaliado por meio do teor foliar, clorofilômetro e imagem digital, observaram que quanto menor o valor de G mais intensa a cor verde, e por esse motivo há uma redução do seu valor. Já Mancin (2019), avaliando o processamento digital de imagens para análise do status nutricional de N em *Brachiaria brizantha* observaram que plantas deficientes em N apresentaram valores de R e G maiores que as que apresentavam status moderado

ou suficiente de N.

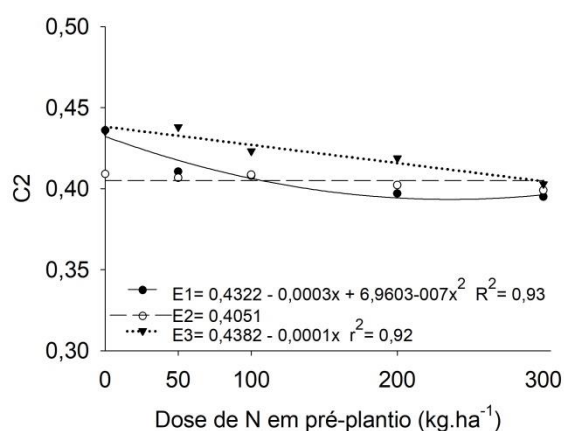
Observa-se que os valores de B, tanto o obtido pelo scanner, quanto smartphone diminuíram com a evolução do ciclo, apresentando menores valores na época 3 de avaliação (Tabela 4). Deve-se considerar que há tendência natural de diminuição da concentração de N na folha ao longo do ciclo, dado pelo efeito diluição, além da translocação para os órgãos de interesse comercial, conseqüentemente, espera-se um menor status de N na época 3 de avaliação. Dessa forma, os resultados deste trabalho não corroboram com os de Mancin (2019), onde o autor observou um aumento do N quando as plantas apresentaram status moderado ou suficiente de N. Já para o R obtido pelo smartphone (Tabela 4), observa-se uma variação ao longo do ciclo, onde o maior valor foi obtido na época 2 de avaliação e as época 1 e 3 não apresentam diferença entre si.

Para as funções adotadas foi observada interação entre as doses de N aplicada em pré-plantio e as épocas de avaliação para a função 5 obtida pelo scanner e para as funções 1, 2 e 4 obtidas pelo smartphone (Figura 5). Para as funções 1, 2, 3 e 4 obtidas pelo scanner e 3 e 5 obtidas pelo smartphone foi observado efeito simples para o fator época de avaliação e doses de N em pré-plantio (Tabela 5).

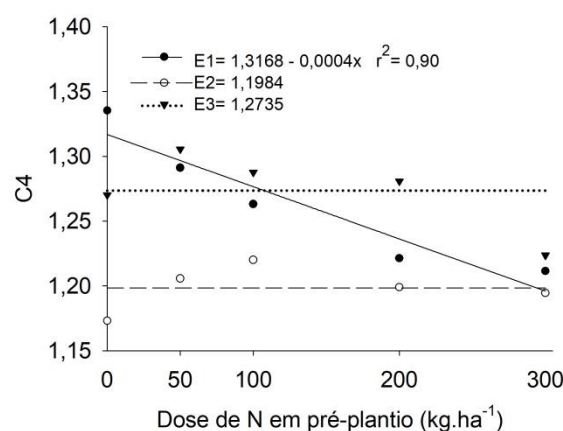
Figura 5 - Função 5 obtida pelo scanner (a) e funções 1 (b), 2 (c) e 4 (d) obtidas pelo smartphone para épocas de avaliação, em função de doses de nitrogênio aplicadas em pré-plantio



(c)



(d)



Fonte: Próprio autor.

Tabela 5 - Funções 1, 2, 3 e 4 obtidas pelo scanner e 3 e 5 obtidas pelo smartphone

Função	Época de avaliação			Equação de Regressão	R ²
	1	2	3		
S1	0,0505 c	0,082 b	0,116 a	$0,1271-0,0007x+1,546E-006x^2$	0,99
S2	0,382 b	0,384 b	0,393 a	$0,3994-0,0002x+3,3934E-007x^2$	0,98
S3	0,324 c	0,332 b	0,338 a	$0,3384-0,001x+2,8443E-007x^2$	0,99
S4	1,180 a	1,156 b	1,163 ab	$1,1806-0,0001x$	0,91
C3	0,323 c	0,338 a	0,332 b	$0,3377-0,0001x+2,9299E-007x^2$	0,82
C5	210,209 b	242,917 a	210,842 b	$239,2702-0,3474+0,0010x^2$	0,99

Fonte: Próprio autor.

As correlações das funções com as variáveis analisadas nas primeira (21 DAE), segunda (48 DAE) e terceira (77 DAE) épocas de avaliação são apresentadas nas Tabelas 6, 7 e 8, respectivamente.

Tabela 6 - Correlações das funções com as variáveis analisadas na primeira época de avaliação (21 DAE)

	SPAD	NBI	Chl	Flv	N
SPAD	1				
NBI	0,51	1			
Chl	0,83	0,49	1		
Flv	-0,34	-0,92	0,25	1	

N	0,61	0,69	0,56	-0,62	1
S1	-0,75	-0,72	-0,71	0,64	-0,66
S2	0,53	0,65	0,60	-0,48	0,45
S3	-0,83	-0,63	-0,85	0,47	-0,74
S5	-0,67	-0,37	-0,73	0,19	-0,6
S6	-0,76	-0,62	-0,63	0,53	-0,67
S7	-0,84	-0,64	-0,84	0,48	-0,74
S8	0,81	0,72	0,8	-0,6	0,72
S9	0,83	0,69	0,84	-0,54	0,73
C1	-0,66	-0,53	-0,45	0,58	-0,59
C3	-0,74	-0,55	-0,5	0,5	-0,69
C5	-0,68	-0,49	-0,45	0,36	-0,66
C7	-0,74	-0,56	-0,5	0,51	-0,69
C8	0,72	0,56	0,49	-0,56	0,65
C9	0,74	0,56	0,5	-0,53	0,67

Fonte: Próprio autor.

Tabela 7 - Correlações das funções com as variáveis analisadas na segunda época de avaliação (48 DAE)

	SPAD	NBI	Chl	Flv	N
SPAD	1				
NBI	0,66	1			
Chl	0,91	0,82	1		
Flv	-0,46	-0,94	-0,63	1	
N	0,69	0,51	0,63	-0,45	1
S1	-0,89	-0,75	-0,87	0,63	-0,8
S2	0,82	0,76	0,82	-0,63	0,68
S3	-0,86	-0,73	-0,93	0,55	-0,69
S4	-0,75	-0,64	-0,66	0,58	-0,74
S6	-0,73	-0,67	-0,67	0,6	-0,69
S7	-0,86	-0,72	-0,93	0,55	-0,69
S8	0,91	0,77	0,91	-0,62	0,79
S9	0,91	0,77	0,93	-0,61	0,76
C1	-0,6	-0,42	-0,52	0,26	-0,58
C2	0,5	0,38	0,47	-0,21	0,48
C4	-0,51	-0,27	-0,34	0,15	-0,51
C8	0,6	0,46	0,57	-0,29	0,57
C9	0,57	0,48	0,59	-0,31	0,52

Fonte: Próprio autor.

Tabela 8 - Correlações das funções com as variáveis analisadas na terceira época de avaliação (77 DAE)

	SPAD	NBI	Chl	Flv	N
--	------	-----	-----	-----	---

SPAD	1				
NBI	0,73	1			
Chl	0,95	0,76	1		
Flv	-0,53	-0,91	-0,55	1	
N	0,82	0,84	0,81	-0,69	1
S1	-0,79	-0,54	-0,81	0,44	-0,64
S2	0,78	0,53	0,81	-0,43	0,65
S3	-0,86	-0,53	-0,8	0,41	-0,61
S4	-0,63	-0,48	-0,72	0,41	-0,57
S6	-0,82	-0,71	-0,83	0,59	-0,74
S7	-0,85	-0,53	-0,8	0,41	-0,61
S8	0,83	0,55	0,83	-0,44	0,64
S9	0,85	0,55	0,83	-0,43	0,64
C1	-0,9	-0,66	-0,82	0,51	-0,74
C2	0,89	0,67	0,82	-0,48	0,79
C3	-0,84	-0,53	-0,72	0,35	-0,75
C4	-0,57	-0,53	-0,57	0,47	-0,41
C7	-0,84	-0,53	-0,72	0,36	-0,74
C8	0,91	0,64	0,82	-0,47	0,77
C9	0,91	0,61	0,81	-0,43	0,78

Fonte: Próprio autor.

A correlação entre SPAD e a Chl obtida pelo Dualex obteve um coeficiente de correlação de 0,83; 0,91 e 0,95 aos 21, 48 e 77 DAE, respectivamente. Esses resultados são semelhantes a muitos estudos utilizando o SPAD para estimar o teor de clorofila (Mercado-Luna et al., 2010). Entretanto, quando a correlação foi entre o SPAD e o N total obtido em laboratório, que é a variável tida como referencial por demonstrar, de fato, o valor de N nos tecidos das plantas, observa-se um coeficiente de correlação de 0,61; 0,69 e 0,82, respectivamente.

A relação entre a leitura SPAD e o teor de N da folha pode ser afetado por vários fatores: características das folhas, estado hídrico e condições ambientais, como a radiação fotossinteticamente ativa e a hora do dia (Xiong et al., 2015). A absorção do fóton depende da distribuição da clorofila na folha que é determinada pela organização estrutural do grana dentro do cloroplasto, do cloroplasto dentro da célula e da célula nas camadas do tecido (Milagres et al., 2018). Acredita-se que alguns desses fatores citados acima podem ter contribuído para a menor relação entre o SPAD e o N total nas épocas de avaliação.

A menor correlação entre o SPAD e o N observada aos 21 DAE pode estar relacionada com interferência de algum fator comentado acima ou estar associada ao

fato de as leituras efetuadas serem influenciadas pelo consumo de luxo de N. O consumo de luxo pode ter ocorrido na primeira avaliação, pois é nessa época que as plantas estão absorvendo o N para depois iniciar o processo de tuberização e translocá-lo para os tubérculos e com isso, há maior presença do nutriente nos tecidos nessa fase. Segundo Godoy et al. (2003), a obtenção de um índice relativo da clorofila na folha não responde ao consumo de luxo de N pela planta, e sim, a correlação entre o índice relativo da clorofila na folha e a concentração de N que pode deixar de ocorrer.

Com relação às funções aos 21 DAE (Tabela 6), quando correlacionado com o SPAD, as funções S3, S7 e S9 foram às funções do scanner que apresentaram maior coeficiente de correlação com o SPAD, sendo eles 0,83; 0,84 e 0,83, respectivamente. Para o smartphone, as funções com maior coeficiente de correlação foram as C3, C7 e C9, todas com $r=0,74$. As mesmas funções foram as que também mais se correlacionaram com o N total obtido em laboratório e a Chl obtida com o Dualex. Patane; Vibhute (2015), estudando a estimativa de clorofila e N de uva, usando processamento de imagem em cores, observaram as maiores correlações entre a clorofila obtida em laboratório com o modelo 7 ($G/(R+B)$), 8 ($2B/(R+G+B)$) e 9 (B/G), com coeficientes de correlação de 0,70; 0,70 e 0,73, respectivamente. De maneira geral, observa-se que nessa época, as funções obtidas com o RGB do smartphone tiveram um coeficiente de correlação menor que as obtidas pelo scanner. Essa diferença no valor entre o scanner e o smartphone pode ser devido o flash, que pode influenciar no brilho da foto, interferindo na leitura RGB. Além disso, a coloração ou até o formato da caixa pode ter interferido para essa diferença de valores.

Na segunda época de avaliação (48 DAE) as funções do scanner que tiveram um maior coeficiente de correlação com o SPAD foram as S1, S3, S8 e S9, sendo os coeficientes: 0,89; 0,86; 0,91 e 0,91, respectivamente (Tabela 7). Para o smartphone, as funções com maior coeficiente de correlação foram as C1, C8 e C9, todas com coeficientes de 0,6; 0,6 e 0,57, respectivamente. Essas mesmas funções foram as que apresentaram maior coeficiente de correlação também para o N total e a Chl. Já, para a terceira época de avaliação (77 DAE) as funções do scanner que tiveram um maior coeficiente de correlação com o SPAD foram as S3, S7 e S9, sendo os coeficientes: 0,86; 0,85 e 0,85, respectivamente (Tabela 8). Para o smartphone, as funções com maior coeficiente de correlação foram as C1, C8 e C9, todas com coeficientes de 0,90; 0,91 e 0,91, respectivamente. Para o N total e Chl, as funções com maior coeficiente de correlação foram as S1, S2, S8 e S9 para o scanner e C2, C8 e C9 para o

smartphone.

De modo geral, observa-se que as funções 3, 7, 8 e 9, tanto para o scanner, quanto para o smartphone foram as que apresentaram os maiores coeficientes de correlação com o SPAD, N total e Chl. Os coeficientes de correlação foram altos entre o SPAD e as funções, atestando a possibilidade do processamento digital de imagens ser utilizado na estimativa do N em batata. No entanto, uma maior correlação foi observada com as funções obtidas com o scanner do que com o smartphone, com exceção para a época 3 de avaliação, onde alguns modelos obtidos com o smartphone obtiveram valores de coeficientes maiores que os obtidos com o scanner.

Nos últimos anos, modelos têm sido desenvolvidos para dar maior suporte à decisão de quanto aplicar de N e quase sempre exploram a relação entre os parâmetros da imagem da folha e os valores SPAD no espaço de cores RGB obtidos por sensoriamento proximal ou distal. Nesse contexto, as pesquisas estão avançando em direção à inteligência artificial e ao aprendizado de máquina e tentando suprir a limitação do SPAD de ser um sensor proximal. Os trabalhos começam a buscar desenvolver sistema de sensoriamento de detecção de valor SPAD usando sistema de sensor de imagem espectral para dar indicação em tempo real da distribuição de nitrogênio da planta inteira de batata (Liu; Liu; Sun, 2020).

As leituras realizadas por meio de sensores de vegetação em tempo real permitem maior agilidade no processo de tomada de decisão em relação a práticas de manejo durante o ciclo da cultura, permitindo a identificação e a correção de deficiências nutricionais causadas pelo N (Raun et al., 2002; Kitchen et al., 2010; Lofton et al., 2012). Dessa forma, o sistema Android do smartphone tem sido usado, em vários campos, para aquisição de imagens inclusive para estimar o conteúdo de clorofila das folhas (Rigon et al., 2016; Barman; Choudhury, 2020). Os conceitos fundamentais e práticas de como usar as informações obtidas pela análise de imagem de câmera digital em sistemas de apoio no monitoramento de determinadas culturas foram atualizados por Putra et al. (2020), que propuseram um protocolo de uso como uma possível solução para os pequenos produtores com limitada infraestrutura de rede / acesso à Internet.

Com isso, na tentativa de aumentar a eficiência no uso do N na cultura da batata, permitindo incrementos no potencial produtivo e uma redução de gastos e poluição, este trabalho possibilita inferir que é possível o uso de um Sistema Android para estimar o estado nutricional das plantas durante o ciclo de desenvolvimento e

realizar a aplicação e a variação das quantidades aplicadas de N em tempo real. Pensando em propostas futuras de pesquisas, as leituras podem ser realizadas por meio desse sistema de aquisição de imagens e no próprio campo lançadas em um aplicativo, disponibilizado com algoritmos apropriados e calibrados para tal objetivo, permitindo maior agilidade no processo de tomada de decisão em relação a práticas de manejo durante o ciclo da cultura. Com relação ao scanner, por ser um equipamento um pouco mais difícil de ser levado ao campo, o mesmo pode ser utilizado para construção de tabelas de intensidade de cor verde com especificidade para determinada cultivar e local, que também podem auxiliar pequenos produtores de batata a tomar decisões sobre o manejo do N na cultura.

4 CONCLUSÃO

Análises de imagens originadas de scanner e smartphone podem ser utilizadas no diagnóstico do estado de N sendo propostas quatro funções possíveis para serem utilizadas em batata Asterix.

REFERÊNCIAS

- Argenta, G.; Silva, P. R. F. Da; Bortolini, C. G. Clorofila na folha como indicador do nível de nitrogênio em cereais. **Ciência Rural**, v. 31, p. 715-722, 2001.
- Backes, C.; Villas Bôas, R. L.; Lima, C. P. D.; Godoy, L. J. G. D.; Büll, L. T.; Santos, A. J. M. Estado nutricional em nitrogênio da grama esmeralda avaliado por meio do teor foliar, clorofilômetro e imagem digital, em área adubada com lodo de esgoto. **Bragantia**, v. 69, n. 3, p. 661-668, 2010.
- Barman, U.; Choudhury, R. D. Smartphone image based digital chlorophyll meter to estimate the value of citrus leaves chlorophyll using Linear Regression, LMBP-ANN and SCGBP-ANN. **Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences**, 2020.
- Berger, K.; Verrelst, J.; Féret, J. B.; Wang, Z.; Woche, M.; Strathmann, M.; Hank, T. Crop nitrogen monitoring: Recent progress and principal developments in the context of imaging spectroscopy missions. **Remote Sensing of Environment**, v. 242, p. 111758, 2020.
- Bregagnoli, M.; Minami, K.; Bregagnoli, F.C.R.; Santos, M.A.; Carvalho, C.A.M. Acúmulo de nutrientes pela cultura da batata cv. Atlantic sob 4 níveis de adubação. **Horticultura Brasileira**, v. 22, n. 2, 2004.
- 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. **J. Plant Nutr.**, v. 33, p. 2148–2156, 2010.
- Cesco, S.; Neumann, G.; Tomasi, N.; Pinton, R.; Weisskopf, L. Release of plant-borne flavonoids into the rhizosphere and their role in plant nutrition. **Plant soil**, v. 329, p.1-25, 2010.
- Coelho, F. S.; Fontes, P. C. R.; Finger, F. L.; Cecon, P. R. Avaliação do estado nutricional do nitrogênio em batateira por meio de polifenóis e clorofila na folha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 4, p. 584-592, 2012.
- Coelho, F. S.; Fontes, P. C. R.; Puiatti, M.; Neves, J. C. L.; de Castro Silva, M. C. Dose de nitrogênio associada à produtividade de batata e índices do estado de nitrogênio na folha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, p. 1175-1184, 2010.
- Dangi, R. S.; Singh, S. P.; Gaur, D.; Dixit, J. P.; Sharma, S.; Patidar, R. Response of potato (*Solanum tuberosum* L.) to nitrogen levels under different cultural practices. **International Journal of Chemical Studies**, v. 6, n. 4, p. 1589-1593, 2018.
- Doi, R. Quantification of leaf greenness and leaf spectral profile in plant diagnosis using an optical scanner. **Ciência e Agrotecnologia**, v.36, n.3, 309-317. 2012.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solo**. 2 ed. Rio de

Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

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

Fontes, P. C. R. **Diagnóstico do estado nutricional das plantas**. Viçosa, Editora UFV, 121 p, 2001.

Fontes, P. C. R. **Nutrição mineral de plantas: anamnese e diagnóstico**. Viçosa. MG: Editora UFV, 2016. 315p.

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 Res.**, v. 53, p. 167–179. 2010.

Gao, X.; Li, C.; Zhang, M.; Wang, R.; Chen, B. Controlled release urea improved the nitrogen use efficiency, yield and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.) on silt loamy soil. **Field crops research**, v. 181, p. 60-68, 2015.

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.

Godoy, L. J. G.; Villas Bôas, R. L.; Büll, L. T. Utilização da medida do clorofilômetro no manejo da adubação nitrogenada em plantas de pimentão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p.1049-1056, 2003.

Gonzales, R. C.; Woods, R. E. **Processamento Digital de Imagens**, ed Edgar Blucher, ISBN: 9788521202646, São Paulo, 2000.

Guimarães, T. G.; Fontes, P. C. R.; Pereira, P. R. G.; Alvarez V, V. H.; Monnerat, P. H. Teores de clorofila determinados por medidor portátil e sua relação com formas de nitrogênio em folhas de tomateiro cultivados em dois tipos de solo. **Bragantia**, v. 58, n. 1, p. 209-216. 1999.

Hernández-Hernández, J. L.; García-Mateos, G.; González-Esquivá, J. M.; Escarabajal-Henarejos, D.; Ruiz-Canales, A.; Molina-Martínez, J. M. Optimal color space selection method for plant/soil segmentation in agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, 122, 124-132, 2016.

Kitchen, N. R.; Sudduth, K. A.; Drummond, S. T.; Scharf, P. C.; Palm, H. L.; Roberts, D. F.; Vories, E. D. Ground-based canopy reflectance sensing for variable-rate nitrogen corn fertilization. **Agronomy Journal**, v.102, n.1, p.71-84, 2010.

Koch, M.; Naumann, M.; Pawelzik, E.; Gransee, A.; Thiel, H. The importance of nutrient management for potato production Part I: Plant nutrition and yield. **Potato Research**, v. 63, n. 1, p. 97-119, 2020.

Kumar, S.; Pandey, K. A. Chemistry and biological activities of flavonoids: na overview. **The scientific world jornal**. v. 2013, p. 1-16, 2013.

Li, D.; Li, C.; Yao, Y.; Li, M.; Liu, L. Modern imaging techniques in plant nutrition analysis: A review. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 174, p. 105459, 2020.

Liu, N.; Liu, G.; Sun, H. Real-time detection on SAPD value of potato plant using an in-field spectral imaging sensor system. **Sensors**, v. 20, n. 12, p. 3430, 2020.

Liu, N.; Townsend, P. A.; Naber, M. R.; Bethke, P. C.; Hills, W. B.; Wang, Y. Hyperspectral imagery to monitor crop nutrient status within and across growing seasons. **Remote Sensing of Environment**, v. 255, p. 112303, 2021.

Lombardo, S.; Pandino, G.; Mauromicale, G. Optimizing nitrogen fertilization to improve qualitative performances and physiological and yield responses of potato (*Solanum Tuberosum* L.). **Agronomy**, v. 10, n. 3, p. 352, 2020.

Lofton, J.; Tubana, B. S.; Kanke, Y.; Teboh, J.; Viator, H.; Dalen, M. Estimating sugarcane yield potential using an in-season determination of normalized difference vegetative index. **Sensors**, v. 12, n. 6, p. 7529–7547, 2012.

Lu, B.; Dao, P. D.; Liu, J.; He, Y.; Shang, J. Recent advances of hyperspectral imaging technology and applications in agriculture. **Remote Sensing**, v. 12, n. 16, p. 2659. 2020.

Mancin, W. R. **Desenvolvimento de software de processamento digital de imagens para análise do status nutricional de nitrogênio em *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés utilizando rede neural artificial**. 60 f. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciência)- Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2019.

Mercado-Luna, A.; Rico-García, E.; Lara-Herrera, A.; Soto-Zarazúa, G.; Ocampo-Velázquez, R.; Guevara-González, R.; Herrera-Ruiz, G.; Torres-Pacheco, I. Nitrogen determination on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) seedlings by color image analysis (RGB). **African Journal of Biotechnology**, v. 9, n. 33, p. 5326-5332, 2010.

Milagres, C. C.; Fontes, P. C. R.; Tufik, C. B. A. Índices para o diagnóstico do estado de nitrogênio da planta e prognóstico da produção de batata-semente básica. **XXV Congresso de la Asociacion Latino-americano de la papa**. 2012. Disponível em: <<http://www.papaslatinas.org/alap2012/presentacione66>>.

Milagres, C. C.; Fontes, P. C. R.; Silveira, M. V.; Moreira, M. M.; Lopes, I. P. C. Índices de nitrogênio e modelo para prognosticar a produção de tubérculos de batata. **Revista Ceres**, v. 65, p. 261-270, 2018.

Nigon, T. J.; Mulla, D. J.; Rosen, C. J.; Cohen, Y.; Alchanatis, V.; Knight, J.; Rud, R. Hyperspectral aerial imagery for detecting nitrogen stress in two potato cultivars. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 112, p. 36-46, 2015.

Nunes, J. C. S. **Sistema de preparo do solo para plantio manual e mecanizado da batateira irrigada por aspersão e gotejamento**. 2004. 120f. Tese (Doutorado em Fitotecnia)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

Pagola, M.; Ortiz, R.; Irigoyen, I.; Bustince, H.; Barrenechea, E.; Aparicio-Tejo, P.; Lamsfus, C.; Lasa, B. New method to assess barley nitrogen nutrition status based

on image colour analysis: comparison with SPAD-502. **Computers and electronics in agriculture**, v. 65, n. 2, p. 213-218, 2009.

Patane, P.; Vibhute, A. Chlorophyll and nitrogen estimation of grape using colour image processing. **International Journal of Engineering Research and Reviews**, v. 3, p. 110-115, 2015.

Putra, B. T. W.; Soni, P.; Marhaenanto, B.; Harsono, S. S.; Fountas, S. Using information from images for plantation monitoring: A review of solutions for smallholders. **Information Processing in Agriculture**, v. 7, n.1, p. 109-119. 2020.

Raun, W. R.; Solie, J. B.; Johnson, G. V.; Stone, M. L.; Mullen, R. W.; Freeman, K. W.; Thomason, W. E.; Lukina, E. V. Improving nitrogen use efficiency in cereal grain production with optical sensing and variable rate application. **Agronomy Journal**, v. 94, n. 1, p. 815-820, 2002.

Rigon, J. P. G.; Capuani, S.; Fernandes, D. M.; Guimarães, T. M. A novel method for the estimation of soybean chlorophyll content using a smartphone and image analysis. **Photosynthetica**, v. 54, n. 4, p. 559-566, 2016.

Schneider, C. A.; Rasband, W. S.; Eliceiri, K. W. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. **Nature Methods**, v. 9, p. 671–675. 2012.

Silva, M. C. C.; Fontes, P. C. R. Braun, H.; Coelho, F. S.; Busato, C.; Martins, A. D. 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, 2009.

Silva, A. S. **Percloroeto de ferro como sinalizador de injúrias em tubérculos de batata e caracterização de isolados de Pectobacterium spp.** 134 f. 2012. Tese (Doutorado em Agronomia)- Universidade de Uberlândia, Uberlândia, 2012.

Streit, N. M.; Canterle, L. P.; Canto, M. W. D.; Hecktheuer, L. H. H. As clorofilas. **Ciência Rural**, v. 35, n. 3, p. 748-755, 2005.

Teixeira, R. A.; Sousa Brandão, A. D.; Souza, E. S.; Fernandes, A. R.; do Amarante, C. B. Teores de flavonoides e nutrientes em plantas de noni cultivadas em solos com atributos químicos contrastantes. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 59, n. 2, p. 196-202, 2016.

Vakilian, K. A.; Massah, J. A farmer-assistant robot for nitrogen fertilizing management of greenhouse crops. **Computers and electronics in agriculture**, v. 139, p. 153-163, 2017.

Villa, P. M.; Sarmiento, L.; Rada, F. J.; Rodrigues, A. C.; Márquez, N.; Espinosa, W. Partición de biomasa y nitrógeno en el cultivo de papa bajo tres tratamientos de fertilización nitrogenada. **Siembra**, v. 7, n. 2, p. 057-068. 2020.

Xiong, D.; Chen, J.; Yu, T.; Gao, W.; Ling, X.; Li, Y.; Huang, J. SPAD-based leaf nitrogen estimation is impacted by environmental factors and crop leaf

characteristics. **Scientific Reports**, v. 5, p. 1-12, 2015.

White, R. P.; Sanderson, J. B. Effect of planting date, nitrogen rate, and plant spacing on potatoes grown for processing in Prince Edward Island. **American Potato Journal**, v. 60, p. 115- 126, 1983.