

HEDER BRAUN

**PRODUTIVIDADE, ÍNDICES FISIOLÓGICOS E NITROGENADOS AVALIADOS
NA PLANTA EM TEMPO REAL, INFLUENCIADOS PELO MANEJO DO
NITROGÊNIO, ÉPOCA DE CULTIVO E CULTIVAR DE 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*.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2012**

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

T

B825p
2012

Braun, Heder, 1981-

Produtividade, índices fisiológicos e nitrogenados avaliados na planta em tempo real influenciados pelo manejo do nitrogênio, época de cultivo e cultivar de batata / Heder Braun. – Viçosa, MG, 2012.
xv, 230f. : il. ; 29cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Paulo Cezar Rezende Fontes.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Batata - Efeito do nitrogênio. 2. Batata - Crescimento.
3. Batata - Cultivo. 4. Batata - Adubos e fertilizantes.
5. Fertilizantes nitrogenados. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22. ed. 635.21

HEDER BRAUN

**PRODUTIVIDADE, ÍNDICES FISIOLÓGICOS E NITROGENADOS AVALIADOS
NA PLANTA EM TEMPO REAL, INFLUENCIADOS PELO MANEJO DO
NITROGÊNIO, ÉPOCA DE CULTIVO E CULTIVAR DE 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: 12 de março de 2012.

**Fernando Luiz Finger
(Coorientador)**

Francisco Affonso Ferreira

Marialva Alvarenga Moreira

José Francisco Teixeira do Amaral

**Paulo Cezar Rezende Fontes
(Orientador)**

A Deus, por mais esta etapa concluída.

A todos familiares, em especial aos meus pais Helmar Braun e Elma Kohlz Braun, pelo apoio, incentivo, confiança e presença em todos os passos desta caminhada.

Aos meus irmãos: Liamara, Helio e Hermes.

Aos meus sobrinhos: Mayra, Frank e Gustavo.

A todos (as) os (as) tios (as) e primos (as).

Dedico.

“Viva a cada dia como se a vida estivesse começando”

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela força e saúde que me concedeu durante esta caminhada.

À Universidade Federal de Viçosa e, em especial, ao Departamento de Fitotecnia, pela oportunidade concedida para a realização do curso de Doutorado em Fitotecnia.

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), pela bolsa concedida durante o curso.

À FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais), pelos recursos concedidos durante a realização dos experimentos.

Ao professor Paulo Cezar Rezende Fontes, pelos ensinamentos, orientações, amizade, paciência, compreensão e pelo amadurecimento fundamental para a minha carreira profissional.

Aos professores Co-orientadores Paulo Roberto Cecon, Fernando Luiz Finger e Mário Puiatti pela paciência, pelos conselhos e esclarecimentos.

Aos membros da banca examinadora Marialva Alvarenga Moreira, Fernando Luiz Finger, Francisco Affonso Ferreira e José Francisco Teixeira do Amaral, pelas grandiosas considerações apresentadas com o objetivo de valorizar o trabalho realizado.

Aos professores da Universidade Federal de Viçosa, pela valiosa contribuição e ensinamento durante as disciplinas cursadas no curso de Doutorado.

Aos professores do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, pela boa amizade durante este período.

Ao estagiário Paulo Sérgio de Oliveira pelas ajudas fundamentais durante as avaliações de campo e laboratório.

Aos doutores Marialva, Marcelo Cleón e Marcelo Curitiba Espindula, Fabrício Silva Coelho pela amizade, convivência e pelos auxílios fundamentais em todas as etapas deste trabalho.

Aos colegas orientados do professor Paulo Cezar Rezende Fontes, pela boa amizade.

Às doutorandas Tania Pires da Silva e Ana Paula Sato Ferreira, e aos estagiários Ariana Motta Pereira, Danilo Pereira e Clebson Carneiro e demais alunos de graduação e Pós-Graduação do Laboratório de Fisiologia Pós-Colheita, pelas ajudas fundamentais durante todas as análises realizadas neste laboratório.

A todos os colegas da Pós-Graduação que também estudaram no CCA-UFES (Alegre – ES) e a todos os colegas do departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa.

Aos funcionários do Laboratório de Fisiologia Pós-Colheita, Geraldo e Sebastião, pelos auxílios nas análises.

Aos laboratoristas do Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do Departamento de Fitotecnia, UFV, Domingos e Itamar, pelo auxílio fundamental nas análises.

Aos colegas de república, João Batista Zonta, João Henrique Zonta e Leandro Torres de Souza, Flávio Barcelos Cardoso, Aurélio Vaz de Melo, Reinaldo Lopes Moratta, Tarço Murilo de Oliveira Luz, pelos incentivos e companheirismo.

À Emiliane, secretária do lar, que trabalhou em minha residência todos estes anos.

Às secretárias da Pós-Graduação em Fitotecnia Mara, Tatiani e Rafaela pela paciência e conselhos fornecidos durante este curso.

A todos os funcionários da Horta Nova de Pesquisa do Departamento de Fitotecnia, em especial ao Paulo Márcio, Antônio Cesário e Beto, pela grande força e auxílio na condução dos experimentos no campo.

Ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA-UFES), em especial aos professores José Francisco Teixeira do Amaral, José Augusto Teixeira do Amaral, Julião Soares de Souza Lima e Edvaldo Fialho dos Reis, pela amizade, pela oportunidade de realizar o PIBIC, e pelos conselhos fundamentais para minha vida e formação profissional.

Aos colegas da república dos artistas, Rodrigo Santos, Paulo Cezar Cavatte, Raul Berger Neto, Murilo Antônio Pedroni, Senilo Santana da Silva, pelos bons momentos vividos em Alegre-ES.

A todos aqueles que sempre torceram e apoiaram durante esta grande conquista da minha vida.

MUITO OBRIGADO!

BIOGRAFIA

HEDER BRAUN, filho de Helmar Braun e Elma Kohlz Braun, nasceu na cidade de Itaguaçu, Espírito Santo, Brasil, no dia 27 de abril de 1981.

Em 1996, concluiu a 8ª série do ensino fundamental na “Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio Eurico Salles”, em Itaguaçu – ES.

Em 1999, concluiu o ensino médio na “Escola Agrotécnica Federal de Colatina – EAF-COL”, Colatina – ES (Instituto Federal do Espírito Santo – Campus Itapina, Colatina – ES), onde obteve o título de Técnico em Agropecuária.

Em maio de 2001, ingressou no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA-UFES), no curso de Agronomia, concluído em setembro de 2005.

Em agosto de 2005, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, em nível de Mestrado, na Universidade Federal de Viçosa, UFV, em Viçosa – MG, na área de Nutrição Mineral e Adubação de Plantas, vindo a defender em julho de 2007 a Dissertação de Mestrado intitulada: Qualidade pós colheita de tubérculos de cultivares influenciada por doses de nitrogênio.

Em março de 2008, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, em nível de Doutorado, na Universidade Federal de Viçosa, UFV, em Viçosa – MG, na área de Nutrição Mineral e Adubação de Plantas, vindo a defender a Tese de Doutorado em 12 de março de 2012.

SUMÁRIO

RESUMO	xi
ABSTRACT	xiv
1. Introdução Geral.....	1
2. Referências bibliográficas	3
CAPÍTULO I	5
Índices fisiológicos e nitrogenados avaliados em tempo real e prognóstico da produtividade de cultivares de batata em função do estado de nitrogênio da planta	5
1. Introdução	5
2. Material e Métodos.....	7
2.1 Localização e caracterização da área do experimento	7
2.2 Delineamento experimental e tratamentos	8
2.3 Instalação e condução dos experimentos no campo.....	8
2.4 Características avaliadas	9
2.4.1 Teor de clorofila extraível na quarta folha	9
2.4.2 Caracterização do crescimento da planta colhida aos 21 DAE.....	10
2.4.2.1 Área foliar da planta e da quarta folha	10
2.4.2.2 Medições ópticas	10
2.4.2.3 Massa de matéria seca.....	11
2.4.2.4 Área foliar específica e razão de área foliar	11
2.4.2.5 Teor e conteúdo de N na quarta folha.....	11
2.4.2.6 Quantidade de N acumulada pela parte aérea	12
2.4.2.7 Teor de N na quarta folha por área foliar	12
2.4.2.8 Eficiência do uso de N na quarta folha.....	12
2.4.3 Avaliações realizadas na colheita	12
2.4.3.1 Produtividade comercial	12
2.4.3.2 Eficiência agronômica do N.....	13
2.4.3.3 Eficiência do uso de N	13
2.5 Análise estatística.....	13
2.5.1 Análise conjunta dos dois experimentos.....	13
3. Resultados	15
3.1. Índices fisiológicos e nitrogenados.....	15
3.2 Produtividade comercial	19
3.3 Eficiência agronômica e do uso do N	21

3.4 Níveis críticos das variáveis dependentes influenciadas por doses de N	23
3.5 Correlações entre os índices fisiológicos e nitrogenados.....	23
3.6 Relações da produtividade comercial com as variáveis independentes	26
3.7 Estimativa ou prognóstico da produtividade comercial via regressão linear simples e múltipla	27
4. Discussão	29
4.1 Índices fisiológicos e nitrogenados da planta.....	29
4.2 Produtividade comercial de tubérculos.....	32
4.3 Eficiência agrônômica e do uso do N	33
4.4 Níveis críticos das características influenciadas por doses de N.....	34
4.5 Correlações.....	35
4.6 Prognóstico da produtividade via regressão linear simples e múltipla	36
5. Conclusões	37
6. Referências bibliográficas	37
1. Resumo da análise conjunta dos experimentos.....	45
CAPÍTULO II.....	46
Caracterização morfofisiológica e produtividade de nitrogênio na folha de cultivares de batata submetidas a diferentes disponibilidades de nitrogênio	46
1. Introdução	46
2. Material e Métodos.....	48
2.1 Localização e caracterização da área do experimento	48
2.2 Delineamento experimental e tratamentos	49
2.3 Instalação e condução dos experimentos no campo.....	50
2.4 Características avaliadas	51
2.4.1 Caracterização morfofisiológica da planta.....	51
2.4.2 Razões alométricas.....	51
2.4.3 Análise de crescimento.....	52
2.4.4 Nitrogênio (N).....	53
2.4.4.1 Teor de N na planta	53
2.4.4.2 Eficiência de uso do N foliar.....	54
2.4.4.3 Produtividade de N na folha.....	54
2.5 Análise estatística.....	54
3. Resultados	56
4. Discussão	73
5. Conclusões.....	78

6. Referências bibliográficas	79
CAPÍTULO III.....	86
Dose de nitrogênio associada à produtividade de cultivares batata e nível crítico de índices avaliados em tempo real, em duas épocas de cultivo	86
1. Introdução	86
2. Material e Métodos	89
2.1 Localização e caracterização da área do experimento	89
2.2 Delineamento experimental e tratamentos	89
2.3 Instalação e condução dos experimentos no campo.....	90
2.4 Características dependentes avaliadas.....	91
2.4.1. Área foliar.....	91
2.4.2 Massa de matéria seca	92
2.4.3 Razão de área foliar e área foliar específica.....	92
2.4.4 Teor e conteúdo de N.....	92
2.4.5 Teor de N na QF e na folha por área	93
2.4.6 Eficiência do uso do N	93
2.4.7 Índice SPAD e colorímetro.....	93
2.4.8 Teor de clorofila extraível na QF.....	93
2.4.9 Parâmetros estruturais da QF.....	94
2.4.10 Produtividade comercial.....	94
2.5 Análise estatística.....	95
2.5.1 Análise conjunta das épocas seca e chuvosa	95
3.0 Resultados	96
3.1 Índices fisiológicos, nitrogenados e parâmetros estruturais na QF, quantificados na época seca e chuvosa	96
3.1.1 Equações ajustadas das variáveis dependentes em função das doses de N em pré-plantio e cobertura, na época seca.....	100
3.1.2 Equações ajustadas das variáveis dependentes em função das doses de N em pré-plantio e cobertura, na época chuvosa.....	105
3.1.3 Níveis críticos das variáveis dependentes influenciados por doses de N	110
3.1.4 Comparação entre as cultivares, na época seca	111
3.1.5 Comparação entre as cultivares, na época chuvosa	119
3.1.6 Comparação entre as épocas de cultivo, na cultivar Ágata	127
3.1.7 Comparação entre as épocas de cultivo, na cultivar Atlantic	135
3.7 Correlações das variáveis dependentes com a produtividade comercial de tubérculos, para cada época de cultivo e cultivar.....	143

3.8 Estimativa do teor de N na quarta folha via regressão linear simples e múltipla	146
4.0 Discussão	147
4.1 Índices fisiológicos	147
4.2 Índices nitrogenados.....	148
4.3 Parâmetros estruturais da quarta folha	151
4.4 Estimativa do teor de N na quarta folha via regressão linear simples e múltipla	152
4.5 Produtividade comercial	154
5. Conclusões	155
6. Referências bibliográficas	157
Resumo da Análise Conjunta, comparando as duas épocas de cultivo, para a cultivar Ágata (n=160)	166
Resumo da Análise Conjunta, comparando as duas épocas de cultivo, para a cultivar Atlantic (n=160)	168
Resumo da Análise Conjunta, comparando as duas cultivares, na época seca (n=160)	170
Resumo da Análise Conjunta, comparando as duas cultivares, na época chuvosa (n=160)	172
CAPÍTULO IV.....	174
Teores de clorofila, fenóis solúveis, nitrogênio e carboidratos em folhas de cultivares de batata em função de doses de nitrogênio	174
1. Introdução	174
2. Material e Métodos.....	177
2.1 Localização e caracterização da área experimental.....	177
2.2 Tratamentos e delineamento experimental.....	177
2.3 Instalação e condução dos experimentos no campo.....	177
2.4 Características avaliadas	178
2.4.1 Medições ópticas realizadas com o Dualex®	178
2.4.2 Material vegetal para determinação dos teores de fenóis solúveis, de açúcar solúvel total, de açúcares redutores e de amido	178
2.4.2.1 Teor de açúcares solúveis totais.....	178
2.4.2.2 Teor de amido.....	179
2.4.2.3 Teor de açúcares redutores e não-redutores.....	180
2.4.2.4 Teor de fenóis solúveis.....	180
2.4.2.5 Teor de N na quarta folha	181
2.5 Análise estatística.....	181
2.5.1 Análise conjunta.....	181
3. Resultados	182

3.1 Aos 21 dias após a emergência (DAE), antes de realizar a cobertura com N	182
3.1.1 Medições ópticas realizadas na quarta folha com o Dualex®	185
3.1.1.1 Índice de clorofila	185
3.1.1.2 Índice de flavonóis	185
3.1.2 Teor de N total na quarta folha.....	186
3.1.3 Teor de fenóis solúveis na quarta folha	186
3.1.4 Carboidratos na quarta folha.....	187
3.1.4.1 Teor de amido.....	187
3.1.4.2 Teor de açúcar solúvel total.....	187
3.1.5 Correlações entre as variáveis dependentes, aos 21 DAE	188
3.2 Aos 42 dias após a emergência (DAE)	191
3.2.1 Índice de clorofila	194
3.3 Avaliações realizadas nos tubérculos obtidos no momento da colheita.....	198
3.3.1 Teor de fenóis solúveis	200
3.3.2 Teor de açúcar solúvel total.....	201
4. Discussão	205
4.1 Avaliações realizadas na quarta folha	205
4.2 Avaliações realizadas nos tubérculos da colheita	209
5. Conclusões	211
6. Referências bibliográficas	212

RESUMO

BRAUN, Heder, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2012. **Produtividade, índices fisiológicos e nitrogenados avaliados na planta em tempo real, influenciados pelo manejo do nitrogênio, época de cultivo e cultivar de batata.** Orientador: Paulo Cezar Rezende Fontes. Co-Orientadores: Fernando Luiz Finger, Paulo Roberto Cecon e Mário Puiatti.

Os objetivos da tese foram: a) verificar a influência do manejo do nitrogênio (N), doses e épocas de aplicação do N, sobre índices fisiológicos e nitrogenados avaliados na quarta folha (QF) e na planta em tempo real; b) estimar o nível crítico dos mesmos em duas cultivares de batata, em duas épocas de cultivo; c) quantificar os valores das características morfofisiológicas associados ao crescimento das plantas e a produtividade de N nas folhas de cultivares de batata; d) determinar a dose ótima de N associada à máxima produtividade física e econômica de tubérculos de cultivares de batata. Avaliou-se também a possibilidade de estimar indiretamente o teor de N na QF com o equipamento Dualex[®] (índice de clorofila, índice de flavonóis e índice de balanço de N); os teores de fenóis solúveis e os carboidratos (açúcares solúveis totais, açúcares redutores e amido) na QF e nos tubérculos obtidos no momento da colheita do experimento. Os índices nitrogenados foram: índice SPAD, teor de clorofila total extraível na QF, relação entre o teor de clorofila *a* e *b* na QF, eficiência do uso do N na QF, teor de N na QF por área; teor de N na QF, no caule e na folha; conteúdo de N na QF e quantidade de N acumulada pela parte aérea. Os índices fisiológicos foram: área foliar da QF e da planta, °h, L', C, °h/(L'*C); massa de matéria seca da folha, do caule, da QF, da parte aérea e total; área foliar específica da QF e da planta e razão de área foliar. Os estudos foram realizados na Horta Nova de Pesquisa do Departamento de Fitotecnia, da Universidade Federal de Viçosa, UFV, em Viçosa-MG (20°45' S e 42°51' W e altitude de 693 metros), nos anos de 2009, 2010 e 2011. Em experimentos distintos, foram estudados: a) cinco doses de N aplicadas em pré-plantio (0; 50; 100; 200 e 300 kg ha⁻¹ de N) e duas cultivares de batata (Asterix e Atlantic), no período de julho a novembro de 2009, no delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições. Aos 21 dias após a emergência (DAE), foram coletadas plantas representativas de cada parcela, para a determinação dos índices fisiológicos e nitrogenados; b) entre os meses de março a junho de 2010 foram instalados e conduzidos, simultaneamente, dois experimentos no campo. Cada um correspondendo a uma cultivar de batata (Ágata e Asterix) e três doses de N (0; 300 e 600 kg ha⁻¹ de N) aplicadas em pré-plantio, caracterizadas como condições limitante,

adequada e excessiva. Os experimentos foram instalados em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições, no delineamento em blocos casualizados. As parcelas foram constituídas pelas doses de N e as subparcelas por cinco épocas de coletas, a intervalos de 14 dias, aos 14, 28, 42, 56 e 70 DAE. Em cada época de coleta foram colhidas plantas representativas de cada subparcela sendo calculadas as razões alométricas e realizadas a análise de crescimento e a produtividade de N na folha; c) em experimentos realizados na época seca com irrigação (maio a setembro de 2010) e chuvosa (dezembro de 2010 a março de 2011) foram avaliadas cinco doses de N (0; 50; 100; 200 e 300 kg ha⁻¹ de N) aplicadas no sulco, em pré-plantio e quatro doses de N aplicadas aos 21 DAE, em cobertura (0; 100; 200 e 300 kg ha⁻¹ de N), em duas cultivares de batata (Ágata e Atlantic). Índices fisiológicos e nitrogenados foram determinados após a coleta das plantas aos 42 DAE; d) na época chuvosa, aos 21 DAE, imediatamente antes de realizar a adubação de cobertura e aos 42 DAE leituras com o Dualex[®] foram realizadas nas plantas representativas de cada parcela. Quantificaram-se também, aos 21, 42 DAE e no momento da colheita dos tubérculos, os teores de carboidratos (açúcares solúveis totais, açúcares redutores e amido) e fenóis solúveis. Aos 21 e 42 DAE foram determinados os carboidratos e fenóis solúveis na QF e, também foram determinados nos tubérculos no momento da colheita do experimento. Conclui-se que a dose de N influencia positivamente todos os índices fisiológicos e nitrogenados avaliados aos 21 DAE. A dose de N estimada para obter a máxima eficiência física é 180,33 e 205,24 kg ha⁻¹ de N, propiciando a máxima produtividade comercial de tubérculos de 38,60 e 37,90 t ha⁻¹, para Asterix ou Atlantic, respectivamente. A produtividade comercial de tubérculos de cultivares de batata é prognosticada pelo índice SPAD e explicada por modelo matemático contendo índices fisiológicos e nitrogenados como variável dependente. A época de avaliação influencia os valores das características morfológicas e fisiológicas em condições limitantes, adequada e excessiva de N. A área foliar específica e a razão de massa foliar são as variáveis que apresentam maior correlação com a variação da taxa de crescimento relativo da cultura. Os índices fisiológicos e nitrogenados determinados aos 42 DAE são apropriados para a determinação da disponibilidade do N aplicado no momento do plantio e em cobertura. Na época seca, não é necessário parcelar o fertilizante nitrogenado. Nessa época, a dose de N para a máxima eficiência econômica é 169,30 e 193,0 kg ha⁻¹ de N, para as cultivares Ágata e Atlantic, respectivamente. Na época chuvosa, é necessário parcelar o fertilizante nitrogenado. Nessa época, a dose de N para a máxima eficiência econômica é

189,8 kg ha⁻¹ de N em pré-plantio e 174,8 kg ha⁻¹ de N em cobertura, para a cultivar Ágata; 183,3 kg ha⁻¹ de N em pré-plantio e 214,4 kg ha⁻¹ de N em cobertura, para a cultivar Atlantic. Há efeito positivo das doses de N aplicadas em pré-plantio sobre o índice de clorofila, índice de balanço de N e o teor de N; e efeito negativo sobre o índice de flavonóis, o teor de fenol, o teor de amido e a relação amido/ANR determinados na QF aos 21 DAE. A concentração de N na QF da batata é estimada indiretamente com o equipamento portátil Dualex[®]. Há efeito positivo das doses de N em pré-plantio e em cobertura sobre o índice de clorofila e índice de balanço de N; e efeito negativo das doses de N em pré-plantio e em cobertura sobre o índice de flavonóis e o teor de fenóis solúveis e de amido determinado na QF aos 42 DAE. Há efeito negativo das doses de N em pré-plantio e em cobertura sobre o teor de fenol solúvel e o teor de amido; e positivo das doses de N em pré-plantio e em cobertura sobre o teor de açúcar solúvel total e açúcar não-redutor determinado nos tubérculos obtidos no momento da colheita.

ABSTRACT

BRAUN, Heder, D.Sc., Federal University of Viçosa, March, 2012. **Yield, physiological and nitrogen indices evaluated in the plant in real-time affected by nitrogen management, growing season and potato cultivars.** Adviser: Paulo Cezar Rezende Fontes. Co-Advisers: Fernando Luiz Finger, Paulo Roberto Cecon e Mário Puiatti.

The objectives of the thesis were: a) to determine the effect of nitrogen (N) management, rates and application time of the N, on physiological and N indexes real-time evaluated both in the fourth leaf from the apex (FL) and in the plant; b) to estimate the critical values (CV) of those indexes in two potato cultivars at two growing season; c) to determine the value of morphological and physiological characteristics associated with plant growth and leaf N productivity in potato cultivars; d) to determine the optimum N fertilization rate associated with the maximum tuber physical and economic yield of potato cultivars. It was also evaluated the possibility to indirectly estimate the leaf N concentration of potato cultivars with Dualex[®] equipment (chlorophyll index, flavonol index and N balance index) as well the soluble phenol and carbohydrates (total soluble sugars, reducing sugars and starch) in potato leaf and tuber at the harvest time. In FL, the N indexes were: reading SPAD, total leaf chlorophyll concentration, leaf chlorophyll *a* and *b* ratio, N efficiency use, N concentration in per area; N concentration in FL, stem, and leaf, N content in FL and N accumulated amount by shoots. The physiological indexes were: FL and plant leaf area, °h, L', C, °h/(L'*C) ratio; leaf, stem, FL, shoot and total dry matter; FL and plant specific leaf area and leaf area ratio. The experiments were established in the field, at the Federal University of Viçosa (UFV), Viçosa, Minas Gerais State, the years 2009, 2010 and 2011. In different experiment were evaluated: a) five N fertilization rates applied in furrow at pre-planting (0, 50, 100, 200 and 300 kg ha⁻¹) and two potato cultivars (Asterix and Atlantic) during July-November 2009, in a randomized block design with four replications. At 21 days after emergence (DAE), were harvested representative plants in each plot. The physiologic and N indexes were evaluated after harvest plant; b) between March to June, 2010 it were simultaneously installed and conducted two field experiments. Each experiment was one potato cultivars (Ágata and Asterix) and three N fertilization rates (0; 300 and 600 kg ha⁻¹) pre-planting applied in the furrow which were characterized as limiting, adequate and excessive conditions. The experiments were arranged in a split-plot design with four repetitions in randomized complete blocks. The plots were constituted by N fertilization rates and subplots by five plant sampling time, 14; 28; 42; 56 and 70 DAE. In each

sampling time it was harvested representative plant in each subplot and calculated alometrics ratio and accomplished the plant growth analysis and leaf N productivity; c) in experiment during the dry season (May to September 2010), but irrigated, and wet season (December 2010 to March 2011) it were evaluated five N fertilization rates (0; 50; 100; 200 and 300 kg ha⁻¹) applied in the furrow at pre-planting and four N fertilization rates (0; 100; 200 and 300 kg ha⁻¹) applied in the furrow at sidedress in two potato cultivars (Ágata and Atlantic). The physiological and N indexes were evaluated after harvest plant at 42 DAE; d) in the rainy season, immediately before the N fertilizer sidedressing, at 21 DAE, and at 42 DAE, Dualex[®] readings were taken in plants representative by plot. It was also determined at 21, 42 DAE and at tuber harvest, the carbohydrates (total soluble sugars, reducing sugars and starch) and soluble phenol concentration. It is concluded the N fertilization rates affect positively all physiological and N indexes evaluated at 21 DAE. N fertilization rate for maximum physical efficiency (MFE) is 180.33 and 205.24 kg ha⁻¹ de N, associated with maximum marketable tuber yield of the 38.60 and 37.90 t ha⁻¹, for Asterix and Atlantic, respectively. The marketable yield tuber of potato cultivars is prognosticated by SPAD index and explained by a quadratic model contained physiological and N indexes as dependent variable. The sampling time influence the values of the morphological and physiological characteristics at limiting, adequate and excessive conditions. The leaf specific area and leaf mass ratio are the variable with the highest correlation with the plant relative growth rate. The physiological and N indexes determined at 42 DAE are appropriate to determine the N availability pre-planting and sidedress applied. In wet season it is not necessary to split N fertilizer application. In this season, the N fertilization rates by the maximum economic efficiency is 189.8 kg ha⁻¹ of the N in pre-planting and 174.8 kg ha⁻¹ of the N in sidedressing, for Ágata cultivar; 183.3 kg ha⁻¹ of the N in pre-planting and 214.4 kg ha⁻¹ of the N in sidedressing, for Atlantic cultivar. In the rainy season it is necessary to split the N fertilizer application. In this season, the N fertilization rates for the maximum economic efficiency is 189.8 kg ha⁻¹ of the N at pre-planting and 174.8 kg ha⁻¹ of the N in sidedress, for Ágata cultivar; 183.3 kg ha⁻¹ of the N in pre-planting and 214.4 kg ha⁻¹ of the N in sidedress, for Atlantic cultivar. At 21 DAE there were positive effects of N fertilization rates pre-planting applied on chlorophyll index, N balance index and N concentration; and negative effects on flavonol, soluble phenol and starch concentration and on the starch/ANR ratio, as determined in FL. The N concentration in potato FL is indirectly estimated with Dualex[®]. At 42 DAE

there were positive effects of N fertilization rates pre-planting and sidedress applied on chlorophyll index and N balance index; and negative effects of N fertilization rates pre-planting and sidedress applied on flavonol index, soluble phenol and starch concentration, as determined in FL. It was observed a negative effect of N fertilization rates at pre-planting and sidedress applied on soluble phenol and starch concentrations; and a positive effect on the total soluble sugars and reducing sugars, as determined in the tuber at the harvest time.

1. Introdução Geral

A cultura da batata é considerada a terceira fonte de alimento para a humanidade, sendo suplantada somente pelo arroz e pelo trigo, pois o milho é o mais utilizado em nutrição animal. O consumo *per capita* de batata na América do Sul foi 29 kg habitante⁻¹ ano⁻¹ e no Brasil é 10 kg habitante⁻¹ ano⁻¹ (Agrianual, 2011).

A produção mundial de batata, em 2009, foi da ordem de 320 milhões de toneladas por ano, e uma área plantada de 19,3 milhões de ha, alcançando produtividade média pouca mais de 16 t ha⁻¹. Em 2008, a área plantada e produtividade da Ásia, Oceania e Europa, África, América do Norte e América do Sul foram 8,5; 8,3 e 1,9 milhões; 574 e 883 mil ha e 15,65; 19,4; 10,4; 40,13 e 15,8 t ha⁻¹, respectivamente (Agrianual, 2011).

Em 2010, a produção brasileira de batata foi 3.459.183 toneladas, com área plantada de 139.814 hectares, atingindo produtividade média de 24,74 t ha⁻¹. A região Sudeste destacou-se com produtividade média de 26,27 t ha⁻¹, e a região Sul, com a média de 19,74 t ha⁻¹. Dentre os estados brasileiros, no ano de 2010, Minas Gerais apresentou produtividade média de 29,24 t ha⁻¹; São Paulo obteve 22,60 t ha⁻¹ e o Espírito Santo alcançou a produtividade de 17,15 t ha⁻¹. Na região Sul brasileira, o estado do Paraná é o maior produtor, que em 2010 atingiu a produtividade média de 23,14 t ha⁻¹ (Agrianual, 2011).

O mercado brasileiro é abastecido por cultivares originárias da Holanda, Alemanha e Canadá, como Ágata, Asterix, Atlantic, Monalisa, entre dezenas de outras, além da Baronesa no Rio Grande do Sul.

Atualmente, dentre as cultivares mais utilizadas pelos produtores, a Ágata representa cerca de 55%, Cupido com 20%, Asterix com 12%, Atlantic com 7% e Mondial, Markies e outras cultivares com 2% (ABBA, 2010). Independente de cultivar, no intuito de alcançar elevada produtividade é necessário aplicar fertilizantes, dentre os quais estão incluídos os nitrogenados.

O nitrogênio (N) destaca-se entre os nutrientes necessários ao crescimento e desenvolvimento das plantas. A baixa disponibilidade na camada arável do solo somada à grande demanda pelas plantas faz com que o N seja um dos nutrientes mais limitantes à produtividade da batata. Para corrigir essa limitação é necessário a adição de determinada quantidade de fertilizante nitrogenado suficiente para assegurar adequada produtividade da cultura da batata.

Uma possibilidade que tem sido buscada recentemente, principalmente com a expansão da agricultura de precisão, é usar uma dose de N no plantio e complementá-la com uma dose de N em cobertura, dependendo da “necessidade da planta” bem como a época de plantio. Para isso ocorrer é necessário dispor de métodos para monitorar o estado nutricional de N da planta, de preferência que sejam realizados em tempo real.

O monitoramento do estado de N das plantas pode ser realizado por métodos diretos ou indiretos (Fontes & Araújo, 2007; Fontes, 2011). Para esse monitoramento pode ser usada a análise do teor de N na massa de matéria seca das folhas (Coelho *et al.*, 2010), teor de N-NO₃ na seiva do pecíolo (Zhang *et al.*, 1996; Waterer, 1997; Ronchi *et al.*, 2001; Wu *et al.*, 2007; Majic *et al.*, 2009) e tabela cor (Silva & Fontes, 2006). Além destes métodos, a avaliação do verde da folha de forma rápida, eficaz, não destrutiva, com custo relativamente baixo e principalmente em tempo real tem sido proposta. Isso é possível devido aos avanços tecnológicos dos medidores portáteis. Dentre os medidores portáteis como indicadores do estado nitrogenado está incluído o SPAD-502 (*Soil Plant Analysis Development*), denominado clorofilômetro (Gianquinto *et al.*, 2003; Silva *et al.*, 2009; Busato *et al.*, 2010; Coelho *et al.*, 2010).

Recentemente, foi introduzido no mercado brasileiro outro medidor portátil chamado de Dualex[®] (FORCE-A, Orsay, France). O Dualex[®] é um equipamento utilizado para a determinação indireta do estado do N na folha, tendo como base a concentração de clorofila e o teor de flavonóis (Fontes, 2011). Além dos medidores portáteis, é hipotetizado que características morfo-anatômicas ou fitotécnicas da planta possam ser usadas como índice de N na planta (Fontes, 2001; 2011).

Avaliação do estado de N em plantas é importante para a comunidade científica, na medida em que visa identificar e ou criar índices fisiológicos e nitrogenados possíveis de serem empregados no diagnóstico do estado nitrogenado bem como no prognóstico da produtividade de batata. Ademais, o estudo e o entendimento sobre a produção e o acúmulo de carboidratos nas folhas e nos tubérculos das plantas são importantes ferramentas para a tomada de decisão da avaliação do estado de N nas plantas. Entretanto, os índices fisiológicos e nitrogenados são influenciados por diversos fatores, tais como o manejo do N em pré-plantio e cobertura, cultivares e diferentes épocas de cultivo.

Assim, o objetivo geral deste trabalho foi determinar o efeito das doses de N sobre os índices fisiológicos e nitrogenados e estimar o nível crítico de índices fisiológicos e nitrogenados na quarta folha e na planta para o diagnóstico do estado de

N de cultivares de batata; realizar a caracterização morfofisiológica da planta em função do manejo do N bem como quantificar a produção de carboidratos na folha e nos tubérculos de cultivares de batata.

Para atingir os objetivos do trabalho foram realizadas avaliações de campo e de laboratório descritos em quatro capítulos.

2. Referências bibliográficas

- AGRIANUAL. **Anuário da Agricultura Brasileira**. 16.ed. FNP Consultoria & Agroinformativos, 2011, 516p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA BATATA. **Brasil-Atuais variedades**. Ano 10, n.28, Dezembro de 2010.
- BUSATO, C.; FONTES, P.C.R.; BRAUN, H.; CECON, P.R. Seasonal variation and threshold values for chlorophyll meter readings on leaves of potato cultivars. **Journal of Plant Nutrition**, v.33, p.2148-2156, 2010.
- COELHO, F.S.; FONTES, P.C.R.; PUIATTI, M.; NEVES, J.C.L.; SILVA, M.C.C. Dose de nitrogênio associada à produtividade de batata e índices do estado de nitrogênio na folha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.1175-1183, 2010.
- FONTES P.C.R. **Diagnóstico do estado nutricional das plantas**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2001. 122p.
- FONTES, P.C.R. **Nutrição mineral de plantas: avaliação e diagnose**. Viçosa: Arka Editora, 2011. 296p.
- FONTES, P.C.R.; ARAÚJO, C. **Adubação nitrogenada de hortaliças. Princípios e práticas com o tomateiro**. Viçosa: Editora UFV, 2007. 148p.
- GIANQUINTO, G.; SAMBO, P.; BONA, S. The use of SPAD-502 chlorophyll meter for dynamically optimizing the nitrogen supply in potato crop: a methodological approach. **Acta Horticulturae**, v.607, p.197-204, 2003.
- MAJIC, A.; POLJAK, M.; SABLJO, A.; SEFO, E.; KNEZOVIĆ, Z. Nitrate-nitrogen rates in petiole sap potato crop (*Solanum tuberosum*). **Acta Horticulturae**, v.86, p.333-338, 2009.
- RONCHI, C.P.; FONTES, P.C.R.; PEREIRA, P.R.G.; NUNES, J.C.; MARTINEZ, H.E.P. Índices de nitrogênio e de crescimento do tomateiro em solo e em solução nutritiva. **Revista Ceres**, v.48, n.278, p.469-484, 2001.

- SILVA, M.C.C.; FONTES, P.C.R. Proposição de uma tabela de cor (UFV 80-Monalisa) para o diagnóstico do estado nutricional nitrogenado da batateira. **Batata Show**, v.16, n.16, p.16, 2006.
- SILVA, M.C.C.; FONTES, P.C.R.; MIRANDA, G.V. Índice SPAD e produção de batata, em duas épocas de plantio, em função de doses de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, v.27, p.17-22, 2009.
- WATERER, D. Petiole sap N-NO₃ testing as a method for monitoring nitrogen nutrition of potato crops. **Canadian Journal of Plant Science**, v.77, n.2, p.273-278, 1997.
- WU, J.; WANG, D.; ROSEN, C.J.; BAUER, M.E. Comparison of petiole nitrate concentrations, SPAD chlorophyll readings, and QuickBird satellite imagery in detecting nitrogen status of potato canopies. **Field Crops Research**, v.101, p.96-103, 2007.
- ZHANG, H.; SMEAL, D.; ARNOLD, R.N.; GREGORY, E.J. Potato nitrogen management by monitoring petiole nitrate level. **Journal of Plant Nutrition**, v.19, n.10-11, p.1405-1412, 1996.

CAPÍTULO I

Índices fisiológicos e nitrogenados avaliados em tempo real e prognóstico da produtividade de cultivares de batata em função do estado de nitrogênio da planta

1. Introdução

O nitrogênio (N) desempenha papel fundamental de estabelecer e manter a capacidade e funcionalidade da fonte (fotossíntese) e proporcionar adequada colheita do dreno (tubérculos). Assim, é bem documentado o importante papel do N sobre o crescimento e desenvolvimento dos tubérculos, bem como sobre a produtividade e qualidade (Ojala *et al.* 1990; Long *et al.* 2004; Zebarth *et al.*, 2006; Kumar *et al.*, 2007; Arriaga *et al.*, 2009; Braun *et al.*, 2010; Fontes *et al.*, 2010).

A cultura da batata responde significativamente à adição de N. Ademais, redução na produtividade de tubérculos de cultivares de batata com a aplicação de dose inapropriada de N tem sido verificada em vários estudos (Love *et al.*, 2005; Sampaio Jr. *et al.*, 2008; Abbasi *et al.*, 2009; Silva *et al.*, 2009; Vos, 2009; Cerný *et al.*, 2010; Coelho *et al.*, 2010; Fontes *et al.*, 2010). A eficiência de utilização do N aplicado ao solo pela batata está entre 48 a 77% (Zebarth *et al.*, 2004), sendo que o restante do N é perdido por imobilização, volatilização (N_2O e NH_3) e lixiviação, na forma de $N-NO_3$. Ademais, esta perda de N na forma de $N-NO_3$ irá contribuir para a poluição de águas subterrâneas.

Para aumentar a eficiência de utilização e, conseqüentemente diminuir a poluição ambiental gerada pelo uso de dose excessiva de N, é necessário ajustar a dose de N às necessidades da planta. Tal ajuste é buscado nos trabalhos de pesquisas em vários países desenvolvidos onde há preocupação em diminuir o impacto ambiental ocasionado por excesso de insumos nos sistemas de produção agrícola, principalmente dos fertilizantes nitrogenados. Na perspectiva de aumentar a eficiência de N nas culturas há grupos de pesquisa envolvidos com a agricultura de precisão afirmando que o atual conceito de aplicar dose única de N em uma área extensa precisa ser substituído pelo conceito de aplicar dose a taxa variável (Roberts *et al.*, 2010). Pela complexidade, falta de conhecimento operacional e incerteza de lucratividade, os resultados deste procedimento ainda são incertos (Ping *et al.*, 2008; Kitchen *et al.*, 2010; Roberts *et al.*,

2010), porém estão em constante evolução e têm sido comercializados sistemas que empregam a tecnologia de sensoriamento-aplicar a dose variável de N à gleba (Samborski *et al.*, 2009; Zebarth *et al.*, 2009).

Para ajustar a dose de N às necessidades da planta é necessário utilizar algum índice da planta oriundo de algum procedimento analítico executado, principalmente, em tempo real (Goffart *et al.*, 2008; Samborski *et al.*, 2009; Zebarth *et al.*, 2009; Zebarth *et al.*, 2011). Obviamente, tanto para o diagnóstico do estado de N quanto para o prognóstico da produtividade o valor referencial de cada índice necessita posterior calibração em outras condições.

O uso de técnicas não destrutivas tem sido estudado para viabilizar a determinação do estado nitrogenado das plantas. Os índices de N na planta mais comumente usados para a avaliação do estado de N em tempo real são análise do teor de N-NO₃ na seiva do pecíolo por meio de microeletrodo (Ronchi *et al.*, 2001; Love *et al.*, 2005; Wu *et al.*, 2007; Majic *et al.*, 2009), fita indicadora seletiva para nitrato (Araújo *et al.*, 2003) e medidor portátil de clorofila SPAD-502 (Gil *et al.*, 2002, Fontes & Araújo, 2006; Espindula *et al.*, 2009; Silva *et al.*, 2009; Busato *et al.*, 2010; Coelho *et al.*, 2010). Adicionalmente, há tentativas de utilizar determinadas características fisiológicas ou biométricas da planta, em condição de adequado suprimento dos demais nutrientes, tanto como índice do estado de N na planta (Ronchi *et al.*, 2001; Moreira *et al.*, 2011) quanto para o controle da dose de N (Fontes *et al.*, 2005; Fontes & Araújo, 2006), portanto estes índices são dependentes de características varietais.

Em qualquer sistema de manejo do N, é necessário minimizar a aplicação desnecessária de fertilizante nitrogenado para obter o máximo retorno econômico, principalmente em ocasião de margens reduzidas de lucratividade e de relação estreita entre o preço do fertilizante e do produto colhido. Para estimar a dose ótima econômica de N é necessário utilizar o valor da produtividade esperada, somente possível de ser determinada após a colheita dos tubérculos (informação à *posteriori*). Uma alternativa para estimar a produtividade é gerar algum índice da planta, possível de ser avaliado ainda no campo, em tempo real, principalmente na fase do ciclo da cultura de maior demanda de N, que seja útil para inferir sobre a produção, ou seja, prognosticar a produtividade de batata ou informação à *priori* (Fontes, 2011).

Estudos sobre a avaliação do estado de N em plantas são importantes para a comunidade científica, na medida em que podem servir como subsídios aos trabalhos de nutrição de plantas que visem identificar e ou criar novos índices fisiológicos e

nitrogenados para serem empregados no diagnóstico do estado nitrogenado bem como o prognóstico da produtividade de batata.

Diante disso, objetivou-se com este trabalho avaliar nas cultivares Asterix e Atlantic:

- a) a influência das doses de N sobre os índices fisiológicos e nitrogenados;
- b) estimar os valores dos níveis críticos dos índices influenciados pelas doses de N;
- c) avaliar dois modelos estatísticos (quadrático e raiz quadrada) para a descrição da relação entre doses de N e a produtividade comercial de tubérculos;
- c) correlacionar os índices fisiológicos e nitrogenados com a produtividade comercial;
- d) prognosticar a produtividade de cultivares de batata utilizando-se a regressão linear simples e múltipla.

2. Material e Métodos

2.1 Localização e caracterização da área do experimento

Os experimentos foram conduzidos na Horta Nova de Pesquisas do Departamento de Fitotecnia (DFI) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa-MG, a 693 m de altitude, a uma latitude de 20°45' sul e longitude de 42°51' oeste, na época de julho a novembro de 2009. O município de Viçosa-MG apresenta classificação de Koeppen (1948) do tipo Cwa, caracterizado pelo clima tropical de altitude, com chuvas de verão e seca no inverno.

Durante a condução dos experimentos, os valores médios mensais de temperaturas máxima e mínima do ar, umidade relativa e precipitação pluvial acumulada foram 31,40 e 19,23 °C; 70,12% e 267,3 mm, respectivamente. Os dados climáticos foram coletados diariamente na estação meteorológica da Horta Velha de Pesquisa do Departamento de Fitotecnia da UFV, localizada a 3 km da área onde foram conduzidos os experimentos. O solo da área experimental foi classificado como Podzólico Vermelho-Amarelo Câmbico (Embrapa, 1999) e suas características químicas foram determinadas pela análise de amostras das camadas de 0-20 cm de profundidade, realizada antes da instalação dos experimentos. O resultado das características do solo amostrada antes da instalação dos experimentos encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1. Características químicas da camada do solo de 0-20 cm de profundidade, antes da instalação dos experimentos

Características químicas	Valor
pH em água – 1:2,5	6,58
Matéria orgânica (MO) (dag kg ⁻¹) ¹	2,75
Fósforo (P) (mg dm ⁻³) ²	190
Potássio (K) (mg dm ⁻³) ²	197
Cálcio (Ca ²⁺) (cmol _c dm ⁻³) ³	6,13
Magnésio (Mg ²⁺) (cmol _c dm ⁻³) ³	0,81
Acidez trocável (Al ³⁺) (cmol _c dm ⁻³) ³	0,0
Acidez potencial (H ⁺ + Al ³⁺) (cmol _c dm ⁻³) ⁴	4,90
Soma de bases (SB) (cmol _c dm ⁻³)	7,44
Capacidade de troca de cátions: CTC efetiva (t) (cmol _c dm ⁻³)	7,44
Capacidade de troca de cátions: CTC a pH 7,0 (T) (cmol _c dm ⁻³)	12,34
Saturação por bases (V, %)	60,3
P-remanescente (mg dm ⁻³)	41,2

¹MO = C.Org x 1,724 – Walkley-Black; ² Extrator Mehlich 1; ³ Extrator KCl 1 mol.L⁻¹;

⁴ Extrator Acetato de cálcio 0,5 mol.L⁻¹ pH 7,0.

2.2 Delineamento experimental e tratamentos

Foram instalados dois experimentos, simultaneamente, no campo. Cada experimento correspondeu a uma cultivar de batata (*Solanum tuberosum* L.): Asterix e Atlantic. Cada experimento consistiu de cinco doses de N (0; 50; 100; 200 e 300 kg ha⁻¹ de N) aplicadas no sulco em pré-plantio. Foi utilizado como fonte de N o sulfato de amônio (20 % de N e 24% de enxofre). Os experimentos foram instalados no delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições. Cada parcela experimental foi constituída de 28 plantas em quatro linhas, espaçadas de 0,75 m entre fileiras e 0,25 m entre plantas, com dimensão de 3,0 m x 1,5 m, sendo totalizadas cinco plantas úteis por fileira. As duas linhas laterais e as duas plantas das extremidades das linhas centrais serviram como bordadura.

2.3 Instalação e condução dos experimentos no campo

Previamente, a área do experimento foi submetida a dois plantios sucessivos de milho, sem utilização de adubo nitrogenado, com o objetivo de reduzir o N disponível no solo. As plantas de milho foram cortadas mecanicamente e retiradas da área. Após a retirada do milho da área foi efetuada a amostragem do solo para caracterização química e física. Em seguida realizou-se aração profunda do solo com arado de aiveca e duas

passagens de grade niveladora, com posterior sulcamento. Em seguida, realizou-se a adubação de pré-plantio com macro e micronutrientes.

As quantidades de fertilizantes aplicados no sulco de plantio foram: 1800 kg ha⁻¹ de superfosfato simples (18% de P₂O₅), 500 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio (60% de K₂O), 200 kg ha⁻¹ de sulfato de magnésio (9% de Mg), 10 kg ha⁻¹ de bórax (11% de B), 10 kg ha⁻¹ de sulfato de zinco (22% de Zn), 10 kg ha⁻¹ de sulfato de cobre (24% de Cu) e 0,5 kg ha⁻¹ de molibdato de sódio (39% de Mo). O fertilizante nitrogenado e os demais fertilizantes foram aplicados no sulco de plantio e misturados ao solo. Além disso, foi realizada a aplicação do inseticida Carbofuran.

O plantio dos tubérculos foi realizado em sulcos, no dia 27/07/09. Foram utilizadas batatas-semente certificadas, de tamanho uniforme, em torno de 70 g, previamente brotadas, com broto de aproximadamente 3 cm. Aos 22 dias após a emergência (DAE) das plantas efetuou-se a amontoa. Nesta época não foi aplicado N em cobertura. Durante o período experimental, foram realizadas pulverizações para o controle de pragas e doenças, de acordo com a necessidade. Foi utilizado defensivo químico com ingredientes ativos Carbofuran, Mancozeb, Oxiclreto de Cobre e Deltametrin. Foi realizada irrigação complementar e procurando-se manter a umidade próxima a capacidade de campo, com suspensão da irrigação uma semana antes da colheita dos tubérculos.

2.4 Características avaliadas

2.4.1 Teor de clorofila extraível na quarta folha

Aos 21 DAE, imediatamente antes da amontoa, foram coletadas duas QF de duas plantas representativas de cada parcela. As QF foram acondicionadas em sacos plásticos e posteriormente encaminhadas para o laboratório dentro de caixas de isopor contendo cubos de gelo. No laboratório, foram retirados dez discos foliares da QF. Posteriormente, os discos foram pesados e homogenizados em almofariz com CaCO₃, areia e 5 mL de acetona 80%. Esse extrato foi filtrado, coletando-se o filtrado em balão volumétrico de 25 mL revestido com papel alumínio, e completado o volume até o menisco. Os teores de clorofilas totais, expressos em mg g⁻¹ de massa de matéria fresca (MF), foram quantificados pelo método espectrofotométrico (Lichthenthaler, 1987).

2.4.2 Caracterização do crescimento da planta colhida aos 21 DAE

2.4.2.1 Área foliar da planta e da quarta folha

Na mesma data, aos 21 DAE, imediatamente antes de realizar a amontoa, foram colhidas duas plantas representativas em cada parcela, entre 7 e 9 h. As plantas foram acondicionadas em sacos plásticos contendo gotas de água, vedados, levadas ao laboratório e separadas em caules, folhas e quarta folha (QF). No laboratório, foi determinada a área foliar da quarta folha completamente expandida, a partir do ápice (AFQF, cm²/planta) e da planta (AFP, cm²/planta) com auxílio do integrador de área foliar LI-COR 3100.

2.4.2.2 Medições ópticas

Nestas duas plantas colhidas, em cada QF, foi determinado o índice SPAD, obtido com o medidor portátil clorofilômetro SPAD-502 (*Soil Plant Analysis Development-502*), em medição feita no folíolo terminal da QF completamente expandida, a partir do ápice da planta. Efetuaram-se cinco leituras em cada folíolo terminal da QF, a partir das quais foi obtida a média para cada QF amostrada, evitando-se realizar leituras na nervura central dos folíolos. A média das leituras realizadas nas duas QF, das duas plantas amostradas, representou o valor da parcela.

Na mesma QF foi realizada a leitura com o colorímetro portátil Colortec-PCM da Konica Minolta. Cada QF foi colocada sobre a superfície de uma folha de papel branca, para evitar a interferência da superfície nas leituras de reflectância, e posteriormente foi realizada a quantificação dos parâmetros L, C e °h (McGuire, 1992). Os termos L, C e °h indicam brilho, cromaticidade e ângulo hue, respectivamente. Em cada QF foram realizadas três leituras, a partir das quais foi calculada a média para cada QF amostrada. A média das leituras realizadas na QF das duas QF, das duas plantas amostradas, forneceu o valor da parcela. Durante as leituras evitou-se realizar sobre a nervura central da folha, para evitar qualquer interferência nos resultados. Com estes parâmetros foi calculada a relação °h/(L*C).

2.4.2.3 Massa de matéria seca

As massas de matéria fresca da planta (QF, folha e caule) foram acondicionadas em sacos de papel e colocadas em estufa de ventilação forçada de ar a 70 °C, até atingirem massa constante. Em seguida foi determinada a massa de matéria seca da QF (MSQF, g/planta), da folha (MSF, g/planta) e do caule (MSC, g/planta). A massa de matéria seca da parte aérea da planta (MSPA, g/planta) foi obtida pela soma da MSQF, MSF e MSC.

2.4.2.4 Área foliar específica e razão de área foliar

Com os valores de massa de matéria seca e área foliar, calculou-se as seguintes relações ou índices biométricos:

a) área foliar específica da planta (AFEP, $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$) e da QF (AFEQF, $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$): a AFEP foi obtida pela relação entre a AFP ($\text{cm}^2/\text{planta}$) e MSF (g/planta) e a AFEQF foi obtida pela relação entre a AFQF ($\text{cm}^2/\text{planta}$) e a MSQF (g/planta).

b) razão de área foliar (RAF, $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$): a RAF foi calculada por meio da relação entre a AFP ($\text{cm}^2/\text{planta}$) e a MSPA (g/planta).

2.4.2.5 Teor e conteúdo de N na quarta folha

Posteriormente, a MSQF foi triturada em moinho tipo Wiley, equipado com peneira de 20 mesh e amostra de 0,1 g, de cada tratamento e repetição, foi pesada e digerida em ácido sulfúrico concentrado (P.A.). O teor de N total na QF (TNQF, dag kg^{-1}) foi determinado por titulometria, após a destilação de amônia por arraste de vapor pelo método de Kjeldahl (Bremer, 1965). Para o cálculo do conteúdo de N na QF (CNQF, kg ha^{-1}), a MSQF (g/planta) foi transformada para MSQF (kg ha^{-1}). Assim, o conteúdo de N na QF (CNQF, kg ha^{-1}) foi determinado pela multiplicação da MSQF (kg ha^{-1}) com o TNQF (dag kg^{-1}) e dividido por 100, para transformar dag ha^{-1} para kg ha^{-1} .

2.4.2.6 Quantidade de N acumulada pela parte aérea

Com os valores obtidos da MSPA da cultivar Asterix, foi estimada a quantidade de N acumulada pela parte aérea (QNAPA, kg ha⁻¹), sendo que esses dados foram substituídos na curva de diluição de N [(kg ha⁻¹ de N = 36MSPA^{0,63}], onde relaciona a quantidade de N acumulada em função da massa de matéria seca (t ha⁻¹), obtida por Andriolo *et al.* (2006). Da mesma forma, foi realizado para a cultivar Atlantic, baseando-se na curva de diluição de N [(kg ha⁻¹ de N = 37,15MSPA^{0,63}] obtida por Bélanger *et al.* (2001).

2.4.2.7 Teor de N na quarta folha por área foliar

O teor de N na QF por área foliar (TNQF_A, g N cm⁻² de folha) foi obtido pela relação entre o TNQF (g g⁻¹) e a AFEQF (cm² g⁻¹).

2.4.2.8 Eficiência do uso de N na quarta folha

A eficiência do uso do N na QF (EUNQF, g MS g⁻¹ N foliar) foi calculada com os dados de MSPA (g/planta), MSQF (g/planta) e TNQF (g g⁻¹), segundo Zebarth *et al.* (2004):

$$EUNQF = \frac{MSPA}{MSQF \times TNQF}$$

2.4.3 Avaliações realizadas na colheita

2.4.3.1 Produtividade comercial

Aos 101 dias após o plantio, 84 dias após a completa emergência, as plantas da área útil foram arrancadas e os tubérculos deixados sobre o solo por duas horas para o secamento da periderme. Posteriormente, os tubérculos foram levados para o galpão e pesados, sendo determinada a produtividade comercial de tubérculos (PCTU, t ha⁻¹). Foram considerados tubérculos comerciais aqueles tubérculos sem ataques de pragas,

doenças, embonecamento, esverdeamento, dano mecânico, rachadura e maiores que 3,3 cm de diâmetro longitudinal.

2.4.3.2 Eficiência agronômica do N

Com os dados da PCTU foi estimada a eficiência agronômica do N (EGAN, kg kg⁻¹) segundo Fontes & Araújo (2007) pela relação:

$$EAGN = \frac{\text{produtividade } N_x - \text{produtividade } N_0}{N_x}$$

Nesta equação citada acima, produtividade N_x = PCTU expressa em kg ha⁻¹, obtida com a dose ótima de N (DON, kg ha⁻¹) que proporcionou a máxima produtividade comercial; produtividade N_0 = PCTU expressa em kg ha⁻¹, obtida na parcela não adubada com N ($N_0 = 0$ kg ha⁻¹) e N_x = dose ótima de N (DON, kg ha⁻¹) que proporcionou a máxima produtividade comercial. Também foi calculado a EAGN em relação à PCTU obtida nas parcelas que receberam 50, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ de N.

2.4.3.3 Eficiência do uso de N

A eficiência do uso de N (EUN, kg kg⁻¹) foi calculada pela relação entre a PCTU de tubérculos (kg ha⁻¹) e a dose de N (kg ha⁻¹) aplicada em cada tratamento (50; 100; 200 e 300 kg ha⁻¹ de N).

2.5 Análise estatística

2.5.1 Análise conjunta dos dois experimentos

Para cada variável dependente avaliada foi realizada uma análise conjunta envolvendo os dois experimentos (cultivar Asterix e Atlantic). A análise conjunta foi realizada com o objetivo de comparar os dois experimentos.

Após a realização da análise conjunta, independentemente da interação doses de N (N) e cultivar (C) (C x N) ser ou não significativa, as interações (C x N) foram desdobradas, para cada variável dependente avaliada. Em seguida, para cada variável dependente, foi ajustado modelo de regressão para expressar a relação existente entre a

variável dependente e a variável independente. Os modelos foram escolhidos com base no sentido biológico, na significância dos coeficientes de regressão utilizando o nível de até 10% de probabilidade, pelo teste “t”, e no coeficiente de determinação, sendo calculado pela relação ($R^2 = SQ_{\text{Regressão}}/SQ_{\text{Tratamento}}$). A comparação das médias das duas cultivares foi realizada pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Para as variáveis avaliadas foi calculado o valor do nível crítico (NC) associado à dose de N que proporcionou a máxima produtividade comercial de tubérculos (PCTU, t ha⁻¹), substituindo-se este valor na equação ajustada das referidas variáveis dependentes em função das doses de N (variáveis independentes), seguindo a metodologia descrita por Fontes (2001) e Fontes & Ronchi (2002).

Também, os dados obtidos foram submetidos à análise de correlação linear simples (r) utilizando os cinco pares de dados, ou seja, os valores médios das quatro repetições referentes às doses de N. Com os resultados da análise de correlação linear simples, estimou-se o coeficiente de determinação (r²) bem como a equação de regressão linear simples ($\hat{Y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_i$) para todas as variáveis dependentes que apresentaram correlação significativa com a PCTU. A análise de correlação linear simples entre as variáveis dependentes foi realizada para verificar se existência de relação entre duas variáveis, isto é, saber se a alteração sofrida por uma variável é acompanhada por alteração em outra.

Também foi calculada a produtividade comercial estimada (PCE). A PCE foi calculada da seguinte forma: o NC calculado anteriormente de cada variável dependente avaliada associado à dose de N que proporcionou à máxima PCTU foi substituído nas equações ajustadas, onde a PCTU é a variável dependente (\hat{Y}) e os índices fisiológicos e nitrogenados são as variáveis independentes (X). Foi realizado para prognosticar a PCTU através do NC dos índices fisiológicos e nitrogenados avaliados.

Foram avaliados dois modelos estatísticos (quadrático e raiz quadrada) que descrevem a relação existente entre as doses de N e a PCTU. Estes modelos citados acima foram escolhidos com base nos critérios já descritos anteriormente. Além destes critérios foi escolhido o modelo que melhor descreve a PCTU em função das doses de N com base no menor quadrado médio independente da regressão, ou seja, valor que indica o melhor ajuste do modelo.

Também foi realizada uma análise de trilha para caracterizar os efeitos diretos e indiretos das variáveis sobre a produtividade. Com as variáveis que apresentaram a maior contribuição do efeito direto (produtividade) foram ajustados modelos de

regressão linear simples e múltipla ($\hat{Y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1X_1 + \hat{\beta}_2X_2 + \hat{\beta}_3X_3 + \dots + \hat{\beta}_nX_n$). A análise de trilha mede os efeitos diretos e indiretos da variável independente sobre a variável dependente.

O software estatístico utilizado para a execução das análises estatísticas foi o Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas (SAEG versão 9.1).

3. Resultados

3.1. Índices fisiológicos e nitrogenados

Os valores mínimo e máximo das variáveis dependentes avaliadas (índices fisiológicos e nitrogenados) estão apresentados na Tabela 2.

O efeito da cultivar (C), dose de N (N) e da interação (C x N) sobre as variáveis dependentes avaliadas nas plantas de batata está apresentado na Tabela 3.

O efeito das variáveis independentes (doses de N) sobre as variáveis dependentes (índices fisiológicos e nitrogenados da planta), para as duas cultivares de batata, determinadas aos 21 DAE, está listado na Tabela 4.

As equações ajustadas que representam os índices fisiológicos e nitrogenados em função das doses de N, para as duas cultivares de batata, determinadas aos 21 DAE, estão apresentadas na Tabela 5.

As equações ajustadas que representam a área foliar (AF) da QF (AFQF, $\text{cm}^2/\text{planta}$) e da planta (AFP, $\text{cm}^2/\text{planta}$), em função das doses de N, para as cultivares Asterix e Atlantic, estão listadas nas Figuras 1.

Tabela 2. Valores mínimo e máximo das variáveis dependentes ($n=40$)

Variável dependente	Abreviatura	Unidade	Valores	
			Mínimo	Máximo
Índices Fisiológicos				
Área foliar da quarta folha	AFQF	cm ² /planta	140,94	314,34
Área foliar da planta	AFP	cm ² /planta	2940,12	6378,17
°h/(L*C)	-	-	0,059	0,14
Massa de matéria seca da folha	MSF	g/planta	10,11	14,49
Massa de matéria seca do caule	MSC	g/planta	2,73	9,11
Massa de matéria seca da quarta folha	MSQF	g/planta	0,32	1,04
Massa de matéria seca da parte aérea	MSPA	g/planta	14,59	24,07
Área foliar específica da planta	AFEP	cm ² g ⁻¹	162,09	340,42
Área foliar específica da quarta folha	AFEQF	cm ² g ⁻¹	261,74	490,15
Razão de área foliar	RAF	cm ² g ⁻¹	162,64	340,42
Índices Nitrogenados				
Leitura SPAD na QF	SPADQF	unidade SPAD	30,9	46,7
Teor de clorofila total	TCT	mg g ⁻¹ MF	3,66	10,46
Eficiência do uso de N na quarta folha	EUNQF	g g ⁻¹	381,96	1744,10
Teor de N na quarta folha por área	TNQF _A	g cm ⁻²	0,066	0,202
Quantidade N acumulada na parte aérea	QNAPA	kg ha ⁻¹	131,12	185,49
Teor de N na quarta folha	TNQF	dag kg ⁻¹	2,69	5,59
Conteúdo de N na quarta folha	CNQF	kg ha ⁻¹	0,51	2,92
Produtividade comercial	PCTU	t ha ⁻¹	26,02	39,96

n =número de dados observados; MF e MS=massa de matéria fresca e seca.

Tabela 3. Efeito de cultivar (C), doses de N e da interação (C x N) da variável independente sobre as variáveis dependentes avaliadas

Variável dependente	Abreviatura	Unidade	Cultivar (C)	Doses de N (N)	C x N
Índices Fisiológicos					
°h/(L*C)	-	-	$P<0,01$	$P<0,01$	$P<0,05$
Massa de matéria seca da folha	MSF	g/planta	$P>0,99$	$P<0,01$	$P=25,40$
Massa de matéria seca do caule	MSC	g/planta	$P<0,01$	$P<0,01$	$P>0,99$
Massa de matéria seca da QF	MSQF	g/planta	$P<0,01$	$P<0,01$	$P<0,10$
Massa de matéria seca da PA	MSPA	g/planta	$P<0,01$	$P<0,01$	$P>0,99$
Área foliar específica da planta	AFEP	cm ² g ⁻¹	$P<0,01$	$P=34,98$	$P>0,99$
Área foliar específica da QF	AFEQF	cm ² g ⁻¹	$P<0,01$	$P<0,05$	$P>0,99$
Área foliar da QF	AFQF	cm ² /planta	$P<0,01$	$P<0,01$	$P=11,79$
Área foliar da planta	AFP	cm ² /planta	$P<0,05$	$P<0,01$	$P>0,99$
Razão de área foliar	RAF	cm ² g ⁻¹	$P<0,01$	$P<0,01$	$P>0,99$
Índices Nitrogenados					
Leitura SPAD na QF	SPADQF	ud SPAD	$P=24,77$	$P<0,01$	$P>0,99$
Teor de clorofila total	TCT	mg g ⁻¹ MF	$P>0,99$	$P<0,01$	$P=13,60$
Eficiência do uso de N na QF	EUNQF	g MS g ⁻¹ N	$P<0,01$	$P<0,01$	$P<0,01$
Teor de N na QF por área	TNQF _A	g N cm ⁻²	$P<0,01$	$P<0,01$	$P>0,99$
Quantidade N acumulada na PA	QNAPA	kg ha ⁻¹	$P<0,01$	$P<0,01$	$P>0,99$
Teor de N na QF	TNQF	dag kg ⁻¹	$P<0,05$	$P<0,01$	$P<0,05$
Conteúdo de N na QF	CNQF	kg ha ⁻¹	$P<0,01$	$P<0,01$	$P>0,99$
Produtividade comercial	PCTU	t ha ⁻¹	$P<0,01$	$P<0,01$	$P=14,19$

QF=quarta folha; PA=parte aérea; MF e MS=massa de matéria fresca e seca; ud = unidade.

Tabela 4. Efeito da variável independente (doses de N) sobre as variáveis dependentes (índices fisiológicos e nitrogenados), para as cultivares Asterix e Atlantic, aos 21 dias após a emergência (DAE)

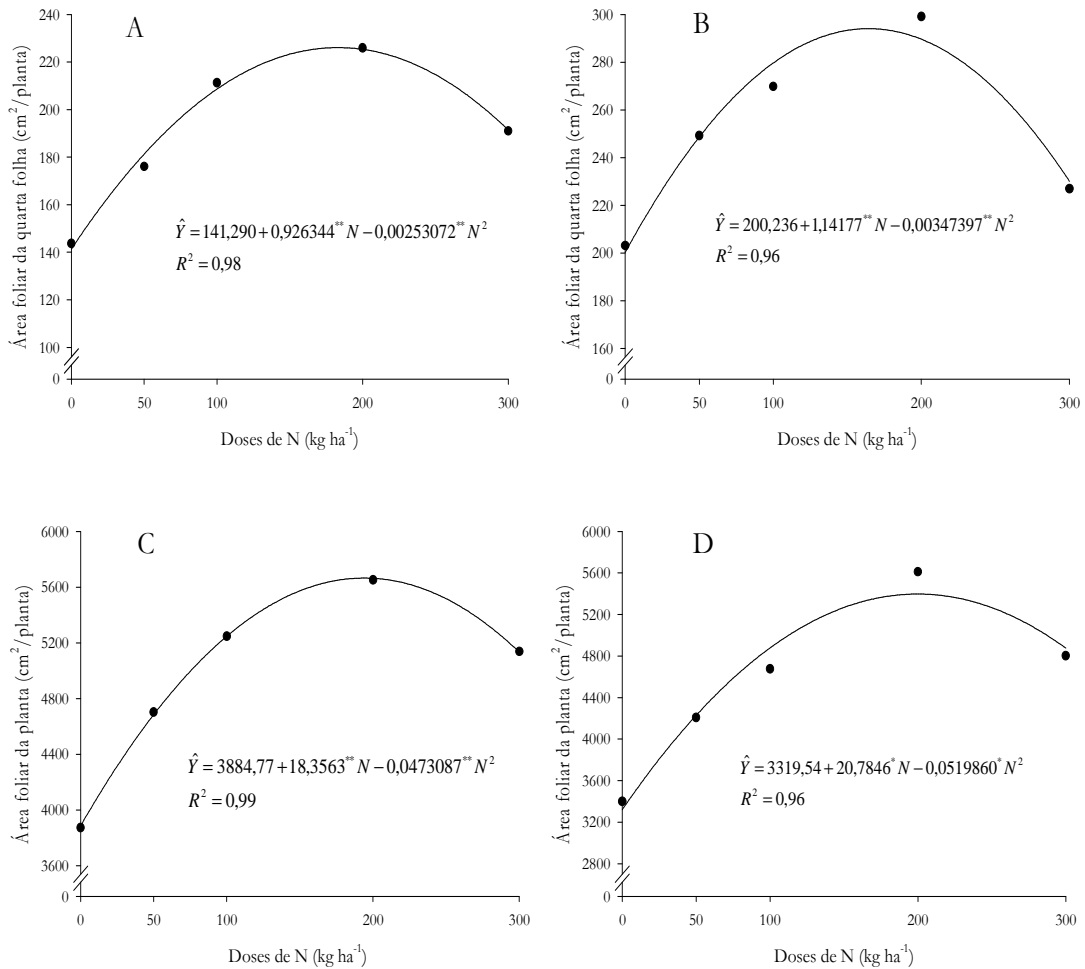
Variável dependente	Abreviatura	Unidade	Efeito de Doses de N (kg ha ⁻¹)	
			Asterix	Atlantic
Índices Fisiológicos				
Área foliar da quarta folha	AFQF	cm ² /planta	Q	Q
Área foliar da planta	AFP	cm ² /planta	Q	Q
°h/(L*C)	-	-	RQ	L
Massa de matéria seca da folha	MSF	g/planta	Q	Q
Massa de matéria seca do caule	MSC	g/planta	Q	Q
Massa de matéria seca da quarta folha	MSQF	g/planta	Q	Q
Massa de matéria seca da parte aérea	MSPA	g/planta	Q	Q
Área foliar específica da planta	AFEP	cm ² g ⁻¹	L	L
Área foliar específica da quarta folha	AFEQF	cm ² g ⁻¹	Q	Q
Razão de área foliar	RAF	cm ² g ⁻¹	L	Q
Índices Nitrogenados				
Leitura SPAD na QF	SPAD	ud SPAD	Q	Q
Teor de clorofila total	TCT	mg g ⁻¹ MF	Q	Q
Eficiência do uso de N na QF	EUNQF	g g ⁻¹	L	L
Teor de N na quarta folha por área	TNQF _A	g cm ⁻²	L	L
Quantidade N acumulada na parte aérea	QNAPA	kg ha ⁻¹	Q	Q
Teor de N na quarta folha	TNQF	dag kg ⁻¹	Q	Q
Conteúdo de N na quarta folha	CNQF	kg ha ⁻¹	Q	Q
Produtividade comercial	PCTU	t ha ⁻¹	Q	Q

L, Q e RQ: linear, quadrático e raiz quadrada, respectivamente.
MF e MS=massa de matéria fresca e seca. QF = quarta folha.

Tabela 5. Equações ajustadas para a relação $^{\circ}h/(L^*C)$, massa de matéria seca (MS) da folha (MSF, g/planta), do caule (MSC, g/planta), da QF (MSQF, g/planta), da parte aérea (MSPA, g/planta), área foliar específica da planta e da QF (AFEP e AFEQF, $cm^2 g^{-1}$), razão de área foliar (RAF, $cm^2 g^{-1}$), índice SPAD, teor de clorofila total (TCT, $mg g^{-1} MF$), eficiência do uso do N na QF (EUNQF, $g g^{-1}$), teor de N na QF por área foliar (TNQF_A, $g cm^{-2}$), quantidade de N acumulada na parte aérea (QNAPA, $kg ha^{-1}$), teor de N na QF (TNQF, $dag kg^{-1}$) e conteúdo de N na QF (CNQF, $kg ha^{-1}$) em função das doses de N, para as cultivares Asterix e Atlantic, respectivamente

Cultivares	Variáveis	Equações ajustadas	R ² /r ²
Índices Fisiológicos			
Asterix	$^{\circ}h/(L^*C)$	$\hat{Y} = 0,0706306 + 0,00509822^{**}\sqrt{N} - 0,0000988141^{*}N$	0,99
Atlantic		$\hat{Y} = 0,0672791 + 0,000170645^{**}N$	0,94
Asterix	MSF	$\hat{Y} = 10,7498 + 0,0355639^{*}N - 0,000106990^{*}N^2$	0,95
Atlantic		$\hat{Y} = 10,6892 + 0,0241371^{*}N - 0,0000586860^{*}N^2$	0,90
Asterix	MSC	$\hat{Y} = 4,67249 + 0,0136197^{*}N - 0,0000462851^{*}N^2$	0,71
Atlantic		$\hat{Y} = 5,19015 + 0,0312258^{*}N - 0,0000946771^{*}N^2$	0,81
Asterix	MSQF	$\hat{Y} = 0,414199 + 0,000985606^{*}N - 0,00000224783^{*}N^2$	0,93
Atlantic		$\hat{Y} = 0,715311 + 0,00290605^{*}N - 0,00000820991^{*}N^2$	0,91
Asterix	MSPA	$\hat{Y} = 15,8365 + 0,0501692^{*}N - 0,000155523^{*}N^2$	0,89
Atlantic		$\hat{Y} = 16,5946 + 0,0582689^{*}N - 0,000161573^{*}N^2$	0,85
Asterix	AFEP	$\hat{Y} = 264,265 + 0,128974^{*}N$	0,82
Atlantic		$\hat{Y} = 226,418 + 0,0848727^{**}N$	0,96
Asterix	AFEQF	$\hat{Y} = 351,685 + 1,12352^{*}N - 0,00345395^{*}N^2$	0,92
Atlantic		$\hat{Y} = 282,01 + 0,345745^{**}N - 0,00127875^{**}N^2$	0,98
Asterix	RAF	$\hat{Y} = 250,520 + 0,191672^{*}N$	0,80
Atlantic		$\hat{Y} = 203,612 + 0,372048^{*}N - 0,000722450^{*}N^2$	0,91
Índices Nitrogenados			
Asterix	SPAD	$\hat{Y} = 35,0535 + 0,0822283^{*}N - 0,000170461^{*}N^2$	0,92
Atlantic		$\hat{Y} = 34,2278 + 0,0860906^{*}N - 0,000177969^{*}N^2$	0,98
Asterix	TCT	$\hat{Y} = 4,57799 + 0,0406059^{**}N - 0,0000978108^{**}N^2$	0,99
Atlantic		$\hat{Y} = 5,19309 + 0,0293891^{*}N - 0,0000772587^{*}N^2$	0,83
Asterix	EUNQF	$\hat{Y} = 1215,39 - 2,16585^{*}N$	0,80
Atlantic		$\hat{Y} = 590,263 - 0,581099^{*}N$	0,77
Asterix	TNQF _A	$\hat{Y} = 0,0879701 + 0,000169017^{*}N$	0,95
Atlantic		$\hat{Y} = 0,134178 + 0,000176609^{**}N$	0,88
Asterix	QNAPA	$\hat{Y} = 138,186 + 0,262212^{*}N - 0,000814103^{*}N^2$	0,90
Atlantic		$\hat{Y} = 147,047 + 0,304211^{*}N - 0,000843295^{*}N^2$	0,86
Asterix	TNQF	$\hat{Y} = 2,92618 + 0,0202432^{**}N - 0,0000426410^{**}N^2$	0,99
Atlantic		$\hat{Y} = 3,76059 + 0,00863365^{*}N - 0,0000122554^{*}N^2$	0,99
Asterix	CNQF	$\hat{Y} = 0,628155 + 0,00724777^{**}N - 0,0000155283^{**}N^2$	0,99
Atlantic		$\hat{Y} = 1,41543 + 0,0106742^{*}N - 0,0000248241^{*}N^2$	0,95

**; * e ° - significativos ao nível de 1%, 5% e 10% de probabilidade, pelo teste “t”, respectivamente.



** e * significativos ao nível de 1 e 5% de probabilidade, pelo teste “t”, respectivamente.

Figura 1. Área foliar da QF (AFQF, cm²/planta) e em função das doses de N, para as cultivares Asterix (A) e Atlantic (B) em função das doses de N, para as cultivares Asterix (C) e Atlantic (D), respectivamente.

3.2 Produtividade comercial

As equações que representam a produtividade comercial de tubérculos (PCTU, t ha⁻¹) em função das doses de N, para o modelo quadrático e raiz quadrada, a dose ótima de N que proporciona à máxima PCTU (DON) e o quadrado médio independente da regressão (QMIR) estão apresentados na Tabela 6.

O efeito da variável independente (doses de N, kg ha⁻¹) sobre a PCTU das cultivares Asterix e Atlantic está apresentado na Figura 2.

Tabela 6. Equações ajustadas para a produtividade comercial (PCTU, t ha⁻¹) em função das doses de N (kg ha⁻¹), representada pelo modelo quadrático (Q) e raiz quadrada (RQ), para as cultivares Asterix e Atlantic

Cultivares	Modelo	Equações ajustadas	R ²	DON ¹	QMIR ²
Asterix	Q	$\hat{Y} = 31,2662 + 0,0814143^{**}N - 0,00022572^{**}N^2$	0,99	180,33	0,083
	RQ	$\hat{Y} = 31,0363 + 0,955005^{*}\sqrt{N} - 0,0376108^{*}N$	0,81	161,18	2,84
Atlantic	Q	$\hat{Y} = 28,7427 + 0,0891919^{*}N - 0,000217295^{*}N^2$	0,97	205,24	0,83
	RQ	$\hat{Y} = 28,7167 + 0,850272^{*}\sqrt{N} - 0,0217332^{*}N$	0,83	-	4,40

**; * e ° - significativos ao nível de 1, 5 e 10% de probabilidade, pelo teste “t”, respectivamente.

¹dose ótima de N que proporciona a máxima produtividade comercial;

²quadrado médio independente da regressão.

A produtividade comercial de tubérculos (PCTU, t ha⁻¹) aumentou significativamente com o incremento das doses de N, seguindo o modelo quadrático e raiz quadrada (Figura 2). Na maioria das culturas, o aumento da dose de N até um valor ótimo (dose de N que proporciona a máxima produtividade), acarreta aumento na produtividade, no entanto, a partir desse ponto, diminui.

Para a cultivar Asterix, as doses de 180,33 e 161,17 kg ha⁻¹ de N correspondem a PCTU de 38,60 e 37,08 t ha⁻¹, para o modelo quadrático e raiz quadrada, respectivamente. Para a cultivar Atlantic e modelo quadrático, a PCTU foi 37,90 t ha⁻¹, obtidas com a dose de 205,24 kg ha⁻¹ de N. Para a cultivar Atlantic, não foi possível estimar a DON para o modelo de raiz quadrada, devido não se enquadrar na amplitude dos tratamentos, ou seja, entre as doses de 0 e 300 kg ha⁻¹ de N.

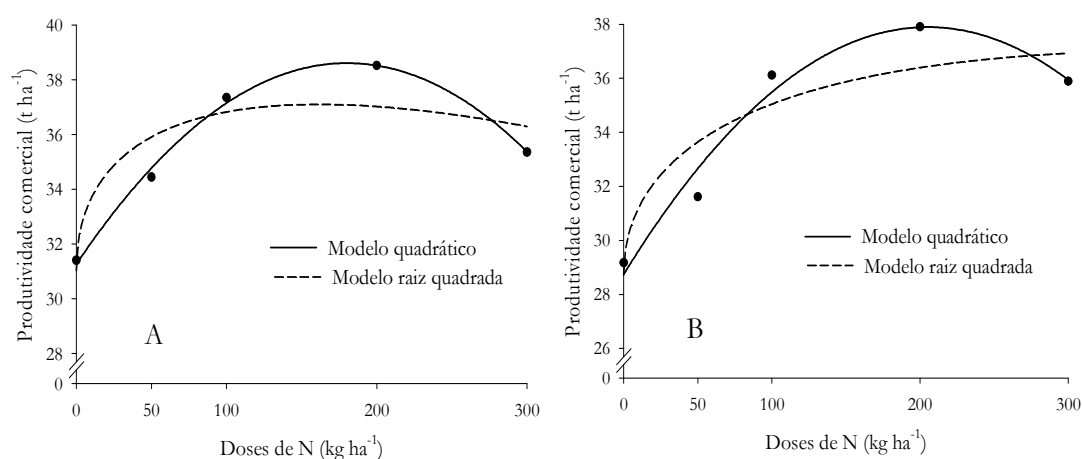


Figura 2. Produtividade comercial de tubérculos (PCTU, t ha⁻¹) de batata em função de doses de N, representada pelo modelo quadrático e raiz quadrada, para as cultivares Asterix (A) e Atlantic (B), respectivamente.

3.3 Eficiência agronômica e do uso do N

A eficiência agronômica do N (EAGN, kg tubérculo kg^{-1} N aplicado) e do uso de N (EUN, kg tubérculo kg^{-1} N aplicado), nas cinco doses de N (kg ha^{-1} de N), nas cultivares Asterix e Atlantic, ao serem utilizados os modelos quadráticos (Q) e raiz quadrada (RQ) estão apresentadas na Tabela 7. Para a EUN, na cultivar Asterix e Atlantic, no modelo quadrático, o maior valor (695 e 653 kg kg^{-1}) foi obtido com a dose de 50 kg ha^{-1} de N e o menor valor (118 e 120 kg kg^{-1}) com a dose de 300 kg ha^{-1} (Tabela 7).

Tabela 7. Eficiência agronômica do N (EAGN, kg tubérculo kg^{-1} N aplicado) e do uso do N (EUN, kg tubérculo kg^{-1} N aplicado) nas cinco doses de N (kg ha^{-1} de N)

Doses de N (kg ha^{-1} de N)	EAGN (kg kg^{-1})				EUN (kg kg^{-1})			
	Asterix		Atlantic		Asterix		Atlantic	
	Q ¹	RQ	Q	RQ	Q	RQ	Q	RQ
0	40,7 ²	37,5	44,6	-	-	-	-	-
50	21,2	7,3	25,5	-	695	718	653	-
100	8,1	1,5	11,7	-	371	368	354	-
200	0,5	0,4	0,03	-	192	185	189	-
300	17,9	4,9	9,5	-	118	120	120	-

¹Q e RQ: modelo quadrático e raiz quadrada; ² obtidos das equações apresentadas na tabela 6.

Está representada na Tabela 8 a comparação das médias entre as cultivares Asterix e Atlantic para os índices fisiológicos e nitrogenados, em cada dose de N. A única variável que não apresentou efeito significativo para as cultivares avaliadas, em nenhuma das doses de N, foi a leitura do índice SPAD realizado na QF.

Tabela 8. Valores médios para a área foliar da QF (AFQF, cm²/planta), da planta (AFP, cm²/planta), relação °h/(L*C), massa de matéria seca (MS) da folha (MSF, g/planta), do caule (MSC, g/planta), da QF (MSQF, g/planta), da parte aérea (MSPA, g/planta), área foliar específica da planta e da QF (AFEP e AFEQF, cm² g⁻¹), razão de área foliar (RAF, cm² g⁻¹), índice SPAD, teor de clorofila total (TCT, m g⁻¹ MF), eficiência do uso do N na QF (EUNQF, g g⁻¹), teor de N na QF por área foliar (TNQF_A, g cm⁻²), quantidade de N acumulada na parte aérea (QNAPA, kg ha⁻¹), teor de N na QF (TNQF, dag kg⁻¹) e conteúdo de N na QF (CNQF, kg ha⁻¹) e produtividade comercial de tubérculos (PCTU, t ha⁻¹), em função das doses de N, para as cultivares Asterix e Atlantic

Cultivares	Variável dependente	Doses de N (kg ha ⁻¹)				
		0	50	100	200	300
Índices Fisiológicos						
Asterix	AFQF	143,67B	176,04B	211,30B	225,92B	191,01B
Atlantic		203,14A	249,04A	269,83A	299,10A	226,98A
Asterix	AFP	4043,00A	4596,14A	5129,82A	5521,11A	5069,26A
Atlantic		3497,40A	4015,61A	4546,37A	5837,09A	4078,62B
Asterix	MSF	10,59A	12,34A	14,02A	13,05B	11,56A
Atlantic		10,70A	11,46A	12,65B	15,72A	12,50A
Asterix	MSC	4,90A	5,00A	5,33B	5,94B	4,45A
Atlantic		5,21A	6,06A	7,03A	8,27A	5,81A
Asterix	MSQF	0,42B	0,46B	0,47B	0,53B	0,50B
Atlantic		0,73A	0,85A	0,88A	1,01A	0,84A
Asterix	MSPA	15,83A	17,85A	19,90A	20,34B	16,64B
Atlantic		16,64A	18,36A	20,57A	22,86A	19,14A
Asterix	°h/(L*C)	0,070A	0,103A	0,111A	0,122A	0,130A
Atlantic		0,064A	0,082B	0,086B	0,094B	0,122A
Asterix	AFEP	283,02A	261,24A	259,93A	282,87A	310,36A
Atlantic		246,34A	219,89A	220,97A	233,57A	252,03B
Asterix	AFEQF	351,174A	391,61A	445,82A	427,19A	381,18A
Atlantic		281,15B	295,991B	306,57B	297,30B	271,54B
Asterix	RAF	255,64A	261,24A	278,60A	282,87A	310,36A
Atlantic		211,26A	219,89A	231,66B	233,57B	252,03B
Índices Nitrogenados						
Asterix	SPAD	33,99A	40,46A	41,54A	43,64A	44,80A
Atlantic		33,71A	38,66A	41,53A	43,50A	44,34A
Asterix	TCT	4,50A	6,52A	7,59A	8,76A	7,97A
Atlantic		5,24A	6,01B	8,06A	7,56B	7,18A
Asterix	EUNQF	1400,43A	988,27A	886,80A	748,16A	616,09A
Atlantic		643,91B	515,73B	517,030B	457,03B	439,90B
Asterix	TNQF _A	0,08B	0,10B	0,10B	0,12A	0,14B
Atlantic		0,13A	0,15A	0,14A	0,17A	0,19A
Asterix	QNAPA	138,05A	148,67A	154,49B	161,59B	142,28B
Atlantic		146,95A	156,35A	166,05A	179,51A	160,47A
Asterix	TNQF	2,84B	3,95A	4,54A	5,18A	5,20A
Atlantic		3,72A	4,26A	4,45A	4,99A	5,25A
Asterix	CNQF	0,63B	0,96B	1,15B	1,49B	1,40B
Atlantic		1,44A	1,92A	2,09A	2,67A	2,35A
Asterix	PCTU	31,40A	34,44A	37,35A	38,52	35,36A
Atlantic		29,18B	31,62B	36,12A	37,91	35,89A

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna, para cada dose de N, as cultivares não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. MF = massa de matéria fresca.

3.4 Níveis críticos das variáveis dependentes influenciadas por doses de N

O valor do nível crítico (NC) estimado para os índices fisiológicos e nitrogenados, determinados aos 21 DAE, associado à dose de N que proporcionou a máxima produtividade comercial de tubérculos (PCTU, t ha⁻¹), para as duas cultivares de batata, está listado na Tabela 9.

Tabela 9. Valor do nível crítico (NC) para a área foliar da QF (AFQF), da planta (AFP), relação °h/(L*C), massa de matéria seca (MS) da folha (MSF), do caule (MSC), da QF (MSQF), da parte aérea (MSPA), área foliar específica da planta e da quarta folha (AFEP e AFEQF), razão de área foliar (RAF), índice SPAD, teor de clorofila total (TCT), eficiência do uso do N na QF (EUNQF), teor de N na QF por área foliar (TNQF_A), quantidade de N acumulada na parte aérea (QNAPA), teor de N na QF (TNQF) e conteúdo de N na QF (CNQF) associado à dose de N que proporcionou a máxima produtividade comercial (DON¹) de tubérculos

Cultivares	Variáveis	Nível crítico	Variáveis	Nível crítico
Asterix	AFQF (cm ² /planta)	226,04	RAF (cm ² g ⁻¹)	285,09
Atlantic		288,24		249,54
Asterix	AFP (cm ² /planta)	5656,55	SPAD	44,34
Atlantic		7366,39		44,40
Asterix	°h/(L*C)	0,06	TCT (mg g ⁻¹ MF)	8,72
Atlantic		0,10		7,97
Asterix	MSF (g/planta)	13,68	EUNQF (g g ⁻¹)	824,80
Atlantic		13,17		471,00
Asterix	MSC (g/planta)	5,62	TNQF _A (g cm ⁻²)	0,12
Atlantic		7,61		0,17
Asterix	MSQF (g/planta)	0,52	QNAPA (kg ha ⁻¹)	159,81
Atlantic		0,97		180,76
Asterix	MSPA (g/planta)	19,83	TNQF (dag kg ⁻¹)	5,19
Atlantic		21,75		5,02
Asterix	AFEP (cm ² g ⁻¹)	287,52	CNQF (kg ha ⁻¹)	1,43
Atlantic		243,84		2,56
Asterix	AFEQF (cm ² g ⁻¹)	441,97		
Atlantic		299,11		

¹DON: 180,34 e 205,24 kg ha⁻¹ de N, para as cultivares Asterix e Atlantic, respectivamente.

MF=massa de matéria fresca.

3.5 Correlações entre os índices fisiológicos e nitrogenados

As estimativas dos coeficientes de correlação linear simples (r) entre os índices fisiológicos e nitrogenados, para as cultivares Asterix e Atlantic, estão listadas nas Tabelas 10 e 11, respectivamente.

Tabela 10. Correlação de Pearson entre a massa de matéria seca da folha (MSF, g/planta), caule (MSC, g/planta), da QF (MSQF, g/planta) e da parte aérea (MSPA, g/planta), área foliar da QF (AFQF, cm²/planta), área foliar da planta (AFP, cm²/planta), área foliar específica da planta (AFEP, cm² g⁻¹), e da QF (AFEQF, cm² g⁻¹), razão de área foliar (RAF, cm² g⁻¹), teor de N na QF por área foliar (TNQF_A, g cm⁻²), quantidade de N acumulada na parte aérea (QNAPA, kg ha⁻¹), teor de N na QF (TNQF, dag kg⁻¹), conteúdo de N na QF (CNQF, kg ha⁻¹), eficiência do uso do N na QF (EUNQF, g g⁻¹), índice SPAD, °h/(L*C) e teor de clorofila total (TCT, mg g⁻¹ MF), para a cultivar Asterix

Variável	MSC	MSQF	MSPA	AFQF	AFP	AFEP	AFEQF	RAF	TNQF _A	QNAPA	TNQF	CNQF	EUNQF	SPAD	°h/(L*C)	TCT
MSF	0,85*	0,77*	0,98**	0,94**	0,87*	-0,02 ^{NS}	0,92*	0,30 ^{NS}	0,37 ^{NS}	0,87**	0,67 ^{NS}	0,71°	-0,58 ^{NS}	0,60 ^{NS}	0,57 ^{NS}	0,80*
MSC	-	0,48 ^{NS}	0,92*	0,63 ^{NS}	0,53 ^{NS}	-0,48 ^{NS}	0,67°	-0,22 ^{NS}	-0,04 ^{NS}	0,92*	0,24 ^{NS}	0,33 ^{NS}	-0,12 ^{NS}	0,14 ^{NS}	0,11 ^{NS}	0,41 ^{NS}
MSQF		-	0,71°	0,89*	0,94**	0,52 ^{NS}	0,60 ^{NS}	0,70 ^{NS}	0,85*	0,71°	0,94**	0,98**	-0,88*	0,89*	0,88*	0,95**
MSPA			-	0,87*	0,79*	-0,16 ^{NS}	0,86*	0,15 ^{NS}	0,29 ^{NS}	1,00**	0,56 ^{NS}	0,62 ^{NS}	-0,46 ^{NS}	0,48 ^{NS}	0,46 ^{NS}	0,71°
AFQF				-	0,98*	0,31 ^{NS}	0,90*	0,60 ^{NS}	0,63 ^{NS}	0,88*	0,87*	0,88*	-0,81*	0,82*	0,80*	0,94**
AFP					-	0,45 ^{NS}	0,82*	0,72°	0,75*	0,79*	0,94**	0,95**	-0,90*	0,91*	0,90*	0,99**
AFEP						-	0,02 ^{NS}	0,90*	0,86*	-0,17 ^{NS}	0,71°	0,65 ^{NS}	-0,76°	0,74°	0,77*	0,56 ^{NS}
AFEQF							-	0,36 ^{NS}	0,28 ^{NS}	0,87*	0,63 ^{NS}	0,61 ^{NS}	-0,57 ^{NS}	0,58 ^{NS}	0,60 ^{NS}	0,74°
RAF								-	0,92*	0,15 ^{NS}	0,88*	0,82*	-0,94**	0,93*	0,94**	0,79*
TNQF _A									-	0,25 ^{NS}	0,92*	0,91*	-0,93**	0,93**	0,94**	0,84*
QNAPA										-	0,55 ^{NS}	0,64 ^{NS}	-0,46 ^{NS}	0,47 ^{NS}	0,45 ^{NS}	0,70 ^{NS}
TNQF											-	0,98**	-0,98**	0,98**	0,98**	0,98**
CNQF												-	-0,95**	0,95**	0,97**	0,98**
EUNQF													-	-0,99**	-0,99**	-0,95**
SPAD														-	0,99**	0,95**
°h/(L*C)															-	0,95**

^{NS}; **, * e ° - não-significativos, significativos ao nível de 1%, 5% e 10% de probabilidade, pelo teste “t”, respectivamente.

Tabela 11. Correlação de Pearson entre a massa de matéria seca da folha (MSF, g/planta), caule (MSC, g/planta), da QF (MSQF, g/planta) e da parte aérea (MSPA, g/planta), área foliar da QF (AFQF, cm²/planta), área foliar da planta (AFP, cm²/planta), área foliar específica da planta (AFEP, cm² g⁻¹), e da QF (AFEQF, cm² g⁻¹), razão de área foliar (RAF, cm² g⁻¹), teor de N na QF por área foliar (TNQF_A, g cm⁻²), quantidade de N acumulada na parte aérea (QNAPA, kg ha⁻¹), teor de N na QF (TNQF, dag kg⁻¹), conteúdo de N na QF (CNQF, kg ha⁻¹), eficiência do uso do N na QF (EUNQF, g g⁻¹), índice SPAD, °h/(L*C) e teor de clorofila total (TCT, mg g⁻¹ MF), para a cultivar Atlantic

Variável	MSC	MSQF	MSPA	AFQF	AFP	AFEP	AFEQF	RAF	TNQF _A	QNAPA	TNQF	CNQF	EUNQF	SPAD	°h/(L*C)	TCT
MSF	0,83*	0,91*	0,95**	0,81*	0,98**	0,72°	0,22 ^{NS}	0,80*	0,73°	0,96**	0,83*	0,97**	-0,81*	0,86*	0,63 ^{NS}	0,80*
MSC	-	0,93**	0,96**	0,95*	0,82**	0,25 ^{NS}	0,64 ^{NS}	0,44 ^{NS}	0,28 ^{NS}	0,97**	0,42 ^{NS}	0,74°	-0,47 ^{NS}	0,54 ^{NS}	0,12 ^{NS}	0,68°
MSQF		-	0,97**	0,96**	0,95**	0,46 ^{NS}	0,53 ^{NS}	0,72°	0,54 ^{NS}	0,97**	0,65 ^{NS}	0,90*	-0,74°	0,75°	0,40 ^{NS}	0,75°
MSPA			-	0,92*	0,94**	0,50 ^{NS}	0,46 ^{NS}	0,64**	0,52 ^{NS}	0,99**	0,64 ^{NS}	0,89*	-0,66°	0,73°	0,38 ^{NS}	0,77*
AFQF				-	0,85*	0,22 ^{NS}	0,73°	0,57**	0,31 ^{NS}	0,92**	0,47 ^{NS}	0,78*	-0,59 ^{NS}	0,62 ^{NS}	0,21°	0,74°
AFP					-	0,69 ^{NS}	0,29 ^{NS}	0,86*	0,74 ^{NS}	0,99**	0,85*	0,98**	-0,87°	0,90*	0,65 ^{NS}	0,83*
AFEP						-	-0,46 ^{NS}	0,82*	0,96**	0,50 ^{NS}	0,93**	0,78*	-0,81*	0,81*	0,92*	0,48 ^{NS}
AFEQF							-	0,008 ^{NS}	-0,38 ^{NS}	0,46 ^{NS}	-0,17 ^{NS}	0,16 ^{NS}	-0,03 ^{NS}	0,07 ^{NS}	-0,36 ^{NS}	0,44 ^{NS}
RAF								-	0,88*	0,65**	0,96**	0,91*	-0,99 ^{NS}	0,97**	0,90*	0,74°
TNQF _A									-	0,52 ^{NS}	0,95**	0,82*	-0,88*	0,83*	0,90*	0,44 ^{NS}
QNAPA										-	0,65 ^{NS}	0,89*	-0,67 ^{NS}	0,73°	0,39 ^{NS}	0,78*
TNQF											-	0,91*	-0,96*	0,96**	0,95**	0,71°
CNQF												-	-0,92*	0,94**	0,74°	0,78*
EUNQF													-	-0,96**	-0,89*	-0,73°
SPAD														-	0,88*	0,85*
h°/(L*C)															-	0,59 ^{NS}

^{NS}, **, * e ° - não-significativos, significativos ao nível de 1%, 5% e 10% de probabilidade, pelo teste “t”, respectivamente.

3.6 Relações da produtividade comercial com as variáveis independentes

As estimativas dos coeficientes de correlação linear simples (r) dos índices fisiológicos e nitrogenados com a PCTU, as equações ajustadas entre a PCTU com os índices fisiológicos e nitrogenados e a produtividade comercial estimada (PCE, t ha⁻¹), para as cultivares Asterix e Atlantic, estão listadas nas Tabelas 12 e 13.

Tabela 12. Correlações lineares de Pearson (r) e as equações ajustadas entre a produtividade comercial (PCTU, t ha⁻¹) com o teor de clorofila total (TCT, mg g⁻¹ de MF), leitura SPAD, relação °h/(L*C), matéria seca (MS) da folha (MSF, g/planta), do caule (MSC, g/planta), da QF (MSQF, g/planta), da parte área (MSPA, g/planta), área foliar específica da planta e QF (cm² g⁻¹), razão de área foliar (RAF, cm² g⁻¹), eficiência do uso do N na QF (EUNQF, g MS g⁻¹ N foliar), teor de N na QF por área (INQF_A, g N cm⁻² de folha), quantidade de N acumulada na parte aérea (QNAPA, kg ha⁻¹), teor de N na QF (INQF, dag kg⁻¹), conteúdo de N na QF (CNQF, kg ha⁻¹), área foliar da QF (AFQF, cm²/planta), da planta (AFP, cm²/planta) e a produtividade comercial estimada (PCE) pelos respectivos níveis críticos (NC), de cada variável avaliada

Cultivares	Correlação	R	Equações ajustadas	r ²	PCE
Asterix	PCTU com TCT	0,94**	$\hat{Y} = 24,2964 + 1,57311**TCT$	0,88	37,7
Atlantic		0,94**	$\hat{Y} = 14,1586 + 2,93405**TCT$	0,88	37,5
Asterix	PCTU com SPAD	0,81*	$\hat{Y} = 13,7447 + 0,530077*SPAD$	0,65	37,2
Atlantic		0,94**	$\hat{Y} = 2,37714 + 0,787351**SPAD$	0,88	37,2
Asterix	PCTU com °h/(L*C)	0,80*	$\hat{Y} = 25,2155 + 95,0989* °h/(L*C)$	0,63	30,8
Atlantic		0,71°	$\hat{Y} = 23,3923 + 120,189° °h/(L*C)$	0,50	35,7
Asterix	PCTU com MSF	0,94**	$\hat{Y} = 7,66341 + 2,25201**MSF$	0,90	38,5
Atlantic		0,95**	$\hat{Y} = -6,99225 + 3,38453**MSF$	0,91	37,6
Asterix	PCTU com MSC	0,65°	$\hat{Y} = 18,8063 + 3,24177°MSC$	0,42	37,0
Atlantic		0,76*	$\hat{Y} = 17,8827 + 2,48231*MSC$	0,58	36,8
Asterix	PCTU com MSQF	0,88*	$\hat{Y} = 9,4716 + 5,42488*MSQF$	0,77	12,3
Atlantic		0,86*	$\hat{Y} = 7,65337 + 30,8357*MSQF$	0,74	37,4
Asterix	PCTU com MSPA	0,88*	$\hat{Y} = 9,43761 + 1,44924*MSPA$	0,79	38,2
Atlantic		0,88*	$\hat{Y} = 4,70848 + 1,50456*MSPA$	0,79	37,4
Asterix	PCTU com AFEP	0,28 ^{NS}	NS	-	-
Atlantic		0,70°	$\hat{Y} = -23,2662 + 0,241779°AFEP$	0,49	35,7
Asterix	PCTU com AFEQF	0,91*	$\hat{Y} = 8,48969 + 0,0674334*AFEQF$	0,84	38,3
Atlantic		0,28 ^{NS}	NS	-	-
Asterix	PCTU com RAF	0,34 ^{NS}	NS	-	-
Atlantic		0,85*	$\hat{Y} = -26,8477 + 0,148725*RAF$	0,73	10,3

NS, **, * e °: não-significativos, significativo ao nível de 1%, 5% e 10% de probabilidade, pelo teste “t”, respectivamente.

Tabela 13. continuação...

Cultivares	Correlação	r	Equações ajustadas	r ²	PCE
Asterix	PCTU com EUNQF	-0,80*	$\hat{Y} = 42,4833 - 0,00756711 * EUNQF$	0,64	36,2
Atlantic		-0,85*	$\hat{Y} = 53,9754 - 0,0385270 * EUNQF$	0,73	35,8
Asterix	PCTU com TNQF _A	0,60°	$\hat{Y} = 26,6293 + 79,9286° TNQF_A$	0,36	35,6
Atlantic		0,68°	$\hat{Y} = 17,1788 + 107,969 * TNQF_A$	0,46	35,4
Asterix	PCTU com QNAPA	0,88*	$\hat{Y} = -5,95021 + 0,277497 * QNAPA$	0,78	38,2
Atlantic		0,89*	$\hat{Y} = -13,2925 + 0,291813 * QNAPA$	0,80	37,5
Asterix	PCTU com TNQF	0,86*	$\hat{Y} = 24,9401 + 2,41260 * TNQF$	0,74	37,5
Atlantic		0,86*	$\hat{Y} = 10,9896 + 5,10736 * TNQF$	0,74	36,6
Asterix	PCTU com CNQF	0,86*	$\hat{Y} = 27,5611 + 6,96549 * CNQF$	0,76	37,5
Atlantic		0,94**	$\hat{Y} = 18,7792 + 7,33235 ** CNQF$	0,89	37,6
Asterix	PCTU com AFQF	0,99**	$\hat{Y} = 19,071 + 0,0862181 ** AFQF$	0,99	38,6
Atlantic		0,78°	$\hat{Y} = 15,2633 + 0,0756295 * AFQF$	0,61	39,1
Asterix	PCTU com AFP	0,98**	$\hat{Y} = 15,7999 + 0,00398493 ** AFP$	0,96	38,3
Atlantic		0,96**	$\hat{Y} = 14,8320 + 0,00425399 * AFP$	0,92	46,2

NS, **; * e °: não-significativos, significativo ao nível de 1%, 5% e 10% de probabilidade, pelo teste “t”, respectivamente.

3.7 Estimativa ou prognóstico da produtividade comercial via regressão linear simples e múltipla

O modelo de regressão linear simples e múltipla descreve a relação entre a PCTU (\hat{Y}) em função de duas ou mais variáveis independentes (X) (índices fisiológicos e nitrogenados). As equações ajustadas da estimativa da produtividade comercial (PCTU), em função dos índices fisiológicos, dos índices nitrogenados e de ambos os índices, para as cultivares Asterix e Atlantic, está listado na Tabela 14. As equações ajustadas em função dos índices foram consideradas como os modelos de prognóstico da PCTU.

Tabela 14. Modelos matemáticos para prognosticar a produtividade comercial de tubérculos (PCTU, t ha⁻¹) de batata utilizando-se índices fisiológicos (IF) ou índices nitrogenados (IN) ou ambos os índices, para as cultivares Asterix e Atlantic

Cultivares	Índice	Equações ajustadas	r ²
Asterix	IF	$\hat{Y} = 14,6202+0,000980114^{**}AFP+0,430553^{**}MSPA+0,043535^{**}AFQF$	0,87
Atlantic		$\hat{Y} = 2,09711+111,483^{**}h/(L*C)+24,1167^{**}MSQF-0,0412241*RAF+0,0374988*AFEQF$	0,78
Asterix	IN	$\hat{y} = 26,5898+10,7123^{**}CNQF-112,295^{**}TNQF_A+0,222372*SPAD$	0,79
Atlantic		$\hat{y} = -1,02319+7,14347^{**}CNQF+0,459008^{**}SPAD-41,0812^{**}TNQF_A+0,0158023^{\circ}EUNQF$	0,76
Asterix	IF e IN	$\hat{y} = 12,3362+0,726899^{**}MSPA+0,00170573^{**}AFP+1,38406*TNQF-0,61634*TCT$	0,84
Atlantic		$\hat{y} = 295,603+55,3319^{**}TNQF+298,118^{**}MSQF+0,1662^{**}EUNQF-78,3204^{**}CNQF-0,606828^{**}QNAPA$	0,83

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

4. Discussão

4.1 Índices fisiológicos e nitrogenados da planta

A produção de massa de matéria seca da parte aérea (MSPA, g/planta) aumentou em função das doses de N até atingir o valor máximo de 19,90 e 21,84 g/planta, para as cultivares Asterix e Atlantic, respectivamente (Tabela 5). Esse aumento foi decorrente do efeito do nitrogênio (N) sobre a produção de massa de matéria seca do caule (MSC, g/planta) e da folha (MSF, g/planta) que proporcionaram a maior contribuição para o aumento da produção de MSPA das plantas de batata. Isso indica que para a mesma produção de matéria seca, as folhas exigiram a quantidade superior de 11,5 e 20% de N em relação ao caule, para as cultivares Asterix e Atlantic, respectivamente. Zebarth *et al.* (2008) relataram que o potencial de acúmulo de massa de matéria seca na batata aumenta com a duração da cor verde do dossel e com a maior disponibilidade de N. No presente experimento, a maior dose de N (300 kg ha⁻¹ de N) apresentou redução em todas as características de crescimento avaliadas. O efeito negativo da maior dose de N pode ter sido resultante da maior concentração de N-NH₄ disponível para absorção pelas plantas de batata (Sampaio *et al.*, 1995), uma vez que a fonte de N utilizada no presente experimento foi o sulfato de amônio.

As doses ótimas de N (DON) acarretaram aumento da área foliar da planta (AFP, cm²/planta) em 31,3 e 38,5%, para ambas cultivares, Asterix e Atlantic, respectivamente, em relação à dose de 0 kg ha⁻¹ de N, mostrando que a expansão da área foliar é muito sensível a aplicação de N em pré-plantio. Dentro de amplo limite, quanto maior a disponibilidade de N, maior será o crescimento da área foliar da batata.

O crescimento e o desenvolvimento máximo de toda a parte aérea da planta são os responsáveis para a maior partição de fotoassimilados para o enchimento dos tubérculos. A AFP é uma característica importante na avaliação da eficiência fotossintética das plantas, relacionada com o acúmulo de matéria seca, metabolismo vegetal, produção final, qualidade e maturação das culturas (Taiz & Zeiger, 2004). Ademais, é necessário que a área foliar da QF (AFQF, cm²/planta) bem como a AFP estejam fotossinteticamente ativas para garantir maior contribuição da partição de fotoassimilados para os tubérculos e conseqüentemente maior PCTU de tubérculos de batata.

A área foliar específica (AFE) da planta (AFEP, $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$) relaciona a área foliar com a sua massa de matéria seca, caracterizando a área foliar da planta por unidade de massa de matéria seca da folha. Como é uma relação entre duas variáveis (área e massa), há duas possibilidades para explicar o aumento de AFEP em função das doses de N. A primeira possibilidade é ter havido maior expansão da área foliar sem correspondente aumento da massa seca da folha (MSF, g/planta). A segunda possibilidade do aumento da AFEP é que tenha havido expansão constante da AFP com decréscimo na MSF. Assim, maior área foliar específica permite maior transmitância da radiação solar através da copa das plantas de batata. A AFE está relacionada com a espessura da folha. Folha mais espessa traduz em menor AFE, ou seja, mais biomassa em mesma área foliar. Em situação de competitividade por luz, alta AFE ou folha mais fina permite maior eficiência na captura da energia solar e competitividade às plantas (Grotkopp & Rejmánek, 2007). Em ambiente com deficiência de N as folhas da batateira tornaram-se mais espessas (menor AFE) do que em ambiente com suficiência de N. Nestas condições de limitação de N, as plantas apresentam este comportamento para sobreviver ao meio.

A razão de área foliar (RAF, $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$) representa a dimensão do aparelho fotossintético das plantas. Esta razão é estabelecida entre a AFP e a MSPA. Esta razão é a área útil para a fotossíntese atuar em sua máxima atividade. A RAF expressa a razão entre a área da folha e sua massa. Esses resultados indicam que os fotoassimilados estão sendo inicialmente utilizados para a formação do aparelho fotossintético das plantas e posteriormente serão translocados para o enchimento dos tubérculos.

À medida que aumentou as doses de N, houve aumento linear no teor de N na QF por área foliar (TNQF_A , g cm^{-2}). Para a efetivação do processo de conversão da energia luminosa em energia química (fase fotoquímica da fotossíntese), requerida pelas folhas, é necessária certa quantidade de N e demais nutrientes incorporados nos componentes estruturais, enzimas e outros componentes metabólicos. A concentração de N nas folhas das plantas é alta, particularmente em folhas mais jovens (QF), refletindo o gasto de N da fotossíntese. A aplicação de doses de N superiores a dose que proporcionou à máxima PCTU de tubérculos pode ter causado desequilíbrio na absorção de outros nutrientes. Isto influencia negativamente as reações metabólicas, resultando plantas de menor crescimento, para todos os índices fisiológicos bem como a produtividade.

Os resultados referentes ao teor de N na QF (TNQF, dag kg⁻¹) estão dentro da faixa proposta por Rodrigues *et al.* (2000). Estes autores relataram que a faixa de 4 a 6,5 dag kg⁻¹ de N na MSQF é adequada para o desenvolvimento das plantas de batata. Gil *et al.* (2002) relataram efeito quadrático do TNQF em função das doses de N, encontrando valor de 6,15 dag kg⁻¹ para a dose de N que propiciou a maior produção de tubérculos comerciais.

A relação °h/(L*C) apresentou forma de raiz quadrada e linear em função das doses de N, para as cultivares Asterix e Atlantic. Esta relação quer dizer que quanto menores forem os valores de °h/(L*C) indica que há menor teor de N nas folhas de batata. Ademais, este índice poderá ser utilizado para o diagnóstico do estado de N nas plantas de batata.

O índice SPAD apresentou resposta quadrática em função das doses de N. A leitura SPAD associada a DON foi 44,34 e 44,4 unidade SPAD, para as cultivares Asterix e Atlantic. Recentemente, foi demonstrado a potencialidade do SPAD-502 para avaliar a resposta de diversas espécies à aplicação do N, como na cultura da soja (Fritschi & Ray, 2007), do trigo (Espindula *et al.*, 2009) e da batata (Silva *et al.*, 2009; Busato *et al.*, 2010; Coelho *et al.*, 2010). Índices SPAD obtidos em folhas de diversas espécies apresentaram correlação positiva com a suficiência de N (Guimarães *et al.*, 1999) podendo ser considerado índice para avaliar com precisão o estado de N das plantas.

O teor de clorofila total (TCT, mg g⁻¹) extraível na massa de matéria fresca da QF seguiu o modelo quadrático. O N é necessário para a construção/formação de moléculas biológicas intrinsecamente ligadas à atividade fotossintética, bem como o estado de carbono da planta (Coruzzi & Bush, 2001; Coruzzi & Zhou, 2001). Quando o N é absorvido no citosol, o N precisa ser assimilado em moléculas orgânicas por meio das enzimas Glutamina Sintetase (GS) e Glutamato Sintetase (GOGAT). A assimilação de N no cloroplasto é um pré-requisito para a biossíntese de clorofila, especificamente para a formação da molécula de glutamato (Ishizaki *et al.*, 2009; Potel *et al.*, 2009). A GS/GOGAT é um ponto chave na assimilação de N em amônia, que é então incorporada à glutamato, fornecendo o precursor para a produção de todos os aminoácidos, ácidos nucleicos e clorofilas (Potel *et al.*, 2009; Kissen *et al.*, 2010).

O N participa diretamente na constituição da molécula de clorofila, a qual tem no glutamato seu precursor inicial. O glutamato é um composto nitrogenado que, além de ser o precursor de outros aminoácidos essenciais, é também o precursor do ácido δ-

aminolevulínico (ALA), que por sua vez é convertido para porfobilinogênio, que é o precursor inicial do anel tetrapirrólico (Eckhardt *et al.*, 2004). Assim, a deficiência de N leva à redução na síntese do glutamato, ALA e na atividade da porfobilinogênio sintase e, como consequência, a uma queda na biossíntese de clorofila, o que leva ao desenvolvimento da clorose nas plantas (Wu *et al.*, 2006).

4.2 Produtividade comercial de tubérculos

No presente trabalho, verificou-se que os resultados da PCTU em função das doses de N, para as cultivares Asterix e Atlantic, o modelo que melhor descreve a produtividade é o modelo quadrático. Isto é, o modelo quadrático apresentou o menor quadrado médio independente da regressão (QMIR) (0,083 e 0,83), para as cultivares Asterix e Atlantic. Bélanger *et al.* (2000a) e Silva *et al.* (2007) relataram que o modelo que melhor descreve a PCTU em função da adubação nitrogenada é o modelo quadrático. Assim, optou-se pelo modelo quadrático.

Com o modelo quadrático, a PCTU aumentou até a dose ótima de 180,33 e 205,24 kg ha⁻¹ de N, proporcionando a máxima PCTU de 38,60 e 37,90 t ha⁻¹, para as cultivares Asterix e Atlantic. Verificou-se que a DON para a cultivar Atlantic foi 25,00 kg de N superior a cultivar Asterix, ou seja, houve diferença de 12% entre as doses de N. Da mesma forma, a PCTU associada a DON apresentou diferença de aproximadamente 2% entre as duas cultivares. Isso é, a cultivar Atlantic foi menos eficiente em relação a cultivar Asterix no uso do N aplicado.

O aumento da produtividade é determinado por um balanço entre o crescimento da parte aérea (responsável pela produtividade fotossintética) e os tubérculos (responsável pelo acúmulo de nutrientes minerais). Assim, a capacidade das plantas em produzir fotoassimilados via fotossíntese e translocá-los para os tubérculos, ou seja, a partição de fotoassimilados é determinada pela força do dreno. A partição de fotoassimilados acompanha a força do dreno, que é dependente de seu tamanho e de sua atividade (Taiz & Zeiger, 2009).

A fertilização com N aumenta o rendimento de tubérculos (Bélanger *et al.*, 2000b; Silva *et al.*, 2009; Coelho *et al.*, 2010; Fontes *et al.*, 2010). No entanto, a remobilização dos fotoassimilados da parte aérea para os tubérculos foi reduzida nas doses excessivas de N. Assim, apesar das doses excessivas não contribuir para o

aumento da PCTU, implicam em aumento no consumo dos fotoassimilados pela respiração, ocasionando redução de produtividade.

Em estudo realizado por Abbasi *et al.* (2009) a produtividade obtida foi 52,3 t ha⁻¹ e 45,5 t ha⁻¹ para as cultivares Agria e Satina, respectivamente. Em ambas cultivares, essa alta produtividade foi obtida com a dose de 160 kg ha⁻¹ de N. Provavelmente, esse fato foi devido à maior alocação de N na parte aérea das plantas de batata do que nos tubérculos.

Os valores da PCTU obtidos no presente experimento foram superiores ao da média do Estado de Minas Gerais, que é de 24,2 t ha⁻¹ (Agrianual, 2011). A dose de N que proporcionou à máxima PCTU de tubérculos está dentro da faixa de variação possível de ser encontrada para a cultura da batata no Brasil, 60 a 250 kg ha⁻¹ de N (Fontes, 2002) e próximas da dose de 190 kg ha⁻¹ de N recomendada para Minas Gerais (Fontes, 1999). Para a cultura da batata, na época seca, com o uso de irrigação, foi necessário aplicar 190 kg ha⁻¹ de N em pré-plantio para alcançar a produtividade máxima da cultivar Monalisa (Silva *et al.*, 2009). Em experimento realizado na época seca, com irrigação, Fontes *et al.* (2010) verificaram aumento na PCTU de tubérculos de batata até 32,3 e 33,3 t ha⁻¹ em função do aumento da dose de N até 212 e 175 kg ha⁻¹, para as cultivares Asterix e Atlantic, respectivamente. Tal procedimento decresce a eficiência de utilização do N. Olivier *et al.* (2006) indicam que a aplicação de toda a dose de N em pré-plantio pode economizar tempo e dinheiro, apesar de impedir a adequação da dose de N durante o ciclo da planta.

4.3 Eficiência agronômica e do uso do N

A eficiência agronômica do N (EAGN, kg kg⁻¹) e a eficiência do uso do N (EUN, kg kg⁻¹) decresceram à medida que aumentou a quantidade de N aplicada em pré-plantio (Tabela 5). Os resultados referentes a eficiência agronômica (EAGN) e do uso do N (EUN) corroboram com os obtidos por Zebarth *et al.* (2004; 2006; 2008), que relataram decréscimo na EUN com aumento das doses de N. Em estudo realizado por Zebarth *et al.* (2004), a variação na EUN pode ser atribuída por variações na absorção de N pelas plantas e processos que influenciam a eficiência com que a planta usa o N absorvido.

A grande maioria dos produtores de batata fornecem doses de N em excesso e não evidenciam que podem causar toxicidade às plantas, redução de produtividade bem

como a redução da EUN. Battilani *et al.* (2008) relataram que os produtores forneciam doses de N acima da ótima devido ter “insegurança da produtividade”. No entanto, é sabido que a eficiência de utilização do N pelas plantas é baixa, variando de 48 a 77% (Smill, 1999; Zebarth *et al.*, 2004). Grande avanço tem sido feito para melhorar a EUN das plantas cultivadas. O manejo adequado do N com o propósito de maximizar a eficiência de seu uso é altamente desejável. Para tanto, Zebarth & Rosen (2007) e Zebarth *et al.* (2009) relataram que boas práticas de manejo do fertilizante nitrogenado são desenvolvidas para otimizar a produtividade e qualidade dos tubérculos, diminuir as perdas do nutriente bem como a poluição ambiental. É, pois, fundamental que se saiba quando e quanto de N deve ser aplicado ao solo para garantir a produtividade esperada realizada pelo prognóstico.

4.4 Níveis críticos das características influenciadas por doses de N

O uso do nível crítico na interpretação de resultados de análise foliar deve ser feito tomando algumas precauções, considerando cultivar, época de amostragem e de aplicação do fertilizante, entre outras (Fontes, 2001). Fontes (2011) definiu nível crítico como sendo a concentração do nutriente na massa de matéria seca do vegetal, ou órgão específico da planta, acima do qual não haverá resposta da planta à aplicação desse nutriente no solo.

A avaliação do estado nitrogenado da cultura da batata tem sido um desafio para os pesquisadores, principalmente em locais onde ocorrem limitações na produtividade pelo desequilíbrio nutricional, principalmente do N. A contribuição da diagnose foliar levou pesquisadores a desenvolverem diversas metodologias de interpretação de resultados de análise foliar, dentre as quais se destaca o NC, definido como sendo a concentração do nutriente no tecido vegetal, acima do qual pequeno ou nenhum aumento na produção é esperado. Por outro lado, a planta estaria deficiente em N, necessitando de aplicação de N em cobertura (Fontes, 2001). No presente experimento, talvez haja possibilidade de manejar a adubação de cobertura com N através da utilização do NC de alguma característica avaliada. No entanto, é preciso que cada NC seja gerado para cada local específico.

4.5 Correlações

A relação entre a leitura do clorofilômetro SPAD e o teor de N na QF de batata foi positiva para as cultivares Asterix e Atlantic, indicando que o teor de clorofila na folha está relacionado com o estado de N da planta. A clorofila é o pigmento envolvido na fotossíntese e, correlações positivas entre a taxa fotossintética e os teores de N da planta têm sido observadas por diversos autores (Keulen & Stol, 1991; Makino *et al.*, 1994). As leituras efetuadas com o medidor portátil SPAD podem ser utilizadas para o prognóstico da produtividade da batateira e substituir, com boa precisão, as determinações tradicionais do teor de clorofila com a vantagem de ser um método considerado rápido, de baixo custo e não necessita da destruição das folhas.

O modelo linear foi utilizado para descrever a relação funcional entre a produtividade de batata e todas as variáveis fisiológicas e nitrogenadas. O valor da produtividade comercial estimada (PCE) variou de 10,3 a 46,2 t ha⁻¹. Diante dos resultados, é possível realizar o prognóstico da PCTU de tubérculos de batata através de um índice fisiológico ou nitrogenado, avaliado preferencialmente em tempo real. A AFQF apresentou correlação positiva com a produtividade ($r=0,99^{**}$) e ($r=0,78^{\circ}$), para as cultivares Asterix e Atlantic. Através da equação que relaciona a PCTU com a AFQF, indica que com o aumento de uma unidade de área foliar da QF (AFQF, cm²/planta) haverá aumento na PCTU de 0,086 e 0,075 t ha⁻¹, para as cultivares Asterix e Atlantic.

A área foliar é amplamente conhecida como um indicativo da produtividade, pois o processo fotossintético depende da interceptação da energia luminosa pelas folhas; assim, a superfície foliar de uma planta é a base do rendimento de uma cultura.

Os valores de índice SPAD apresentaram coeficiente de correlação com a PCTU ($r=0,81^{*}$) e ($r=0,94^{**}$), para Asterix e Atlantic. Nas mesmas condições do presente experimento, Gil *et al.* (2002) também encontraram correlação de 0,62 entre o valor de índice SPAD e a PCTU. Da mesma forma, Coelho *et al.* (2010) também relataram correlação significativa de 0,59^{**} e 0,54^{**}, para as cultivares Ágata e Asterix, respectivamente, entre as leituras SPAD com a PCTU.

O aumento do valor do índice SPAD devido à adubação nitrogenada mostra a relação direta entre o N e a intensidade de cor verde da planta, a maior síntese de clorofila (Taiz & Zeiger, 2009) e o aumento da atividade fotossintética (Broadley *et al.*, 2001; Hassan *et al.*, 2007), possibilitando o aumento da produção. Além disso, o clorofilômetro SPAD tem a capacidade de detectar o aparecimento da deficiência de N

antes que seja visível ao olho humano e cedo o suficiente para corrigir essa deficiência, sem redução na produtividade (Samborski *et al.*, 2009), desde que não haja interrupção indesejada do ciclo e outros fatores não se tornem limitantes.

Altas produtividades da batata estão relacionadas com os fatores como clima, solo e manejo, principalmente da adubação nitrogenada. O manejo da adubação nitrogenada é um dos principais fatores para o sucesso do bataticultor, devido pela sua complexa dinâmica do N nos sistemas agrícolas, no entanto, quando não utilizadas as boas práticas de manejo, acarreta sérios prejuízos para o meio ambiente. É com base nesses estudos que se busca estimar o potencial produtivo da cultura da batata e o seu aproveitamento, o que possibilitará definir as recomendações de adubação nitrogenada.

A produtividade é comumente determinada pela produção de massa de matéria seca da planta, a qual está estreitamente relacionada aos processos de fotossíntese e de respiração durante as fases vegetativa e reprodutiva da cultura.

4.6 Prognóstico da produtividade via regressão linear simples e múltipla

A parte da planta a que se atribui valor econômico, como os tubérculos, no caso da cultura da batata é determinada pela combinação de vários componentes, podendo ser índices fisiológicos e/ou nitrogenados. Todos esses índices podem ser colocados na forma de uma equação para expressar a produtividade.

A proposição dos modelos ajustados é justificável por se tratar de uma importante ferramenta para aperfeiçoar a utilização de fertilizantes, principalmente os nitrogenados, e prognosticar a produtividade da batata via parâmetros biométricos da planta. Tais definições maximizam a produção permitindo maior aproveitamento dos recursos naturais e artificial (adubação nitrogenada). Diante destes modelos, pode-se descrever o prognóstico da produtividade através de parâmetros da planta, sendo determinada na época limite da aplicação do nutriente de interesse em cobertura (caso do N) aos 21 DAE. A produtividade pode ser aumentada com o aumento destes índices. É sabido que o N é o nutriente responsável pelo aumento desses índices.

Recentemente, vem ganhando destaque o uso de técnicas de agricultura de precisão na cultura da batata em busca de obtenção de maior eficiência da adubação nitrogenada. No entanto, também é possível explicar a PCTU da batata a partir de características fisiológicas ou nitrogenadas. No presente experimento, mostra-se nas Tabelas 12 e 13, que a PCTU está fortemente correlacionada com as características

químicas (TNQF, CNQF, TCT e QNAPA), sobretudo o teor de N tem sido mostrado como um indicador de produtividade.

5. Conclusões

√ dose de N influencia positivamente os índices fisiológicos e nitrogenados, determinados aos 21 dias após a emergência, para as ambas cultivares avaliadas, Asterix e Atlantic, exceto a eficiência do uso de N;

√ aos 21 dias após a emergência, o nível crítico do índice SPAD determinado na quarta folha associado à dose de máxima eficiência física é 44,34 e 44,40; e os valores correspondentes para o teor de N na quarta folha são 5,19 e 5,02 dag kg⁻¹, para as cultivares Asterix e Atlantic, respectivamente;

√ o modelo quadrático é o mais apropriado para descrever a relação entre doses de N e a produtividade comercial de tubérculos de cultivares de batata;

√ para obter a máxima eficiência física é necessário aplicar 180,33 e 205,24 kg ha⁻¹ de N que propicia a produtividade de 38,60 e 37,90 t ha⁻¹ de tubérculos da cultivar Asterix e Atlantic, respectivamente;

√ todos os índices fisiológicos e nitrogenados avaliados, nas duas cultivares, exceto a eficiência do uso do N, correlacionam positivamente com a produtividade comercial de tubérculos, com coeficiente de correlação significativo e variando de 0,42 a 0,97;

√ a leitura do índice SPAD estima com precisão o teor de clorofila das plantas das cultivares estudadas;

√ a produtividade comercial de tubérculos de cultivares de batata é prognosticada pelo índice SPAD e;

√ a produtividade comercial de tubérculos é explicada por modelo matemático contendo índices fisiológicos e nitrogenados como variável dependente.

6. Referências bibliográficas

ABBASI, A.; TOOBEH, A.; SHIRI-e-JANAGRAD, M.; JAMAATI-e-SOMARIN, S.H.; HASSANZADEH, M.; HOKMALIPOUR, S. Response of growth yield of potato crop cultivars to nitrogen levels. **Asian Journal of Biological Sciences**, v.2, n.2, p.35-42, 2009.

- AGRIANUAL. **Anuário da Agricultura Brasileira**. 16. ed. FNP Consultoria & Agroinformativos, 2011, 516p.
- ANDRIOLO, J.L.; BISOGNIN, D.A.; PAULA, A.L. de; PAULA, F.L.M. de; GODOI, R. dos S.; BARROS, G.T. Curva crítica de diluição de nitrogênio da cultivar Asterix de batata. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.7, p.1179-1184, 2006.
- ARAÚJO, C.; FONTES, P.C.R.; SILVA, G.H. Relação entre teores de nitrato na folha e seiva do tomateiro. In: 43º CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, **Anais...** v.21, p.369-369, 2003.
- ARRIAGA, F.J.; LOWERY, B.; KELLING, K.A. Surfactant impact on nitrogen utilization and leaching in potatoes. **American Journal Potato Research**, v.86, p.383-390, 2009.
- BATTILANI, A.; PLAUBORG, F.L.; HANSEN, S.; DOLEZAL, F.; MAZURCZYK, W.; BIZIK, J.; COUTINHO, J. Nitrogen uptake and nitrogen use efficiency of fertigated potatoes. **Acta Horticulturae**, v.792, p.61-67, 2008.
- BÉLANGER, G.; WALSH, J. R.; RICHARDS, J. E.; MILBURN, P. H.; ZIADI, N. Critical nitrogen curve and nitrogen nutrition index for potato in Eastern Canada. **American Journal of Potato Research**, v.78, p.355-364, 2001.
- BÉLANGER, G.; WALSH, J.R.; RICHARDS, J.E.; MILBURN, P.H.; ZIADI, N. Yield response of two potato cultivars to supplemental irrigation and N fertilization in New Brunswick. **American Journal of Potato Research**, v.77, p.11-21, 2000b.
- BÉLANGER, G.; WALSH, J.R.; RICHARDS, J.E.; MILBURN, P.H.; ZIADI, N. Comparison of three statistical models describing potato yield response to nitrogen fertilizer. **Agronomy Journal**, v.92, p.902-908, 2000a.
- BRAUN, H.; FONTES, P.C.R.; FINGER, F.L.; BUSATO, C.; CECON, P.R. Carboidratos e matéria seca de tubérculos de cultivares de batata influenciados por doses de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia**, v.34, n.2, p.285-293, 2010.
- BREMER, J.M. **Total nitrogen** In: BLACK, C.A. ed., *Methods of soil analysis*. Madison: American Society of Agronomy, Parte 2, p.1149-1178, 1965.
- BROADLEY, M.R.; ESCOBAR-GUTIÉRREZ, A.J.; BURNS, A.; BURNS, I.G. Nitrogen-limited growth of lettuce is associated with lower stomatal conductance. **New Phytologist**, v.152, p.97-106, 2001.
- BUSATO, C.; FONTES, P.C.R.; BRAUN, H.; CECON, P.R. Seasonal variation and threshold values for chlorophyll meter readings on leaves of potato cultivars. **Journal of Plant Nutrition**, v.33, p.2148-2156, 2010.

- CERNÝ, J.; BALÍK, J.; KULHÁNEK, M.; CÁSOVÁ, K.; NEDVED, V. Mineral and organic fertilization efficiency in long-term stationary experiments. **Plant, Soil and Environment**, v.56, p.28-36, 2010.
- COELHO, E.L.; FONTES, P.C.R. Índices agronômicos do meloeiro associados à dose adequada de nitrogênio, em ambiente protegido e no campo. **Ciência e Agrotecnologia**, v.29, n.5, p.974-979, 2005.
- COELHO, F.S.; FONTES, P.C.R.; PUIATTI, M.; NEVES, J.C.L.; SILVA, M.C. de 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.
- CORUZZI, G.; BUSH, D.R. Nitrogen and carbon nutrient and metabolite signaling in plants. **Plant Physiology**, v.125, n.1, p.61-64, 2001.
- CORUZZI, G.M.; ZHOU, L. Carbon and nitrogen sensing and signaling in plants: Emerging 'matrix effects'. **Current Opinion in Plant Biology**, v.4, n.3, p.247-253, 2001.
- ECKHARDT, U.; GRIMM, B.; HORTENSTEINER, S. Recent advances in chlorophyll biosynthesis and breakdown in higher plant. **Plant Molecular Biology**, v.56, p.1-14, 2004.
- EMBRAPA: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999, 412p.
- ESPINDULA, M.C.; ROCHA, V.S.; FONTES, P.C.R.; CORREA, R.S.C. Effect of nitrogen and trinexapac-ethyl rates on the SPAD index of wheat leaves. **Journal of Plant Nutrition**, v.32, p.1956-1964, 2009.
- FONTES, P.C.R. Batata. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V.V.H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação**. Viçosa: UFV, 1999, 359p.
- FONTES, P.C.R. **Diagnóstico do estado nutricional das plantas**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2001. 122 p.
- FONTES, P.C.R. **Nutrição mineral de plantas: avaliação e diagnose**. Viçosa: Arka Editora, 2011, 296p.
- FONTES, P.C.R. **Preparo do solo, nutrição mineral e adubação da batateira**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1ª reimpressão, 2002. 42p.

- FONTES, P.C.R.; ARAÚJO, C. **Adubação nitrogenada de hortaliças: princípios e práticas com o tomateiro**. Viçosa: UFV, 2007. 148p.
- FONTES, P.C.R.; ARAÚJO, C. Use of a chlorophyll meter and plant visual aspect for nitrogen management in tomato fertigation. **Journal of Applied Horticulture**, v.8, n.1, p.8-11, 2006.
- FONTES, P.C.R.; 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.; DIAS, E.N.; GRAÇA, R.N. Acúmulo de nutrientes e método para estimar doses de nitrogênio e de potássio na fertirrigação do pimentão. **Horticultura Brasileira**, v.23, n.2, p.275-280, 2005.
- FONTES, P.C.R.; RONCHI, C.P. Critical values of nitrogen indices in tomato plants grown in soil and nutrient solution determined by different statistical procedures. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.10, p.1421-1429, 2002.
- FRITSCHI, F.B.; RAY, J.D. Soybean leaf nitrogen, chlorophyll content, and chlorophyll a/b ratio. **Photosynthetica**, v.45, p.92-98, 2007.
- GIL, P.T.; FONTES, P.C.R.; CECON, P.R.; FERREIRA, F.A. Índice SPAD para diagnóstico do estado nutricional de nitrogênio e para o prognóstico da produtividade da batata. **Horticultura Brasileira**, v.20, n.4, p.611-615, 2002.
- 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.
- GROTKOPP, E.; REJMÁNEK, M. High seedling relative growth rate and specific leaf area are traits of invasive species: phylogenetically independent contrasts of woody angiosperms. **American Journal of Botany**, v.94, p.526-532, 2007.
- 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 cultivado em dois tipos de solos. **Bragantia**, v.58, n.1, p.209-216, 1999.
- HASSAN, M.S.; KHAIR, A.; HAQUE, M.M.; HAMID, A. Photosynthetic characters, SPAD value and nitrogen use efficiency of traditional *Aus* rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. **SAARC Journal of Agriculture**, v.5, n.2, p.31-41, 2007.

- ISHIZAKI, T.; OHSUMI, C.; TOTSUKA, K.; IGARASHI, D. Analysis of glutamate homeostasis by over expression of Fd-GOGAT gene in *Arabidopsis thaliana*. **Amino Acids**, v.38, n.3, p.943-950, 2009.
- KEULEN, H.V.; STOL, W. Quantitative aspects of nitrogen nutrition in crops. **Fertilizer Research**, v.27, p.151-160, 1991.
- KISSEN, R.; WINGE, P.; TRAN, D.H.T.; JORSTAD, T.S.; STORSETH, T.R.; CHRISTENSEN, T.; BONES, A.M. Transcriptional profiling of an Fd-GOGAT1/GLU1 mutant in *Arabidopsis thaliana* reveals a multiple stress response and extensive reprogramming of the transcriptome. **BMC Genomics**, v.11, v.190, 2010.
- 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.
- KUMAR, P.; PANDEY, S.K.; SINGH, B.P.; SINGH, S.V.; KUMAR, D. Effect of nitrogen rate on growth, yield, economics and crisp quality of Indian potato processing cultivars. **American Journal Potato Research**, v.50, p.143-155, 2007.
- KOPPEN, W. **Climatologia**. Tradução: Pedro R. H. Perez. Buenos Aires, Gráfica Panamericana, 1948, 478p.
- LICHTHENTHALER, H.K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In: COLOWICK, S.P.; KAPLAN, N.O., eds. Methods in enzymology. San Diego, **Academic Press**, v.148, p.350-382, 1987.
- LONG, C.M.; SNAPP, S.S.; DOUCHES, D.S.; CHASE, R.W. Tuber yield, storability, and quality of Michigan cultivars in response to nitrogen management and seedpiece spacing. **American Journal Potato Research**, v.81, p.347-357, 2004.
- LOVE, S.L.; STARK, J.C.; SALAIZ, T. Response of four potato cultivars to rate and timing of nitrogen fertilizer. **American Journal of Potato Research**, v.82, p.21-30, 2005.
- MAJIC, A.; POLJAK, M.; SABLJO, A.; SEFO, E.; KNEZOVIC, Z. Nitrate-nitrogen rates in petiole sap potato crop (*Solanum tuberosum*). **Acta Horticulturae**, v.86, p.333-338, 2009.
- MAKINO, A.; NAKANO, H.; MAE, T. Responses of ribulose-1.5- biphosphate carboxylase, cytochrome f, and sucrose synthesis enzymes in rice leaves to leaf

- nitrogen and their relationships to photosynthesis. **Plant Physiology**, v.105, p.173-179, 1994.
- McGUIRE, R.G. Reporting of objective color measurements. **HortScience**, v.27, p.1254-1255, 1992.
- MOREIRA, M.A.; FONTES, P.C.R.; CECON, P.R.; ARAÚJO, R.F. Índices para avaliar o estado de nitrogênio da batata multiplicada por distintos materiais propagativos. **Revista Ceres**, v.58, n.3, p. 384-392, 2011.
- OJALA, J.C.; STARK, J.C.; KLEINKOPF, G.E. Influence of irrigation and nitrogen management on potato yield and quality. **American Potato Journal**, v.67, p.29-43, 1990.
- 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, p.496-506, 2006.
- PING, J.L.; FERGUSON, R.B.; DOBERMANN, A. Site-specific nitrogen and plant density management in irrigated maize. **Agronomy Journal**, v.100, n.4, p.1193-1204. 2008.
- POTEL, F.; VALADIER, M.H.; FERRARIO-MÉRY, S.; GRANDJEAN, O.; MORIN, H.; GAUFICHON, L.; BOUTET-MERCEY, S.; LOTHIER, J.; ROTHSTEIN, S.J.; HIROSE, N.; SUZUKI, A. Assimilation of excess ammonium into amino acids and nitrogen translocation in *Arabidopsis thaliana* roles of glutamate synthases and carbamoylphosphate synthetase in leaves. **FEBS Journal**, v.276, n.15 p.4061-4076, 2009.
- ROBERTS, D.F.; KITCHEN, N.R.; SCHARF, P.C.; SUDDUTH, K.A. Will variable-rate nitrogen fertilization using corn canopy reflectance sensing deliver environmental benefits?. **Agronomy Journal**, v.102, p.85-95. 2010.
- RODRIGUES, M.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.
- RONCHI, C.P.; FONTES, P.C.R.; PEREIRA, P.R.G.; NUNES, J.C.; MARTINEZ, H.E.P. Índices de nitrogênio e de crescimento do tomateiro em solo e em solução nutritiva. **Revista Ceres**, v.48, n.278, p.469-484, 2001.
- SAEG - **Sistema para Análises Estatísticas**, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes - UFV – Viçosa/MG, 2007.

- SAMBORSKI, S.M.; TREMBLAY, N.; FALLON, E. Strategies to make use of plant sensors-based diagnostic information for nitrogen recommendations. **Agronomy Journal**, v.101, p.800-816, 2009.
- SAMPAIO JÚNIOR, J.D.; FONTES, P.C.R.; MOREIRA, M.A.; GUIMARÃES, M. de A. produção de mini-tubérculo semente de batata, em função de doses de nitrogênio aplicadas ao substrato. **Bioscience Journal**, v.24, n.1, p.1-9, 2008.
- SAMPAIO, R.A.; FREITAS, J.A.; YUPANQUI, F.F.R.; FONTES, P.C.R.; MARTINEZ, H. E.P.; PEREIRA, P.R.G. Níveis Críticos de N-NO₃ e N-orgânico em pecíolos de tomateiro de crescimento determinado. **Revista Ceres**, v.42, n.242, p.444-452, 1995.
- SILVA, M.C.C.; FONTES, P.C.R.; MIRANDA, G.V. Modelos estatísticos para descrever a produtividade de batata em função da adubação nitrogenada. **Horticultura Brasileira**, v.25, p.360-364, 2007.
- SILVA, M.C.C.; FONTES, P.C.R.; MIRANDA, G.V. Índice SPAD e produção de batata, em duas épocas de plantio, em função de doses de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, v.27, p.17-22, 2009.
- SMIL, V. Nitrogen in crop production: an account global flows. **Global Biochemical Cycle**, v.13, p.647-662, 1999.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**, 3ed., Porto Alegre: Artmed., 2004. 719p.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**, 4ed., Porto Alegre: Artmed., 2009. 848p.
- VOS, J. Nitrogen responses and nitrogen management in potato. **Potato Research**, v.52, n.4, p.305-317, 2009.
- WU, C.; WANG, Z.; SUN, H.; GUO, S. Effects of different concentrations of nitrogen and phosphorus on chlorophyll biosynthesis, chlorophyll a fluorescence, and photosynthesis in *Larix olgensis* seedlings. **Frontiers of Forestry in China**, v.1, n.2, p.170-175, 2006.
- WU, J.; WANG, D.; ROSEN, C.J.; BAUER, M.E. Comparison of petiole nitrate concentrations, SPAD chlorophyll readings, and QuickBird satellite imagery in detecting nitrogen status of potato canopies. **Field Crops Research**, v.101, p.96-103, 2007.
- ZEBARTH, B.J.; ARSENAULT, W.J.; SANDERSON, J.B. Effect of seedpiece spacing and nitrogen fertilization on tuber yield, yield components and nitrogen use efficiency parameters of two potato cultivars. **American Journal of Potato Research**, v.83, p.289-296, 2006.

- ZEBARTH, B.J.; TAI, G.; TARN, R. de; MILBURN, P.H. Nitrogen use efficiency characteristics of commercial potato cultivars. **Canadian Journal Plant Science**, v.84, p.589-598, 2004.
- ZEBARTH, B.J.; DRURY, C.F.; TREMBLAY, N.; CAMBOURIS, A.N. Opportunities for improved fertilizer nitrogen management in production of arable crops in eastern Canada: A review. **Canadian Journal of Soil Science**, v.89, n.2, p.113-132, 2009.
- ZEBARTH, B.J.; ROSEN, C.J. Research perspective on nitrogen BMP development for potato. **American Journal Potato Research**, v.84, n.3, p.3-18, 2007.
- ZEBARTH, B.J.; TARN, T.R.; JONG, H.; MURPHY, A. Nitrogen use efficiency characteristics of andígena and diploid potato selections. **American Journal of Potato Research**, v.85, p. 210-218, 2008.
- ZEBARTH, B.J.; TAI, H.; LUO, S.; MILLARD, P.; KOEYER, D.D.; LI, X.-Q. XIONG, X. Differential gene expression as an indicator of nitrogen sufficiency in field-grown potato plants. **Plant and Soil**, v.345, p.387-400, 2011.

1. Resumo da análise conjunta dos experimentos

Tabela 1. Resumo da análise conjunta da massa de matéria seca da folha (MSF, g/planta), do caule (MSC, g/planta), da QF (MSQF, g/planta), da parte aérea (MSPA, g/planta), área foliar da QF (AFQF, cm²/planta), área foliar da planta (AFP, cm²/planta), área foliar específica da planta (AFEP, cm² g⁻¹), e da QF (AFEQF, cm² g⁻¹), razão de área foliar (RAF, cm² g⁻¹) e produtividade comercial de tubérculos (t ha⁻¹), em função das doses de N, para as cultivares Asterix e Atlantic

FV	GL	Quadrados Médios									
		MSF	MSC	MSQF	MSPA	AFQF	AFP	AFEP	AFEQF	RAF	PCTU
Bloco/Cultivar	6	0,6100093	0,4045	0,004171	1,2513	149,4270	483314,5	1979,372	1630,4	629,6932	4,6873
Doses	4	8,7477**	5,33**	0,04043**	28,3447**	9151,125**	4393256,0**	1422,653 ^{NS}	4866,477*	4207,481*	79,0649**
Cultivar	1	0,2870 ^{NS}	20,3712**	1,4504**	26,8533**	36084,35**	1465737,0*	18992,16**	118379,9**	19402,74**	16,1821**
Doses x Cultivar	4	0,7974 ^{NS}	0,7903 ^{NS}	0,008188 ^o	1,3082 ^{NS}	463,9522 ^{NS}	87923,65 ^{NS}	193,3778 ^{NS}	1509,834 ^{NS}	180,6391 ^{NS}	3,5009 ^{NS}
Resíduo	24	0,5570	0,9902	0,003305	1,7138	225,3037	192830,5	1218,307	1536,449	997,4130	1,8357
CV (%)		6,09	17,04	8,59	6,98	6,83	9,28	13,46	11,36	12,46	3,90

^{NS}, **, * e ^o: não-significativos, significativos ao nível de 1, 5 e 10% de probabilidade, pelo teste F, respectivamente.

Tabela 2. Resumo da análise conjunta do teor de N na QF por área (TNQF_A, g N cm⁻² de folha), quantidade de N acumulada na parte aérea (QNAPA, kg ha⁻¹), teor de N na QF (TNQF, dag kg⁻¹), conteúdo de N na QF (CNQF, kg ha⁻¹), eficiência do uso do N na QF (EUNQF, g MS g⁻¹ N foliar), leitura SPAD na QF, °h/(L*C) e teor de clorofila total (TCT, mg g⁻¹ MF), em função das doses de N, para as cultivares Asterix e Atlantic

FV	GL	Quadrados Médios							
		TNQF _A	QNAPA	TNQF	CNQF	EUNQF	SPADQF	°h/(L*C)	TCT
Bloco/Cultivar	6	0,0004741	34,7542	0,1715	0,06162	14079,60	2,6764	0,00004570	1,2833
Doses	4	0,003744**	766,5186**	4,9785**	1,2973**	275584,2**	144,1385**	0,003750**	14,8063**
Cultivar	1	0,02227**	1819,466**	0,3654*	9,3660**	1756517**	2,8890 ^{NS}	0,003171**	0,6622 ^{NS}
Doses x Cultivar	4	0,00005169 ^{NS}	35,64023 ^{NS}	0,3593*	0,03667 ^{NS}	90552,43**	1,0520 ^{NS}	0,0001805*	1,3825 ^{NS}
Resíduo	24	0,0003138	47,4076	0,08584	0,03703	17926,89	2,0581	0,00006424	0,7118
CV (%)		13,26	4,41	6,60	11,94	18,48	3,53	8,14	12,15

^{NS}, **, * e ^o: não-significativos, significativos ao nível de 1 e 5% de probabilidade, pelo teste F, respectivamente.

CAPÍTULO II

Caracterização morfofisiológica e produtividade de nitrogênio na folha de cultivares de batata submetidas a diferentes disponibilidades de nitrogênio

1. Introdução

Vários fatores modelam a produtividade da cultura da batata. Dentre esses fatores estão incluídos a temperatura (Timlin *et al.*, 2006), a intensidade luminosa (Poorter, 1999; Poorter & Nagel, 2000; Osonne & Tatenno, 2005), a concentração de CO₂ (Poorter & Nagel, 2000; Ishizaki *et al.*, 2003; Osonne & Tatenno, 2005), disponibilidade de água (Poorter & Nagel, 2000), nutrientes, principalmente o nitrogênio (N) (Errebhi *et al.*, 1998ab; Meyer & Marcum, 1998; Silva *et al.*, 2009; Coelho *et al.*, 2010; Fontes *et al.*, 2010; Yoshida *et al.*, 2011). Também é sabido que a interação genótipo x ambiente influencia o crescimento e desenvolvimento vegetal e a produção das culturas (Ramburan *et al.*, 2011).

Através do estudo das interações dos parâmetros de crescimento com cada fator ambiental, ou em determinado estágio de desenvolvimento da planta, podem ser conhecidas as eficiências do crescimento e a habilidade de adaptação às condições ambientais em que estas plantas crescem (Hunt *et al.*, 2002; Ishizaki *et al.*, 2003; Osonne & Tatenno, 2005). Portanto, independente das dificuldades inerentes ao conhecimento sobre a complexidade que envolve o crescimento das plantas, a análise de crescimento das plantas é uma ferramenta de precisão para avaliar o desenvolvimento e a contribuição de diferentes processos fisiológicos sobre o seu desempenho, nas diferentes condições em que as plantas estão submetidas.

Os parâmetros envolvidos na análise de crescimento, tais como a taxa de crescimento relativo, taxa assimilatória líquida e outros índices de grande importância (índice SPAD, teor de N na quarta folha, Dualex[®] e índices biométricos, por exemplo) em estudos de nutrição mineral e crescimento vegetal, indicam a capacidade do sistema assimilatório das plantas em sintetizar (fonte) e alocar a matéria orgânica nos diversos órgãos (drenos) que dependem da fotossíntese, respiração e translocação de fotoassimilados dos sítios de fixação de carbono aos locais de utilização ou de

armazenamento, onde ocorrem o crescimento e a diferenciação dos órgãos (Fontes *et al.*, 2005).

As plantas podem alterar o padrão de alocação de biomassa para os diferentes órgãos em resposta a diferentes disponibilidades de recursos acima (luz e CO₂) e abaixo (água e nutrientes) do solo, de forma a maximizar os investimentos (Poorter & Nagel, 2000). Ademais, as plantas apresentam variação na taxa de crescimento relativo, mesmo quando cultivadas em condições ótimas ou próximas das ótimas. No entanto, tentativas têm sido feitas para determinar os aspectos ou características fisiológicas e morfológicas que influenciam essas diferenças inerentes à taxa de crescimento relativo. Osone *et al.* (2008) relataram que a taxa de crescimento relativo está ligada ou constituída por três componentes do crescimento: dois morfológicos (área foliar específica e razão de massa foliar) e um fisiológico (taxa assimilatória líquida). A área foliar específica expressa a quantidade de área foliar por unidade de massa foliar. A razão de massa foliar é a proporção de massa de matéria seca total alocada às folhas, ou seja, expressa a razão entre a área da folha e sua massa. A taxa assimilatória líquida expressa os resultados de massa de matéria seca por unidade de área foliar e por unidade de tempo, ou seja, expressa o resultado do balanço líquido de carbono entre os ganhos obtidos pelo processo fotossintético (fase fotoquímica e bioquímica) e as perdas pela respiração de outras partes da planta. Osone *et al.* (2008) relataram que a taxa assimilatória líquida pode ser dividida em dois componentes, que são eles: produtividade de N na folha e teor de N na folha com base em área. A produtividade de N na folha é o incremento na massa de matéria seca por unidade de N na planta por unidade de tempo (Garnier *et al.*, 1995). Dessa forma, a taxa de crescimento relativo pode ser expressa pela relação entre a área foliar específica, razão de massa foliar, produtividade de N na folha e teor de N na folha com base em área (Osone *et al.*, 2008).

Plantas que apresentam maiores taxa de crescimento relativo sob condições limitantes de nutrientes pode ser devido pela interferência tanto pelos componentes morfológicos quanto pelos fisiológicos (Balemi & Schenk, 2009). Ademais, o crescimento e desenvolvimento bem como a produção de tubérculos de cultivares de batata são reduzidos quando um desses fatores (fonte, dreno, componentes do crescimento) for limitante, no entanto, é influenciada por condições ambientais e nutricionais, dentre elas o N.

São raros trabalhos encontrados na literatura relatando a caracterização do crescimento de cultivares de batata submetida a diferentes estados de N ao longo do ciclo de cultivo da cultura. Diante disso, objetivou-se quantificar os valores de características morfológicas e fisiológicas associadas ao crescimento bem como a produtividade de N nas folhas das cultivares de batata Ágata e Asterix submetidas às condições limitantes, adequada e excessiva de nitrogênio (N) ao longo do ciclo de cultivo.

2. Material e Métodos

2.1 Localização e caracterização da área do experimento

Os experimentos foram conduzidos na Horta Nova de Pesquisa do Departamento de Fitotecnia (DFT) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), entre os meses de março a junho de 2010 (outono/inverno). O município de Viçosa-MG está situado a 693 m de altitude, com latitude de 20°45' sul e longitude de 42°51' oeste e classificação climática de Koeppen (1948) do tipo Cwa, caracterizado pelo clima tropical de altitude, com chuvas no verão e seca no inverno. Durante os experimentos, os valores médios mensais de temperaturas máxima e mínima do ar foram 26,3 e 14,5 °C e a umidade relativa e precipitação pluvial acumulada foram 82,6% e 165,7 mm, respectivamente. Os dados climáticos foram coletados diariamente na estação meteorológica da Horta Velha de Pesquisa do Departamento de Fitotecnia da UFV, localizada a três quilômetros da área onde foram conduzidos os experimentos.

O solo da área experimental utilizado para a condução dos experimentos foi classificado como Podzólico Vermelho-Amarelo Câmbico (Embrapa, 1999), e suas características químicas, físicas e mineralógicas foram determinadas pela análise de amostras da camada de 0-20 cm de profundidade, realizadas antes da instalação dos experimentos. Em seguida, as amostras foram secadas à sombra e posteriormente encaminhadas ao laboratório. Os resultados das características do solo amostrada antes da instalação dos experimentos estão listados na Tabela 1.

2.2 Delineamento experimental e tratamentos

Foram instalados, simultaneamente, dois experimentos no campo. Cada um correspondendo a uma cultivar de batata: Ágata e Asterix. Os experimentos foram instalados em esquema de parcela subdividida, com quatro repetições, no delineamento em blocos casualizados. As parcelas foram constituídas por três doses de N aplicadas em pré-plantio (0; 300 e 600 kg ha⁻¹ de N) caracterizadas como condições de limitante, adequada e excessiva, respectivamente. A dose de 300 kg ha⁻¹ de N foi considerada adequada, pois em experimentos anteriores a mesma não foi limitante ao desenvolvimento da cultura. As subparcelas foram constituídas por cinco épocas de coleta no tempo das variáveis de crescimento, a intervalos de 14 dias, aos 14, 28, 42, 56 e 70 dias após a emergência (DAE) das plantas. A fonte de N utilizada nos experimentos foi a ureia (44% de N). Aos 22 DAE efetuou-se a amontoa.

Tabela 1. Características químicas e físicas da camada do solo de 0-20 cm de profundidade, antes da instalação dos experimentos

Características químicas	Valores
pH em água – 1:2,5	5,9
Matéria orgânica (MO) (dag kg ⁻¹) ¹	3,2
Fósforo (P) (mg dm ⁻³) ²	63,7
Potássio (K) (mg dm ⁻³) ²	79
Cálcio (Ca ²⁺) (cmol _c dm ⁻³) ³	3,5
Magnésio (Mg ²⁺) (cmol _c dm ⁻³) ³	0,60
Acidez trocável (Al ³⁺) (cmol _c dm ⁻³) ³	0,00
Acidez potencial (H ⁺ + Al ³⁺) (cmol _c dm ⁻³) ⁴	2,64
Soma de bases (SB) (cmol _c dm ⁻³)	4,30
Capacidade de troca de cátions: CTC efetiva (t) (cmol _c dm ⁻³)	4,30
Capacidade de troca de cátions: CTC a pH 7,0 (I) (cmol _c dm ⁻³)	6,94
Saturação por bases (V) (%)	62
P-remanescente (mg dm ⁻³)	39,6
Zinco (Zn) (mg dm ⁻³)	16,5
Ferro (Fe) (mg dm ⁻³)	28,5
Manganês (Mn) (mg dm ⁻³)	126,4
Cobre (Cu) (mg dm ⁻³)	1,8
Boro (B) (mg dm ⁻³)	0,6
Areia (%)	25
Argila (%) ⁶	28
Silte (%)	47
Classificação textural	Argilosa

¹ MO = C.Org x 1,724 – Walkley-Black; ² Extrator Mehlich 1; ³ Extrator KCl 1 mol.L⁻¹; ⁴Extrator Acetato de cálcio 0,5 mol.L⁻¹ pH 7,0.

Cada parcela foi constituída de quatro fileiras, com 16 plantas cada, espaçadas de 0,75 m entre fileiras e 0,25 m entre plantas, com dimensão de 4,0 m x 3,0 m, totalizando 24 plantas úteis por parcela e ocupando uma área de 12 m². As duas fileiras

laterais e as duas plantas das extremidades de cada fileira central foram consideradas como bordadura.

2.3 Instalação e condução dos experimentos no campo

Anteriormente à instalação dos experimentos, a área experimental foi submetida a dois plantios sucessivos de milho, sem utilização de adubo nitrogenado, com o objetivo de reduzir o N disponível no solo. As plantas de milho foram cortadas mecanicamente e retiradas da área. Após a retirada do milho, foi efetuada a amostragem do solo para determinar a necessidade de calagem e caracterização química e física da área experimental. Em seguida, foi realizada a aração profunda do solo, com arado de aiveca, e duas passagens de grade niveladora, com posterior sulcamento.

Após o preparo do solo, realizou-se a adubação de pré-plantio com macro e micronutrientes. As quantidades de fertilizantes aplicadas, no sulco de plantio, foram 1800 kg ha⁻¹ de superfosfato simples (18% de P₂O₅), 500 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio (60% de K₂O), 200 kg ha⁻¹ de sulfato de magnésio (10% de Mg), 10 kg ha⁻¹ de bórax (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) e 0,25 kg ha⁻¹ de molibdato de sódio (39% de Mo). A ureia e os demais fertilizantes foram aplicados no sulco de plantio e misturados ao solo. Além disso, foi realizada a aplicação do inseticida Carbofuran.

O plantio dos tubérculos foi realizado no dia 15 de março de 2010. Foram utilizadas batatas-semente certificadas, em torno de 70 g, previamente brotadas, com broto de aproximadamente 3 cm.

Durante o período experimental, foram realizadas pulverizações para o controle de pragas e doenças, de acordo com a necessidade, sendo utilizados os defensivos químicos Carbofuran, Cimoxanil, Mancozeb e Oxidocloreto de Cobre. Durante o período de condução dos experimentos utilizou-se o sistema de irrigação por aspersão.

2.4 Características avaliadas

2.4.1 Caracterização morfofisiológica da planta

A caracterização morfofisiológica das plantas foi realizada em cinco épocas de coleta. Em cada época de coleta das plantas, para a determinação das variáveis de crescimento, duas plantas representativas de cada parcela foram colhidas, entre 7 e 9 h da manhã. Imediatamente após a coleta, as plantas foram acondicionadas em sacos plásticos contendo gotas de água e posteriormente vedados. Em seguida, as plantas foram levadas para o laboratório onde foram realizadas a determinação da área foliar da planta (AFP), utilizando integrador de área foliar, modelo WinDias – Delta T Image Analysis System Delta – T – Devices LTD. Após a determinação da AFP, as diferentes partes das plantas foram secadas em estufa de circulação forçada de ar, a 70 °C, até obtenção de massa seca constante.

Após a secagem, o material vegetal foi pesado e os resultados expressos em g/planta. A massa de matéria seca total (MST, g/planta) foi obtida pela soma de todas as partes da planta (folha, caule e tubérculos).

2.4.2 Razões alométricas

Com os dados de massa de matéria seca (g/planta) e área foliar (cm²/planta), calculou-se as seguintes razões alométricas e a realização da análise de crescimento, segundo Hunt *et al.* (2002).

2.4.2.1 Razão de área foliar

A razão de área foliar (RAF, cm² g⁻¹) foi calculada por meio da relação entre a área foliar da planta (AFP, cm²/planta) e a massa de matéria seca total (MST, g/planta). Este parâmetro expressa a área foliar útil para a fotossíntese, e foi calculada pela seguinte relação:

$$RAF = \frac{AFP}{MST}$$

2.4.2.2 Área foliar específica

A área foliar específica (AFE, $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$) foi calculada pela seguinte relação:

$$AFE = \frac{AFP}{MSF}$$

Onde a AFP e massa de matéria seca das folhas (MSF) estão expressadas em $\text{cm}^2/\text{planta}$ e g/planta , respectivamente.

2.4.2.3 Razão de massa foliar, caulinar e de tubérculos

As razões de massas (g g^{-1}) foram calculadas pelas seguintes relações:

$$RMF = \frac{MSF}{MST}; \quad RMC = \frac{MSC}{MST} \text{ e } RMTub = \frac{MSTub}{MST}$$

A MSF, massa de matéria seca do caule (MSC), massa de matéria seca dos tubérculos (MSTub) e MST estão expressadas em g/planta

2.4.3 Análise de crescimento

2.4.3.1 Taxa assimilatória líquida

A taxa assimilatória líquida (TAL, $\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$) é a relação entre a MST e a AFP por unidade de tempo. Esse índice representa a conversão de matéria seca da planta em relação à AFP e foi calculado a partir da seguinte relação:

$$TAL = \frac{\frac{MST_2 - MST_1}{t_2 - t_1}}{\frac{\ln AFP_2 - \ln AFP_1}{AFP_2 - AFP_1}} = \frac{TCA}{\frac{\ln AFP_2 - \ln AFP_1}{AFP_2 - AFP_1}}$$

Onde, MST_1 e MST_2 ; AFP_1 e AFP_2 representam a variação da massa da matéria seca total e da área foliar da planta em duas amostras consecutivas, respectivamente, tomadas nos tempos t_1 e t_2 ; TCA é a taxa de crescimento absoluto e \ln é o logaritmo neperiano.

2.4.3.2 Taxa de crescimento relativo

A taxa de crescimento relativo (TCR, $\text{mg g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) é a relação entre a quantidade de material vegetal produzido por determinada quantidade de material existente (g), durante determinado intervalo de tempo (dias). A TCR foi calculada pela seguinte relação:

$$TCR = \frac{\ln MST_2 - \ln MST_1}{(t_2 - t_1)}$$

Onde, MST_1 e MST_2 representam a variação da massa da matéria seca total da planta em duas amostras consecutivas tomadas nos tempos t_1 e t_2 e, \ln é o logaritmo neperiano.

2.4.3.3 Taxa de crescimento relativo do tubérculo

A taxa de crescimento relativo do tubérculo (TCR Tub, $\text{mg g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) foi calculada a partir da seguinte relação:

$$TCR Tub = \frac{\ln MSTub_2 - \ln MSTub_1}{(t_2 - t_1)}$$

Onde, $MSTub_1$ e $MSTub_2$ representam a variação da massa da matéria seca dos tubérculos em duas amostras consecutivas tomadas nos tempos t_1 e t_2 e, \ln é o logaritmo neperiano.

2.4.4 Nitrogênio (N)

2.4.4.1 Teor de N na planta

As massas de matéria seca de cada parte da planta (folha, caule e tubérculo) foram trituradas em moinho tipo Wiley, equipado com peneira de 20 mesh. Em cada parte da planta, de cada tratamento (doses de N e época de coleta) e repetição, foi retirada amostra de 0,2 g, pesada e digerida em ácido sulfúrico concentrado (P.A.). O teor de N total foi determinado por titulometria, após a destilação de amônia por arraste de vapor pelo método de Kjeldahl (Bremer, 1965). O teor de N total na planta (TNP, dag kg^{-1}) foi obtido pela seguinte relação:

$$TNP = \frac{(TNF \times MSF) + (TNC \times MSC) + (TNTub \times MSTub)}{MST}$$

Onde TNP, TNF, TNC e TNTub é o teor de N total na planta, na folha, no caule e no tubérculo, expressados em g kg⁻¹; e MSF, MSC, MSTub e MST é a massa de matéria seca da folha, do caule, do tubérculo e total, expressadas em g/planta.

2.4.4.2 Eficiência de uso do N foliar

A Eficiência de uso do N foliar (EUNF, g g⁻¹ N na folha) foi calculada de acordo com a equação abaixo:

$$EUNF = \frac{MST}{MSF \times \text{teor N na folha}}$$

Onde MSF é a massa de matéria seca da folha expressa em g/planta e o teor de N na folha, em g g⁻¹.

2.4.4.3 Produtividade de N na folha

A produtividade de N foliar (PNF) expressa a quantidade de massa de matéria seca (g) por quantidade de N (g) por dia e a unidade é g g⁻¹ dia⁻¹. A PNF foi calculada segundo Osone *et al.* (2008), de acordo com a equação abaixo:

$$PNF = \frac{TCR}{TNF_A * RAF}$$

A PNF é a relação entre a taxa de crescimento relativo (TCR, g g⁻¹ dia⁻¹) com o produto do teor de N na folha por área (TNF_A, g cm⁻²) e a RAF (cm² g⁻¹). O teor de N na folha (TNF, dag kg⁻¹) foi dividido por 100 para ser transformado em g g⁻¹. O TNF_A (g cm⁻²) foi obtido pelo produto entre o teor de N foliar (g g⁻¹) e 1/AFE (cm² g⁻¹).

2.5 Análise estatística

Os dados foram submetidos às análises de variância e regressão. Para cada variável dependente avaliada, independentemente da significância, as interações entre as épocas de avaliações (DAE) e as doses de N (0; 300 e 600 kg ha⁻¹ de N), foram desdobradas. Para o fator quantitativo (dias após a emergência - DAE), os modelos ajustados foram escolhidos com base na ocorrência biológica, na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste “t” e adotando-se o nível de até 10% de

probabilidade, pelo teste “t”, e no coeficiente de determinação, sendo calculado pela relação ($R^2 = SQ_{\text{Regressão}}/SQ_{\text{Tratamento}}$). A comparação de cada variável dependente obtida com as doses de 300 e 600 kg ha⁻¹ de N, em relação à dose de 0 kg ha⁻¹ de N; e das doses de 0 e 600 kg ha⁻¹ de N, em relação à dose de 300 kg ha⁻¹ de N, foi realizada pelo teste Dunnett, ao nível de 5% probabilidade. Entre todas as variáveis avaliadas, e para cada cultivar, os dados obtidos foram submetidos à análise de correlação linear simples (r) utilizando-se todos os pares de dados, ou seja, os valores de todas as repetições referentes às três condições de N.

O software estatístico utilizado para a execução das análises estatísticas foi o Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas (SAEG versão 9.1).

3. Resultados

Para as cultivares Ágata e Asterix, houve efeito dos dias após a emergência (DAE) sobre a área foliar da planta (AFP, cm²/planta), nas três condições de N, limitante, adequada e excessiva, ou seja, nas doses de 0, 300 e 600 kg ha⁻¹ de N. O modelo quadrático descreveu a relação entre AFP e DAE, com as três doses de N, para as cultivares Ágata e Asterix. A representação das relações entre AFP e DAE, nas três doses de N, para as cultivares Ágata e Asterix, está apresentada na Figura 1 e as equações ajustadas estão listadas na Tabela 2.

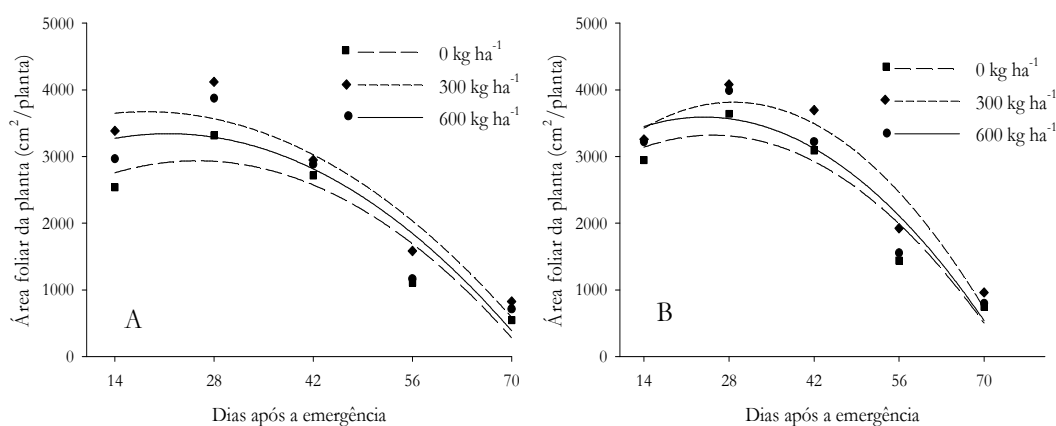


Figura 1. Área foliar da planta (AFP, cm²/planta) em função dos dias após a emergência (DAE), nas doses de 0, 300 e 600 kg ha⁻¹ de N, para as cultivares Ágata (A) e Asterix (B).

Tabela 2. Equações ajustadas para a área foliar da planta (AFP, cm²/planta) em função dos dias após a emergência (DAE), nas doses de 0, 300 e 600 kg ha⁻¹ de N, para as cultivares Ágata e Asterix

Cultivar	Doses de N	Equações ajustadas	R ²
Ágata	0	$\hat{y} = 2056,6 + 68,7923 * DAE - 1,34493 * DAE^2$	0,88
	300	$\hat{y} = 3281,07 + 42,5408 * DAE - 1,15713 * DAE^2$	0,91
	600	$\hat{y} = 2761,9 + 54,0056 * DAE - 1,25613 * DAE^2$	0,86
Asterix	0	$\hat{y} = 2419,71 + 71,2104 * DAE - 1,4085 * DAE^2$	0,91
	300	$\hat{y} = 2329,91 + 103,5708 * DAE - 1,8068 * DAE^2$	0,93
	600	$\hat{y} = 2769,7775 + 68,7002 * DAE - 1,4366 * DAE^2$	0,91

* - significativos ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste “t”.

Para as cultivares Ágata e Asterix, houve efeito dos dias após a emergência (DAE) sobre a massa de matéria seca total (MST), nas três condições de N, limitante, adequada e excessiva, ou seja, nas doses de 0, 300 e 600 kg ha⁻¹ de N. A representação das relações entre MST e DAE, nas três doses de N, para as cultivares Ágata e Asterix, está apresentada na Figura 2 e as equações ajustadas estão listadas na Tabela 3.

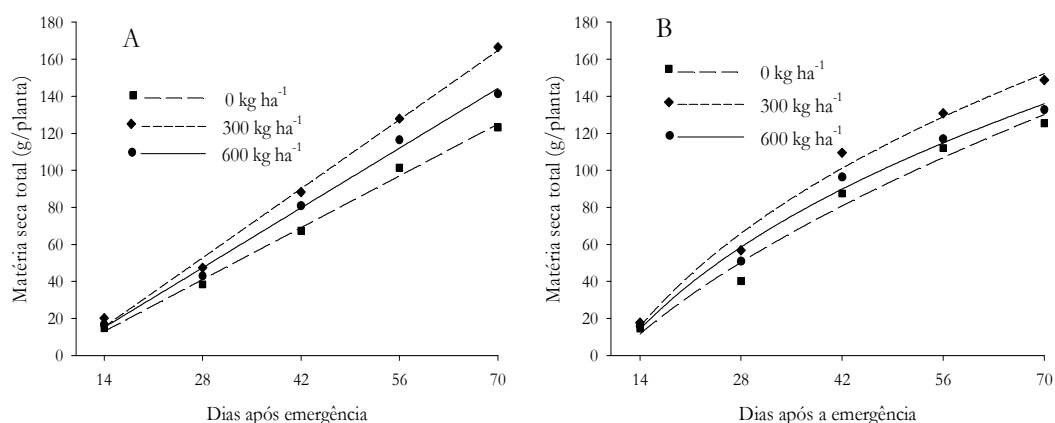


Figura 2. Matéria seca total (MST, g/planta) de plantas de batata em função dos dias após a emergência (DAE), nas doses de 0, 300 e 600 kg ha⁻¹ de N, para as cultivares Ágata (A) e Asterix (B).

Tabela 3. Equações ajustadas para a matéria seca total (MST, g/planta) de plantas de batata em função dos dias após a emergência (DAE), nas doses de 0, 300 e 600 kg ha⁻¹ de N, para as cultivares Ágata e Asterix

Cultivar	Doses de N	Equações ajustadas	r ²
Ágata	0	$\hat{y} = -14,90 + 1,9988^{**}DAE$	0,98
	300	$\hat{y} = -21,7691 + 2,6637^{**}DAE$	0,98
	600	$\hat{y} = -17,0908 + 2,3050^{**}DAE$	0,98
Asterix	0	$\hat{y} = -72,6460 + 19,9879DAE^{0,5454}$	0,97
	300	$\hat{y} = -191,9009 + 90,3822DAE^{0,3147}$	0,98
	600	$\hat{y} = -152,00 + 68,7612DAE^{0,3387}$	0,98

** - significativos ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste "t".

Para as duas cultivares de batata, houve efeito dos dias após a emergência (DAE) sobre a razão de área foliar (RAF), nas três condições de N, limitante, adequada e excessiva, ou seja, nas doses de 0, 300 e 600 kg ha⁻¹ de N. A representação das relações entre RAF e DAE, nas três doses de N, para as cultivares Ágata e Asterix, está apresentada na Figura 3 e as equações ajustadas estão listadas na Tabela 4.

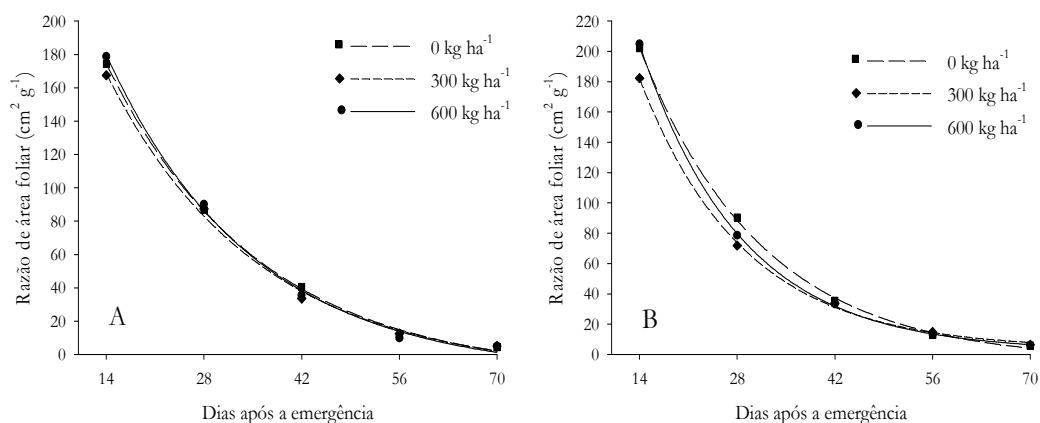


Figura 3. Razão de área foliar (RAF, cm² g⁻¹) de plantas de batata em função dos dias após a emergência (DAE), nas doses de 0, 300 e 600 kg ha⁻¹ de N, para as cultivares Ágata (A) e Asterix (B).

Tabela 4. Equações ajustadas para a razão de área foliar (RAF, cm² g⁻¹) de plantas de batata em função dos dias após a emergência (DAE), nas doses de 0, 300 e 600 kg ha⁻¹ de N, para as cultivares Ágata e Asterix

Cultivar	Doses de N	Equações ajustadas	R ²
Ágata	0	$\hat{y} = -12,2271 + 355,5283 \exp(-0,0459DAE)$	0,99
	300	$\hat{y} = -11,4129 + 343,6695 \exp(-0,0462DAE)$	0,99
	600	$\hat{y} = -11,9132 + 374,1477 \exp(-0,0478DAE)$	0,99
Asterix	0	$\hat{y} = -4,2382 + 461,2169 \exp(-0,0573DAE)$	0,98
	300	$\hat{y} = 3,6293 + 454,0608 \exp(-0,0667DAE)$	0,99
	600	$\hat{y} = 2,1851 + 529,3983 \exp(-0,0686DAE)$	0,99

Para a cultivar Ágata, houve efeito dos dias após a emergência (DAE) sobre a área foliar específica (AFE), nas três condições de N, limitante, adequada e excessiva, ou seja, nas doses de 0, 300 e 600 kg ha⁻¹ de N. Para a cultivar Asterix, a AFE não foi influenciada pelos DAE apenas na dose de 300 kg ha⁻¹ de N. O valor médio foi 175,77 cm² g⁻¹. A representação das relações entre AFE e DAE, nas três doses de N, para as cultivares Ágata e Asterix, está apresentada na Figura 4 e as equações ajustadas estão listadas na Tabela 5.

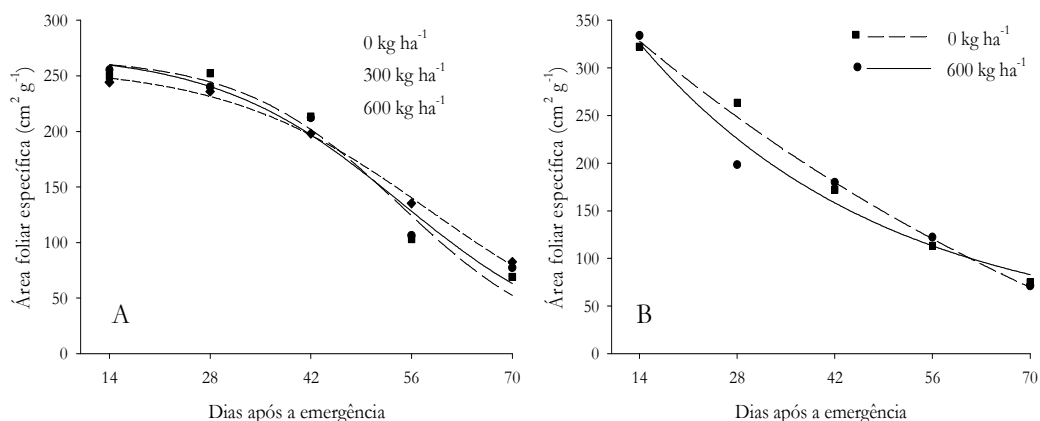


Figura 4. Área foliar específica (AFE, cm² g⁻¹) de plantas de batata em função dos dias após a emergência (DAE), nas doses de 0, 300 e 600 kg ha⁻¹ de N, para as cultivares Ágata (A) e Asterix (B).

Tabela 5. Equações ajustadas para a razão de área foliar específica (AFE, cm² g⁻¹) de plantas de batata em função dos dias após a emergência (DAE), nas doses de 0, 300 e 600 kg ha⁻¹ de N, para as cultivares Ágata e Asterix

Cultivar	Doses de N	Equações ajustadas	R ²
Ágata	0	$\hat{Y} = \frac{266,4980}{1 + e^{-\left(\frac{DAE-54,4732}{-11,0095}\right)}}$	0,96
	300	$\hat{Y} = \frac{258,8314}{1 + e^{-\left(\frac{DAE-58,3722}{-14,2413}\right)}}$	0,98
	600	$\hat{Y} = \frac{270,9055}{1 + e^{-\left(\frac{DAE-54,9166}{-12,6166}\right)}}$	0,96
Asterix	0	$\hat{Y} = -250,7399 + 671,1177 \exp(-0,0106DAE)$	0,98
	300	$\hat{Y} = 175,77$	-
	600	$\hat{Y} = 21,6142 + 454,2881 \exp(-0,0286DAE)$	0,96

Para as cultivares Ágata e Asterix, houve efeito dos dias após a emergência (DAE) sobre a razão de massa da folha (RMF, g g⁻¹), do caule (RMC, g g⁻¹), do tubérculo (RMTub, g g⁻¹) e massa de matéria seca dos tubérculos (MSTub, g planta⁻¹), nas três condições de N, limitante, adequada e excessiva, ou seja, nas doses de 0, 300 e 600 kg ha⁻¹ de N. A representação das relações entre essas variáveis listadas acima e DAE, nas três doses de N, para as cultivares Ágata e Asterix, está apresentada na Tabela 6.

Tabela 6. Equações ajustadas para a razão de massa folha (RMF, g g⁻¹), do caule, (RMC, g g⁻¹), do tubérculo (RMTub, g g⁻¹) e massa de matéria seca dos tubérculos (MSTub, g/planta), em função dos dias após a emergência (DAE), nas doses de 0, 300 e 600 kg ha⁻¹ de N, para as cultivares Ágata e Asterix

Cultivar	Doses de N	Variáveis	Equações ajustadas	r ² /R ²
Ágata	0	RMF	$\hat{y} = 0,0323+1,3820\exp(-0,0524\text{DAE})$	0,99
	300		$\hat{y} = 0,061+1,3447\exp(-0,0482\text{DAE})$	0,99
	600		$\hat{y} = 0,0115+1,3766\exp(-0,0491\text{DAE})$	0,99
Asterix	0		$\hat{y} = 0,021+1,1194\exp(-0,0438\text{DAE})$	0,99
	300		$\hat{y} = 0,0132+1,1695\exp(-0,0435\text{DAE})$	0,99
	600		$\hat{y} = -0,011+1,0562\exp(-0,367\text{DAE})$	0,98
Ágata	0	RMC	$\hat{y} = 0,022+0,5865\exp(-0,0526\text{DAE})$	0,99
	300		$\hat{y} = 0,0136+0,57295\exp(-0,0469\text{DAE})$	0,98
	600		$\hat{y} = 0,0196+0,5801\exp(-0,0518\text{DAE})$	0,99
Asterix	0		$\hat{y} = 0,0132+0,6890\exp(-0,0473\text{DAE})$	0,99
	300		$\hat{y} = 0,0442+0,6669\exp(-0,0546\text{DAE})$	0,99
	600		$\hat{y} = 0,0385+0,8020\exp(-0,0594\text{DAE})$	0,99
Ágata	0	RMTub	$\hat{y} = 1,1992(1-\exp(-0,0207\text{DAE}))$	0,97
	300		$\hat{y} = 1,3071(1-\exp(-0,0179\text{DAE}))$	0,95
	600		$\hat{y} = 1,3584(1-\exp(-0,0192\text{DAE}))$	0,93
Asterix	0		$\hat{y} = 1,3286(1-\exp(-0,0163\text{DAE}))$	0,96
	300		$\hat{y} = 1,2728(1-\exp(-0,0172\text{DAE}))$	0,94
	600		$\hat{y} = 1,3551(1-\exp(-0,0155\text{DAE}))$	0,92
Ágata	0	MSTub	$\hat{y} = -43,0428+2,22465**\text{DAE}$	0,98
	300		$\hat{y} = -60,0688+2,97191**\text{DAE}$	0,98
	600		$\hat{y} = -49,1192+2,56932**\text{DAE}$	0,98
Asterix	0		$\hat{y} = -37,8714+2,2066*\text{DAE}$	0,97
	300		$\hat{y} = -35,0091+2,4324*\text{DAE}$	0,96
	600		$\hat{y} = -33,0310+2,2041*\text{DAE}$	0,95

** e * - significativo ao nível de 1 e 5% de probabilidade, pelo teste “t”, respectivamente.

Para as cultivares Ágata e Asterix, houve efeito dos dias após a emergência (DAE) sobre a taxa assimilatória líquida (TAL, $\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$), nas três condições de N, limitante, adequada e excessiva, ou seja, nas doses de 0, 300 e 600 kg ha^{-1} de N. A representação das relações entre a TAL e DAE, nas três doses de N, para as cultivares Ágata e Asterix, está apresentada na Figura 5 e as equações ajustadas estão listadas na Tabela 7.

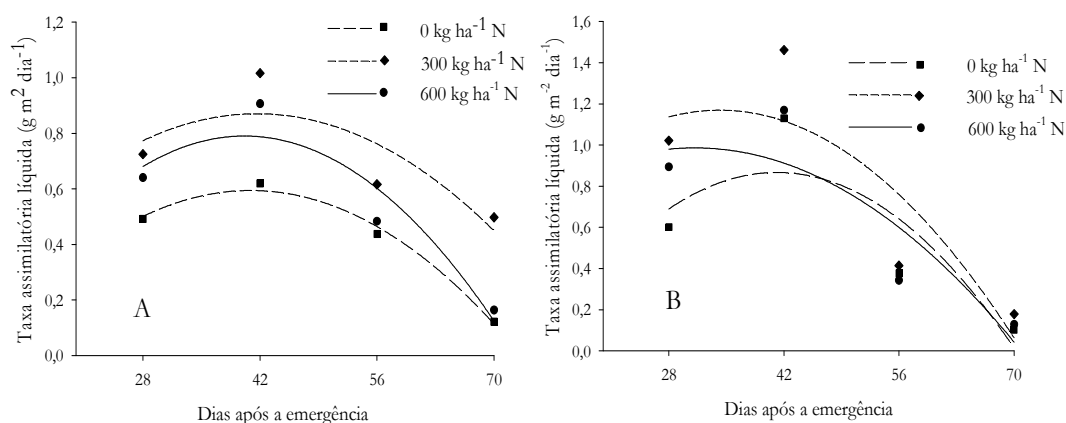


Figura 5. Taxa assimilatória líquida (TAL, $\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$) em função dos dias após a emergência (DAE), nas doses de 0, 300 e 600 kg ha^{-1} de N, para as cultivares Ágata (A) e Asterix (B).

Tabela 7. Equações ajustadas para a taxa assimilatória líquida (TAL, $\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$) da planta de batata em função dos dias após a emergência (DAE), nas doses de 0, 300 e 600 kg ha^{-1} de N, para as cultivares Ágata e Asterix

Cultivar	Doses de N	Equações ajustadas	R ² /R ²
Ágata	0	$y = -0,3503 + 0,0462 \cdot \text{DAE} - 0,0005657 \cdot \text{DAE}^2$	0,98
	300	$y = -0,0341 + 0,04394 \cdot \text{DAE} - 0,0005066 \cdot \text{DAE}^2$	0,67
	600	$y = -0,412772 + 0,0599433 \cdot \text{DAE} - 0,000746 \cdot \text{DAE}^2$	0,89
Asterix	0	$y = -0,865941 + 0,08423248 \cdot \text{DAE} - 0,0010237 \cdot \text{DAE}^2$	0,73
	300	$y = 0,1619055 + 0,058945 \cdot \text{DAE} - 0,000862108 \cdot \text{DAE}^2$	0,74
	600	$y = 0,38168592 + 0,038842 \cdot \text{DAE} - 0,0006240 \cdot \text{DAE}^2$	0,79

* - significativos ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste “t”.

Para as cultivares Ágata e Asterix, houve efeito dos dias após a emergência (DAE) sobre a taxa de crescimento relativo (TCR) da planta, nas três condições de N, limitante, adequada e excessiva, ou seja, nas doses de 0, 300 e 600 kg ha⁻¹ de N. A representação das relações entre a TCR e DAE, nas três doses de N, para as cultivares Ágata e Asterix, está apresentada na Figura 6 e as equações ajustadas estão listadas na Tabela 8.

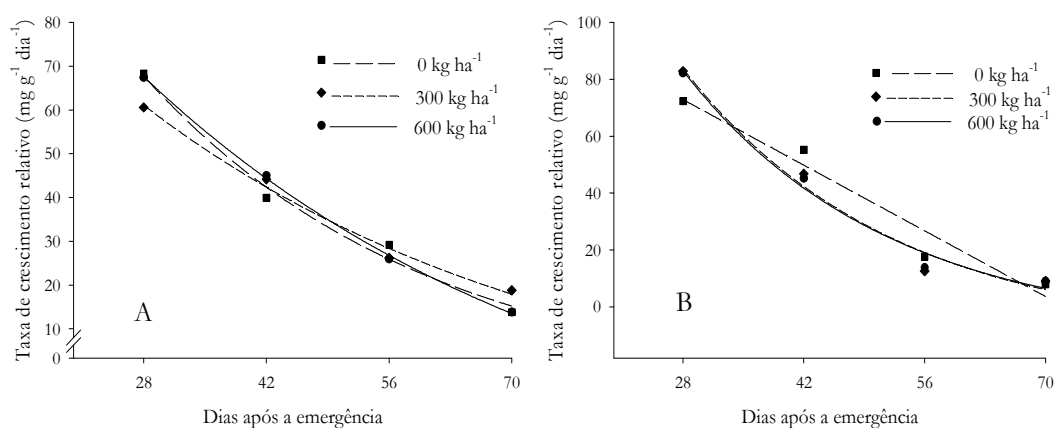


Figura 6. Taxa de crescimento relativo (TCR, mg g⁻¹ dia⁻¹) em função dos dias após a emergência (DAE), nas doses de 0, 300 e 600 kg ha⁻¹ de N, para as cultivares Ágata (A) e Asterix (B).

Tabela 8. Equações ajustadas para a taxa de crescimento relativo (TCR, mg g⁻¹ dia⁻¹) da planta de batata em função dos dias após a emergência (DAE), nas doses de 0, 300 e 600 kg ha⁻¹ de N, para as cultivares Ágata e Asterix

Cultivar	Doses de N	Equações ajustadas	R ² /r ²
Ágata	0	$\hat{y} = -4,6158 + 171,6219 \exp(-0,0308 \text{DAE})$	0,98
	300	$\hat{y} = -12,9668 + 132,6753 \exp(-0,0208 \text{DAE})$	0,98
	600	$\hat{y} = -27,5945 + 166,7569 \exp(-0,020 \text{DAE})$	0,99
Asterix	0	$\hat{y} = -119,0526 - 1,6486 * \text{DAE}$	0,95
	300	$\hat{y} = -10,6188 + 300,3033 \exp(-0,0413 \text{DAE})$	0,97
	600	$\hat{y} = -8,8489 + 303,0144 \exp(-0,0426 \text{DAE})$	0,98

* - significativos ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste "t".

Para as cultivares Ágata e Asterix, houve efeito dos dias após a emergência (DAE) sobre a taxa de crescimento relativo do tubérculo (TCRTub), nas três condições de N, limitante, adequada e excessiva, ou seja, nas doses de 0, 300 e 600 kg ha⁻¹ de N. A representação das relações entre a TCRTub e DAE, nas três doses de N, para as cultivares Ágata e Asterix está apresentada na Figura 7 e as equações ajustadas estão listadas na Tabela 9.

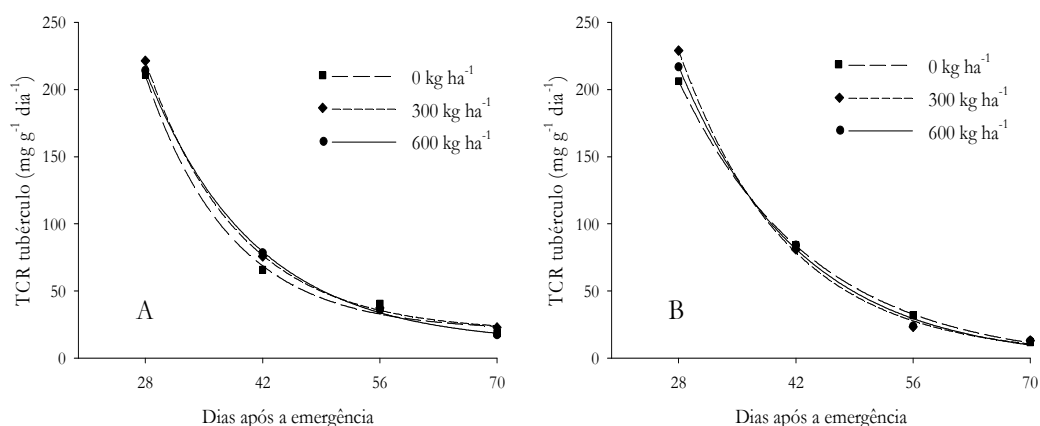


Figura 7. Taxa de crescimento relativo do tubérculo (TCRTub, mg g⁻¹ dia⁻¹) de batata em função dos dias após a emergência (DAE), nas doses de 0, 300 e 600 kg ha⁻¹ de N, para as cultivares Ágata (A) e Asterix (B).

Tabela 9. Equações ajustadas para a taxa de crescimento relativo do tubérculo (TCRTub, mg g⁻¹ dia⁻¹) de batata em função dos dias após a emergência (DAE), nas doses de 0, 300 e 600 kg ha⁻¹ de N, para as cultivares Ágata e Asterix

Cultivar	Doses de N	Equações ajustadas	R ²
Ágata	0	$\hat{y} = 20,5256 + 2964,8891 \exp(-0,0981DAE)$	0,98
	300	$\hat{y} = 19,4545 + 2528,057 \exp(-0,0909DAE)$	0,98
	600	$\hat{y} = 10,642 + 1787,9342 \exp(-0,0776DAE)$	0,99
Asterix	0	$\hat{y} = -3,8035 + 1212,2312 \exp(-0,0626DAE)$	0,99
	300	$\hat{y} = 1,6186 + 1986,9474 \exp(-0,0774DAE)$	0,99
	600	$\hat{y} = -2,4480 + 1516,9626 \exp(-0,069DAE)$	0,99

Para as cultivares Ágata e Asterix, houve efeito dos dias após a emergência (DAE) sobre o teor de N na planta (TNP, dag kg⁻¹) e a eficiência do uso do N foliar (EUNF, g MS g⁻¹ N na folha), nas doses de 0, 300 e 600 kg ha⁻¹ de N. Para a cultivar Ágata, houve efeito dos DAE sobre o teor de N na folha (TNF, dag kg⁻¹), nas doses de 0, 300 e 600 kg ha⁻¹ de N. Para a cultivar Asterix, não houve efeito dos DAE sobre o TNF, nas três doses de N. Os valores médios para as doses de 0, 300 e 600 kg ha⁻¹ de N foram 3,58; 4,05 e 3,77 dag kg⁻¹, respectivamente. A representação das relações entre todas as variáveis listadas acima e DAE, nas três doses de N, para as cultivares Ágata e Asterix, está apresentada na Tabela 10.

Tabela 10. Equações ajustadas para o teor de N na planta (TNP, dag kg⁻¹), na folha (TNF, dag kg⁻¹) e eficiência do uso do N na folha (EUNF, g MS g⁻¹ N na folha), em função dos dias após a emergência (DAE), nas doses de 0, 300 e 600 kg ha⁻¹ de N, para as cultivares Ágata e Asterix

Cultivar	Doses de N	Variável	Equações ajustadas	R ² /r ²
Ágata	0	TNP	$\hat{y} = 3,1693-0,0238*N$	0,98
	300		$\hat{y} = 3,6708-0,0277*N$	0,95
	600		$\hat{y} = 3,4233-0,0265*N$	0,94
Asterix	0	TNP	$\hat{y} = 3,6404-0,0354*N$	0,97
	300		$\hat{y} = 4,3414-0,0442*N$	0,96
	600		$\hat{y} = 4,1524-0,0429*N$	0,95
Ágata	0	TNF	$\hat{y} = 2,20702+0,0999054^{\circ}DAE-0,00134847^{\circ}DAE^2$	0,82
	300		$\hat{y} = 2,39724+0,1119970^{\circ}DAE-0,00146761^{\circ}DAE^2$	0,84
	600		$\hat{y} = 2,29223+0,101784^{\circ}DAE-0,00134854^{\circ}DAE^2$	0,82
Asterix	0	TNF	$\hat{y} = 3,47$	-
	300		$\hat{y} = 4,05$	-
	600		$\hat{y} = 3,77$	-
Ágata	0	EUNF	$\hat{y} = 6,7484+15,6525\exp(0,0512DAE)$	0,98
	300		$\hat{y} = -13,1560+23,4405\exp(0,045DAE)$	0,99
	600		$\hat{y} = -33,3491+36,6137\exp(0,0391DAE)$	0,98
Asterix	0	EUNF	$\hat{y} = -76,2766+58,5921\exp(0,0320)$	0,99
	300		$\hat{y} = -230,1705+168,9730\exp(0,0187DAE)$	0,99
	600		$\hat{y} = -269,5378+194,2944\exp(0,0182DAE)$	0,99

* e ° - significativos ao nível de 1% e 10% de probabilidade, respectivamente, pelo teste “t”.

Para a cultivar Ágata, houve efeito dos dias após a emergência (DAE) sobre a produtividade de N foliar (PNF, $\text{g g}^{-1} \text{N dia}^{-1}$), nas doses de 0, 300 e 600 kg ha^{-1} de N. Para a cultivar Asterix, não houve efeito dos DAE sobre a PNF, nas três doses de N. Os valores médios para as doses de 0, 300 e 600 kg ha^{-1} de N foram 5,47; 4,55 e 4,68 $\text{g g}^{-1} \text{N dia}^{-1}$. A representação das relações entre a PNF e DAE, nas três doses de N, para a cultivar Ágata, está apresentada na Figura 8 e as equações ajustadas estão listadas na Tabela 11.

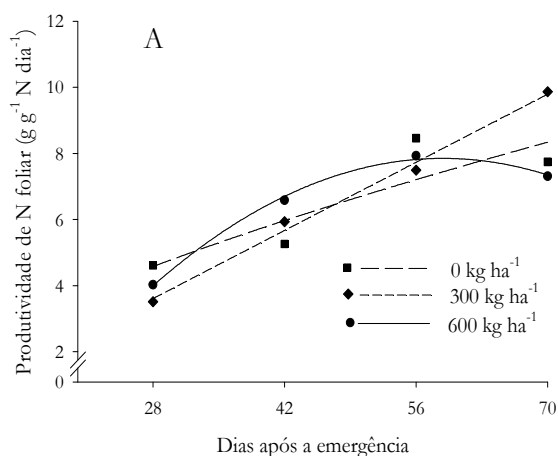


Figura 8. Produtividade de N foliar (PNF, $\text{g g}^{-1} \text{N dia}^{-1}$) de planta de batata em função dos dias após a emergência (DAE), nas doses de 0, 300 e 600 kg ha^{-1} de N, para as cultivares Ágata (A), respectivamente.

Tabela 11. Equações ajustadas para a produtividade de N foliar (PNF, $\text{g g}^{-1} \text{N dia}^{-1}$) de planta de batata em função dos dias após a emergência (DAE), nas doses de 0, 300 e 600 kg ha^{-1} de N, para as cultivares Ágata e Asterix

Cultivar	Doses de N	Equações ajustadas	R ² /r ²
Ágata	0	$\hat{y} = 0,5165\text{DAE}^{0,6547}$	0,77
	300	$\hat{y} = -0,08031 + 0,135613^{**}\text{DAE}$	0,98
	600	$\hat{y} = -6,06838 + 0,470945^{*}\text{DAE} - 0,00397923^{*}\text{DAE}^2$	0,98
Asterix	0	$\hat{y} = 5,47$	-
	300	$\hat{y} = 4,55$	-
	600	$\hat{y} = 4,68$	-

** e * - significativos ao nível de 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste “t”.

A comparação das médias das variáveis dependentes, avaliadas pelos contrastes, obtidas com as doses de 300 e 600 kg ha⁻¹ de N, em relação à dose de 0 kg ha⁻¹ de N (controle), para as cultivares Ágata e Asterix, está apresentada nas Tabelas 12, 13 e 14.

A comparação das médias das variáveis dependentes, avaliadas pelos contrastes, obtidas com as doses de 0 e 600 kg ha⁻¹ de N, em relação à dose de 300 kg ha⁻¹ de N (adequada), para as cultivares Ágata e Asterix, está apresentada nas Tabelas 15, 16 e 17.

Tabela 12. Valores médios da matéria seca (MS) dos tubérculos (MSTub, g/planta), razão de massa (RM) dos tubérculos (RMTub, g g⁻¹), taxa de crescimento relativo (TCR, mg g⁻¹ dia⁻¹), taxa assimilatória líquida (TAL, g cm⁻² dia⁻¹) e taxa de crescimento relativo dos tubérculos (TCRTub, mg g⁻¹ dia⁻¹), para as combinações entre dias após a emergência (DAE) e doses de 0, 300 e 600 kg ha⁻¹ de N, nas cultivares Ágata e Asterix

Variáveis	DAE	Cultivares					
		Ágata			Asterix		
		Doses de N (kg ha ⁻¹)					
	0	300	600	0	300	600	
MSTub	28	19,25	22,27 ^{NS}	20,13 ^{NS}	18,28	24,76 ^{NS}	20,97 ^{NS}
	42	48,44	64,54*	60,41*	59,53	76,86*	68,39 ^{NS}
	56	85,41	109,38*	99,57*	93,10	106,76*	95,80 ^{NS}
	70	110,74	150,76*	126,99*	110,07	128,31*	114,70 ^{NS}
			DMS=8,60			DMS=10,91	
RMTub	28	0,50	0,46*	0,46*	0,45	0,43 ^{NS}	0,41 ^{NS}
	42	0,72	0,73 ^{NS}	0,74 ^{NS}	0,68	0,70 ^{NS}	0,71 ^{NS}
	56	0,84	0,85 ^{NS}	0,86 ^{NS}	0,83	0,81 ^{NS}	0,82 ^{NS}
	70	0,90	0,90 ^{NS}	0,89 ^{NS}	0,88	0,86 ^{NS}	0,86 ^{NS}
			DMS=0,0276			DMS=0,053	
TCR	28	68,35	60,60*	67,44 ^{NS}	72,34	82,87*	82,27*
	42	39,95	44,18 ^{NS}	45,04 ^{NS}	55,19	46,79*	45,21*
	56	29,14	26,18 ^{NS}	25,95 ^{NS}	17,60	12,54 ^{NS}	13,80 ^{NS}
	70	13,79	18,81 ^{NS}	13,82 ^{NS}	7,93	9,13 ^{NS}	8,96 ^{NS}
			DMS=7,49			DMS=7,62	
TAL	28	4918,35	7249,36*	6405,72*	6019,42	10215,83*	8943,53*
	42	6196,64	10161,44*	9065,41*	11301,72	14616,00*	11694,40 ^{NS}
	56	4382,10	6161,18*	4834,17 ^{NS}	3766,22	4145,65 ^{NS}	3428,60 ^{NS}
	70	1225,49	3208,43*	1639,56 ^{NS}	1022,74	1786,89 ^{NS}	1287,19 ^{NS}
			DMS=1564,13			DMS=2506,4	
TCRTub	28	211,05	221,37*	214,32 ^{NS}	206,31	229,03*	216,94 ^{NS}
	42	65,78	75,76*	78,45*	84,15	80,79 ^{NS}	84,08 ^{NS}
	56	40,41	37,30 ^{NS}	35,65 ^{NS}	31,86	23,30 ^{NS}	23,89 ^{NS}
	70	18,51	22,89 ^{NS}	17,36 ^{NS}	11,79	13,08 ^{NS}	12,81 ^{NS}
			DMS=8,86			DMS=10,92	

^{NS} - não significativo;

* - para cada cultivar, as médias seguidas de asterisco na linha, diferem da dose de 0 kg ha⁻¹ (controle) ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Dunnett;

DMS = diferença mínima significativa.

Tabela 13. Valores médios da produtividade de N foliar (PNF, g g⁻¹ N dia⁻¹), área foliar da planta (AFP, cm²/planta), massa de matéria seca total (MST, g/planta), razão de massa (RM) do caule (RMC, g g⁻¹) e da folha (RMF, g g⁻¹) e razão de área foliar (RAF, cm² g⁻¹), para as combinações entre dias após a emergência (DAE) e doses de 0, 300 e 600 kg ha⁻¹ de N, nas cultivares Ágata e Asterix

Variáveis	DAE	Cultivares					
		Ágata			Asterix		
		Doses de N (kg ha ⁻¹)			Doses de N (kg ha ⁻¹)		
	0	300	600	0	300	600	
PNF	28	4,61	3,51 ^{NS}	4,03 ^{NS}	5,13	4,59 ^{NS}	4,61 ^{NS}
	42	5,26	5,93 ^{NS}	6,59 ^{NS}	7,81	6,56 ^{NS}	6,42 ^{NS}
	56	8,46	7,49 ^{NS}	7,92 ^{NS}	5,02	3,35 ^{NS}	3,88 ^{NS}
	70	7,74	9,86*	7,31 ^{NS}	3,92	3,70 ^{NS}	3,80 ^{NS}
		DMS=2,01			DMS=2,84		
AFP	14	2537,5	3385,5*	2967,5*	2948,0	3257,5*	3222,5 ^{NS}
	28	3317,5	4120,0*	3874,25*	3639,75	4082,5 ^{NS}	3988,25 ^{NS}
	42	2717,5	2947,75 ^{NS}	2885,0 ^{NS}	3090,0	3695,0*	3222,5 ^{NS}
	56	1110,0	1584,75*	1167,75 ^{NS}	1441,0	1925,0 ^{NS}	1555,25 ^{NS}
	70	548,5	827,03 ^{NS}	715,08 ^{NS}	749,85	962,35 ^{NS}	800,71 ^{NS}
		DMS=406,43			DMS=493,08		
MST	14	14,75	20,28 ^{NS}	16,72 ^{NS}	14,64	17,78 ^{NS}	16,07 ^{NS}
	28	38,45	47,49 ^{NS}	43,07 ^{NS}	40,33	56,85*	50,97*
	42	67,37	88,29*	80,94*	87,48	109,52*	96,38 ^{NS}
	56	101,48	127,93*	116,48*	112,03	130,81*	117,04 ^{NS}
	70	123,15	166,52*	141,36*	125,41	148,75*	132,76 ^{NS}
		DMS=9,19			DMS=10,65		
RMC	14	0,30	0,31 ^{NS}	0,30 ^{NS}	0,37	0,35 ^{NS}	0,39 ^{NS}
	28	0,15	0,16 ^{NS}	0,15 ^{NS}	0,20	0,18 ^{NS}	0,19 ^{NS}
	42	0,090	0,10 ^{NS}	0,085 ^{NS}	0,11	0,12 ^{NS}	0,10 ^{NS}
	56	0,051	0,053 ^{NS}	0,051 ^{NS}	0,055	0,075 ^{NS}	0,068 ^{NS}
	70	0,036	0,034 ^{NS}	0,035 ^{NS}	0,042	0,056 ^{NS}	0,051 ^{NS}
		DMS=0,028			DMS=0,034		
RMF	14	0,69	0,68 ^{NS}	0,70 ^{NS}	0,63	0,64 ^{NS}	0,61 ^{NS}
	28	0,34	0,36 ^{NS}	0,37*	0,35	0,38 ^{NS}	0,40 ^{NS}
	42	0,19	0,17 ^{NS}	0,16*	0,21	0,18 ^{NS}	0,19 ^{NS}
	56	0,11	0,093 ^{NS}	0,094 ^{NS}	0,11	0,10 ^{NS}	0,11 ^{NS}
	70	0,064	0,060 ^{NS}	0,066 ^{NS}	0,080	0,081 ^{NS}	0,085 ^{NS}
		DMS=0,030			DMS=0,055		
RAF	14	174,35	167,48 ^{NS}	178,81 ^{NS}	202,09	182,35 ^{NS}	204,97 ^{NS}
	28	86,68	87,29 ^{NS}	90,15 ^{NS}	90,34	71,84 ^{NS}	78,68 ^{NS}
	42	40,51	33,60 ^{NS}	35,67 ^{NS}	35,42	33,78 ^{NS}	33,55 ^{NS}
	56	10,95	12,57 ^{NS}	10,01 ^{NS}	12,91	14,74 ^{NS}	13,21 ^{NS}
	70	4,46	4,97 ^{NS}	5,06 ^{NS}	5,98	6,47 ^{NS}	6,02 ^{NS}
		DMS=18,86			DMS=28,45		

^{NS} - não significativo;

* - para cada cultivar, as médias seguidas de asterisco na linha, diferem da dose de 0 kg ha⁻¹ (controle) ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Dunnett;

DMS = diferença mínima significativa.

Tabela 14. Valores médios das variáveis: matéria seca foliar por área (MSF_A , $g\ cm^{-2}$), área foliar específica (AFE, $cm^2\ g^{-1}$), teor de N na planta (TNP, $dag\ kg^{-1}$) e na folha (TNF, $dag\ kg^{-1}$) e eficiência do uso do N na folha (EUNF, $g\ MS\ g^{-1}$ N foliar), para as combinações entre dias após a emergência (DAE) e doses de 0, 300 e 600 $kg\ ha^{-1}$ de N, nas cultivares Ágata e Asterix

Variáveis	DAE	Cultivares					
		Ágata			Asterix		
		Doses de N ($kg\ ha^{-1}$)					
		0	300	600	0	300	600
AFE	14	249,91	244,26 ^{NS}	255,43 ^{NS}	322,26	284,65 ^{NS}	334,19 ^{NS}
	28	252,25	235,90 ^{NS}	240,12 ^{NS}	263,46	188,85*	198,46 ^{NS}
	42	213,50	197,98 ^{NS}	212,30 ^{NS}	172,21	188,08 ^{NS}	179,89 ^{NS}
	56	103,06	135,27 ^{NS}	106,43 ^{NS}	113,21	136,78 ^{NS}	122,36 ^{NS}
	70	69,17	82,51 ^{NS}	77,32 ^{NS}	74,95	80,47 ^{NS}	71,38 ^{NS}
DMS=45,24			DMS=65,22				
TNP	14	2,81	3,19*	2,98 ^{NS}	3,27	3,95*	3,75*
	28	2,56	3,10*	2,90 ^{NS}	2,58	2,98 ^{NS}	2,91 ^{NS}
	42	2,13	2,39 ^{NS}	2,13 ^{NS}	1,99	2,24 ^{NS}	2,05 ^{NS}
	56	1,85	2,12 ^{NS}	1,95 ^{NS}	1,59	1,80 ^{NS}	1,68 ^{NS}
	70	1,50	1,74 ^{NS}	1,60 ^{NS}	1,29	1,45 ^{NS}	1,37 ^{NS}
DMS=0,33			DMS=0,45				
TNF	14	3,16	3,50 ^{NS}	3,27 ^{NS}	3,81	4,56 ^{NS}	4,43 ^{NS}
	28	4,30	4,74*	4,46 ^{NS}	4,24	4,75 ^{NS}	4,53 ^{NS}
	42	3,99	4,46*	4,10 ^{NS}	3,45	3,96 ^{NS}	3,78 ^{NS}
	56	3,25	3,77*	3,49 ^{NS}	3,15	3,77 ^{NS}	3,30 ^{NS}
	70	2,75	3,19 ^{NS}	2,96 ^{NS}	3,23	3,20 ^{NS}	2,79 ^{NS}
DMS=0,61			DMS=0,92				
EUNF	14	45,62	42,09 ^{NS}	44,15 ^{NS}	41,87	34,77 ^{NS}	37,38 ^{NS}
	28	67,57	57,64 ^{NS}	59,77 ^{NS}	70,80	55,47 ^{NS}	56,12 ^{NS}
	42	131,87	133,44 ^{NS}	146,09 ^{NS}	140,81	140,54 ^{NS}	142,80 ^{NS}
	56	290,41	290,13 ^{NS}	310,34 ^{NS}	281,68	252,51 ^{NS}	273,85 ^{NS}
	70	566,68	529,94 ^{NS}	527,27 ^{NS}	364,51	396,73 ^{NS}	424,76 ^{NS}
DMS=77,76			DMS=121,63				

^{NS} - não significativo;

* - para cada cultivar, as médias seguidas de asterisco na linha, diferem da dose de 0 $kg\ ha^{-1}$ (controle) ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Dunnett;

DMS = diferença mínima significativa.

Tabela 15. Valores médios da matéria seca (MS) dos tubérculos (MSTub, g/planta), razão de massa (RM) dos tubérculos (RMTub, g g⁻¹), taxa de crescimento relativo (TCR, mg g⁻¹ dia⁻¹), taxa assimilatória líquida (TAL, g cm⁻² dia⁻¹), taxa de crescimento relativo dos tubérculos (TCRTub, mg g⁻¹ dia⁻¹) e produtividade de N foliar (PNF, g g⁻¹ N dia⁻¹), para as combinações entre dias após a emergência (DAE) e doses de 0, 300 e 600 kg ha⁻¹ de N, nas cultivares Ágata e Asterix

Variáveis	DAE	Cultivares					
		Ágata			Asterix		
		Doses de N (kg ha ⁻¹)			Doses de N (kg ha ⁻¹)		
	0	300	600	0	300	600	
MSTub	28	19,25 ^{NS}	22,27	20,13 ^{NS}	18,28 ^{NS}	24,76	20,97 ^{NS}
	42	48,44*	64,54	60,41 ^{NS}	59,53*	76,86	68,39 ^{NS}
	56	85,41*	109,38	99,57*	93,10*	106,76	95,80*
	70	110,74*	150,76	126,99*	110,07*	128,31	114,70*
			DMS=8,60			DMS=10,91	
RMTub	28	0,50*	0,46	0,46 ^{NS}	0,45 ^{NS}	0,43	0,41 ^{NS}
	42	0,72 ^{NS}	0,73	0,74 ^{NS}	0,68 ^{NS}	0,70	0,71 ^{NS}
	56	0,84 ^{NS}	0,85	0,86 ^{NS}	0,83 ^{NS}	0,81	0,82 ^{NS}
	70	0,90 ^{NS}	0,90	0,89 ^{NS}	0,88 ^{NS}	0,86	0,86 ^{NS}
			DMS=0,0276			DMS=0,053	
TCR	28	68,35*	60,60	67,44 ^{NS}	72,34*	82,87	82,27 ^{NS}
	42	39,95 ^{NS}	44,18	45,04 ^{NS}	55,19*	46,79	45,21 ^{NS}
	56	29,14 ^{NS}	26,18	25,95 ^{NS}	17,60 ^{NS}	12,54	13,80 ^{NS}
	70	13,79 ^{NS}	18,81	13,82 ^{NS}	7,93 ^{NS}	9,13	8,96 ^{NS}
			DMS=7,49			DMS=7,62	
TAL	28	4918,35*	7249,36	6405,72 ^{NS}	6019,42*	10215,83	8943,53 ^{NS}
	42	6196,64*	10161,44	9065,41 ^{NS}	11301,72*	14616,00	11694,40 ^{NS}
	56	4382,10*	6161,18	4834,17 ^{NS}	3766,22 ^{NS}	4145,65	3428,60 ^{NS}
	70	1225,49*	3208,43	1639,56*	1022,74 ^{NS}	1786,89	1287,19 ^{NS}
			DMS=1564,13			DMS=2506,4	
TCRTub	28	211,05*	221,37	214,32 ^{NS}	206,31*	229,03	216,94*
	42	65,78*	75,76	78,45 ^{NS}	84,15 ^{NS}	80,79	84,08 ^{NS}
	56	40,41 ^{NS}	37,30	35,65 ^{NS}	31,86 ^{NS}	23,30	23,89 ^{NS}
	70	18,51 ^{NS}	22,89	17,36 ^{NS}	11,79 ^{NS}	13,08	12,81 ^{NS}
			DMS=8,86			DMS=10,92	
PNF	28	4,61 ^{NS}	3,51	4,03 ^{NS}	5,13 ^{NS}	4,59	4,61 ^{NS}
	42	5,26 ^{NS}	5,93	6,59 ^{NS}	7,81 ^{NS}	6,56	6,42 ^{NS}
	56	8,46 ^{NS}	7,49	7,92 ^{NS}	5,02 ^{NS}	3,35	3,88 ^{NS}
	70	7,74*	9,86	7,31*	3,92 ^{NS}	3,70	3,80 ^{NS}
			DMS=2,01			DMS=2,84	

^{NS} - não significativo;

* - para cada cultivar, as médias seguidas de asterisco na linha, diferem da dose de 300 kg ha⁻¹ (controle) ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Dunnett;

DMS = diferença mínima significativa.

Tabela 16. Valores médios da área foliar da planta (AFP, cm²/planta), matéria seca (MS) total (MST, g/planta), razão de massa (RM) do caule (RMC, g g⁻¹) e da folha (RMF, g g⁻¹) e razão de área foliar (RAF, cm² g⁻¹), para as combinações entre dias após a emergência (DAE) e doses de 0, 300 e 600 kg ha⁻¹ de N, nas cultivares Ágata e Asterix

Variáveis	DAE	Cultivares					
		Ágata			Asterix		
		Doses de N (kg ha ⁻¹)					
		0	300	600	0	300	600
AFP	14	2537,5*	3385,5	2967,5*	2948,0*	3257,5	3222,5 ^{NS}
	28	3317,5*	4120,0	3874,25*	3639,75 ^{NS}	4082,5	3988,25 ^{NS}
	42	2717,5 ^{NS}	2947,75	2885,0 ^{NS}	3090,0*	3695,0	3222,5 ^{NS}
	56	1110,0*	1584,75	1167,75*	1441,0 ^{NS}	1925,0	1555,25 ^{NS}
	70	548,5 ^{NS}	827,03	715,08 ^{NS}	749,85 ^{NS}	962,35	800,71 ^{NS}
		DMS=406,43			DMS=493,08		
MST	14	14,75 ^{NS}	20,28	16,72 ^{NS}	14,64 ^{NS}	17,78	16,07 ^{NS}
	28	38,45 ^{NS}	47,49	43,07 ^{NS}	40,33*	56,85	50,97*
	42	67,37*	88,29	80,94*	87,48*	109,52	96,38*
	56	101,48*	127,93	116,48*	112,03*	130,81	117,04*
	70	123,15*	166,52	141,36*	125,41*	148,75	132,76*
		DMS=9,19			DMS=10,65		
RMC	14	0,30 ^{NS}	0,31	0,30 ^{NS}	0,37 ^{NS}	0,35	0,39*
	28	0,15 ^{NS}	0,16	0,15 ^{NS}	0,20 ^{NS}	0,18	0,19 ^{NS}
	42	0,090 ^{NS}	0,10	0,085 ^{NS}	0,11 ^{NS}	0,12	0,10 ^{NS}
	56	0,051 ^{NS}	0,053	0,051 ^{NS}	0,055 ^{NS}	0,075	0,068 ^{NS}
	70	0,036 ^{NS}	0,034	0,035 ^{NS}	0,042 ^{NS}	0,056	0,051 ^{NS}
		DMS=0,028			DMS=0,034		
RMF	14	0,69 ^{NS}	0,68	0,70 ^{NS}	0,63 ^{NS}	0,64	0,61 ^{NS}
	28	0,34 ^{NS}	0,36	0,37 ^{NS}	0,35 ^{NS}	0,38	0,40 ^{NS}
	42	0,19 ^{NS}	0,17	0,16 ^{NS}	0,21 ^{NS}	0,18	0,19 ^{NS}
	56	0,11 ^{NS}	0,093	0,094 ^{NS}	0,11 ^{NS}	0,10	0,11 ^{NS}
	70	0,064 ^{NS}	0,060	0,066 ^{NS}	0,080 ^{NS}	0,081	0,085 ^{NS}
		DMS=0,030			DMS=0,055		
RAF	14	174,35 ^{NS}	167,48	178,81 ^{NS}	202,09 ^{NS}	182,35	204,97 ^{NS}
	28	86,68 ^{NS}	87,29	90,15 ^{NS}	90,34 ^{NS}	71,84	78,68 ^{NS}
	42	40,51 ^{NS}	33,60	35,67 ^{NS}	35,42 ^{NS}	33,78	33,55 ^{NS}
	56	10,95 ^{NS}	12,57	10,01 ^{NS}	12,91 ^{NS}	14,74	13,21 ^{NS}
	70	4,46 ^{NS}	4,97	5,06 ^{NS}	5,98 ^{NS}	6,47	6,02 ^{NS}
		DMS=18,86			DMS=28,45		

^{NS} - não significativo;

* - para cada cultivar, as médias seguidas de asterisco na linha, diferem da dose de 300 kg ha⁻¹ (controle) ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Dunnett;

DMS = diferença mínima significativa.

Tabela 17. Valores médios das variáveis: área foliar específica (AFE, cm² g⁻¹), teor de N na planta (TNP, dag kg⁻¹) e na folha (TNF, dag kg⁻¹) e eficiência do uso do N foliar (EUNF, g MS g⁻¹ N foliar), para as combinações entre dias após a emergência (DAE) e doses de 0, 300 e 600 kg ha⁻¹ de N, nas cultivares Ágata e Asterix

Variáveis	DAE	Cultivares					
		Ágata			Asterix		
		Doses de N (kg ha ⁻¹)					
		0	300	600	0	300	600
AFE	14	249,91 ^{NS}	244,26	255,43 ^{NS}	322,26 ^{NS}	284,65	334,19 ^{NS}
	28	252,25 ^{NS}	235,90	240,12 ^{NS}	263,46*	188,85	198,46 ^{NS}
	42	213,50 ^{NS}	197,98	212,30 ^{NS}	172,21 ^{NS}	188,08	179,89 ^{NS}
	56	103,06 ^{NS}	135,27	106,43 ^{NS}	113,21 ^{NS}	136,78	122,36 ^{NS}
	70	69,17 ^{NS}	82,51	77,32 ^{NS}	74,95 ^{NS}	80,47	71,38 ^{NS}
		DMS=45,24			DMS=65,22		
TNP	14	2,81*	3,19	2,98 ^{NS}	3,27*	3,95	3,75 ^{NS}
	28	2,56*	3,10	2,90 ^{NS}	2,58 ^{NS}	2,98	2,91 ^{NS}
	42	2,13 ^{NS}	2,39	2,13 ^{NS}	1,99 ^{NS}	2,24	2,05 ^{NS}
	56	1,85 ^{NS}	2,12	1,95 ^{NS}	1,59 ^{NS}	1,80	1,68 ^{NS}
	70	1,50 ^{NS}	1,74	1,60 ^{NS}	1,29 ^{NS}	1,45	1,37 ^{NS}
		DMS=0,33			DMS=0,46		
TNF	14	3,16 ^{NS}	3,50	3,27 ^{NS}	3,81 ^{NS}	4,56	4,43 ^{NS}
	28	4,30*	4,74	4,46 ^{NS}	4,24 ^{NS}	4,75	4,53 ^{NS}
	42	3,99*	4,46	4,10 ^{NS}	3,45 ^{NS}	3,96	3,78 ^{NS}
	56	3,25*	3,77	3,49 ^{NS}	3,15 ^{NS}	3,77	3,30 ^{NS}
	70	2,75 ^{NS}	3,19	2,96 ^{NS}	3,23 ^{NS}	3,20	2,79 ^{NS}
		DMS=0,61			DMS=0,92		
EUNF	14	45,62 ^{NS}	42,09	44,15 ^{NS}	41,87 ^{NS}	34,77	37,38 ^{NS}
	28	67,57 ^{NS}	57,64	59,77 ^{NS}	70,80 ^{NS}	55,47	56,12 ^{NS}
	42	131,87 ^{NS}	133,44	146,09 ^{NS}	140,81 ^{NS}	140,54	142,80 ^{NS}
	56	290,41 ^{NS}	290,13	310,34 ^{NS}	281,68 ^{NS}	252,51	273,85 ^{NS}
	70	566,68 ^{NS}	529,94	527,27 ^{NS}	364,51 ^{NS}	396,73	424,76 ^{NS}
		DMS=77,76			DMS=121,63		

^{NS} - não significativo;

* - para cada cultivar, as médias seguidas de asterisco na linha, diferem da dose de 300 kg ha⁻¹ (controle) ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Dunnett;

DMS = diferença mínima significativa.

Para as cultivares Ágata e Asterix, as estimativas dos coeficientes de correlação linear simples (r) entre as variáveis dependentes avaliadas, estão listadas nas Tabelas 18 e 19 e nas Tabelas 20 e 21, respectivamente.

Tabela 18. Estimativas dos coeficientes de correlação linear simples (r) das características: área foliar da planta (AFP, $\text{cm}^2/\text{planta}$), massa de matéria seca (MS) total (MST, g/planta), razão de massa (RM) do caule (RMC, g g^{-1}), da folha (RMF, g g^{-1}), razão de área foliar (RAF, $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$) e área foliar específica (AFE, $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$) com todas as variáveis avaliadas, para a cultivar Ágata

Variáveis	AFP	MST	RMC	RMF	RAF	AFE
MST	-0,81**	-				
RMC	0,63**	-0,88**	-			
RMF	0,63**	-0,89**	0,97**	-		
RAF	0,65**	-0,89**	0,97**	0,98**	-	
AFE	0,92**	-0,89**	0,76**	0,75**	0,80**	-
TNP	0,84**	-0,84**	0,82**	0,83**	0,83**	0,82**
TNF	0,68**	-0,29**	0,06 ^{NS}	0,06 ^{NS}	0,07 ^{NS}	0,49**
EUNF	-0,88**	0,88**	-0,73**	-0,73**	-0,72**	-0,88**
MSTub	-0,91**	0,99**	-0,91**	-0,92**	-0,91**	-0,89**
RMTub	-0,92**	0,91**	-0,97**	-0,99**	-0,98**	-0,86**
TCR	0,91**	-0,88**	0,93**	0,93**	0,92**	0,87**
TAL	0,69**	-0,48**	0,50**	0,41**	0,41**	0,64**
PNF	-0,80**	0,83**	-0,81**	-0,82**	-0,81**	-0,76**
TCRTub	0,87**	-0,86**	0,95**	0,97**	0,96**	0,80**

^{NS}, ** e ° - não significativos; significativos ao nível de 1% e 10% de probabilidade, pelo teste “t”, respectivamente.

Tabela 19. Estimativas dos coeficientes de correlação linear simples (r) das características: teor de N na planta (TNP, dag kg^{-1}), na folha (TNF, dag kg^{-1}), eficiência do uso do N na folha (EUNF, $\text{g MS g}^{-1} \text{N foliar}$), massa de matéria seca (MS) dos tubérculos (MSTub, g/planta), razão de massa (RM) dos tubérculos (RMTub, g g^{-1}), taxa de crescimento relativo (TCR, $\text{mg g}^{-1} \text{dia}^{-1}$), taxa assimilatória líquida (TAL, $\text{g cm}^{-2} \text{dia}^{-1}$), produtividade de N foliar (PNF, $\text{g g}^{-1} \text{N dia}^{-1}$), para a cultivar Ágata

Variáveis	TNP	TNF	EUNF	MSTub	RMTub	TCR	TAL	PNF
TNF	0,51**	-						
EUNF	-0,85**	-0,60**	-					
MSTub	-0,82**	-0,72**	0,89**	-				
RMTub	-0,90**	-0,75**	0,82**	0,92**	-			
TCR	0,87**	0,80**	-0,88**	-0,90**	-0,94**	-		
TAL	0,60**	0,74**	-0,74**	-0,52**	-0,44**	0,62**	-	
PNF	-0,75**	-0,70**	0,76**	0,84**	0,82**	-0,69**	-0,33**	-
TCRTub	0,87**	0,71**	-0,76**	-0,87**	-0,98**	0,93**	0,39**	-0,75**

** - significativos ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste “t”.

Tabela 20. Estimativas dos coeficientes de correlação linear simples (r) das características: área foliar da planta (AFP, $\text{cm}^2/\text{planta}$), matéria seca (MS) total (MST, g/planta), razão de massa (RM) do caule (RMC, g g^{-1}), da folha (RMF, g g^{-1}) razão de área foliar (RAF, $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$) e área foliar específica (AFE, $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$), para a cultivar Asterix

Variáveis	AFP	MST	RMC	RMF	RAF	AFE
MST	-0,70**	-				
RMC	0,57**	-0,92**	-			
RMF	0,62**	-0,95**	0,96**	-		
RAF	0,54**	-0,91**	0,97**	0,95**	-	
AFE	0,71**	-0,88**	0,90**	0,84**	0,91**	-
TNP	0,71**	-0,90**	0,91**	0,93**	0,87**	0,83**
TNF	0,68**	-0,61**	0,55**	0,56**	0,49**	0,55**
EUNF	-0,83**	0,83**	-0,73**	-0,77**	-0,69**	-0,76**
MSTub	-0,88**	0,99**	-0,93**	-0,95**	-0,95**	-0,82**
RMTub	-0,87**	0,94**	-0,96**	-0,99**	-0,97**	-0,77**
TCR	0,93**	-0,90**	0,92**	0,93**	0,93**	0,81**
TAL	0,84**	-0,46**	0,55**	0,52**	0,50**	0,64**
PNF	0,40**	-0,16 ^{NS}	0,21°	0,12 ^{NS}	0,18°	0,42**
TCRTub	0,86**	-0,93**	0,95**	0,95**	0,96**	0,79**

^{NS}; **, * e ° - não significativos; significativos ao nível de 1%, 5% e 10% de probabilidade, pelo teste “t”, respectivamente.

Tabela 21. Estimativas dos coeficientes de correlação linear simples (r) das características: teor de N na planta (TNP, dag kg^{-1}) e na folha (TNF, dag kg^{-1}), eficiência do uso do N na folha (EUNF, $\text{g MS g}^{-1} \text{N foliar}$), matéria seca (MS) dos tubérculos (MSTub, g/planta), razão de massa (RM) dos tubérculos (RMTub, g g^{-1}), taxa de crescimento relativo (TCR, $\text{mg g}^{-1} \text{dia}^{-1}$), taxa assimilatória líquida (TAL, $\text{g cm}^{-2} \text{dia}^{-1}$), produtividade de N foliar (PNF, $\text{g g}^{-1} \text{N dia}^{-1}$), para a cultivar Asterix

Variáveis	TNP	TNF	EUNF	MSTub	RMTub	TCR	TAL	PNF
TNF	0,71**	-						
EUNF	-0,79**	-0,78**	-					
MSTub	-0,87**	-0,69**	0,85**	-				
RMTub	-0,90**	-0,70**	0,80**	0,96**	-			
TCR	0,90**	0,67**	-0,80**	-0,93**	-0,94**	-		
TAL	0,66**	0,45**	-0,66**	-0,56**	-0,53**	0,71**	-	
PNF	0,18 ^{NS}	-0,12 ^{NS}	-0,12 ^{NS}	-0,21°	-0,15 ^{NS}	0,39**	0,65**	-
TCRTub	0,90**	0,71**	-0,76**	-0,94**	-0,97**	0,96**	0,53**	0,21°

^{NS}; **, * e ° - não significativo, significativos ao nível de 1% e 10% de probabilidade, pelo teste “t”, respectivamente.

4. Discussão

Para o incremento da produção vegetal ou alocação de biomassa, é necessário o melhor aproveitamento dos fatores acima (luz e CO_2) e abaixo (água e nutrientes) do solo. Assim, para que a utilização da radiação solar seja eficiente, torna-se necessário que

as folhas possuam alta capacidade fotossintética e máximo aproveitamento na captação da energia luminosa.

As folhas são as principais ‘fontes’ responsáveis para o enchimento dos órgãos drenos (tubérculos). A idade da folha (dias após a emergência – DAE) e estágio de desenvolvimento são os importantes fatores de muitos processos morfológicos e fisiológicos das plantas. Segundo os relatos de Salisbury & Ross (1992) flores e frutos são canalizadores (drenos) fortes de nutrientes minerais, açúcares e aminoácidos, diminuindo as quantidades disponíveis para o crescimento de outras partes da planta. As plantas das duas cultivares estudadas apresentaram aumento e posteriormente decréscimo da área foliar. Tekalign & Hammes (2005) relataram que as plantas de batata após o florescimento apresentaram aumento e posterior redução do índice de área foliar, sendo que com 6 a 8 semanas após o florescimento o índice de área foliar ficou entre 2,5 e 3,0. Melo *et al.* (2003) relataram aumento no índice de área foliar entre 27 a 60 dias após o plantio, com a cultivar Ágata.

Houve aumento da massa de matéria seca dos tubérculos (MSTub) e total (MST) em função dos dias após a emergência (DAE), para as cultivares Ágata e Asterix. Aos 70 DAE, a MSTub representou cerca de 90,00; 89,90; 90,60% e 86,00; 88,80; 88,00% da MST, para as doses de 0; 300 e 600 kg ha⁻¹ de N, para as cultivares Ágata e Asterix, respectivamente. Em estudo realizado por Alva *et al.* (2012) com doses de N e irrigação, aos 98 DAE, relataram que a MSTub representou 82 e 84% da MST em regime de completa evapotranspiração e déficit hídrico, na alta dose de N (504 kg ha⁻¹); enquanto 86 e 95%, para os mesmos tratamentos de irrigação, na menor dose de N (168 kg ha⁻¹), na cultivar Ranger Russet.

As plantas das duas cultivares de batata apresentaram redução na razão de área foliar (RAF) e área foliar específica (AFE), sendo os maiores valores observados aos 14 DAE, com diminuição dos 14 aos 70 DAE. A RAF é um componente morfológico do crescimento que representa a superfície assimilatória por unidade de massa de matéria seca total da planta, e assim, os valores da RAF normalmente decrescem com a ontogenia das plantas (Hunt, 1982). Plantas com maior AFE indicam maior construção de área foliar por unidade de massa de matéria seca investida em folhas, resultando em retorno rápido de biomassa e nutrientes, conseqüentemente maior crescimento das plantas (Westoby *et al.*, 2002).

A redução da RAF, da AFE e da razão de massa foliar (RMF) em função dos DAE, significa perda de massa de matéria seca foliar. Lambers *et al.* (1998) comentaram

que quando a AFE diminui, também diminui a quantidade de área foliar disponível para a interceptação da luz e, por conseguinte, diminuem os ganhos líquidos de carbono (TAL), refletindo-se na taxa de crescimento relativo da cultura.

As variações em RAF podem ser explicadas pelas alterações de seus componentes, AFE e RMF, visto que a RAF é o produto da AFE pela RMF. Enquanto a variação na RMF tem efeito direto na produção de massa seca, a variação na AFE contribui diretamente, via interceptação de luz, para o crescimento da planta (Osone *et al.*, 2008).

Queda na RAF, tanto nas doses mais baixas de N, quanto na idade mais avançada da planta, reflete a diminuição da capacidade fotossintética em relação ao aumento da massa total da planta, o que representa maior custo de respiração e a redistribuição de fotoassimilados para o crescimento da planta, em detrimento da produção de folhas, durante o estabelecimento e crescimento do vegetal.

A taxa de crescimento relativo (TCR) de planta é uma medida da eficiência do seu crescimento, ou seja, a taxa na qual uma determinada quantidade de biomassa existente produz nova biomassa por unidade de tempo, sendo um indicador importante da magnitude do uso dos fotoassimilados para o crescimento das plantas (Groeneveld, 1998). A TCR decresceu em função dos DAE, para as duas cultivares e doses de N. Esse comportamento de TCR é amplamente reportado na literatura, como em Aguiar Neto *et al.* (2000) e Barcelos *et al.* (2007), podendo ser explicada pelo aumento da competição intra-específica pelos principais fatores ambientais responsáveis pelo crescimento (Gava *et al.*, 2001). Uma possibilidade é a redução da área foliar da planta e a massa de matéria seca da folha em função dos DAE, sendo que os fotoassimilados estão sendo translocados da fonte (folhas) para o enchimento do órgão de reserva (tubérculo). Este fato é verificado pela redução e acréscimo na RMF e razão de massa dos tubérculos (RMTub), respectivamente. Lopes & Maestri (1973) sugerem que a taxa de crescimento relativo e a RAF apresentam semelhantemente uma forte tendência de decréscimo à medida que as plantas envelhecem, sendo explicado em parte pelo aumento gradual de tecidos não assimilatórios (tubérculos, por exemplo).

No presente experimento, além da redução da taxa de crescimento relativo, a taxa assimilatória líquida e taxa de crescimento relativo dos tubérculos, também apresentaram redução em função dos DAE. Tekalign & Hammes (2005) relataram redução da taxa de crescimento relativo, taxa assimilatória líquida e taxa de crescimento relativo dos tubérculos em função dos DAE. A redução da RMF resulta em menor área

de interceptação de luz, no entanto, acarreta menor eficiência fotossintética (redução da maquinaria fotossintética) e assim, ocorre aumento da RMTub, sendo que estes fatores refletem na redução da TCR.

A taxa assimilatória líquida é a diferença entre o ganho de carbono proveniente da fotossíntese e a perda de carbono pela respiração das plantas (Lambers & Poorter, 1992). Ademais, se esta perda de carbono for deslocada para o crescimento, não é considerada como perda de carbono pelas plantas, ou seja, é desvio de assimilados da rota assimilatória para o acúmulo de biomassa para os tecidos da planta.

A eficiência do uso do N na folha apresentou aumento em função dos DAE, para as três condições de N, e nas duas cultivares. Este aumento foi devido ao acréscimo da massa de matéria seca total e redução do conteúdo de N nas folhas, ao longo dos DAE. Nas últimas décadas, esforços têm sido direcionados no sentido de maximizar a eficiência de utilização de nutrientes pelas plantas, visando reduzir os custos de produção, evitar a degradação dos recursos ambientais e aumentar o rendimento das culturas (Kolchinski & Shuch, 2003). Tem sido constatado que, aproximadamente, 48 a 77% do N aplicado no solo é aproveitado pelas plantas de batata, sendo o restante perdido por imobilização, volatilização (N_2 e NH_3) e lixiviação para as águas subterrâneas (Zebarth *et al.*, 2004). Essas perdas podem agravar-se, principalmente, em região onde ocorre elevado índice pluviométrico, sendo, portanto, importante aumentar a eficácia da utilização dos nutrientes, ajustando os níveis adequados de adubação para atingir o potencial máximo produtivo da cultura. Atualmente, tem sido realizadas melhorias nas boas práticas de manejo do fertilizante nitrogenado para diminuir as possíveis perdas de N para o ambiente (Zebarth & Rosen, 2007), no entanto, as perdas de N em sistema de produção de batata são frequentemente altas. Uma das maneiras de diminuir essas perdas para o ambiente é aumentar a eficiência de utilização do N pelas plantas de batata (Zebarth *et al.*, 2009) bem como trabalhar a base fisiológica das plantas.

Vários trabalhos relatam alta correlação positiva entre a área foliar específica e taxa de crescimento relativo (Reich *et al.*, 1998; Wright & Westoby, 2000; Shipley, 2006; Osone *et al.*, 2008). Segundo Hilbert (1990) e Garnier (1991) a AFE pode ter efeito menos expressivo sobre a taxa de crescimento relativo. Segundo Osone *et al.* (2008) aumento na área foliar específica pode causar uma redução em algum outro componente da taxa de crescimento relativo, ou na TAL ou RMF. Estes autores demonstraram matematicamente, que com o aumento da área foliar específica há redução

da concentração de N na folha com base em área (unidade de massa por unidade de área), sendo que os demais componentes da taxa de crescimento relativa permaneceram constantes. Esta redução na concentração de N na folha com base em área pode ser compensada pelo decréscimo da razão entre tubérculo e parte aérea bem como aumento da área foliar específica (Osonne *et al.*, 2008).

No presente experimento, a maior proporção na variação da taxa de crescimento relativo foi devido à variação na área de captura de luz por unidade de massa foliar, ou seja, a área foliar específica. Este fato também foi relatado por estudos anteriores (Huante *et al.*, 1995; Cornelissen *et al.*, 1996; Saverimuttu & Westoby, 1996; Hunt & Cornelissen, 1997; Lusk *et al.*, 1997; Wright & Westoby, 2000; Osonne *et al.*, 2008). Dos componentes da taxa de crescimento, a AFE e a razão de massa foliar foram as variáveis que apresentaram maior correlação com a variação da taxa de crescimento, quando comparada com a taxa assimilatória líquida e produtividade de N na folha, para as duas cultivares. Osonne *et al.* (2008) relataram que a área foliar específica e a produtividade de N na folha foram as variáveis que apresentaram maior correlação entre os demais componentes da taxa de crescimento. Vários autores demonstraram efeito significativo e positivo da correlação existente entre a taxa de crescimento e área foliar específica (Atkin *et al.*, 1998; Reich *et al.*, 1998; Wright & Westoby, 2000).

Correlações positivas entre a AFE e teor de N na folha (dag kg^{-1}), também foi reportado por Wright & Westoby (2000). Estes autores relataram correlação não significativa entre a taxa de crescimento relativo e o teor de N na folha (dag kg^{-1}) e correlação significativa e negativa entre a produtividade de N na folha e o teor de N na folha (dag kg^{-1}). Os resultados do presente experimento estão de acordo com estes últimos autores, porém, a correlação entre a taxa de crescimento e o teor de N na folha com base em massa foi significativa e positiva, para as duas cultivares. Wright & Westoby (2000) relataram que plantas que apresentaram maior área foliar específica e taxa de crescimento relativo, resultaram em correlação negativa entre a taxa de crescimento relativo e o teor de N na folha com base em área (g m^{-2}). Este fato é chamado de efeito de diluição do N. O fenômeno de diluição também foi encontrado por van Arendonk & Poorter (1994) e Cornelissen *et al.* (1997) em que verificaram positiva correlação da taxa de crescimento relativo e o teor de N na folha em base de massa, mas não encontraram correlação entre área foliar específica e taxa de crescimento relativo. As espécies que apresentam maior taxa de crescimento relativo

resultam em menor concentração de N nas folhas em uma maior massa de matéria seca total (aumento da biomassa), ou seja, o fenômeno de diluição do N.

Para a cultivar Asterix, a relação positiva encontrada entre a produtividade de N nas folhas e a taxa de crescimento relativo está de acordo com o padrão encontrado anteriormente em 14 espécies de gramíneas por Garnier & Vancaeyzeele (1994). A produtividade de N nas folhas é um parâmetro que reflete três fatores: (1) a taxa de fotossíntese por unidade de folha em condições limitante de N; (2) a taxa de respiração na folha por unidade de N e (3) o particionamento de N na folha entre componentes estruturais, ou seja, os componentes da maquinaria fotossintética (Poorter & Evans, 1998).

5. Conclusões

√ as épocas de avaliações influenciam os valores das características morfológicas e fisiológicas associadas ao crescimento das cultivares de batata estudadas, Ágata e Asterix quando submetidas às condições limitantes, adequada e excessiva de N;

√ na cultivar Ágata, as épocas de avaliações influenciam a produtividade de N foliar e oposto ocorre com a cultivar Asterix;

√ a área foliar específica e a razão de massa foliar são as variáveis que apresentam a maior correlação com a variação da taxa de crescimento relativo da cultura;

√ nas duas cultivares avaliadas, a massa de matéria seca total e dos tubérculos, razão de massa dos tubérculos, taxa de crescimento relativo, taxa assimilatória líquida, taxa de crescimento relativo dos tubérculos, área foliar da planta e teor de N na planta são influenciados de forma diferenciada na condição de limitação de N.

√ Em condição de limitação de N, as variáveis razão de massa dos tubérculos, produtividade de N nas folhas, razão de massa do caule e da folha, razão de área foliar, área foliar específica, teor de N nas folhas e eficiência do uso do N nas folhas são influenciados de forma diferenciada.

6. Referências bibliográficas

- AGUIAR NETTO, A. de O.; RODRIGUES, J.D.; PINHO, S.Z. Análise de crescimento na cultura da batata submetida a diferentes laminas de irrigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.5, p.901-907, 2000.
- ALVA, A.K.; REN, H.; MOORE, A.D. Water and nitrogen management effects on biomass accumulation and partitioning in two potato cultivars. **American Journal of Plant Sciences**, v.3, p.164-170, 2012.
- van ARENDONK, J.J.C.M.; POORTER, H. The chemical composition and anatomical structure of leaves of grass species differing in relative growth rate. **Plant, Cell and Environment**, v.17, p.963-970, 1994.
- ATKIN, O.K.; SCHORTEMMEYER, M.; McFARLANE, N.; EVANS, J.R. Variation in the components of relative growth rate in ten Acacia species from contrasting environments. **Plant, Cell and Environment**, v.21, p.1007-1017, 1998.
- BALEMI, T.; SCHENK, M.K. Genotypic difference of potato in carbon budgeting as a mechanism of phosphorus utilization efficiency. **Plant and Soil**, v.322, p.91-99, 2009.
- BARCELOS, D.M.; GARCIA, A.; MACIEL JÚNIOR, V.A. Análise de crescimento da cultura da batata submetida ao parcelamento da adubação nitrogenada em cobertura, em um latossolo vermelho-amarelo. **Ciência e Agrotecnologia**, v.31, n.1, p.21-27, 2007.
- BREMER, J.M. **Total nitrogen** In: BLACK, C.A. ed., *Methods of soil analysis*. Madison: American Society of Agronomy, Parte 2, p.1149-1178, 1965.
- 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.
- CORNELISSEN, J.H.C.; CASTRO DIEZ, P.; HUNT, R. Seedling growth, allocation and leaf attributes in a wide range of woody plant species and types. **Journal of Ecology**, v.84, p.755-765, 1996.
- CORNELISSEN, J.H.C.; WERGER, M.J.A.; CASTRO-DIEZ, P.; van RHEENAN, J.W.A.; ROWLAND, A.P. Foliar nutrients in relation to growth, allocation and leaf traits in seedlings of a wide range of woody plant species and types. **Oecologia**, v.111, p.460-469, 1997.

- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999, 412p.
- ERREBHI, M.; ROSEN, C.J.; LAUER, F.I.; MARTIN, M.W.; BAMBERG, J.B.; BIRONG, D.E. Screening of exotic potato germplasm for nitrogen uptake and biomass production. **American Journal of Potato Research**, v.75, p.93-100, 1998a.
- ERREBHI, M.; ROSEN, C.J.; GUPTA, S.C.; BIRONG, D.E. Potato yield response and nitrate leaching as influenced by nitrogen management. **Agronomy Journal**, v.90, p.10-15, 1998b.
- 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.; DIAS, E.N.; SILVA, D.J.H. Dinâmica do crescimento, distribuição de matéria seca na planta e produção de pimentão em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v.23, n.1, p.94-99, 2005.
- GARNIER, E. Resource capture, biomass allocation and growth in herbaceous plants. **Trends in Ecology and Evolution**, v.6, p.126-131, 1991.
- GARNIER, E.; VANCAEYZEELE, S. Carbon and nitrogen content of congeneric annual and perennial grass species: relationships with growth. **Plant, Cell and Environment**, v.17, p.399-407, 1994.
- GARNIER, E.; GOBIN, O.; POORTER, H. Nitrogen productivity depends on photosynthetic nitrogen use efficiency and on nitrogen allocation within the plant. **Annals of Botany**, v.76, p.667-672, 1995.
- GAVA, G.J.C.; TRIVELIN, P.C.O.; OLIVEIRA, M.W. Growth and accumulation of nitrogen by sugarcane cultivated in soil covered with cane trash. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.11, p.1347-1354, 2001.
- GROENEVELD, H.W. Measuring the RGR of individual grass plant. **Annals of Botany**, v.82, p.803-808, 1998.
- HILBERT, D.W. Optimization of plant root:shoot ratios and internal nitrogen concentration. **Annals of Botany**, v.66, p.91-99, 1990.
- HUANTE, P.; RINCÓN, E.; ACOSTA, I. Nutrient availability and growth rate of 34 woody species from a tropical deciduous forest in Mexico. **Functional Ecology**, v.9, p.849-858, 1995.

- HUNT, R. **Plant growth curves the functional approach to plant growth analysis**. Ed. Edward Arnold, Londres, 1982. 248 p.
- HUNT, R.; CAUSTON, D.R; SHIPLEY, B.; ASKEW, A.P. A modern tool for classical plant growth analysis. **Annals of Botany**, v.90, p.485-488, 2002.
- HUNT, R.; CORNELISSEN, J.H.C. Components of relative growth rate and their interrelations in 59 temperate plant species. **New Phytologist**, v.135, p.395-417, 1997.
- ISHIZAKI, S.; HIKOSAKA, K.; HIROSE, T. Increase in leaf mass per area benefits plant growth at elevated CO₂ concentration. **Annals of Botany**, v.91, p.905-914, 2003.
- KOEPPE, W. **Climatologia**. Tradução: Pedro R. H. Perez. Buenos Aires, Gráfica Panamericana, 1948, 478p.
- KOLCHINSKI, E.M.; SCHUCH, L.O.B. Eficiência no uso do nitrogênio por cultivares de aveia branca de acordo com a adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.1033-1038, 2003.
- LAMBERS, H.; CHAPIN, F.S.; PONS, T.L. **Plant physiological ecology**. Springer-Verlag, New York. 1998.
- LAMBERS, H.; POORTER, H. Inherent variation in growth rate between higher plants: a search for ecological causes and consequences. **Advances in Ecological Research**, v.23, p.187-261, 1992.
- LOPES, N.F.; MAESTRI, M. Análise de crescimento e conservação de energia solar em populações de milho (*Zea mays* L.) em Viçosa, Minas Gerais. **Revista Ceres**, v.20, n.109, p.189-201, 1973.
- LUSK, C.; CONTRERAS, O.; FIGUEROA, J. Growth, biomass allocation and plant nitrogen concentration in Chilean temperate rainforest tree seedlings: effects of nutrient availability. **Oecologia**, v.109, p.49-58, 1997.
- MELO, P.C.T.; GRANJA, N.P; FILHO, H.S.M.; SUGAWARA, A.C.; OLIVEIRA, R.F. Análise do crescimento da cultivar de batata ágata. **Batata Show**, v.3, n.8, p. 16-17, 2003.
- MEYER, R.D.; MARCUM, D.B. Potato yield, petiole nitrogen and soil nitrogen response to water and nitrogen. **Agronomy Journal**, v.90, n.31, p.420-429, 1998.
- OSONE, Y.; TATENNO, M. Applicability and limitations of optimal biomass allocation models: a test of two species from fertile and infertile habitats. **Annals of Botany**, v.95, p.1211-1220, 2005.

- OSONE, Y.; ISHIDA, A.; TATENO, M. Correlation between relative growth rate and specific leaf area requires associations of specific leaf area with nitrogen absorption rate of roots. **New Phytologist**, v.179, p.417-427, 2008.
- POORTER, L. Growth responses of 15 rain-forest tree species to a light gradient: the relative importance of morphological and physiological traits. **Functional Ecology**, v.13, p.396-410, 1999.
- POORTER, H.; EVANS, J.R. Photosynthetic nitrogen-use efficiency of species that differ inherently in specific leaf area. **Oecologia**, v.116, p.26-37, 1998.
- POORTER, H.; NAGEL, O. The role of biomass allocation in the growth responses of plants to different levels of light, CO₂ and water: a quantitative review. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.27, p.595-607, 2000.
- RAMBURAN, S.; ZHOU, M.; LABUSCHAGNE, M. Interpretation of genotype × environment interactions of sugarcane: Identifying significant environmental factors. **Field Crops Research**, v.124, p.392-399, 2011.
- REICH, P.B.; TJOELKER, M.G.; WALTERS, M.B.; VANDERKLEIN, D.W.; BUSCHENA, C. Close association of RGR, leaf and root morphology, seed mass and shade tolerance in seedlings of nine boreal tree species grown in high and low light. **Functional Ecology**, v.12, p.327-338, 1998.
- SAEG - **Sistema para Análises Estatísticas**, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes - UFV – Viçosa/MG, 2007.
- SALISBURY, F.B.; ROSS, C.W. **Plant Physiology, Hormones and Plant Regulators: Auxins and Gibberellins**, 4th ed. Wadsworth Publishing, California, USA, p.357–381, 1992.
- SAVERIMUTTU, T.; WESTOBY, M. Components of variation in seedling potential relative growth rate: phylogenetically independent contrasts. **Oecologia**, v.105, p.281-285, 1996.
- SHIPLEY, B. Net assimilation rate, specific leaf area and leaf mass ratio: which is most closely correlated with relative growth rate? A meta-analysis. **Functional Ecology**, v.20, p.565-574, 2006.
- SILVA, M.C.C.; FONTES, P.C.R.; MIRANDA, G.V. Índice SPAD e produção de batata, em duas épocas de plantio, em função de doses de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, v.27, p.17-22, 2009.

- TEKALIGN, T.; HAMMES, P.S. Growth and productivity of potato as influenced by cultivar and reproductive growth II. Growth analysis, tuber yield and quality. **Scientia Horticulturae**, v.105, p.29-44, 2005.
- TIMLIN, D.; RAHMAN, S.M.L.; BAKER, J.; REDDY, V.R.; FLEISHER, D.; QUEBEDEAUX, B. Whole plant photosynthesis, development, and carbon partitioning in potato as a function of temperature. **Agronomy Journal**, v.98, p.1195-1203, 2006.
- WESTOBY, M.; FALSTER, D.S.; MOLES, A.T.; VESK, P.A.; WRIGHT, I.J. Plant ecological strategies: some leading dimensions of variation between species. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v.33, p.125-160, 2002.
- WRIGHT, I.J.; WESTOBY, M. Cross-species relationships between seedling relative growth rate, nitrogen productivity and root *vs* leaf function in 28 Australian woody species. **Functional Ecology**, v.14, p.97-107, 2000.
- YOSHIDA, H.; HORIE, T.; NAKAZONO, K.; OHNO, H.; NAKAGAWA, H. Simulation of the effects of genotype and N availability on rice growth and yield response to an elevated atmospheric CO₂ concentration. **Field Crops Research**, v.124, p.433-440, 2011.
- ZEBARTH, B.J.; DRURY, C.F.; TREMBLAY, N.; CAMBOURIS, A.N. Opportunities for improved fertilizer nitrogen management in production of arable crops in eastern Canada: A review. **Canadian Journal of Soil Science**, v.89, p.113-132, 2009.
- ZEBARTH, B.J.; LECLERC, Y.; MOREAU, G. Rate and timing of nitrogen fertilization of Russet Burbank potato: Nitrogen use efficiency. **Canadian Journal of Plant Science**, v.84, p.845-854, 2004.
- ZEBARTH, B.J.; ROSEN, C.J. Research perspective on nitrogen BMP development for potato. **American Journal of Potato Research**, v.84, p.3-18, 2007.

Tabela 1. Resumo da análise de variância da matéria seca dos tubérculos (MSTub, g/planta), razão de massa dos tubérculos (RMTub, g g⁻¹), taxa de crescimento relativo (TCR, mg g⁻¹ dia⁻¹) e taxa assimilatória líquida (TAL, g cm⁻² dia⁻¹), em função dos dias após a emergência (DAE) e das doses de 0, 300 e 600 kg ha⁻¹ de N, para as cultivares Ágata e Asterix

FV	GL	Quadrado Médio							
		Ágata		Asterix		Ágata		Asterix	
		MSTub	RMTub	TCR	TAL				
Bloco	3	35,7672	31,3697	0,000204	0,001461	19,5404	22,1612	1153631,0	1515686,0
Dose	2	1727,702**	802,6289**	0,0000237 ^{NS}	0,0003799 ^{NS}	1,5652 ^{NS}	2,0293 ^{NS}	(0,2530x10 ⁸)**	(0,1911x10 ⁸)**
Resíduo (a)	6	24,0001	66,5099	0,000134	0,001390	26,6208	24,6374	1092792,0	3197934,0
DAE	3	27025,50**	21173,69**	0,4255**	0,4576**	5624,604**	12886,81**	(0,8614x10 ⁸)**	(0,2951x10 ⁹)**
DAE x Dose	6	254,2622**	36,3251 ^{NS}	0,000811*	0,0009099 ^{NS}	48,6173*	94,1716**	1611109,0°	4545763,0*
Resíduo (b)	27	24,6002	27,4611	0,000291	0,0007364	15,3121	17,3910	692222,6	1603686,0
CV parcela (%)		6,40	10,67	1,57	5,29	13,66	13,10	19,17	27,43
CV subparcela (%)		6,48	6,85	2,30	3,85	10,36	11,00	15,25	19,42

^{NS}, ** e * - não-significativos e significativos ao nível de 1% e 5% de probabilidade, pelo teste F, respectivamente.

Tabela 2. Resumo da análise de variância da produção de nitrogênio foliar (PNF, g g⁻¹ N dia⁻¹), taxa de crescimento relativo dos tubérculos (TCRTub, mg g⁻¹ dia⁻¹), área foliar da planta (AFP, cm²/planta) e massa de matéria seca total (MST, g/planta), em função dos dias após a emergência (DAE) e das doses de 0, 300 e 600 kg ha⁻¹ de N, para as cultivares Ágata e Asterix

FV	GL	Quadrado Médio							
		Ágata		Asterix		Ágata		Asterix	
		PNF	TCRTub	AFP	MST				
Bloco	3	0,9363	1,9368	17,6735	105,9607	18689,93	18550,55	22,2149	16,9055
Dose	2	0,2436 ^{NS}	3,9756 ^{NS}	116,4966*	38,5088 ^{NS}	1388642,0**	846588,9**	2218,248**	1424,092**
Resíduo (a)	6	1,4930	4,4515	24,3288	73,7587	42437,31	93321,43	34,0005	55,8026
DAE	3	46,8017**	24,0286**	94738,90**	104913,6**	(0,1949x10 ⁸)**	(0,1967x10 ⁸)**	31823,15**	29850,90**
DAE x Dose	6	3,7140*	0,5732 ^{NS}	76,7708*	195,4524**	102603,9°	48929,42	236,5906**	76,2522*
Resíduo (b)	27	1,2946	1,8760	26,4883	39,7238	53653,10	69418,10	23,9685	29,1644
CV parcela (%)		18,62	4303	5,70	10,12	8,90	11,88	7,32	8,91
CV subparcela (%)		17,34	27,93	5,94	7,42	10,01	10,24	6,15	6,44

^{NS}, **, * e ° - não-significativos; significativos ao nível de 1%; 5% e 10% de probabilidade, pelo teste F, respectivamente.

Tabela 3. Resumo da análise de variância da razão de massa do caule (RMC, g g⁻¹), razão de massa foliar (RMF, g g⁻¹), razão de área foliar (RAF, cm² g⁻¹) e área foliar específica (AFE, cm² g⁻¹), em função dos dias após a emergência (DAE) e das doses de 0, 300 e 600 kg ha⁻¹ de N, para as cultivares Ágata e Asterix

FV	GL	Quadrado Médio							
		Ágata		Asterix		Ágata		Asterix	
		RMC		RMF		RAF		AFE	
Bloco	3	0,0003347	0,00006936	0,0003997	0,001180	192,1515	79,6930	227,0628	797,2026
Dose	2	0,0002668 ^{NS}	0,0001623 ^{NS}	0,0001669 ^{NS}	0,2259 ^{NS}	42,6255 ^{NS}	301,0813 ^{NS}	12,9541 ^{NS}	914,7983 ^{NS}
Resíduo (a)	6	0,0002451	0,0001445	0,00024	0,001840	64,5959	191,9160	533,0185	2528,678
DAE	4	0,1438 ^{**}	0,2057 ^{**}	0,8094 ^{**}	0,6192 ^{**}	58844,40 ^{**}	73678,11 ^{**}	73704,28 ^{**}	99717,68 ^{**}
DAE x Dose	8	0,00005345 ^{NS}	0,0004703 ^{NS}	0,0004805 ^{NS}	0,001068 ^{NS}	39,6839 ^{NS}	165,8409 ^{NS}	533,1192 ^{NS}	2312,451 [*]
Resíduo (b)	36	0,0002506	0,0004253	0,0003015	0,0006769	122,3058	235,9468	669,2605	953,3477
CV parcela (%)		12,20	7,63	5,55	15,39	12,79	20,94	12,94	27,62
CV subparcela (%)		12,34	13,08	6,21	9,33	17,60	23,21	14,50	16,95

^{NS} e ^{**} - não-significativos e significativos ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste F, respectivamente.

Tabela 4. Resumo da análise de variância da eficiência do uso N na folha (EUNF, g MS g⁻¹ N foliar), teor de N na planta (TNP, dag kg⁻¹) e do teor de N na Folha (TNF, dag kg⁻¹), em função dos dias após a emergência (DAE) e das doses de 0, 300 e 600 kg ha⁻¹ de N, para as cultivares Ágata e Asterix

FV	GL	Quadrado Médio					
		Ágata		Asterix		Ágata	
		EUNF		TNP		TNF	
Bloco	3	7867,781	6106,942	0,0141497	0,2300408	0,6924	0,6432
Dose	2	504,5588 ^{NS}	619,1999 ^{NS}	0,5743169 ^{**}	0,5835303 ^{**}	0,9946 ^{**}	1,1259 ^{**}
Resíduo (a)	6	2257,051	4094,948	0,02199922	0,06080403	0,1100307	0,1253
DAE	4	516040,3 ^{**}	270622,0 ^{**}	4,093442 ^{**}	10,19611 ^{**}	4,7953 ^{**}	4,2037 ^{**}
DAE x Dose	8	584,3189 ^{NS}	1071,647 ^{NS}	0,02172165 ^{NS}	0,05481477 ^{NS}	0,006350 ^{NS}	0,1792 ^{NS}
Resíduo (b)	36	1742,435	4731,414	0,04103192	0,06682142	0,1183	0,3017
CV parcela (%)		21,97	38,00	9,78	13,54	8,97	9,31
CV subparcela (%)		19,30	35,36	8,70	11,11	9,30	14,45

^{NS} e ^{**} - não significativos e significativos ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste F, respectivamente.

CAPÍTULO III

Dose de nitrogênio associada à produtividade de cultivares batata e nível crítico de índices avaliados em tempo real, em duas épocas de cultivo

1. Introdução

O nitrogênio (N) é nutriente essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Apesar do N ser abundante na atmosfera ($\pm 79\%$), não é facilmente disponível para as plantas, e sim, o N é preciso ser adicionado ao solo na sua maioria como fertilizantes. Ademais, os bataticultores fornecem grande quantidade de fertilizantes às plantas, com destaque para os nitrogenados.

A seleção da dose de N a ser aplicada é uma das decisões mais básicas, porém, a etapa mais importante é a decisão do manejo do fertilizante nitrogenado (Zebarth *et al.*, 2009). Dependendo do teor de N no solo ou doses insuficiente de N aplicada pode resultar em menor produtividade da cultura (Silva *et al.*, 2009; Coelho *et al.*, 2010; Fontes *et al.*, 2010) e qualidade dos tubérculos colhidos (Braun *et al.*, 2010). Por outro lado, o excesso de N aplicado pode aumentar o risco de perdas de N. Assim, a eficiência de aproveitamento do N aplicado ao solo pela batata é variável entre 48 a 77% (Zebarth *et al.*, 2004)), sendo que o restante é perdido por imobilização, volatilização (N_2O e NH_3), lixiviação, na forma de $N-NO_3$ e desnitrificação (Bélanger *et al.*, 2003; Zebarth & Rosen, 2007; Zebarth *et al.*, 2008a). Gasser *et al.* (2002) reportaram lixiviação de 116 kg ha^{-1} de $N-NO_3$ em sistemas de cultivo que receberam altas doses de N (177 a 303 kg ha^{-1} de N). Olivier *et al.* (2006) e Alva *et al.* (2011) reportaram que a baixa eficiência de absorção do N pela cultura da batata é devido ao seu sistema radicular ser superficial em relação a outras culturas, como os cereais, e o milho, por exemplo.

Neste cenário de perdas de N, a dose de N aplicada é maior em relação à dose de N ideal para a cultura (Zebarth *et al.*, 2009). Battilani *et al.* (2008) relataram que os produtores forneciam doses de N acima da ótima devido ter “insegurança da produtividade”. No entanto, é sabido que a cultura da batata responde a adição de N para seu crescimento, desenvolvimento, bem como o aumento da produtividade, embora os efeitos negativos causados pelo excesso de N são bem evidentes. Assim, para evitar esses efeitos negativos, um dos desafios dos pesquisadores é a busca de cultivares

que são capazes de absorver e acumular altas concentrações de N, ou aquelas cultivares que podem crescer, desenvolver e produzir sob condições de baixa disponibilidade de N, ou seja, cultivares eficientes, bem como trabalhar a sua base fisiológica (Hakeem *et al.*, 2011). Além da busca de cultivares eficientes, Zebarth & Rosen (2007) relataram que o uso de boas práticas de manejo do N é fundamental para maximizar a produtividade e qualidade dos tubérculos colhidos, bem como a redução das perdas de N. Assim, isto ajuda na melhoria da eficiência da absorção de N, bem como aumenta a eficiência de utilização do N para as culturas.

Melhoria na eficiência de utilização do N pode ser possível combinando o teor de N no solo junto à quantidade de N fornecida como fertilizante, durante todo o estágio de crescimento (Olivier *et al.*, 2006). De acordo com Vos & MacKerron (2000) e MacKerron (2000) a melhoria na eficiência do N poderá ser conseguida através do parcelamento da dose de N, combinado com a necessidade de N pela cultura e o suprimento de N pelo solo. A grande maioria dos bataticultores realiza a aplicação de toda a quantidade de N em pré-plantio, no entanto, o parcelamento da adubação nitrogenada não é uma prática atualmente utilizada. Zebarth *et al.* (2004) justificaram que o parcelamento é benéfico em solos de textura arenosa ou em condições de índice pluviométrico superior a média normal da região. Ademais, grande maioria dos agricultores fornece a quantidade de N empiricamente, ou seja, pela expectativa de produtividade ou pelas condições climáticas. Nesta última, em anos com maior índice pluviométrico, os agricultores fornecem a dose de N superior à dose ideal. Assim, é mais apropriado se a decisão de aplicar o fertilizante nitrogenado em cobertura fosse calcada em alguma característica da planta indicativa da necessidade do nutriente, pois a análise de solo ainda não tem sido utilizada (Fontes, 2011).

A cultura da batata é considerada exigente em N. Em experimento realizado na mesma localidade do atual experimento, Fontes *et al.* (2010) obtiveram doses de N variando de 168 a 212 kg ha⁻¹ de N, atingindo com estas doses a produtividade máxima de tubérculos de 33,1 e 32,3 t ha⁻¹, respectivamente (5 a 6,5 kg de N por tonelada de tubérculo colhido), sendo que a absorção de N é lenta no início do ciclo e tornando mais eficiente por volta dos 15 dias após a emergência (Nunes *et al.*, 2006).

Uma das maneiras mais eficazes para atender os aspectos econômicos e ambientais é coincidir o momento da aplicação de N com a maior demanda pela cultura (Zebarth *et al.*, 2009). Devido à mobilidade do N no solo e sua concentração ser variável entre locais e anos (Olf *et al.*, 2005), isto levou ajustar a dose de N às necessidades da

planta utilizando índice oriundo de algum procedimento analítico executado, principalmente, em tempo real (Goffart *et al.*, 2008).

Uma série de produtos e meios ópticos foram utilizados para a avaliação do estado nitrogenado (Olf *et al.*, 2005). Assim, os índices de N na planta mais comumente utilizados para avaliação do estado de N em tempo real são análise do teor de nitrato na seiva do pecíolo por meio de microeletrodo (Porter & Sisson, 1991; Westcott *et al.*, 1991; Ronchi *et al.*, 2001), fita indicadora seletiva para nitrato (Araújo *et al.*, 2003) e medidor portátil de clorofila SPAD-502 (Vos & Bom, 1993; Minotti *et al.*, 1994; Goffart *et al.*, 2008; Huang *et al.*, 2008; Silva *et al.*, 2009; Busato *et al.*, 2010; Coelho *et al.*, 2010). Adicionalmente, há tentativas de utilizar determinadas características fisiológicas ou biométricas da planta, em condição de adequado suprimento dos demais nutrientes, tanto como índice do estado de N na planta (Coelho & Fontes, 2005) quanto para o controle da dose de N (Fontes & Araújo, 2006).

É importante em estudo de avaliação do estado nitrogenado de plantas estimar a dose ótima econômica de N (DOEN), principalmente devido as preocupações econômicas e ambientais. Com a constante variação no custo dos fertilizantes nitrogenados nos últimos anos, os agricultores necessitam adequar o manejo da adubação para que não apliquem doses baixas ou elevadas, acarretando redução da lucratividade. Assim, segundo Fontes *et al.* (2010) a taxa mais rentável de aplicação de N é influenciada pela relação de preço do N e batata (R\$ kg⁻¹:R\$ kg⁻¹). Dessa forma, há poucos estudos na literatura visando determinar a DOEN para que o agricultor possa racionalizar os custos de produção e auferir maiores lucros com as lavouras de batata.

Diante disso, objetivou-se com este trabalho avaliar, em duas épocas de cultivo das cultivares Ágata e Atlantic:

- a) o efeito das doses de nitrogênio (N) aplicadas em pré-plantio e cobertura sobre os índices fisiológicos e nitrogenados na planta;
- b) determinar a dose ótima de N associada à máxima produtividade física e econômica de tubérculos de cultivares de batata;
- c) correlacionar os índices com a produtividade comercial;
- d) estimar o valor do nível crítico para as variáveis dependentes avaliadas.

2. Material e Métodos

2.1 Localização e caracterização da área do experimento

Foram instalados quatro experimentos no campo. Dois experimentos, simultaneamente, no campo, foram conduzidos na época seca, com irrigação suplementar, no período de 12 de maio a 06 de setembro de 2010 e outros dois experimentos, simultaneamente, no campo, foram realizados na época chuvosa, de 20 de dezembro de 2010 a 21 de março de 2011. Os experimentos foram conduzidos na Horta Nova de Pesquisas do Departamento de Fitotecnia (DFT) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), a 693 m de altitude, a uma latitude de 20°45' sul e longitude de 42°51' oeste. O município de Viçosa-MG apresenta classificação de Köppen (1948) do tipo Cwa, caracterizado pelo clima tropical de altitude, com chuvas de verão e seca de inverno.

Durante os experimentos, na época seca, os valores médios mensais de temperaturas máxima e mínima do ar foram 24,8 e 11,3 °C e a umidade relativa e precipitação pluvial acumulada foram 76,5% e 9,6 mm, respectivamente. Na época chuvosa, os valores médios mensais de temperaturas máxima e mínima do ar foram 29,8 e 19,3 °C e a umidade relativa e precipitação pluvial acumulada foram 81,5% e 688,6 mm, respectivamente. Os dados climáticos foram coletados diariamente na estação meteorológica da Horta Velha de pesquisa do Departamento de Fitotecnia da UFV, localizada a três quilômetros da área onde foram conduzidos os experimentos.

O solo da área experimental foi classificado como Podzólico Vermelho-Amarelo Câmbico (Embrapa, 1999) e suas características químicas e físicas foram determinadas pela análise de amostras das camadas de 0-20 cm de profundidade, realizada antes da instalação dos experimentos. O resultado das características do solo amostrada antes da instalação dos experimentos encontra-se na Tabela 1.

2.2 Delineamento experimental e tratamentos

Em cada época de cultivo, cada experimento correspondeu a uma cultivar de batata: Ágata e Atlantic e consistiu de cinco doses de N (0; 50; 100; 200 e 300 kg ha⁻¹ de N) aplicadas no sulco em pré-plantio e quatro doses de N aplicadas em cobertura (0; 100; 200 e 300 kg ha⁻¹ de N). Foi utilizada a ureia com fonte de N (44% de N). Nas

parcelas aplicaram-se as doses de N em pré-plantio e nas subparcelas as doses de N em cobertura. A aplicação das doses de N em pré-plantio foi realizada no sulco de plantio e as doses de N em cobertura foram distribuídas nos dois lados das plantas, ao longo da fileira, aos 21 dias após a emergência (DAE), realizando-se em seguida a amontoa. Os experimentos foram instalados em esquema de parcela subdividida, com quatro repetições, no delineamento em blocos casualizados. A parcela mediu 4,0 m x 3,0 m, sendo composta de quatro fileiras de plantas, espaçadas de 0,75 m entre fileiras e 0,25 m entre plantas. A subparcela mediu 1,0 m x 3,0 m, totalizando quatro plantas úteis por subparcela. As duas fileiras externas e as duas plantas das extremidades das fileiras centrais foram consideradas como bordaduras.

Tabela 1. Características químicas e físicas da camada do solo de 0-20 cm de profundidade, antes da instalação dos experimentos realizados na época seca e chuvosa

Características químicas e físicas	Experimento/Época	
	Seca	Chuvosa
pH em água – 1:2,5	5,9	5,1
Matéria orgânica (MO) (dag kg ⁻¹) ¹	2,6	2,2
Fósforo (P) (mg dm ⁻³) ²	50,5	50,2
Potássio (K) (mg dm ⁻³) ²	104	77
Cálcio (Ca ²⁺) (cmol _c dm ⁻³) ³	3,9	1,4
Magnésio (Mg ²⁺) (cmol _c dm ⁻³) ³	0,8	0,4
Acidez trocável (Al ³⁺) (cmol _c dm ⁻³) ³	0,00	0,2
Acidez potencial (H ⁺ + Al ³⁺) (cmol _c dm ⁻³) ⁴	2,81	3,13
Soma de bases (SB) (cmol _c dm ⁻³)	4,97	2,00
CTC efetiva (t) (cmol _c dm ⁻³)	4,97	2,20
CTC a pH 7,0 (I) (cmol _c dm ⁻³)	7,78	5,13
Saturação por bases (V) (%)	64	49
P-remanescente (mg dm ⁻³)	27,2	36,9
Zinco (Zn) (mg dm ⁻³)	9,9	8,8
Ferro (Fe) (mg dm ⁻³)	81,5	26,9
Manganês (Mn) (mg dm ⁻³)	132,4	92,0
Cobre (Cu) (mg dm ⁻³)	2,9	2,7
Boro (B)(mg dm ⁻³)	0,9	0,1
Areia (%)	13	24
Argila (%) ⁶	23	27
Silte (%)	64	49
Classificação textural	Muito argilosa	Argilosa

¹ MO = C.Org x 1,724 – Walkley-Black; ² Extrator Mehlich 1; ³ Extrator KCl 1 mol.L⁻¹; ⁴ Extrator Acetato de cálcio 0,5 mol.L⁻¹ pH 7,0.

2.3 Instalação e condução dos experimentos no campo

Previamente, a área do experimento foi submetida a dois plantios sucessivos de milho, sem utilização de adubo nitrogenado, com o objetivo de reduzir o N disponível

no solo. As plantas de milho foram cortadas mecanicamente e retiradas da área. Após a retirada do milho da área foi efetuada a amostragem do solo para cálculo da calagem e caracterização química e física. Em seguida realizou-se aração profunda do solo com arado de aiveca e duas passagens de grade niveladora, com posterior sulcamento. Em seguida, realizou-se a adubação de pré-plantio com macro e micronutrientes.

As quantidades de fertilizantes aplicados no sulco de plantio foram: 1800 kg ha⁻¹ de superfosfato simples (18% de P₂O₅), 500 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio (60% de K₂O), 200 kg ha⁻¹ de sulfato de magnésio (9% de Mg), 10 kg ha⁻¹ de bórax (11% de B), 10 kg ha⁻¹ de sulfato de zinco (22% de Zn), 10 kg ha⁻¹ de sulfato de cobre (24% de Cu) e 0,5 kg ha⁻¹ de molibdato de sódio (39% de Mo).

O plantio dos tubérculos foi realizado em sulcos utilizando-se batatas-semente certificadas, de tamanho uniforme, em torno de 70 g, previamente brotadas, com brotos de aproximadamente 3 cm. Houve tratamento de quebra de dormência dos tubérculos da cultivar Atlantic com ácido giberélico na concentração de 10 ppm.

Durante o período experimental foram realizadas pulverizações para o controle de pragas e doenças, de acordo com a necessidade. Foi utilizado defensivo químico com ingredientes ativos Carbofuran, Mancozeb, Oxicloreto de Cobre e Deltametrin. Na época seca foi realizada irrigação complementar procurando-se manter a umidade do solo próxima a capacidade de campo, com suspensão da irrigação uma semana antes da colheita dos tubérculos.

2.4 Características dependentes avaliadas

Aos 42 DAE foram colhidas duas plantas representativas de cada subparcela, entre 7 e 9h. As plantas foram acondicionadas em sacos plásticos contendo gotículas de água, e posteriormente foram levados ao laboratório. Nas duas épocas de plantio foram avaliadas as seguintes características:

2.4.1. Área foliar

No laboratório, foi determinada a área foliar da QF (AFQF, cm²/planta) e da planta (AFP, cm²/planta), utilizando o integrador de área foliar modelo WinDias – Delta T Image Analysis System Delta - T – Devices LTD.

2.4.2 Massa de matéria seca

As massas de matéria fresca da planta (quarta folha - QF, folhas, caules e tubérculos) foram acondicionadas em sacos de papel e posteriormente colocadas em estufa de ventilação forçada de ar a 70 °C, até atingir massa constante. Em seguida foi determinada a massa de matéria seca da QF (MSQF, cm²/planta), do caule (MSC, cm²/planta), das folhas (MSF, cm²/planta) e dos tubérculos (MSTub, g/planta). A massa de matéria seca total (MST, g/planta) foi obtida pela soma de todas as partes da planta.

2.4.3 Razão de área foliar e área foliar específica

Calculou-se a razão de área foliar (RAF, cm² g⁻¹) pela relação entre a AFP (cm²/planta) e a MST (g/planta). A área foliar específica da planta (AFEP, cm² g⁻¹) e da QF (AFEQF, cm² g⁻¹) foram obtidas, respectivamente, pela relação entre a AFP (cm²/planta) e MSF (g/planta) e pela relação entre a AFQF (cm²/planta) e MSQF (g/planta).

2.4.4 Teor e conteúdo de N

As massas de matéria seca da planta (quarta folha - QF, folhas e caule) foram moídas em moinho tipo Wiley, equipado com peneira de 20 mesh, para determinação do teor de N_{orgânico}, após digestão sulfúrica utilizando-se o reagente de Nessler (Jackson, 1958). Em outra subamostra, o N-NO₃⁻ foi extraído com água desmineralizada em banho-maria a 45 °C por 1 h, determinando-se a concentração de N-NO₃⁻ por colorimetria, em espectrofotômetro a 410 nm (Cataldo *et al.*, 1975). O teor de N_{total} foi obtido por meio da soma dos teores de N_{orgânico} e N-NO₃⁻ (Araújo, 2004). A multiplicação do teor de N_{total} na massa de matéria seca da QF, expresso em dag kg⁻¹, pela massa da matéria seca da QF, expressa em kg ha⁻¹, forneceu o conteúdo de N_{total} da QF, em kg ha⁻¹.

2.4.5 Teor de N na QF e na folha por área

O teor de N na QF por área ($TNT-QF_A$, $g\ cm^{-2}$) e na folha por área ($TNT-F_A$, $g\ m^{-2}$) foi obtido pelo produto entre o $TNT-QF$ ($g\ g^{-1}$) e teor de N na folha ($TNT-F$, $g\ g^{-1}$) por $1/AFEQF$ ($cm^2\ g^{-1}$) e $1/AFEP$ ($cm^2\ g^{-1}$), respectivamente. O $TNT-QF$ ($g\ g^{-1}$) e $TNT-F$ ($g\ g^{-1}$) foi obtido pela divisão do $TNT-QF$ ($dag\ kg^{-1}$) e $TNT-F$ ($dag\ kg^{-1}$) por 100, respectivamente.

2.4.6 Eficiência do uso do N

A eficiência do uso do N (EUN) na QF ($EUNQF$, $g\ g^{-1}$) e na folha ($EUNF$, $g\ g^{-1}$) foi calculada pelas seguintes relações:

$$EUNQF = \frac{MST}{MSQF \times TNTQF} \text{ e } EUNF = \frac{MST}{MSF \times TNTF}$$

Onde a MST, MSQF e MSF, são expressas em g/planta e o TNT-QF e TNT-F, expressos em $g\ g^{-1}$. Posteriormente, os valores foram transformados para $kg\ MS\ kg\ N$ foliar.

2.4.7 Índice SPAD e colorímetro

Nestas plantas coletadas (ver item 2.4), em cada QF foi determinado o índice SPAD, obtido com o medidor portátil SPAD-502, em medição realizada no folíolo terminal da QF a partir do ápice da planta. Efetuaram-se cinco leituras em cada QF, a partir das quais foi obtida a média para cada QF amostrada. A média das leituras realizadas na QF das duas plantas colhidas representou o valor da subparcela. Na mesma QF, colocada sobre a superfície de uma folha de papel branca, para evitar a interferência da superfície nas leituras de reflectância, também foi realizada a quantificação dos parâmetros L', C e °h (McGuire, 1992) com o colorímetro CR-400 da Konica Minolta. Com estes parâmetros foi calculada a relação $^{\circ}h/(L' * C)$.

2.4.8 Teor de clorofila extraível na QF

O teor de clorofila foi determinado coletando-se cinco discos de 11 mm de diâmetro, no folíolo terminal da QF, e em seguida colocados em tubos de ensaio,

contendo 5 mL de N,N-dimetilformamida, devidamente envolvidos com papel alumínio para proteção da luz. Estes tubos foram tampados com filme de PVC para evitar o vazamento do reagente e, posteriormente, com papel alumínio. Em seguida, os tubos foram acondicionados em geladeira a 4 °C por 10 dias. Ao fim deste período foi realizada a leitura em espectrofotômetro nos comprimentos de onda de 647 (A_{647}) e 664,5 nm ($A_{664,5}$). A partir das leituras realizadas em espectrofotômetro determinou-se o teor das clorofilas *a* (TCHL_a), *b* (TCHL_b) e total (TCHL_{total}), utilizando as equações propostas por Inskeep & Bloom (1985). As clorofilas *a*, *b* e *total* foram calculadas pelas seguintes equações:

$$\begin{aligned} \text{TCHL}_a (\mu\text{g cm}^{-2}) &= 12,63 * A_{664,5} - 2,52 * A_{647}; \\ \text{TCHL}_b (\mu\text{g cm}^{-2}) &= 20,47 * A_{647} - 4,73 * A_{664,5} \text{ e,} \\ \text{TCHL}_{\text{total}} (\mu\text{g cm}^{-2}) &= 17,95 * A_{647} + 7,90 * A_{664,5} \end{aligned}$$

2.4.9 Parâmetros estruturais da QF

Os parâmetros estruturais da QF foram baseados na metodologia descrita por Serrano (2008). Foram coletadas duas QF de cada subparcela. Em cada QF foi determinado a espessura (EQF, mm), obtido com o micrômetro de mola (Spring-loaded micrometer), em medição realizada no folíolo terminal da QF a partir do ápice da planta. Em cada QF efetuaram-se três leituras, a partir das quais foi obtida a média para cada QF amostrada. A média das leituras realizadas na QF das duas folhas coletadas representou o valor da subparcela. Em seguida foi calculada a área de massa de folha (LMA, g cm⁻²) e a densidade de massa da folha (LMD, g cm⁻³) pelas seguintes relações:

$$LMA = \frac{MSQF}{AFQF} \text{ e } LMD = \frac{LMA}{EQF}, \text{ onde EQF representa a espessura da QF, em mm.}$$

De acordo com Danson *et al.* (1992) foi calculada a espessura de água equivalente (EWT, g m⁻²) pela seguinte relação:

$$EWT = \frac{(MFQF - MSQF)}{AFQF}$$

2.4.10 Produtividade comercial

Uma semana após o total secamento da parte aérea, que ocorreu aos 98 e 76 dias após a completa emergência das plantas, na época seca e chuvosa, para as duas cultivares (Ágata e Atlantic), respectivamente, os tubérculos de duas plantas de cada

sub-parcela foram colhidos e determinados à produção comercial de tubérculos (PCTU, t ha⁻¹) (sem ataques de pragas, doenças, embonecamento, esverdeamento, dano mecânico, rachadura e maiores que 3,3 cm de diâmetro longitudinal).

2.5 Análise estatística

2.5.1 Análise conjunta das épocas seca e chuvosa

Para cada variável dependente avaliada foi realizada uma análise conjunta envolvendo os dois experimentos (cultivar Ágata e Atlantic) e as duas épocas de cultivo (seca e chuvosa). A análise conjunta foi realizada com o objetivo de comparar os dois experimentos e as duas épocas de cultivo.

Foi realizado o desdobramento das interações independente de serem ou não significativas. O desdobramento foi realizado da seguinte forma:

a) foram ajustados modelos para expressar a relação entre as variáveis dependentes e as variáveis independentes (doses de N em pré-plantio e cobertura), para cada época de cultivo, nas duas cultivares, Ágata e Atlantic. Os modelos foram escolhidos com base no sentido biológico, na significância dos coeficientes de regressão utilizando o nível de até 10% de probabilidade, pelo teste “t”, e no coeficiente de determinação, sendo calculado pela relação ($R^2 = SQ_{Regressão}/SQ_{Tratamento}$).

b) a comparação das médias entre as cultivares (Ágata e Atlantic) e épocas de cultivo (seca e chuvosa) foram realizadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Foi calculada a dose ótima de N (DON) que proporcionou a máxima eficiência física (MEF) e a dose ótima econômica de N (DOEN) que proporcionou a máxima eficiência econômica (MEE), para as cultivares Ágata e Atlantic, respectivamente, na época seca e chuvosa.

A DON foi obtida igualando-se a primeira derivada da equação da PCTU em resposta as doses de N em pré-plantio e cobertura a zero. A DOEN foi obtida igualando-se a primeira derivada da equação da PCTU em resposta as doses de N em pré-plantio e cobertura à relação entre o preço médio de uma unidade de N (ureia) (0,71 R\$/kg de N) e o preço médio de uma unidade do produto colhido (tubérculos de batata) (1,38 R\$/kg de batata) dos últimos cinco anos (jan/2006 a dez/ 2011) junto ao

Instituto de Economia Agrícola de São Paulo. A relação média dos preços (R\$ kg⁻¹ ureia: R\$ kg⁻¹ batata) foi 1,94.

A DON e a DOEN foram aplicadas nas equações estabelecidas para cada variável em função das doses de N de modo a obter o valor ótimo, associados à dose de N que proporcionou a MEF e a MEE (Fontes, 2001; Fontes & Ronchi, 2002).

O software estatístico utilizado para a execução das análises estatísticas foi o Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas (SAEG versão 9.1).

3.0 Resultados

3.1. Índices fisiológicos, nitrogenados e parâmetros estruturais na QF, quantificados na época seca e chuvosa

Os valores mínimo e máximo das variáveis dependentes avaliadas (índices fisiológicos e nitrogenados), referente às duas épocas de cultivo ($n=320$) estão apresentados na Tabela 2.

Os valores mínimo e máximo das variáveis dependentes avaliadas (parâmetros estruturais da quarta folha - QF), referente às duas épocas de cultivo ($n=320$) estão apresentados na Tabela 3.

O efeito das variáveis independentes [doses de N em pré-plantio (NNP, kg ha⁻¹ de N) e cobertura, kg ha⁻¹ de N] sobre as variáveis dependentes avaliadas (índices fisiológicos e nitrogenados), para as cultivares Ágata e Atlantic, determinados aos 42 dias após a emergência (DAE), na época seca e chuvosa, está apresentado nas Tabelas 4 e 6, respectivamente.

O efeito das variáveis independentes [doses de N em pré-plantio (NNP, kg ha⁻¹ de N) e cobertura, kg ha⁻¹ de N] sobre as variáveis dependentes avaliadas (parâmetros estruturais da QF), determinados aos 42 dias após a emergência (DAE) e a produtividade comercial de tubérculos, para as cultivares Ágata e Atlantic, na época seca e chuvosa, está apresentado nas Tabelas 5 e 7, respectivamente.

Tabela 2. Valores mínimos e máximos das variáveis dependentes (índices fisiológicos, nitrogenados e produtividade comercial), ($n=320$)

Variável dependente	Abreviatura	Unidade	Valor	
			Mínimo	Máximo
Índices Fisiológicos				
Área foliar da planta	AFP	cm ² /planta	556,40	6020,63
Área foliar da QF	AFQF	cm ² /planta	100,81	407,14
Área foliar específica da QF	AFEQF	cm ² g ⁻¹	177,92	525,60
Área foliar específica da planta	AFEP	cm ² g ⁻¹	55,86	340,82
Razão de área foliar	RAF	cm ² g ⁻¹	12,80	91,34
Massa seca da QF	MSQF	g/planta	0,34	1,22
Massa seca total	MST	g/planta	29,94	118,70
Ângulo hue	°h	-	103,35	122,60
Brilho	L'	-	32,65	48,30
Cromaticidade	C	-	20,10	40,20
°h/(L'*C)	-	-	0,0595	0,1464
Índices Nitrogenados				
SPADQF	-	-	20,0	45,40
Teor de clorofila <i>total</i>	TCHL _{total}	µg cm ⁻²	69,69	247,30
Teor de clorofila <i>a/b</i>	TCHL _{a/b}	µg cm ⁻²	0,72	9,17
Teor de N total na QF	TNT-QF	g kg ⁻¹	24,37	63,17
Eficiência de uso do N na QF	EUNQF	kg kg ⁻¹	0,87	5,46
Teor de N total na QF por área	TNT-QF _A	g m ⁻²	0,64	2,54
Conteúdo de N-total na QF	CNT-QF	kg ha ⁻¹	0,45	3,55
Teor de N total na folha	TNT-F	g kg ⁻¹	15,67	60,78
Eficiência do uso do N na folha	EUNF	kg kg ⁻¹	0,056	0,32
Teor de N total na folha por área	TNT-F _A	g m ⁻²	1,02	4,09
Teor de N total no caule	TNT-C	g kg ⁻¹	7,92	35,47
Produtividade comercial	PCTU	t ha ⁻¹	13,84	52,48

n =número de dados observados nas duas épocas de cultivo;

MS = massa de matéria seca;

MF=massa de matéria fresca;

QF= quarta folha.

Tabela 3. Valores mínimos e máximos das variáveis dependentes (parâmetros estruturais da QF), ($n=320$)

Variável dependente	Abreviatura	Unidade	Valor	
			Mínimo	Máximo
Parâmetro estrutural da QF				
Espessura da QF	EQF	mm	0,25	0,48
Densidade da massa foliar	LMD	g dm ⁻³	54,29	156,78
Espessura equivalente	EWT	g m ⁻²	86,26	538,22
Razão massa seca e fresca da QF	MS MF ⁻¹	g g ⁻¹	0,0713	0,253

n =número de dados observados nas duas épocas de cultivo;

MS = massa de matéria seca;

MF=massa de matéria fresca;

QF= quarta folha.

Tabela 4. Efeito das variáveis independentes [doses de N em pré-plantio (NPP, kg ha⁻¹) e cobertura, kg ha⁻¹] sobre as variáveis dependentes (índices fisiológicos e nitrogenados), para as cultivares Ágata e Atlantic, aos 42 dias após a emergência (DAE), na época seca

Variável dependente	Unidade	Efeito de doses de N (kg ha ⁻¹)			
		NPP		Cobertura	
		Ágata		Atlantic	
Índices Fisiológicos					
Área foliar da planta	g/planta	Q ¹	Q	Q	Q
Área foliar da quarta folha	g/planta	Q	Q	Q	L
Área foliar específica da QF	cm ² g ⁻¹	Q	L	Q	NS
Área foliar específica da planta	cm ² g ⁻¹	Q	L	Q	Q
Razão de área foliar	cm ² g ⁻¹	Q	NS	NS	NS
Massa seca da quarta folha	g/planta	Q	Q	L	L
Massa seca total	g/planta	Q	Q	Q	Q
Ângulo hue	°h	Q	Q	Q	Q
Brilho	L'	L	L	L	NS
Cromaticidade	C	L	L	Q	NS
°h/(L'*C)	-	Q	Q	L	NS
Índices Nitrogenados					
SPADQF	-	Q	NS	Q	NS
Teor de clorofila <i>total</i>	µg cm ⁻²	Q	Q	Q	Q
Teor de clorofila <i>a/b</i>	µg cm ⁻²	NS	NS	Q	Q
Eficiência do uso do N na QF	kg kg ⁻¹	Q	Q	L	Q
Teor de N total na quarta folha	g kg ⁻¹	Q	NS	Q	NS
Teor de N total na QF por área	g m ⁻²	NS	NS	NS	NS
Conteúdo de N-total na QF	kg ha ⁻¹	Q	Q	Q	L
Teor de N total na folha	g kg ⁻¹	L	NS	L	NS
Eficiência do uso do N na folha	kg kg ⁻¹	Q	NS	NS	NS
Teor de N total na folha por área	g m ⁻²	NS	NS	L	L
Teor de N total no caule	g kg ⁻¹	Q	NS	L	NS

¹NS, L e Q: não-significativos, linear e quadrático, respectivamente.

Tabela 5. Efeito das variáveis independentes [doses de N em pré-plantio (NPP, kg ha⁻¹) e cobertura, kg ha⁻¹] sobre as variáveis dependentes (parâmetros estruturais da QF e produtividade comercial), para as cultivares Ágata e Atlantic, aos 42 dias após a emergência (DAE), na época seca

Variável dependente	Unidade	Variável independente			
		Doses de N (kg ha ⁻¹)		Cobertura	
		NPP		Cobertura	
Parâmetros estruturais da QF					
		Ágata		Atlantic	
Espessura da quarta folha	mm	Q ¹	Q	Q	Q
Densidade da massa foliar	g dm ⁻³	NS	NS	NS	NS
Espessura equivalente	g m ⁻²	NS	NS	Q	Q
Razão massa seca e fresca da QF	g g ⁻¹	Q	Q	NS	NS
Produtividade comercial	t ha ⁻¹	Q	NS	Q	NS

¹NS, L e Q: não-significativos, linear e quadrático, respectivamente.

Tabela 6. Efeito das variáveis independentes [doses de N em pré-plantio (NNP, kg ha⁻¹) e cobertura, kg ha⁻¹] sobre as variáveis dependentes (índices fisiológicos e nitrogenados), para as cultivares Ágata e Atlantic, aos 42 dias após a emergência (DAE), na época chuvosa

Variável dependente	Unidade	Variável independente			
		Doses de N (kg ha ⁻¹)			
		NPP	Cobertura	NPP	Cobertura
		Ágata		Atlantic	
Índices Fisiológicos					
Área foliar da planta	g/planta	Q ¹	Q	L	L
Área foliar da quarta folha	g/planta	Q	Q	Q	L
Área foliar específica da QF	cm ² g ⁻¹	Q	Q	Q	L
Área foliar específica da planta	cm ² g ⁻¹	Q	L	NS	NS
Razão de área foliar	cm ² g ⁻¹	Q	Q	Q	L
Massa seca da quarta folha	g/planta	Q	Q	Q	Q
Massa seca total	g/planta	Q	Q	L	L
Ângulo hue	°h	Q	Q	Q	Q
Brilho	L'	L	L	L	L
Cromaticidade	C	L	L	Q	Q
°h/(L'*C)	-	L	L	Q	L
Índices Nitrogenados					
SPADQF	-	L	L	L	L
Teor de clorofila <i>total</i>	µg cm ⁻²	Q	L	Q	Q
Teor de clorofila <i>a/b</i>	µg cm ⁻²	L	L	NS	NS
Teor de N total na quarta folha	g kg ⁻¹	L	L	Q	Q
Eficiência do uso do N na QF	kg kg ⁻¹	NS	NS	Q	Q
Teor de N total na QF por área	g m ⁻²	NS	NS	Q	Q
Conteúdo de N-total na QF	kg ha ⁻¹	Q	Q	Q	Q
Teor de N total na folha	g kg ⁻¹	L	L	Q	Q
Eficiência do uso do N na folha	kg kg ⁻¹	Q	Q	Q	Q
Teor de N total na folha por área	g m ⁻²	Q	L	NS	NS
Teor de N total no caule	g kg ⁻¹	L	L	L	L

¹NS, L e Q: não-significativos, linear e quadrático, respectivamente.

Tabela 7. Efeito das variáveis independentes [doses de N em pré-plantio (NNP, kg ha⁻¹) e cobertura, kg ha⁻¹] sobre as variáveis dependentes (parâmetros estruturais da QF e produtividade comercial), para as cultivares Ágata e Atlantic, aos 42 dias após a emergência (DAE), na época chuvosa

Variável dependente	Unidade	Variável independente			
		Doses de N (kg ha ⁻¹)			
		NPP	Cobertura	NPP	Cobertura
		Ágata		Atlantic	
Parâmetros estruturais da QF					
Espessura da quarta folha	mm	Q	Q	L	L
Densidade da massa foliar	g dm ⁻³	L	L	Q	NS
Espessura equivalente	g m ⁻²	NS	NS	NS	NS
Razão massa seca e fresca da QF	g g ⁻¹	NS	NS	NS	NS
Produtividade comercial	t ha ⁻¹	Q	Q	Q	Q

¹NS, L e Q: não-significativos, linear e quadrático, respectivamente.

3.1.1 Equações ajustadas das variáveis dependentes em função das doses de N em pré-plantio e cobertura, na época seca

As equações ajustadas que representam as variáveis dependentes (índices fisiológicos, nitrogenados e parâmetros estruturais da QF), em função das doses de N em pré-plantio e cobertura, para as cultivares Ágata e Atlantic, determinadas aos 42 DAE, na época seca, estão mostradas nas Tabelas 8 a 10.

As equações ajustadas que representam a produtividade comercial de tubérculos (PCTU, t ha⁻¹), em função das doses de N em pré-plantio, para as cultivares Ágata e Atlantic, na época seca, estão mostradas na Figura 1.

Na época seca, não houve efeito das doses de N em cobertura, para as duas cultivares de batata. A máxima produtividade comercial de tubérculos foi 47,35 e 44,97 t ha⁻¹, obtidas com as doses de N que proporcionou a máxima eficiência física (MEF) de 172,30 e 198,50 kg ha⁻¹ de N em pré-plantio, para as cultivares Ágata e Atlantic, na época seca.

As doses de N para a máxima eficiência econômica (MEE) foi 169,30 e 193 kg ha⁻¹ de N em pré-plantio, resultando produtividade comercial de 47,35 e 44,96 t ha⁻¹, para as cultivares Ágata e Atlantic, na época seca.

Tabela 8. Equações ajustadas para a área foliar (AF) da planta (AFP, cm²/planta), da quarta folha (AFQF, cm²/planta), específica da QF (AFEQF, cm² g⁻¹), específica da planta (AFEP, cm² g⁻¹), razão de área foliar (RAF, cm² g⁻¹), massa de matéria seca (MS) da QF (MSQF, g/planta), total (MST, g/planta), teor de clorofila total (TCHL_{total}, µg cm⁻²), relação entre o teor de clorofila *a* e *b* (TCHL_{a/b}, µg cm⁻²), espessura da QF (EQF, mm), densidade de massa foliar (LMD, g dm⁻³), espessura equivalente (EWT, g m⁻²), em função das doses de N em pré-plantio (NPP, kg ha⁻¹ de N) e cobertura (C, kg ha⁻¹ de N), na época seca

Cultivares	Abreviatura	Equações ajustadas	R ²
Ágata	AFP	$\hat{y} = 2734,26 + 11,0299^{**}NPP - 0,0279063^{**}NPP^2 + 4,36901^{**}C - 0,0101197^{*}C^2$	0,86
Atlantic		$\hat{y} = 3361,63 + 6,91954^{**}NPP - 0,00947690^{**}NPP^2 + 7,13765^{*}C - 0,0166715^{*}C^2$	0,97
Ágata	AFQF	$\hat{y} = 225,102 + 0,539392^{**}NPP - 0,00144858^{**}NPP^2 + 0,149572^{*}C - 0,000412088^{*}C^2$	0,91
Atlantic		$\hat{y} = 232,05 + 0,611632^{**}NPP - 0,00148590^{**}NPP^2 + 0,0776171^{*}C$	0,87
Ágata	AFEQF	$\hat{y} = 285,168 + 0,250474^{**}NPP - 0,000504336^{**}NPP^2 + 0,0268697^{*}C$	0,74
Atlantic		$\hat{y} = 274,359 + 0,549788^{**}NPP - 0,00146248NPP^2$	0,74
Ágata	AFEP	$\hat{y} = 174,35 + 0,177117^{**}NPP - 0,000453385^{**}NPP^2 + 0,0224939^{*}C$	0,55
Atlantic		$\hat{y} = 192,285 + 0,1124536^{**}NPP - 0,000195787^{*}NPP^2 + 0,115632^{*}C - 0,000170977^{*}C^2 - 0,000330117^{**}NPP \times C$	0,72
Ágata	RAF	$\hat{y} = 44,0035 + 0,0620873^{**}NPP - 0,000152224^{**}NPP^2$	0,55
Atlantic		$\hat{y} = 54,23$	-
Ágata	MSQF	$\hat{y} = 0,802047 + 0,000987688^{**}NPP - 0,00000288857^{**}NPP^2 + 0,000404308^{*}C - 0,00000132875^{*}C^2$	0,69
Atlantic		$\hat{y} = 0,870816 + 0,000209849^{**}NPP + 0,0001998^{*}C$	0,77
Ágata	MST	$\hat{y} = 63,9261 + 0,136736^{**}NPP - 0,000354449^{**}NPP^2 + 0,102888^{*}C - 0,000284987^{*}C^2$	0,90
Atlantic		$\hat{y} = 69,7069 + 0,154651^{**}NPP - 0,000392236^{**}NPP^2 + 0,0792991^{*}C - 0,000208651^{*}C^2$	0,97
Ágata	TCHL _{total}	$\hat{y} = 173,549 + 0,156099^{**}NPP - 0,000416967^{**}NPP^2 + 0,166710^{*}C - 0,000470146^{*}C^2$	0,88
Atlantic		$\hat{y} = 179,789 + 0,185463^{**}NPP - 0,000343033^{**}NPP^2 + 0,161292^{*}C - 0,000304114^{*}C^2 - 0,000292965^{**}NPP \times C$	0,88
Ágata	TCHL _{a/b}	$\hat{y} = 1,86$	-
Atlantic		$\hat{y} = 2,26946 - 0,00464298^{**}NPP + 0,00000814541^{*}NPP^2 - 0,00344636^{*}C + 0,00000588251^{*}C^2 + 0,00000749503^{*}NPP \times C$	0,62
Ágata	EQF	$\hat{y} = 0,388169 - 0,000534751^{**}NPP + 0,00000118864^{**}NPP^2 - 0,000156569^{*}C + 0,000000342959^{*}C^2$	0,86
Atlantic		$\hat{y} = 0,388232 - 0,000391898^{**}NPP + 0,00000113721^{**}NPP^2 - 0,000127581^{*}C + 0,000000418833^{*}C^2$	0,64
Ágata	LMD	$\hat{y} = 98,44$	-
Atlantic		$\hat{y} = 93,31$	-
Ágata	EWT	$\hat{y} = 311,78$	-
Atlantic		$\hat{y} = 332,727 - 0,810615^{**}NPP + 0,00209529^{**}NPP^2 - 0,00761953^{*}C - 0,000215215^{*}C^2 + 0,00104638^{**}NPP \times C$	0,88

** , * , ° e ■ - significativo ao nível de 1; 5, 10 e 46,17% de probabilidade, pelo teste “t”, respectivamente.

Tabela 9. Equações ajustadas para a razão de massa de matéria seca e fresca (MS MF⁻¹, g g⁻¹), teor de N total na quarta folha (TNT-QF, g kg⁻¹), conteúdo de N total na QF (CNT-QF, kg ha⁻¹), eficiência do uso do N na quarta folha (EUNQF, kg MS kg⁻¹ N), teor de N total na QF por área (TNT-QF_A, g m⁻²), teor de N total na folha (TNT-F, g kg⁻¹), eficiência do uso N na folha (EUNF, kg MS kg⁻¹ N), teor de N total na folha por área (TNT-F_A, g m⁻²), teor de N total no caule (TNT-C, g kg⁻¹), ângulo hue (°h), brilho (L'), cromaticidade (C), relação °h/(L'*C), em função das doses de N em pré-plantio (NPP, kg ha⁻¹ de N) e cobertura (C, kg ha⁻¹ de N), na época seca

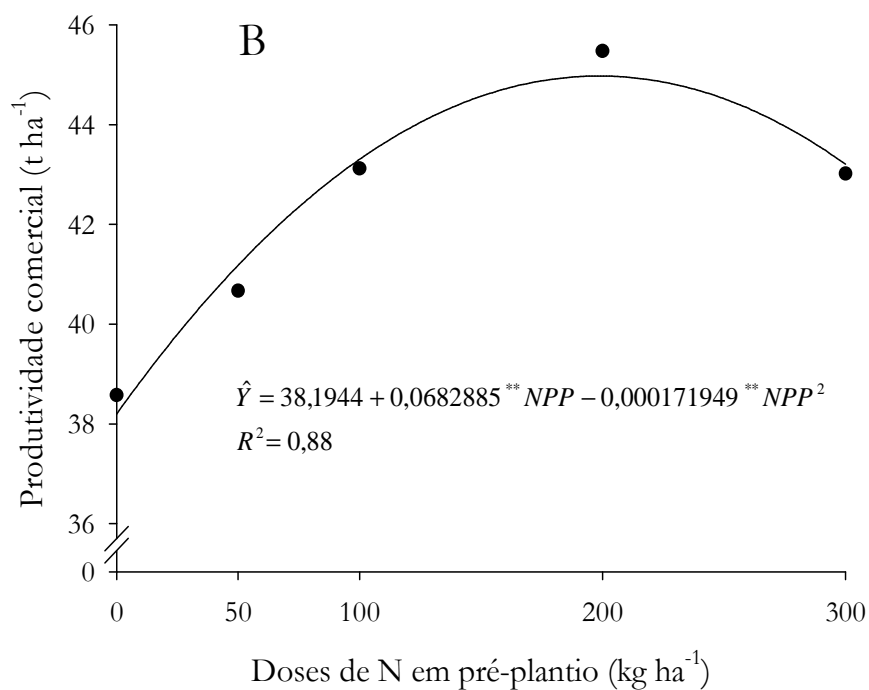
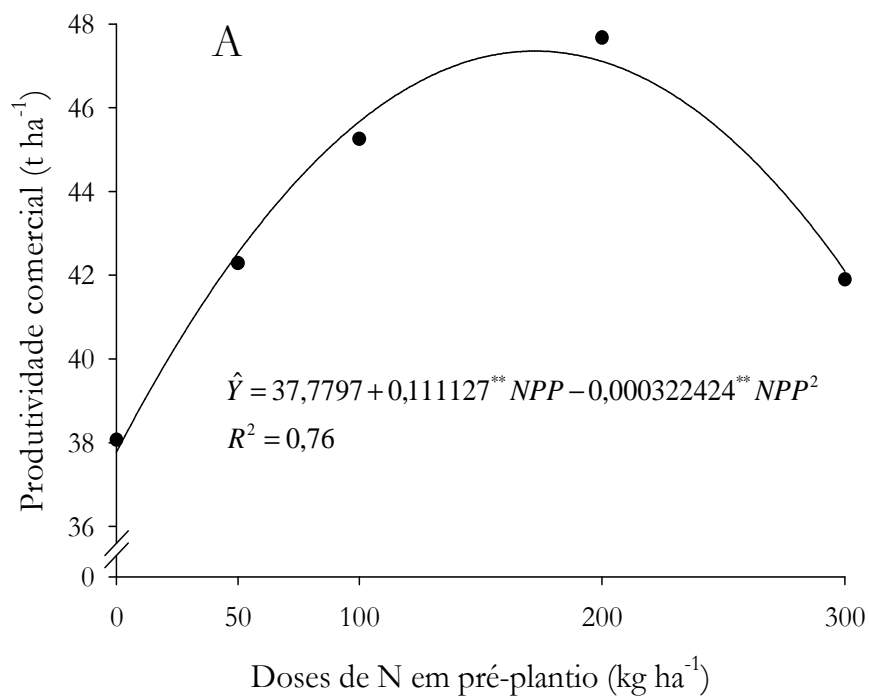
Cultivares	Abreviatura	Equações ajustadas	R ²
Ágata	MS MF ⁻¹	$\hat{y} = 0,104424 - 0,0000456469 \cdot \text{NPP} + 0,000000136231 \cdot \text{NPP}^2 - 0,0000531598 \cdot C + 0,0000000961197 \cdot C^2$	0,63
Atlantic		$\hat{y} = 0,10$	-
Ágata	TNT-QF	$\hat{y} = 45,3420 + 0,0767087 \cdot \text{NPP} - 0,000203454 \cdot \text{NPP}^2$	0,84
Atlantic		$\hat{y} = 43,9736 + 0,0703641 \cdot \text{NPP} - 0,000161904 \cdot \text{NPP}^2$	0,83
Ágata	CNT-QF	$\hat{y} = 1,911106 + 0,00597472 \cdot \text{NPP} - 0,0000164596 \cdot \text{NPP}^2 + 0,00138125 \cdot C - 0,000004147687 \cdot C^2$	0,89
Atlantic		$\hat{y} = 1,99471 + 0,00449011 \cdot \text{NPP} - 0,00000928942 \cdot \text{NPP}^2 + 0,000605018 \cdot C$	0,90
Ágata	EUNQF	$\hat{y} = 1,81225 - 0,00186814 \cdot \text{NPP} + 0,00000627843 \cdot \text{NPP}^2 + 0,00171735 \cdot C - 0,00000457947 \cdot C^2$	0,75
Atlantic		$\hat{y} = 1,92658 - 0,000430644 \cdot \text{NPP} + 0,00119607 \cdot C - 0,00000420713 \cdot C^2$	0,52
Ágata	TNT-QF _A	$\hat{y} = 1,65$	-
Atlantic		$\hat{y} = 1,63$	-
Ágata	TNT-F	$\hat{y} = 42,1411 + 0,0279007 \cdot \text{NPP}$	0,92
Atlantic		$\hat{y} = 42,3204 + 0,0340612 \cdot \text{NPP}$	0,79
Ágata	EUNF	$\hat{y} = 0,0986588 - 0,000143253 \cdot \text{NPP} + 0,000000251448 \cdot \text{NPP}^2$	0,88
Atlantic		$\hat{y} = 0,085$	-
Ágata	TNT-F _A	$\hat{y} = 2,47$	-
Atlantic		$\hat{y} = 2,14847 + 0,00145870 \cdot \text{NPP} - 0,000276626 \cdot C$	0,63
Ágata	TNT-C	$\hat{y} = 20,4431 + 0,0707025 \cdot \text{NPP} - 0,000170740 \cdot \text{NPP}^2$	0,85
Atlantic		$\hat{y} = 19,2321 + 0,0339757 \cdot \text{NPP}$	0,93
Ágata	°h	$\hat{y} = 114,889 + 0,0326852 \cdot \text{NPP} - 0,000101054 \cdot \text{NPP}^2 + 0,0193775 \cdot C - 0,0000548750 \cdot C^2$	0,89
Atlantic		$\hat{y} = 117,430 + 0,0244911 \cdot \text{NPP} - 0,0000685714 \cdot \text{NPP}^2 + 0,00651750 \cdot C - 0,0000228750 \cdot C^2$	0,70
Ágata	L'	$\hat{y} = 45,3647 - 0,0104397 \cdot \text{NPP} - 0,00475 \cdot C$	0,90
Atlantic		$\hat{y} = 43,9738 - 0,0124332 \cdot \text{NPP}$	0,83
Ágata	C	$\hat{y} = 34,9062 - 0,0153287 \cdot \text{NPP} - 0,00434 \cdot C$	0,91
Atlantic		$\hat{y} = 34,6328 - 0,0355725 \cdot \text{NPP} + 0,0000557489 \cdot \text{NPP}^2$	0,80

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

Tabela 10. Equações ajustadas para a relação °h/(L*C) e a leitura do índice SPAD na QF (SPAD), em função das doses de N em pré-plantio (NPP, kg ha⁻¹ de N) e cobertura (C, kg ha⁻¹ de N), na época seca

Cultivares	Abreviatura	Equações ajustadas	R ²
Ágata	°h/(L*C)	$\hat{y} = 0,0712046 + 0,0000876789^{**}NPP - 0,0000000801211^{**}NPP^2 + 0,0000573366^{**}C - 0,000000113453^{**}C^2$	0,96
Atlantic		$\hat{y} = 0,0795559 + 0,0000641707^{**}NPP$	0,88
Ágata	SPAD	$\hat{y} = 32,3513 + 0,0627553^{**}NPP - 0,000128799^{**}NPP^2$	0,90
Atlantic		$\hat{y} = 34,3435 + 0,0778983^{**}NPP - 0,000185085^{**}NPP^2$	0,93

** : significativo ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste “t”.



** : significativo ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste “t”.

Figura 1. Produtividade comercial de tubérculos (PCTU, t ha⁻¹) de batata em função de doses de N em pré-plantio (kg ha⁻¹ de N), para as cultivares Ágata (A) e Atlantic (B), na época seca.

3.1.2 Equações ajustadas das variáveis dependentes em função das doses de N em pré-plantio e cobertura, na época chuvosa

Na época chuvosa, houve efeito das doses de N em pré-plantio (NPP, kg ha⁻¹) e cobertura (kg ha⁻¹), para as duas cultivares de batata. Na tabela 11 estão apresentadas as doses ótimas de N (DON, kg ha⁻¹) em pré-plantio (NPP, kg ha⁻¹) e cobertura (kg ha⁻¹) as que proporcionaram a máxima produtividade comercial de tubérculos associadas à DON (PCTU_{DON}) e doses ótimas econômica de N (DOEN, kg ha⁻¹) em pré-plantio (NPP, kg ha⁻¹) e cobertura (kg ha⁻¹) as que proporcionaram a máxima produtividade comercial de tubérculos associadas à DOEN (PCTU_{DOEN}), para as cultivares Ágata e Atlantic, respectivamente.

Tabela 11. Doses ótimas de N (DON, kg ha⁻¹) em pré-plantio (NPP, kg ha⁻¹) e cobertura (kg ha⁻¹), as que proporcionaram a máxima produtividade comercial de tubérculos (PCTU_{DON}) e doses ótimas econômica de N (DOEN, kg ha⁻¹) em pré-plantio (NPP, kg ha⁻¹) e cobertura (kg ha⁻¹), as que proporcionaram a máxima produtividade comercial de tubérculos (PCTU_{DOEN}), para as cultivares Ágata e Atlantic

Cultivar	Doses de N (kg ha ⁻¹)	DON	PCTU _{DON}	DOEN	PCTU _{DOEN}
Ágata	NPP	197,70	31,20	189,82	31,18
	Cobertura	185,90		174,88	
Atlantic	NPP	188,80	34,68	183,26	30,50
	Cobertura	226,16		214,44	

As equações ajustadas que representam as variáveis dependentes (índices fisiológicos, nitrogenados e parâmetros estruturais da QF), em função das doses de N em pré-plantio e cobertura, para as duas cultivares de batata, determinadas aos 42 DAE, na época chuvosa, estão mostradas nas Tabelas 12 a 14.

As equações ajustadas que representam a produtividade comercial de tubérculos (PCTU, t ha⁻¹), em função das doses de N em pré-plantio e cobertura, para as cultivares Ágata e Atlantic, na época chuvosa, estão mostradas na Figura 2.

Tabela 12. Equações ajustadas para a área foliar (AF) da planta (AFP, cm²/planta), da QF (AFQF, cm²/planta), específica da QF (AFEQF, cm² g⁻¹), específica da planta (AFEP, cm² g⁻¹), razão de área foliar (RAF, cm² g⁻¹), massa de matéria seca (MS) da QF (MSQF, g/planta), total (MST, g/planta), teor de clorofila total (TCHL_{total}, µg cm⁻²), relação entre o teor de clorofila *a* e *b* (TCHL_{a/b}, µg cm⁻²), espessura da QF (EQF, mm), densidade de massa foliar (LMD, g dm⁻³), espessura equivalente (EWT, g m⁻²), em função das doses de N em pré-plantio (NPP, kg ha⁻¹ de N) e cobertura (C, kg ha⁻¹ de N), na época chuvosa

Cultivares	Abreviatura	Equações ajustadas	R ²
Ágata	AFP	$\hat{y} = 662,279 + 6,34640^{**}NPP - 0,0165850^{**}NPP^2 + 3,53106^{**}C - 0,0108517^{**}C^2$	0,91
Atlantic		$\hat{y} = 1579,33 + 2,92519^{**}NPP + 3,8067^{**}C$	0,94
Ágata	AFQF	$\hat{y} = 125,990 + 0,362748^{**}NPP - 0,000827802^{**}NPP^2 + 0,230838^{**}C - 0,000648453^{**}C^2$	0,93
Atlantic		$\hat{y} = 198,494 + 0,871613^{**}NPP - 0,00189118^{**}NPP^2 + 0,0580360^{**}C$	0,84
Ágata	AFEQF	$\hat{y} = 325,648 + 0,335974^{**}NPP - 0,000783070^{**}NPP^2 + 0,149381^{**}C - 0,000381809^{**}C^2$	0,72
Atlantic		$\hat{y} = 334,956 + 0,550439^{**}NPP - 0,00122601^{**}NPP^2 + 0,0380837^{**}C$	0,62
Ágata	AFEP	$\hat{y} = 96,2537 + 0,0741501^{**}NPP - 0,000188728^{**}NPP^2 + 0,0173528^{**}C$	0,77
Atlantic		$\hat{y} = 191,90$	-
Ágata	RAF	$\hat{y} = 16,8114 + 0,0420951^{**}NPP - 0,000123568^{**}NPP^2 + 0,0277306^{**}C - 0,0000910671^{**}C^2$	0,68
Atlantic		$\hat{y} = 39,4925 + 0,0312837^{**}NPP - 0,0000960907^{**}NPP^2 + 0,0423025^{**}C$	0,71
Ágata	MSQF	$\hat{y} = 0,392848 + 0,000625963^{**}NPP - 0,00000140498^{**}NPP^2 + 0,000456812^{**}C - 0,00000134062^{**}C^2$	0,95
Atlantic		$\hat{y} = 0,592032 + 0,00130681^{**}NPP - 0,00000283231^{**}NPP^2 + 0,000453025^{**}C - 0,000001215^{**}C^2$	0,86
Ágata	MST	$\hat{y} = 42,0019 + 0,199154^{**}NPP - 0,000463466^{**}NPP^2 + 0,0900465^{**}C - 0,000259641^{**}C^2$	0,95
Atlantic		$\hat{y} = 39,5435 + 0,0716859^{**}NPP + 0,0354974^{**}C$	0,95
Ágata	TCHL _{total}	$\hat{y} = 83,6905 + 0,325038^{**}NPP - 0,000851070^{**}NPP^2 + 0,0444915^{**}C$	0,72
Atlantic		$\hat{y} = 93,2719 + 0,239412^{**}NPP - 0,000683730^{**}NPP^2 + 0,134014^{**}C - 0,000367254^{**}C^2$	0,77
Ágata	TCHL _{a/b}	$\hat{y} = 1,79969 + 0,00411240^{**}NPP + 0,00233116^{**}C$	0,68
Atlantic		$\hat{y} = 2,96$	-
Ágata	EQF	$\hat{y} = 0,416099 - 0,000598984^{**}NPP + 0,00000104523^{**}NPP^2 - 0,000212088^{**}C + 0,000000462608^{**}C^2$	0,96
Atlantic		$\hat{y} = 0,371229 - 0,0000676546^{**}NPP - 0,0000963820^{**}C$	0,75
Ágata	LMD	$\hat{y} = 75,3486 + 0,0401535^{**}NPP + 0,00554230^{**}C + 0,0000386726^{**}NPP \times C$	0,87
Atlantic		$\hat{y} = 83,8312 - 0,105353^{**}NPP + 0,000266166^{**}NPP^2$	0,66
Ágata	EWT	$\hat{y} = 178,20$	-
Atlantic		$\hat{y} = 149,34$	-

** , , ° : significativo ao nível de 1; 5; 10 e 38,13% de probabilidade, pelo teste “t”, respectivamente.

Tabela 13. Equações ajustadas para a razão de massa de matéria seca e fresca (MS MF⁻¹, g g⁻¹), teor de N total na QF (TNT-QF, g kg⁻¹), conteúdo de N total na QF (CNT-QF, kg ha⁻¹), eficiência do uso do N na QF (EUNQF, kg kg⁻¹), teor de N total na QF por área (TNT-QF_A, g m⁻²), teor de N total na folha (TNT-F, g kg⁻¹), eficiência do uso do N na folha (EUNF, kg MS kg⁻¹ N), teor de N total na folha por área (TNT-F_A, g m⁻²), teor de N total no caule (TNT-C, g kg⁻¹), ângulo hue (°h), brilho (L'), cromaticidade (C), relação °h/(L'*C), em função das doses de N em pré-plantio (NPP, kg ha⁻¹ de N) e cobertura (C, kg ha⁻¹ de N), na época chuvosa

Cultivares	Abreviatura	Equações ajustadas	R ²
Ágata	MS MF ⁻¹	$\hat{y} = 0,14$	-
Atlantic		$\hat{y} = 0,15$	-
Ágata	TNT-QF	$\hat{y} = 29,0815 + 0,0231366^{**}NPP + 0,0169217^{**}C$	0,94
Atlantic		$\hat{y} = 32,9692 + 0,0636631^{**}NPP - 0,000162605^{**}NPP^2 + 0,0430878^{**}C - 0,000110241^{**}C^2$	0,93
Ágata	CNT-QF	$\hat{y} = 0,587069 + 0,00194037^{**}NPP - 0,00000332118^{**}NPP^2 + 0,00126612^{**}C - 0,00000252883^{**}C^2$	0,97
Atlantic		$\hat{y} = 1,01194 + 0,00522162^{**}NPP - 0,0000123281^{**}NPP^2 + 0,00255669^{**}C - 0,00000678824^{**}C^2$	0,90
Ágata	EUNQF	$\hat{y} = 3,79$	-
Atlantic		$\hat{y} = 1,96550 - 0,003229^{**}NPP + 0,0000148528^{**}NPP^2 - 0,000867623^{**}C + 0,00000705993^{**}C^2 - 0,00000524176^{**}NPP \times C$	0,85
Ágata	TNT-QF _A	$\hat{y} = 0,99$	-
Atlantic		$\hat{y} = 1,04105 - 0,000148364^{\circ}NPP - 0,000000841424^{\circ}NPP^2 + 0,000779048^{**}C - 0,00000289455^{**}C^2 + 0,00000177304^{*}NPP \times C$	0,79
Ágata	TNT-F	$\hat{y} = 20,2530 + 0,0195318^{**}NPP + 0,0167130^{**}C$	0,97
Atlantic		$\hat{y} = 25,7203 + 0,0269388^{**}NPP - 0,0000945556^{**}NPP^2 + 0,0372968^{**}C - 0,0000932099^{**}C^2$	0,89
Ágata	EUNF	$\hat{y} = 0,274666 - 0,000528962^{**}NPP + 0,00000118768^{**}NPP^2 - 0,000413910^{**}C + 0,00000101574^{**}C^2$	0,82
Atlantic		$\hat{y} = 0,183347 - 0,000205744^{*}NPP + 0,000000804320^{*}NPP^2 - 0,000366403^{**}C + 0,000000678450^{*}C^2$	0,74
Ágata	TNT-F _A	$\hat{y} = 2,15516 + 0,000569749^{\circ}NPP + 0,00000311371^{\circ}NPP^2 + 0,00145969^{**}C$	0,89
Atlantic		$\hat{y} = 2,54$	-
Ágata	TNT-C	$\hat{y} = 9,72915 + 0,0143893^{**}NPP + 0,0173685^{**}C$	0,98
Atlantic		$\hat{y} = 18,7281 + 0,0118702^{**}NPP + 0,0202562^{**}C$	0,90
Ágata	°h	$\hat{y} = 105,776 + 0,0257045^{**}NPP - 0,0000644630^{**}NPP^2 + 0,0171650^{**}C - 0,00005075^{**}C^2$	0,74
Atlantic		$\hat{y} = 111,727 + 0,0181406^{**}NPP - 0,0000587533^{**}NPP^2 + 0,0215162^{**}C - 0,0000638125^{**}C^2$	0,66
Ágata	L'	$\hat{y} = 40,9012 - 0,00931466^{**}NPP - 0,003035^{*}C$	0,67
Atlantic		$\hat{y} = 41,4592 - 0,00709591^{*}NPP - 0,00412^{**}C$	0,74
Ágata	C	$\hat{y} = 33,1891 - 0,0149698^{*}NPP - 0,007545^{*}C$	0,84
Atlantic		$\hat{y} = 32,3029 - 0,0225778^{*}NPP + 0,0000488160^{*}NPP^2 - 0,00790959^{\circ}C + 0,000005125^{\square}C^2 + 0,0000241315^{*}NPP \times C$	0,65

** , * , ° e ■ : significativo ao nível de 1; 5; 10; 21,68% de probabilidade, pelo teste “t”, respectivamente.

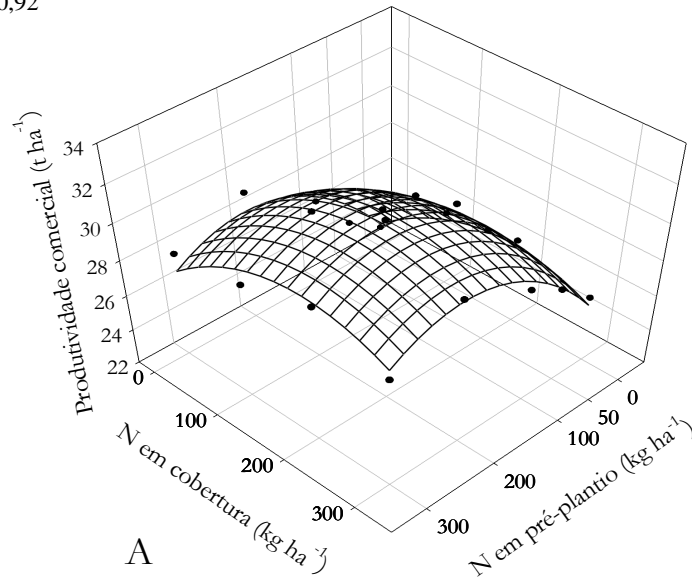
Tabela 14. Equações ajustadas para a relação °h/(L*C) e a leitura do índice SPAD na QF (SPAD), em função das doses de N em pré-plantio (NPP, kg ha⁻¹ de N) e cobertura (C, kg ha⁻¹ de N), na época chuvosa

Cultivares	Abreviatura	Época chuvosa		R ²
		Equações ajustadas		
Ágata	°h / (L*C)	$\hat{y} = 0,0792312 + 0,0000741326^{**}NPP + 0,0000307458^{**}C$		0,81
Atlantic		$\hat{y} = 0,0855157 + 0,000103199^{**}NPP - 0,000000247063^{**}NPP^2 + 0,0000187518^{**}C$		0,67
Ágata	SPAD	$\hat{y} = 24,9594 + 0,0377511^{**}NPP + 0,020045^{**}C$		0,95
Atlantic		$\hat{y} = 31,8370 + 0,0210690^{**}NPP + 0,0143350^{**}C$		0,86

** : significativo ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste “t”.

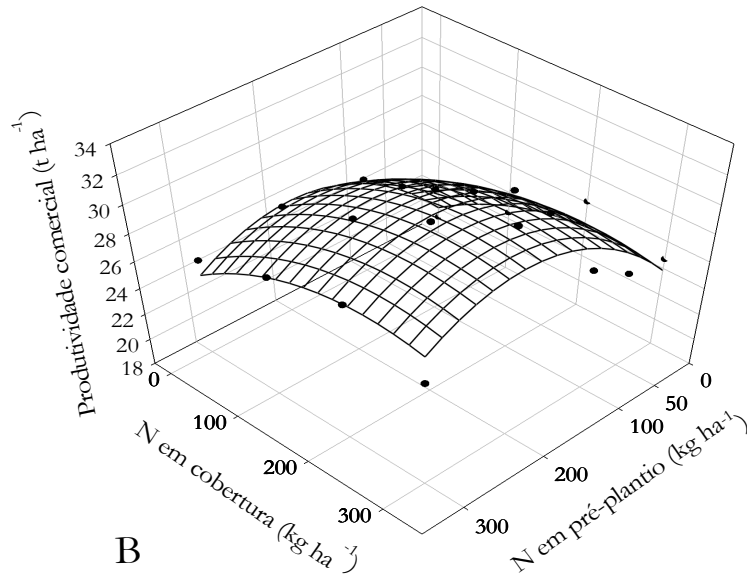
$$\hat{Y} = 23,4072 + 0,0482119^{**}NPP - 0,000121883^{**}NPP^2 + 0,03257^{**}C - 0,0000875743^{**}C^2$$

$$R^2 = 0,92$$



$$\hat{Y} = 20,0662 + 0,0657598^{**}NPP - 0,000174119^{**}NPP^2 + 0,0374511^{**}C - 0,0000827967^{**}C^2$$

$$R^2 = 0,84$$



** : significativo ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste “t”.

Figura 2. Produtividade comercial de tubérculos (PCTU, t ha⁻¹) de batata em função de doses de nitrogênio (N) em pré-plantio (kg ha⁻¹ de N) e cobertura (kg ha⁻¹ de N), para as cultivares Ágata (A) e Atlantic (B), na época chuvosa.

3.1.3 Níveis críticos das variáveis dependentes influenciados por doses de N

Os valores do nível crítico estimado para todos os índices fisiológicos, nitrogenados e parâmetros estruturais na QF, determinados aos 42 DAE, associado à dose de N para a máxima PCTU, na época seca e chuvosa, estão apresentados nas Tabelas 15 e 16.

Tabela 15. Valores do nível crítico associado à dose ótima de N (DON) que proporcionou a máxima produtividade comercial de tubérculos, para as cultivares Ágata e Atlantic, na época seca¹

Variável dependente	Abreviatura	Unidade	Cultivar	
			Ágata	Atlantic
Índices Fisiológicos				
Área foliar da planta	AFP	cm ² /planta	3806,26	4361,75
Área foliar da QF	AFQF	cm ² /planta	275,03	294,91
Área foliar específica da QF	AFEQF	cm ² g ⁻¹	313,35	325,87
Área foliar específica da planta	AFEP	cm ² g ⁻¹	191,41	206,89
Razão de área foliar	RAF	cm ² g ⁻¹	50,18	NS
Massa seca da QF	MSQF	g/planta	0,89	0,91
Massa seca total	MST	g/planta	76,96	84,95
Ângulo hue	°h	-	117,52	119,59
Brilho	L'	-	43,57	41,51
Cromaticidade	C	-	32,27	29,77
°h/(L'*C)	-	-	0,084	0,092
Índices Nitrogenados				
SPADQF	-	-	39,34	42,51
Teor de clorofila <i>total</i>	TCHL _{total}	µg cm ⁻²	188,07	203,09
Teor de clorofila <i>a/b</i>	TCHL _{a/b}	µg cm ⁻²	NS	1,67
Teor de N total na QF	TNT-QF	g kg ⁻¹	52,52	295,82
Eficiência de uso do N na QF	EUNQF	kg kg ⁻¹	1,68	1,84
Teor de N total na QF por área	TNT-QF _A	g m ⁻²	NS	NS
Conteúdo de N-total na QF	CNT-QF	kg ha ⁻¹	2,45	2,52
Teor de N total na folha	TNT-F	g kg ⁻¹	46,95	49,08
Eficiência do uso do N na folha	EUNF	kg kg ⁻¹	0,081	NS
Teor de N total na folha por área	TNT-F _A	g m ⁻²	NS	2,44
Teor de N total no caule	TNT-C	g kg ⁻¹	27,56	25,98
Parâmetro Estrutural da QF				
Espessura da QF	EQF	mm	0,33	0,36
Densidade da massa foliar	LMD	g dm ⁻³	NS	NS
Espessura equivalente	EWT	g m ⁻²	NS	254,38
Razão massa seca e fresca da QF	MS MF ⁻¹	g g ⁻¹	0,101	NS

¹DON=172,30 e 198,50 kg ha⁻¹ de N em pré-plantio, para as cultivares Ágata e Atlantic, respectivamente. DON=dose ótima de N; NS=não-significativos; MS = massa de matéria seca; MF=massa de matéria fresca; QF=quarta folha.

Tabela 16. Valores do nível crítico associado à dose de N (DON) que proporcionou a máxima produtividade comercial de tubérculos, para as cultivares Ágata e Atlantic, na época chuvosa¹

Variável dependente	Abreviatura	Unidade	Cultivar	
			Ágata	Atlantic
Índices Fisiológicos				
Área foliar da planta	AFP	cm ² /planta	1550,13	2992,53
Área foliar da QF	AFQF	cm ² /planta	185,85	308,77
Área foliar específica da QF	AFEQF	cm ² g ⁻¹	376,04	403,79
Área foliar específica da planta	AFEP	cm ² g ⁻¹	106,76	191,90
Razão de área foliar	RAF	cm ² g ⁻¹	22,31	45,67
Massa seca da QF	MSQF	g/planta	0,50	0,78
Massa seca total	MST	g/planta	71,03	61,11
Ângulo hue	°h	-	109,78	114,66
Brilho	L'	-	38,50	39,19
Cromaticidade	C	-	28,83	29,28
°h/(L'*C)	-	-	0,1	0,1
Índices Nitrogenados				
SPADQF	-	-	36,15	39,06
Teor de clorofila <i>total</i>	TCHL <i>total</i>	µg cm ⁻²	122,96	126,32
Teor de clorofila <i>a/b</i>	TCHL <i>a/b</i>	µg cm ⁻²	3,05	NS
Teor de N total na QF	TN-TQF	g kg ⁻¹	36,80	43,30
Eficiência de uso do N na QF	EUNQF	kg kg ⁻¹	NS	1,83
Teor de N total na QF por área	TNT-QF _A	g m ⁻²	NS	1,09
Conteúdo de N-total na QF	CNT-QF	kg ha ⁻¹	0,99	1,79
Teor de N total na folha	TNT-F	g kg ⁻¹	27,22	31,10
Eficiência do uso do N na folha	EUNF	kg kg ⁻¹	0,17	0,13
Teor de N total na folha por área	TNT-F _A	g m ⁻²	2,66	NS
Teor de N total no caule	TNT-C	g kg ⁻¹	15,80	25,55
Parâmetro estrutural da QF				
Espessura da QF	EQF	mm	0,32	0,34
Densidade da massa foliar	LMD	g dm ⁻³	85,75	73,43
Espessura equivalente	EWT	g m ⁻²	NS	NS
Razão massa seca e fresca da QF	MS MF ⁻¹	g g ⁻¹	NS	NS

¹DON=197,70 e 185,90 kg ha⁻¹ de N em pré-plantio e cobertura, para a cultivar Ágata e 188,8 e 226,16 kg ha⁻¹; DON=dose ótima de N; NS=não-significativos; MS = massa de matéria seca; MF=massa de matéria fresca; QF= quarta folha.

3.1.4 Comparação entre as cultivares, na época seca

As comparações das médias entre as cultivares Ágata e Atlantic, para as variáveis dependentes avaliadas (índices fisiológicos, nitrogenados, parâmetros estruturais da QF e PCTU), para cada combinação das doses de N em pré-plantio e cobertura, na época seca, estão listadas nas Tabelas 17 a 23.

Tabela 17. Valores médios da área foliar (AF) da planta (AFP, cm²/planta), da QF (AFQF, cm²/planta), específica da QF (AFEQF, cm² g⁻¹) e específica da planta (AFEP, cm² g⁻¹), em função das doses de N em pré-plantio (kg ha⁻¹ de N) e cobertura (kg ha⁻¹ de N), na época seca

Variável dependente	N em Cobertura (kg ha ⁻¹)	Doses de N em Pré-Plantio (kg ha ⁻¹)									
		0		50		100		200		300	
		Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic
AFP	0	2495,44B	3385,19A	3134,91A	3568,62A	3809,19B	4083,63A	3930,23A	4180,71A	3673,92B	4688,01A
	100	2934,08B	3808,34A	3396,91B	4303,79A	3857,19B	4587,69A	4116,86B	4968,15A	3698,63B	5170,29A
	200	3324,07B	4102,76A	3831,05B	4533,46A	4014,35B	4728,72A	4453,22A	4959,27A	4125,33B	5286,87A
	300	3492,56A	3885,7A	3587,98B	4471,61A	3663,95B	4660,49A	4166,51B	4908,80A	3773,05B	5282,22A
AFQF	0	226,11A	220,92A	247,52A	252,88A	267,90A	277,16A	274,68 ^a	298,23A	261,11A	294,04A
	100	230,25A	224,97A	253,76A	264,75A	271,34A	287,66A	282,85 ^a	307,05A	262,67A	298,62A
	200	238,38A	258,19A	273,54A	275,48A	278,11A	309,46A	287,07 ^a	310,46A	282,69A	282,06A
	300	229,57A	271,38A	264,43A	282,42A	272,09A	296,04A	279,99 ^a	304,39A	254,84A	300,85A
AFEQF	0	291,56A	260,93A	302,69A	285,51A	306,19A	312,33A	310,05 ^a	330,63A	307,99A	310,05A
	100	286,13A	263,04A	293,23A	296,44A	304,71A	317,74A	313,75 ^a	326,14A	329,31A	312,28A
	200	283,33A	294,68A	302,11A	295,00A	310,19A	328,97A	316,64 ^a	331,68A	332,28A	290,03A
	300	285,63A	290,91A	316,71A	297,37A	321,84A	303,74A	321,81 ^a	323,48A1	311,48A	315,72A
AFEP	0	166,90A	191,10A	180,12A	192,96A	198,03A	201,05A	194,52 ^a	218,54A	183,98A	211,51A
	100	170,80A	202,81A	184,05A	208,73A	188,43A	212,12A	195,77 ^a	209,56A	191,83A	206,91A
	200	174,70A	210,13A	190,40A	212,34A	191,40A	213,15A	196,20 ^a	212,6A	193,34A	206,81A
	300	198,17A	212,17A	186,88A	211,21A	187,22A	209,89A	192,25 ^a	204,49A	191,47A	208,11A

Médias seguidas pela mesma letra na linha, para cada combinação das doses de N em pré-plantio e cobertura, as cultivares não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

DMS = desvio médio significativo.

DMS_{AFP}=910,05; DMS_{AFQF}=577,57; DMS_{AFEQF}=82,09; DMS_{AFEP}=56,79.

Tabela 18. Valores médios da razão de área foliar (RAF, $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$), massa de matéria seca (MS) da QF (MSQF, g/planta), total (MST, g/planta) e teor de clorofila total (TCHL_{total}, $\mu\text{g cm}^{-2}$), em função das doses de N em pré-plantio (kg ha^{-1} de N) e cobertura (kg ha^{-1} de N), na época seca

Variável dependente	N em Cobertura (kg ha^{-1}) ¹⁾	Doses de N em Pré-Plantio (kg ha^{-1})									
		0		50		100		200		300	
		Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic
RAF	0	41,75A	48,51A	44,82A	47,43A	51,16A	50,13A	49,82A	49,2A	49,19A	57,29A
	100	40,93B	50,78A	44,39A	53,67A	48,46A	54,43A	49,39A	55,30A	48,49B	60,43A
	200	43,11A	52,41A	48,35A	53,15A	49,07A	53,45	50,44A	58,14A	49,67B	60,94A
	300	50,23A	53,13A	48,64A	55,48A	47,25	54,06A	50,88A	55,07A	48,58B	61,37A
MSQF	0	0,78A	0,85A	0,81A	0,88A	0,88A	0,88A	0,88A	0,91A	0,89A	0,94A
	100	0,81A	0,87A	0,87A	0,88A	0,89A	0,90A	0,89A	0,94A	0,82A	0,96A
	200	0,84A	0,89A	0,91A	0,93A	0,91A	0,95A	0,91A	0,95A	0,85A	0,98A
	300	0,80A	0,94A	0,84A	0,96A	0,85A	0,97A	0,88A	0,94A	0,84A	0,95A
MST	0	60,17A	69,93A	70,67A	75,57A	74,76A	81,55A	79,53A	84,99A	75,08A	82,02A
	100	71,25A	74,92	76,58A	81,25A	79,58A	84,96A	83,96A	92,80A	77,11A	85,67A
	200	77,77A	78,18A	79,61A	85,88A	82,02A	89,45A	88,09A	92,96A	83,07A	86,99A
	300	69,62A	75,11A	73,97A	80,55A	78,72A	86,22A	81,89A	89,13A	77,64A	86,26A
TCHL _{total}	0	171,86A	173,29A	180,33A	191,34A	185,24A	200,26A	186,07B	204,84A	185,91A	202,8A
	100	184,4A	196,13A	190,38A	194,91A	200,68A	202,32A	201,66A	209,25A	193,61A	208,8A
	200	190,31A	202,33A	198,4A	208,38A	192,48B	211,32A	203,1A	209,84A	197,08A	207,41A
	300	179,42B	201,33A	189,64A	203,77A	196,79A	205,06A	192,64A	205,93A	190,17A	201,78A

Médias seguidas pela mesma letra na linha, para cada combinação das doses de N em pré-plantio e cobertura, as cultivares não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

DMS = desvio médio significativo.

DMS_{RAF}=12,89; DMS_{MSQF}=0,16; DMS_{MST}=12,15; DMS_{TCHL_{total}}=16,90.

Tabela 19. Valores médios da relação entre o TCHLa e TCHLb (TCHLa/b, $\mu\text{g cm}^{-2}$), espessura do folíolo terminal da QF (EQF, mm), densidade de massa foliar da QF (LMDQF, g dm^{-3}), espessura equivalente (EWT, $\text{kg H}_2\text{O m}^{-2}$), em função das doses de N em pré-plantio (kg ha^{-1} de N) e cobertura (kg ha^{-1} de N), na época seca

Variável dependente	N em Cobertura (kg ha^{-1})	Doses de N em Pré-Plantio (kg ha^{-1})									
		0		50		100		200		300	
		Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic
TCHLa/b	0	1,80B	2,72A	2,07A	1,81A	1,94A	1,76A	2,05A	1,65B	1,94A	1,61A
	100	1,85A	1,72A	1,84A	1,8A	1,74A	1,68A	1,75A	1,53A	1,81A	1,64A
	200	1,90A	1,77A	1,74A	1,73A	1,88A	1,64A	1,69A	1,63A	1,77A	1,59A
	300	1,88A	1,66A	1,86A	1,83A	1,89A	1,63A	1,89A	1,57A	1,91A	1,68A
EQF	0	0,398A	0,403A	0,381A	0,366A	0,338A	0,36A	0,321A	0,352A	0,320B	0,367A
	100	0,371A	0,389A	0,348A	0,346A	0,345A	0,351A	0,326A	0,345A	0,325B	0,374A
	200	0,367A	0,379A	0,333B	0,374A	0,316B	0,356A	0,318A	0,337A	0,329A	0,359A
	300	0,377A	0,365A	0,345A	0,376A	0,335A	0,364A	0,314B	0,365A	0,315B	0,375A
LMDQF	0	87,42A	101,62A	87,28A	96,97A	99,01A	90,42A	102,46A	98,20A	112,33A	88,71A
	100	98,81A	105,55A	101,32A	101,22A	95,62A	95,14A	99,61A	91,20A	98,32A	88,40A
	200	96,81A	91,26A	100,36A	90,81A	105,88A	86,95A	100,16A	91,24A	94,07A	98,75A
	300	94,79A	95,48A	92,46A	90,57A	95,33A	90,79A	100,13A	85,42A	106,61A	87,52A
EWT	0	297,39A	349,31A	315,99A	285,30A	304,13A	263,80A	298,63A	249,04A	300,22A	281,97A
	100	325,89A	329,01A	322,29A	302,66A	313,56A	295,39A	301,82A	273,95A	305,75A	305,33A
	200	338,11A	313,50A	337,84A	295,27A	330,25A	270,05A	296,42A	283,28A	282,53A	340,95A
	300	327,86A	307,56A	303,81A	295,60A	307,54A	293,93A	308,43A	302,34A	317,02A	337,50A

Médias seguidas pela mesma letra na linha, para cada combinação das doses de N em pré-plantio e cobertura, as cultivares não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

DMS = desvio médio significativo.

DMS_{TCHLa/b}=0,40; DMS_{EQF}=0,04; DMS_{LMDQF}=25,66; DMS_{EWT}=79,87.

Tabela 20. Valores médios da relação massa de matéria seca e fresca da QF (MS MF⁻¹ g g⁻¹), teor de N total na QF (TNT-QF, g kg⁻¹), conteúdo de N total na QF (CNT-QF, kg ha⁻¹), eficiência do uso do N na quarta folha (EUNQF, kg MS kg⁻¹ N), em função das doses de N em pré-plantio (kg ha⁻¹ de N) e cobertura (kg ha⁻¹ de N), na época seca

Variável dependente	N em Cobertura (kg ha ⁻¹) ¹⁾	Doses de N em Pré-Plantio (kg ha ⁻¹)									
		0		50		100		200		300	
		Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic
MS MF ⁻¹	0	0,104A	0,107A	0,101A	0,111A	0,100A	0,109A	0,099A	0,115A	0,104A	0,105A
	100	0,105A	0,115A	0,098A	0,104A	0,095A	0,102A	0,101A	0,102A	0,093A	0,096A
	200	0,094A	0,100A	0,092A	0,103A	0,091A	0,105A	0,096A	0,098A	0,097A	0,094A
	300	0,097A	0,102A	0,096A	0,104A	0,093A	0,101A	0,093A	0,093A	0,095A	0,089A
TNT-QF	0	44,35A	41,85A	47,52A	45,7A	50,81A	48,4A	52,38A	52,74A	49,2A	50,05A
	100	44,16A	45,42A	48,2A	46,37A	51,85A	49,03A	54,2A	53,22A	50,56A	50,58A
	200	47,32A	46,15A	47,42A	45,98A	51,24A	49,57A	50,26A	50,77A	50,56A	49,73A
	300	46,75A	45,52A	48,57A	45,37A	51,96A	50,66A	53,26A	52,54A	49,76A	50,48A
CNT-QF	0	1,86A	1,89A	2,07A	2,17A	2,38A	2,29A	2,46A	2,57A	2,33A	2,54A
	100	1,91A	2,11A	2,26A	2,19A	2,47A	2,37A	2,58A	2,67A	2,25A	2,59A
	200	2,12A	2,15A	2,33A	2,29A	2,51A	2,52A	2,43A	2,61A	2,32A	2,65A
	300	2,00A	2,27A	2,15A	2,28A	2,38A	2,63A	2,48A	2,63A	2,23A	2,56A
EUNQF	0	1,76A	1,99A	1,82A	1,94A	1,67A	1,90A	1,73A	1,79A	1,77A	1,79A
	100	1,99A	1,92A	1,85A	2,00A	1,73A	1,95A	1,74A	1,84A	1,95A	1,77A
	200	1,97A	1,99A	1,93A	2,02A	1,78A	1,92A	1,93A	2,07A	2,00A	1,92A
	300	1,86A	1,88A	1,84A	1,88A	1,82A	1,77A	1,78A	1,82A	1,91A	1,81A

Médias seguidas pela mesma letra na linha, para cada combinação das doses de N em pré-plantio e cobertura, as cultivares não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

DMS = desvio médio significativo.

DMS_{MF MS⁻¹}=0,023; DMS_{TNT-QF}=7,53; DMS_{CNT-QF}=0,56; DMS_{EUNQF}=0,62.

Tabela 21. Valores médios do teor de N total da QF por área (TNT-QF_A, g m⁻²), teor de N total na folha (TNT-F, g kg⁻¹), eficiência do uso do N foliar (EUNF, kg MS kg⁻¹ N), e teor de N total na folha por área (TNT-F_A, g m⁻²), em função das doses de N em pré-plantio (kg ha⁻¹ de N) e cobertura (kg ha⁻¹ de N), na época seca

Variável dependente	N em Cobertura (kg ha ⁻¹)	Doses de N em Pré-Plantio (kg ha ⁻¹)									
		0		50		100		200		300	
		Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic
TNT-QF _A	0	1,54A	1,69A	1,57A	1,61A	1,70A	1,56A	1,72A	1,73A	1,75A	1,60A
	100	1,59A	1,80A	1,71A	1,60A	1,70A	1,64A	1,74A	1,64A	1,63A	1,64A
	200	1,67A	1,56A	1,59A	1,55A	1,71A	1,54A	1,59A	1,57A	1,53A	1,80A
	300	1,63A	1,59A	1,53A	1,53A	1,65A	1,66A	1,67A	1,62A	1,64A	1,63A
TNT-F	0	40,80A	41,67A	43,56A	43,73A	45,57A	48,04A	46,41A	48,15A	50,19A	51,35A
	100	41,17A	42,23A	43,16A	43,76A	46,13A	49,22A	48,18A	48,33A	50,43A	51,38A
	200	40,83A	41,28A	43,17A	44,77A	46,82A	41,49A	48,33A	52,27A	49,32A	52,14A
	300	42,45A	44,83A	44,21A	41,41A	46,01A	44,3A	48,41A	51,36A	50,22A	53,25A
EUNF	0	0,098A	0,094A	0,093A	0,094A	0,084A	0,083A	0,084A	0,091A	0,074A	0,071A
	100	0,102A	0,094A	0,097A	0,094A	0,083A	0,081A	0,082A	0,082A	0,078A	0,067A
	200	0,101A	0,096A	0,092A	0,090A	0,084A	0,106A	0,081A	0,072A	0,078A	0,065A
	300	0,093A	0,088A	0,087A	0,095A	0,085A	0,088A	0,078A	0,072A	0,078A	0,064A
TNT-F _A	0	2,49A	2,21A	2,49A	2,32A	2,33A	2,41A	2,40A	2,47A	2,74A	2,46A
	100	2,46A	2,11A	2,40A	2,13A	2,50A	2,32A	2,47A	2,32A	2,69A	2,47A
	200	2,34A	1,99A	2,29A	2,12A	2,48A	1,94A	2,45A	2,59A	2,55A	2,52A
	300	2,17A	2,24A	2,37A	1,96A	2,64A	2,17A	2,53A	2,51A	2,63A	2,58A

MS=massa de matéria seca.

Médias seguidas pela mesma letra na linha, para cada combinação das doses de N em pré-plantio e cobertura, as cultivares não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

DMS = desvio médio significativo.

DMS_{TNT-QF_Aárea}=0,000135; DMS_{TNT-F}=6,70; DMS_{EUNF}=0,021; DMS_{TNT-F_Aárea}=0,78.

Tabela 22. Valores médios do teor de N total no caule (TNT-C, g kg⁻¹) e ângulo hue (°h), do brilho (L'), cromaticidade (C), em função das doses de N em pré-plantio (kg ha⁻¹ de N) e cobertura (kg ha⁻¹ de N), na época seca

Variável dependente	N em Cobertura (kg ha ⁻¹)	Doses de N em Pré-Plantio (kg ha ⁻¹)									
		0		50		100		200		300	
		Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic
TNT-C	0	19,4A	18,21A	23,08A	20,14A	24,11A	21,85A	29,16A	25,1B	25,75B	30,44A
	100	20,58A	18,85A	24,62A	21,74A	24,44A	22,53A	29,73A	26,47A	25,93B	30,01A
	200	21,16A	18,12A	23,92A	22,51A	23,92A	21,79A	28,31A	24,7A	25,59A	29,28A
	300	21,98A	19,19A	23,4A	22,75A	25,21A	24,78A	28,85A	26,09A	26,24A	28,43A
°h	0	114,83A	117,53A	115,58B	118,78A	117,55A	119,85A	118,13A	118,9A	115,45B	118,48A
	100	116,73A	117,28A	117,25A	119,08A	117,85A	118,95A	119,23A	120,28A	116,48A	119,15A
	200	116,9A	118,58A	118,5A	119,05A	118,8A	119,95A	118,75A	119,8A	117,45A	118,55A
	300	115,5A	117,38A	117,28A	117,23A	117,78A	118,73A	118,2A	120,4A	116,68A	118,83A
L'	0	45,53A	44,73A	45,03A	44,33A	44,08A	42,53A	43,45A	41,83A	41,55A	41,28A
	100	44,85A	44,4A	45,15A	42,88A	43,4A	42,28A	42,95A	41,55A	42,15A	41,05A
	200	44,6A	43,88A	43,78A	43,58A	42,68A	42,3A	42,68A	41,23A	41,13A	40,55A
	300	44,28A	43,78A	43,1A	43,33A	42,18A	42,03A	42,15A	40,58A	41,23A	39,10A
C	0	35,48A	35,48A	34,85A	33,4A	32,63A	31,35A	32,03A	30,58A	30,9A	29,58A
	100	34,23A	33,95A	33,18A	33,68A	32,28A	30,48A	31,55A	29,85A	30,23A	29,55A
	200	33,53A	34,9A	32,5A	32,05A	31,95A	30,5A	31,03A	30,18A	29,2A	29,00A
	300	34,6A	33,23A	33,35A	36,18A	32,83A	30,93A	30,38A	29,6A	28,58A	27,53A

Médias seguidas pela mesma letra na linha, para cada combinação das doses de N em pré-plantio e cobertura, as cultivares não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

DMS = desvio médio significativo.

DMS_{TNT-C}=4,03; DMS_{°h}=2,75; DMS_{L'}=2,34; DMS_C=3,35.

Tabela 23. Valores médios da relação °h/(L*C), índice SPAD na QF, produtividade comercial (PCTU, t ha⁻¹), em função das doses de N em pré-plantio (kg ha⁻¹ de N) e cobertura (kg ha⁻¹ de N), na época seca

Variável dependente	N em Cobertura (kg ha ⁻¹)	Doses de N em Pré-Plantio (kg ha ⁻¹)									
		0		50		100		200		300	
		Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic
°h/(L*C)	0	0,071A	0,074A	0,074A	0,082A	0,082A	0,09A	0,085A	0,094A	0,09A	0,098A
	100	0,076A	0,078A	0,081A	0,083A	0,085A	0,092A	0,088A	0,097A	0,092A	0,099A
	200	0,079A	0,078A	0,084A	0,085A	0,088A	0,093A	0,09A	0,098A	0,099A	0,101A
	300	0,076A	0,082A	0,082A	0,076A	0,086A	0,091A	0,093A	0,101A	0,1A	0,111A
SPAQF	0	32,63A	34,08A	34,10A	36,10A	36,23B	39,43A	40,10B	43,23A	38,30A	40,50A
	100	33,33A	34,68A	34,25A	36,80A	36,43B	39,55A	41,03A	43,90A	38,60A	41,13A
	200	33,50A	35,15A	34,90B	38,88A	37,53A	40,13A	41,85A	43,20A	39,93A	41,15A
	300	32,8A	35,25A	34,35B	37,78A	36,40B	39,60A	40,73A	43,15A	39,83A	40,25A
PCTU	0	35,83A	37,36A	39,08A	39,97A	46,41A	41,69B	47,38A	45,46A	42,71A	42,51A
	100	36,71A	38,79A	39,99A	40,45A	47,11A	42,65B	48,48A	45,04A	43,67A	44,65A
	200	40,03A	39,05A	44,35A	41,25A	43,64A	43,93A	47,35A	45,66A	41,23A	42,56A
	300	39,71A	39,10A	45,73A	41,00B	43,86A	44,20A	47,49A	45,75A	40,00A	42,34A

Médias seguidas pela mesma letra na linha, para cada combinação das doses de N em pré-plantio e cobertura, as cultivares não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

DMS = desvio médio significativo.

DMS_{°h/(L*C)}=0,012; DMS_{SPAD}=2,91; DMS_{PCTU}=3,35.

3.1.5 Comparação entre as cultivares, na época chuvosa

As comparações das médias entre as cultivares Ágata e Atlantic, para as variáveis dependentes avaliadas (índices fisiológicos, nitrogenados, parâmetros estruturais da QF e PCTU), para cada combinação das doses de N em pré-plantio e cobertura, na época chuvosa, estão listadas nas Tabelas 24 a 30.

Tabela 24. Valores médios da área foliar (AF) da planta (AFP, cm²/planta), da QF (AFQF, cm²/planta), específica da QF (AFEQF, cm² g⁻¹) e específica da planta (AFEP, cm² g⁻¹), em função das doses de N em pré-plantio (kg ha⁻¹ de N) e cobertura (kg ha⁻¹ de N), na época chuvosa

Variável dependente	N em Cobertura (kg ha ⁻¹)	Doses de N em Pré-Plantio (kg ha ⁻¹)									
		0		50		100		200		300	
		Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic
AFP	0	771,04B	1264,65A	907,40B	1750,95A	1022,45B	1996,28A	1320,47B	2101,56A	1110,59B	2509,24A
	100	820,00B	1770,62A	1193,22B	2264,41A	1317,97B	2359,92A	1474,05B	2592,52A	1314,51B	3032,58A
	200	820,71B	2373,72A	1282,77B	2528,42A	1546,04B	2740,47A	1612,22B	2825,19A	1348,51B	3025,36A
	300	821,10B	2653,52A	1014,36B	3028,38A	1198,23B	3033,08A	1275,60B	3357,30A	1118,42B	3403,85A
AFQF	0	125,38B	192,26A	141,33B	227,38A	155,52B	262,17A	173,01B	300,11A	261,11A	293,62A
	100	140,68B	202,26A	150,84B	237,93A	160,05B	261,90A	186,11B	312,58A	262,67B	302,66A
	200	153,21B	234,45A	164,79B	254,32A	176,12B	266,92A	192,02B	343,49A	282,69A	292,62A
	300	140,18B	232,37A	152,12B	242,45A	161,41B	254,54A	173,09B	337,37A	254,84A	280,71A
AFEQF	0	320,87A	319,90A	339,13A	353,67A	348,98A	376,50A	383,02A	406,60A	307,99B	400,91A
	100	333,08A	328,33A	339,49A	357,45A	351,66A	381,81A	377,95A	406,07A	329,31A	402,93A
	200	345,75A	358,11A	357,31A	364,94A	372,83A	373,84A	385,16A	418,70A	332,28A	381,64A
	300	351,10A	371,47A	352,44A	378,76A	350,42A	366,80A	360,10A	413,86A	311,48A	383,31A
AFEP	0	96,63B	174,17A	98,47B	183,72A	102,29B	184,83A	103,27B	191,12A	183,98A	189,17A
	100	98,66B	187,70A	100,98B	186,31A	103,32B	210,63A	105,18B	198,43A	191,83A	180,23A
	200	99,29B	188,50A	104,03B	194,28A	107,22B	192,45A	105,23B	207,10A	193,34A	188,66A
	300	102,76B	192,83A	102,59B	192,98A	103,19B	185,52A	113,7B	198,55A	191,47A	210,65A

Médias seguidas pela mesma letra na linha, para cada combinação das doses de N em pré-plantio e cobertura, as cultivares não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

DMS = desvio médio significativo.

DMS_{AFP}=456,64; DMS_{AFQF}=43,48; DMS_{AFEQF}=126,92; DMS_{AFEP}=48,74.

Tabela 25. Valores médios da razão de área foliar (RAF, cm² g⁻¹), massa de matéria seca (MS) da QF (MSQF, g/planta), total (MST, g/planta) e teor de clorofila total (TCHL_{total}, µg cm⁻²), em função das doses de N em pré-plantio (kg ha⁻¹ de N) e cobertura (kg ha⁻¹ de N), na época chuvosa

Variável dependente	N em Cobertura (kg ha ⁻¹)	Doses de N em Pré-Plantio (kg ha ⁻¹)									
		0		50		100		200		300	
		Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic
RAF	0	18,24B	34,66A	18,35B	41,51A	18,27B	42,80A	20,86B	40,68A	49,19A	38,78B
	100	17,64B	42,36A	20,21B	48,86A	21,27B	49,28A	21,55B	44,68A	48,49A	53,33A
	200	17,24B	48,23A	20,36B	49,33A	23,89B	49,30A	23,04B	45,26A	49,67A	44,63A
	300	18,92B	52,10A	17,59B	56,36A	20,16B	54,65A	20,12B	53,69A	48,58A	52,73A
MSQF	0	0,39B	0,60A	0,41B	0,64A	0,44B	0,70A	0,46B	0,73A	0,45B	0,73A
	100	0,42B	0,62A	0,45B	0,67A	0,45B	0,68A	0,49B	0,77A	0,48B	0,75A
	200	0,44B	0,66A	0,46B	0,69A	0,47B	0,71B	0,50B	0,82A	0,49B	0,76A
	300	0,39B	0,62A	0,43B	0,65A	0,45B	0,69A	0,48B	0,81A	0,46B	0,73A
MST	0	42,38A	36,54A	49,75A	42,51B	56,70A	46,59A	64,39A	52,29B	61,00A	64,58A
	100	46,75A	41,86A	60,31A	47,36B	62,69A	48,06B	68,52A	58,03A	64,69A	65,34A
	200	47,40A	49,84A	63,30A	51,45B	64,86A	55,69A	70,37A	62,41A	68,07A	68,54A
	300	43,61A	51,44A	57,65A	54,02B	60,13A	55,51A	63,63A	64,10A	65,78A	67,50A
TCHL _{total}	0	78,18A	81,53A	88,93B	106,53A	120,66A	111,3A	108,45A	117,02A	103,8A	110,06
	100	85,01B	103,72A	106,35A	117,57A	129,57A	119,63A	111,6A	119,25A	117,73A	107,35
	200	87,05B	106,16A	108,35B	125,12A	114,09A	121,48A	114,28A	121,46A	115,29A	116,57
	300	98,96A	99,22A	117,58A	113,0A	123,76A	116,65A	118,28A	115,98A	119,32A	113,56

Médias seguidas pela mesma letra na linha, para cada combinação das doses de N em pré-plantio e cobertura, as cultivares não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

DMS = desvio médio significativo.

DMS_{RAF}=10,13; DMS_{MSQF}=0,091; DMS_{MST}=10,98; DMS_{TCHL_{total}}=14,90.

Tabela 26. Valores médios da relação entre o TCHLa e TCHLb (TCHLa/b, $\mu\text{g cm}^{-2}$), espessura do folíolo terminal da quarta folha (EQF, mm), densidade de massa foliar da quarta folha (LMDQF, g dm^{-3}), espessura equivalente (EWT, $\text{kg H}_2\text{O m}^{-2}$), em função das doses de N em pré-plantio (kg ha^{-1} de N) e cobertura (kg ha^{-1} de N), na época chuvosa

Variável dependente	N em Cobertura (kg ha^{-1})	Doses de N em Pré-Plantio (kg ha^{-1})									
		0		50		100		200		300	
		Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic
TCHLa/b	0	1,78A	2,07A	2,46A	2,61A	2,62A	2,63A	2,29A	2,83A	2,7A	2,67A
	100	1,72A	2,87A	1,83A	2,5A	2,18A	2,51A	3,16A	2,88A	3,83A	3,91A
	200	1,85B	3,36A	2,47A	2,68A	3,11A	2,56A	3,16A	2,87A	3,16A	3,16A
	300	2,55A	2,94A	3,14A	3,5A	2,53A	2,77A	3,82A	3,91A	3,35A	3,94A
EQF	0	0,421A	0,384B	0,387A	0,37A	0,366A	0,368A	0,342A	0,349A	0,319A	0,343A
	100	0,401A	0,366B	0,377A	0,353A	0,35A	0,361A	0,317A	0,345A	0,325A	0,34A
	200	0,384A	0,343B	0,359A	0,346A	0,348A	0,347A	0,305B	0,341A	0,311A	0,334A
	300	0,399A	0,339B	0,354A	0,322B	0,357A	0,35A	0,318A	0,328A	0,306A	0,331A
LMDQF	0	74,26A	82,77A	76,90A	78,35A	79,80A	74,50A	80,27A	71,16A	89,74A	73,21A
	100	77,25A	84,69A	80,55A	80,05A	82,32A	73,28A	84,57A	72,85A	88,32A2	74,05A
	200	75,89A	83,19883	78,43A	79,63A	77,75A	77,82A	87,36A	70,90A	89,67A	79,54A
	300	74,13A	80,21A	84,05A	85,64A	80,77A	78,85A	88,57A	73,83A	92,38A	79,81A
EWT	0	188,97A	165,04A	183,95A	148,28A	181,50A	143,99A	190,11A	130,42B	190,33A	145,06B
	100	176,39A	164,17A	187,55A	139,9715B	190,95A	140,87B	163,52A	127,60A	179,95A	157,09A
	200	178,00A	155,26A	161,84A	138,20A	168,50A	152,18A	172,22A	126,21B	180,48A	157,12A
	300	178,35A	161,05A	182,08A	159,48A	174,41A	164,83A	168,36A	133,05A	166,27A	176,72A

Médias seguidas pela mesma letra na linha, para cada combinação das doses de N em pré-plantio e cobertura, as cultivares não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

DMS = desvio médio significativo.

DMS_{TCHLa/b}=1,48; DMS_{EQF}=0,03; DMS_{LMDQF}=17,37; DMS_{EWT}=46,10.

Tabela 27. Valores médios da relação massa de matéria seca e fresca da QF (MS MF⁻¹ g g⁻¹), teor de N total na QF (TNT-QF, g kg⁻¹), conteúdo de N total na QF (CNT-QF, kg ha⁻¹), eficiência do uso do N na QF (EUNQF, kg MS kg⁻¹ N), em função das doses de N em pré-plantio (kg ha⁻¹ de N) e cobertura (kg ha⁻¹ de N), na época chuvosa

Variável dependente	N em Cobertura (kg ha ⁻¹)	Doses de N em Pré-Plantio (kg ha ⁻¹)									
		0		50		100		200		300	
		Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic
MS MF ⁻¹	0	0,145A	0,162A	0,140A	0,162A	0,141A	0,160A	0,126A	0,159A	0,136A	0,149A
	100	0,148A	0,164A	0,139B	0,173A	0,133A	0,161A	0,141A	0,163A	0,137A	0,137A
	200	0,158A	0,155A	0,150A	0,172A	0,138A	0,151A	0,136A	0,160A	0,134A	0,144A
	300	0,142A	0,143A	0,139A	0,146A	0,141A	0,144A	0,144A	0,154A	0,146A	0,135A
TNT-QF	0	28,49A	32,34A	30,05A	36,07A	32,76A	37,9A	33,36B	40,27A	35,85A	37,56A
	100	29,51A	35,43A	32,58B	38,8A	34,09B	40,24A	34,68B	41,12A	37,22A	40,25A
	200	32,17B	38,38A	34,19B	40,8A	36,01A	42,01A	36,52B	44,49A	39,97A	41,65A
	300	32,93A	36,26A	35,19A	38,4A	37,71A	39,51A	38,65A	42,5A	40,64A	40,33A
CNT-QF	0	0,59B	1,05A	0,67B	1,24A	0,78B	1,42A	0,83B	1,58A	0,86B	1,47A
	100	0,67B	1,17A	0,78B	1,40A	0,82B	1,47A	0,90B	1,71A	0,96B	1,61A
	200	0,76B	1,34A	0,84B	1,51A	0,91B	1,60A	0,97B	1,96A	1,06B	1,7A
	300	0,70B	1,17A	0,81B	1,32A	0,92B	1,46A	1,00B	1,85A	1,01B	1,57A
EUNQF	0	3,84A	1,90B	4,05A	1,93B	3,87A	1,78B	4,15A	1,76B	3,75A	2,41B
	100	3,79A	1,94B	4,16A	1,90B	4,03A	1,75B	4,06A	1,85B	3,60A	2,09B
	200	3,33A	1,96B	4,02A	1,84B	3,85A	1,88B	3,86A	1,71B	3,54A	2,17B
	300	3,51A	2,34B	3,82A	2,17B	3,48A	2,08B	3,48A	1,85B	3,53A	2,27B

Médias seguidas pela mesma letra na linha, para cada combinação das doses de N em pré-plantio e cobertura, as cultivares não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

DMS = desvio médio significativo.

DMS_{MS MF⁻¹}=0,022; DMS_{TNT-QF}=6,03; DMS_{CNT-QF}=0,25; DMS_{EUNQF}=1,13.

Tabela 28. Valores médios do teor de N total por área (TNT-QF_A, g m⁻²), teor de N total na folha (TNT-F, g kg⁻¹), eficiência do uso do N foliar (EUNF, kg MS kg⁻¹ N), e teor de N total na folha por área (TNT-F_A, g m⁻²), em função das doses de N em pré-plantio (kg ha⁻¹ de N) e cobertura (kg ha⁻¹ de N), na época chuvosa

Variável dependente	N em Cobertura (kg ha ⁻¹)	Doses de N em Pré-Plantio (kg ha ⁻¹)									
		0		50		100		200		300	
		Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic
TNT-QF _A	0	0,89A	1,03A	0,90A	1,02A	0,94A	1,02A	0,91A	0,98A	1,03A	0,93A
	100	0,91A	1,08A	0,98A	1,10A	0,97A	1,06A	0,93A	1,01A	1,05A	1,00A
	200	0,94A	1,08A	0,95A	1,11A	0,97A	1,12A	0,95A	1,07A	1,13A	1,09A
	300	0,95A	0,97A	1,02A	1,03A	1,08A	1,08A	1,08A	1,02A	1,15A	1,05A
TNT-F	0	19,36B	24,24A	21,46B	27,05A	22,24B	28,74A	24,23A	26,93A	25,91A	25,86A
	100	22,09B	28,84A	22,76B	29,58A	24,52B	30,43A	26,46A	29,4A	27,94A	27,82A
	200	23,58B	30,05A	23,78B	30,42A	25,77B	31,28A	27,57A	30,51A	29,39A	29,6A
	300	24,88A	28,44A	26,34A	29,63A	28,5A	30,66A	28,99A	29,87A	30,22A	27,85A
EUNF	0	0,270A	0,210A	0,249A	0,169B	0,255A	0,151B	0,205A	0,182A	0,220A	0,192A
	100	0,248A	0,153B	0,224A	0,130B	0,198A	0,140B	0,183A	0,148A	0,176A	0,138A
	200	0,244A	0,133B	0,226A	0,135B	0,174A	0,127A	0,172A	0,152A	0,180A	0,154A
	300	0,219A	0,130B	0,221A	0,116B	0,181A	0,113B	0,201A	0,128B	0,207A	0,151A
TNT-F _A	0	2,11A	1,40B	2,21A	1,50B	2,21A	1,58A	2,39A	1,41B	2,53A	1,39B
	100	2,43A	1,59B	2,30A	1,63A	2,47A	1,48B	2,58A	1,53B	2,81A	1,56B
	200	2,47A	1,63B	2,32A	1,60B	2,45A	1,67B	2,64A	1,55B	2,90A	1,63B
	300	2,51A	1,55B	2,64A	1,57B	2,89A	1,69B	2,73A	1,51B	3,06A	1,34B

Médias seguidas pela mesma letra na linha, para cada combinação das doses de N em pré-plantio e cobertura, as cultivares não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

DMS = desvio médio significativo.

DMS_{TNT-QF_Aárea}=0,94; DMS_{TNT-F}=4,08; DMS_{EUNF}=0,06; DMS_{TNT-F_Aárea}=0,80.

Tabela 29. Valores médios do teor de N total no caule (TNT-C, g kg⁻¹) e ângulo hue (°h), do brilho (L'), cromaticidade (C), em função das doses de N em pré-plantio (kg ha⁻¹ de N) e cobertura (kg ha⁻¹ de N), na época chuvosa

Variável dependente	N em Cobertura (kg ha ⁻¹)	Doses de N em Pré-Plantio (kg ha ⁻¹)									
		0		50		100		200		300	
		Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic
TNT-C	0	9,73B	16,86A	9,99B	19,07A	10,91B	21,2A	12,71B	21,87A	13,93B	22,72A
	100	11,4B	19,95A	12,55B	22,08A	13,45B	22,39A	14,61B	23,28A	15,61B	23,54A
	200	13,39B	22,43A	13,86B	23,84A	15,04B	23,43A	15,52B	25,31A	17,9B	26,01A
	300	14,64B	24,33A	15,63B	25,89A	16,51B	27,38A	17,39B	27,85A	19,34B	26,78A
°h	0	104,84B	111,06A	106,86B	112,15A	107,41B	112,81A	109,69B	113,15A	107,26B	112,06A
	100	106,91B	114,45A	108,00B	114,95A	109,76B	114,99A	110,11B	114,54A	108,68B	113,14A
	200	107,65B	112,3A	108,43B	113,49A	108,39B	114,05A	109,1B	114,85A	108,84B	113,68A
	300	107,2B	112,48A	107,66B	114,29A	107,24B	113,94A	108,75B	112,86A	108,8B	112,86A
L'	0	42,86A	42,55A	40,29A	41,39A	39,9A	40,21A	39,16A	39,51A	38,41A	39,06A
	100	40,05A	41,36A	40,39A	41,19A	37,61A	39,64A	38,51A	39,45A	37,21A	38,8A
	200	39,83A	40,54A	39,99A	40,44A	39,85A	40,03A	37,99A	38,5A	37,56A	39,31A
	300	40,11A	39,43A	39,19A	39,34A	39,05A	39,81A	38,94A	39,36A	37,8A	38,46A
C	0	34,63A	32,48A	32,29A	31,73A	31,84A	30,58A	30,96A	29,94A	27,86A	29,25A
	100	32,4A	30,83A	32,16A	30,95A	29,38A	29,14A	29,31A	30,23A	27,45A	30,03A
	200	31,35A	30,33A	30,78A	30,91A	29,93A	29,75A	28,95A	28,59A	27,08B	30,98A
	300	29,68A	30,91A	30,1A	29,4A	29,81A	29,95A	29,93A	28,53A	26,36B	29,99A

Médias seguidas pela mesma letra na linha, para cada combinação das doses de N em pré-plantio e cobertura, as cultivares não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

DMS = desvio médio significativo.

DMS_{TNT-C}=5,08; DMS_{°h}=2,20; DMS_{L'}=2,29; DMS_C=3,31.

Tabela 30. Valores médios do relação °h/(L³*C), índice SPAD na quarta folha, produtividade comercial (PCTU, t ha⁻¹), em função das doses de N em pré-plantio (kg ha⁻¹ de N) e cobertura (kg ha⁻¹ de N), na época chuvosa

Variável dependente	N em Cobertura (kg ha ⁻¹)	Doses de N em Pré-Plantio (kg ha ⁻¹)									
		0		50		100		200		300	
		Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic
°h/(L³*C)	0	0,071A	0,081A	0,085A	0,086A	0,085A	0,093A	0,091A	0,096A	0,102A	0,099A
	100	0,085A	0,091A	0,084A	0,091A	0,10A	0,10A	0,098A	0,096A	0,108A	0,097A
	200	0,087A	0,091A	0,089A	0,091A	0,091A	0,097A	0,102A	0,105A	0,108A	0,094B
	300	0,093A	0,092A	0,092A	0,099A	0,093A	0,096A	0,094A	0,101A	0,112A	0,098B
SPAQF	0	23,95B	30,53A	26,58B	32,00A	27,50B	33,63A	33,9A	36,38A	36,58A	39,33A
	100	26,45B	31,98A	27,63B	35,25A	31,55B	35,80A	36,00A	38,35A	38,6A	40,10A
	200	29,65B	34,28A	30,48B	36,68A	33,23B	37,45A	37,63A	39,83A	39,18A	39,23A
	300	30,60B	35,23A	33,28B	38,3A	36,23A	39,50A	38,78A	40,95A	39,73A	39,78A
PCTU	0	23,2A	19,31A	24,48A	23,22A	26,74A	25,19A	29,19A	26,12A	27,89A	25,25A
	100	26,17A	22,49A	28,16A	25,55A	28,39A	27,18A	30,27A	28,07A	28,47A	27,05A
	200	26,75A	26,12A	28,35A	26,75A	30,77A	29,83A	31,96A	30,71A	29,67A	28,25A
	300	25,75A	24,73A	27,33A	25,24A	28,43A	27,11A	30,18A	33,29A	28,28A	25,98A

Médias seguidas pela mesma letra na linha, para cada combinação das doses de N em pré-plantio e cobertura, as cultivares não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

DMS = desvio médio significativo.

DMS_{°h/(L³*C)}=0,014; DMS_{SPAD}=3,80; DMS_{PCTU}=5,49.

3.1.6 Comparação entre as épocas de cultivo, na cultivar Ágata

As comparações das médias entre as épocas seca e chuvosa, para as variáveis dependentes avaliadas (índices fisiológicos, nitrogenados, parâmetros estruturais da QF e PCTU), para cada combinação das doses de N em pré-plantio e cobertura, para a cultivar Ágata, estão listadas nas Tabelas 31 a 37.

Tabela 31. Valores médios da área foliar (AF) da planta (AFP, cm²/planta), da QF (AFQF, cm²/planta), específica da QF (AFEQF, cm² g⁻¹) e específica da planta (AFEP, cm² g⁻¹), em função das doses de N em pré-plantio (kg ha⁻¹ de N) e cobertura (kg ha⁻¹ de N), para a cultivar Ágata

Variável dependente	N em Cobertura (kg ha ⁻¹)	Doses de N em Pré-Plantio (kg ha ⁻¹)									
		0		50		100		200		300	
		Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa
AFP	0	2495,44A	771,04B	3134,91A	907,40B	3809,19A	1022,45B	3930,23A	1320,47B	3673,92A	1110,59B
	100	2934,08A	820,01B	3396,91A	1193,22B	3857,19A	1317,97B	4116,86A	1474,05B	3698,63A	1314,51B
	200	3324,07A	820,71B	3831,05A	1282,77B	4014,35A	1546,04B	4453,22A	1612,22B	4125,33A	1348,51B
	300	3492,56A	821,10B	3587,98A	1014,36B	3663,95A	1198,23B	4166,52A	1275,60B	3773,05A	1118,42B
AFQF	0	226,12A	125,38B	247,52A	141,33B	267,90A	155,52B	274,68A	173,01B	261,11A	158,80B
	100	230,25A	140,68B	253,76A	150,84B	271,34A	160,05B	282,85A	186,11B	262,67A	174,19B
	200	238,38A	153,21B	273,54A	164,79B	278,11A	176,12B	287,07A	192,02B	282,69A	181,64B
	300	229,57A	140,18B	264,43A	152,12B	272,09A	161,41B	279,99A	173,09B	254,84A	169,10B
AFEQF	0	291,56A	320,87A	302,69A	339,13A	306,19A	348,98A	310,05A	383,02	307,99A	351,38A
	100	286,13A	333,08A	293,23A	339,49A	304,71A	351,66A	313,75A	377,96	329,31A	363,29A
	200	283,33A	345,75A	302,11A	357,31A	310,19A	372,83A	316,64A	385,17	332,28A	372,10A
	300	285,63A	351,10A	316,71A	352,44A	321,84A	350,42A	321,81A	360,11	311,48A	364,83A
AFEP	0	166,90A	96,63A	180,12A	98,47B	198,03B	102,30	194,52A	103,27B	183,98A	101,60B
	100	170,80A	98,66A	184,05A	100,98B	188,43B	103,33	195,77A	105,18B	191,83A	102,59B
	200	174,70A	99,29A	190,40A	104,03B	191,40B	107,23	196,20A	105,23B	193,34A	105,97B
	300	198,17A	102,76A	186,88A	102,59B	187,22B	103,20	192,25A	113,76B	191,47A	105,22B

Médias seguidas pela mesma letra na linha, para cada combinação das doses de N em pré-plantio e cobertura, as épocas de cultivo não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

DMS = desvio médio significativo.

DMS_{AFP}=659,0; DMS_{AFQF}=45,50; DMS_{AFEQF}=115,61; DMS_{AFEP}=46,81.

Tabela 32. Valores médios da razão de área foliar (RAF, $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$), massa de matéria seca (MS) da QF (MSQF, g/planta), total (MST, g/planta) e teor de clorofila *total* (TCHL_{total}, $\mu\text{g cm}^{-2}$), em função das doses de N em pré-plantio (kg ha^{-1} de N) e cobertura (kg ha^{-1} de N), para a cultivar Ágata

Variável dependente	N em Cobertura (kg ha^{-1})	Doses de N em Pré-Plantio (kg ha^{-1})									
		0		50		100		200		300	
		Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa
RAF	0	41,75A	18,24B	44,82A	18,35B	51,16A	18,27B	49,82A	20,86B	49,19A	18,58B
	100	40,93A	17,64B	44,39A	20,21B	48,46A	21,27B	49,39A	21,55B	48,49A	20,90B
	200	43,11A	17,24B	48,35A	20,36B	49,07A	23,89B	50,44A	23,04B	49,67A	20,29B
	300	50,23A	18,92B	48,64A	17,59B	47,25A	20,16B	50,88A	20,12B	48,58A	17,12B
MSQF	0	0,78A	0,39B	0,81A	0,41B	0,88A	0,44B	0,88A	0,46B	0,89A	0,45B
	100	0,81A	0,42B	0,87A	0,45B	0,89A	0,45B	0,89A	0,49B	0,82A	0,48B
	200	0,84A	0,44B	0,91A	0,46B	0,91A	0,47B	0,91A	0,50B	0,85A	0,49B
	300	0,81A	0,39B	0,84A	0,43B	0,85A	0,45B	0,88A	0,48B	0,84A	0,46B
MST	0	60,17A	42,38B	70,67A	49,75B	74,76A	56,70B	79,53A	64,39B	75,07A	61,00A
	100	71,25A	46,75B	76,58A	60,31B	79,58A	62,69B	83,96A	68,52B	77,11A	64,69A
	200	77,77A	47,40B	79,60A	63,30B	82,02A	64,86B	88,09A	70,37B	83,07A	68,07A
	300	69,62A	43,61B	73,97A	57,65B	78,72A	60,13B	81,89A	63,63B	77,64A	65,78A
TCHL _{total}	0	171,86A	78,18B	180,33A	88,93B	185,24A	120,66B	186,07A	108,45B	185,91A	103,80B
	100	184,4A	85,01B	190,38A	106,35B	200,68A	129,57B	201,66A	111,6B	193,61A	117,73B
	200	190,31A	87,05B	198,4A	108,35B	192,48A	114,09B	203,1A	114,28B	197,08A	115,29B
	300	179,42A	98,96B	189,64A	117,58B	196,79A	123,76B	192,64A	118,28B	190,17A	119,32B

Médias seguidas pela mesma letra na linha, para cada combinação das doses de N em pré-plantio e cobertura, as épocas de cultivo não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

DMS = desvio médio significativo.

DMS_{RAF}=9,71; DMS_{MSQF}=0,13; DMS_{MST}=9,27; DMS_{TCHL_{total}}=15,92.

Tabela 33. Valores médios da relação entre o TCHLa e TCHLb (TCHLa/b, $\mu\text{g cm}^{-2}$), espessura do folíolo terminal da QF (EQF, mm), densidade de massa foliar da QF (LMDQF, g dm^{-3}), espessura equivalente (EWT, $\text{kg H}_2\text{O m}^{-2}$), em função das doses de N em pré-plantio (kg ha^{-1} de N) e cobertura (kg ha^{-1} de N), para a cultivar Ágata

Variável dependente	N em Cobertura (kg ha^{-1})	Doses de N em Pré-Plantio (kg ha^{-1})									
		0		50		100		200		300	
		Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa
TCHLa/b	0	1,80A	1,78A	2,07A	2,46A	1,94A	2,62A	2,05A	2,29A	1,94A	2,70A
	100	1,85A	1,72A	1,84A	1,83A	1,74A	2,18A	1,75A	3,160A	1,81A	3,83A
	200	1,90A	1,85A	1,74A	2,47A	1,88A	3,11A	1,69A	3,160A	1,77A	3,16A
	300	1,88A	2,55A	1,86A	3,14A	1,89A	2,53A	1,89A	3,82A	1,91A	3,35A
EQF	0	0,398A	0,421A	0,381A	0,387A	0,338A	0,366A	0,321A	0,342A	0,32A	0,319A
	100	0,371A	0,401A	0,348A	0,377A	0,345A	0,35A	0,326A	0,317A	0,325A	0,325A
	200	0,367A	0,384A	0,333A	0,359A	0,316A	0,348A	0,318A	0,305A	0,329A	0,311A
	300	0,377A	0,399A	0,345A	0,354A	0,335A	0,357A	0,314A	0,318A	0,315A	0,306A
LMDQF	0	87,42A	74,26B	87,28A	76,90A	99,01A	79,80A	102,46A	80,27B	112,33A	89,74B
	100	98,81A	77,25B	101,32A	80,55A	95,62A	82,32A	99,61A	84,57A	98,32A	88,32A
	200	96,81A	75,89B	100,36A	78,43B	105,88A	77,75B	100,16A	87,36A	94,07A	89,67A
	300	94,79A	74,13A	92,46A	84,05A	95,33A	80,77A	100,13A	88,57A	106,61A	92,38A
EWT	0	297,39A	188,97B	315,99A	183,95B	304,13A	181,50B	298,63A	190,11B	300,22A	190,33B
	100	325,89A	176,39B	322,29A	187,55B	313,56A	190,95B	301,82A	163,52B	305,75A	179,95B
	200	338,11A	178,01B	337,84A	161,84B	330,25A	168,50B	296,42A	172,22B	282,53A	180,48B
	300	327,86A	178,35B	303,81A	182,08B	307,54A	174,41B	308,43A	168,36A	317,02A	166,27B

Médias seguidas pela mesma letra na linha, para cada combinação das doses de N em pré-plantio e cobertura, as épocas de cultivo não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

DMS = desvio médio significativo.

DMS_{TCHLa/b}=0,74; DMS_{EQF}=0,03; DMS_{LMDQF}=21,46; DMS_{EWT}=62,42.

Tabela 34. Valores médios da relação massa de matéria seca e fresca da QF ($MS_{MF^{-1}}$, $g\ g^{-1}$), teor de N total na QF (TNT-QF, $g\ kg^{-1}$), conteúdo de N total na QF (CNT-QF, $kg\ ha^{-1}$), eficiência do uso do N na quarta folha (EUNQF, $kg\ MS\ kg^{-1}\ N$), em função das doses de N em pré-plantio ($kg\ ha^{-1}$ de N) e cobertura ($kg\ ha^{-1}$ de N), para a cultivar Ágata

Variável dependente	N em Cobertura ($kg\ ha^{-1}$)	Doses de N em Pré-Plantio ($kg\ ha^{-1}$)									
		0		50		100		200		300	
		Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa
MS MF^{-1}	0	0,104B	0,145A	0,101B	0,140A	0,100B	0,141A	0,099B	0,126A	0,104B	0,136A
	100	0,105B	0,148A	0,098B	0,139A	0,095B	0,133A	0,101B	0,141A	0,093B	0,137A
	200	0,094B	0,158A	0,092B	0,150A	0,091B	0,138A	0,096B	0,136A	0,097B	0,134A
	300	0,097B	0,142A	0,096	0,139A	0,093B	0,141A	0,093B	0,144A	0,095B	0,146A
TNT-QF	0	44,35A	28,49B	47,52A	30,05B	50,81A	32,76B	52,38A	33,36B	49,2A	35,85B
	100	44,16A	29,51B	48,2A	32,58B	51,85A	34,09B	54,2A	34,68B	50,56A	37,22B
	200	47,32A	32,17B	47,42A	34,19B	51,24A	36,01B	50,26A	36,52B	50,56A	39,97B
	300	46,75A	32,93B	48,57A	35,19B	51,96A	37,71B	53,26A	38,65B	49,76A	40,64B
CNT-QF	0	1,86A	0,59B	2,07A	0,67B	2,38A	0,78B	2,46A	0,83B	2,33A	0,86B
	100	1,91A	0,67B	2,26A	0,78B	2,47A	0,82B	2,58A	0,90B	2,25A	0,96B
	200	2,12A	0,76B	2,33A	0,84B	2,51A	0,91B	2,43A	0,97B	2,32A	1,06B
	300	2,00A	0,71B	2,15A	0,81B	2,38A	0,92B	2,48A	1,00B	2,23A	1,01B
EUNQF	0	1,76B	3,84A	1,82B	4,05A	1,67B	3,87A	1,73B	4,15A	1,77B	3,75A
	100	1,99B	3,79A	1,85B	4,16A	1,72B	4,03A	1,74B	4,06A	1,95B	3,60A
	200	1,97B	3,33A	1,93B	4,02A	1,78B	3,85A	1,93B	3,86A	2,00B	3,54A
	300	1,86B	3,51A	1,84B	3,82A	1,82B	3,48A	1,78B	3,48A	1,91B	3,53A

Médias seguidas pela mesma letra na linha, para cada combinação das doses de N em pré-plantio e cobertura, as épocas de cultivo não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

DMS = desvio médio significativo.

$DMS_{MS_{MF^{-1}}}=0,020$; $DMS_{TNT-QF}=5,36$; $DMS_{CNT-QF}=0,38$; $DMS_{EUNQF}=1,08$.

Tabela 35. Valores médios do teor de N total QF por área (TNT-QF_A, g m⁻²), teor de N total na folha (TNT-F, g kg⁻¹), eficiência do uso do N foliar (EUNF, kg MS kg⁻¹ N), e teor de N total na folha por área (TNT-F_A, g m⁻²), em função das doses de N em pré-plantio (kg ha⁻¹ de N) e cobertura (kg ha⁻¹ de N), para a cultivar Ágata

Variável dependente	N em Cobertura (kg ha ⁻¹)	Doses de N em Pré-Plantio (kg ha ⁻¹)									
		0		50		100		200		300	
		Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa
TNT-QF _A	0	1,54A	0,89B	1,57A	0,90B	1,70A	0,94B	1,72A	0,91B	1,75A	1,03B
	100	1,59A	0,91B	1,71A	0,98B	1,71A	0,97B	1,74A	0,93B	1,63A	1,05B
	200	1,67A	0,94B	1,59A	0,95B	1,71A	0,98B	1,60A	0,95B	1,53A	1,13B
	300	1,63A	0,95B	1,53A	1,02B	1,65A	1,08B	1,67A	1,08B	1,64A	1,15B
TNT-F	0	40,80A	19,36B	43,56A	21,46B	45,57A	22,24B	46,41A	24,23B	50,19A	25,91B
	100	41,17A	22,09B	43,16A	22,76B	46,13A	24,52B	48,18A	26,46B	50,43A	27,94B
	200	40,83A	23,58B	43,17A	23,78B	46,82A	25,77B	48,33A	27,57B	49,32A	29,39B
	300	42,45A	24,88B	44,21A	26,34B	46,01A	28,5B	48,41A	28,99B	50,22A	30,22B
EUNF	0	0,095B	0,273A	0,093B	0,249A	0,084B	0,255A	0,084B	0,205A	0,074B	0,220A
	100	0,102B	0,252A	0,097B	0,224A	0,083B	0,198A	0,082B	0,183A	0,078B	0,176A
	200	0,101B	0,247A	0,092B	0,226A	0,084B	0,174A	0,081B	0,172A	0,078B	0,180A
	300	0,093B	0,213A	0,087B	0,221A	0,085B	0,181A	0,078B	0,201A	0,078B	0,207A
TNT-F _A	0	2,49A	2,11A	2,49A	2,21A	2,33A	2,21A	2,40A	2,39A	2,74A	2,53A
	100	2,46A	2,43A	2,40A	2,30A	2,50A	2,47A	2,47A	2,58A	2,69A	2,81A
	200	2,34A	2,47A	2,29A	2,32A	2,48A	2,45A	2,45A	2,64A	2,55A	2,90A
	300	2,17A	2,50A	2,37A	2,64A	2,64A	2,89A	2,53A	2,73A	2,63A	3,06A

MS=massa de matéria seca.

Médias seguidas pela mesma letra na linha, para cada combinação das doses de N em pré-plantio e cobertura, as épocas de cultivo não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

DMS = desvio médio significativo.

DMS_{TNT-QF_Aárea}=0,64; DMS_{TNT-F}=4,67; DMS_{EUNF}=0,05; DMS_{TNT-F_Aárea}=0,91.

Tabela 36. Valores médios do teor de N total no caule (TNT-C, g kg⁻¹) e ângulo hue (°h), do brilho (L'), cromaticidade (C), em função das doses de N em pré-plantio (kg ha⁻¹ de N) e cobertura (kg ha⁻¹ de N), para a cultivar Ágata

Variável dependente	N em Cobertura (kg ha ⁻¹)	Doses de N em Pré-Plantio (kg ha ⁻¹)									
		0		50		100		200		300	
		Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa
TNT-C	0	19,4A	9,73B	23,08A	9,99B	24,11A	10,91B	29,16A	12,71B	25,75A	13,93B
	100	20,58A	11,40B	24,62A	12,55B	24,44A	13,45B	29,73A	14,61B	25,93A	15,61B
	200	21,16A	13,39B	23,92A	13,86B	23,92A	15,04B	28,31A	15,52B	25,59A	17,90B
	300	21,98A	14,64B	23,40A	15,63B	25,21A	16,51B	28,85A	17,39B	26,24A	19,34B
°h	0	114,83A	104,84B	115,58A	106,86B	117,55A	107,41B	118,13A	109,69B	115,45A	107,26B
	100	116,73A	106,91B	117,25A	108,00B	117,85A	109,76B	119,23A	110,11B	116,48A	108,68B
	200	116,90A	107,65B	118,50A	108,43B	118,8A	108,39B	118,75A	109,10B	117,45A	108,84B
	300	115,50A	107,20B	117,28A	107,66B	117,78A	107,24B	118,2A	108,75B	116,68A	108,80B
L'	0	45,53A	42,86B	45,03A	40,29B	44,08A	39,9B	43,45A	39,16B	41,55A	38,41B
	100	44,85A	40,05B	45,15A	40,39B	43,40A	37,61B	42,95A	38,51B	42,15A	37,21B
	200	44,60A	39,83B	43,78A	39,99B	42,68A	39,85B	42,68A	37,99B	41,13A	37,56B
	300	44,28A	40,11B	43,1A	39,19B	42,18A	39,05B	42,15A	38,94B	41,23A	37,80B
C	0	35,48A	34,63A	34,85A	32,29A	32,63A	31,84A	32,03A	30,96A	30,90A	27,86A
	100	34,23A	32,4A	33,18A	32,16A	32,28A	29,38A	31,55A	29,31A	30,23A	27,45A
	200	33,53A	31,35A	32,50A	30,78A	31,95A	29,93A	31,03A	28,95A	29,2A	27,08A
	300	34,60A	29,68B	33,35A	30,10A	32,83A	29,81A	30,38A	29,93A	28,58A	26,36A

MS=massa de matéria seca.

Médias seguidas pela mesma letra na linha, para cada combinação das doses de N em pré-plantio e cobertura, as épocas de cultivo não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

DMS = desvio médio significativo.

DMS_{TNT-C}=4,53; DMS_{°h}=2,57; DMS_{L'}=2,49; DMS_C=3,45.

Tabela 37. Valores médios da relação °h/(L*°C), índice SPAD na quarta folha, produtividade comercial (PC, t ha⁻¹), em função das doses de N em pré-plantio (kg ha⁻¹ de N) e cobertura (kg ha⁻¹ de N), para a cultivar Ágata

Variável dependente	N em Cobertura (kg ha ⁻¹)	Doses de N em Pré-Plantio (kg ha ⁻¹)									
		0		50		100		200		300	
		Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa
°h/(L*°C)	0	0,071A	0,071A	0,074A	0,085A	0,082A	0,085A	0,085A	0,091A	0,09A	0,102A
	100	0,076A	0,085A	0,081A	0,084A	0,085A	0,1A	0,088A	0,098A	0,092A	0,108A
	200	0,079A	0,087A	0,084A	0,089A	0,088A	0,091A	0,090A	0,102A	0,099A	0,108A
	300	0,076A	0,093A	0,082A	0,092A	0,086A	0,093A	0,093A	0,094A	0,1A	0,112A
SPAQF	0	32,63A	23,95B	34,1A	26,58B	36,23A	27,50B	40,10A	33,9B	38,30A	36,58A
	100	33,33A	26,45B	34,25A	27,63B	36,43A	31,55B	41,03A	36,00B	38,60A	38,60A
	200	33,50A	29,65B	34,90A	30,48B	37,53A	33,23B	41,85A	37,63B	39,93A	39,18A
	300	32,80A	30,60A	34,35A	33,28A	36,40A	36,23A	40,73A	38,78A	39,83A	39,73A
PCTU	0	35,83A	23,2B	39,08A	24,48B	46,41A	26,74B	47,38A	29,19B	42,71A	27,89B
	100	36,71A	26,17B	39,99A	28,16B	47,11A	28,39B	48,48A	30,27B	43,67A	28,47B
	200	40,03A	26,75B	44,35A	28,35B	43,64A	30,77B	47,35A	31,96B	41,23A	29,67B
	300	39,71A	25,75B	45,73A	27,33B	43,86A	28,43B	47,49A	30,18B	40,0A	28,28B

Médias seguidas pela mesma letra na linha, para cada combinação das doses de N em pré-plantio e cobertura, as épocas de cultivo não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

DMS = desvio médio significativo.

DMS_{°h/(L*°C)}=0,013; DMS_{SPAD}=3,45; DMS_{PCTU}=4,80.

3.1.7 Comparação entre as épocas de cultivo, na cultivar Atlantic

As comparações das médias entre as épocas seca e chuvosa, para as variáveis dependentes avaliadas (índices fisiológicos, nitrogenados, parâmetros estruturais da QF e PCTU), para cada combinação das doses de N em pré-plantio e cobertura, para a cultivar Atlantic, estão listadas nas Tabelas 38 a 44.

Tabela 38. Valores médios da área foliar (AF) da planta (AFP, cm²/planta), da QF (AFQF, cm²/planta), específica da QF (AFEQF, cm² g⁻¹) e específica da planta (AFEP, cm² g⁻¹), em função das doses de N em pré-plantio (kg ha⁻¹ de N) e cobertura (kg ha⁻¹ de N), para a cultivar Atlantic

Variável dependente	N em Cobertura (kg ha ⁻¹)	Doses de N em Pré-Plantio (kg ha ⁻¹)									
		0		50		100		200		300	
		Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa
AFP	0	3385,19A	1264,65B	3568,62A	1750,95B	4083,63A	1996,28B	4180,71A	2101,56B	4688,01A	2509,24B
	100	3808,34A	1770,62B	4303,79A	2264,41B	4587,69A	2359,92B	4968,15A	2592,52B	5170,29A	3032,58B
	200	4102,76A	2373,72B	4533,46A	2528,42B	4728,72A	2740,47B	4959,27A	2825,19B	5286,87A	3025,36B
	300	3885,78A	2653,52B	4471,61A	3028,38B	4660,49A	3033,08B	4908,80A	3357,30B	5282,22A	3403,85B
AFQF	0	220,92A	192,26A	252,88A	227,38A	277,16A	262,17A	298,23A	300,1115	294,04A	293,62A
	100	224,97A	202,26A	264,75A	237,93A	287,66A	261,90A	307,05A	312,5803	298,62A	302,66A
	200	258,19A	234,45A	275,48A	254,32A	309,46A	266,92A	310,46A	343,4986	282,06A	292,62A
	300	271,38A	232,37A	282,42A	242,45A	296,04A	254,54A	304,39A	337,3717	300,85A	280,71A
AFEQF	0	260,93A	319,90A	285,51A	353,67A	312,33A	376,50A	330,63B	406,60A	310,05B	400,91A
	100	263,04A	328,33A	296,44A	357,45A	317,74A	381,81A	326,14B	406,07A	312,28B	402,93A
	200	294,68A	358,11A	295,00B	364,94A	328,97A	373,84A	331,68B	418,70A	290,03B	381,64A
	300	290,91B	371,47A	297,37B	378,76A	303,74A	366,80A	323,48B	413,86A	315,72A	383,31A
AFEP	0	191,10A	174,17A	192,96A	183,72A	201,05A	184,83A	218,54A	191,12A	211,51A	189,17A
	100	202,81A	187,70A	208,73A	186,31A	212,12A	210,63A	209,56A	198,43A	206,91A	180,23A
	200	210,13A	188,50A	212,34A	194,28A	213,15A	192,45A	212,67A	207,10A	206,81A	188,66A
	300	212,17A	192,83A	211,21A	192,98A	209,89A	185,52A	204,49A	198,55A	208,11A	210,65A

Médias seguidas pela mesma letra na linha, para cada combinação das doses de N em pré-plantio e cobertura, as épocas de cultivo não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

DMS = desvio médio significativo.

DMS_{AFP}=705,71; DMS_{AFQF}=61,64; DMS_{AFEQF}=98,24; DMS_{AFEP}=52,89.

Tabela 39. Valores médios da razão de área foliar (RAF, $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$), massa de matéria seca (MS) da QF (MSQF, g/planta), total (MST, g/planta) e teor de clorofila total (TCHL_{total}, $\mu\text{g cm}^{-2}$), em função das doses de N em pré-plantio (kg ha^{-1} de N) e cobertura (kg ha^{-1} de N), para a cultivar Atlantic

Variável dependente	N em Cobertura (kg ha^{-1})	Doses de N em Pré-Plantio (kg ha^{-1})									
		0		50		100		200		300	
		Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa
RAF	0	48,51A	34,66B	47,43A	41,51A	50,13A	42,80A	49,30A	40,68A	57,29A	38,78B
	100	50,78A	42,36A	53,67A	48,85A	54,43A	49,28A	55,30A	44,68A	60,43A	53,33A
	200	52,41A	48,23A	53,15A	49,33A	53,45A	49,30A	58,14A	45,26B	60,94A	44,63B
	300	53,13A	52,10A	55,48A	56,36A	54,06A	54,65A	55,07A	53,69A	61,37A	52,73A
MSQF	0	0,85A	0,60B	0,88A	0,64B	0,88A	0,70B	0,91A	0,73B	0,94A	0,73B
	100	0,87A	0,62B	0,88A	0,67B	0,90A	0,68B	0,94A	0,77B	0,96A	0,75B
	200	0,89A	0,66B	0,93A	0,69B	0,95A	0,71B	0,95A	0,82B	0,98A	0,76B
	300	0,94A	0,62B	0,96A	0,65B	0,97A	0,69B	0,94A	0,81B	0,95A	0,73B
MST	0	69,93A	36,54B	75,57A	42,51B	81,55A	46,59B	84,99A	52,29B	82,02A	64,58B
	100	74,92A	41,86B	81,25A	47,36B	84,96A	48,06B	92,80A	58,03B	85,67A	65,34B
	200	78,18	49,84B	85,88A	51,45B	89,45A	55,69B	92,96A	62,41B	86,99A	68,54B
	300	75,11A	51,44B	80,55A	54,02B	86,22A	55,51B	89,13A	64,10B	86,26A	67,50B
TCHL _{total}	0	173,29A	81,53B	191,34A	106,53B	200,26A	111,3B	204,84A	117,02B	202,8A	110,06B
	100	196,13A	103,72B	194,91A	117,57B	202,32A	119,63B	209,25A	119,25B	208,8A	107,35B
	200	202,33A	106,16B	208,38A	125,12B	211,32A	121,48B	209,84A	121,46B	207,41A	116,57B
	300	201,33A	99,22B	203,77A	113,00B	205,06A	116,65B	205,93A	115,98B	201,78A	113,56B

Médias seguidas pela mesma letra na linha, para cada combinação das doses de N em pré-plantio e cobertura, as épocas de cultivo não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

DMS = desvio médio significativo.

DMS_{RAF}=11,86; DMS_{MSQF}=0,12; DMS_{MST}=13,50; DMS_{TCHL_{total}}=16,25.

Tabela 40. Valores médios da relação entre o TCHLa e TCHLb (TCHLa/b, $\mu\text{g cm}^{-2}$), espessura do folíolo terminal da QF (EQF, mm), densidade de massa foliar da QF (LMDQF, g dm^{-3}), espessura equivalente (EWT, $\text{kg H}_2\text{O m}^{-2}$), em função das doses de N em pré-plantio (kg ha^{-1} de N) e cobertura (kg ha^{-1} de N), para a cultivar Atlantic

Variável dependente	N em Cobertura (kg ha^{-1})	Doses de N em Pré-Plantio (kg ha^{-1})									
		0		50		100		200		300	
		Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa
TCHLa/b	0	2,72A	2,07A	1,81A	2,61A	1,76A	2,63A	1,65A	2,83A	1,61A	2,67A
	100	1,72A	2,87A	1,8A	2,50A	1,68A	2,51A	1,53A	2,88A	1,64A	3,91A
	200	1,77A	3,36A	1,73A	2,68A	1,64A	2,56A	1,63A	2,87A	1,59A	3,16A
	300	1,66A	2,94A	1,83A	3,50A	1,63A	2,77A	1,57A	3,91A	1,68A	3,94A
EQF	0	0,403A	0,384A	0,366A	0,37A	0,36A	0,368A	0,352A	0,349A	0,367A	0,343A
	100	0,389A	0,366A	0,346A	0,353A	0,351A	0,361A	0,345A	0,345A	0,374A	0,34A
	200	0,379A	0,343A	0,374A	0,346A	0,356A	0,347A	0,337A	0,341A	0,359A	0,334A
	300	0,365A	0,339A	0,376A	0,322B	0,364A	0,35A	0,365A	0,328A	0,375A	0,331B
LMDQF	0	101,62A	82,77A	96,97A	78,35A	90,42A	74,50A	98,20A	71,16A	88,71A	73,21A
	100	105,55A	84,69A	101,22A	80,05A	95,14A	73,28A	91,20A	72,85A	88,40A	74,05A
	200	91,26A	83,19A	90,81A	79,63A8	86,95A	77,82A	91,24A	70,90A	98,75A	79,54A
	300	95,48A	80,21A	90,57A	85,64A	90,79A	78,85A	85,42A	73,83A	87,52A	79,81A
EWT	0	349,31A	165,04B	285,30A	148,28B	263,81A	143,99B	249,04A	130,42B	281,97A	145,06B
	100	329,01A	164,17B	302,66A	139,97B	295,39A	140,88B	273,95A	127,60B	305,33A	157,09B
	200	313,50A	155,26B	295,27A	138,20B	270,05A	152,18B	283,28A	126,21B	340,95A	157,12B
	300	307,56A	161,05B	295,60A	159,48B	293,94A	164,83B	302,34A	133,05B	337,50A	176,72B

Médias seguidas pela mesma letra na linha, para cada combinação das doses de N em pré-plantio e cobertura, as épocas de cultivo não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

DMS = desvio médio significativo.

DMS_{TCHLa/b}=1,34; DMS_{EQF}=0,04; DMS_{LMDQF}=21,85; DMS_{EWT}=63,99.

Tabela 41. Valores médios da relação massa de matéria seca e fresca da QF ($MS_{MF^{-1}}$, $g\ g^{-1}$), teor de N total na QF (TNT-QF, $g\ kg^{-1}$), conteúdo de N total na QF (CNT-QF, $kg\ ha^{-1}$), eficiência do uso do N na QF (EUN_{QF} , $kg\ MS\ kg^{-1}\ N$), em função das doses de N em pré-plantio ($kg\ ha^{-1}$ de N) e cobertura ($kg\ ha^{-1}$ de N), para a cultivar Atlantic

Variável dependente	N em Cobertura ($kg\ ha^{-1}$)	Doses de N em Pré-Plantio ($kg\ ha^{-1}$)									
		0		50		100		200		300	
		Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa
$MS_{MF^{-1}}$	0	0,107B	0,162A	0,111B	0,162A	0,109B	0,160A	0,115B	0,159A	0,105B	0,149A
	100	0,115B	0,164A	0,104B	0,173A	0,102B	0,161A	0,102B	0,163A	0,096B	0,137A
	200	0,100B	0,155A	0,103B	0,172A	0,105B	0,151A	0,098B	0,160A	0,094B	0,144A
	300	0,102B	0,143A	0,104B	0,146A	0,101B	0,144A	0,093B	0,154A	0,089B	0,135A
TNT-QF	0	41,85A	32,34B	45,70A	36,07B	48,4A	37,90B	52,74A	40,27B	50,05A	37,56B
	100	45,42A	35,43B	46,37A	38,80A	49,03A	40,24B	53,22A	41,12B	50,58A	40,25B
	200	46,15A	38,38A	45,98A	40,80A	49,57A	42,01A	50,77A	44,49A	49,73A	41,65B
	300	45,52A	36,26B	45,37A	38,40A	50,66A	39,51B	52,54A	42,50B	50,48A	40,33B
CNT-QF	0	1,89A	1,05B	2,17A	1,24B	2,29A	1,42B	2,57A	1,58B	2,54A	1,47B
	100	2,11A	1,17B	2,19A	1,40B	2,37A	1,47B	2,67A	1,7B	2,59A	1,61B
	200	2,15A	1,34B	2,29A	1,51B	2,52A	1,60B	2,61A	1,96B	2,65A	1,70B
	300	2,27A	1,17B	2,28A	1,32B	2,63A	1,46B	2,63A	1,85B	2,56A	1,57B
EUN_{QF}	0	1,99A	1,90A	1,94A	1,93A	1,90A	1,78A	1,79A	1,76A	1,79B	2,41A
	100	1,92A	1,94A	2,00A	1,900A	1,95A	1,75A	1,84A	1,85A	1,77A	2,09A
	200	1,99A	1,96A	2,02A	1,84A	1,92A	1,88A	2,07A	1,71A	1,92A	2,17A
	300	1,88A	2,34A	1,88A	2,17A	1,77A	2,08A	1,82A	1,85A	1,81A	2,27A

Médias seguidas pela mesma letra na linha, para cada combinação das doses de N em pré-plantio e cobertura, as épocas de cultivo não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

DMS = desvio médio significativo.

$DMS_{MS_{MF^{-1}}}=0,02$; $DMS_{TNT-QF}=8,02$; $DMS_{CNT-QF}=0,48$; $DMS_{EUN_{QF}}=0,70$.

Tabela 42. Valores médios do N total na QF por área (TNT-QF_A, g m⁻²), teor de N total na folha (TNT-F, g kg⁻¹), eficiência do uso do N foliar (EUNF, kg MS kg⁻¹ N), e teor de N total na folha por área (TNT-F_A, g m⁻²), em função das doses de N em pré-plantio (kg ha⁻¹ de N) e cobertura (kg ha⁻¹ de N), para a cultivar Atlantic

Variável dependente	N em Cobertura (kg ha ⁻¹)	Doses de N em Pré-Plantio (kg ha ⁻¹)									
		0		50		100		200		300	
		Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa
TNT-QF _A	0	1,69A	1,03B	1,61A	1,02B	1,56A	1,02B	1,73A	0,98B	1,60A	0,93B
	100	1,80A	1,08B	1,61A	1,1B	1,64A	1,06B	1,64A	1,01B	1,64A	1,00B
	200	1,56A	1,08B	1,55A	1,11B	1,54A	1,12B	1,57A	1,07B	1,80A	1,09B
	300	1,59A	0,97B	1,53A	1,03B	1,66A	1,08B	1,62A	1,02B	1,63A	1,05B
TNT-F	0	41,67A	24,24B	43,73A	27,05B	48,04A	28,74B	48,15A	26,93B	51,35A	25,86B
	100	42,23A	28,84B	43,76A	29,58B	49,22A	30,43B	48,33A	29,4B	51,38A	27,82B
	200	41,28A	30,05B	44,77A	30,42B	41,49A	31,28B	52,27A	30,51B	52,14A	29,6B
	300	44,83A	28,44B	41,41A	29,63B	44,3A	30,66B	51,36A	29,87B	53,25A	27,85B
EUNF	0	0,094B	0,213A	0,094B	0,169A	0,083B	0,151A	0,091B	0,182A	0,071B	0,192A
	100	0,094B	0,153A	0,094A	0,130A	0,081B	0,140A	0,082B	0,1482A	0,067B	0,138A
	200	0,096A	0,133A	0,090B	0,135A	0,106A	0,127A	0,072B	0,152A	0,065B	0,154A
	300	0,088B	0,130A	0,095A	0,116A	0,088A	0,113A	0,072B	0,128A	0,064B	0,151A
TNT-F _A	0	2,21A	1,40B	2,32A	1,50B	2,41A	1,58B	2,47A	1,41B	2,46A	1,39B
	100	2,11A	1,59B	2,13A	1,63B	2,32A	1,48B	2,32A	1,53B	2,47A	1,56B
	200	1,99A	1,63B	2,12A	1,60B	1,94A	1,67B	2,59A	1,55B	2,52A	1,63B
	300	2,24A	1,55B	1,96A	1,57B	2,17A	1,69B	2,51A	1,50B	2,58A	1,34B

MS=massa de matéria seca.

Médias seguidas pela mesma letra na linha, para cada combinação das doses de N em pré-plantio e cobertura, as épocas de cultivo não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

DMS = desvio médio significativo.

DMS_{TNT-QF_Aárea}=0,68; DMS_{TNT-F}=6,30; DMS_{EUNF}=0,04; DMS_{TNT-F_Aárea}=0,66.

Tabela 43. Valores médios do teor de N total no caule (TNT-C, g kg⁻¹) e ângulo hue (°h), do brilho (L'), cromaticidade (C), em função das doses de N em pré-plantio (kg ha⁻¹ de N) e cobertura (kg ha⁻¹ de N), para a cultivar Atlantic

Variável dependente	N em Cobertura (kg ha ⁻¹)	Doses de N em Pré-Plantio (kg ha ⁻¹)									
		0		50		100		200		300	
		Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa
TNT-C	0	18,21A	16,86A	20,14A	19,07A	21,85A	21,20A	25,1A	21,87A	30,44A	22,72B
	100	18,85A	19,95A	21,74A	22,08A	22,53A	22,39A	26,47A	23,28A	30,01A	23,54B
	200	18,12A	22,43A	22,51A	23,84A	21,79A	23,43A	24,7A	25,31A	29,28A	26,01A
	300	19,19A	24,33A	22,75A	25,89A	24,78A	27,38A	26,09A	27,85A	28,43A	26,78A
°h	0	117,53A	111,06B	118,78A	112,15B	119,85A	112,81B	118,9A	113,15B	118,48A	112,06B
	100	117,28A	114,45B	119,08A	114,95B	118,95A	114,99B	120,28A	114,54B	119,15A	113,14B
	200	118,58A	112,30B	119,05A	113,49B	119,95A	114,05B	119,8A	114,85B	118,55A	113,68B
	300	117,38A	112,48B	117,23A	114,29B	118,73A	113,94B	120,4A	112,86B	118,83A	112,86B
L'	0	44,73A	42,55B	44,33A	41,39B	42,53A	40,21B	41,83A	39,51B	41,28A	39,06B
	100	44,40A	41,36B	42,88A	41,19A	42,28A	39,64B	41,55A	39,45A	41,05A	38,80B
	200	43,88A	40,54B	43,58A	40,44B	42,3A	40,03B	41,23A	38,50B	40,55A	39,31A
	300	43,78A	39,43B	43,33A	39,34B	42,03A	39,81B	40,58A	39,36A	39,1A	38,46A
C	0	35,48A	32,48A	33,40A	31,73A	31,35A	30,58A	30,58A	29,94A	29,58A	29,25A
	100	33,95A	30,83A	33,68A	30,95A	30,48A	29,14A	29,85A	30,23A	29,55A	30,03A
	200	34,90A	30,33B	32,05A	30,91A	30,5A	29,75A	30,18A	28,59A	29,00A	30,98A
	300	33,23A	30,91A	36,18A	29,40B	30,93A	29,95A	29,6A	28,53A	27,53A	29,99A

Médias seguidas pela mesma letra na linha, para cada combinação das doses de N em pré-plantio e cobertura, as épocas de cultivo não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

DMS = desvio médio significativo.

DMS_{TNT-C}=4,64; DMS_{°h}=2,40; DMS_{L'}=2,14; DMS_C=3,20.

Tabela 44. Valores médios da relação °h/(L**C*), índice SPAD na QF, produtividade comercial (PCTU, t ha⁻¹), em função das doses de N em pré-plantio (kg ha⁻¹ de N) e cobertura (kg ha⁻¹ de N), para a cultivar Atlantic

Variável dependente	N em Cobertura (kg ha ⁻¹)	Doses de N em Pré-Plantio (kg ha ⁻¹)									
		0		50		100		200		300	
		Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa
°h/(L* <i>C</i>)	0	0,074A	0,081A	0,082A	0,086A	0,09A	0,093A	0,094A	0,096A	0,098A	0,099A
	100	0,078A	0,091A	0,083A	0,091A	0,092A	0,1A	0,097A	0,096A	0,099A	0,097A
	200	0,078A	0,091A	0,085A	0,091A	0,093A	0,097A	0,098A	0,105A	0,101A	0,094A
	300	0,082A	0,092A	0,076A	0,099A	0,091A	0,096A	0,101A	0,101A	0,111A	0,098A
SPAQF	0	34,08A	30,53B	36,1A	32,00A	39,43A	33,63B	43,23A	36,38B	40,5A	39,33A
	100	34,68A	31,98A	36,8A	35,25A	39,55A	35,80B	43,9A	38,35B	41,13A	40,1A
	200	35,15A	34,28A	38,88A	36,68A	40,13A	37,45A	43,2A	39,83B	41,15A	39,23A
	300	35,25A	35,23A	37,78A	38,3A	39,6A	39,5A	43,15A	40,95A	40,25A	39,78A
PCTU	0	37,36A	19,31B	39,97A	23,22B	41,69A	25,19B	45,46A	26,12B	42,51A	25,25B
	100	38,79A	22,49B	40,45A	25,55B	42,65A	27,18B	45,04A	28,07B	44,65A	27,05B
	200	39,05A	26,12B	41,25A	26,75B	43,93A	29,83B	45,66A	30,71B	42,56A	28,25B
	300	39,10A	24,73B	41,00A	25,24B	44,20A	27,11B	45,75A	33,29B	42,34A	25,98B

Médias seguidas pela mesma letra na linha, para cada combinação das doses de N em pré-plantio e cobertura, as épocas de cultivo não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

DMS = desvio médio significativo.

DMS_{°h/(L**C*)}=0,012; DMS_{SPAD}=3,17; DMS_{PCTU}=4,29.

3.7 Correlações das variáveis dependentes com a produtividade comercial de tubérculos, para cada época de cultivo e cultivar

As estimativas dos coeficientes de correlação linear simples (r) das variáveis dependentes avaliadas (índices fisiológicos, nitrogenados e parâmetros estruturais da QF), para as duas cultivares de batata, com a produtividade comercial de tubérculos (PCTU, $t\ ha^{-1}$), para a época seca, estão apresentadas na Tabela 45.

As estimativas do coeficiente de correlação linear simples (r) das variáveis dependentes avaliadas (índices fisiológicos, nitrogenados e parâmetros estruturais da QF), para as duas cultivares de batata, com a produtividade comercial de tubérculos (PCTU, $t\ ha^{-1}$), para a época chuvosa, estão apresentadas na Tabela 46.

Tabela 45. Estimativas dos coeficientes de correlação linear simples (r) das variáveis dependentes avaliadas (índices fisiológicos, nitrogenados e parâmetros estruturais da QF), aos 42 dias após a emergência (DAE), com a variável independente (produtividade comercial), na época seca

Variável dependente	Unidade	Produtividade Comercial	
		Cultivares	
		Ágata	Atlantic
Índices Fisiológicos			
Área foliar da planta - AFP	g/planta	0,82**	0,74**
Área foliar da quarta folha - AFQF	g/planta	0,84**	0,90**
Área foliar específica da QF - AFEQF	cm ² g ⁻¹	0,57**	0,88**
Área foliar específica da planta - AFEP	cm ² g ⁻¹	0,71**	0,51*
Razão de área foliar – RAF	cm ² g ⁻¹	0,77**	0,46*
Massa seca da quarta folha – MSQF	g/planta	0,74**	0,64**
Massa seca total – MST	g/planta	0,71**	0,91**
Ângulo hue - °h	-	0,76**	0,73**
Brilho - L'	-	-0,44*	-0,76**
Cromaticidade - C	-	-0,43*	0,76**
°h/(L'*C)	-	0,42*	0,76**
Índices Nitrogenados			
SPADQF	-	0,65**	0,96**
Teor de clorofila <i>total</i> - TCHLT	µg cm ⁻²	0,66**	0,73**
Teor de clorofila <i>a/b</i> - TCHLa/b	µg cm ⁻²	-0,17 ^{NS}	-0,63**
Eficiência do uso do N na QF - EUNQF	kg kg ⁻¹	-0,44*	-0,44*
Teor de N total na quarta folha - TNT-QF	g kg ⁻¹	0,84**	0,94**
Teor de N total na QF por área - TNT-QF _A	g m ⁻²	0,43*	-0,02 ^{NS}
Conteúdo de N-total na QF - CNT-QF	kg ha ⁻¹	0,87**	0,92**
Teor de N total na folha - TNT-F	g kg ⁻¹	0,52**	0,64**
Eficiência do uso do N na folha - EUNF	kg kg ⁻¹	-0,62**	-0,47*
Teor de N total na folha por área - TNT-F _A	g m ⁻²	0,01 ^{NS}	0,51**
Teor de N total no caule - TNT-C	g kg ⁻¹	0,77**	0,70**
Parâmetros Estruturais na QF			
Espessura da quarta folha – EQF	mm	-0,71**	-0,66**
Densidade da massa foliar - LMDQF	g dm ⁻³	0,29 ^o	-0,56**
Espessura equivalente – EWT	g m ⁻²	-0,30 ^o	-0,53**
Razão massa seca e fresca da QF - MS MF ⁻¹	g g ⁻¹	-0,40*	-0,32 ^o

^{NS}, **, * e °: não significativo, significativo a 1, 5 e 10% de probabilidade, pelo teste “t”, respectivamente.

Tabela 46. Estimativas dos coeficientes de correlação linear simples (r) das variáveis dependentes avaliadas (índices fisiológicos, nitrogenados e parâmetros estruturais da QF), aos 42 dias após a emergência (DAE), com a variável independente (produtividade comercial), na época chuvosa

Variável dependente	Unidade	Produtividade Comercial	
		Cultivares	
		Ágata	Atlantic
Índices Fisiológicos			
Área foliar da planta -AFP	g/planta	0,92**	0,74**
Área foliar da quarta folha - AFQF	g/planta	0,94**	0,83**
Área foliar específica da QF - AFEQF	cm ² g ⁻¹	0,86**	0,76**
Área foliar específica da planta - AFEP	cm ² g ⁻¹	0,78**	0,55**
Razão de área foliar - RAF	cm ² g ⁻¹	0,74**	0,50**
Massa seca da quarta folha - MSQF	g/planta	0,93**	0,84**
Massa seca total - MST	g/planta	0,89**	0,69**
Ângulo hue - °h	-	0,81**	0,43*
Brilho - L'	-	-0,67**	-0,66**
Cromaticidade - C	-	-0,61**	-0,76**
°h/(L'*C)	-	0,61**	0,77**
Índices Nitrogenados			
SPADQF	-	0,75**	0,78**
Teor de clorofila <i>total</i> - TCHLT	µg cm ⁻²	0,68**	0,75**
Teor de clorofila <i>a/b</i> - TCHLa/b	µg cm ⁻²	0,59**	0,44*
Eficiência do uso do N na QF - EUNQF	kg kg ⁻¹	0,02 ^{NS}	-0,21 ^{NS}
Teor de N total na quarta folha - TNT-QF	g kg ⁻¹	0,71**	0,93**
Teor de N total na QF por área - TNT-QF _A	g m ⁻²	0,40*	0,20 ^{NS}
Conteúdo de N-total na QF - CNT-QF	kg ha ⁻¹	0,85**	0,90**
Teor de N total na folha - TNT-F	g kg ⁻¹	0,70**	0,68**
Eficiência do uso do N na folha - EUNF	kg kg ⁻¹	-0,86**	-0,52**
Teor de N total na folha por área - TNT-F _A	g m ⁻²	0,52**	0,27 ^{NS}
Teor de N total no caule - TNT-C	g kg ⁻¹	0,64**	0,75**
Parâmetros Estruturais na QF			
Espessura da quarta folha - EQF	mm	-0,82**	-0,63**
Densidade da massa foliar - LMDQF	g dm ⁻³	0,59**	-0,53**
Espessura equivalente - EWT	g m ⁻²	-0,45*	-0,50*
Razão massa seca e fresca da QF - MS MF ⁻¹	g g ⁻¹	-0,36*	-0,15 ^{NS}

^{NS}, **, * e °: não significativo, significativo a 1, 5 e 10% de probabilidade, pelo teste "t", respectivamente.

3.8 Estimativa do teor de N na quarta folha via regressão linear simples e múltipla

O modelo de regressão linear simples e múltipla descreve a relação entre a variável dependente (teor de N na QF, g kg⁻¹) em função de duas variáveis independentes (espessura da QF e área foliar específica da QF). As equações ajustadas referentes à estimativa do teor de N na QF, em função da espessura da QF e da área foliar específica da QF, para as duas cultivares de batata, na época seca e chuvosa, estão listadas na Tabela 47.

Tabela 47. Equações ajustadas para o teor de N na QF (g kg⁻¹) com o índice SPAD, com o teor de clorofila extraível na QF (TCHL_{total}, µg cm⁻²), com o índice SPAD e espessura da QF (EQF, mm), com o índice SPAD e área foliar específica da QF (AFEQF, cm² g⁻¹), para a época seca e chuvosa, nas cultivares Ágata e Atlantic, respectivamente

Cultivar	Equações ajustadas	r ²
Época seca		
Ágata	$\hat{Y} = 22,0385 + 0,745878 * SPAD$	0,77
Atlantic	$\hat{Y} = 11,48808 + 0,944649 * SPAD$	0,96
Ágata	$\hat{Y} = -42,5021 + 0,483009 * TCHL_{total}$	0,93
Atlantic	$\hat{Y} = -57,6228 + 0,525252 * TCHL_{total}$	0,90
Ágata	$\hat{Y} = 80,1405 + 0,0696287 * SPAD - 97,3178 * EQF$	0,86
Atlantic	$\hat{Y} = -8,12570 + 1,07856 * SPAD - 39,3126 * EQF$	0,97
Ágata	$\hat{Y} = 80,1405 + 0,0696287 * SPAD - 97,3178 * AFEQF$	0,86
Atlantic	$\hat{Y} = 8,12570 + 1,07856 * SPAD + 39,3126 * AFEQF$	0,97
Época chuvosa		
Ágata	$\hat{Y} = 14,8718 + 0,600957 * SPAD$	0,91
Atlantic	$\hat{Y} = 9,91586 + 0,797796 * SPAD$	0,78
Ágata	$\hat{Y} = 15,8715 + 0,173084 * TCHL_{total}$	0,62
Atlantic	$\hat{Y} = 11,3269 + 0,248660 * TCHL_{total}$	0,77
Ágata	$\hat{Y} = 32,4805 + 0,379118 * SPAD - 29,2738 * EQF$	0,92
Atlantic	$\hat{Y} = -36,5920 + 1,10614 * SPAD + 101,109 * EQF$	0,82
Ágata	$\hat{Y} = 32,4805 + 0,379118 * SPAD - 29,2738 * AFEQF$	0,92
Atlantic	$\hat{Y} = -36,5920 + 1,10614 * SPAD + 101,109 * AFEQF$	0,82

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

4.0 Discussão

4.1 Índices fisiológicos

Para a determinação da assimilação e partição de carbono para os órgãos de crescimento das plantas, deve-se usar preferencialmente a massa de matéria seca e a área foliar da planta. A área foliar da planta de batata é característica importante na avaliação da eficiência fotossintética das plantas, na determinação de danos bióticos e abióticos (Larcher, 2000), relacionado com o acúmulo de matéria seca, metabolismo vegetal, produção final, qualidade e maturação das culturas (Taiz & Zeiger, 2004).

A massa de matéria seca total, geralmente, pode ser aplicada para definir a produção. A deficiência de N, além de reduzir o crescimento, pode comprometer a partição de assimilados entre as diferentes partes da planta, ocasionando, geralmente, aumento na relação entre a massa seca dos tubérculos e da parte aérea. Para avaliar o efeito do N nas plantas ou a adequação do programa de adubação nitrogenada para a cultura, podem ser utilizados índices indiretos, dentre eles os índices fisiológicos. Dentre os índices fisiológicos, a área foliar da planta, a QF e a massa de matéria seca das plantas de batata e os padrões de particionamento em várias partes da planta, principalmente para os tubérculos, são importantes parâmetros para as práticas que aperfeiçoam a eficiência na absorção de nutrientes e produção de tubérculos.

A área foliar da planta (AFP) é responsiva a adição de N. O efeito do N sobre a expansão e o número de folha afeta significativamente a interceptação luminosa (Vos, 1995; Vos & van der Putten, 1998) bem como a produção das culturas. A produção de culturas não é somente dependente da interceptação da luz, mas também da eficiência de utilização da radiação luminosa; razão entre a quantidade de radiação interceptada e o ganho de massa de matéria seca total da planta durante um intervalo de tempo (Monteith, 1977). A área foliar da planta é índice importante para estudos de nutrição mineral, uma vez que determina o ganho de massa de matéria seca proveniente da área foliar (fotossíntese).

A relação existente entre razão de área foliar (RAF) e área foliar específica (AFE), origina a razão de massa foliar. Diante disso, é possível dizer que a razão de área foliar está em função da área foliar específica (área foliar da planta por unidade de massa seca) e da razão de massa foliar (relação entre a massa de matéria seca das folhas e a massa de matéria seca total, ou seja, proporção entre a massa seca total alocada às

folhas). A área foliar específica e a razão de área foliar são relativamente sensíveis às mudanças ambientais, embora os incrementos na RAF sejam mais consequências do incremento da área foliar específica do que da razão de massa foliar, já que os valores da área foliar específica são mais sensíveis às alterações da irradiância (Lambers & Poorter, 1992).

Plantas submetidas em condições de limitação de N acarretam em menor área foliar, e conseqüentemente redução da razão de área foliar (unidade de área por unidade de massa seca total) (Gastal & Bélanger, 1993; van der Werf *et al.*, 1993). Nesta condição de N limitante, a taxa de fotossíntese requerida é reduzida, enquanto os fotoassimilados requeridos pela respiração aumentam (van der Werf *et al.*, 1993). Esta redução da razão de área foliar em condição de N limitante, também é acompanhada pela redução da razão de massa foliar (Hirose *et al.*, 1988).

O colorímetro é equipamento que também pode ser utilizado para quantificação da coloração de tecidos vegetais, de forma não-destrutiva (Amarantes *et al.*, 2008b). O colorímetro foi utilizado para a quantificação não-destrutiva dos teores de clorofilas em folhas de macieiras 'Royal Gala' e 'Fuji' (Amarantes *et al.*, 2008a), couve-flor e batata (Amarante *et al.*, 2008b), maçã (Dixon & Hewett, 1998), rúcula e salsa (Tuncay, 2011). Em estudo realizado por Olienyk *et al.* (1997), com pêssigo, relataram que não houve diferença entre as doses de 0; 45 e 90 kg ha⁻¹ de N sobre o ângulo hue (°h) e brilho (L). Em contraste com Olienyk *et al.* (1997), Amarante *et al.* (2008b) relataram aumento no ângulo hue e redução dos parâmetros brilho e cromaticidade em função dos teores de clorofila. Estes autores relataram que a relação °h/(L)*C resultou em melhor ajuste de modelos com os teores de clorofilas *a*, *b* e *total* nas folhas em couve-flor e batata, do que a utilização individual destes atributos de cor.

4.2 Índices nitrogenados

Os índices nitrogenados apresentaram aumento em relação às doses de N aplicadas em pré-plantio e cobertura. O estado nutricional nitrogenado da planta (ENP) pode ser monitorado por métodos diretos ou indiretos (Fontes, 2011), dentre eles estão incluídos os índices nitrogenados. No presente experimento, incrementos no teor de N total na quarta folha (QF), folhas e caule, foram responsáveis pelo aumento na leitura do índice SPAD e teor de clorofila. Uma detecção precoce do estado de N na planta e uma

oportuna e adequada dose de N são importantes práticas de manejo para a produção de batata.

O índice SPAD aumento quantificado na QF aumentou de forma quadrática, na época seca; e linear, na época chuvosa, para as duas cultivares, respectivamente. O aumento do índice SPAD em função das doses de N indica aumento na intensidade do verde da folha da plantas de batata.

O índice SPAD pode ser indicativo da necessidade da aplicação do N, desde que se conheça o nível crítico, abaixo do qual a planta estaria deficiente nesse elemento e sejam considerados outros fatores que podem afetar o índice SPAD, como as condições edafoclimáticas, a cultivar, ataques de pragas e doenças, posição de leitura, estado de crescimento (Chapman & Barreto, 1997; Busato *et al.*, 2010) e o horário de avaliação do estado de N nas plantas (Silva *et al.*, 2011). Outro parâmetro que influencia a leitura do índice SPAD para a avaliação do estado de N é a época de plantio (seca ou chuvosa). Ademais, é importante o agricultor ter conhecimento destas influências, evitando gastos desnecessários com fertilizantes bem como a redução dos prejuízos ambientais.

A medição do teor de clorofila quantificada pelo SPAD parece ser pouco influenciada pelo consumo de luxo de N, devido à planta produzir somente a quantidade de clorofila que necessita, indiferentemente do N encontrado na massa de matéria seca da planta. A baixa sensibilidade do medidor de clorofila SPAD ao consumo de luxo de N é, possivelmente, devido à forma com que o excesso de N se encontra na folha. Quando absorvido em excesso, o N acumula-se sob a forma de nitrato, não se associando à molécula de clorofila e, por isso, não é detectado pelo medidor SPAD (Blackmer & Schepers, 1995).

O clorofilômetro é ferramenta usada para alcançar maior eficiência produtiva e melhor cuidado com os recursos naturais. A aplicação da quantidade de N requerida pela planta, no momento certo, acarreta redução das perdas do fertilizante e da poluição ambiental, bem como aumento da eficiência do uso do N.

O teor de clorofila tem sido bem relacionado com a fotossíntese (Dawson *et al.*, 2003) e N (Coelho *et al.*, 2010). Ademais, Boussadia *et al.* (2011) relataram que o SPAD, além de avaliar o estado de N nas plantas, permite obter informações sobre os processos fotossintéticos. Estes últimos autores encontraram relação positiva e não linear entre o SPAD e fotossíntese.

O teor de clorofilas extraível nas folhas é influenciado por diversos fatores bióticos e abióticos, estando diretamente relacionado com o potencial de atividade fotossintética das plantas (Taiz & Zeiger, 2009). Portanto, sua quantificação é relevante no estudo de práticas culturais e de manejo, visando aumentar o potencial fotossintético e o rendimento das culturas. Jinwen *et al.* (2009) relataram que o efeito de doses de N sobre a espessura da folha, conteúdo de clorofila e razão das clorofilas *a* e *b* são indispensáveis para o entendimento das atividades fisiológicas, em arroz. O N influencia o teor de clorofila e também a relação entre a clorofila *a* e *b* (Kitajima & Hogan, 2003). Jinwen *et al.* (2009) observaram redução da relação entre as clorofilas *a* e *b* em função de doses de N. A relação entre as clorofilas *a* e *b* é um indicativo do estado de N nas plantas.

Foram encontradas correlações positivas entre o teor de clorofila e SPAD com o teor de N total na QF (dados não apresentados). Segundo os relatos de Evans (1989) mais da metade do N presente na folha é utilizado por proteínas fotossintetizantes. No presente experimento, não foi avaliado a taxa de fotossíntese líquida, mas segundo Boussadia *et al.* (2011) estes resultados indicam forte relação com a fotossíntese. Este comportamento foi observado em outras culturas (Dawson *et al.*, 2003).

No presente experimento, para a época seca, não foi observado efeito das doses de N aplicadas em pré-plantio e cobertura sobre o teor de N total na QF por área (TNT-QF_A , g cm^{-2}), nas duas cultivares, e na folha por área (TNT-F_A , g m^{-2}), para a cultivar Ágata. Vos & van der Putten (1998) também relataram que não foi observado efeito de doses de N sobre o teor de N por área. O teor de N total na QF e folha pode afetar a taxa líquida de fotossíntese. Este fato foi observado em girassol (Connor *et al.*, 1993). Os resultados do presente experimento estão de acordo com Flénet & Kiniry (1995) que relataram variação de 1,38 a 2,06 g m^{-2} . Este índice é relatado na literatura por inferir na eficiência do uso da radiação solar (Hammer & Wright, 1994; Bange *et al.*, 1997; Connor *et al.*, 1993; Vos & van der Putten, 1998).

Em estudo realizado por Bange *et al.* (1997), com girassol, foi observado aumento positivo da taxa de assimilação de CO_2 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{CO}_2$) com o teor de N na folha por área (TNT-F_A , g m^{-2}). Ademais, com esta relação positiva, a cultura foi capaz de aumentar a assimilação e distribuição de N (partição), acarretando em aumento do dossel da planta.

O N é o nutriente que mais limita a produção de muitas culturas em todo o mundo, e sua eficiência é importante para a sustentabilidade dos cultivos. É importante

a utilização de dose correta ou suficiente que proporciona a máxima produtividade para a sua melhor eficiência de utilização. A grande maioria dos produtores, ou aqueles que utilizam baixo índice tecnológico, aplicam todo o N no plantio. Zebarth & Milburn (2003) relataram que o período os 40 a 45 dias após o plantio (período de máxima absorção de nutrientes) compreende a época de maior risco de lixiviação de nitrato, indisponibilizando o N para as plantas. Com o intuito de aumentar a eficiência dos fertilizantes nitrogenados, a aplicação da dose deveria ser próximo da maior demanda de N pela cultura, e assim, reduzindo os riscos de perdas de N (Harris, 1992).

4,3 Parâmetros estruturais da quarta folha

Entre os parâmetros estruturais da QF, a espessura da QF reduziu com o aumento das doses de N em pré-plantio e cobertura, para as duas cultivares, nas duas épocas de cultivo. A folha é o órgão fotossintético, ou seja, constituída por grande número de cloroplastos no mesófilo foliar. Há relatos de que a espessura aumenta do ápice para a base, em algodão (Gausman *et al.*, 1971) e arroz (Jinwen *et al.*, 2011). Alguns fatores como a alta irradiância (Evans & Poorter, 2001) e a deficiência de N podem aumentar a espessura da folha (Jinwen *et al.*, 2011). Essas modificações apresentadas no aumento da espessura da QF é relacionado com o acúmulo de carboidratos (Poorter & Perez-Soba, 2002) ou modificações anatômicas (White & Consuelo-Montes, 2005).

A espessura desempenha papel importante e está relacionada com as estratégias de aquisição e utilização da luz. A quantidade de luz absorvida por uma folha, e da via de difusão de CO₂ através dos seus tecidos dependem, pelo menos parcialmente, da sua espessura (Syvertsen *et al.*, 1995). Assim, folhas mais espessas (menor AFE), permitem maior concentração do aparato fotossintético por unidade de área foliar, por outro lado, folhas mais finas podem interceptar mais luz (White & Consuelo-Montes, 2005). Assim, a variação na espessura da folha pode ter uma grande influência sobre o crescimento e a produtividade da cultura.

Muitos pesquisadores utilizam parâmetros de espessura via área foliar específica, ou o seu recíproco, a massa foliar específica (razão entre a massa da folha e a área da folha) devido à sua facilidade de medição e utilidade no crescimento das plantas. Assim, a variação da área foliar específica ou massa foliar específica pode influenciar a taxa de transmitância e reflexão da luz (Carlson *et al.*, 1991). Plantas que apresentam

maior AFE produzem folhas mais finas e menos densas em relação a plantas com folhas com menor AFE (James, 2008).

A espessura equivalente de água (EWT, g m^{-2}) representa a proporção de massa de água com a área foliar da QF. Allen *et al.* (1969) introduziram o termo espessura equivalente de água (EWT) como forma de medir a quantidade absoluta de água no interior da folha, definido pela razão entre a diferença da massa de matéria fresca e seca da QF e a AFQF. O conteúdo de água nas plantas é importante para avaliar o estado hídrico das plantas, que pode ser usado para inferir sobre a decisão de irrigação e produtividade (Peñuelas *et al.*, 1997; Ustin *et al.*, 1998; Zarco-Tejada *et al.*, 2003) e, além disso, prognosticar o estado de N nas plantas.

Em estudo realizado por Seelig *et al.* (2008) encontraram correlação linear positiva da EWT com a espessura da folha e EWT com a espessura de ar da folha [LAT; espessura menos a EWT]. Estes autores relataram sobre uma indicação de que a camada de células paliçádico, contendo principalmente água, se expande com maior facilidade do que a camada de células mesofílicas, com aumento da espessura da folha. Estes autores também relataram correlação entre a espessura e EWT, no entanto, não é possível afirmar se o aumento da espessura é devido ao aumento de camadas de tecido paliçádico, sem antes realizar testes anatômicos.

4.4 Estimativa do teor de N na quarta folha via regressão linear simples e múltipla

O teor de N na quarta folha (TNT-QF, g kg^{-1}) é a variável dependente e o índice SPAD, teor de clorofila total (TCHLT $\mu\text{g cm}^{-2}$), espessura da QF (EQF, mm) e área foliar específica (AFEQF, $\text{cm}^{-2} \text{g}^{-1}$) são as variáveis independentes. A espessura da folha, pigmentos fotossintéticos (clorofila *a* e *b*) são componentes vitais para a taxa de absorção de CO_2 . Em arroz, folhas mais espessas (maior aparelho fotossintético por unidade de área), é importante parâmetro morfológico para plantas que apresentam maior potencial de produtividade (Peng *et al.*, 2008). Dessa maneira, a influência da espessura da folha para estimar o teor de N (baseado por unidade de massa) pelo SPAD é notável (Peng *et al.*, 1993; Chapman & Barreto, 1997). Yamamoto *et al.* (2002) relataram que com o modelo de regressão linear simples e múltipla, onde o SPAD é a variável dependente e o teor de clorofila e massa foliar específica, as variáveis independentes, apresentaram melhor estimativa do teor de clorofila em folha de sorgo e

guandu (*Cajanus cajan* L.). Estes autores relataram que o efeito do teor de clorofila sobre as leituras do índice SPAD foi similar entre o feijão e guandu, e o efeito da massa foliar específica sobre o índice SPAD foi afetada por diferenças estruturais da folha das plantas.

A leitura do índice SPAD estima com acurácia o teor de clorofila ou teor de N (baseado em unidade de massa) em diferentes cultivares de batata (Busato *et al.*, 2010; Coelho *et al.*, 2010) e diferem com a idade fisiológica da planta e ambiente de crescimento (Peng *et al.*, 1993; Chapman & Barreto, 1997; Yamamoto *et al.*, 2002). Ademais, estas diferenças podem estar relacionadas com os parâmetros estruturais da folha, dentre eles, principalmente a espessura.

Em estudo realizado por Campbell *et al.* (1990) verificaram-se que diferenças na espessura folha pode ter contribuído para variações na relação entre SPAD e teor de N. Já Marengo *et al.* (2009) relataram que a espessura deve ser introduzida no modelo da relação entre SPAD e o teor de clorofila.

O uso de regressão linear simples e múltipla mostrou que o SPAD e espessura ou massa foliar específica (recíproco da AFE) ser significativa para explicar a estimação do teor de N em cada estágio de crescimento, em arroz (Jinwen *et al.*, 2011). Estes autores relataram que a relação entre o teor de N e SPAD apresentou coeficiente de determinação ($r^2=0,55$), no entanto este coeficiente de determinação foi para ($r^2=0,73$) simplesmente pelo fato de introduzir a espessura da folha em um modelo de regressão linear simples e múltipla, como variável dependente. Os resultados do presente experimento estão de acordo com Jinwen *et al.* (2011). Dessa forma, no presente experimento, a relação entre o teor de N e SPAD, o coeficiente de determinação foi ($r^2=0,77$ e $r^2=0,96$) para a cultivar Ágata e Atlantic, na época seca e ($r^2=0,91$ e $r^2=0,78$) para a cultivar Ágata e Atlantic, na época chuvosa. Ao ajustar o modelo de regressão linear simples e múltipla, com a espessura sendo uma variável dependente, o coeficiente de determinação foi ($r^2=0,86$ e $r^2=0,97$) para a cultivar Ágata e Atlantic, na época seca e ($r^2=0,92$ e $r^2=0,82$), para as cultivares Ágata e Atlantic, na época chuvosa. Diante destes resultados, o teor de N na folha é melhor estimado quando introduzido um parâmetro estrutural no modelo de regressão linear simples e múltipla.

4.5 Produtividade comercial

A produtividade comercial de tubérculos (PCTU) foi influenciada pelas doses de N aplicadas em pré-plantio, na época seca; e na época chuvosa pelas doses de N em pré-plantio e cobertura. Houve redução de 39 e 23% na PCTU em relação às duas épocas de cultivo, para as cultivares Ágata e Atlantic.

Uma possibilidade para a redução da produtividade na época chuvosa pode estar relacionada com o menor teor de N presente no solo (Rodrigues *et al.*, 2005; Dynia *et al.*, 2006) ou o excesso de chuva. Ademais, outra possibilidade poderia incluir o fator temperatura. O conhecimento da temperatura é um fator importante para o desenvolvimento das plantas. Timlin *et al.* (2006) relataram que a temperatura ótima para a fotossíntese em plantas de batata é de 24 °C. Acredita-se que a redução da taxa de fotossíntese da folha em alta temperatura seja em grande parte devido à reduzida eficiência no fotossistema II, em vez de aumento da respiração ou diminuição da área foliar (Prange *et al.*, 1990). Além disso, alta temperatura afeta a taxa de desenvolvimento da cultura da batata bem como o ganho de carbono e a taxa de biomassa para os tubérculos é reduzida (Timlin *et al.*, 2006), acarretando em redução de produtividade.

A fertilização com N aumenta, de maneira considerável, o rendimento de tubérculos, fato amplamente observado em condições de campo, por diversos autores (Meyer & Marcum, 1998; Bélanger *et al.*, 2000b; Rodrigues *et al.*, 2005; Fontes *et al.*, 2010; Coelho *et al.*, 2010). Assim, doses reduzidas de N implicam na incapacidade da planta de produzir o número máximo de folhas por planta, alcançar a área foliar máxima, manter a concentração de N nas folhas e em outros órgãos necessário para o crescimento da planta (Greenwood *et al.*, 1990). Além destes fatores relatados, a reduzida dose de N pode acarretar baixa produtividade (Silva *et al.*, 2009; Coelho *et al.*, 2010; Fontes *et al.*, 2010) e tubérculos pequenos, devido à reduzida área foliar (Alva *et al.*, 2002).

Em estudo realizado por Fontes *et al.* (2010), em Viçosa-MG, verificaram-se que a dose ótima econômica de N (DOEN) e dose ótima de N (DON) variou de 147 a 201 e 168 a 212 kg ha⁻¹ de N, respectivamente. No Brasil, é possível encontrar doses de N variando de 60 a 250 kg ha⁻¹ de N. A dose de N recomendada para a cultura, em condições de campo, é variável. Essa variação ocorre devido a diversos fatores que são utilizados como critério para defini-la, dentre os quais estão incluídos a cultivar plantada, modo de aplicação do fertilizante, quantidade de matéria orgânica do solo, teor de N

mineral ou de N-NO₃ no solo, potencial de produção da cultura, dentre outros. Bélanger *et al.* (2000a) relataram que a resposta aos fertilizantes nitrogenados varia entre locais e anos de plantio.

Em trabalho realizado por Silva *et al.* (2009), na mesma condição do presente experimento, com a cultivar Monalisa, não houve efeito das doses de N em cobertura, na época seca. Dentre os fatores que podem favorecer o aumento desta produtividade, pode-se citar a utilização de fertilizantes, principalmente o N que é considerado nutriente de maior impacto na produtividade das culturas, por estar relacionado diretamente com a fotossíntese e ao crescimento do compartimento vegetativo da planta (Yin *et al.*, 2003). Já em estudo realizado por Zebarth *et al.* (2004) observaram efeito benéfico do parcelamento para as condições de solo arenoso ou em locais com índices pluviométricos elevados, ou seja, quando há riscos de lixiviação do N e contaminação ambiental. Assim, ainda são necessários estudos do manejo de irrigação e dos fertilizantes nitrogenados que visem desenvolver melhores práticas para aumentar a eficiência de absorção e utilização do N, bem como o melhor entendimento da produtividade (partição de fotoassimilados) sobre o cenário de mudanças climáticas.

5. Conclusões

√ os índices fisiológicos e nitrogenados determinados aos 42 dias após a emergência são apropriados na determinação da disponibilidade de N aplicado no plantio e cobertura;

√ na época seca não é necessário parcelar o fertilizante nitrogenado sendo necessário 169,3 e 193,0 kg ha⁻¹ de N, para obter a máxima eficiência econômica com as cultivares Ágata e Atlantic, respectivamente;

√ na época chuvosa é necessário parcelar o fertilizante nitrogenado sendo necessário 189,8 kg ha⁻¹ de N em pré-plantio e 174,8 kg ha⁻¹ de N em cobertura, para a cultivar Ágata; 183,3 kg ha⁻¹ de N em pré-plantio e 214,4 kg ha⁻¹ de N em cobertura, para obter a máxima eficiência econômica para cultivar Atlantic;

√ aos 42 DAE, na época seca, o valor do nível crítico do índice SPAD, teor de N na quarta folha e teor de clorofila total extraível na quarta folha associado à dose de N em pré-plantio é 39,34 unidade SPAD e 42,51 unidade SPAD; 52,52 g kg⁻¹ e 51,56 g kg⁻¹; 188,07 µg cm⁻² e 203,09 µg cm⁻², para as cultivares Ágata e Atlantic, respectivamente;

√ aos 42 DAE, na época chuvosa, o valor do nível crítico do índice SPAD, teor de N na quarta folha e teor de clorofila total extraível na quarta folha associado à dose de N em pré-plantio e cobertura é 36,15 unidade SPAD e 39,06 unidade SPAD; 36,80 g kg⁻¹ e 43,30 g kg⁻¹; 122,96 µg cm⁻² e 126,32 µg cm⁻², para as cultivares Ágata e Atlantic, respectivamente;

√ para ambas cultivares estudadas, Ágata e Atlantic, a época de cultivo influencia a área foliar da planta, massa de matéria seca da quarta folha, teor de clorofila total, densidade de massa foliar, espessura equivalente de água, conteúdo de N na quarta folha, teor de N total na quarta folha por área, teor de N na folha, teor de N total no caule, ângulo hue, brilho, SPAD e produtividade comercial;

√ dependendo da cultivar, a época de cultivo influencia a área foliar da quarta folha, área foliar específica da quarta folha e da planta, razão de área foliar, massa de matéria seca total, razão entre o teor de clorofila *a* e *b*, espessura da quarta folha, razão entre massa matéria seca e fresca da quarta folha, teor de N na quarta folha, eficiência do uso do N na quarta folha e folha, N total na folha por área, cromaticidade e °h/(L*C).

√ na época seca, nas duas cultivares estudadas, Ágata e Atlantic, todas as variáveis avaliadas apresentaram correlação significativa com a produtividade comercial, exceto o teor de clorofila *a/b* e o teor de N total na folha por área;

√ na época seca, a relação do teor de clorofila *a/b* e o teor de N total na folha por área apresentaram correlação significativa com a produtividade comercial apenas para a cultivar Atlantic;

√ na época chuvosa, nas duas cultivares estudadas, Ágata e Atlantic, todas as variáveis avaliadas apresentaram correlação significativa com a produtividade comercial, exceto a eficiência do uso do N na QF, teor de N total na QF e na folha por área e razão massa seca e fresca da QF;

√ na época chuvosa, teor de N total na QF e na folha por área e razão massa seca e fresca da QF apresentaram correlação significativa com a produtividade comercial apenas na cultivar Ágata;

√ o índice SPAD e o teor de clorofila extraível estimam com precisão o teor de N na quarta folha via regressão linear simples, em ambas as cultivares estudadas, nas duas épocas de cultivo.

6. Referências bibliográficas

- ALLEN, W.A.; GAUSMAN, H.W.; RICHARDSON, A.J.; THOMAS, J.R. Interaction of isotropic light with a compact plant leaf. **Journal of the Optical Society of America**, v.59, p. 1376-1379, 1969.
- ALVA, A.K.; HODGES, T.; BOYDSTON, A.; COLLINS, H.P. Dry matter and nitrogen accumulations and partitioning in two potato cultivars. **Journal of Plant Nutrition**, v.25, n.8, p.1621-1630, 2002.
- ALVA, A.; FAN, M.; QING, C.; ROSEN, C. REN, H. Improving nutrient-use efficiency in chinese potato production: experiences from the United States. **Jornal of Crop Improvement**, v.25, p.46-85, 2011.
- AMARANTE, C.V.T.; BISOGNIN, D.A.; STEFFENS, C.A.; ZANARDI, O.Z.; ALVES, E.O. Quantificação não destrutiva de clorofilas em folhas através de método colorimétrico. **Horticultura Brasileira**, v.26, p.471-475, 2008b.
- AMARANTE, C.V.T.; BISOGNIN, D.A.; STEFFENS, C.A.; ZANARDI, O.Z.; ALVES, E.O. Quantificação de clorofilas em folhas de macieiras ‘Royal Gala’ e ‘Fuji’ com métodos ópticos não-destrutivos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.30, n.3, p.590-595, 2008a.
- ARAÚJO, C.; FONTES, P.C.R.; SILVA, G.H. Relação entre teores de nitrato na folha e seiva do tomateiro. In: 43º CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, **Anais...** v.21, p.369-369, 2003.
- ARAÚJO, C. Critérios para o manejo da adubação nitrogenado do tomateiro em ambiente protegido e no campo. 2004. 220 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.
- BANGE, M.P.; HAMMER, G.L.; RICKERT, K.G. Effect of specific leaf nitrogen on radiation use efficiency and growth of sunflower. **Crop Science**, v.37, p.1201-1207, 1997.
- BATTILANI, A.; PLAUBORG, F.L.; HANSEN, S.; DOLEZAL, F.; MAZURCZYK, W.; BIZIK, J.; COUTINHO, F. Nitrogen uptake and nitrogen use efficiency of fertigated potatoes. **Acta Horticulturae**, v.792, p.61-67, 2008.
- BÉLANGER, G.W.; WALSH, J.R.; RICHARDS, J.E.; MILBURN, P.H.; ZIADI, N. Critical nitrogen curve and nitrogen nutrition index for potato in Eastern Canada. **American Journal of Potato Research**, v.78, n.5, p.355-364, 2000a.

- BÉLANGER, G.; ZIADI, N.; WALSH, J.R.; RICHARDS, J.E.; MILBURN, P.H. Residual soil nitrate after potato harvest. **Journal Environmental Quality**, v.32, p.607-612, 2003.
- BÉLANGER, G.; WALSH, J.R.; RICHARDS, J.E.; MILBURN, P.H.; ZIADI, N. Yield response of two potato cultivars to supplemental irrigation and N fertilization in New Brunswick. **American Journal Potato Research**, v.77, p.11-21, 2000b.
- BLACKMER, T.M.; SCHEPERS, J.S. Use of chlorophyll meter to monitor nitrogen status and schedule fertigation for corn. **Journal Production Agriculture**, v.8, p.56-60, 1995.
- BOUSSADIA, O.; STEPPE, K.; ZGALLAI, H.; ELHADJ, S.B.; BRAHAM, M.; LEMEUR, R. VAN LABEKE, M.C. Nondestructive determination of nitrogen and chlorophyll content in olive tree leaves and the relation with photosynthesis and fluorescence parameters. **Photosynthetica**, v.49, n.1, p.149-153, 2011.
- BRAUN, H.; FONTES, P.C.R.; FINGER, F.L.; BUSATO, C.; CECON, P.R. Carboidratos e matéria seca de tubérculos de cultivares de batata influenciados por doses de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia**, v.34, n.2, p.285-293, 2010.
- BUSATO, C.; FONTES, P.C.R.; BRAUN, H.; CECON, P.R. Seasonal variation and threshold values for chlorophyll meter readings on leaves of potato cultivars. **Journal of Plant Nutrition**, v.33, p.2148-2156, 2010.
- CAMPBELL, R.J.; MOBLEY, K.N.; MARINI, R.P.; PFEIFFER, D.G. Growing conditions alter the relationship between SPAD-501 values and apple leaf chlorophyll. **HortScience**, v.25, p.190-193, 1990.
- CARLSON, R.E., YARGER, D.N., SHAW, R.H. Factors affecting the spectral properties of leaves with special emphasis on leaf water status. **Agronomy Journal**, v.63, p.486-489, 1991.
- CATALDO, D.A.; HARRON, M.; SCHRAD, L.E.; YOUNES, V.L. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.6, p.71-80, 1975.
- CHAPMAN, S.C.; BARRETO, H.J. Using a chlorophyll meter to estimate specific leaf nitrogen of tropical maize during vegetative growth. **Agronomy Journal**, v.89, p.557-562, 1997.
- COELHO, E.L.; FONTES, P.C.R. Índices agronômicos do meloeiro associados à dose adequada de nitrogênio, em ambiente protegido e no campo. **Ciência e Agrotecnologia**, v.29, n.5, p.974-979, 2005.

- COELHO, F.S.; 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.
- CONNOR, D.J.; HALL, A.J.; SADRAS, V.O. Effect of nitrogen content on the photosynthetic characteristics of sunflowers leaves. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.20, p.251-263, 1993.
- DANSON, F.M.; STEVEN, M.D.; MALTHUS, T.J.; CLARK, J.A. High spectral resolution data for determining leaf water content. **Internation Journal Remote Sensing**, v.13, n.3, p.461-470, 1992.
- DAWSON, T.P.; NORTH, P.R.J.; PLUMMER, S.E.; CURRAN, P.J. Forest ecosystem chlorophyll content: implications for remotely sensed estimates of net primary productivity. **International Journal Remote Sensing**, v.24, p.611-117, 2003.
- DIXON, J.; HEWETT, E.W. Temperature affects postharvest color change of apples. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.123, n.2, p.305-310, 1998.
- DYNIA, J.F.; SOUZA, M.D.; BOEIRA, R.C. Lixiviação de nitrato em latossolo cultivado com milho após aplicações sucessivas de lodo de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.885-862, 2006.
- EMBRAPA: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999, 412p.
- EVANS, J.R. Partitioning of nitrogen between and within leaves grown under different irradiance. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.16, p.533-548, 1989.
- EVANS, J.R.; POORTER, H. Photosynthetic acclimation of plants to growth irradiance: the relative importance of specific leaf area and nitrogen partitioning in maximizing carbon gain. **Plant Cell and Environment**, v.24, p.755-767, 2001.
- FLÉNET, F.; KINIRY, J.R. Efficiency of biomass accumulation by sunflower as affected by glucose requirement of biosynthesis and leaf nitrogen content. **Field Crops Research**, v.44, p.119-127, 1995.
- 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. **Diagnóstico do estado nutricional das plantas**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2001, 122p.
- FONTES, P.C.R. **Nutrição mineral de plantas: avaliação e diagnose**. Viçosa: Arka Editora, 2011, 296p.
- FONTES, P.C.R.; ARAÚJO, C. Use of a chlorophyll meter and plant visual aspect for nitrogen management in tomato fertigation. **Journal of Applied Horticulture**, v.8, n.1, p.8-11, 2006.
- FONTES, P.C.R.; RONCHI, C.P. Critical values of nitrogen indices in tomato plants grown in soil and nutrient solutions determined by different statistical procedures. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.1421-1429, 2002.
- GASSER, M.O.; LAVERDIÈRE, M.R.; LAGACÉ, R.; CARON, J. Impact of potato-cereal rotation and slurry application on nitrate leaching and nitrogen balance in sandy soils. **Canadian Journal Soil Science**, v.82, p.469-479, 2002.
- GASTAL, F.; BÉLANGER, G. The effects of nitrogen fertilization and the growing season on photosynthesis of field-grown tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) canopies. **Annals of Botany**, v.72, p.401-408, 1993.
- GAUSMAN, H.W.; ALLEN, W.A.; ESCOBAR, D.E.; RODRIGUEZ, R.R.; CARDENAS, R. Age effects of cotton leaves on light reflectance, transmittance, and absorptance and on water content and thickness. **Agronomy Journal**, v.63, p.465-469, 1971.
- 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.
- GREENWOOD, D.J.; LEMAIRE, G.; GOSSE, G.; CRUZ, P.; DRAYCOTT, A.; NEETESON, J.J. Decline in percentage N of C₃ and C₄ crops with increasing plant mass. **Annals of Botany**, v.66, p.425-436, 1990.
- HAKHEEM, K.R.; AHMAD, A.; IQBAL, M.; GUCEL, S.; OZTURK, M. Nitrogen-efficient rice cultivars can reduce nitrate pollution. **Environmental Science Pollution Research**, v.18, n.7, p.1184-1193, 2011.
- HAMMER, G.L.; WRIGHT, G.C. A theoretical analysis of nitrogen and radiation effects on radiation use efficiency in peanut. **Australian Journal Agricultural Research**, v.45, p.575-589, 1994.
- HARRIS, P. **The Potato Crop: the science basic for improvement**. London: Chapman and Hall, p. 437. 1992.

- HIROSE, T.; FREIJSEN, A.H.J.; LAMBERS, H. Modelling of the response to nitrogen availability of two plantago species grown at a range of exponential nutrient addition rates. **Plant, Cell and Environment**, v.11, p.827-834, 1988.
- HUANG, J.L.; HE, F.; CUI, K.H.; BURESH, R.J.; XU, B.; GONG, W.H.; PENG, S.B. Determination of optimal nitrogen rate for rice genotypes using a chlorophyll meter. **Field Crop Research**, v.105, p.70-80, 2008.
- INSKEEP, W.P.; BLOOM, P.R. Extinction coefficients chlorophyll *a* e *b* in N,N-Dimethylformamide and 80% acetone. **Plant Physiology**, v.77, p.483-485, 1985.
- JACKSON, M.L. **Soil chemical analysis**. Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1958, 498p.
- JAMES, J.J. Leaf nitrogen productivity as a mechanism driving the success of invasive annual grasses under low and high nitrogen supply. **Journal of Arid Environments**, v.72, p.1775-1784, 2008.
- JINWEN, L.; JINGPING, Y.; PINPIN, F.; JUNLAN, S.; DONGSHENG, L.; CHANGSHUI, G.; WENYUE, C. Responses of rice leaf thickness, SPAD readings and chlorophyll *a/b* ratios to different nitrogen supply rates in paddy field. **Field Crops Research**, v.14, n.3, p.426-432, 2009.
- JINWEN, L.; JINGPING, Y.; DONGSHENG, L.; PINPIN, F.; TIAN TAI, G.; CHANGSHUI, G.; WENYUE, C. Chlorophyll meter's estimate of weight-based nitrogen concentration in rice leaf is influenced by leaf thickness. **Plant Production Science**, v.14, n.2, p.177-183, 2011.
- KITAJIMA, K.; HOGAN, K.P. Increases of chlorophyll *a/b* ratios during acclimation of tropical woody seedlings to nitrogen limitation and high light. **Plant, Cell and Environment**, v.26, p.857-865, 2003.
- KOEPPEN, W. **Climatologia**. Tradução: Pedro R. H. Perez. Buenos Aires, Gráfica Panamericana, 1948, 478p.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos, RiMa, 2000, 531p.
- MACKERRON, D.K.L. **Perspectives for use in practice—How can assessment of plant and crop nitrogen status be used in practice**. p.103-110. In A.J. Haverkort and D.K.L. MacKerron (ed.) Management of nitrogen and water in potato production. Wageningen Pers, Wageningen, the Netherlands. 2000.
- McGUIRE, R.G. Reporting of objective color measurements. **HortScience**, v.27, p.1254-1255, 1992.

- MARENCO, R.A.; ANTEZANA-VERA, S.A.; NASCIMENTO, H.C.S. Relationship between specific leaf area, leaf thickness, leaf water concentration and SPAD-502 readings in six Amazonian tree species. **Photosynthetica**, v.47, p.184-190, 2009.
- MEYER, R.D.; MARCUM, D.V. Potato yield, petiole nitrogen, and soil nitrogen response to water and nitrogen. **Agronomy Journal**, v.90, n.3, p.420-429, 1998.
- MINOTTI, P.L.; HALSETH, D.E.; SIECZKA, J.B. Field chlorophyll measurements to assess the nitrogen status of potato varieties. **HortScience**, v.29, p.1497-1500, 1994.
- MONTEITH, J.L. **Climate and the efficiency of crop production in Britain**. Phil. Trans. Roy. Soc. London 281, p.277-294, 1977.
- NUNES, J.C.S.; FONTES, P.C.R.; ARAÚJO, E.F.; SEDIYAMA, C.S. 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.
- OLFS, H.W.; BLANKENAU, K.; BRENTRUP, F.; JASPER, J.; LINK, A.; LAMMEL, J. Soil-and plant-based nitrogen-fertilizer recommendations in arable farming. **Journal Plant Nutrition and Soil Science**, v.168, p.414-431, 2005.
- OLIENYK, P.; GONZALES, A.R.; MAUROMOUSTAKOS, A.; PATTERSON, W.K. Nitrogen fertilization affects quality of peach puree. **HortScience**, v.32, n.2, p.284-287, 1997.
- 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, p.496-506, 2006.
- PENG, S.; GARCIA, F.V.; LAZA, R.C.; CASSMAN, K.G. Adjustment for specific leaf weight improves chlorophyll meter's estimate of rice leaf nitrogen content. **Agronomy Journal**, v.85, p.987-990, 1993.
- PENG, S.; KHUSH, G.S.; VIRK, P.; TANG, Q.Y.; ZOU, Y.B. Progress in ideotype breeding to increase rice potential. **Field Crop Research**, v.108, p.32-33, 2008.
- PEÑUELAS, J.; PIÑOL, J.; OGAYA, R.; FILELLA, I. Estimation of plant water concentration by the reflectance Water Index WI (R900/R970). **International Journal of Remote Sensing**, v.18, p.2869-2875, 1997.
- PETERSON, D.L.; HUBBARD, G.S. Scientific issues and potential remote-sensing requirements for plant biochemical content. **Journal of Imaging Science and Technology**, v.36, p.446-456, 1992.

- POORTER, H.; PEREZ-SOBA, M. **Plant growth at elevated CO₂**. In: Mooney, H.A., Canadell, J.G. (Eds.), *Encyclopedia of Global Environmental Change*. Wiley, London, pp. 489-496, 2002.
- PORTER, G.A.; SISSON, J.A. Petiole nitrate content of Maine grown Russet Burbank and Shepody potatoes in response to varying nitrogen rate. **American Potato Journal**, v.68, p.493–505, 1991.
- PRANGE, R.K.; MCRAE, K.B.; MIDMORE, D.J.; DENG, R. Reduction in potato growth at high temperature: Role of photosynthesis and dark respiration. **American Potato Journal**, v.67, p.357-369, 1990.
- RODRIGUES, M.A.; COUTINHO, J.; MARTINS, F.; ARROBAS, M. Quantitative sidedress nitrogen recommendations for potatoes based upon crop nutritional indices. **European Journal of Agronomy**, v.23, p.79-88, 2005.
- RONCHI, C.P.; FONTES, P.C.R.; PEREIRA, P.R.G.; NUNES, J.C.; MARTINEZ, H.E.P. Índices de nitrogênio e de crescimento do tomateiro em solo e em solução nutritiva. **Revista Ceres**, v.48, n.278, p.469-484, 2001.
- SAEG - **Sistema para Análises Estatísticas**, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes - UFV - Viçosa, 2007.
- SEELIG, H.D.; HOEHN, A.; STODIECK, L.S.; KLAUS, D.M.; ADAMS III, W.W.; EMERY, W.J. Relations of remote sensing leaf water indices to leaf water thickness in cowpea, bean, and sugarbeet plants. **Remote Sensing of Environment**, v.112, p.445-455, 2008.
- SERRANO, L. Effects of leaf structure on reflectance estimates of chlorophyll content. **International Journal of Remote Sensing**, v.29, n.17-18, p.5263-5274, 2008.
- SILVA, M.C.C.; COELHO, F.S.; BRAUN, H.; FONTES, P.C.R. Índice SPAD em função de diferentes horários e posições no folíolo da batata sob fertilização nitrogenada. **Revista Ciência Agronômica**, v.42, n.4, p.971-977, 2011.
- SILVA, M.C.C.; FONTES, P.C.R.; MIRANDA, G.V. Índice SPAD e produção de batata, em duas épocas de plantio, em função de doses de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, v.27, p.17-22, 2009.
- SYVERTSEN, J.P.; LLOYD, J.; McCONCHIE, C.; KRIEDEMANN, P.E.; FARQUHAR, G.D. On the relationship between leaf anatomy and CO₂ diffusion through the mesophyll of hypostomatous leaves. **Plant, Cell and Environment**, v.18, p.149-157, 1995.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**, 3ed., Porto Alegre: Artmed., 2004. 719p.

- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**, 4ed., Porto Alegre: Artmed., 2009. 848p.
- TIMLIN, D.; RAHMAN, S.M.L.; BAKER, J.; REDDY, V.R.; FLEISHER, D.; QUEBEDEAUX, B. Whole plant photosynthesis, development, and carbon partitioning in potato as a function of temperature. **Agronomy Journal**, v.98, p.1195-1203, 2006.
- TUNCAY, Ö. Relationships between nitrate, chlorophyll and chromaticity values in rocket salad and parsley. **African Journal of Biotechnology**, v10, n.75, p.17152-17159, 2011.
- USTIN, S.L.; ROBERTS, D.A.; PINZÓN, J.; JACQUEMOUD, S.; GARDNER, M.; SCHEER, G.; CASTAÑEDA; PALACIOS-ORUETA, A. Estimating canopy water content of chaparral shrubs using optical methods. **Remote Sensing of Environment**, v.65, n.3, p.280-291, 1998.
- van der WERF, A.; SCHIEVING, F.; LAMBERS, H. Evidence for optimal partitioning of biomass and nitrogen at a range of nitrogen availabilities for a fast and slow-growing species. **Functional Ecology**, v.7, p.63-74, 1993.
- VOS, J. **Nitrogen and the growth of potato crops**. In: Haverkort, A.J., MacKerron, D.K.L. (Eds.), *Potato Ecology and Modelling of Crops under Conditions Limiting Growth*. Current Issues in Production Ecology, vol. 3. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 115-128, 1995.
- VOS, J.; van der PUTTEN, P.E.L. Effect of nitrogen supply on leaf growth, leaf nitrogen economy and photosynthetic capacity in potato. **Field Crops Research**, v.59, p.63-72, 1998.
- VOS, J.; MACKERRON, D.K.L. **Basic concepts of the management of supply of nitrogen and water in potato production**. In A.J. Haverkort and D.K.L. MacKerron (ed.) *Management of nitrogen and water in potato production*. Wageningen Pers, Wageningen, the Netherlands, p.15-33, 2000.
- VOS, J.; BOM, M. Hand-held chlorophyll meter: a promising tool to assess the nitrogen status of potato foliage. **Potato Research**, v.36, p.301-308, 1993.
- WESTCOTT, M.P.; STEWART, V.R.; LUND, R.E. Critical petiole nitrate levels in potato. **Agronomy Journal**, v.83, p.844-850, 1991.
- WHITE, J.W.; CONSUELO MONTES, R. Variation in parameters related to leaf thickness in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Field Crops Research**, v.91, p.7-21, 2005.

- YAMAMOTO, A.; NAKAMURA, T.; ADU-GYAMFI, J. J.; SAIGUSA, M. Relationship between chlorophyll content in leaves of sorghum and pigeonpea determined by extraction method and by chlorophyll meter (SPAD-502). **Journal of Plant Nutrition**, v.25, n.10, p.2295-2301, 2002.
- YIN, X.; LANTINGA, E.A.; SCHAPENDONK, AD.H.C.M.; ZHONG, X. Some quantitative relationships between leaf area index and canopy nitrogen content and distribution. **Annals of Botany**, v.91, n.07, p.893-903, 2003.
- ZARCO-TEJADA, P.J.; RUEDA, C.A.; USTIN, S.L. Water content estimation in vegetation with MODIS reflectance data and model inversion methods. **Remote Sensing of Environment**, v.85, n.1, p.109-124, 2003.
- ZEBARTH, B.J.; DRURY, C.F.; TREMBLAY, N.; CAMBOURIS, A.N. Opportunities for improved fertilizer nitrogen management in production of arable crops in eastern Canada: A review. **Canadian Journal of Plant Science**, v.89, p.113-132, 2009.
- ZEBARTH, B.J.; LECLERC, Y.; MOREAU, G. Rate and time of nitrogen fertilization of Russet Burbank potato: Nitrogen use efficiency. **Canadian Journal Plant Science**, v.84, p.845–854, 2004.
- ZEBARTH, B.J.; MILBURN P. H. Spatial and temporal distribution of soil inorganic nitrogen concentration in potato hills. **Canadian Journal Soil Science**, v.83, p.183-195, 2003.
- ZEBARTH, B.J.; ROCHETTE, P.; BURTON, D.L. N₂O emissions from spring barley production as influenced by fertilizer nitrogen rate. **Canadian Journal of Plant Science**, v.88, p.197-205, 2008.
- ZEBARTH, B.J.; ROSEN, C.J. Research perspective on nitrogen BMP development for potato. **American Journal of Potato Research**, v.84, p.3-18, 2007.

Resumo da Análise Conjunta, comparando as duas épocas de cultivo, para a cultivar Ágata (n=160)

Tabela 1. Resumo da análise conjunta da área foliar da planta (AFP) e da QF (AFQF), massa de matéria seca da QF (MSQF), área foliar específica da QF (AFEQF), área foliar específica da planta (AFEP), razão de área foliar (RAF), teor de clorofila total (TCHL_{total}), razão entre teor de clorofila *a* e *b*, espessura da quarta folha (EQF), densidade de massa foliar da QF (LMDQF), espessura equivalente de água (EWT), relação entre MSQF e MFQF (MS MF⁻¹), teor de N na QF (TNT-QF), eficiência do uso de N na QF (EUNQF), teor de N QF por área (TNT-QF_A), teor de N na folha (TNF) eficiência do uso do N na folha (EUNF), teor de N folha por área (TNT-F_A), para a cultivar Ágata

FL	GL	Quadrados Médios								
		AFP	AFQF	MSQF	AFEQF	AFEP	RAF	TCHL _{total}	TCHL _{a/b}	EQF
Bloco/Época	6	58007,42	2103,908	0,005707	4541,993	384,0571	24,19601	205,4158	0,35290	0,001428
Época (E)	1	2,5190x10 ^{10**}	403742,4**	6,609080**	94728,57**	287033,5**	31364,88**	269918,0**	27,1422**	0,005155**
N em plantio (NPP)	4	3351037,0**	9401,666**	0,02622321**	5819,081 ^{NS}	704,1909 ^{NS}	111,5110 ^{NS}	2713,525**	2,0936**	0,02821**
E x NPP	4	293307,6**	493,8704 ^{NS}	0,002983103 ^{NS}	466,9232 ^{NS}	120,8889 ^{NS}	16,01763 ^{NS}	556,6279**	2,1562**	0,001501*
Resíduo (a)	24	51379,20	418,8456	0,01276306	3496,776	648,7205	21,56936	153,5903	0,42071	0,001273
N em cobertura (NC)	3	1169274,0*	2664,393*	0,0195934 ^{NC}	1025,818 ^{NS}	267,5006 ^{NS}	16,94 ^{NS}	1284,935**	0,8757*	0,003737**
E x NC	3	226053,3*	97,3166 ^{NS}	0,0009538034 ^{NS}	385,7 ^{NS}	5,526477 ^{NS}	34,44147 ^{NS}	358,9893*	1,0997**	0,00008332 ^{NS}
NPP x NC	12	75969,0 ^{NS}	77,24322 ^{NS}	0,001307183 ^{NS}	251,9652 ^{NS}	127,9990 ^{NS}	15,51967 ^{NS}	100,8862 ^{NS}	0,3695 ^{NS}	0,0004379 ^{NS}
E x NPP x NC	12	87941,54 ^{NS}	67,5901 ^{NS}	0,001223003 ^{NS}	336,001 ^{NS}	107,4937 ^{NS}	10,59947 ^{NS}	60,70183 ^{NS}	0,3943 ^{NS}	0,0002856 ^{NS}
Resíduo (b)	90	77838,30	818,0947	0,007176848	3032,870	671,6212	22,53073	127,0528	0,2723093	0,0005437
CV parcela, %		9,37	9,67	17,14	17,83	17,51	13,77	8,29	28,55	10,29
CV sub-parcela, %		11,53	13,51	12,85	16,60	17,81	14,07	7,54	22,96	6,72
		Quadrados Médios								
FV		LMDQF	EWT	MS MF ⁻¹	TNT-QF	EUNQF	TNT-QF _A	TNT-F	EUNF	TNT-F _A
Bloco/Época	6	534,1649	10360,61	0,00319427	12,8358	0,050194	0,0908717	12,0764	0,00132847	0,193587
Época (E)	1	10613,34**	713820,9**	0,0753363*	223,9359**	151,2428**	17,2503**	16759,26**	0,635164**	0,152416 ^{NS}
N em plantio (NPP)	4	645,8275*	1127,893 ^{NS}	0,00028971 ^{NS}	8866,329**	0,189254 ^{NS}	0,054234 ^{NS}	270,7717**	0,00831691**	0,716551*
E x NPP	4	55,72553 ^{NS}	585,9396 ^{NS}	0,00008831 ^{NS}	32,49103°	0,375658 ^{NS}	0,034657 ^{NS}	9,74247 ^{NS}	0,00198691°	0,0544601 ^{NS}
Resíduo (a)	24	347,0662	1326,972	0,0004960	19,0456	0,470249	0,075104	9,81362	0,001048956	0,31694
N em cobertura (NC)	3	32,87020 ^{NS}	77,39357 ^{NS}	0,000008609 ^{NS}	67,7659**	0,256984 ^{NS}	0,017638 ^{NS}	64,2837**	0,00342128*	0,342517 ^{NS}
E x NC	3	30,32956 ^{NS}	1517,104 ^{NS}	0,0003500 ^{NS}	34,1774°	0,483763°	0,052336 ^{NS}	32,7119*	0,00344216*	0,437856 ^{NS}
NPP x NC	12	90,64841 ^{NS}	290,5216 ^{NS}	0,00008432 ^{NS}	3,38683 ^{NS}	0,0336915 ^{NS}	0,0097743 ^{NS}	1,1547 ^{NS}	0,00050874 ^{NS}	0,0533164 ^{NS}
E x NPP x NC	12	87,75584 ^{NS}	677,3587 ^{NS}	0,00009316 ^{NS}	2,24195 ^{NS}	0,0515421 ^{NS}	0,011576 ^{NS}	1,1952 ^{NS}	0,00046136 ^{NS}	0,0207655 ^{NS}
Resíduo (b)	90	213,8109	1905,571	0,00034084	14,2966	0,217465	0,065199	11,1017	0,00100809	0,249290
CV parcela, %		20,63	14,87	18,64	10,37	24,34	20,76	8,82	21,56	22,46
CV sub-parcela, %		16,19	17,80	15,45	8,98	16,55	19,34	9,38	21,13	19,92

NS, **, * e ° - não-significativos, significativos ao nível de 1, 5 e 10% de probabilidade, pelo teste F, respectivamente.

Tabela 2. Resumo da análise conjunta do teor de N no caule (TNT-C), massa de matéria seca total (MST), ângulo hue (°h), brilho (L), cromaticidade (C), relação °h/(L*C), leitura SPAD, produtividade comercial de tubérculos (PCTU) e conteúdo de N na QF (CNT-QF), para a cultivar Ágata

FL	GL	Quadrados Médios								
		TNT-C	MST	°h	L	C	°h/(L*C)	SPAD	PCTU	CNT-QF
Bloco/Época	6	31,71381	42,35792	12,32596	5,162417	22,12248	0,000301515	6,072625	29,0889	0,0588058
Época (E)	1	158,0008**	12896,45**	3359,889**	659,3440**	185,1151**	0,002911302**	628,8490**	233,396**	82,32563**
N em plantio (NPP)	4	4463,329**	1450,617**	30,86603**	47,62487**	108,7262**	0,00222893**	479,4852**	9018,746**	0,747895**
E x NPP	4	35,57191**	136,9680**	3,16196 ^{NS}	0,3236484 ^{NS}	1,437719**	0,0000356489 ^{NS}	28,88509**	33,1310*	0,1418782°
Resíduo (a)	24	9,635537	53,1572	2,81017	10,92397	11,54639	0,000266908	4,605542	14,9477	0,102414
N em cobertura (NC)	3	64,30144**	565,8754**	18,83204**	11,48029**	27,30556**	0,000603911**	87,79892**	31,7625*	0,1360359 ^{NS}
E x NC	3	39,90229**	10,6649 ^{NS}	1,062792 ^{NS}	3,70312 ^{NS}	2,133729 ^{NS}	0,0000369329 ^{NS}	52,375**	10,9301 ^{NS}	0,0264761 ^{NS}
NPP x NC	12	1,179439**	11,98527 ^{NS}	1,919229 ^{NS}	1,557857 ^{NS}	1,368010 ^{NS}	0,00003341582 ^{NS}	1,478031 ^{NS}	8,35161 ^{NS}	0,01285408 ^{NS}
E x NPP x NC	12	0,7899458*	16,23381 ^{NS}	1,059458 ^{NS}	1,140638 ^{NS}	2,453781 ^{NS}	0,00005580475 ^{NS}	3,330469 ^{NS}	10,41940 ^{NS}	0,01205048 ^{NS}
Resíduo (b)	90	10,42402	37,5571	3,395278	2,730601	5,737215	0,00008699978	6,586569	11,4672	0,0718931
CV parcela, %		15,93	10,71	1,49	8,01	10,90	18,31	6,16	3,87	20,47
CV sub-parcela, %		16,56	9,00	1,63	4,00	7,68	10,45	7,36	9,53	17,15

NS, **, * e ° - não-significativos, significativos ao nível de 1, 5 e 10% de probabilidade, pelo teste F, respectivamente.

Resumo da Análise Conjunta, comparando as duas épocas de cultivo, para a cultivar Atlantic (n=160)

Tabela 3. Resumo da análise conjunta da área foliar da planta (AFP) e da quarta folha (AFQF), massa de matéria seca da quarta folha (MSQF), área foliar específica da quarta folha (AFEQF), área foliar específica da planta (AFEP), razão de área foliar (RAF), teor de clorofila total (TCHL_{total}), razão entre teor de clorofila *a* e *b*, espessura da quarta folha (EQF), densidade de massa foliar (LMDQF), espessura equivalente de água (EWT), relação entre MSQF e MFQF (MS MF⁻¹), teor de N na QF (TNT-QF), eficiência do uso de N na QF (EUNQF), teor de N QF por área (TNT-QF_A), teor de N na folha (TNF) eficiência do uso do N na folha (EUNF), teor de N folha por área (TNT-F_A), para a cultivar Atlantic

FL	GL	Quadrados Médios								
		AFP	AFQF	MSQF	AFEQF	AFEP	RAF	TCHL _{total}	TCHL _{a/b}	EQF
Bloco/Época	6	242987,8	1847,392	0,0073808	4387,052	1911,129	102,6955	83,91916	1,00638	0,002693
Época (E)	1	1,51729x10 ¹⁰ **	8117,459*	1,961456**	212844,9**	10140,00**	1994,229**	323259,5**	60,1654**	0,01189**
N em plantio (NPP)	4	5997384**	34684,2**	0,0604038**	15757,07**	459,8935 ^{NS}	142,2814 ^o	1497,068**	0,597824 ^{NS}	0,002813*
E x NPP	4	158877,0 ^{NS}	3832,439*	0,0154272 ^{NS}	986,4749 ^{NS}	36,584 ^{NS}	110,8844 ^{NS}	170,5603 ^{NS}	1,34918 ^{NS}	0,001207 ^{NS}
Resíduo (a)	24	122237	2157,503	0,0099030	2159,907	1606,649	84,60502	156,8239	0,404306	0,000788
N em cobertura (NC)	3	639378**	3705,438*	0,018726 ^{NS}	682,8965 ^{NS}	694,195 ^{NS}	661,1738**	1169,158**	0,72105 ^{NS}	0,00188 ^o
E x NC	3	750624,7**	282,3856 ^{NS}	0,00363586 ^{NS}	60,2895 ^{NS}	51,87644 ^{NS}	140,8245 ^o	19,11473 ^{NS}	1,96239 ^{NS}	0,00168 ^{NS}
NPP x NC	12	59171,31 ^{NS}	862,82 ^{NS}	0,0009048 ^{NS}	1142,868 ^{NS}	309,2023 ^{NS}	14,8460 ^{NS}	173,2089 ^{NS}	0,30871 ^{NS}	0,000512 ^{NS}
E x NPP x NC	12	37352,06 ^{NS}	309,6021 ^{NS}	0,0017801 ^{NS}	199,6199 ^{NS}	193,1189 ^{NS}	18,38116 ^{NS}	44,0366 ^{NS}	0,44322 ^{NS}	0,0003024 ^{NS}
Resíduo (b)	90	117866,1	1417,929	0,009647	2435,918	1382,776	67,51795	127,2109	0,94445	0,000904
CV parcela, %		9,98	16,97	12,18	13,64	20,06	18,14	7,97	27,10	7,87
CV sub-parcela, %		9,79	13,75	12,01	14,48	18,60	16,20	7,18	41,41	8,43

FV	GL	Quadrados Médios								
		LMDQF	EWT	MS MF ⁻¹	TNT-QF	EUNQF	TNT-QF _A	TNT-F	EUNF	TNT-F _A
Bloco/Época	6	537,0173	2829,177	0,000276105	54,9162	0,238797	0,192792	35,4699	0,00222	0,09056
Época (E)	1	9728,005**	893501,4**	0,108415**	3452,731**	0,262535 ^{NS}	13,7002**	12800,08**	0,161342**	22,6096**
N em plantio (NPP)	4	418,0373 ^{NS}	8529,609**	0,00113393*	238,0553**	0,202849 ^{NS}	0,0047991 ^{NS}	134,3532**	0,000970 ^{NS}	0,16167 ^{NS}
E x NPP	4	38,65854 ^{NS}	1260,224 ^{NS}	0,00021496 ^{NS}	11,3609 ^{NS}	0,309041 ^{NS}	0,0308342 ^{NS}	157,8691**	0,003388**	0,42447**
Resíduo (a)	24	310,8508	3797,596	0,00037378	23,7489	0,122227	0,10275	20,16384	0,001044	0,17319
N em cobertura (NC)	3	27,04584 ^{NS}	1946,988 ^{NS}	0,0012702*	50,5491 ^{NS}	0,056966 ^{NS}	0,0177260 ^{NS}	27,38028 ^{NS}	0,006368**	0,001269**
E x NC	3	196,439 ^{NS}	556,7188 ^{NS}	0,000231727 ^{NS}	27,6724 ^{NS}	0,27397 ^{NS}	0,033695 ^{NS}	26,9443 ^{NS}	0,004609**	0,15716 ^{NS}
NPP x NC	12	71,99144 ^{NS}	1064,752 ^{NS}	0,000074984 ^{NS}	3,74445 ^{NS}	0,021345 ^{NS}	0,020699 ^{NS}	12,5858 ^{NS}	0,0003651 ^{NS}	0,04086 ^{NS}
E x NPP x NC	12	40,82961 ^{NS}	656,9867 ^{NS}	0,00012568 ^{NS}	2,2152 ^{NS}	0,0401055 ^{NS}	0,00866005 ^{NS}	10,6092 ^{NS}	0,000439 ^{NS}	0,005686 ^{NS}
Resíduo (b)	90	224,3569	1957,503	0,000370659	33,07005	0,19152	0,055967	20,1299	0,0009002	0,15382
CV parcela, %		20,62	27,50	14,97	11,11	17,99	23,91	11,88	27,72	21,67
CV sub-parcela, %		17,51	19,74	14,90	13,11	22,52	17,64	11,86	25,74	20,42

NS, **, * e ° - não-significativos, significativos ao nível de 1, 5 e 10% de probabilidade, pelo teste F, respectivamente.

Tabela 4. Resumo da análise conjunta do teor de N no caule (TNT-C), massa de matéria seca total (MST), ângulo hue (°h), brilho (L), cromaticidade (C), relação °h/(L*C), leitura SPAD, produtividade comercial de tubérculos (PCTU) e conteúdo de N na QF (CNT-QF), para a cultivar Ágata

FL	GL	Quadrados Médios								
		TNT-C	MST	°h	L	C	°h/(L*C)	SPAD	PCTU	CNT-QF
Bloco/Época	6	13,41799	62,39304	4,476745	4,091687	3,446744	0,0000875481	6,667885	17,4918	0,1363015
Época (E)	1	4,603,403 ^{NS}	33725,10 ^{**}	1180,211 ^{**}	237,9001 ^{**}	75,59750 ^{**}	0,000798796 ^{**}	243,8631 ^{**}	200,7365 ^{**}	33,79074 ^{**}
N em plantio (NPP)	4	252,8787 ^{**}	1452,274 ^{**}	15,00410 ^{**}	46,23502 ^{**}	73,44568 ^{**}	0,00161928 ^{**}	269,6634 ^{**}	9984,294 ^{**}	1,564946 ^{**}
E x NPP	4	60,29281 ^{**}	286,8664 [*]	1,893414 ^{NS}	3,453148 ^{NS}	26,74149 ^{**}	0,00035037 ^{**}	14,16601 [*]	1,22276 ^{NS}	0,0345908 ^{NS}
Resíduo (a)	24	15,91170	92,62710	2,655612	1,458055	5,599400	0,0000718180	5,157645	13,1745	0,116242
N em cobertura (NC)	3	89,5219 ^{**}	572,5482 ^{**}	1,161931 [*]	10,26369 ^{**}	5,272228 ^{NS}	0,0002091 [°]	47,51126 ^{**}	59,0689 ^{**}	0,3221596 [*]
E x NC	3	52,93305 ^{**}	86,65023 ^{NS}	6,366932 [°]	0,080354 ^{NS}	0,5849942 ^{NS}	0,00000571543 ^{NS}	25,51898 ^{**}	5,74006 ^{NS}	0,0554437 ^{NS}
NPP x NC	12	4,727668 ^{NS}	14,38747 ^{NS}	0,3878620 ^{NS}	0,9291172 ^{NS}	2,433993 ^{NS}	0,00003476 ^{NS}	4,017901 ^{NS}	21,4015 [°]	0,010216 ^{NS}
E x NPP x NC	12	1,215527 ^{NS}	8,47264 ^{NS}	2,834549 ^{NS}	1,364326 ^{NS}	4,785833 ^{NS}	0,000070976 ^{NS}	1,944022 ^{NS}	3,88971 ^{NS}	0,0232148 ^{NS}
Resíduo (b)	90	10,65741	88,92001	2,931255	2,357476	5,184722	0,000082177	5,109221	9,11955	0,1236439
CV parcela, %		16,99	14,01	1,40	2,94	7,66	9,16	5,98	3,63	17,53
CV sub-parcela, %		13,90	13,72	1,47	3,73	7,36	9,80	5,95	8,81	18,08

NS, **, * e ° - não-significativos, significativos ao nível de 1, 5 e 10% de probabilidade, pelo teste F, respectivamente.

Resumo da Análise Conjunta, comparando as duas cultivares, na época seca (n=160)

Tabela 5. Resumo da análise conjunta da área foliar da planta (AFP) e da quarta folha (AFQF), massa de matéria seca da quarta folha (MSQF), área foliar específica da quarta folha (AFEQF), área foliar específica da planta (AFEP), razão de área foliar (RAF), teor de clorofila total (TCHL_{total}), razão entre teor de clorofila *a* e *b*, espessura da quarta folha (EQF), densidade de massa foliar (LMDQF), espessura equivalente de água (EWT), relação entre MSQF e MFQF (MS MF⁻¹), teor de N na QF (TNT-QF), eficiência do uso de N na QF (EUNQF), teor de N QF por área (TNT-QF_A), teor de N na folha (TNF) eficiência do uso do N na folha (EUNF), teor de N folha por área (TNT-F_A), na época seca

FV	GL	Quadrados Médios								
		AFP	AFQF	MSQF	AFEQF	AFEP	RAF	TCHL _{total}	TCHL _{a/b}	EQF
Bloco/Cultivar	6	256569,6	3230,868	0,01163005	7557,985	1151,264	81,63265	78,7215	0,32272	0,001351
Cultivar (C)	1	2,5872x10 ^{9**}	14296,35*	0,1732075**	371,6449**	15984,21**	1685,104**	5331,438**	0,64644**	0,023370**
N em plantio (NPP)	4	62054**	14889,33**	0,02186134 ^{NS}	7904,517*	694,8563 ^{NS}	221,3224**	995,4659**	0,19157*	0,0100553**
C x NPP	4	615940,8 ^{NS}	507,9314 ^{NS}	0,005829046 ^{NS}	992,0650 ^{NS}	123,1526 ^{NS}	64,45069 ^{NS}	13,8290 ^{NS}	0,1745°	0,0019401°
Resíduo (a)	24	120130,4	1870,333	0,01715765	3722,824	1379,672	55,49071	237,6136	0,1135	0,001546
N em cobertura (NC)	3	3008392 ^{NS}	2404,090 ^{NS}	0,01255428 ^{NS}	467,0793 ^{NS}	359,643 ^{NS}	97,37581 ^{NS}	1369,518**	0,3565**	0,001331 ^{NS}
C x NC	3	304390,6 ^{NS}	649,7807 ^{NS}	0,008240401 ^{NS}	36,21576 ^{NS}	45,36272 ^{NS}	54,70036 ^{NS}	60,2743 ^{NS}	0,04338 ^{NS}	0,0005069 ^{NS}
NPP x NC	12	85024,87 ^{NS}	281,9619 ^{NS}	0,001811159 ^{NS}	171,9212 ^{NS}	269,1885 ^{NS}	15,97684 ^{NS}	99,24978 ^{NS}	0,06191 ^{NS}	0,0004469 ^{NS}
C x NPP x NC	12	84120,08 ^{NS}	369,6691 ^{NS}	0,002090649 ^{NS}	654,3073 ^{NS}	131,9236 ^{NS}	9,948773 ^{NS}	77,0271 ^{NS}	0,1616*	0,0005968 ^{NS}
Resíduo (b)	90	142832,4	1656,284	0,01281768	2545,225	1107,083	47,16366	139,7896	0,08229337	0,0008885
CV parcela, %		8,50	15,93	14,63	19,95	18,78	14,61	7,85	18,75	11,13
CV sub-parcela, %		9,27	14,99	12,67	16,49	16,82	13,47	6,02	15,97	8,44

FV	GL	Quadrados Médios								
		LMDQF	EWT	MS MF ⁻¹	TNT-QF	EUNQF	TNT-QF _A	TNT-F	EUNF	TNT-F _A
Bloco/Cultivar	6	932,4341	8524,019	0,0003768	16,7990	0,0957507	0,255498	39,5658	0,0004427	0,17558
Cultivar (C)	1	1051,523*	6746,258 ^{NS}	0,001141*	40,72355 ^{NS}	0,130435 ^{NS}	0,0089892 ^{NS}	38,42744 ^{NS}	0,0002311 ^{NS}	1,27581**
N em plantio (NPP)	4	22,71119 ^{NS}	5382,056 ^{NS}	0,0001804 ^{NS}	271,8271**	0,065538 ^{NS}	0,028450 ^{NS}	453,999**	0,0029927**	0,63948**
C x NPP	4	354,2288 ^{NS}	3414,051 ^{NS}	0,0001481 ^{NS}	8,59978 ^{NS}	0,058111 ^{NS}	0,0260750 ^{NS}	11,10765 ^{NS}	0,00029163 ^{NS}	0,10899 ^{NS}
Resíduo (a)	24	519,0311	4350,690	0,00035933	27,4716	0,152568	0,14848	17,58028	0,00022980	0,197214
N em cobertura (NC)	3	92,58146 ^{NS}	2081,001 ^{NS}	0,000709*	11,5350 ^{NS}	0,144590 ^{NS}	0,032808 ^{NS}	4,16590 ^{NS}	0,0001334 ^{NS}	0,072203 ^{NS}
C x NC	3	94,00507 ^{NS}	288,8418 ^{NS}	0,00004026 ^{NS}	0,18387 ^{NS}	0,0356966 ^{NS}	0,00021647 ^{NS}	0,834065 ^{NS}	0,0000468 ^{NS}	0,023083 ^{NS}
NPP x NC	12	87,23166 ^{NS}	607,5212 ^{NS}	0,000069297 ^{NS}	7,47519 ^{NS}	0,0116076 ^{NS}	0,0105275 ^{NS}	11,6929 ^{NS}	0,0001333 ^{NS}	0,043939 ^{NS}
C x NPP x NC	12	161,9967 ^{NS}	1611,983 ^{NS}	0,000043181 ^{NS}	2,3044 ^{NS}	0,0138776 ^{NS}	0,0330535 ^{NS}	11,59979 ^{NS}	0,00010836 ^{NS}	0,0760792 ^{NS}
Resíduo (b)	90	262,517	2916,567	0,000269268	28,7878	0,179248	0,0887092	23,01097	0,00024595	0,172376
CV parcela, %		23,76	21,61	18,87	10,69	20,84	23,49	9,06	17,63	18,61
CV sub-parcela, %		16,89	17,69	16,34	10,95	22,59	18,15	10,37	18,23	17,40

NS, **, * e ° - não-significativos, significativos ao nível de 1, 5 e 10% de probabilidade, pelo teste F, respectivamente.

Tabela 6. Resumo da análise conjunta do teor de N no caule (TNT-C), massa de matéria seca total (MST), ângulo hue (°h), brilho (L), cromaticidade (C), relação °h/(L*C), leitura SPAD, produtividade comercial de tubérculos (PCTU) e conteúdo de N na QF (CNT-QF), na época seca

FL	GL	Quadrados Médios								
		TNT-C	MST	°h	L	C	°h/(L*C)	SPAD	PCTU	CNT-QF
Bloco/Cultivar	6	20,33074	18,95094	11,58112	3,549250	6,972119	0,000085842	7,992218	6,08957	0,1200396
Cultivar (C)	1	50,12280*	1520,942**	101,4422**	35,15625**	17,70230°	0,0011173**	222,1473**	29,9828*	0,612385**
N em plantio (NPP)	4	357,8184**	944,5499**	27,45178**	63,19072**	141,7506**	0,00256378**	336,7811**	303,245**	1,36871**
C x NPP	4	60,65442**	6,74765 ^{NS}	1,248656**	0,9954688 ^{NS}	5,166396 ^{NS}	0,000070026 ^{NS}	3,688021 ^{NS}	19,5060*	0,1022 ^{NS}
Resíduo (a)	24	12,29698	68,81391	2,754094	7,137010	5,603682	0,0000923843	5,394947	5,63190	0,179163
N em cobertura (NC)	3	8,343997 ^{NS}	545,0586**	9,737500°	11,79375**	9,719569 ^{NS}	0,000277244*	8,919131 ^{NS}	10,6122 ^{NS}	0,138086*
C x NC	3	0,2955599 ^{NS}	12,42263 ^{NS}	3,136750 ^{NS}	0,6674167 ^{NS}	1,241069 ^{NS}	0,000022122 ^{NS}	0,1894390 ^{NS}	12,2355*	0,0476664 ^{NS}
NPP x NC	12	3,283056 ^{NS}	11,4915 ^{NS}	1,146406 ^{NS}	0,2152604 ^{NS}	3,592684 ^{NS}	0,000040678 ^{NS}	0,4963650 ^{NS}	0,0057130 ^{NS}	0,031453 ^{NS}
C x NPP x NC	12	2,025029 ^{NS}	9,48521 ^{NS}	1,395865 ^{NS}	0,9918438 ^{NS}	2,268163 ^{NS}	0,000022753 ^{NS}	1,274413 ^{NS}	9,8114°	0,0161847 ^{NS}
Resíduo (b)	90	8,009584	68,64399	3,890056	2,565514	5,682291	0,000073570	4,242929	5,70712	0,15752
CV parcela, %		14,49	10,35	1,41	6,24	7,41	10,97	6,11	2,37	18,07
CV sub-parcela, %		11,69	10,33	1,67	3,74	7,47	9,79	5,42	5,60	16,94

NS, **, * e ° - não-significativos, significativos ao nível de 1, 5 e 10% de probabilidade, pelo teste F, respectivamente.

Resumo da Análise Conjunta, comparando as duas cultivares, na época chuvosa (n=160)

Tabela 7. Resumo da análise conjunta da área foliar da planta (AFP) e da quarta folha (AFQF), massa de matéria seca da quarta folha (MSQF), área foliar específica da quarta folha (AFEQF), área foliar específica da planta (AFEP), razão de área foliar (RAF), teor de clorofila total (TCHL_{total}), razão entre teor de clorofila *a* e *b*, espessura da quarta folha (EQF), densidade de massa foliar (LMDQF), espessura equivalente de água (EWT), relação entre MSQF e MFQF (MS MF⁻¹), teor de N na QF (TNT-QF), eficiência do uso de N na QF (EUNQF), teor de N QF por área (TNT-QF_A), teor de N na folha (TNF) eficiência do uso do N na folha (EUNF), teor de N folha por área (TNT-F_A), na época chuvosa

FV	GL	Quadrados Médios								
		AFP	AFQF	MSQF	AFEQF	AFEP	RAF	TCHL _{total}	TCHL _{a/b}	EQF
Bloco/Cultivar	6	44425,61	720,4321	0,00145817	1371,060	1143,922	45,25889	210,6134	1,03656	0,0027707
Cultivar (C)	1	7,46512x ^{9**}	442062,3**	2,516903**	18034,62*	315266,7**	30100,36**	575,7056**	3,03733°	0,0007821 ^{NS}
N em plantio (NPP)	4	2561421,0**	27285,72**	0,0664252**	13163,32**	469,9370 ^{NS}	63,41425 ^{NS}	3537,567**	4,88478**	0,01550**
C x NPP	4	417844,8**	5729,199**	0,0109216*	969,6505 ^{NS}	33,61146 ^{NS}	31,50701 ^{NS}	390,9189**	0,946010 ^{NS}	0,006239**
Resíduo (a)	24	53485,80	706,0155	0,0055085	1933,860	875,6977	50,68367	72,8005	0,711486	0,000515
N em cobertura (NC)	3	3000606**	3549,361**	0,0138053*	1290,131 ^{NS}	517,6105 ^{NS}	354,9465**	1054,27**	4,15070**	0,005197**
C x NC	3	2226346,0**	146,3011 ^{NS}	0,0006754 ^{NS}	361,2778 ^{NS}	96,48153 ^{NS}	346,3571**	348,1324*	0,10825 ^{NS}	0,000357 ^{NS}
NPP x NC	12	38072,01 ^{NS}	328,8394 ^{NS}	0,0008799 ^{NS}	749,1701 ^{NS}	165,0837 ^{NS}	16,75254 ^{NS}	113,4450 ^{NS}	0,91874 ^{NS}	0,000347 ^{NS}
C x NPP x NC	12	53216,95 ^{NS}	336,7851 ^{NS}	0,00043348 ^{NS}	355,0558 ^{NS}	171,6182 ^{NS}	16,66815 ^{NS}	89,1117 ^{NS}	0,373508 ^{NS}	0,000147 ^{NS}
Resíduo (b)	90	52872,07	579,7402	0,00400668	2923,563	947,3150	42,88502	114,4742	1,13447	0,0005598
CV parcela, %		12,52	12,41	12,77	11,99	20,06	21,28	7,74	29,89	6,48
CV sub-parcela, %		12,44	11,25	10,89	14,76	20,86	19,57	9,70	37,74	6,75

FV	GL	Quadrados Médios								
		LMDQF	EWT	MS MF ⁻¹	TNT-QF	EUNQF	TNT-QF _A	TNT-F	EUNF	TNT-F _A
Bloco/Cultivar	6	138,7482	4665,770	0,0030935	50,95307	0,1932414	0,0281657	7,980525	0,0031071	0,108567
Cultivar (C)	1	786,0610*	33309,32**	0,0078451**	842,1455**	130,5201**	0,127558*	507,1107**	0,1685106**	39,37423**
N em plantio (NPP)	4	139,4863 ^{NS}	1869,335°	0,0008401 ^{NS}	198,9636**	0,150562 ^{NS}	0,0250984 ^{NS}	51,10962**	0,00569262*	0,189267 ^{NS}
C x NPP	4	641,8226**	838,2230 ^{NS}	0,00055809 ^{NS}	26,45264 ^{NS}	0,802592*	0,0449004 ^{NS}	56,52019**	0,0056856*	0,4194141 ^{NS}
Resíduo (a)	24	138,8860	773,8792	0,0005105	15,32295	0,439907	0,0293715	12,39719	0,00186323	0,292920
N em cobertura (NC)	3	92,89266 ^{NS}	531,7347 ^{NS}	0,0003758 ^{NS}	144,8769**	0,137155 ^{NS}	0,05400723 ^{NS}	126,9752**	0,0168464**	0,559991*
C x NC	3	7,205413 ^{NS}	1196,626 ^{NS}	0,0007346 ^{NS}	23,56907 ^{NS}	0,754246*	0,03436488 ^{NS}	19,34513°	0,0008153 ^{NS}	0,283526 ^{NS}
NPP x NC	12	25,90819 ^{NS}	180,9435 ^{NS}	0,0001860 ^{NS}	0,8923528 ^{NS}	0,0700855 ^{NS}	0,00571643 ^{NS}	1,547900 ^{NS}	0,0007353 ^{NS}	0,0329984 ^{NS}
C x NPP x NC	12	16,08877 ^{NS}	289,1713 ^{NS}	0,00007961 ^{NS}	0,9164275 ^{NS}	0,0511136 ^{NS}	0,0014125 ^{NS}	0,7044530 ^{NS}	0,00079788 ^{NS}	0,0187928 ^{NS}
Resíduo (b)	90	175,65	946,5067	0,0004422	18,57879	0,229741	0,0324578	8,220694	0,00166233	0,2307405
CV parcela, %		14,74	16,99	15,25	10,60	22,97	16,81	13,00	23,88	26,52
CV sub-parcela, %		16,58	18,78	14,19	11,67	16,60	17,67	10,58	22,55	23,53

NS, **, * e ° - não-significativos, significativos ao nível de 1, 5 e 10% de probabilidade, pelo teste F, respectivamente.

Tabela 8. Resumo da análise conjunta do teor de N no caule (TNT-C), massa de matéria seca total (MST), ângulo hue (°h), brilho (L), cromaticidade (C), relação °h/(L*C), leitura SPAD, produtividade comercial de tubérculos (PCTU) e conteúdo de N na QF (CNT-QF), na época chuvosa

FL	GL	Quadrados Médios								
		TNT-C	MST	°h	L	C	°h/(L*C)	SPAD	PCTU	CNT-QF
Bloco/Cultivar	6	24,80106	85,80002	5,221578	5,704854	18,59710	0,00030322	4,748292	40,4911	0,0750677
Cultivar (C)	1	83,98464**	966,0996**	1134,491**	18,70056**	0,4950625**	0,0000597985**	593,6703**	143,010**	16,34518**
N em plantio (NPP)	4	3315,785**	2154,126**	17,48948**	32,55072**	44,10236**	0,0012509**	416,6261**	108,785**	0,887483**
C x NPP	4	4,286804 ^{NS}	221,3015**	4,735602 ^{NS}	0,8997813 ^{NS}	19,33170 ^{NS}	0,00034949 ^{NS}	35,10447**	2,72485 ^{NS}	0,1309155*
Resíduo (a)	24	13,25025	76,97040	2,711695	5,245010	11,54210	0,00024634	4,368240	22,4904	0,0394936
N em cobertura (NC)	3	236,0266**	536,6398**	24,14489**	10,83560**	20,79427**	0,000511688**	198,5727**	102,953**	0,3210678**
C x NC	3	1,992587 ^{NS}	141,6178*	0,8619323 ^{NS}	2,230687 ^{NS}	3,541604 ^{NS}	0,000044605 ^{NS}	5,522917 ^{NS}	5,04908 ^{NS}	0,0332942 ^{NS}
NPP x NC	12	1,257084 ^{NS}	10,2581 ^{NS}	1,891987 ^{NS}	3,271698 ^{NS}	3,457734 ^{NS}	0,0000987452 ^{NS}	7,722719 ^{NS}	7,01304 ^{NS}	0,00681341 ^{NS}
C x NPP x NC	12	1,347412 ^{NS}	19,84439 ^{NS}	1,766841 ^{NS}	0,5131354 ^{NS}	1,723036 ^{NS}	0,0000327851 ^{NS}	1,276927 ^{NS}	3,88317 ^{NS}	0,00388412 ^{NS}
Resíduo (b)	90	13,07184	57,83314	2,436477	2,522562	5,239646	0,000095606	7,452861	14,8797	0,0380165
CV parcela, %		19,41	15,49	1,49	5,79	11,26	16,68	6,01	4,74	17,05
CV sub-parcela, %		19,27	13,42	1,41	4,01	7,58	10,39	7,84	14,18	16,72

NS, **, * e ° - não-significativos, significativos ao nível de 1, 5 e 10% de probabilidade, pelo teste F, respectivamente.

CAPÍTULO IV

Teores de clorofila, fenóis solúveis, nitrogênio e carboidratos em folhas de cultivares de batata em função de doses de nitrogênio

1. Introdução

O nitrogênio (N) é um nutriente de maior impacto na produtividade da cultura da batata, por manifestar-se positivamente sobre o crescimento vegetativo da planta. Ferramentas que permitam sensoriar em tempo real o estado de N das plantas de forma rápida e barata têm sido propostas (Fontes, 2011). Para a cultura da batata, são citadas as análises envolvendo a utilização da tabela de cor (Silva & Fontes, 2006), teor de nitrato no suco celular (MacMurdo *et al.*, 1988; Porter & Sisson, 1991; Mackerron *et al.*, 1995; Zhang *et al.*, 1996; Fontes *et al.*, 2000; Wu *et al.*, 2007) e clorofilômetro SPAD-502 (Silva *et al.*, 2009; Busato *et al.*, 2010; Coelho *et al.*, 2010) como indicadores do estado nitrogenado. O clorofilômetro é um dos índices da planta mais comumente utilizado para avaliação do estado nitrogenado.

A avaliação do verde da folha de forma rápida, não destrutiva e além do baixo custo operacional tornou-se mais fácil com os recentes avanços e aperfeiçoamento dos medidores portáteis (Blackmer & Schepers, 1995; Guimarães *et al.*, 1999; Goffart *et al.*, 2008) possibilitando a sua utilização como critério de avaliação do estado de N das plantas. Recentemente, foi comercializado um destes medidores portáteis chamado de Dualex[®] (FORCE-A, Orsay, France).

O Dualex[®] é um equipamento portátil utilizado para estimar, principalmente, em tempo real e de forma não destrutiva os índices isolados e combinados de clorofila e de flavonóis na folha (Fontes, 2011). O Dualex[®] fornece na tela do seu visor, em uma única medição realizada na folha, três índices, que são eles: índice de clorofila (ICHL), índice de flavonóis (IFLV) e índice de balanço do N (IBN) que é obtido pela relação entre os ICHL e IFLV. Dependendo da espécie e de apropriada calibração, a concentração de N na folha pode ser estimada indiretamente com o equipamento, pois há correlação negativa entre os teores de compostos fenólicos e de N na folha e correlação positiva deste com os teores de clorofila e com o IBN.

A partir da comercialização, alguns autores têm utilizado o Dualex[®] para estimar a concentração de N na folha de algumas espécies (Tremblay *et al.*, 2010). Os resultados do Dualex[®] são incipientes, mas apontam para a viabilidade técnica do equipamento que ainda tem preço pouco acessível (Fontes *et al.*, 2011a; Fontes *et al.*, 2011b). Além destes índices listados acima, é importante o estudo e o entendimento sobre a produção e acúmulo de carboidratos nas folhas das plantas.

O amido é o carboidrato mais comum e abundante em plantas. É uma glucana insolúvel constituída por dois polímeros de glicose amilopectina e amilose (Zeeman *et al.*, 2010). Carboidratos são compostos orgânicos encontrados nos órgãos das plantas, sendo que nos tubérculos, o amido, corresponde de 52 a 80%, na massa de matéria seca (Braun *et al.*, 2010). Nessa parte da planta de batata, os açúcares, glicose, frutose e sacarose são os principais carboidratos armazenados.

Nas folhas das plantas, a sacarose e o amido são os produtos finais provenientes da fotossíntese, e são translocados para os tubérculos (dreno). Esse processo de translocação depende principalmente da força do dreno. Em estudo realizado por Ruuska *et al.* (2008) relataram que os carboidratos não-estruturais (hexoses, sacarose e amido) podem acumular nos caules quando translocados para os tubérculos. Assim, Pan *et al.* (2011) relataram que essas substâncias podem ser remobilizadas e translocadas para outras parte da planta (principalmente os drenos), contribuindo para o crescimento e ganho de produtividade.

A fotossíntese é limitada por condições ambientais, tais como: água, CO₂, luz, temperatura (Legay *et al.*, 2011; Robredo *et al.*, 2011) e nutrientes, como o N (Boussadia *et al.*, 2011), bem como a partição de fotoassimilados pela fotossíntese (carboidratos) para o dreno principal (tubérculos) é dependente do comprimento do dia, ou seja, o fotoperíodo (Zeeman *et al.*, 2007).

Em batata, a folha é o principal órgão responsável pela produção de carboidratos, bem como os tubérculos são os responsáveis pelo armazenamento. No entanto, uma fração do carbono assimilado pela fotossíntese é retida nos cloroplastos na forma de amido, em vez de ser convertido em sacarose para ser exportado para os locais de crescimento da planta. Este amido transitório é degradado durante a noite para fornecer suprimento contínuo de açúcares para sustentar o metabolismo na folha durante a noite (Zeeman *et al.*, 2007; 2010). A fonte de carbono a partir do amido pode ser vital para o crescimento normal da planta.

O amido transitório produzido em folhas é degradado primeiramente em maltose e glicose por hidrolises e ambos podem ser exportados para o citoplasma e metabolizados no citosol (Weise *et al.*, 2004). As principais fontes de açúcares encontradas nas plantas são os dissacarídeos (sacarose e maltose) e os monossacarídeos (glicose e frutose) (Halford *et al.*, 2011).

A cultura da batata responde significativamente à adição de N que desempenha papel fundamental de estabelecer e manter a capacidade e funcionalidade da fonte (fotossíntese) e proporcionar adequada colheita do dreno (tubérculos). Dentre os nutrientes, o N é geralmente o mais limitante para o crescimento e produtividade das culturas. Em arroz, Hirano *et al.* (2005) e trigo, Ruuska *et al.* (2008) relataram que o teor de amido e os açúcares solúveis em plantas submetidas a condições de alto suprimento de N foram menores do que em plantas submetidas à condição de baixo N. Cruz *et al.* (2003), trabalhando com a cultura da mandioca, relataram que os açúcares redutores decresceram com o aumento das concentrações de N-NO₃. Por outro lado, esses autores relataram efeito positivo das concentrações sobre os açúcares solúveis totais (AST) e açúcares não-redutores (ANR). Coelho *et al.* (2011) também observaram aumento nos AST, açúcar redutor (AR) e ANR com o aumento das doses de N. Já os estudos realizados por Nagata *et al.* (2001) revelaram que não houve efeito da aplicação de N sobre os carboidratos não estruturais.

Na literatura são escassas as informações sobre a influência de fertilizantes, especificamente os nitrogenados, sobre a leitura realizada com o equipamento portátil Dualex[®] e os carboidratos (amido e açúcares solúveis e redutores) produzidos na folha de cultivares de batata. Da mesma forma, na literatura, muitos estudos são relacionados com o metabolismo primário das plantas, no entanto, poucos estudos são realizados com a produção de compostos secundários nas plantas em função do N, principalmente os compostos fenólicos.

Assim, objetivou-se com este trabalho determinar, em duas cultivares, na quarta folha completamente expandida, o efeito de doses de N:

- 1) em pré-plantio, aos 21 dias após a emergência, sobre:
 - a) a leitura realizada com o Dualex[®] (índice de flavonóis - IFLV, índice de clorofila - ICHL e o índice de balanço de N - IBN);
 - b) o teor de nitrogênio; teor de fenóis solúveis e o teor de carboidratos (amido e açúcares solúveis totais e açúcares redutores);

c) além de verificar a possibilidade de estimar indiretamente com o equipamento Dualex[®] a concentração de N em folhas de cultivares de batata;

2) em pré-plantio e cobertura, aos 42 dias após a emergência, sobre:

a) a leitura realizada com o Dualex[®] (índice de flavonóis - IFLV, índice de clorofila - ICHL e o índice de balanço de N - IBN);

b) os teores de fenóis solúveis e carboidratos (amido e açúcares solúveis totais e açúcares redutores).

3) em pré-plantio e em cobertura, nos tubérculos obtidos na colheita, sobre:

a) o teor de fenóis solúveis e o teor de carboidratos (amido e açúcares solúveis totais e açúcares redutores).

2. Material e Métodos

2.1 Localização e caracterização da área experimental

Este item está descrito no capítulo III.

2.2 Tratamentos e delineamento experimental

Foram instalados e conduzidos dois experimentos, simultaneamente, no campo, na época chuvosa, de 20 de dezembro de 2010 a 21 de março de 2011. Cada experimento correspondeu a uma cultivar de batata: Ágata e Atlantic e consistiu de cinco doses de N (0; 50; 100; 200 e 300 kg ha⁻¹ de N) aplicadas no sulco em pré-plantio e quatro doses de N aplicadas em cobertura (0; 100; 200 e 300 kg ha⁻¹ de N). Foi utilizada a ureia com fonte de N (44% de N). Nas parcelas aplicaram-se as doses de N em pré-plantio e nas subparcelas as doses de N em cobertura. Os experimentos foram instalados em esquema de parcela subdividida, com quatro repetições, no delineamento em blocos casualizados.

2.3 Instalação e condução dos experimentos no campo

Este item está descrito no capítulo III.

2.4 Características avaliadas

2.4.1 Medições ópticas realizadas com o Dualex®

Aos 21 dias após a completa emergência das plantas (DAE), imediatamente antes de realizar a amontoa e a adubação de cobertura, de cada parcela foram amostradas aleatoriamente quatro plantas representativas para a realização das leituras com o medidor portátil Dualex® (Force-A, Orsay, France), entre 8 e 11h. Foi realizada a medição com o Dualex® no folíolo terminal da quarta folha (QF) completamente expandida a partir do ápice de cada planta. Com o Dualex® foi obtido os índices de clorofila (ICHL), e de flavonóis (IFLV) e o índice de balanço de N (IBN). Este último foi obtido pela relação entre ICHL e IFLV. O mesmo procedimento foi realizado aos 42 DAE.

2.4.2 Material vegetal para determinação dos teores de fenóis solúveis, de açúcar solúvel total, de açúcares redutores e de amido

Posteriormente, as mesmas quatro quarta folha (QF) que foram realizadas as leituras com o Dualex®, aos 21 e 42 DAE, foram coletadas e encaminhadas ao laboratório. As folhas foram acondicionadas em sacos plásticos com gotículas de água e acomodadas em caixa de isopor contendo cubos de gelo. No laboratório foram coletados aproximadamente 0,7 e 0,5 g de massa de matéria fresca (MF) da QF, aos 21 e 42 DAE, respectivamente.

Após a colheita do experimento, foram retirados ao acaso, em cada subparcela, dois tubérculos da classe comercial. Os tubérculos foram cortados e de sua região central foi retirado 1 g de massa de matéria fresca. Com as MF da QF obtidas aos 21 e 42 DAE bem como nos tubérculos obtidos na colheita foi quantificado o teor de açúcar solúvel total, amido, açúcares redutores e não-redutores e fenóis solúveis.

2.4.2.1 Teor de açúcares solúveis totais

As massas de matéria fresca da QF coletadas aos 21 DAE (0,7 g de MF da QF) e 42 DAE (0,5 g de MF da QF) bem como dos tubérculos obtidos no momento da colheita (1 g de MF da QF) foram acondicionadas em recipientes contendo etanol a 80% aquecido

(60 a 70 °C). Posteriormente, os recipientes permaneceram a 5 °C até a extração e quantificação.

No momento da extração, o material vegetal foi triturado em Polytrex e filtrado em papel de filtro qualitativo 80 G, seguindo-se a esse procedimento três lavagens com etanol a 80% aquecido, e o volume combinado das filtrações foi completado em balão volumétrico para 40 mL com etanol 80%.

A quantificação de açúcares solúveis totais (AST) na QF e nos tubérculos amostrados nos tratamentos foi realizada segundo o método Fenol-sulfúrico (Dubois *et al.*, 1956).

As amostras foram diluídas 5x tanto para os 21 DAE quanto para os 42 DAE. Não houve diluição para os tubérculos obtidos no momento da colheita. Em seguida foi realizado o preparo das soluções padrões de sacarose (0; 25; 50; 75 e 100 µg mL⁻¹). Foram pipetados 0,5 mL da amostra, colocado em tubo de ensaio com rosca e adicionado 0,5 mL de fenol a 5% e 2,5 mL de H₂SO₄ concentrado. Os tubos foram agitados em vortex e colocados em banho de gelo. Posteriormente, foram levados ao banho-maria, por 20 minutos, à temperatura de 30 °C. Após a remoção do banho-maria, os tubos foram novamente agitados e permaneceram em temperatura ambiente por 30 minutos, e, então, procedeu-se a leitura da absorbância em $\lambda = 490$ nm em espectrofotômetro Shimadzu, modelo UV 1601. O teor de açúcares solúveis totais foi expresso em g 100 g⁻¹ de MF.

2.4.2.2 Teor de amido

O resíduo que ficou retido no filtro, proveniente da extração dos açúcares solúveis totais, foi seco em estufa a 65 °C e armazenado em dessecador para a determinação do teor de amido. O teor de amido foi determinado pela metodologia descrita por McCready *et al.* (1950). Foram feitas três extrações com o resíduo, e na primeira delas foram adicionados 5 mL de ácido perclórico em tubo contendo o resíduo, deixado em repouso por 30 minutos com agitação ocasional, seguindo-se a isso centrifugação a 2000 RPM por 10 minutos. Após ser centrifugado, o extrato foi filtrado em balão volumétrico, e o resíduo proveniente da primeira extração foi novamente adicionado ao tubo para mais duas novas extrações. Após essas extrações, o precipitado foi descartado, e o volume foi completado para 20 mL com água destilada. Para a quantificação do teor de amido foi utilizado o mesmo método, e o resultado foi

multiplicado pelo fator 0,9, porque na formação do amido há a remoção de uma molécula de água. O teor de amido foi expresso em g 100 g⁻¹ de MF.

2.4.2.3 Teor de açúcares redutores e não-redutores

Do extrato alcoólico utilizado na quantificação de AST, 0,2 mL foi transferido ao tubo de ensaio com rosca, ao qual foi acrescentado 0,2 mL do reagente de Nelson 4 (8 mL de reagente 1 + 2 mL de reagente 2) conforme método Somogy-Nelson (Nelson, 1944). Os tubos foram, então, agitados e levados à água fervente por 15 minutos. Posteriormente, os tubos foram resfriados, a eles adicionados 0,2 mL do reagente 5 (7 mL da solução a 0,75 M de H₂SO₄ + 3,5 mL do reagente 3) e agitados. Em seguida, foram adicionados aos tubos 0,6 mL de água destilada, os quais foram agitados em Vortex, e efetuada a leitura das absorvâncias a 540 nm em espectrofotômetro. Os valores foram comparados com a curva padrão de glicose. O preparo dos reagentes 1, 2, 3, 4 e 5, utilizados para quantificação dos açúcares redutores (AR), encontra-se no apêndice.

Os açúcares não-redutores (ANR) foram estimados subtraindo-se os valores de AR dos valores de AST.

2.4.2.4 Teor de fenóis solúveis

Foi utilizado o mesmo extrato alcoólico da quantificação de AST. A determinação de compostos fenólicos solúveis foi feita de acordo com o método de Prince & Butler (1977).

Para a determinação dos compostos fenólicos solúveis, foi coletado 0,5 mL do extrato alcoólico do AST e adicionada em frascos de vidro contendo 2,5 mL do reagente de Folin-Ciocalteu (diluído 1:3) e 2 mL de carbonato de sódio anidro 10%, deixando reagir por uma hora. Em sequência, as amostras foram levadas ao espectrofotômetro Shimadzu, modelo UV1601, para leitura da absorvância no comprimento de onda 700 nm. Os resultados foram comparados à curva de calibração, tendo como padrão D-catequina, e expressos em Fenóis solúveis (mg de D-catequina por g de MF).

2.4.2.5 Teor de N na quarta folha

Após a coleta do material vegetal das QF utilizadas para a quantificação dos teores de AST, AR, amido e fenóis solúveis, essas folhas foram colocados em estufa a 70 °C, até atingir massa constante. Posteriormente, foram moídas em moinho tipo Wiley, equipado com peneira de 20 mesh, para determinação do teor de N orgânico, após digestão sulfúrica utilizando-se o reagente de Nessler (Jackson, 1958). Em outra subamostra, o N-NO₃ foi extraído com água desmineralizada em banho-maria a 45 °C por 1 h, determinando-se o teor de N-NO₃ por colorimetria, em espectrofotômetro a 410 nm (Cataldo *et al.*, 1975). O teor de N total foi obtido por meio da soma dos teores de N orgânico e N-NO₃.

2.5 Análise estatística

2.5.1 Análise conjunta

Para cada variável dependente avaliada foi realizada uma análise conjunta envolvendo os dois experimentos (cultivares Ágata e Atlantic). A análise conjunta foi realizada para comparar os dois experimentos.

Após a realização da análise conjunta, independentemente da interação doses de N em pré-plantio (NPP), doses de N em cobertura (Cob) e cultivar (CV) (NPP x Cob x C) ser ou não significativa, as interações (NPP x Cob x C) foram desdobradas, para cada variável dependente avaliada. Em seguida foram ajustados modelos para expressar a relação entre as variáveis dependentes e a variável independente. Os modelos foram escolhidos com base no sentido biológico, na significância dos coeficientes de regressão utilizando o nível de até 10% de probabilidade, pelo teste “t”, e no coeficiente de determinação, sendo calculado pela relação ($R^2 = SQ_{Regressão}/SQ_{Tratamento}$). A comparação das médias das duas cultivares foi realizada pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

O software estatístico utilizado para a execução das análises estatísticas foi o Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas (SAEG versão 9.1).

3. Resultados

3.1 Aos 21 dias após a emergência (DAE), antes de realizar a cobertura com N

Está apresentado na Tabela 1, os valores mínimo e máximo das variáveis dependentes avaliadas (índice de clorofila, de flavonóis, índice de balanço de N, teor de N e carboidratos), para as duas cultivares de batata.

O efeito da variável independente (doses de N em pré-plantio, kg ha^{-1}) sobre as variáveis dependentes (índice de clorofila, de flavonóis, índice de balanço de N, teor de N e carboidratos), para as duas cultivares de batata, determinada aos 21 DAE, está na Tabela 2.

Estão listadas na Tabela 3, as equações ajustadas para o índice de balanço de N (IBN), teor de N-NH_4 e N-NO_3 , teor de açúcar redutor (AR) e não-redutor (ANR) e relação entre amido e ANR, em função das doses de N em pré-plantio, para as duas cultivares de batata, determinadas aos 21 DAE.

Estão listadas nas Tabelas 4 e 5, as estimativas dos coeficientes de correlação linear simples (r) entre as variáveis dependentes avaliadas, aos 21 DAE, para as cultivares Ágata e Atlantic.

Tabela 1. Valores mínimos e máximos das variáveis dependentes ($n=40$)

Variável dependente	Abreviatura	Unidade	Valor	
			Mínimo	Máximo
Índice de clorofila	ICHL	-	22,3	39,9
Índice de flavonóis	IFLV	-	1,25	2,53
Índice de balanço de N	IBN	-	10,24	29,62
Teor de N-NH ₄	TN-NH ₄	g kg ⁻¹	24,36	48,68
Teor de N-NO ₃	TN-NO ₃	g kg ⁻¹	0,15	2,26
Teor de N total	TN-Total	g kg ⁻¹	25,02	49,68
Amido	-	g 100 g ⁻¹	0,81	1,82
Açúcar solúvel total	AST	g 100 g ⁻¹	1,69	4,11
Açúcar redutor	AR	g 100 g ⁻¹	0,37	0,94
Açúcar não-redutor	ANR	g 100 g ⁻¹	0,99	3,67
Relação Amido/ANR	-	-	0,33	1,25
Fenóis solúveis	-	mg g ⁻¹	2,11	5,08

n =número de dados observados.

Tabela 2. Efeito da variável independente (doses de N, kg ha⁻¹) sobre as variáveis dependentes, para as cultivares Ágata e Atlantic, aos 21 DAE

Variável dependente	Abreviatura	Unidade	Efeito de dose de N (kg ha ⁻¹)	
			Ágata	Atlantic
Índice de clorofila	ICHL	-	L ¹	L
Índice de flavonóis	IFLV	-	Q	L
Índice de balanço de N	IBN	-	L	L
Teor de N-NH ₄	TN-NH ₄	g kg ⁻¹	Q	Q
Teor de N-NO ₃	TN-NO ₃	g kg ⁻¹	L	Q
Teor de N total	TN-Total	g kg ⁻¹	L	Q
Amido	-	g 100 g ⁻¹	L	L
Açúcar solúvel total	AST	g 100 g ⁻¹	L	L
Açúcar redutor	AR	g 100 g ⁻¹	Q	NS
Açúcar não-redutor	ANR	g 100 g ⁻¹	RQ	L
Relação Amido/ANR	-	-	L	Q
Fenóis solúveis	-	mg g ⁻¹	Q	L

¹NS, L, Q e RQ: não significativo, linear, quadrático e raiz quadrático, respectivamente.

Tabela 3. Equações ajustadas para o índice de balanço de N (IBN), teor de N orgânico (TN-NH₄, g kg⁻¹), teor de N-NO₃ (TN-NO₃, g kg⁻¹), teor de açúcar redutor (AR, g 100 g⁻¹ MF), teor de açúcar não-redutor (ANR, g 100 g⁻¹ MF) e a relação entre o teor de amido e ANR (Amido/ANR, g 100 g⁻¹ MF), em função das doses de N aplicadas em pré-plantio, para as cultivares Ágata e Atlantic, aos 21 DAE

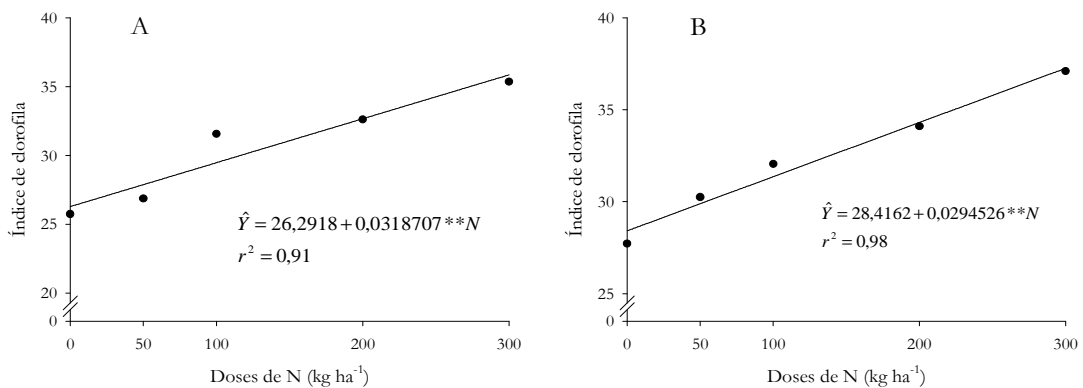
Cultivares	Variáveis dependentes	Equações ajustadas	R ² e r ²
Ágata	IBN	$\hat{Y}=13,7318+0,0387431^*N$	0,86
Atlantic		$\hat{Y}=12,0118+0,0317697^*N$	0,98
Ágata	TN-NH ₄	$\hat{Y}=32,4343+0,0533035^{**}N-0,0000507369^{**}N^2$	0,99
Atlantic		$\hat{Y}=32,5028+0,0820014^*N-0,000186125^*N^2$	0,95
Ágata	TN-NO ₃	$\hat{Y}=0,359915+0,00290385^{**}N$	0,98
Atlantic		$\hat{Y}=0,407938+0,00789734^{**}N-0,0000201142^{**}N^2$	0,99
Ágata	AR	$\hat{Y}=0,511236+0,00293963^*N-0,00000663317^{\circ}N^2$	0,92
Atlantic		$\hat{Y}=0,50$	-
Ágata	ANR	$\hat{Y}=1,87038-0,0510963^*\sqrt{N}+0,00361179^{**}N$	0,99
Atlantic		$\hat{Y}=1,64406+0,00308367^{**}N$	0,94
Ágata	Amido/ANR	$\hat{Y}=0,679508 - 0,000577252^*N$	0,81
Atlantic		$\hat{Y}=0,874045-0,00217466^*N+0,00000337952^*N^2$	0,98

*, * e °: significativo ao nível de 1%, 5% e 10% de probabilidade, pelo teste “t”, respectivamente.

3.1.1 Medições ópticas realizadas na quarta folha com o Dualex®

3.1.1.1 Índice de clorofila

Houve efeito crescente das doses de N aplicadas em pré-plantio sobre o índice de clorofila (ICHL) para as cultivares Ágata e Atlantic, com comportamento linear (Figura 1A e 1B).

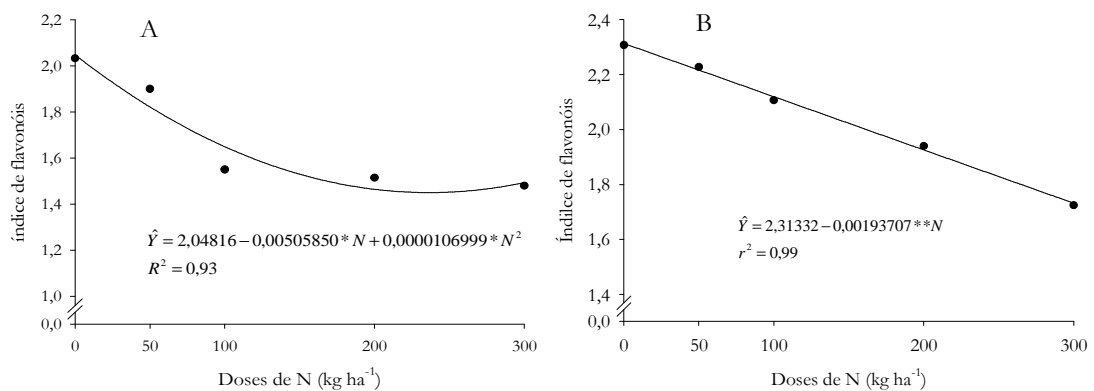


** : significativo ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste “t”.

Figura 1. Índice de clorofila (ICHL) em função das doses de nitrogênio (N), para as cultivares Ágata (A) e Atlantic (B), aos 21 DAE.

3.1.1.2 Índice de flavonóis

Houve efeito decrescente das doses de N aplicadas em pré-plantio sobre o índice de flavonóis (IFLV) para as cultivares Ágata e Atlantic, com comportamento quadrático e linear, respectivamente (Figura 2A e 2B).

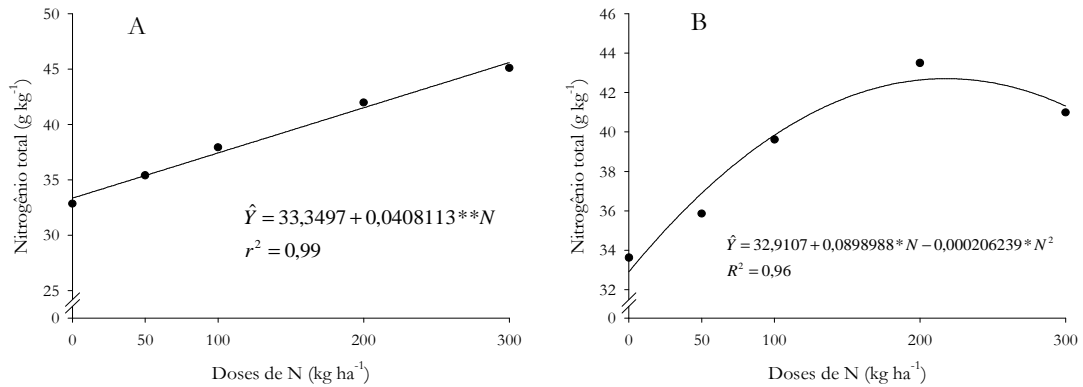


** , * e ° : significativo ao nível de 1%, 5% e 10% de probabilidade, pelo teste “t”, respectivamente.

Figura 2. Índice de flavonóis (IFLV) em função das doses de nitrogênio (N), para as cultivares Ágata (A) e Atlantic (B), aos 21 DAE.

3.1.2 Teor de N total na quarta folha

Houve efeito crescente das doses de N aplicadas em pré-plantio sobre o teor de N total na QF para as cultivares Ágata e Atlantic, com comportamento linear e quadrático, respectivamente (Figura 3A e 3B).

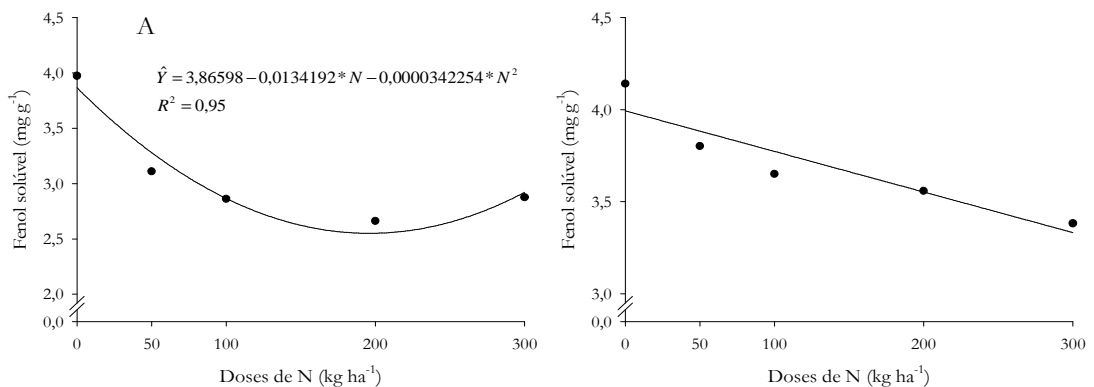


** e *: significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade, pelo teste “t”, respectivamente.

Figura 3. Teor de nitrogênio (N) total na quarta folha (TN-Total, g kg⁻¹) em função das doses de N, para as cultivares Ágata (A) e Atlantic (B), aos 21 DAE.

3.1.3 Teor de fenóis solúveis na quarta folha

Houve efeito decrescente das doses de N aplicadas em pré-plantio sobre o teor de fenóis solúveis na QF para as cultivares Ágata e Atlantic, com comportamento quadrático e linear, respectivamente (Figura 4A e 4B).



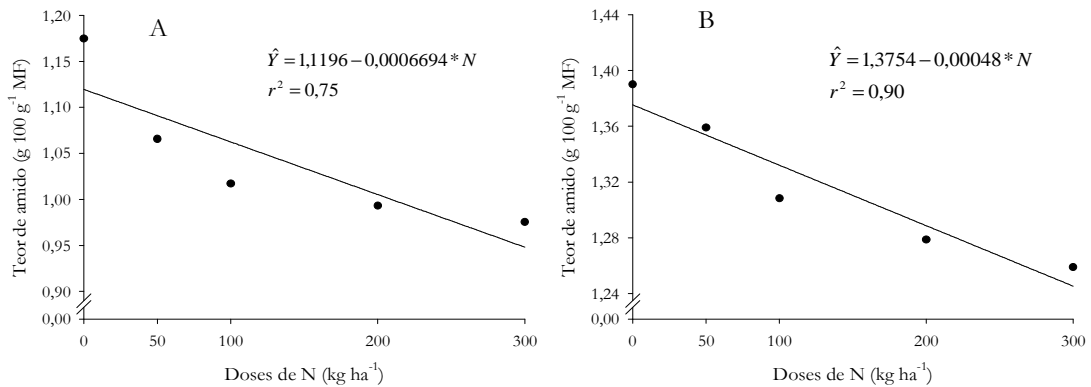
** e *: significativo ao nível de 1 e 5% de probabilidade, pelo teste “t”, respectivamente.

Figura 4. Teor de fenóis solúveis (mg g⁻¹) em função das doses de nitrogênio (N), para as cultivares Ágata (A) e Atlantic (B), aos 21 DAE.

3.1.4 Carboidratos na quarta folha

3.1.4.1 Teor de amido

Houve efeito decrescente das doses de N aplicadas em pré-plantio sobre o teor de amido para as cultivares Ágata e Atlantic, com comportamento linear (Figura 5A e 5B).

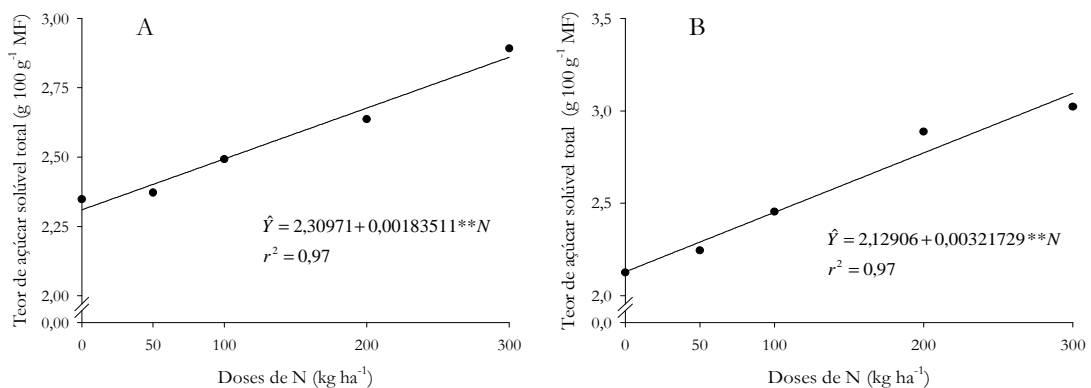


*: significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste “t”.

Figura 5. Teor de amido (g 100 g⁻¹) na massa de matéria fresca da quarta folha, em função das doses de nitrogênio (N), para as cultivares Ágata (A) e Atlantic (B), aos 21 DAE.

3.1.4.2 Teor de açúcar solúvel total

Houve efeito crescente das doses de N aplicadas em pré-plantio sobre o teor de açúcar solúvel total para as cultivares Ágata e Atlantic, com comportamento linear (Figura 6A e 6B).



** : significativo ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste “t”.

Figura 6. Teor de açúcar solúvel total (AST, g 100 g⁻¹) na massa de matéria fresca, em função das doses de nitrogênio (N), para as cultivares Ágata (A) e Atlantic (B), aos 21 DAE.

3.1.5 Correlações entre as variáveis dependentes, aos 21 DAE

As estimativas dos coeficientes de correlação linear (r) simples entre todas as variáveis dependentes determinadas aos 21 DAE, na QF, para as cultivares Ágata e Atlantic, estão listadas nas Tabelas 4 e 5, respectivamente.

Tabela 4. Correlação de Pearson entre todas as variáveis dependentes avaliadas na QF, aos 21 DAE, cultivar Ágata

Variáveis	IFLV	IBN	TN-NH ₄	TN-NO ₃	TN-Total	amido	AST	AR	ANR	amido/ANR	FS
ICHL	-0,96**	0,99**	0,96**	0,96**	0,97**	-0,91*	0,93**	0,88*	0,60 ^{NS}	-0,87*	-0,78*
IFLV	-	-0,98**	-0,90*	-0,86*	-0,90*	0,94**	-0,82*	-0,93**	-0,37 ^{NS}	0,76°	0,88*
IBN		-	0,94**	0,93**	0,94**	-0,91*	0,90*	0,90*	0,53 ^{NS}	-0,83*	-0,80*
TN-NH ₄			-	0,98**	0,99**	-0,90*	0,96**	0,87*	0,64 ^{NS}	-0,88*	0,78°
TN-NO ₃				-	0,98**	-0,83*	0,99**	0,79*	0,76°	-0,91°	-0,66 ^{NS}
TN-Total					-	-0,90*	0,97**	0,86*	0,65 ^{NS}	-0,88*	-0,77°
amido						-	-0,79*	-0,99**	-0,27 ^{NS}	0,63 ^{NS}	0,96**
AST							-	0,75°	0,80*	-0,92*	-0,60 ^{NS}
AR								-	0,21 ^{NS}	-0,57 ^{NS}	-0,97**
ANR									-	-0,85*	-0,02 ^{NS}
A/ANR											0,45 ^{NS}

^{NS}; **, * e °: não-significativos, significativos ao nível de 1%, 5% e 10% de probabilidade, pelo teste “t”, respectivamente.

FS = teor de fenóis solúveis.

Tabela 5. Correlação de Pearson entre todas as variáveis dependentes avaliadas na QF, aos 21 DAE, cultivar Atlantic

Variáveis	IFLV	IBN	TN-NH ₄	TN-NO ₃	TN-Total	Amido	AST	AR	ANR	amido/ANR	FS
ICHL	-0,98**	0,98**	0,85*	0,78°	0,85*	-0,97**	0,97**	0,56 ^{NS}	0,95**	-0,96**	0,97**
IFLV	-	-0,99**	-0,82*	0,71°	-0,81*	0,95**	-0,98**	-0,53 ^{NS}	-0,96**	0,95**	0,92*
IBN		-	0,77°	0,66°	0,77°	-0,93*	0,96**	0,59 ^{NS}	0,94**	-0,93*	-0,91*
TN-NH ₄			-	0,96**	0,99**	-0,94**	0,90*	0,19 ^{NS}	0,92*	-0,95**	-0,87*
TN-NO ₃				-	0,96**	-0,87*	0,80*	0,27 ^{NS}	0,80*	-0,85*	-0,86*
TN-Total					-	-0,93**	0,90*	0,19 ^{NS}	0,91*	-0,94**	-0,87*
Amido						-	-0,96**	-0,44 ^{NS}	-0,95**	0,99**	0,96**
AST							-	0,39 ^{NS}	0,99**	-0,98**	-0,91*
AR								-	0,32 ^{NS}	-0,36 ^{NS}	-0,63 ^{NS}
ANR									-	-0,98**	-0,89*
A/ANR										-	0,93**

^{NS}; **, * e °: não-significativos, significativos ao nível de 1%, 5% e 10% de probabilidade, pelo teste “t”, respectivamente.

FS = teor de fenóis solúveis.

Está listada na Tabela 6, a comparação das médias entre as cultivares Ágata e Atlantic, para as variáveis dependentes avaliadas (Dualetx[®], teor de N e carboidratos), para todas as doses de N aplicadas em pré-plantio, aos 21 DAE. Dentre as variáveis dependentes avaliadas, o ICHL, TN-NH₄QF, TN-NO₃QF, TNT-QF, teor de amido, teor de AST, teor de ANR e Amido/ANR, não apresentaram diferença entre as cultivares Ágata e Atlantic.

Tabela 6. Valores médios para o índice de clorofila (ICHL), índice de flavonóis (IFLV), índice de balanço de N (IBN), teor de NH₄ na QF (TN-NH₄QF, g kg⁻¹), teor de NH₄, NO₃ e total na QF (TNNH₄, TNNO₃ e TNT, g kg⁻¹), teor de amido (g 100 g⁻¹ MF), teor de açúcar solúvel total (AST, g 100 g⁻¹ MF), teor de açúcar redutor (AR, g 100 g⁻¹ MF), teor de açúcar não-redutor (ANR, g 100 g⁻¹ MF), relação teor o teor de amido e ANR (Amido/ANR, g 100 g⁻¹ MF) e teor de fenóis solúveis (mg g⁻¹ MF), em função das doses de N em pré-plantio (kg ha⁻¹ de N), nas cultivares Ágata e Atlantic

Cultivar	Variável dependente	Doses de N em Pré-Plantio (kg ha ⁻¹)				
		0	50	100	200	300
Ágata	Índice de clorofila	25,75 A	26,87 A	31,57 A	32,65 A	35,35 A
Atlantic		27,72 A	30,25 A	32,05 A	34,1 A	37,1 A
Ágata	Índice de flavonóis	2,03 B	1,90 B	1,55 B	1,51 B	1,48 A
Atlantic		2,30 A	2,22 A	2,10 A	1,94 A	1,72 A
Ágata	Índice de balanço de N	12,69 A	14,25 A	20,87 A	21,59 A	24,43 A
Atlantic		12,10 A	13,73 A	15,24 B	17,66 A	21,97 A
Ágata	Teor de N-NH ₄	32,45 A	34,95 A	37,24 A	41,08 A	43,85 A
Atlantic		33,21 A	35,09 A	38,66 A	42,28 A	40,03 A
Ágata	Teor de N-NO ₃	0,39 A	0,45 A	0,67 A	0,90 A	1,25 A
Atlantic		0,41 A	0,77 A	0,95 A	1,21 A	0,95 A
Ágata	Teor de N total	32,84 A	35,41 A	37,92 A	41,98 A	45,10 A
Atlantic		33,62 A	35,86 A	39,62 A	43,5 A	40,99 A
Ágata	Amido	1,17 A	10,6 A	1,01 A	0,99 A	0,97 A
Atlantic		1,39 A	1,36 A	1,31 A	1,28 A	1,25 A
Ágata	Açúcar solúvel total	2,34 A	2,37 A	2,49 A	2,64 A	2,89 A
Atlantic		2,12 A	2,24 A	2,45 A	2,88 A	3,02 A
Ágata	Açúcar redutor	0,48 A	0,68 A	0,76 A	0,78 A	0,81 A
Atlantic		0,46 A	0,52 B	0,50 B	0,48 B	0,53 B
Ágata	Açúcar não-redutor	1,86 A	1,69 A	1,72 A	1,85 A	2,07 A
Atlantic		1,66 A	1,71 A	1,95 A	2,40 A	2,48 A
Ágata	Relação Amido/ANR	0,64 A	0,70 A	0,62 A	0,54 A	0,51 A
Atlantic		0,85 A	0,80 A	0,68 A	0,56 A	0,53 A
Ágata	Fenóis solúveis	3,97 A	3,11 A	2,86 B	2,66 B	2,87 A
Atlantic		4,14 A	3,80 A	3,65 A	3,55 A	3,38 A

Médias seguidas pela mesma letra na coluna, para cada dose de N, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

3.2 Aos 42 dias após a emergência (DAE)

Os valores mínimo e máximo das variáveis dependentes avaliadas (Dualetx[®] e carboidratos), referente as duas cultivares, determinados aos 42 DAE, estão apresentados na Tabela 7.

O efeito da variável independente (doses de N em pré-plantio e cobertura, kg ha⁻¹) sobre as variáveis dependentes (Dualetx[®], teor de N e carboidratos), para as duas cultivares, determinada aos 42 DAE, está na Tabela 8.

Estão listadas na Tabela 9, as equações ajustadas que representam as variáveis avaliadas (IFLV, IBN, teor de AST, teor de amido, teor de AR, teor de ANR e amido/ANR), em função das doses de N em pré-plantio e cobertura, para as duas cultivares de batata, aos 42 DAE.

Estão listadas nas Tabelas 10 e 11, a comparação das médias entre as cultivares Ágata e Atlantic, para as variáveis dependentes avaliadas (Dualetx[®] e carboidratos), para cada combinação das doses de N em pré-plantio e cobertura, aos 42 DAE.

Tabela 7. Valores mínimo e máximo das variáveis dependentes avaliadas ($n=160$)

Variável dependente	Abreviatura	Unidade	Valor	
			Mínimo	Máximo
Índice de clorofila	ICHL	-	21,9	39,1
Índice de flavonóis	IFLV	-	1,58	3,23
Índice de balanço de N	IBN	-	7,20	21,05
Amido	-	g 100 g ⁻¹	0,53	1,83
Açúcar solúvel total	AST	g 100 g ⁻¹	0,61	1,96
Açúcar redutor	AR	g 100 g ⁻¹	0,22	0,67
Açúcar não-redutor	ANR	g 100 g ⁻¹	0,14	1,38
Relação Amido/ANR	-	-	0,53	6,72
Fenóis solúveis	-	mg g ⁻¹	1,16	5,41

n =número de dados observados.

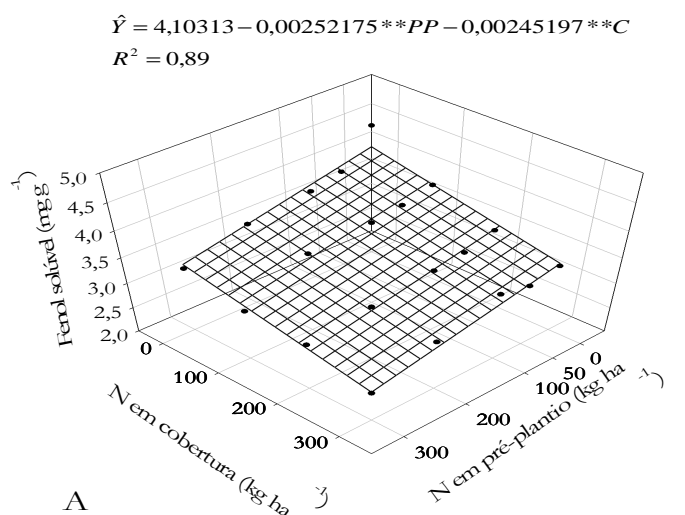
Tabela 8. Efeito das variáveis independentes [doses de N em pré-plantio (NPP) e cobertura, kg ha⁻¹] sobre as variáveis dependentes, para as cultivares Ágata e Atlantic, aos 42 DAE

Variável dependente	Abreviatura	Unidade	Variável independente			
			Doses de N (kg ha ⁻¹)			
			Ágata		Atlantic	
			NPP	Cobertura	NPP	Cobertura
Índice de clorofila	ICHL	-	Q ¹	Q	Q	Q
Índice de flavonóis	IFLV	-	L	L	L	L
Índice de balanço de N	IBN	-	Q	Q	Q	Q
Amido	-	g 100 g ⁻¹	Q	Q	Q	Q
Açúcar solúvel total	AST	g 100 g ⁻¹	Q	Q	Q	Q
Açúcar redutor	AR	g 100 g ⁻¹	Q	Q	Q	Q
Açúcar não-redutor	ANR	g 100 g ⁻¹	Q	Q	NS	NS
Amido/ANR	-	g 100 g ⁻¹	Q	Q	NS	NS
Fenóis solúveis	-	mg g ⁻¹	L	L	Q	Q

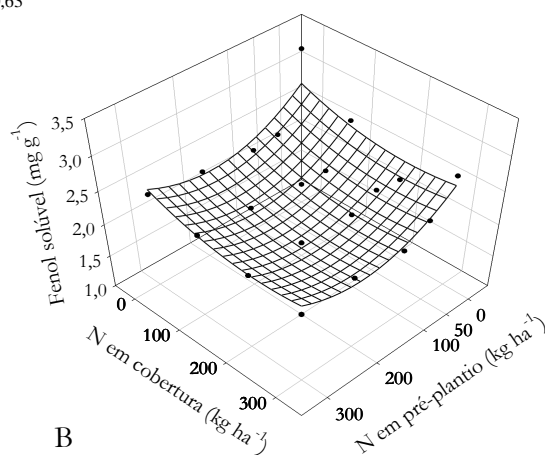
¹NS, L e Q: não-significativos, linear e quadrático, respectivamente.

3.2.1 Teor de fenóis solúveis na quarta folha

Houve efeito das doses de N aplicadas em pré-plantio e cobertura sobre o teor de fenóis solúveis na QF para as cultivares Ágata e Atlantic. O comportamento foi linear (doses de N em pré-plantio e cobertura) para a cultivar Ágata e quadrático (doses de N em pré-plantio e cobertura) para a cultivar Atlantic (Figura 7A e 7B).



$$\hat{Y} = 2,85852 - 0,00603912^{**}PP + 0,0000162425^{**}PP^2 - 0,00309298^{*}C + 0,00000706439^{*}C^2$$
$$R^2 = 0,63$$



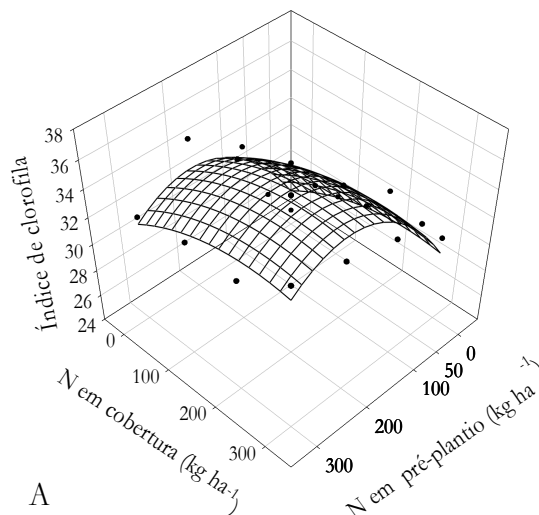
** e *: significativo ao nível de 1 e 5% de probabilidade, pelo teste “t”, respectivamente.

Figura 7. Teor de fenóis solúveis (mg g^{-1}) em função das doses de nitrogênio (N) em pré-plantio e cobertura, para as cultivares Ágata (A) e Atlantic (B), aos 42 DAE.

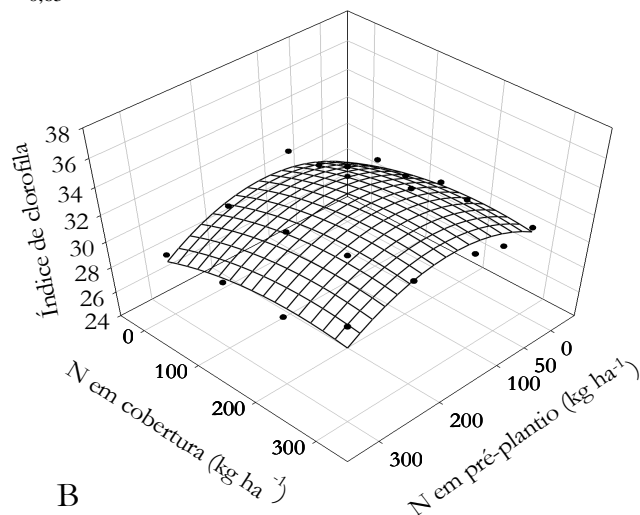
3.2.1 Índice de clorofila

Houve efeito das doses de N aplicadas em pré-plantio e cobertura sobre o índice de clorofila (ICHL) para as cultivares Ágata e Atlantic, com comportamento quadrático (doses de N em pré-plantio e cobertura) (Figura 8A e 8B).

$$\hat{Y} = 25,9294 + 0,0697348**PP - 0,000159314**PP^2 + 0,0287054**C - 0,0000495*C^2 - 0,0000433491*PP:C$$
$$R^2 = 0,85$$



$$\hat{Y} = 28,9014 + 0,0283667**PP - 0,000100729**PP^2 + 0,0182575*C - 0,000041375*C^2$$
$$R^2 = 0,65$$



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

Figura 8. Índice de clorofila (ICHL) em função das doses de nitrogênio (N) em pré-plantio e cobertura, para as cultivares Ágata (A) e Atlantic (B), aos 42 DAE.

Tabela 9. Equações ajustadas para o índice de flavonóis (IFLV), índice de balanço de N (IBN), teor de açúcar solúvel total (AST, g 100 g⁻¹ MF), teor de amido (g 100 g⁻¹ MF), teor de açúcar redutor (AR, g 100 g⁻¹ MF), teor de açúcar não-redutor (ANR, g 100 g⁻¹ MF) e a relação entre o teor de amido e ANR (Amido/ANR, g 100 g⁻¹ MF), em função das doses de N em pré-plantio e em cobertura, para as cultivares Ágata e Atlantic, aos 42 DAE

Cultivares	Abreviatura	Equações ajustadas	R ²
Ágata	IFLV	$\hat{Y} = 2,58151 - 0,00148125^{**}PP - 0,000908^{**}C$	0,80
Atlantic		$\hat{Y} = 2,41977 - 0,000924784^{**}PP - 0,0008395^{**}C$	0,60
Ágata	IBN	$\hat{Y} = 10,12221 + 0,0324077^{**}PP - 0,0000532728^{*}PP^2 + 0,0200663^{**}C - 0,0000350857^{*}C^2$	0,88
Atlantic		$\hat{Y} = 12,0083 + 0,0227305^{**}PP - 0,0000614772^{*}PP^2 + 0,0104038^{*}C - 0,00000846514^{*}C^2$	0,63
Ágata	AST	$\hat{Y} = 1,10309 + 0,00255724^{**}PP - 0,00000709811^{*}PP^2 + 0,00139572^{**}C - 0,00000308327^{*}C^2$	0,90
Atlantic		$\hat{Y} = 0,940257 + 0,00153349^{**}PP - 0,00000382101^{*}PP^2 + 0,00103338^{**}C - 0,00000185722^{*}C^2 - 0,00000109749^{*}PP \times C$	0,75
Ágata	Amido	$\hat{Y} = 1,37919 - 0,00202695^{**}PP + 0,00000232001^{*}PP^2 - 0,002147^{**}C + 0,00000330890^{**}C^2 + 0,00000232687^{*}PP \times C$	0,93
Atlantic		$\hat{Y} = 1,14819 - 0,00227449^{**}PP + 0,00000518589^{*}PP^2 - 0,00112840^{**}C + 0,00000172973^{*}C^2 + 0,00000124364^{*}PP \times C$	0,86
Ágata	AR	$\hat{Y} = 0,404493 + 0,000891048^{**}PP - 0,00000272247^{*}PP^2 + 0,000402315^{**}C - 0,00000101141^{*}C^2$	0,79
Atlantic		$\hat{Y} = 0,354857 + 0,00113170^{**}PP - 0,00000285729^{*}PP^2 + 0,000484968^{**}C - 0,00000132633^{*}C^2$	0,84
Ágata	ANR	$\hat{Y} = 0,698601 + 0,00166619^{**}PP - 0,00000437564^{*}PP^2 + 0,000993412^{**}C - 0,00000207186^{*}C^2$	0,84
Atlantic		$\hat{Y} = 0,65$	
Ágata	Amido/ANR	$\hat{Y} = 1,98258 - 0,00513493^{**}PP + 0,00000901849^{*}PP^2 - 0,00482223^{**}C - 0,00000828523^{*}C^2 + 0,00000507301^{*}PP \times C$	0,93
Atlantic		$\hat{Y} = 1,73$	

** , * , ° e #: significativo ao nível de 1%, 5%, 10% e 35,50% de probabilidade, pelo teste “t”, respectivamente. MF=massa de matéria fresca.

Tabela 10. Valores médios para o índice de clorofila (ICHL), índice de flavonóis (IFLV), índice de balanço de N (IBN), teor de amido (g 100 g⁻¹ MF) e teor de açúcar solúvel total (AST, g 100 g⁻¹ MF), em função das doses de N em pré-plantio (kg ha⁻¹ de N) e cobertura (kg ha⁻¹ de N)

Variável dependente	N em Cobertura (kg ha ⁻¹)	Doses de N em Pré-Plantio (kg ha ⁻¹)									
		0		50		100		200		300	
		Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic
ICHL	0	25,17 A	27,77 A	27,65 A	29,8 A	32,40 A	31,97 A	35,13 A	30,15 B	31,92 A	28,87 A
	100	28,65 A	30,12 A	30,67 A	32,45 A	33,45 A	33,07 A	35,95 A	30,65 B	32,60 A	29,40 A
	200	31,42 A	30,62 A	31,52 A	33,10 A	34,17 A	33,82 A	35,85 A	31,45 B	32,47 A	29,52 A
	300	30,37 A	30,97 A	32,67 A	30,85 A	32,82 A	31,57 A	33,85 A	32,25 A	34,87 A	31,72 A
IFLV	0	2,80 A	2,76 A	2,43 A	2,21 A	2,32 A	2,18 A	2,36 A	2,17 A	2,18 A	2,13 A
	100	2,54 A	2,51 A	2,33 A	2,18 A	2,31 A	2,14 A	2,11 A	2,15 A	1,99 A	2,10 A
	200	2,23 A	2,27 A	2,35 A	2,16 A	2,33 A	2,11 A	2,06 A	2,11 A	1,94 A	2,06 A
	300	2,18 A	2,07 A	2,32 A	2,09 A	2,32 A	2,08 A	1,99 A	2,08 A	1,89 A	1,85 A
IBN	0	9,04 A	10,14 A	11,34 A	13,69 A	14,00 A	14,62 A	14,85 A	13,94 A	14,71 A	13,69 A
	100	11,28 A	12,02 A	13,20 A	14,93 A	14,50 A	15,45 A	17,12 B	14,26 A	16,60 A	14,05 A
	200	14,20 A	14,23 A	13,50 A	15,29 A	14,83 A	16,03 A	17,45 A	15,01 A	16,80 A	14,29 A
	300	14,20 A	14,98 A	14,18 A	14,97 A	14,26 A	15,21 A	17,26 A	15,44 A	18,59 A	17,19 A
Amido	0	1,44 A	1,16 A	1,29 A	1,10 A	1,10 A	0,95 A	1,07 A	0,85 A	1,01 A	0,93 A
	100	1,24 A	1,06 A	1,06 A	0,92 A	0,99 A	0,85 A	0,94 A	0,83 A	0,87 A	0,92 A
	200	1,06 A	0,98 A	1,03 A	0,90 A	0,97 A	0,84 A	0,92 A	0,80 A	0,76 A	0,86 A
	300	0,99 A	0,96 A	0,96 A	0,89 A	0,95 A	0,80 A	0,88 A	0,88 A	0,82 A	0,78 A
AST	0	1,15 A	0,93 A	1,17 A	1,02 A	1,27 A	1,09 A	1,33 A	1,12 A	1,25 A	1,01 A
	100	1,18 A	0,98 A	1,29 A	1,06 A	1,38 A	1,08 A	1,46 A	1,18 A	1,33 A	1,07 A
	200	1,29 A	1,08 A	1,35 A	1,14 A	1,47 A	1,15 A	1,48 A	1,23 A	1,39 A	1,16 A
	300	1,20 A	1,14 A	1,39 A	1,11 A	1,49 A	1,11 B	1,41 A	1,13 A	1,35 A	1,10 A

Médias seguidas pela mesma letra na linha, para cada combinação das doses de N em pré-plantio e cobertura, as cultivares não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. MF=massa de matéria fresca.

DMS = desvio médio significativo; DMS_{ICHL}=3,46; DMS_{IFLV}=0,324; DMS_{IBN}=2,6; DMS_{amido}=0,24; DMS_{AST}=0,34.

Tabela 11. Valores médios para o teor de teor de açúcar redutor (AR, g 100 g⁻¹ MF), teor de açúcar não-redutor (ANR, g 100 g⁻¹ MF), relação teor o teor de amido e ANR (Amido/ANR, g 100 g⁻¹ MF) e teor de fenóis solúveis (mg g⁻¹ MF), em função das doses de N em pré-plantio (kg ha⁻¹ de N) e cobertura (kg ha⁻¹ de N)

Variável dependente	N em Cobertura (kg ha ⁻¹)	Doses de N em Pré-Plantio (kg ha ⁻¹)									
		0		50		100		200		300	
		Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic
AR	0	0,41 A	0,35	0,43 A	0,38 B	0,47 A	0,44 B	0,49 A	0,48 A	0,40 B	0,44 A
	100	0,43 A	0,39 B	0,45 A	0,40 B	0,48 A	0,47 A	0,50 A	0,50 A	0,45 A	0,46 A
	200	0,45 A	0,42 B	0,47 A	0,44 B	0,50 A	0,46 B	0,52 A	0,54 B	0,48 A	0,47 A
	300	0,41 A	0,40 A	0,51 A	0,41 B	0,48 A	0,44 B	0,48 A	0,51 A	0,46 B	0,44 B
ANR	0	0,73 A	0,58 A	0,73 A	0,63 A	0,80 A	0,64 A	0,83 A	0,64 A	0,85 A	0,57 A
	100	0,74 A	0,58 A	0,83 A	0,65 A	0,89 A	0,60 A	0,96 A	0,67 A	0,88 A	0,61 A
	200	0,83 A	0,66 A	0,87 A	0,69 A	0,97 A	0,69 A	0,95 A	0,69 A	0,90 A	0,68 A
	300	0,78 A	0,74 A	0,87 A	0,69 A	1,01 A	0,67 A	0,92 A	0,62 A	0,89 A	0,66 A
Amido/ANR	0	2,02 A	2,14 A	1,77 A	1,73 A	1,38 A	1,60 A	1,49 A	1,72 A	1,21 B	2,72 A
	100	1,67 A	2,76 A	1,31 A	1,40 A	1,11 A	1,53 A	0,98 A	1,79 A	1,02 A	1,94 A
	200	1,31 A	2,36 A	1,25 A	1,49 A	1,01 A	1,57 A	0,97 A	1,53 A	0,88 A	1,29 A
	300	1,25 A	1,35 A	1,12 A	1,43 A	0,97 A	1,20 A	0,98 A	1,67 A	0,97 A	1,35 A
Fenóis solúveis	0	4,48 A	3,33 B	3,86 A	2,29 B	3,73 A	2,25 B	3,60 A	2,34 B	3,26 A	2,43 B
	100	3,85 A	2,69 B	3,71 A	2,15 B	3,62 A	2,15 B	3,55 A	2,23 B	2,99 A	2,28 A
	200	3,48 A	2,22 B	3,31 A	2,28 B	3,22 A	2,13 B	3,07 A	2,16 B	2,92 A	2,16 B
	300	3,32 A	2,71 A	3,20 A	2,26 B	3,33 A	2,04 B	2,98 A	2,12 B	2,59 A	2,08 A

Médias seguidas pela mesma letra na linha, para cada combinação das doses de N, as cultivares não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

MF=massa de matéria fresca.

DMS = desvio médio significativo.

DMS_{AR}=0,13; DMS_{ANR}=0,34; DMS_{amido/ANR}=1,20; DMS_{fenóis solúveis}=0,76.

3.3 Avaliações realizadas nos tubérculos obtidos no momento da colheita

Os valores mínimo e máximo das variáveis dependentes avaliadas (carboidratos), referente as duas cultivares, nos tubérculos da colheita, estão apresentados na Tabela 12.

O efeito da variável independente (doses de N em pré-plantio e cobertura, kg ha^{-1}) sobre as variáveis dependentes (carboidratos), para as duas cultivares, determinada nos tubérculos otidos no momento da da colheita, está na Tabela 13.

As variáveis dependentes são: teor de amido, teor de açúcar solúvel total (AST), teor de açúcar redutor (AR), teor de açúcar não-redutor (ANR), relação entre teor de amido e ANR (Amido/ANR) e teor de fenóis solúveis.

As equações ajustadas que representam as variáveis avaliadas (teor de AST, teor de amido, teor de AR, teor de ANR e amido/ANR), em função das doses de N em pré-plantio e cobertura, para as duas cultivares de batata, determinada nos tubérculos obtidos no momento da colheita, estão listadas na Tabela 14.

Estão mostrados nas Figuras 10 e 11, as equações ajustadas que representam os teor de fenóis solúveis e teor de AST, em função das doses de N em pré-plantio e cobertura, para as cultivares Ágata e Atlantic, respectivamente.

Estão listadas nas Tabelas 15 e 16, a comparação das médias entre as cultivares Ágata e Atlantic, para as variáveis dependentes avaliadas (carboidratos), para cada combinação das doses de N em pré-plantio e cobertura, determinada nos tubérculos da colheita.

Tabela 12. Valores mínimo e máximo das variáveis dependentes ($n=160$)

Variável dependente	Abreviatura	Unidade	Valor	
			Mínimo	Máximo
Amido	-	g 100 g ⁻¹	3,93	11,39
Açúcar solúvel total	AST	g 100 g ⁻¹	0,22	0,58
Açúcar redutor	AR	g 100 g ⁻¹	0,06	0,25
Açúcar não-redutor	ANR	g 100 g ⁻¹	0,051	0,47
Relação Amido/ANR	-	-	16,29	93,01
Fenóis solúveis	-	mg g ⁻¹	0,20	1,52

n =número de dados observados.

Tabela 13. Efeito das variáveis independentes [doses de N em pré-plantio (NPP) e cobertura, kg ha⁻¹] sobre todas as variáveis dependentes, para as cultivares Ágata e Atlantic, nos tubérculos da colheita

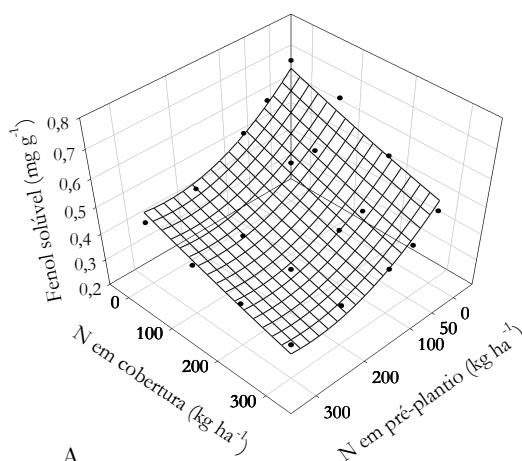
Variável dependente	Abreviatura	Unidade	Variável independente			
			Doses de N (kg ha ⁻¹)			
			Ágata		Atlantic	
			NPP	Cobertura	NPP	Cobertura
Amido	-	g 100 g ⁻¹	Q ¹	Q	L	L
Açúcar solúvel total	AST	g 100 g ⁻¹	Q	Q	Q	Q
Açúcar redutor	AR	g 100 g ⁻¹	Q	Q	L	L
Açúcar não-redutor	ANR	g 100 g ⁻¹	Q	Q	Q	Q
Amido/ANR	-	g 100 g ⁻¹	NS	NS	Q	Q
Fenóis solúveis	-	mg g ⁻¹	Q	Q	Q	Q

¹NS, L e Q: não-significativos, linear e quadrático, respectivamente.

3.3.1 Teor de fenóis solúveis

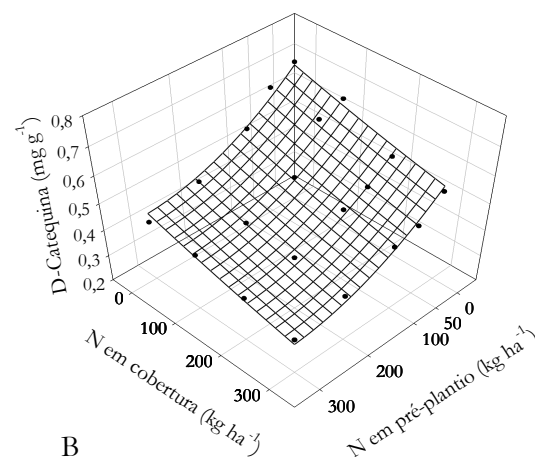
Houve efeito das doses de N aplicadas em pré-plantio e cobertura sobre o teor de fenóis solúveis quantificados nos tubérculos da colheita para as cultivares Ágata e Atlantic, com comportamento quadrático (doses de N em pré-plantio e cobertura) (Figura 9A e 9B).

$$\hat{Y} = 0,732930 - 0,00203123^{**} PP + 0,00000337221^{**} PP^2 - 0,000921030^{**} C + 0,000000278865^{**} C^2 + 0,00000194616^{**} PP:C$$
$$R^2 = 0,95$$



A

$$\hat{Y} = 0,727279 - 0,00170199^{**} PP + 0,00000231925^{**} PP^2 - 0,000721666^{**} C + 0,000000258185^{**} C^2 + 0,00000132001^{**} PP:C$$
$$R^2 = 0,96$$



B

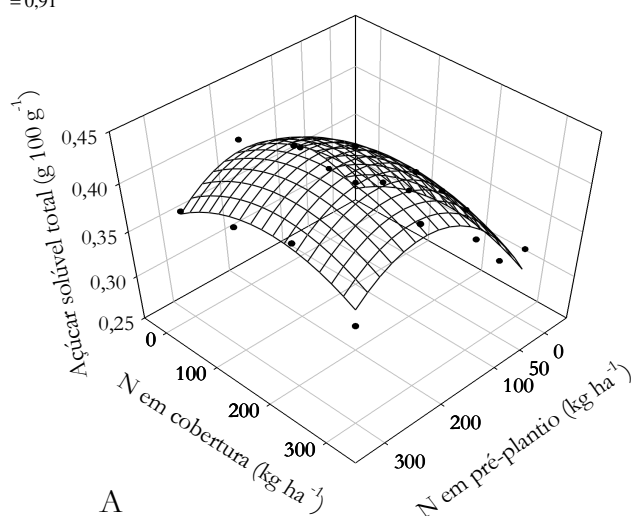
** : significativo ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste “t”.

Figura 9. Teor de fenóis solúveis (mg g^{-1}) em função das doses de nitrogênio (N) aplicadas em pré-plantio e cobertura, para as cultivares Ágata (A) e Atlantic (B), nos tubérculos da colheita.

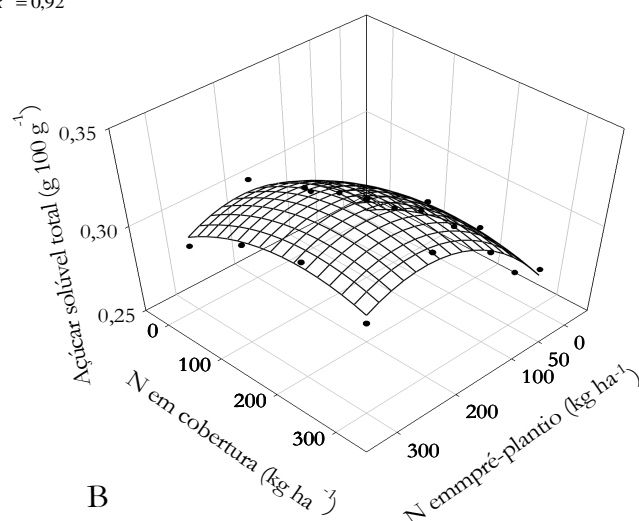
3.3.2 Teor de açúcar solúvel total

Houve efeito das doses de N aplicadas em pré-plantio e cobertura sobre o teor de fenóis solúveis quantificados nos tubérculos da colheita para as cultivares Ágata e Atlantic, com comportamento quadrático (doses de N em pré-plantio e cobertura) (Figura 10A e 10B).

$$\hat{Y} = 0,293647 + 0,00109216^{**} PP - 0,00000282149^{**} PP^2 + 0,000447776^{**} C - 0,00000134816^{**} C^2$$
$$R^2 = 0,91$$



$$\hat{Y} = 0,255549 + 0,000435169^{**} PP - 0,00000103416^{**} PP^2 + 0,000212^{**} C - 0,000000536908^{**} C^2$$
$$R^2 = 0,92$$



** : significativo ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste “t”.

Figura 10. Teor de açúcar solúvel total (AST, g 100 g⁻¹) na massa de matéria fresca em função das doses de nitrogênio (N) aplicadas em pré-plantio e cobertura, para as cultivares Ágata (A) e Atlantic (B), nos tubérculos da colheita.

Tabela 14. Equações ajustadas para o teor de amido (g 100 g⁻¹ MF), açúcar redutor (AR, g 100 g⁻¹ MF), açúcar não-redutor (ANR, g 100 g⁻¹ MF) e a relação entre o teor de amido e ANR (Amido/ANR, g 100 g⁻¹ MF), em função das doses de N em pré-plantio e em cobertura, para as cultivares Ágata e Atlantic, nos tubérculos da colheita

Cultivares	Abreviatura	Equações ajustadas	R ²
Ágata	Amido	$\hat{Y} = 8,10865 + 0,0126037^{**}P - 0,0000443234^{**}PP^2 - 0,00282951^{\#}C - 0,00000234089^{\bullet}C^2 + 0,00000851484^{\circ}PP \times C$	0,60
Atlantic		$\hat{Y} = 9,44321 - 0,00761199^{**}PP - 0,00454481^{**}C$	0,89
Ágata	AR	$\hat{Y} = 0,0856948 + 0,000291251^{**}PP - 0,0000000,727984^{**}PP^2 + 0,000117449^{**}C - 0,000000301266^{**}C^2$	0,89
Atlantic		$\hat{Y} = 0,102513 + 0,0000367010^{**}PP + 0,0000896035^{**}C$	0,80
Ágata	ANR	$\hat{Y} = 0,207952 + 0,000800907^{**}PP - 0,00000209350^{**}PP^2 + 0,000330326^{**}C - 0,00000104689^{**}C^2$	0,84
Atlantic		$\hat{Y} = 0,158832 + 0,000255179^{**}PP - 0,000000561958^{**}PP^2 + 0,000103623^{**}C - 0,000000474329^{**}C^2$	0,72
Ágata	Amido/ANR	$\hat{Y} = 32,39$	-
Atlantic		$\hat{Y} = 63,3763 - 0,1316^{**}PP + 0,000188242^{**}PP^2 - 0,0949626^{**}C + 0,000241104^{**}C^2 + 0,0000938237^{**}PP \times C$	0,93

^{**}, ^{*}, [°], [#] e [•]: significativo ao nível de 1%; 5%; 10%; 21,76% e 4145% de probabilidade, pelo teste “t”, respectivamente. MS=massa de matéria fresca.

Tabela 15. Valores médios para o teor de amido (g 100 g⁻¹ MF), teor de açúcar solúvel total (AST, g 100 g⁻¹ MF), teor de teor de açúcar redutor (AR, g 100 g⁻¹ MF) e teor de açúcar não-redutor (ANR, g 100 g⁻¹ MF) em função das doses de N em pré-plantio (kg ha⁻¹ de N) e cobertura (kg ha⁻¹ de N)

Variável dependente	N em Cobertura (kg ha ⁻¹)	Doses de N em Pré-Plantio (kg ha ⁻¹)									
		0		50		100		200		300	
		Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic
Amido	0	7,27 B	10,34 A	9,81 A	9,20 A	9,16 A	8,05 A	8,57 A	7,91 A	7,77 A	6,94 A
	100	8,01 A	9,23 A	7,87 A	8,58 A	8,45 A	7,83 A	8,47 A	7,47 A	8,16 A	6,58 A
	200	7,76 A	8,65 A	8,07 A	7,70 A	8,47 A	7,54 A	8,41 A	7,44 A	8,00 A	6,45 A
	300	7,05 A	8,20 A	7,46 A	7,31 A	8,20 A	7,06 A	8,59 A	6,85 A	7,32 A	6,09 A
AST	0	0,30 A	0,26 A	0,33 A	0,27 A	0,37 A	0,28 B	0,41 A	0,31 B	0,37 A	0,29 B
	100	0,32 A	0,27 A	0,35 A	0,28 A	0,40 A	0,30 B	0,44 A	0,32 B	0,39 A	0,31 B
	200	0,34 A	0,28 A	0,37 A	0,29 B	0,41 A	0,31 B	0,45 A	0,33 B	0,41 A	0,32 B
	300	0,33 A	0,27 A	0,33 A	0,28 A	0,38 A	0,30 A	0,43 A	0,32 B	0,36 A	0,30 A
AR	0	0,08 A	0,09 A	0,10 A	0,10 A	0,11 A	0,11 A	0,12 A	0,12 A	0,10 A	0,11 A
	100	0,09 A	0,11 A	0,11 A	0,12 A	0,12 A	0,12 A	0,12 A	0,12 A	0,12 A	0,12 A
	200	0,09 A	0,11 A	0,11 A	0,13 A	0,12 A	0,13 A	0,13 A	0,13 A	0,12 A	0,12 A
	300	0,10 A	0,12 A	0,11 A	0,14 A	0,11 A	0,14 A	0,12 A	0,14 A	0,12 A	0,14 A
ANR	0	0,22 A	0,17 A	0,23 A	0,18 A	0,26 A	0,17 B	0,29 A	0,19 B	0,27 A	0,18 B
	100	0,23 A	0,16 A	0,24 A	0,17 A	0,29 A	0,17 B	0,32 A	0,20 B	0,27 A	0,19 A
	200	0,24 A	0,17 A	0,27 A	0,16 B	0,29 A	0,18 B	0,33 A	0,20 B	0,29 A	0,19 B
	300	0,23 A	0,15 A	0,23 A	0,15 B	0,27 A	0,17 B	0,31 A	0,19 B	0,25 A	0,16 B

Médias seguidas pela mesma letra na linha, para cada combinação das doses de N, as cultivares não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

MS=massa de matéria fresca.

DMS=desvio médio significativo.

DMS_{amido}=1,59; DMS_{AST}=0,08; DMS_{AR}=0,04; DMS_{ANR}=0,08.

Tabela 16. Valores médios para a relação entre o teor de amido e açúcar não-redutor (Amido/ANR, g 100 g⁻¹ MF) e teor de fenóis solúveis (mg g⁻¹), em função das doses de N em pré-plantio (kg ha⁻¹ de N) e cobertura (kg ha⁻¹ de N)

Variável dependente	N em Cobertura (kg ha ⁻¹)	Doses de N em Pré-Plantio (kg ha ⁻¹)									
		0		50		100		200		300	
		Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic	Ágata	Atlantic
Amido/ANR	0	33,38 B	62,23 A	46,95 A	54,04 A	35,51 B	54,40 A	29,54 A	45,49 A	31,28 A	41,90 A
	100	34,18 B	57,05 A	33,66 B	51,96 A	29,98 A	46,26 A	26,79 A	38,02 A	31,84 A	35,89 A
	200	32,46 B	54,44 A	30,74 B	52,69 A	31,02 A	44,12 A	30,88 A	37,62 A	31,66 A	34,41 A
	300	31,69 B	53,92 A	34,43 B	52,89 A	31,94 A	48,49 A	28,36 A	40,96 A	31,15 A	46,36 A
Fenóis solúveis	0	0,72 A	0,71 A	0,63 A	0,67 A	0,56 A	0,57 A	0,46 A	0,47 A	0,44 A	0,43 A
	100	0,68 A	0,67 A	0,55 A	0,65 A	0,55 A	0,49 A	0,39 A	0,42 A	0,39 A	0,41 A
	200	0,58 A	0,56 A	0,43 A	0,50 A	0,41 A	0,47 A	0,38 A	0,40 A	0,37 A	0,37 A
	300	0,48 A	0,54 A	0,41 A	0,47 A	0,38 A	0,45 A	0,36 A	0,38 A	0,34 A	0,34 A

Médias seguidas pela mesma letra na linha, para cada combinação das doses de N, as cultivares não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

MF=massa de matéria fresca.

DMS=desvio médio significativo.

DMS_{amido/ANR}=16,86; DMS_{fenóis solúveis}=0,27.

4. Discussão

4.1 Avaliações realizadas na quarta folha

A agricultura moderna exige cada vez mais uma fina sintonia da adubação nitrogenada, devido às restrições econômicas e ambientais. A aplicação de fertilizantes em excesso é onerosa e leva a perdas de N por volatilização ou lixiviação, com impactos negativos sobre o meio ambiente. Por outro lado, a fertilização deve ser suficiente para fornecer um rendimento adequado (sustentabilidade) e a qualidade do produto colhido. Para este ajuste fino no programa de adubação, foi introduzido no mercado brasileiro um equipamento portátil chamado de Dualex[®]. Pesquisas recentes estão sendo realizadas com este equipamento pelo grupo de Pesquisa de Nutrição Mineral da UFV.

No presente trabalho, houve aumento, de forma linear, para o índice de clorofila (ICHL), determinado na QF, aos 21 DAE, em função das doses de N em pré-plantio. O comportamento do ICHL é semelhante como o que ocorre com o índice SPAD, o índice de clorofila determinado com o Dualex[®] tende a aumentar até certo ponto, a partir do qual se mantém invariável ou tende a declinar-se. Esse fato da linearidade e o comportamento quadrático com o índice SPAD em função de doses de N foram observados por Silva *et al.* (2009), Busato *et al.* (2010) e Coelho (2012). Um dos fatores pode ser do aparelho detectar, indiretamente, o aumento de N apenas quando está sendo incorporado em moléculas de clorofila e não na forma livre, não incorporada (N-NO₃), na qual o N se acumula quando há consumo de luxo (Larcher, 2000).

O índice de flavonóis (IFLV) determinado na QF, com o equipamento Dualex[®], decresceu significativamente com o aumento das doses de N. As plantas que não receberam a adubação nitrogenada apresentaram aumento de 27% e 25% no IFLV em comparação com as plantas que receberam a dose de 300 kg ha⁻¹ de N, para as cultivares Ágata e Atlantic, respectivamente. Decréscimos no IFLV, determinado com o equipamento Dualex[®], em função das doses de N também foram verificados para a cultura do trigo (Cartelat *et al.*, 2005; Tremblay *et al.*, 2010), milho (Huan *et al.*, 2010), brócolis (Fortier *et al.*, 2010) e batata (Fontes *et al.* 2011a; Fontes *et al.*, 2011b). Os polifenóis são produzidos pelo metabolismo secundário das plantas e, estão correlacionados com fatores de estresse, como a disponibilidade de N (Cerovic *et al.*, 1999; Cartelat *et al.*, 2005).

O comportamento linear e quadrático em função das doses de N também foi observado para a produção de compostos fenólicos solúveis. A disponibilidade de N influencia tanto a síntese de proteínas quanto a síntese de compostos secundários (fenóis solúveis, entre outros). O aminoácido fenilalanina é o precursor para a síntese de compostos fenólicos, e é o ponto de ramificação para as duas vias, ou seja, para a síntese de proteínas ou síntese de compostos fenólicos (Herrmann & Weaver, 1999; Cartelat *et al.*, 2005). Cartelat *et al.* (2005) relataram que quando há baixa disponibilidade de N, as plantas alocam carbono suficiente para a síntese de compostos fenólicos. Uma justificativa para o aumento do teor de fenóis solúveis e IFLV, nas cultivares Ágata e Atlantic, na dose 0 kg ha⁻¹ de N, foi devido ao aumento da atividade da fenilalanina amônia-ase (PAL). No presente experimento não foi quantificado a atividade da PAL, mas em estudo realizado por Ibrahim *et al.* (2011) foi verificado que em baixo suprimento de N houve redução da síntese de proteínas, no entanto, a PAL apresentou a maior atividade. Ademais, o IFLV é parâmetro indicador do estado nitrogenado das plantas, ou seja, alto teor de IFLV é potencial indicador de baixo suprimento de N para as plantas.

O índice de balanço de N (IBN) determinado na QF, aos 21 e 42 DAE, aumentou linearmente com o aumento das doses de N. Como os índices de clorofila e flavonóis, os valores de IBN apresentaram correlação com a concentração de N. Cartelat *et al.* (2005) sugeriram que essa relação (IBN) possa ser boa indicadora para avaliar o estado de N das plantas de trigo, pois segundo os autores quando se trabalha com esta relação pode-se diminuir o efeito do gradiente existente na folha dos conteúdos de clorofila e flavonóis. Tremblay *et al.* (2010) verificaram correlação maior da relação ICHL/IFLV com a produtividade de grãos de trigo do que as leituras do ICHL e IFLV realizadas isoladamente. Os valores de composto fenólico em folhas obtidos com o Dualex[®] foram negativamente correlacionados com os valores da leitura com o SPAD e também com a produção de grãos de trigo (Cartelat *et al.*, 2005). Provavelmente isso ocorreu pela competição na biosíntese e regulação metabólica de polifenóis e de proteínas que têm o mesmo precursor, a fenilalanina. Os autores propuseram a relação entre os teores de clorofila e fenóis solúveis como sendo o índice de melhor acurácia para avaliar o estado de N da planta.

Os resultados referentes ao teor de N na QF (TNQF, dag kg⁻¹) estão dentro da faixa proposta por Rodrigues *et al.* (2000). Estes autores relataram que a faixa de 4 a 6,5 dag kg⁻¹ de N na MSQF é adequada para o desenvolvimento das plantas de batata.

Aumento na concentração de N em função das doses de N é observado na cultura da batata (Moreira *et al.*, 2011a) e repolho (Moreira *et al.*, 2011b). Gil *et al.* (2002) verificaram efeito quadrático do TNQF em função das doses de N, encontrando valor de 6,15 dag kg⁻¹ para a dose de N que propiciou a maior produção de tubérculos comerciais.

Em condições de solos agricultáveis, Marschner (1995) observou que a concentração de N-NO₃ varia de 0,5 a 10 mM, enquanto a concentração de N-NH₄ é em torno de 10 a 1000 vezes menor. Esta diferença de concentração não influencia a absorção de ambas as formas, porém, as plantas preferem a forma amoniacal (Xu *et al.*, 1992). No presente experimento, o teor de N-NH₄ na QF foi o que apresentou a maior proporção em relação à forma nítrica. Este fato pode ser atribuído devido ao N-NO₃ ser dependente de um gradiente de potencial eletroquímico, gerado pela H⁺-ATPase, que é utilizado como fonte de energia para o simporte (cada N-NO₃ absorvido requer 2H⁺) de N-NO₃. Por outro lado, a forma amoniacal é absorvida pelos transportadores da família AMT1, que é do tipo uniporte, ou seja, a favor do gradiente gerado pela H⁺-ATPase da membrana plasmática (Ludewig *et al.*, 2002; Ludewig *et al.*, 2003; Mayer *et al.*, 2006).

O amido é uma glucana insolúvel, composto de dois polímeros de amilopectina, glicose e amilose. Em plantas superiores, o amido é sintetizado em plastídio sem ambas as células fotossintetizantes e não fotossintetizantes. Nestas plantas, o amido armazenado desempenha papéis importantes durante o ciclo de vida da planta (Zeemann *et al.*, 2010).

Em folhas, uma parte do carbono assimilado via fotossíntese (fase bioquímica) é retido nos cloroplastos como amido intransiente ao invés de ser convertido à sacarose para exportação para os sítios de crescimento. Posteriormente, este amido intransiente é degradado durante o período noturno, para fornecer substratos para a respiração foliar e para a síntese de sacarose bem como a exportação para as demais partes em crescimento da planta (Zeeman *et al.*, 2010), principalmente para os tubérculos (órgão dreno).

A capacidade da 'fonte' é diminuída quando as plantas estão submetidas à condição de deficiência de N, bem como ao particionamento de carbono entre as diferentes partes da planta, conseqüentemente a alocação de carbono entre as vias metabólicas tais como a formação de amido, a formação de sacarose e glicólise podem ser profundamente alteradas (Rao & Terry, 2000). Este fato foi encontrado no presente experimento, ou seja, quando as plantas estavam submetidas ao tratamento com deficiência de N (0 kg ha⁻¹) apresentaram maior teor de amido, tanto aos 21 DAE

quanto aos 42 DAE. Ocorre acúmulo de amido nas folhas quando submetidas em condições de baixo suprimento de N (Oparka *et al.*, 1987; Wang & Tillberg, 1996; Guidi *et al.*, 1998), e os resultados do presente experimento estão de acordo com estes últimos autores.

Em folhas, o teor de açúcar solúvel total (AST), teor de açúcares redutores (glicose e frutose) e açúcares não-redutores (supostamente sacarose) aumentaram em relação às doses de N, sugerindo que as folhas de batata armazenam quantidade suficiente de açúcares. Em trabalho realizado por Cruz *et al.* (2003), na cultura da mandioca, os autores observaram que os açúcares redutores diminuíram e os açúcares não-redutores aumentaram em função do N e, concluindo assim, que a mandioca é planta que armazena alta concentração de sacarose. Angelov *et al.* (1993) relataram que a mandioca apresenta habilidade especial em desviar os carbonos fixados via fotossíntese para a formação de sacarose. Assim, esses açúcares produzidos via fotossíntese, principalmente a sacarose, são transportados das folhas 'fontes' para os órgãos em crescimento. Farhad *et al.* (2011) relataram que os açúcares solúveis em folhas de batata aumentam em condições de déficit hídrico.

As membranas, constituídas de proteínas, desempenham papéis fundamentais na mediação de transporte de sacarose para o interior das células. Neste sentido, suas atividades têm impacto importante sobre as taxas de crescimento de plantas e geração de altos rendimentos (Kühn & Grof, 2010).

Houve correlação linear positiva entre os índices de clorofila e de balanço de N e negativa entre o IFLV, teor de fenóis solúveis com o teor de N total determinado na QF a partir do ápice da batateira, aos 21 DAE, confirmando os resultados encontrados por Cartelat *et al.* (2005) e Tremblay *et al.* (2007). Este fato é bem estabelecido, sendo que o teor de clorofila aumenta com o teor de N na QF, e é baixo, em condições de deficiência de N. Certamente, o N é um dos principais fatores que influenciam a formação da clorofila, mas, a concentração de polifenóis na folha (flavonóides, taninos hidrolizáveis) por unidade de clorofila correlaciona-se negativamente com a concentração total de clorofila (Close *et al.*, 2003). Os compostos fenólicos produzidos pelas plantas em condições de estresse, por exemplo, de N, é um indicativo da inexistência de N suficiente no meio de desenvolvimento das plantas.

O acúmulo de carboidratos indica um desbalanço entre a fonte e dreno. Além disso, a proporção de ANR, aos 21 DAE, foi 51 e 53% maior do que o teor de amido, para as cultivares Ágata e Atlantic, quando se utilizou a dose de 300 kg ha⁻¹ de N. Isso

indica prejuízos na exportação de amido das folhas para os órgãos em crescimento bem como uma estimulação da formação de amido nestes tecidos. Uma possível causa para a restrita síntese de sacarose, segundo Cruz *et al.* (2003) seria a baixa concentração de Pi (fostato inorgânico) citosólica necessário para o transporte de trioses-P do cloroplasto, então o carbono estaria sendo desviado para a síntese de amido.

O comportamento de acúmulo de amido em condições de baixo suprimento de N está bem caracterizado. Estas sugestões podem ser reforçadas, porém, no presente experimento não foi avaliada a concentração de Pi, mas o fato de ter ocorrido correlação negativa e não significativa; e negativa e significativa para o ANR com o teor de amido, aos 21 DAE, para as cultivares Ágata e Atlantic, é um indicador da síntese de amido. Ademais, com a produção de carboidratos nas plantas de batata é possível avaliar o estado de N, porém, é uma forma destrutiva de avaliação do estado de N nas plantas e há necessidade de profissional qualificado.

4.2 Avaliações realizadas nos tubérculos da colheita

O N é um dos componentes dos aminoácidos, proteínas, moléculas de clorofila e ácidos nucleicos que constituem os cromossomos. Assim, o conteúdo de proteína das plantas está diretamente relacionado com a concentração de N nos tecidos (Taiz & Zeiger, 2004) influenciando assim, o desenvolvimento e o crescimento das plantas. Estão presentes em plantas, principalmente, os aminoácidos, proteínas e carboidratos (açúcares solúveis e amido) como reserva de compostos nitrogenados.

A sacarose e amido são produtos da fotossíntese, sendo que a sacarose é translocada para órgãos dreno, caso dos tubérculos em batata, via caule em plantas superiores. Os carboidratos não estruturais (amido, açúcares e frutose) podem ser armazenados no caule de plantas (Wardlaw & Willenbrink, 2000). Posteriormente, estes carboidratos não-estruturais podem ser transportados para outros órgãos para aumentar o seu crescimento bem como o rendimento das culturas (Pan *et al.*, 2011).

Como já relatado, o amido e sacarose são os principais produtos da fotossíntese, no entanto, o transporte desses carboidratos para outros órgãos são afetados por fatores ambientais como a água, luz, CO₂, temperatura (Flexas *et al.*, 2006) e N (Boussadia *et al.*, 2011). Assim, a limitação da fotossíntese resulta em limitação no transporte para os drenos. Wardlaw & Willenbrink (2000) relataram a contribuição dos

carboidratos armazenados no caule para a produtividade em cereais, em condições normais, variando de 5 a 33%, podendo ultrapassar 50% em condições de estresse.

Em batata, a folha é a principal fonte e os tubérculos o principal órgão de armazenamento de reservas. Devido a este fato, os estudos são mais concentrados nas folhas e tubérculos. Para maximizar a produtividade de tubérculos deve-se induzir a planta a acumular amido na parte aérea até certa concentração, para não proporcionar retroinibição da fotossíntese, e em seguida transferi-lo aos tubérculos. Para isso, deve ser evitada dose excessiva de N, principalmente em aplicação tardia. Esse procedimento pode induzir a planta a produzir folhas em demasia e alongar seu crescimento e maturação, implicando na redução do período desejável de tuberização e, conseqüentemente, menor armazenagem de amido nos tubérculos, o que resultaria em menor produtividade (Beukema & Zaag, 1990).

O amido é o carboidrato armazenado em maior quantidade pelas plantas, principalmente em tubérculos de batata. O teor de amido compõe 52 a 80% da massa de matéria seca dos tubérculos ou 11 a 13% da massa de matéria fresca (Braun *et al.*, 2010). Diversos fatores, como cultivar, época do ano, temperatura e tempo de armazenamento, podem influenciar o teor de amido nos tubérculos (Nourian *et al.*, 2003). Pastorini *et al.* (2003) descreveram valores de amido de 5,4 g/100 g MF e 11,6 g/100 g MF para a cultivar Atlantic, aos 100 e 99 dias após o plantio, respectivamente. Braun *et al.* (2010) não verificaram efeito do N sobre o teor de amido nos tubérculos, armazenados por 30 dias a 5 °C. Os valores médios encontrados por estes últimos autores foram 10,97 e 11,31 g/100 g na MF, determinados na polpa de cultivares de batata Ágata e Atlantic.

O processo mais comumente encontrado nas plantas, no metabolismo do carbono, é a conversão da sacarose via hexoses fosfato em amido (Liu *et al.*, 2011). A sacarose proveniente da fotossíntese pode ser degradada pela ação de duas enzimas: invertase (presente em apoplasto, vacúolo, plastídeo e mitocôndria) e sacarose sintase (presente em parede celular e citoplasma) (Halford *et al.*, 2011). Quando os tubérculos estão armazenados em baixa temperatura (4 a 6 °C) ocorre a degradação do amido em açúcares (glicose e frutose; açúcares redutores), que são responsáveis pelo adoçamento (cold-induced sweetening) dos tubérculos (Liu *et al.*, 2011), que segundo Driskill *et al.* (2007) e Duplessis *et al.* (1996) os açúcares redutores não podem exceder 2,6% e 0,33% na massa de matéria seca e fresca dos tubérculos, respectivamente.

A atividade da enzima β -amilase é aumentada no processo de adoçamento, mas a importância dessa degradação ainda não é conhecida (Nielsen *et al.*, 1997; Sowokinos, 2001). A conversão do amido em açúcares solúveis irá prejudicar a qualidade dos tubérculos, devido à reação de Maillard, que ocorre entre os açúcares redutores e os grupos amino em temperaturas de cozimento. Cheng *et al.* (2004) e Xu *et al.* (2009) relataram que a investigação do adoçamento em batata indica que a atividade da invertase ácida está associada positivamente com os níveis de açúcares redutores.

Segundo Navrátil *et al.* (2007) cinco vias do metabolismo do açúcar podem contribuir para o adoçamento dos tubérculos, que são elas: síntese e quebra do amido, glicolisis, hexogenis e respiração. Em batata, a fosfofrutoquinase localizada tanto no plastídio quanto no citosol são sensíveis ao frio (Hammond *et al.*, 1990). Por exemplo, a atividade citosólica da fosfofrutoquinase é reduzida a temperaturas abaixo de 14,9 °C, com a cultivar Bintje (Navrátil *et al.*, 2007). No presente experimento, os resultados referente ao teor de açúcares nos tubérculos foram relativamente menores do que os relatados por Braun *et al.* (2010), quando permaneceram a 5 °C, por 30 dias

5. Conclusões

1) Ao aplicar N no plantio e proceder à avaliação aos 21 DAE, observa-se:

- a) efeito positivo sobre o índice de clorofila, índice de balanço de N e teor de N na quarta folha, para as duas cultivares estudadas, Ágata e Atlantic;
- b) efeito negativo sobre o índice de flavonóis e teor de fenóis solúveis, teor de amido e amido/ANR na quarta folha, para as duas cultivares;
- c) efeito positivo sobre o teor de açúcar solúvel total, para as cultivares;
- d) correlação negativa entre os teores de flavonóis e de N na quarta folha;
- e) correlação positiva do teor de N na quarta folha com o índice de clorofila e índice de balanço do N;
- f) que a concentração de N na quarta folha da batata é estimada indiretamente com o equipamento portátil Dualex[®].

2) Ao aplicar N no plantio e cobertura e proceder à avaliação aos 42 DAE, observou-se:

- a) efeito positivo sobre o índice de clorofila e índice de balanço de N, para as duas cultivares;
- b) efeito negativo sobre o índice de flavonóis e teor de fenóis solúveis e teor de amido na quarta folha, para as duas cultivares;
- c) efeito positivo sobre o teor de açúcar solúvel total e açúcar não-redutor, para a cultivar Ágata e Atlantic e;
- f) efeito sobre o teor de açúcar não-redutor, para a cultivar Ágata.

3) Ao aplicar N no plantio e cobertura e proceder à avaliação nos tubérculos obtidos na colheita, observa-se:

- a) efeito negativo sobre os teor de fenóis solúveis e o teor de amido, para as duas cultivares;
- b) efeito positivo sobre o teor de açúcar solúvel total e açúcar não-redutor, para as duas cultivares;
- c) efeito sobre a relação entre amido/ANR, para a cultivar Atlantic.

6. Referências bibliográficas

- ANGELOV, M.N.; SUN, J.D.; BYRD, G.T.; BROWN, R.H.; BLACK, C.C. Novel characteristics of cassava, *Manihot esculenta* Crantz, a reputed C3-C4 intermediate photosynthesis species. **Photosynthesis Research**, v.38, p.61-72, 1993.
- BEUKEMA, H.B.; ZAAG, D.E. van der. **Introduction to potato production**. Wageningen - Netherlands: Pudac, 1990. 208p.
- BLACKMER, T.M.; SCHEPERS, J.S. Use of a chlorophyll meter to monitor nitrogen status and schedule fertigation for corn. **Journal Production Agriculture**, v.8, p.56-60, 1995.
- BOUSSADIA, O.; STEPPE, K.; ZGALLAI, H.; BEN EL HADJ, S.; BRAHAM, M.; LEMEUR, R.; VAN LABEKE, M.C. Nondestructive determination of nitrogen and chlorophyll content in olive tree leaves and the relation with photosynthesis and fluorescence parameters. **Photosynthetica**, v.49, n.1, p.149-153, 2011.

- BRAUN, H.; FONTES, P.C.R.; FINGER, F.L.; BUSATO, C.; CECON, P.R. **Ciência e Agrotecnologia**, v.34, p.285-293, 2010.
- BUSATO, C.; FONTES, P.C.R.; BRAUN, H.; CECON, P.R. Seasonal variation and threshold values for chlorophyll meter readings on leaves of potato cultivars. **Journal of Plant Nutrition**, v.33, p.2148–2156, 2010.
- CARTELAT, A.; CEROVIC, Z.G.; GOULAS, Y.; MEYER, S.; LELARGE, C.; PRIOUL, J.L.; BARBOTTIN, A.; JEUFFROY, M.H.; GATE, P.; AGATI, G.; MOYA, I. Optically assessed contents of leaf polyphenolics and chlorophyll as indicators of nitrogen deficiency in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Field Crops Research**, v.91, p.35-49, 2005.
- CATALDO, D.A.; HARRON, M.; SCHRAD, L.E.; YOUNES, V.L. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.6, p.71-80, 1975.
- CEROVIC, Z.G.; SAMSON, G.; MORALES, F.; TREMBLAY, N.; MOYA, I. Ultraviolet-induced fluorescence for plant monitoring: Present state and prospects. **Agronomie**, v.19, p.543-578, 1999.
- CHENG, S.; SU, Z.; XIE, C.; LIU, J. Effects of variation in activities of starch-sugar metabolic enzymes on reducing sugar accumulation and processing quality of potato tubers. **Scientia Agricultura Sinica**, v.37, p.1904-1910, 2004.
- CLOSE, D.; MACARTHUR, C.; PATERSON, S.; FITZGERALD, H.; WALSH, A.; KINCADE, T. Photoinhibition: A link between effects of the environment on eucalypt leaf chemistry and herbivory. **Ecology**, v.84, p.2952-2966, 2003.
- COELHO, F.S. **Uso do clorofilômetro como ferramenta de manejo da adubação nitrogenada da cultura da batata**. 2012. 162p. Tese (Doutorado em Fitotecnia), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa/MG.
- COELHO, F.S.; FONTES, P.C.R.; BRAUN, H.; SILVA, M.C.C.; FRANÇA, C.F.M.; FINGER, F.L. Sugar and starch contents in leaves of potato in relation to nitrogen fertilization. In: CONGRESSO DE FISILOGIA VEGETAL, XIII, 2011. Búzios/RJ. **Anais...** Búzios: Hotel Atlântico Búzios, 2011a, p.126-126.
- 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.

- CRUZ, J.L.; MOSQUIM, P.R.; PELACANI, C.R.; ARAÚJO, W.L.; DaMATTA, F.M. Carbon partitioning and assimilation as affected by nitrogen deficiency in cassava. **Photosynthetica**, v.41, p.201-207, 2003.
- DRISKILL, E.P.; KNOWLES, L.O.; KNOWLES, N.R. Temperature-induced changes in potato processing quality during storage are modulated by tuber maturity. **American Journal Potato Research**, v.84, p.367–383, 2007.
- DUBOIS, M.; GILLER, K.A.; HAMILTON, J.K.; REBERS, P.A.; SMITH, F. Colorimetric method for determinations of sugars and related substance. **Analytical Chemistry**, v.28, p.350-356, 1956.
- DUPLESSIS, P.M.; MARANGONI, A.G.; YADA, R.Y. A mechanism for low temperature induced sugar accumulation in stored potato tubers: The potential role of the alternative pathway and invertase. **American Potato Journal**, v.73, p.483-494, 1996.
- FARHAD, M.S.; BABAK, A.M.; REZA, Z.M.; HASSAN, R.S.M.; AFSHIN, T. Response of proline, soluble sugars, photosynthetic pigments and antioxidant enzymes in potato (*Solanum tuberosum* L.) to different irrigation regimes in greenhouse condition. **Australian Journal of Crop Science**, v. 5:1, p.55-60, 2011.
- FLEXAS, J.; BOTA, J.; GALMÉS, J.; MEDRANO, H.; RIBAS-CARBÓ, M. Keeping a positive carbon balance under adverse conditions: responses of photosynthesis and respiration to water stress. **Physiology Plantarum**, v.127, p.343-352, 2006.
- FONTES, P.C.R. **Nutrição mineral de plantas: avaliação e diagnose**. Viçosa, MG, Arka Editora, 296p., 2011.
- FONTES, P.C.R.; BRAUN, H.; COELHO, F.S.; SILVA, M.C.C. Dualex[®]: an instrument to real-time evaluation of nitrogen in potato plants. In: CONGRESSO DE FISILOGIA VEGETAL, XIII, 2011. Búzios/RJ. **Anais...** Búzios: Hotel Atlântico Búzios, 2011a, p.145-145.
- FONTES, P.C.R.; COELHO, F.S.; BRAUN, H.; SILVA, M.C.C. MILAGRE, C. do C. Dualex[®]: nova ferramenta para avaliar o estado nutricional nitrogenado da batateira. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, XXXIII, 2011. Uberlândia/MG. **Anais...** Uberlândia: Center Convention, 2011b, p.1-4.
- FONTES, P.C.R.; SAMPAIO, R.A.; MANTOVANNI, E.C. Tomato yield and potassium concentration in soil and plant petioles as affected by potassium fertilization. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.3, p.575-580, 2000.

- FORTIER, E.; DESJARDINS, Y.; TREMBLAY, N.; BÉLEC, C.; CÔTÉ, M. Influence of irrigation and nitrogen fertilization on broccoli polyphenolics concentration. **Acta Horticulturae**, v.856, p.55-62, 2010.
- GIL, P.T.; FONTES, P.C.R.; CECON, P.R.; FERREIRA, F.A. Índice SPAD para diagnóstico do estado nutricional de nitrogênio e para o prognóstico da produtividade da batata. **Horticultura Brasileira**, v.20, n.4, p.611-615, 2002.
- 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.
- GUIDI, L.; LOREFICE, G.; PARDOSSI, A.; MALORGIO, F.; TOGNONI, F.; SOLDATINI, G.F. Growth and photosynthesis of *Lycopersicon esculentum* (L.) plants as affected by nitrogen deficiency. **Biologia Plantarum**, v.40, p.235-244, 1998.
- 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 cultivado em dois tipos de solo. **Bragantia**, v.58, n.1, p.209-216, 1999.
- HALFORD, N.G.; CURTIS, T.Y.; MUTTUCUMARU, N.; POSTLES, J.; MOTTRAM, D.S. Sugars in crop plants. **Annals of Applied Biology**, v.158, p.1-25, 2011.
- HAMMOND, J.B.; BURRELL, M.M.; KRUGER, M.J. Effect of low temperature on the activity of phosphofructokinase from potato tubers. **Planta**, v.180, p.613-616, 1990.
- HERRMANN, K.M.; WEAVER, L.M. The shikimate pathway. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.50, p.473–503, 1999.
- HIRANO, T.; SAITO, Y.; USHIMARU, H.; MICHİYAMA, H. The effect of the amount of nitrogen fertilizer on starch metabolism in leaf sheath of *Japonica and indica* rice varieties during the heading period. **Plant Production Science**, v.8, p.122-130, 2005.
- HUAN, Y.U.; HUA-SONG, W.U.; WANG, Z.J. Evaluation of SPAD and Dualex for in-season corn nitrogen status estimation. **Acta Agronomica Sinica**, v.36, p.840-847, 2010.
- IBRAHIM, M.H.; JAAFAR, H.Z.E.; RAHMAT, A.; RAHMAN, Z.A. Effects of nitrogen fertilization on synthesis of primary and secondary metabolites in three varieties of kacip fatimah (*Labisia Pumila Blume*). **International Journal of Molecular Sciences**, v.12, p.5238-5254, 2011.

- JACKSON, M.L. **Soil chemical analysis**. Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1958, 498p.
- KÜHN, C.; GROF, C.P.L. Sucrose transporters of higher plants. **Current Opinion in Plant Biology**, v.13, p.288-298, 2010.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos, RiMa, 2000, 531p.
- LEGAY, S.; LEFÈVRE, I.; LAMOUREUX, D.; BARREDA, C.; LUZ, R.T.; GUTIERREZ, R.; QUIROZ, R.; HOFFMANN, L.; HAUSMAN, J.F.; BONIERBALE, M.; EVERS, D.; SCHAFLEITNER, R. Carbohydrate metabolism and cell protection mechanisms differentiate drought tolerance and sensitivity in advanced potato clones (*Solanum tuberosum* L.). **Functional and Integrative Genomics**, v.11, p.275-291, 2011.
- LIU, X.; ZHANG, C.; OU, Y.; LIN, Y.; SONG, B.; XIE, C.; LIU, J.; Li, X.-Q. Systematic analysis of potato acid invertase genes reveals that a cold-responsive member, StvacINV1, regulates cold-induced sweetening of tubers. **Molecular Genetics Genomics**, v.286, p.109-118, 2011.
- LUDEWIG, U.; von WIRÉN, N.; FROMMER, W.B. Uniport of NH_4^+ by the root hair plasma membrane ammonium transporter LeAMT1;1. **Journal of Biological Chemistry**. v.277, p.13548-13555, 2002.
- LUDEWIG, U.; WILKEN, S.; WU, B.; JOST, W.; OBRDLIK, P.; BAKKOURY, M.E.; MARINI, A.M.; ANDRÉ, B.; HAMACHER, T.; BOLES, E.; von WIRÉN, N.; FROMMER, W.B. Homo- and hetero-oligomerization of ammonium transporter-1 NH_4^+ uniporters. **Journal Biological Chemistry**, v.278, p.45603-45610, 2003.
- MACKERRON, D.K.L.; YOUNG, M.W.; DAVIES, H.V. A critical assessment of the value of petiole sap analysis in optimizing the N nutrition of the potato crop. **Plant and Soil**, v.172, p.274-260, 1995
- MacMURDO, W.; PRANGER, R.K.; VEINOT, R. Nitrogen fertilization and petiole nitrate testing production of whole seed tubers of the potato cultivars Sebago and Atlantic. **Canadian Journal Plant Science**, v.68, p.901-905, 1988.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. San Diego: Academic Press, 1995, 889p.
- MAYER, M.; DYNOWSKI, M.; LUDEWIG, U. Ammonium ion transport by the AMT/Rh homologue LeAMT1;1. **Biochemical Journal**, v.396, p.431-437, 2006.
- McCREADY, R.M.J.; GUGGOLZ, J.; SILVEIRA, V.V.; OWENS, H.H. Determination of starch and amylase in vegetable. **Analytical Chemistry**, v.22, p.1156-1158, 1950.

- MOREIRA, M.A.; FONTES, P.C.R.; CECON, P.R.; ARAÚJO, R.F. Seleção de índices para o diagnóstico do estado de nitrogênio de batata-semente básica. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.33, n.2, p.335-340, 2011a.
- MOREIRA M.A.; VIDIGAL, S.M.; SEDIYAMA, M.A.N.; SANTOS, M.R. Crescimento e produção de repolho em função de doses de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, v.29, p.117-121, 2011b.
- NAGATA, K.; YOSHINAGA, S.; TAKANASHI, J.; TERAOKA, T. Effects of dry matter production, translocation of nonstructural carbohydrates and nitrogen application on grain filling in rice cultivar Takanari, a cultivar bearing a large number of spikelets. **Plant Production Science**, v.4, p.173-183, 2001.
- NAVRÁTIL, O.; FISCHER, L.; ÈMEJLOVÁ, J.; LINHART, M.; VACEK, J. Decreased amount of reducing sugars in transgenic potato tubers and its influence on yield characteristics. **Biologia Plantarum**, v.51, n.1, p.56-60, 2007.
- NELSON, N.A. A photometric adaptation of Somogy method for determination of glucose. **Journal Biology Chemistry**, v.135, p.136-137, 1944
- NIELSEN, T.H.; DEITING, U.; STITT, M. A β -amylase in potato tubers is induced by storage at low temperature. **Plant Physiology**, v.113, p.503–510, 1997.
- NOURIAN, F.; RAMASWAMY, H.S.; KUSHALAPPA, A.C. Kinetics of quality change associated with potatoes stored at different temperatures. **LWT - Technologic Food Science and Technology**, v.36, p.49-65, 2003.
- OPARKA, K.J.; DAVIES, H.V.; PRIOR, D.A.M. The influence of applied nitrogen on export and partitioning of current assimilate by field-grown potato plants. **Annals of Botany**, v.59, p.311-323, 1987.
- PAN J.; CUI, K.; WEI, D.; HUANG, J.; XIANG, J.; NIE, L. Relationships of non-structural carbohydrates accumulation and translocation with yield formation in rice recombinant inbred lines under two nitrogen levels. **Physiologia Plantarum**, v.141, p.321-331, 2011.
- PASTORINI, L.H.; BACARIN, M.A.; TREVIZOL, F.C.; BERVALD, C.M.P.; FERNANDES, H.S. Produção e teor de carboidratos não estruturais em tubérculos de batata obtidos em duas épocas de plantio. **Horticultura Brasileira**, v.21, n.4, p.660-665, 2003.
- PORTER, G.A.; SISSON, J.A. Petiole nitrate content of Maine grown Russet Burbank and Shepody potatoes in response to varying nitrogen rate. **American Potato Journal**, v.68, p.493-505, 1991.

- PRINCE, M.L.; BUTLER, L.G. Rapid visual estimation and spectrophotometric determination of tannin content sorghum grain. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.25, p.1268-1273, 1977.
- RAO, I.M., TERRY, N. **Photosynthetic adaptation to nutrient stress**. In: Yunus, M., Pathre, U., Mohanty, P. (ed.): Probing Photosynthesis. Mechanisms, Regulation and Adaptation. pp.379-397. Taylor & Francis, London – New York 2000.
- ROBREDO, A.; PÉREZ-LÓPEZA, U.; MIRANDA-APODACAA, J.; LACUESTAB, M.; MENA-PETITTEA, A.; MUNOZ-RUEDA, A. Elevated CO₂ reduces the drought effect on nitrogen metabolism in barley plants during drought and subsequent recovery. **Environmental and Experimental Botany**, v.71, p.399-408, 2011.
- RODRIGUES, M.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.
- RUUSKA, S.A.; LEWIS, D.C.; KENNEDY, G.; FURBANK, R.T.; JENKINS, C.L.D.; TABE, L.M. Large scale transcriptome analysis of the effects of nitrogen nutrition on accumulation of stem carbohydrate in reproductive-stage wheat. **Plant Molecular Biology**, v.66, p.15-32, 2008.
- SAEG - **Sistema para Análises Estatísticas**, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes - UFV – Viçosa/MG, 2007.
- SILVA, M.C.C.; FONTES, P.C.R. Proposição de uma tabela de cor (UFV 80-Monalisa) para o diagnóstico do estado nutricional nitrogenado da batateira. **Batata Show**, v.16, n.16, p.16, 2006.
- SILVA, M.C.C.; FONTES, P.C.R.; MIRANDA, G.V. Índice SPAD e produção de batata, em duas épocas de plantio, em função de doses de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, v.27, p.17-22, 2009.
- SOWOKINOS, J.R. Biochemical and molecular control of cold-induced sweetening in potatoes. **American Journal Potato Research**, v.78, p.221-236, 2001.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2004. p.449-484.
- TREMBLAY, N.; WANG, Z.; BÉLEC, C. Evaluation of the Dualex for the assessment of corn nitrogen status. **Journal Plant Nutrition**, v.30, p.1355-1369, 2007.
- TREMBLAY, N.; WANG, Z.; BÉLEC, C. Performance of Dualex in spring wheat for crop nitrogen status assessment, yield prediction and estimation of soil nitrate content. **Journal of Plant Nutrition**, v.33, p.57-70, 2010.

- WANG, C.W.; TILLBERG, J.E. Effects of nitrogen deficiency on accumulation of fructan and fructan metabolizing enzyme activities in sink and source leaves of barley (*Hordeum vulgare*). **Plant Physiology**, v.97, p.39-345, 1996.
- WARDLAW, I.F.; WILLENBRINK, J. Mobilization of fructan reserves and changes in enzyme activities in wheat stem correlate with water stress during kernel filling. **New Phytology**, v.148, p.413-422, 2000.
- WEISE, S.; WEBER, A.P.M.; SHARKEY, T.D. Maltose is the major form of carbon exported from the chloroplast at night. **Planta**, v.218, p.474-82, 2004.
- WU, J.; WANG, D.; ROSEN, C.J.; BAUER, M.E. Comparison of petiole nitrate concentrations, SPAD chlorophyll readings, and QuickBird satellite imagery in detecting nitrogen status of potato canopies. **Field Crops Research**, v.101, p.96-103, 2007.
- XU, C.; COLEMAN, W.K.; MENG, F.R.; BONIERBALE, M.; LI, X-Q. Relationship between glucose accumulation and activities of acid invertase and its inhibitors in potatoes under simulated commercial conditions. **Potato Journal**, v.36, n.1, p.35-44, 2009.
- XU, Q.F.; TSAI, C.L.; TSAY, C.Y. Interaction of potassium with the form and amount of nitrogen on growth and nitrogen uptake of maize. **Journal Plant Nutrition**, v.15, p.23-33, 1992.
- ZEEMAN, S.C.; KOSSMANN, J.; E SMITH, A.M. Starch: Its metabolism, evolution, and biotechnological modification in plants. **Annual Review of Plant Biology**, v.61, p.209-234, 2010.
- ZEEMAN, S.C.; SMITH, S.M.; SMITH, A.M. The diurnal metabolism of leaf starch. **Biochemical Journal**, v.401, p.13-28, 2007.
- ZHANG, H.; SMEAL, D.; ARNOLD, R.N.; GREGORY, E.J. Potato nitrogen management by monitoring petiole nitrate level. **Journal Plant Nutrition**, v.19, n.10 e 11, p.1405-1412, 1996.

1. Resumo da análise de variância aos 21 dias após a emergência (DAE)

1.2 Análise conjunta dos experimentos

Tabela 1. Resumo da análise conjunta do índice de clorofila (ICHL), índice de flavonóis (IFLV), índice de balanço de N (IBN) e teor de N orgânico (TN-NH₄, g kg⁻¹), em função das doses de N aplicadas em pré-plantio, das cultivares Ágata e Atlantic

FV	GL	Quadrados Médios			
		ICHL	IFLV	IBN	TN-NH ₄
Bloco/Cultivar	6	13,80450	0,04436	6,55205	11,5777
Doses de N	4	114,149**	0,4414**	151,2698**	129,2786*
Cultivar	1	32,76100 ^{NS}	1,3395**	68,9907*	0,03521 ^{NS}
Doses x Cultivar	4	2,18725 ^{NS}	0,03227 ^{NS}	9,6345 ^{NS}	9,3150 ^{NS}
Resíduo	24	12,3576	0,03034	11,2103	32,9150
CV, %		11,21	9,27	19,18	15,14

^{NS}, ** e *: não-significativos, significativos ao nível de 1% e 5% de probabilidade, pelo teste F, respectivamente.

Tabela 2. Resumo da análise conjunta do teor de nitrato (TN-NO₃, g kg⁻¹), de N total (TN-Total, g kg⁻¹), teor de Amido (g 100 g⁻¹ MF) e de açúcar solúvel total (AST, g 100 g⁻¹ MF), em função das doses de N aplicadas em pré-plantio, das cultivares Ágata e Atlantic

FV	GL	Quadrados Médios			
		TN-NO ₃	TN-Total	Amido	AST
Bloco/Cultivar	6	0,5329	9,6895	0,01798	0,2289
Doses de N	4	0,7074**	149,0582**	0,03540 ^{NS}	0,7473*
Cultivar	1	0,1535 ^{NS}	0,04170 ^{NS}	0,7494**	0,000009278 ^{NS}
Doses x Cultivar	4	0,1409 ^{NS}	11,4476 ^{NS}	0,002169 ^{NS}	0,07377 ^{NS}
Resíduo	24	0,1662	34,5385	0,04064	0,2439
CV, %		51,01	15,19	17,05	19,38

^{NS}, ** e *: não-significativos, significativos ao nível de 1% e 5% de probabilidade, pelo teste F, respectivamente.

Tabela 3. Resumo da análise conjunta do teor de açúcar redutor (AR, g 100 g⁻¹ MF), açúcar não-redutor (ANR, g 100 g⁻¹ MF), relação entre Amido e ANR (Amido/ANR, g 100 g⁻¹ MF) e teor de fenóis solúveis (mg g⁻¹), em função das doses de N aplicadas em pré-plantio, das cultivares Ágata e Atlantic

FV	GL	Quadrados Médios			
		AR	ANR	Amido/ANR	Fenóis solúveis
Bloco/Cultivar	6	0,003876	0,2478	0,02830	0,7083
Doses de N	4	0,04817**	0,4947 ^{NS}	0,09299°	1,2251**
Cultivar	1	0,4079**	0,4040 ^{NS}	0,06920 ^{NS}	3,7265**
Doses x Cultivar	4	0,02893*	0,1834 ^{NS}	0,01373 ^{NS}	0,1642 ^{NS}
Resíduo	24	0,01028	0,2627	0,04073	0,2446
CV, %		16,80	26,36	31,24	14,53

^{NS}, **, * e °: não-significativos, significativos ao nível de 1%, 5% e 10% de probabilidade, pelo teste F, respectivamente.

2. Resumo da análise de variância (ANOVA) conjunta dos experimentos aos 42 dias após a emergência (DAE)

Tabela 4. Resumo da análise conjunta dos teor de fenóis solúveis (mg g^{-1}), índice de clorofila (ICHL), de flavonóis (IFLV), índice de balanço de N (IBN), teor de açúcar solúvel total (AST, $\text{g } 100 \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), teor de Amido ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), teor de açúcar redutor (AR, $\text{g } 100 \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), teor de açúcar não-redutor (ANR, $\text{g } 100 \text{ g}^{-1} \text{ MF}$) e relação entre Amido e ANR (Amido/ANR, $\text{g } 100 \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), em função das doses de N aplicadas em pré-plantio (NPP) e cobertura (NC), das cultivares Ágata e Atlantic

FV	GL	Quadrados Médios								
		Fenóis solúveis	ICHL	IFLV	IBN	AST	Amido	AR	ANR	Amido/ANR
Bloco/Cultivar	6	0,9933	21,5178	0,1580	4,7607	0,05201	0,01573	0,006787	0,05170	0,9341
Cultivar (C)	1	47,3376**	55,1075**	0,2504*	0,6075 ^{NS}	2,2158**	0,4418**	0,01733 ^{NS}	1,8412**	9,8324**
N em pré-plantio (NPP)	4	1,9650**	74,6050**	0,7171**	58,8508**	0,1409*	0,3108**	0,03986**	0,03307 ^{NS}	1,5210°
C x NPP	4	0,4876 ^{NS}	42,6830**	0,09597 ^{NS}	23,0713**	0,01774 ^{NS}	0,03208 ^{NS}	0,006495 ^{NS}	0,03148 ^{NS}	0,4989 ^{NS}
Erro (a)	24	0,3071	8,0623	0,04376	2,3278	0,05881	0,02786	0,01354	0,04975	0,3066
N em Cobertura (NC)	3	2,1148**	43,9822**	0,5176**	53,0326**	0,1483°	0,3159**	0,01426 ^{NS}	0,07576 ^{NS}	2,2559*
C x NC	3	0,3984 ^{NS}	1,0290 ^{NS}	0,02081 ^{NS}	1,4783 ^{NS}	0,006612 ^{NS}	0,03055 ^{NS}	0,0001674 ^{NS}	0,007004 ^{NS}	0,2162 ^{NS}
NPP x NC	12	0,1711 ^{NS}	7,9348 ^{NS}	0,09323*	6,3545*	0,004803 ^{NS}	0,01645 ^{NS}	0,0009148 ^{NS}	0,004643 ^{NS}	0,2699 ^{NS}
C x NPP x NC	12	0,05328 ^{NS}	3,9984 ^{NS}	0,01094 ^{NS}	0,6274 ^{NS}	0,006893 ^{NS}	0,007008 ^{NS}	0,001246 ^{NS}	0,005402 ^{NS}	0,2992 ^{NS}
Erro (b)	90	0,2942	5,9685	0,05140	3,4808	0,05941	0,03012	0,009017	0,05875	0,7506
CV parcela, %		19,35	8,99	9,45	10,50	19,93	17,24	25,45	29,36	37,28
CV sub-parcela, %		18,94	7,73	10,24	12,83	20,03	17,92	20,76	31,90	58,32

^{NS}, ** e * : não-significativos, significativos ao nível de 1% e 5% de probabilidade, pelo teste F, respectivamente.

3. Resumo da análise de variância (ANOVA) conjunta dos experimentos na colheita dos tubérculos

Tabela 5. Resumo da análise conjunta dos teor de fenóis solúveis (mg g^{-1}), teor de Amido ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), teor de açúcar solúvel total (AST, $\text{g } 100 \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), teor de açúcar redutor (AR, $\text{g } 100 \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), do teor de açúcar não-redutor (ANR, $\text{g } 100 \text{ g}^{-1} \text{ MF}$) e a relação entre o teor de amido e ANR (Amido/ANR, $\text{g } 100 \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), em função das doses de N aplicadas em pré-plantio (NPP) e cobertura (NC)

FV	GL	Quadrados Médios					
		Fenóis solúveis	Amido	AST	AR	ANR	Amido/ANR
Bloco/Cultivar	6	0,02662	1,0918	0,004299	0,0005647	0,004552	229,5674
Cultivar (C)	1	0,02325 ^{NS}	5,5253*	0,2530**	0,004672*	0,3267**	9317,745**
N em pré-plantio (NPP)	4	0,2931**	6,8845**	0,02870**	0,002539*	0,01540**	745,9052**
C x NPP	4	0,005499	11,2071**	0,004388 ^{NS}	0,0001873 ^{NS}	0,002908 ^{NS}	287,1818°
Erro (a)	24	0,03339	0,9338	0,003201	0,0008339	0,004117	159,1255
N em Cobertura (NC)	3	0,1896**	8,2243**	0,006749°	0,002471°	0,003884 ^{NS}	241,2398 ^{NS}
C x NC	3	0,002108 ^{NS}	0,8052 ^{NS}	0,0009635 ^{NS}	0,0007232 ^{NS}	0,0009789 ^{NS}	27,1075 ^{NS}
NPP x NC	12	0,007528 ^{NS}	0,7422 ^{NS}	0,0001241 ^{NS}	0,00006541 ^{NS}	0,0001646 ^{NS}	27,5606 ^{NS}
C x NPP x NC	12	0,002448 ^{NS}	0,6602 ^{NS}	0,0001342 ^{NS}	0,00009052 ^{NS}	0,0001638 ^{NS}	45,4890 ^{NS}
Erro (b)	90	0,03608	1,2953	0,002986	0,0009705	0,003197	142,3695
CV parcela, %		37,55	12,14	16,87	25,04	29,15	31,52
CV sub-parcela, %		39,03	14,30	16,29	27,01	25,69	29,81

^{NS}, **, * e °: não-significativos, significativos ao nível de 1%, 5% e 10% de probabilidade, pelo teste F, respectivamente.

Descrição dos reagentes utilizados para a quantificação do teor de açúcares redutores.

Reagente 1

Dissolva 15 g de Tartarato de sódio e potássio, 30 g de Na_2CO_3 (anidro) em 300 mL de água destilada.

Adicione 20 g de NaHCO_3 .

Separadamente, dissolva 180 g Na_2SO_4 (anidro) em 500 mL de água fervente e resfrie.

Misture as soluções e complete o volume para 1000 mL.

Reagente 2

Dissolva 5 g de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ e 45 g Na_2SO_4 (anidro), posteriormente, complete o volume com água destilada para 250 mL.

Reagente 3

Dissolva 25 g de molibdato de amônio em 450 mL de água destilada.

Adicione 21 mL de H_2SO_4 concentrado e agite.

Separadamente, dissolva 3 g de $\text{Na}_2\text{HAsO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ em 25 mL de água, misture com a solução de molibdato de amônio e incube por 24-48 horas a 37 °C.

Armazene em recipiente escuro.

OBS: Os reagentes 4 e 5 devem ser preparados no momento da quantificação dos açúcares redutores.

Reagente 4

8 mL do **reagente 1**.

2 mL do **reagente 2**.

Reagente 5

Prepare solução de 0,75 M de H_2SO_4 concentrado (8 mL de H_2SO_4 concentrado e dilua em 200 mL de água destilada).

Pipete 7 mL da solução, a 0,75 M de H_2SO_4 concentrado, e adicione 3,5 mL do **reagente 3**.