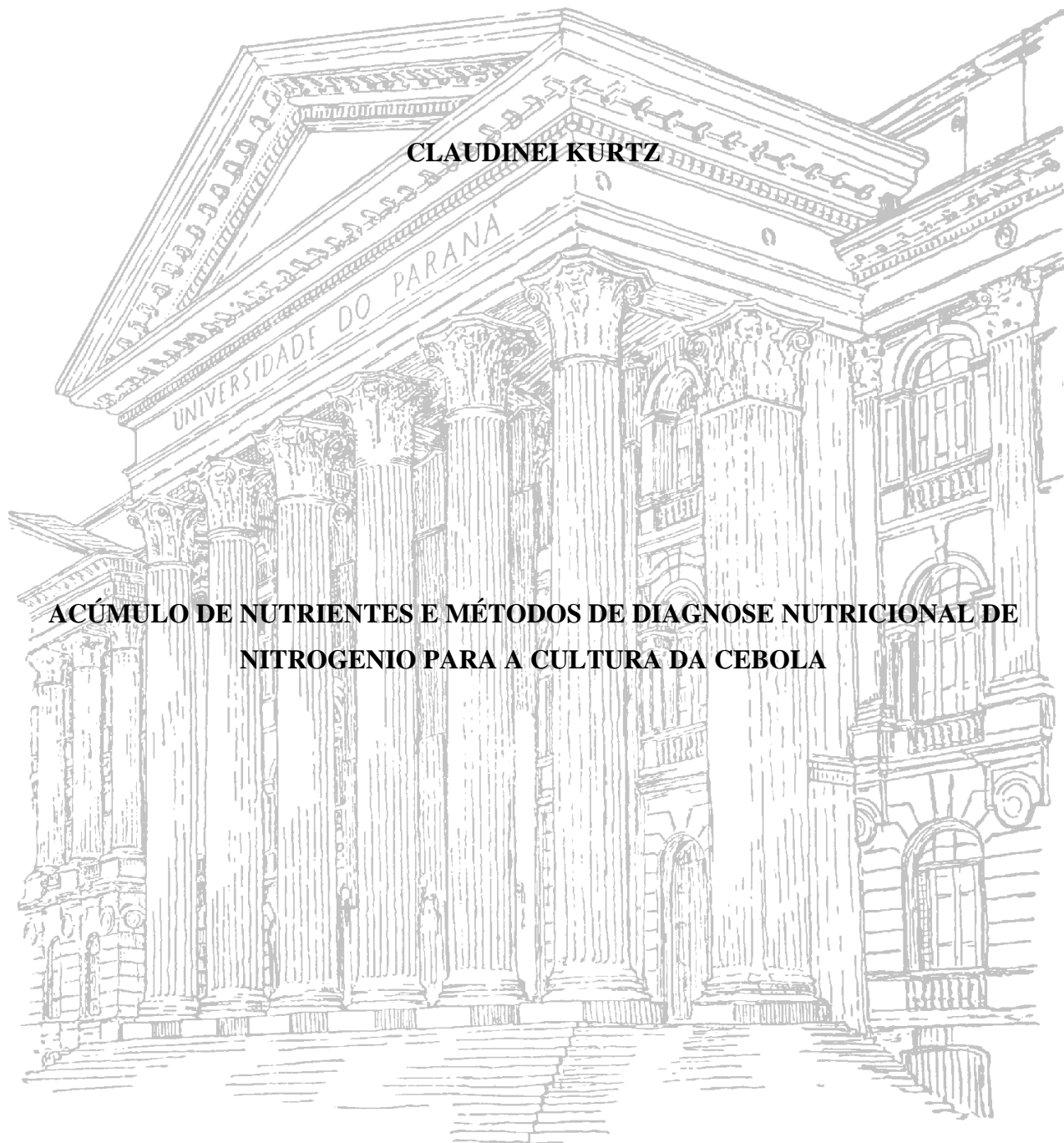


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

CLAUDINEI KURTZ

**ACÚMULO DE NUTRIENTES E MÉTODOS DE DIAGNOSE NUTRICIONAL DE
NITROGENIO PARA A CULTURA DA CEBOLA**



CURITIBA

2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

CLAUDINEI KURTZ

**ACÚMULO DE NUTRIENTES E MÉTODOS DE DIAGNOSE NUTRICIONAL DE
NITROGENIO PARA A CULTURA DA CEBOLA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração Solo e Ambiente, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Volnei Pauletti

Co-orientadora: Profa. Dra. Beatriz Monte Serrat

Co-orientador: Dr. Gilberto Nava

CURITIBA

2015

K496 Kurtz, Claudinei.

Acúmulo de nutrientes e métodos de diagnose nutricional de nitrogênio para a cultura da cebola. / Claudinei Kurtz. – Curitiba : 2015.

xi, 96 f. il.

Orientador: Volnei Pauletti.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná.

Setor de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo.

1. Plantas - Nutrição. 2. Fertilizantes nitrogenados. I. Pauletti, Volnei. II. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo.
III. Título.

CDU 631.8



PARECER

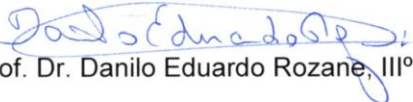
A Banca Examinadora designada para avaliar a defesa da Tese de Doutorado de **CLAUDINEI KURTZ**, intitulada: “**Acúmulo de nutrientes e métodos de diagnose nutricional de nitrogênio para a cultura da cebola**”, do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após análise do texto e arguição do candidato, emitem parecer pela “**APROVAÇÃO**” da referida Tese. O candidato atende assim um dos requisitos para a obtenção do título de **Doutor em Ciência do Solo - Área de Concentração Solo e Ambiente**.

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, em Curitiba, 28 de maio de 2015.


Prof. Dr. Volnei Pauletti, Presidente


Prof. Dr. Juliano Tadeu Vilela de Resende, Iº. Examinador


Prof. Dr. Átila Francisco Mógor, IIº. Examinador


Prof. Dr. Danilo Eduardo Rozane, IIIº. Examinador


Profª. Dra. Beatriz Monte Serrat, IVº. Examinador

À minha esposa Eliani e as minhas filhas Milena, Emily e Ana Cristina (*in
memoriam*) pelo apoio, carinho e compreensão.
Aos meus pais Dionísio e Emília pelo apoio, dedicação e oportunidades concedidas.

AGRADECIMENTOS

À Deus pela vida, familiares e amigos, pela proteção, paz, saúde, oportunidades e por guiar e iluminar para vencer os desafios da vida.

À Epagri – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, pela oportunidade concedida para realização do curso de doutorado, possibilitando tornar um sonho em realidade.

À Universidade Federal do Paraná – UFPR por meio do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pela oportunidade de realização do curso de doutorado, instituição na qual recebi conhecimentos fundamentais para minha formação profissional.

À Embrapa pela concessão de bolsa de estudo viabilizando a permanência no curso.

Ao professor Dr. Volnei Pauletti, pela orientação prestada com dedicação e segurança, pelos conhecimentos compartilhados, pela atenção e principalmente pela amizade.

Aos demais professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da UFPR pela oportunidade de convívio, ensino e experiência concedida.

Aos colegas Edison Xavier de Almeida, Marcelo Pitz, Edmar Bittencourt, Cristiano Mora, Olindo André e demais colaboradores da Estação Experimental da Epagri de Ituporanga, SC pelo apoio concedido na condução dos experimentos de campo e análises laboratoriais e à Marlene Mattei na formatação final da tese.

Aos colegas dos cursos de mestrado e doutorado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da UFPR pela amizade e convívio.

A minha esposa Eliani, pelo apoio, carinho, amor e compreensão.

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	viii
GENERAL ABSTRACT.....	x
INTRODUÇÃO GERAL	1
1. CAPÍTULO I. CRESCIMENTO E ACÚMULO DE NUTRIENTES PELA CULTIVAR DE CEBOLA “BOLA PRECOCE” NO SISTEMA DE TRANSPLANTE.....	4
Resumo	4
Abstract	5
1.1. Introdução	6
1.2. Material e Métodos	7
1.3. Resultados e Discussão	11
1.4. Conclusões	20
1.5. Literatura Citada	21
2. CAPÍTULO II. PRODUTIVIDADE, CLASSIFICAÇÃO COMERCIAL E CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA DE CULTIVARES DE CEBOLA SOB DOSES DE NITROGÊNIO EM SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA.....	26
Resumo	26
Abstract	27
2.1. Introdução	28
2.2. Material e Métodos	31
2.3. Resultados e Discussão	36
2.4. Conclusões	54
2.5. Literatura Citada	54
3. CAPÍTULO III. DIAGNÓSTICO DO ESTADO DE NITROGÊNIO PELO ÍNDICE DE CLOROFILA E NITRATO NA SEIVA PARA CULTIVARES DE CEBOLA EM SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA.....	61
Resumo	61
Abstract	62
3.1. Introdução	63
3.2. Material e Métodos	66

3.3. Resultados e Discussão	68
3.4. Conclusões	88
3.5. Literatura Citada	88
CONCLUSÕES GERAIS	94
CONSIDERAÇÕES FINAIS	95
RESUMO BIOGRÁFICO	96

ACÚMULO DE NUTRIENTES E MÉTODOS DE DIAGNOSE NUTRICIONAL DE NITROGENIO PARA A CULTURA DA CEBOLA¹

Autor: Claudinei Kurtz

Orientador: Prof. Dr. Volnei Pauletti

Co-Orientadora: Profa. Dra. Beatriz Monte Serrat

Co-orientador: Dr. Gilberto Nava

RESUMO GERAL

No Sul, principal região produtora de cebola do Brasil, não se dispõe atualmente de pesquisas sobre a dinâmica de absorção e exportação de nutrientes, exigência nutricional, manejo da adubação nitrogenada no sistema de semeadura direta e de métodos de diagnóstico do estado de N em tempo real para a cultura da cebola. Em função disso foram conduzidos três experimentos de campo, um na safra 2011/12 com o objetivo de determinar o crescimento, o acúmulo de nutrientes, as taxas de acúmulo de nutrientes para cebola cultivada no sistema de transplante e os outros dois nas safras 2012/13 e 2013/14 para avaliar o desenvolvimento, rendimento total e comercial, classificação comercial, conservação pós-colheita, aspectos nutricionais e o diagnóstico do estado de nitrogênio por meio do índice de clorofila e de nitrato na seiva para cebola sob diferentes níveis de nitrogênio no sistema de semeadura direta. No primeiro experimento, o delineamento experimental foi em blocos casualizados com 18 tratamentos e cinco repetições. Cada tratamento correspondeu a uma época de avaliação/coleta realizada em intervalos de sete dias. Nos outros dois experimentos o delineamento experimental foi em parcelas subdivididas com blocos completamente casualizados, com duas cultivares na parcela (Bola Precoce e Crioula) e cinco doses de N nas subparcelas (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹) e quatro repetições. A implantação destes experimentos foi no sistema de semeadura direta. Observou-se que o crescimento foi lento e a demanda por nutrientes baixa na primeira metade do ciclo até aos 60 dias após o transplante (DAT). Durante a bulbificação (61-119 DAT), o crescimento e a absorção de nutrientes foram

¹ Tese de Doutorado em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. (96 p.) Maio, 2015.

intensos e a planta acumulou 84 % da massa seca total e entre 73 e 89 % do total de nutrientes. No final do ciclo para uma produtividade média de 37,34 t ha⁻¹, o acúmulo de nutrientes verificada em ordem decrescente foi N > K > Ca > P > Mg > Fe > B > Mn > Zn > Cu, com 101,4; 86,5; 46,6; 34,5; 12,1 kg ha⁻¹ e 761; 221; 150; 84; 34 e g ha⁻¹, respectivamente. Desta quantidade, 57,5 %, 52,8 %, 42,3 %, 68,5 %, 57,3 %, 37,6 %, 70,7 %, 41,9 %, 73,6 % e 71,6 %, respectivamente, foram depositados no bulbo. As doses de N de máxima eficiência econômica para as cultivares de cebola Bola Precoce e Crioula no sistema de semeadura direta variaram de 146 a 192 kg ha⁻¹ nas duas safras estudadas. O incremento das doses de N aumentou o número de folhas, a altura de plantas, a massa média de bulbos e proporcionou maior produção de bulbos comerciais das classes 3 e 4. As perdas em pós-colheita aumentaram com o incremento nas doses de N na safra (2012/13) quando choveu mais no final do ciclo. Os teores de N e dos cátions K, Ca e Mg no tecido foliar da cebola aumentaram em ambas as safras com o acréscimo das doses de N. Os teores críticos de N no tecido foliar para o rendimento máximo de ambas as cultivares, situaram-se em 38,9 e 34,4 g kg⁻¹, respectivamente para as safras 2012/13 e 2013/14. Houve relação entre teor foliar de N e rendimento de bulbos com os teores de NO₃⁻ na seiva e índice de clorofila (IC) nas duas cultivares de cebola em ambas as safras. Tanto a determinação do NO₃⁻ quanto do IC nas folhas podem ser usados na determinação do estado de N e na definição da necessidade deste nutriente a ser aplicado em cobertura na cultura da cebola. Para uso do teor de NO₃⁻ para recomendação de N em lavouras comerciais é sugerido uma área de referência com alta disponibilidade deste nutriente para as plantas. Quando as leituras de NO₃⁻ na seiva na lavoura forem inferiores a 90 % do valor das leituras obtidas na área de referência (com alta dose de N) sugere-se a aplicação de N em cobertura. Para uso do IC na recomendação de N, sugere-se adicionar N em cobertura quando os valores das leituras forem inferiores a 72.

Palavras-chave: *Allium cepa* L. Nutrição de cebola. Rendimento de cebola. Clorofila. Nitrato.

NUTRIENT ACCUMULATION AND METHODS OF DIAGNOSIS OF NITROGEN NUTRITION FOR THE CULTURE OF ONION²

Author: Claudinei Kurtz

Advisor: Prof. Dr. Volnei Pauletti

Co- Advisor: Profa. Dra. Beatriz Monte Serrat

Co- Advisor: Dr. Gilberto Nava

GENERAL ABSTRACT

In the South, the main onion producing region of Brazil, currently not available research on the dynamics of absorption and export of nutrients, nutritional requirements, management of nitrogen fertilization in direct seeding system and diagnostic methods of the N status in time real to the culture of onion. As a result were conducted three field experiments, one in 2011/12 in order to determine the growth, accumulation of nutrients, nutrient accumulation rates for onions grown in the transplant system and the other two crops in season 2012/13 and 2013/14 to evaluate the development, total and commercial yield, commercial classification, post-harvest storage, nutrition and the diagnosis of nitrogen status through the chlorophyll content and nitrate in sap to onion under different nitrogen levels in direct seeding system. In the first experiment, the experimental design was randomized blocks with 18 treatments and five repetitions. Each treatment corresponded to a time of assessment/collection held at intervals of seven days. In the other two experiments the experimental design was a split plot with completely randomized block design with two cultivars in the plot (Bola Precoce and Crioula) and five doses of N in the subplots (0, 60, 120, 180 and 240 kg ha⁻¹) and four replications. The implementation of these experiments was in direct seeding system. It was observed that the growth was slower and lower demand for nutrients in the first half of the cycle up to 60 days after transplanting (DAT). During bulbification (61-119 DAT), growth and nutrient uptake were intense, the plant accumulated 84 % of the total dry matter and between 73 and 89 % of the nutrients. At the end of the cycle for an average yield of 37.34 t

² Doctoral Thesis in Soil Science. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. (96 p.) May, 2015.

ha⁻¹, accumulation of nutrients checked in descending order was N > K > Ca > P > Mg > Fe > B > Mn > Zn > Cu, with 101.4 ; 86.5; 46.6; 34.5; 12.1 kg ha⁻¹ and 761; 221; 150; 84; And 34 g ha⁻¹, respectively. Of this amount, 57.5 %, 52.8 %, 42.3 %, 68.5 %, 57.3 %, 37.6 %, 70.7 %, 41.9 %, 73.6 % and 71,6%, respectively, were deposited in the bulb. N rates of maximum economic efficiency for onion cultivars Bola Precoce and Criula in direct seeding system ranged 146-192 kg ha⁻¹ in both studied seasons. The increase in N rates increased the number of leaves, plant height, the average mass of bulbs and provided greater production of commercial bulbs in classes 3 and 4. The losses in post-harvest increased with the increase in N rates in crop (2012/13) when it rained later in the cycle. The levels of N and cations K, Ca and Mg in the leaves of onion increased in both harvests with the addition of N. Doses critics levels of N in the leaf tissue for maximum yield of both cultivars, stood in 38.9 and 34.4 g kg⁻¹, respectively, for 2012/13 and 2013/14 harvests. There was a relationship between leaf nitrogen content and yield of bulbs with the NO₃⁻ content in sap and chlorophyll index in the two onion cultivars at both harvests. Both the determination of NO₃⁻ as the chlorophyll index in the leaves can be used in determining the state of N and determining the need for this nutrient to apply for coverage on onion crops. For use in the NO₃⁻ content rating for N in commercial crops is suggested a reference area with high availability of this nutrient for plants. When the readings of NO₃⁻ in the sap on the farm is less than 90% of the readings obtained in the reference area (with high-dose N) suggest the application of N in coverage. To use the chlorophyll index in N recommendation, it is suggested to add N in coverage when the readings values are less than 72.

Keywords: *Allium cepa* L. Nutrition of onion. Yield of onion. Chlorophyll. Nitrate.

INTRODUÇÃO GERAL

A cebola (*Allium cepa* L.) é a terceira hortaliça em importância econômica para o Brasil, sendo superada apenas pela batata e tomate. Em 2013, foram cultivados cerca de 60 mil hectares de cebola no Brasil, cuja produção superou 1,5 milhão de toneladas, com rendimento médio de 25,9 t ha⁻¹ (IBGE, 2014). Na região Sul, onde se concentra mais de 50 % da produção brasileira, o cultivo dessa hortaliça representa uma atividade socioeconômica de grande relevância. Santa Catarina é o principal produtor, com cerca de 30 % da produção nacional com produção em 2013 de 496 mil toneladas e uma produtividade média de 26,1 t ha⁻¹ (IBGE, 2014). A importância social e econômica da cebola para a região Sul pode ser avaliada pela significativa geração de emprego e renda e, conseqüente fixação do agricultor no meio rural por ser uma atividade predominantemente em regime familiar (Kurtz, 2008).

Na nutrição de plantas as curvas de acúmulo de nutrientes constituem ferramenta para auxiliar na recomendação de adubação para uma maior eficiência agrônômica e na minimização dos riscos ambientais. Elas indicam o acúmulo de nutrientes em cada fase do desenvolvimento da planta, auxiliando no estabelecimento de um programa racional de adubação para as culturas, especialmente para as espécies com altas exigências nutricionais como as culturas olerícolas (Furlani & Purqueiro, 2010). Além disso, permite determinar as épocas em que os elementos são mais exigidos e prevenir deficiências que possam ocorrer durante o desenvolvimento da cultura. Por outro lado, a quantificação da distribuição dos nutrientes nas diferentes partes da planta é importante para estimar a exportação e o retorno de nutrientes ao solo.

Para as cultivares de cebola mais utilizadas no Sul do Brasil, principal região produtora nacional, para as atuais bases de produção não se dispõe de pesquisas sobre a dinâmica de acúmulo de nutrientes, exigência nutricional e partição de nutrientes na planta para o sistema de transplante de mudas que abrange mais de 70% da área de cebola.

O manejo adequado do N para cebola é de extrema importância, pois o suprimento de N inferior às exigências desta hortaliça reduz significativamente o rendimento. Entretanto, o excesso de N ou o suprimento na época inadequada em relação às exigências das plantas, afeta a sanidade, a qualidade dos bulbos e aumenta as perdas de bulbos na pós-colheita.

O fator agravante na determinação da disponibilidade de N é a limitação das análises de solo. A análise de N no solo fornece poucos subsídios para uma tomada de decisão sobre a

necessidade ou não da adubação nitrogenada, uma vez que os valores podem mudar em poucos dias em função principalmente das condições climáticas, influenciando em especial na lixiviação e mineralização.

A diagnose foliar, que consiste na avaliação do estado nutricional das culturas por meio da análise do tecido vegetal das plantas em períodos e órgãos definidos, é uma alternativa importante pelo fato de que esses órgãos respondem mais às variações no suprimento de nutrientes e proporcionam maior correlação com a produção. Entretanto, esta metodologia normalmente é onerosa, demorada e somente realizada por pessoas qualificadas, dificultando sua empregabilidade (Fontes, 2011). Resultados mais recentes de pesquisa apontam que as recomendações de N para cebola no Sul (Kurtz et al., 2012), necessitam ser melhor ajustadas para se gerar recomendações de maior viabilidade técnica e econômica.

Para obter um sistema de recomendação de adubação nitrogenada mais eficiente, uma das alternativas em avaliação recente é o uso de métodos de diagnóstico em tempo real usando a planta como indicador, em consonância com a agricultura de precisão, permitindo uma avaliação rápida (Fontes, 2011). As avaliações em tempo real envolvem a medição de nitrato na seiva (N-NO_3^-), clorofila, refletância, entre outros, que geralmente são medidos por meio de equipamentos portáteis ou acoplados em maquinário agrícola. Tais testes são rápidos, podem ser feitos no campo e permitem o sensoriamento em tempo real do estado nutricional de nitrogênio na planta (Fontes & Araújo, 2007) e podem tornar-se uma alternativa viável para o sistema de produção de cebola. Entretanto, trabalhos acerca do emprego do índice de clorofila e nitrato na seiva para diagnóstico do estado de N na cultura da cebola em condições de campo são bastante escassos na literatura. Assim, o estabelecimento de um sistema de diagnose do estado do nitrogênio em tempo real para cebola poderá contribuir para a otimização da fertilização nitrogenada para as principais cultivares de cebola do Sul do Brasil.

Foram conduzidos três experimentos a campo com o objetivo geral de determinar as curvas de crescimento e acúmulo de nutrientes para a cultura da cebola em sistema de transplante e avaliar a resposta à adubação nitrogenada e de métodos de diagnose de nitrogênio em tempo real por medidores portáteis no sistema de semeadura direta.

Os resultados da tese são apresentados e discutidos em três capítulos, atendendo aos objetivos específicos: 1) determinar o crescimento, acúmulo, partição e as taxas de acúmulo de nutrientes para a cultivar de cebola Bola Precoce no sistema de transplante; 2) avaliar o desenvolvimento, rendimento, classificação, conservação pós-colheita e aspectos nutricionais

para as cultivares de cebola Bola Precoce e Crioula sob doses de nitrogênio no sistema de semeadura direta nas condições do Sul do Brasil e; 3) avaliar o diagnóstico do estado de nitrogênio por meio de técnicas de diagnose em tempo real com medidores portáteis de clorofila e de nitrato na seiva e verificar a possibilidade de recomendação de N em cobertura com base nestes métodos para duas cultivares de cebola no sistema de semeadura direta.

LITERATURA CITADA

FONTES, P.C.R. Nutrição mineral de plantas: avaliação e diagnose. Viçosa (MG), 2011. 296p.

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

FURLANI, P.R. & PURQUEIRO, L.F.V. Avanços e desafios na nutrição de hortaliças. In: Nutrição de plantas: diagnose foliar em hortaliças. PRADO, R. M. Jaboticabal: FCAV/CAPES/FUNDUNESP. p.45-62, 2010.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sistema IBGE de recuperação automática – SIDRA. Disponível em <http://www.sidra.ibge.gov.br>. Acesso em 15 de dezembro, 2014.

KURTZ, C. Rendimento de cebola influenciado pela adição de micronutrientes e de nitrogênio. UDESC – CAV, Lages, SC. 2008. 59 p. (Dissertação de mestrado)

KURTZ, C.; ERNAN, P.R.; COIMBRA, J.L.M. & PETRY, E. Rendimento e conservação de cebola alterados pela dose e parcelamento de nitrogênio em cobertura. Revista Brasileira de Ciência do Solo 36:865-876, 2012.

CAPITULO 1. CRESCIMENTO E ACÚMULO DE NUTRIENTES PELA CULTIVAR DE CEBOLA “BOLA PRECOCE” NO SISTEMA DE TRANSPLANTE

RESUMO

No Sul, principal região produtora de cebola do Brasil, não dispõe atualmente de pesquisas sobre a dinâmica de absorção de nutrientes, exigência nutricional e exportação de nutrientes pela cebola para o sistema de transplante de mudas, que abrange mais de 70 % da área cultivada com esta hortaliça. O objetivo deste trabalho foi determinar o crescimento, o acúmulo e a partição de nutrientes e as taxas diárias de acúmulo para cebola cultivada no sistema de transplante. O presente trabalho foi conduzido em campo na Estação Experimental da Epagri, no município de Ituporanga, SC, utilizando a cultivar Epagri 352 Bola Precoce (Bola Precoce), atualmente a mais cultivada no Brasil. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com 18 tratamentos e cinco repetições. Cada tratamento correspondeu a uma época de avaliação/coleta realizada em intervalos de sete dias. Cada parcela foi constituída de 27 plantas e para as avaliações foram coletadas as cinco plantas centrais da parcela. Foi avaliado o acúmulo de massa seca, taxa de crescimento absoluto, teor e conteúdo dos nutrientes N, P, K, Ca, Mg, Zn, Fe, Cu, B, e Mn nas folhas e bulbos e determinada as taxas diárias de acúmulo. O crescimento foi lento e a demanda por nutrientes foi baixa na primeira metade do ciclo até aos 60 dias após o transplante (DAT). Durante a bulbificação (61-119 DAT), o crescimento e o acúmulo de nutrientes foram intensos e a planta acumulou 84 % da MS total e entre 73 e 89 % do total de nutrientes. No final do ciclo para uma produtividade média de 37,34 t ha⁻¹, a sequência de acúmulo de nutrientes verificada em ordem decrescente foi N > K > Ca > P > Mg > Fe > B > Mn > Zn > Cu, com 101,4; 86,5; 46,6; 34,5; 12,1 kg ha⁻¹ e 761; 221; 150; 84 e 34 g ha⁻¹, respectivamente. Desta quantidade, 57,5 %, 52,8 %, 42,3 %, 68,5 %, 57,3 %, 37,6 %, 70,7 %, 41,9 %, 73,6 % e 71,6 %, respectivamente, foram depositados no bulbo. A determinação das curvas de acúmulo e das taxas diárias de acúmulo de nutrientes mostrou-se de relevante importância para o entendimento da dinâmica de acúmulo de nutrientes e pode constitui-se numa ferramenta auxiliar no planejamento da adubação da cultura da cebola.

Palavras-chave: *Allium cepa* L, nutrição de plantas, macronutrientes, micronutrientes.

CHAPTER 1. GROWTH AND ACCUMULATION OF NUTRIENTS BY CULTIVATE ONION "BOLA PRECOCE" IN THE TRANSPLANT SYSTEM

ABSTRACT

In the South, the main onion producing region of Brazil, currently has no research on the dynamics of nutrient absorption, nutritional requirements and nutrient export for onion transplant system, which covers over 70 % of the area cultivated with this vegetable. The objective of this study was to determine the growth, accumulation and nutrient partitioning and accumulation of daily rates for onions grown in the transplant system. This work was conducted in the field of Experimental Epagri station in the municipality of Ituporanga, SC, using the cultivar Epagri 352 Bola Precoce (Bola Precoce), currently the most cultivated in Brazil. The experimental design was randomized blocks with 18 treatments and five repetitions. Each treatment corresponded to a time of assessment/collection held at intervals of seven days. Each plot consisted of 27 plants and for evaluations were collected the five central plants of the plot. It evaluated the dry matter accumulation, absolute growth rate, form and content of nutrients N, P, K, Ca, Mg, Zn, Fe, Cu, B, and Mn in the leaves and bulbs and determined the daily rates of accumulation. Growth was slow and the demand for nutrients was low in the first half of the cycle up to 60 days after transplanting (DAT). During bulbification (61-119 DAT), growth and nutrient accumulation were intense, the plant accumulated 84 % of the total dry matter and between 73 and 89 % of the nutrients. At the end of the cycle for an average yield of 37.34 t ha⁻¹, nutrient accumulation sequence verified in descending order was N > K > Ca > P > Mg > Fe > B > Mn > Zn > Cu, with 101.4; 86.5; 46.6; 34.5; 12.1 kg ha⁻¹ and 761; 221; 150; 84 and 34 g ha⁻¹, respectively. Of this amount, 57.5 %, 52.8 %, 42.3 %, 68.5 %, 57.3 %, 37.6 %, 70.7 %, 41.9 %, 73.6 % and 71.6 %, respectively, were deposited in the bulb. The determination of the accumulation curves and daily rates of nutrient accumulation was found to be of importance for the understanding of nutrient accumulation dynamics and can constitute up an auxiliary tool in the planning of the onion crop fertilization.

Keywords: *Allium cepa* L., nutrition of plant, macronutrients, micronutrients.

1.1. INTRODUÇÃO

O conhecimento dos padrões de acúmulo de nutrientes e de massa seca de uma cultura possibilita melhor entendimento dos fatores relacionados com a nutrição mineral e conseqüentemente com a adubação, visto que, a absorção de nutrientes é influenciada pela taxa de crescimento da planta (Marschner, 2012).

As curvas de absorção e acúmulo de nutrientes constituem uma ferramenta auxiliar de grande importância na recomendação de adubação para uma maior eficiência agrônômica e na minimização dos riscos ambientais. Elas indicam a absorção de nutrientes em cada fase do desenvolvimento da planta, auxiliando no estabelecimento de um programa de adubação para as culturas, especialmente para as espécies com altas exigências nutricionais como as plantas olerícolas (Villas Boas et al., 2001; Furlani & Purqueiro, 2010). Além disso, permite determinar as épocas em que os nutrientes são mais exigidos e prevenir deficiências que possam ocorrer durante o desenvolvimento da cultura. Aliado a isso, a quantificação da distribuição dos nutrientes nas diferentes partes da planta é importante para estimar a exportação e com isso prever o retorno de nutrientes ao solo (May et al., 2008).

As exigências nutricionais podem variar entre cultivares de cebola e a extração de nutrientes e sua relação com o crescimento podem ser diferentes em razão do tipo de solo, do sistema de cultivo, e ainda, variar segundo a produtividade e o ciclo da cultura (Vidigal et al., 2003). Segundo Pereira & Fontes (2005), a quantidade de nutrientes que foi absorvida por uma cultura é estimada pela concentração do mesmo na massa seca de cada órgão da planta, por unidade de área. Com base na quantidade de nutriente extraída pela cultura e a eficiência de recuperação de cada nutriente aplicado serão determinadas as doses dos fertilizantes. Para a maioria das espécies olerícolas, o N e o K são os nutrientes mais extraídos e perdidos por lixiviação, sendo necessária, muitas vezes, a adição de quantidades elevadas dos mesmos por meio de fertilizantes.

Em trabalho pioneiro no Brasil, Haag et al. (1970) estudando o crescimento e o acúmulo de nutrientes da cultivar de cebola 'Baia Periforme Precoce de Piracicaba' em casa de vegetação, num ciclo de cultivo superior a 190 dias, observaram que o acúmulo de nutrientes acompanhou o acúmulo de massa seca. A cebola tem crescimento lento até próximo à metade do ciclo (Haag et al., 1970; Wiedenfeld, 1994) e, a partir daí, tem-se o início da bulbificação (Gamiely et al., 1991). Nesta fase se inicia a translocação de

fotoassimilados e outros compostos para o bulbo, observando-se rápido acúmulo de matéria seca nesta parte da planta (Brewster, 2008).

Vidigal et al. (2010), avaliando o crescimento e a marcha de acúmulo de nutrientes da cultivar ‘Alfa Tropical’, num ciclo de cultivo de 130 dias, observaram que a cebola em cultivo de verão em Minas Gerais, também cresceu lentamente até próximo à metade do ciclo e que, após esse período, o crescimento foi intensificado, bem como a absorção de nutrientes.

Os resultados sobre a quantidade de nutrientes acumulada pela cebola tem sido controversos, com o K (Porto et al., 2006; Vidigal et al., 2010), o N (Santos, 2007; May et al., 2008) ou o Ca (May et al., 2008), como os nutrientes mais absorvidos, dependendo da cultivar ou local do cultivo estudados.

Para obter um sistema de recomendação de adubação mais eficiente, uma das alternativas é determinar e caracterizar a curva de absorção de nutrientes e de crescimento das principais cultivares de cebola e ajustar a dose e época de aplicação dos nutrientes, especialmente N e K, à exigência da espécie. No Brasil, existem poucos estudos gerando curvas de acúmulo de nutrientes para as culturas olerícolas (Furlani & Purqueiro, 2010).

Para as cultivares de cebola mais difundidas no Sul do Brasil, principal região produtora nacional, não se dispõe atualmente de pesquisas sobre a dinâmica de absorção de nutrientes, exigência nutricional e partição de nutrientes na planta para o sistema de transplante de mudas que abrange mais de 70% da área cultivada nesta região.

O presente trabalho objetivou determinar o crescimento, acúmulo, partição e as taxas diárias de acúmulo de nutrientes para a cultivar de cebola Bola Precoce em sistema de transplante.

1.2. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi constituído de um experimento, conduzido em campo, na safra 2011/12, no município de Ituporanga, região do Alto Vale do Itajaí, Santa Catarina. O experimento foi conduzido na Estação Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), situada a 475 m de altitude, 27° 22’ S de latitude e 49° 35’ W de longitude, sobre um Cambissolo Húmico de textura média (Embrapa, 2006). Segundo a classificação de Köppen, o clima local é do tipo Cfa.

Por ocasião da implantação dos experimentos, foi coletada amostra de solo para determinação da composição química que apresentou os seguintes valores: pH-H₂O: 5,6; M.O.(g kg⁻¹): 31; P (mg dm⁻³): 72; K (cmol_c dm⁻³): 0,66; Ca (cmol_c dm⁻³): 6,0; Mg (cmol_c dm⁻³): 3,1; CTC (cmol_c dm⁻³): 14,7; Al (cmol_c dm⁻³): 0,0; H + Al (cmol_c dm⁻³): 4,9; V (%): 66,6 e argila (g kg⁻¹): 320.

A área experimental, onde o experimento foi conduzido houve cultivo desde 1995 em rotação de culturas tendo a cebola como cultura principal no sistema de manejo do solo com cultivo mínimo. Antes do plantio da cebola, na área experimental cultivou-se milho (*Pennisetum glaucum*) como planta de cobertura.

Para o transplante das mudas, os sulcos de plantio, com de cerca de 5 cm largura e 10 cm de profundidade, foram abertos pela passagem do equipamento “rotocaster” acoplado a um motocultivador. A cultivar utilizada foi a Epagri 352-Bola Precoce (Bola Precoce) com a semeadura em 04/05/2011 e o transplante sendo realizado em 22/07/2011 e a colheita em 18/11/2011.

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, em parcelas subdivididas no tempo com cinco repetições e 18 tratamentos, correspondentes a cada época de avaliação/coleta (Fayad et al., 2002; Vidigal et al., 2010). As coletas foram realizadas em intervalos de sete dias, do tempo zero onde foram avaliadas as mudas transplantadas até quando aproximadamente 70 % das plantas apresentaram tombamento da parte aérea (estalamento), caracterizando a colheita. Os tratamentos (épocas de coleta) foram distribuídos aleatoriamente no bloco que correspondeu a uma linha útil de plantio no centro e duas linhas de bordadura, sendo uma de cada lado. O espaçamento usado foi de 0,10 m entre plantas e 0,40 m entre as linhas, totalizando 250.000 plantas por hectare. Cada parcela foi constituída de 27 plantas (1,1 m²) e a parte útil com nove plantas e para as avaliações foram coletadas as cinco plantas centrais de cada parcela.

As mudas foram previamente produzidas em canteiros conforme sistema de produção vigente no estado de Santa Catarina (Epagri, 2013) e transplantadas cerca de 80 dias após a emergência, selecionando-se aquelas com diâmetro do pseudo-caule de 5-6 mm. A adubação de base foi realizada antes do transplante conforme recomendação de reposição da CQFS RS/SC (2004), adicionando 90 kg ha⁻¹ de K₂O distribuídos a lanço, na forma de KCl, 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅, incorporados no sulco de plantio, na forma de super fosfato triplo e 20 kg ha⁻¹ de N na forma de nitrato de amônio, também incorporados no sulco. Para a aplicação do

N em cobertura, seguiu-se o sistema de parcelamento indicado por Kurtz et al. (2012), aplicando-se 55 kg ha⁻¹ de N (nitrato de amônio) divididos em três vezes a lanço aos 30, 60 e 90 dias após o transplante (DAT).

Foi realizada irrigação por aspersão duas vezes com lâmina de cerca de 20 mm logo após a implantação do experimento, para garantir o pegamento das mudas.

Na Tabela 01 constam os valores médios mensais de precipitações pluviométricas, insolação e de temperaturas ocorridas na Estação Experimental de Ituporanga durante a condução do experimento de julho a novembro na safra de 2011.

Tabela 1. Precipitação (mm), insolação (horas brilho solar) e temperaturas médias (°C) durante a condução do experimento no ano de 2011.

Mês	Precipitação	Insolação	Temperatura média
Julho	233	94,9	12,67
Agosto	355	114,1	13,84
Setembro	260	126,9	14,77
Outubro	133	168,0	18,89
Novembro	85	195,9	19,53
Total	1066	699,8	15,94*

* Média do período

Fonte: Epagri/Ciram - Estação Meteorológica de Ituporanga, SC.

O controle de plantas espontâneas, de pragas e de doenças foi efetuado com agroquímicos, considerando dosagens e registros do Ministério da Agricultura para a cultura da cebola. No controle de plantas espontâneas, foram efetuadas duas aplicações de herbicidas (ioxynil e pendimetalina) e duas capinas manuais. Para o controle de pragas, especialmente do tripses (*Thrips tabaci* Lind), foram realizadas três aplicações de inseticidas (lambdacyhalothrin, deltametrina e imidacloprid). Para o controle de doenças fúngicas, principalmente de míldio (*Peronospora destructor*) e alternaria (*Alternaria solani*), foram realizadas cinco pulverizações de fungicidas (metalaxyl + clorotalonil, iprodione e tebuconazole).

As plantas foram analisadas inteiras até o início da bulbificação e divididas em parte aérea e bulbos após este período. O sistema radicular não foi avaliado. Após a coleta, as plantas foram lavadas com água deionizada e secadas em estufa de circulação forçada de ar a 65°C até atingirem massa constante. Em seguida foi realizada a pesagem para determinação

da massa da matéria seca e trituradas em partículas com diâmetro inferior a 1mm em moinho Willey.

Foram avaliadas as seguintes variáveis: a) acúmulo de massa seca e determinada a taxa de crescimento absoluto; b) teor e conteúdo dos nutrientes N, P, K, Ca, Mg, Zn, Fe, Cu, B, e Mn nas folhas e bulbos e determinadas as taxas diárias de acúmulo; c) rendimento total ($t\ ha^{-1}$).

Para determinação do teor de nutrientes, as amostras foram submetidas à digestão nitro-perclórica para as análises de P, K, Ca, Mg, Zn, Fe, Cu, B e Mn e à digestão sulfúrica para a análise de N. Nos extratos líquidos foram determinados os teores de N, pelo método de arraste de vapores em aparelho semi-micro Kjeldahl (Tedesco et al., 1995). Os teores de P e B foram determinados por colorimetria; o teor de K por fotometria de chama e os teores de Ca, Mg, Fe, Mn, Zn e Cu por espectrofotometria de absorção atômica (Tedesco et al., 1995).

A taxa de crescimento absoluto foi obtida pela derivada primeira da equação ajustada à massa seca da planta. A partir dos valores da massa seca da parte vegetativa e do bulbo e os respectivos teores de N, P, K, Ca, Mg, Zn, Fe, Cu, B, e Mn nestes órgãos, foram calculados os acúmulos de nutrientes nos diferentes órgãos. A taxa de acúmulo diário de cada nutriente foi obtida pela derivada primeira da equação ajustada ao conteúdo de cada nutriente na planta, em função dos DAT.

O total acumulado pela planta correspondeu à soma das quantidades presentes na parte aérea e no bulbo, e representou a exigência nutricional da cebola em macro e micronutrientes. Assim, para cálculo da quantidade exportada por área, considerou-se um hectare com uma população de 250.000 plantas.

Os dados de crescimento da planta e de teor e acúmulo de nutrientes foram submetidos à análise de variância e, havendo significância ($p < 0,05$), realizou-se estudos de avaliação polinomial sendo testados grupos de equações contendo dois, três e quatro parâmetros. Foi selecionada aquela com significância $p < 0,05$, de significado biológico e de maior soma de quadrados, ou seja, maior R^2 .

A equação de modelo logístico sigmoidal não linear de três parâmetros ($y = a/(1+\exp(-(x-x_0)/b))$) foi a que apresentou o melhor ajuste no geral e foi obtida com o emprego do programa gráfico SigmaPlot 11.0.

1.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O acúmulo de massa seca (MS) das plantas de cebola foi lento até metade do ciclo aos 60 dias após o transplante (DAT), acumulando 3,9 g planta⁻¹, o que representou 16 % da MS total acumulada (Figura 1A). Após este período quando iniciou a fase de bulbificação, o acúmulo de MS foi intensificado (61-90 DAT), acumulando 20,7 g planta⁻¹, equivalente a 84 % da MS total acumulada. Acúmulo lento de MS no início do ciclo ocorre independente da cultivar utilizada e do local de cultivo, pois resultados similares também foram observado por Vidigal et al. (2010) para a cv. Alfa Tropical no verão em sistema de transplante e semeadura direta no estado de Minas Gerais e por Pôrto et al. (2007) e May et al. (2008) para os híbridos Superex e Optima cultivados em sistema de semeadura direta em São Paulo. Da mesma forma, Vidigal et al. (2010) também observaram um acúmulo rápido de MS a partir do início da bulbificação, aos 88 dias após a semeadura para a cultivar Alfa Tropical, o que também foi verificado para outras cultivares e condições de cultivo (Haag et al.,1970; Wiedenfeld, 1994; INIA, 2005).

Ao final do ciclo as plantas acumularam 24,6 g planta⁻¹ no total de MS, sendo 9,29 g na parte aérea e 15,33 g no bulbo. A massa fresca de bulbo foi de 149,4 g planta⁻¹ e o rendimento total de bulbos frescos foi de 37,34 t ha⁻¹. Este resultado situou-se bem acima dos rendimentos médios obtidos nesta safra para o estado de Santa Catarina e do Brasil que foram de 24,0 e 20,1 t ha⁻¹, respectivamente (IBGE, 2014).

Para uma população de 250.000 plantas ha⁻¹ e rendimento de 37,34 t ha⁻¹ de bulbos frescos, obteve-se uma produção de 6.155 kg ha⁻¹ de MS na planta toda, distribuídos em 2.324 kg ha⁻¹ na parte aérea e 3.831 kg ha⁻¹ nos bulbos, ou seja, 38 % e 62 %, respectivamente. Resultados semelhantes foram obtidos por Pôrto et al. (2006) que avaliando o híbrido Optima em sistema de semeadura direta obteve as contribuições de 30 % e 70 %, respectivamente para a parte aérea e bulbos. Para Vidigal et al. (2002), em sistema de transplante de mudas para a cultivar Alfa Tropical, as contribuições de parte aérea e bulbo foram de aproximadamente 36 % e 64 %, respectivamente, muito próximas das obtidas neste estudo.

A taxa máxima de crescimento absoluto para a planta toda ocorreu aos 89 dias, quando atingiu 0,447g planta⁻¹ dia⁻¹ de MS (111,75 kg ha⁻¹ dia⁻¹), desacelerando nos 30 dias que antecederam a colheita (Figura 1B).

Para o bulbo, que iniciou sua formação aos 60 DAT, a taxa de crescimento máxima ocorreu aos 101 DAT com acúmulo de $0,46 \text{ g planta}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ($115 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ de MS). A partir dos 96 DAT até a colheita, a taxa de crescimento absoluto da planta inteira foi menor que o alocado no bulbo diariamente, indicando redistribuição de fotoassimilados, principalmente das folhas para os bulbos. Este comportamento também foi observado por Pôrto et al. (2006, 2007) e Vidigal et al. (2010). De acordo com Brewster (2008) por ocasião desenvolvimento dos bulbos, há redistribuição de fotoassimilados e outros compostos das folhas para os bulbos, resultando na redução da massa seca das folhas e aumento na massa seca dos bulbos.

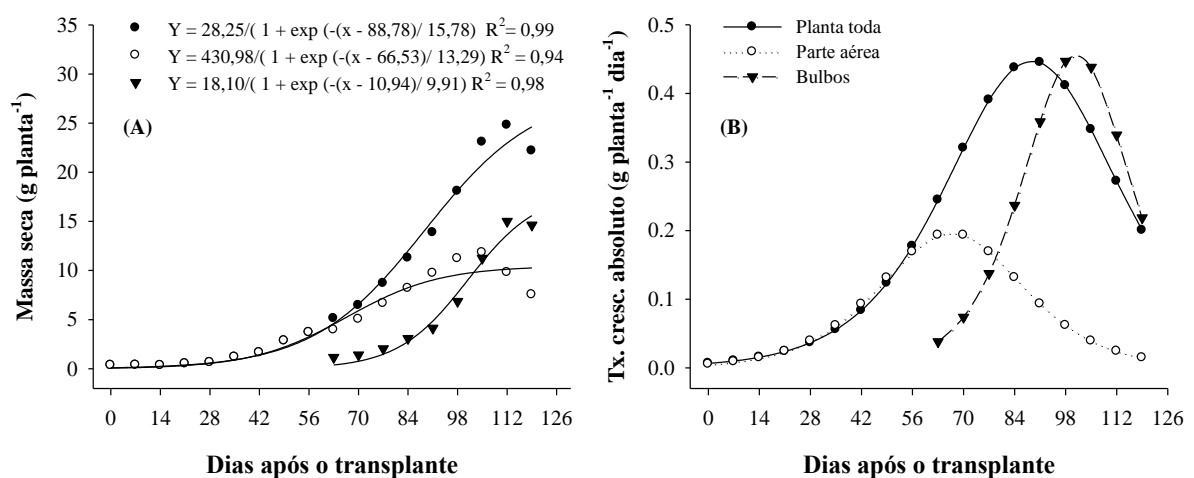


Figura 1. Acúmulo de massa seca (A) e taxa de crescimento absoluto (B) na planta toda (●), parte aérea (○) e bulbos (▼) de plantas de cebola da cv. Bola Precoce cultivada em sistema de transplante.

Da massa seca total acumulada, 4,6 % foi composta por minerais dos dez nutrientes avaliados. Na parte aérea o acúmulo dos dez nutrientes foi de 5,4 % da MS e proporcionalmente superior ao acumulado nos bulbos que foi de 4,1 % da MS.

As curvas de acúmulo de nutrientes para a planta de cebola tiveram comportamento similar às curvas de acúmulo de massa seca, ajustando-se ao modelo sigmoidal (Figuras 2 e 3). No entanto, houve um acúmulo proporcionalmente menor de MS na primeira metade do ciclo (16 %), do que a absorção da maioria dos nutrientes, exceto para K, Mg e B, cujos acúmulos nesta fase foram de 13,2 %, 11,2 % e 10,8 %, respectivamente (Tabela 2). De maneira geral, houve grandes acúmulos e maiores taxas de acúmulo de nutrientes (Figuras 4 e 5) na segunda metade do ciclo da cultura, durante a fase de bulbificação (61-119 DAT). Estes

resultados são muito próximos aos obtidos por Pôrto et al. (2006), com o híbrido Optima em semeadura direta.

As taxas diárias de acúmulo de todos os nutrientes, exceto Fe, na parte aérea, aumentaram até início da bulbificação e decresceram após esta fase (Figuras 4 e 5). Desta forma observa-se que a planta de cebola prioriza a alocação de fotoassimilados e nutrientes para o bulbo, assim que inicia a formação deste órgão (Brewster, 2008).

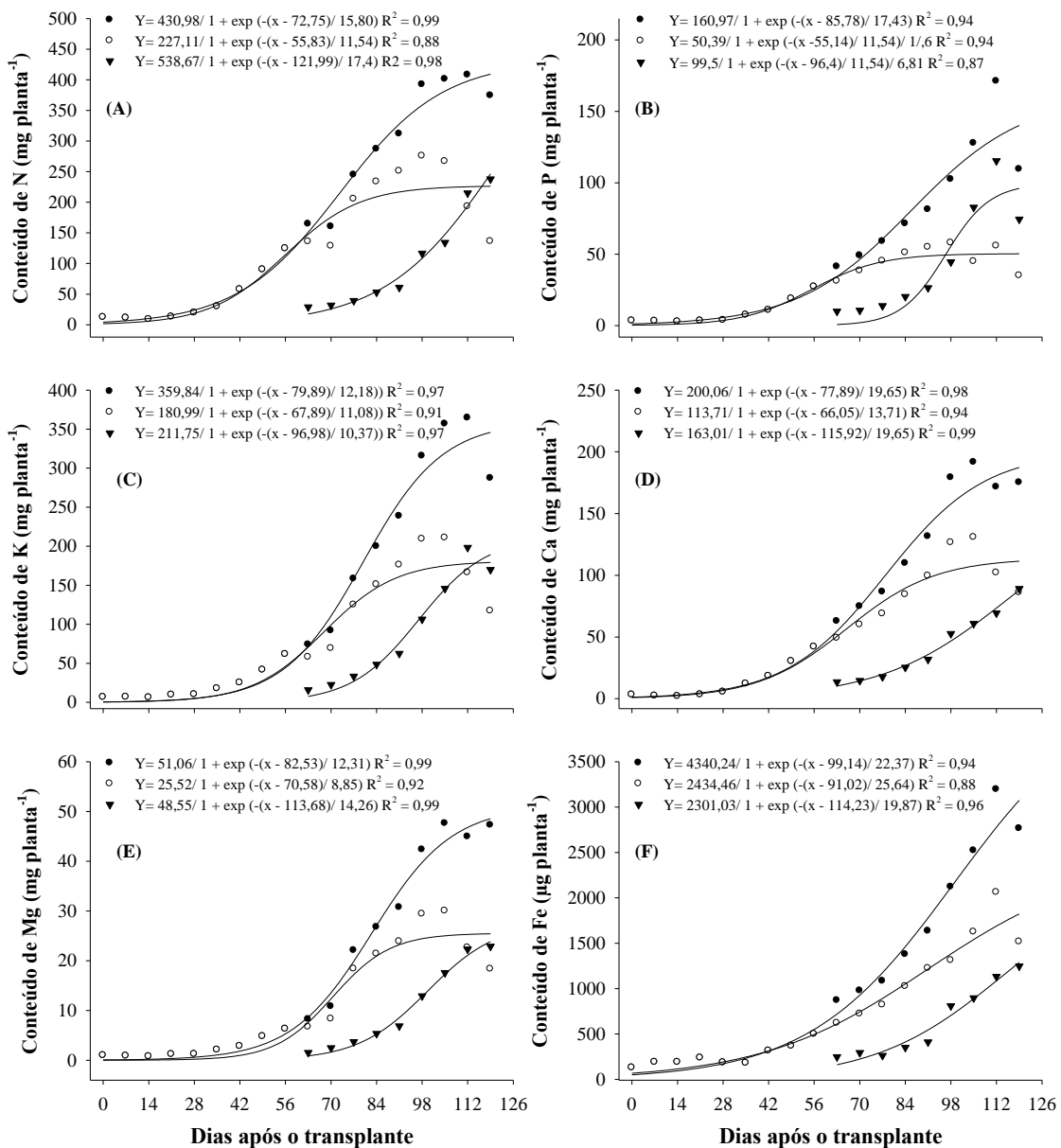


Figura 2. Conteúdo de N (A), P (B), K (C), Ca (D), Mg (E) e Fe (F) na planta toda (●), parte aérea (○) e bulbos (▼) de plantas de cebola da cv. Bola Precoce cultivada em sistema de transplante.

O N foi o nutriente mais acumulado pelas plantas de cebola, estimado em 409 mg planta⁻¹, o que equivale a uma extração de 101,4 kg ha⁻¹ de N para a condição estudada (Figura 2A; Tabela 2). A quantidade acumulada de N foi 35,2 % superior a quantidade adicionada na adubação mineral (75 kg ha⁻¹), demonstrando uma contribuição importante da matéria orgânica do solo e do material orgânico remanescente do cultivo antecessor no fornecimento de N.

Tabela 2. Acúmulo de nutrientes na planta toda, no bulbo, por tonelada produzida, antes e após a bulbificação e período das taxas máximas de acúmulo de nutrientes pela cultivar de cebola Bola Precoce para uma produtividade de 37,34 t ha⁻¹.

Nutriente	-----Acúmulo nutrientes-----						Tx. máxima ---- acúmulo ----	
	Planta toda	Bulbo		tonelada bulbo	Antes bulbif. ²	Após Bulbif. ³	Planta toda	Bulbo
Macron.	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	%	kg t ⁻¹	%	%	DAT ¹	
N	101,4	58,3	57,4	2,72	27,0	73,0	73	119
P	34,9	23,9	68,5	0,93	17,3	82,7	86	96
K	86,5	45,7	52,8	2,32	13,2	86,8	80	97
Ca	46,6	19,7	42,3	1,25	20,6	79,4	78	116
Mg	12,1	7,0	57,3	0,33	11,2	88,8	83	112
Micron.	g/ha	g/ha		g				
Fe	761,2	285,9	37,6	20,38	16,8	83,2	99	114
Mn	149,6	62,7	41,9	4,01	17,0	83,0	79	105
Zn	84,1	61,9	73,6	2,25	27,3	72,7	73	94
Cu	33,7	24,1	71,6	0,90	21,2	78,8	86	104
B	220,6	155,9	70,7	5,91	10,8	89,2	95	105

¹ DAT: Dias após o transplante; ² Período do plantio aos 60 DAT; ³ Período dos 61 até a colheita (119 DAT)

May et al. (2008) estudando o híbrido Optima em semeadura direta também obteve o N como o nutriente mais acumulado com 106,36 mg planta⁻¹. Santos (2007) também verificou que o N foi o nutriente mais acumulado pela cultivar de cebola Alfa São Francisco em sistema de transplante na região Nordeste, observando acúmulo de 103,4 kg ha⁻¹ de N. No entanto, diversos estudos demonstraram que o N foi o segundo nutriente mais absorvido, geralmente sendo superado pelo K (Haag et al., 1970; Pôrto et al., 2006, 2007 e Vidigal et al., 2010). Esta falta de consenso quanto ao nutriente mais absorvido pela cebola, se o N ou o K, demonstra variação da absorção em função da cultivar, solo, clima ou sistema de cultivo.

Do total de N acumulado pela planta, 43 % foram depositados na parte aérea e 57 % nos bulbos (Tabela 2). Os mesmos valores foram observados por Pôrto et al. (2006). Na

primeira metade do ciclo, antes do início da bulbificação as plantas acumularam menos de 1/3 (27 %) do N total. A grande demanda (73 %) ocorreu após este período e a taxa máxima de absorção foi aos 73 DAT para a planta toda com $6,82 \text{ mg planta}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ (Figura 3A). No bulbo, o N também foi o nutriente mais acumulado e teve maiores taxas de acúmulo e demanda crescente até no final do ciclo (119 DAT). A quantidade de N maior no bulbo do que na parte aérea no final do ciclo pode ser atribuído à redistribuição do N presente na parte aérea.

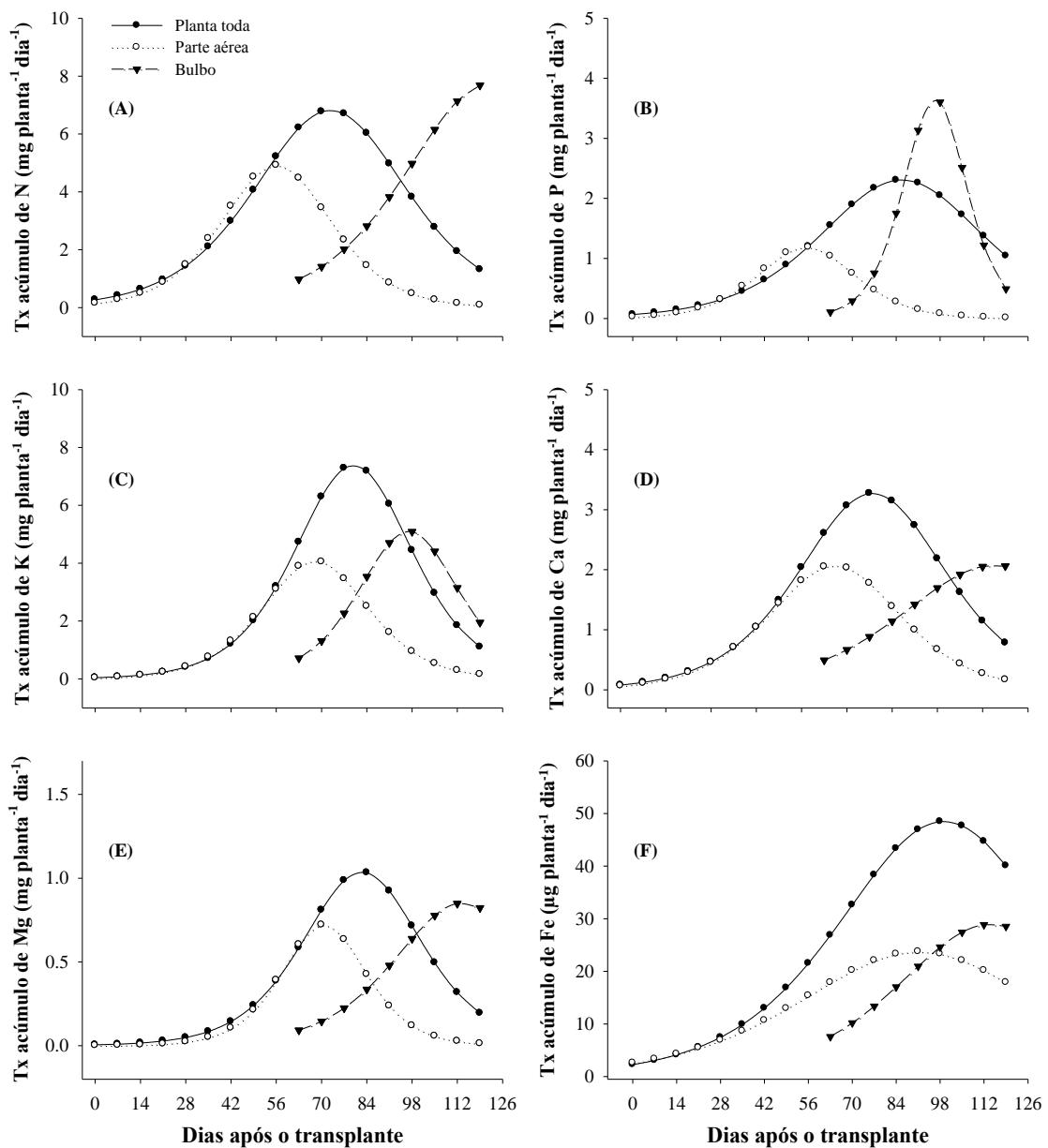


Figura 3. Taxas diárias de acúmulo de N (A), P (B), K (C), Ca (D), Mg (E) e Fe (F) na planta toda (●), parte aérea (○) e bulbos (▼) de plantas de cebola da cv. Bola Precoce, cultivada em sistema de transplante.

O P foi o quarto nutriente mais acumulado pela planta de cebola depois de N, K e Ca com acúmulo de $140,13 \text{ mg planta}^{-1}$, totalizando $34,9 \text{ kg ha}^{-1}$ (Figura 2B). Dentre os macronutrientes, o P foi o que proporcionalmente teve maior acúmulo no bulbo com 69 %, enquanto que a parte aérea contribuiu com 31 %. May et al. (2008), também observaram maior acúmulo de P no bulbo na ordem de 56 % e 61 %, respectivamente, para os híbridos Superex e Optima. As taxas máximas de acúmulo, considerando a planta toda ocorreram aos 86 DAT e verificou-se uma taxa de alocação de P para o bulbo elevada no período próximo aos 96 DAT, momento que ocorreu a taxa máxima de alocação do elemento (Figura 3B). Cerca de 83 % do total de P, foi acumulado no período de bulbificação (Tabela 2). Após o início da bulbificação decresce rapidamente a taxa de alocação de P para a parte aérea, o que também foi observado por Pôrto et al. (2007). Segundo Araújo & Machado (2006), ocorre intenso processo de redistribuição de P dos tecidos vegetativos para órgãos reprodutivos. Para estes autores nas culturas de grãos a proporção entre a quantidade de nutrientes nos grãos e a quantidade de nutrientes na biomassa também é superior para o P do que para os demais macronutrientes, indicando uma redistribuição preferencial de P para os órgãos drenos.

O K foi o segundo nutriente em quantidade acumulada pela cebola, totalizando $345,9 \text{ mg planta}^{-1}$ ou $86,5 \text{ kg ha}^{-1}$, sendo superado apenas pelo N (Figura 2C). Resultados estes, semelhantes aos de May et al. (2008) e Santos (2007). Outros autores, no entanto, encontraram que o K foi o elemento mais acumulado pela cebola (Haag et al., 1970; Pôrto et al., 2006, 2007 e Vidigal et al., 2010), o que reflete o efeito da cultivar, técnicas de manejo e ambiente de cultivo na absorção do K, conforme já discutido para o N.

Do total acumulado de K ao final do ciclo da cultura, o bulbo contribuiu com 53 % ($182,7 \text{ mg planta}^{-1}$) (Tabela 2). O K caracterizou-se também por apresentar o acúmulo pela planta, concentrado no período de bulbificação com aproximadamente 87 % do total acumulado nesta fase. A taxa máxima de acúmulo pela planta toda foi aos 80 DAT com $7,38 \text{ mg planta}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, o equivalente a $1,84 \text{ kg dia}^{-1}$ de K. Para o bulbo a taxa máxima de alocação ocorreu 17 dias mais tarde aos 97 DAT (Figura 3C).

O potássio presente nas plantas desempenha um importante papel na abertura dos estômatos e regulação do potencial osmótico das células vegetais (Taiz & Zeiger, 2009). Este último processo provavelmente explica a grande demanda de K na bulbificação, quando promove a redução do potencial osmótico favorecendo a entrada de água e de fotoassimilados, contribuindo para o enchimento dos bulbos.

Considerando a prática da adubação, onde se expressa a quantidade de K a ser aplicada em K_2O , é necessário uma disponibilidade de aproximadamente 2,21 kg por dia de K_2O no pico de absorção deste nutriente. Este valor é semelhante ao do N, que demandou $1,71 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ no período de maior demanda (73 DAT). Esses dados são importantes orientadores para definição da época de aplicação destes nutrientes para a cebola, uma vez que apresentam mobilidade, principalmente em solos arenosos ou de baixa CTC (Sangoi et al., 2003; Cantarella, 2007; Ernani et al., 2007) e se aplicados muito antes desta data podem não atender a demanda da planta. Considerando o início da bulbificação aos 60 DAT, ou seja, 13 e 20 dias antes da maior taxa de acúmulo de N (73 DAT) e K (80 DAT), respectivamente, esta seria a fase (60 DAT) da cultura sugerida para aplicação das adubações de cobertura com estes nutrientes. Sugestão diferente da CQFS – RS/SC (2004) que recomendam todo K no plantio e a aplicação de cobertura com N em uma única aplicação aos 45 DAT para o campo.

O Ca foi o terceiro nutriente mais absorvido pela planta de cebola, com uma quantidade acumulada de $186,5 \text{ mg planta}^{-1}$ ou $46,6 \text{ kg ha}^{-1}$ ao final do ciclo (Figura 2D). O Ca comportou-se diferente aos demais macronutrientes por acumular mais da metade na parte aérea, 58 % do total, enquanto que no bulbo acumulou 42 % (Tabela 2). Resultados semelhantes foram também verificados por Vidigal et al. (2010), em que observaram acúmulo de 55 % e 45 %, respectivamente, para parte aérea e bulbos. Este comportamento de distribuição do Ca é, portanto, resultado da redistribuição do nutriente ser praticamente nula (Hawkesford et al., 2012).

Outro fator que pode ter contribuído para essa diferença nas quantidades de Ca na parte aérea e bulbo é a competição com o K (Andriolo et al., 2010). O maior fluxo de potássio para o bulbo pode restringir a presença de cálcio neste órgão. Com relação à dinâmica de acúmulo, observou-se que a taxa máxima foi aos 78 DAT para a planta toda e aos 116 DAT para o bulbo (Figura 3D). Assim, verifica-se uma maior demanda de Ca para o bulbo no fim do ciclo, demonstrado pela absorção de 79,4 % do Ca total no período de bulbificação.

Dentre os macronutrientes avaliados, o Mg foi o menos absorvido pela cebola com $46,6 \text{ mg planta}^{-1}$, totalizando $12,1 \text{ kg ha}^{-1}$ ao final do ciclo (Figura 2E). A parte aérea acumulou aproximadamente 43 % do Mg, ao passo que o bulbo acumulou cerca de 57 % do Mg total (Tabela 1). Vidigal et al. (2002) relataram valores semelhantes para a cultivar Alfa Tropical que acumulou 47 % e 53 %, respectivamente, para parte aérea e bulbo. Entretanto, May et al. (2008) observaram valores diferentes, em que a planta acumulou 56 % e 44 % para

a cultivar Optima e 67,2 % e 38,2 % para a cultivar Superex, respectivamente, para parte aérea e bulbo.

O Mg apresentou a taxa máxima de acúmulo aos 83 DAT na planta toda e aos 112 DAT, a maior demanda para o bulbo, a exemplo do que ocorreu para Ca (Figura 3E).

O Mg foi o macronutriente que apresentou a maior proporção de acúmulo no período de bulbificação, cerca de 89 % do total. Esta grande demanda de Mg na bulbificação ocorre devido ao acúmulo de açúcares no vacúolo de órgãos de reserva ser dependente do Mg e estimulado pelo K (Engels et al., 2012).

Os micronutrientes foram acumulados na seguinte sequência para a cultivar Bola Precoce: Fe > B > Mn > Zn > Cu (Figura 2F; Figura 4; Tabela 2), com acúmulo ao final do ciclo de 761, 221, 150, 84 e 34 g ha⁻¹, respectivamente. Vidigal et al. (2010), observaram outra ordem na quantidade absorvida de micronutrientes: Fe > Mn > Cu > Zn, com a absorção de 630, 190, 30 e 21 g ha⁻¹, respectivamente, porém para outra cultivar. Para os elementos Fe e Mn, observou-se maior acúmulo na parte aérea, 62 % e 58 %, respectivamente, ao passo que Zn, Cu e B, foram acumulados em maior proporção nos bulbos com 74 %, 72 % e 71 %, respectivamente. As maiores demandas dos micronutrientes também ocorreram na segunda metade do ciclo, no período de bulbificação com o acúmulo de 83 %, 83 %, 73 %, 79 % e 89 % do total de Fe, Mn, Zn, Cu e B, respectivamente. As taxas máximas de acúmulo situaram-se aos 99, 79, 73, 86 e 95 DAT para parte aérea e aos 114, 105, 94, 104 e 105 DAT para a alocação no bulbo, respectivamente, para Fe, Mn, Zn, Cu e B (Figuras 2F e 5).

A taxa de alocação de micronutrientes no bulbo no final do ciclo foi superior à taxa média da planta para todos os micronutrientes avaliados exceto Fe. Isso indica que, além da redistribuição de parte dos nutrientes da parte aérea para os bulbos, os nutrientes absorvidos nesta fase de desenvolvimento da planta foram depositados preferencialmente nos bulbos. Por tratar-se de uma planta de bulbo e este constituir parte da folha, provavelmente parte destes nutrientes foram absorvidos e acumulados diretamente no bulbo. Vidigal et al. (2010), observaram resultados semelhantes onde a taxa de alocação de diversos nutrientes no bulbo foi superior a taxa observada para a planta toda.

A sequência de acúmulo de nutrientes verificada para a cultivar de cebola Bola Precoce em ordem decrescente foi N > K > Ca > P > Mg > Fe > B > Mn > Zn > Cu. Estes resultados foram semelhantes aos obtidos por Santos (2007) para a cultivar Alfa São Francisco. Por outro lado, outros autores tiveram resultados divergentes: May et al. (2008),

constataram para o híbrido Optima a ordem $N > Ca > K > Mg > P$ e para o híbrido Superex: $Ca > N > K > Mg > P$. Vidigal et al. (2010) verificaram para a cultivar Alfa Tropical a seguinte ordem de extração $K > N > Ca > S > P > Mg > Fe > Mn > Cu > Zn$, que por sua vez foram semelhantes os dados obtidos por Pôrto et al. (2006) para macronutrientes em trabalho com o híbrido Superex. Estes resultados evidenciam que as quantidades absorvidas de nutrientes e a sequência de acúmulo podem variar dependendo das cultivares e condições de cultivo.

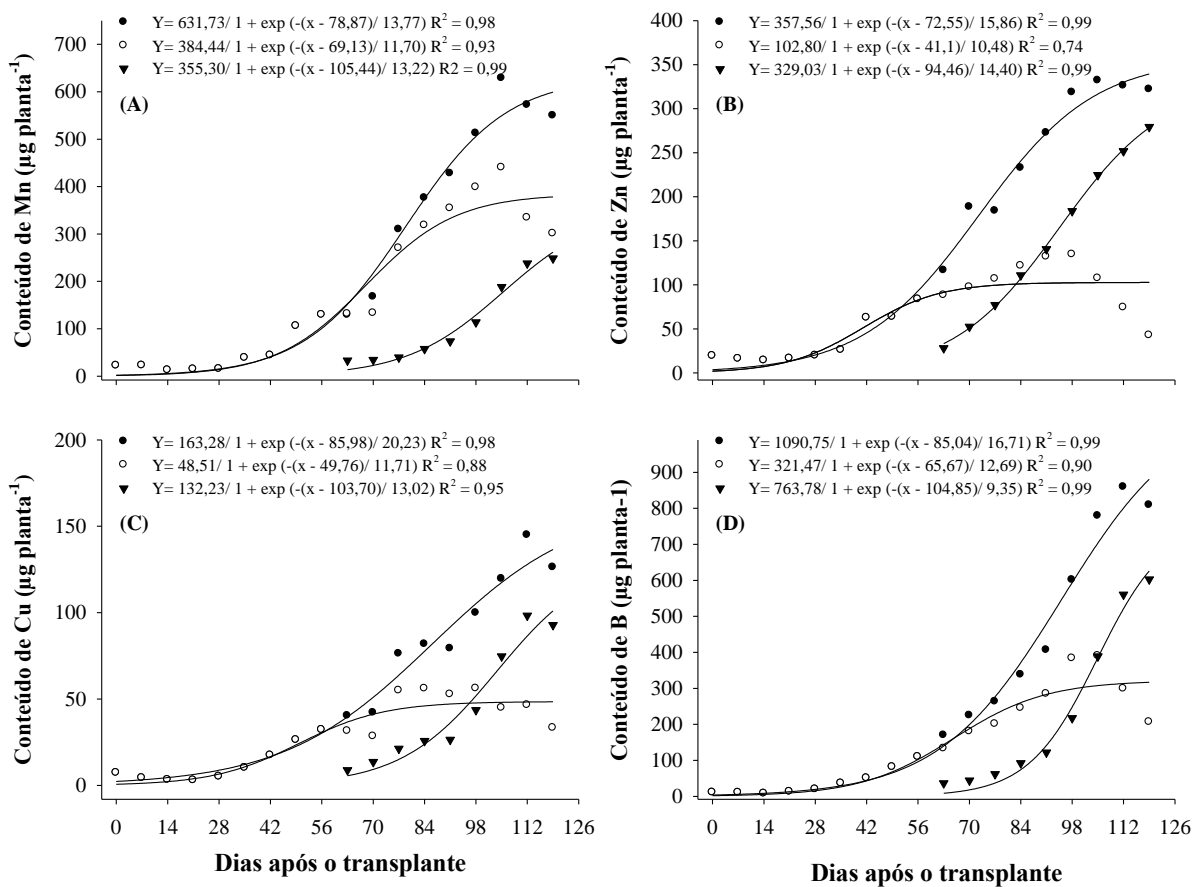


Figura 4. Conteúdo de Mn (A), Zn (B), Cu (C) e B (D) na planta toda (●), parte aérea (○) e bulbos (▼) de plantas de cebola da cv. Bola Precoce cultivada em sistema de transplante.

Ao final do ciclo as plantas de cebola extraíram na planta inteira para cada tonelada de bulbos produzida 2,72; 0,93; 2,32; 1,25; 0,33 kg e 20,38; 4,01; 2,25; 0,90 e 5,91 g, respectivamente para N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu e B (Tabela 2). Desta quantidade, 57,5 %, 68,5 %, 52,8 %, 42,3 %, 57,3 %, 37,6 %, 41,9 %, 73,6 %, 71,6 % e 70,7 %, respectivamente, foram acumulados no bulbo. É importante salientar que ao retirar a planta

inteira da lavoura por ocasião da colheita, prática bastante comum no Sul do Brasil, deve-se considerar como exportação o total de nutrientes acumulado pelas plantas. Caso contrário, quando é realizada a toalete na lavoura e retirado somente os bulbos na colheita, considera-se como exportação os nutrientes que fazem parte dos mesmos.

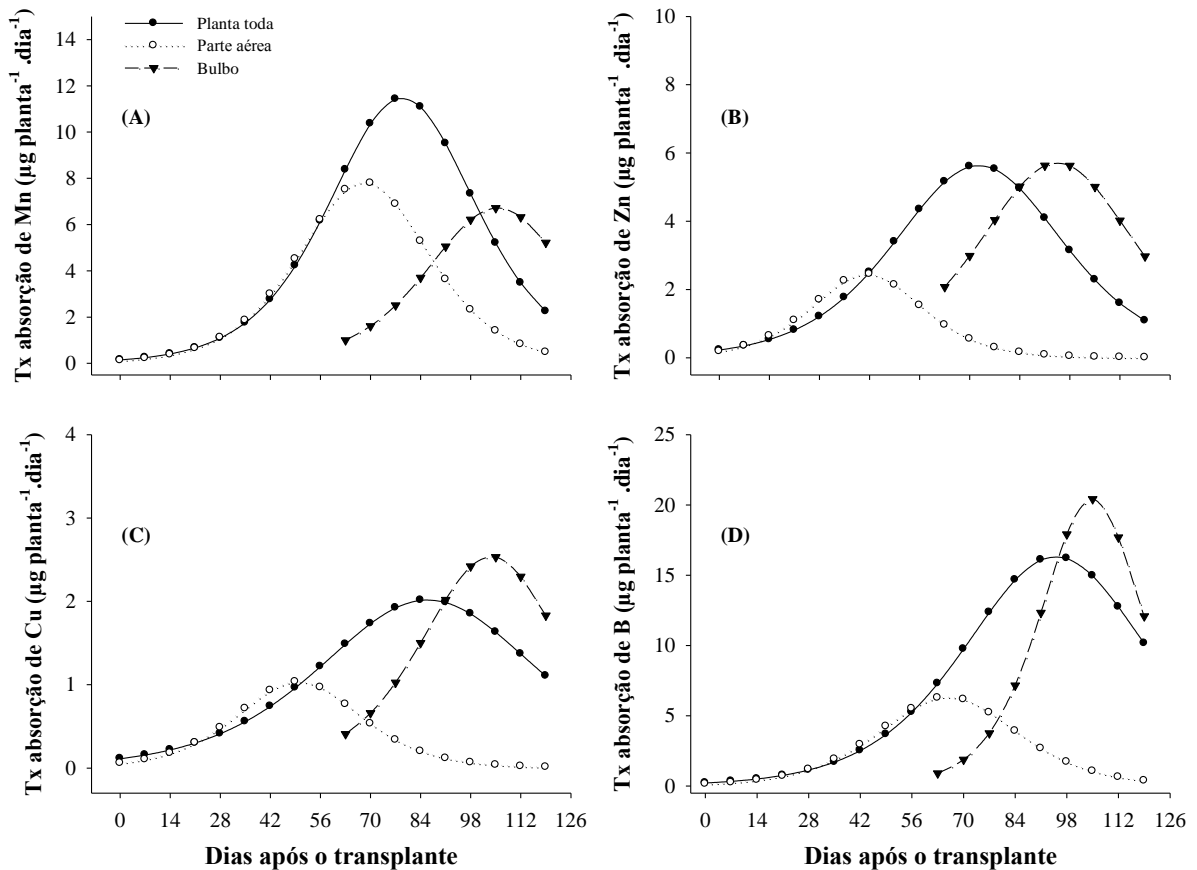


Figura 5. Taxas diárias de acúmulo de Mn (A), Zn (B), Cu (C) e B (D) na planta toda (●), parte aérea (○) e bulbos (▼) de plantas de cebola Bola Precoce cultivada em sistema de transplante.

1.4. CONCLUSÕES

1. A cultivar de cebola Bola Precoce em sistema de transplante apresentou crescimento lento e baixa demanda por nutrientes na primeira metade do ciclo. Durante a bulbificação (61-119 DAT) o crescimento e o acúmulo de nutrientes foram intensos com acúmulo de 84 % da MS total e entre 73 % a 89 % do total de nutrientes.

2. A sequência de acúmulo de nutrientes verificada em ordem decrescente foi $N > K > Ca > P > Mg > Fe > B > Mn > Zn > Cu$, com 101,4; 86,5; 46,6; 34,5; 12,1 $kg\ ha^{-1}$ e 761; 221; 150; 84; 34 e $g\ ha^{-1}$, respectivamente. Desta quantidade, 57,5 %, 52,8 %, 42,3 %, 68,5 %, 57,3 %, 37,6 %, 70,7 %, 41,9 %, 73,6 % e 71,6%, respectivamente, foram acumulados no bulbo.

3. As taxas máximas de acúmulo de nutrientes se concentraram na fase de bulbificação, aos 73, 86, 80, 78, 83, 99, 79, 73, 86 e 95 DAT, para N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu e B, respectivamente.

4. A adubação de cobertura com N e K no início da bulbificação (60 DAT), pode ser recomendada para atender mais adequadamente a demanda destes nutrientes no período das taxas máximas de acúmulo que ocorrem aos 73 e 80 DAT, respectivamente.

5. A determinação das curvas de acúmulo e das taxas diárias de acúmulo de nutrientes mostrou-se de relevante importância para o entendimento da dinâmica de acúmulo de nutrientes e pode constituir-se numa ferramenta auxiliar no planejamento da adubação da cultura da cebola.

1.5. LITERATURA CITADA

ANDRIOLO, J.L.; JÄNISCHI, D.I.; SCHMITTI, O.J.; PICIOI, M.D.; CARDOSO, F.L. & ERPENI, L. Doses de potássio e cálcio no crescimento da planta, na produção e na qualidade de frutas do morangueiro em cultivo sem solo. *Ciência Rural* 40:267-272, 2010.

ARAÚJO, A.P. & MACHADO, C.T.T. Fósforo. In: FERNANDES, M.S. (Ed.). *Nutrição mineral de plantas*. Viçosa: SBCS, p.253-280, 2006.

BREWSTER, J.L. *Onions and other vegetable alliums*. 2 ed. Wellesbourne, UK. 2008. 455p.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, R.L.F.E.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L. *Fertilidade do Solo*. Viçosa, MG: SBCS, p.375-470, 2007.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CQFS-RS/SC. Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 10 ed. Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Núcleo Regional Sul/ Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2004. 394p.

EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2. Ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2006. 306p.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA - EPAGRI. Sistemas de produção para cebola: Santa Catarina (4ª revisão). Florianópolis: Epagri. 2013. 106p. (Sistemas de Produção, 46).

ENGELS, C.; KIRKBY, E. & WHITE, P. Mineral nutrition, yield and source-sink relationships. In: MARSCHNER, H. Mineral Nutrition of Higher Plants. 3 ed. San Diego: Academic Press. p.85-133, 2012.

ERNANI, P.R.; ALMEIDA, J.A. & SANTOS, F.C. Potássio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, R.L.F.E.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L. Fertilidade do Solo. Viçosa, MG: SBCS, p.551-594, 2007.

FAYAD, J.A.; FONTES, P.C.R.; CARDOSO, A.A.; FINGER, F.L. & FERREIRA, F.A. Absorção de nutrientes pelo tomateiro cultivado sob condições de campo e de ambiente protegido. Horticultura Brasileira 20:90-94, 2002.

FURLANI, P.R. & PURQUEIRO, L.F.V. Avanços e desafios na nutrição de hortaliças. In: Nutrição de plantas: diagnose foliar em hortaliças. MELLO PRADO, R. Jaboticabal: FCAV/CAPES/FUNDUNESP. p.45-62, 2010.

GAMIELY, S.; RANDLE, W.M.; MILLS, H.A. & SMITTLE, D.A. Onion plant growth, bulb quality, and water uptake following ammonium and nitrate nutrition. HortScience 26: 1061-1063, 1991.

HAAG, H.P.; HOMA, P. & KIMOTO, T. Nutrição mineral de hortaliças. VIII. Absorção de nutrientes pela cultura da cebola. Anais... ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”, Piracicaba. p. 143-153, 1970.

HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEY, T.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J.; MØLLER, I.S. & WHITE, P. Functions of Macronutrients. In MARSCHNER, H. Mineral Nutrition of Higher Plants. 3 ed. San Diego: Academic Press. p.171-178, 2012.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sistema IBGE de recuperação automática – SIDRA. Disponível em <http://www.sidra.ibge.gov.br>. Acesso em 15 de dezembro, 2014.

INIA – Instituto Nacional de Investigacion Agropecuária do Uruguai. Tecnología para La producción de cebolla. Montevideo: Unidad de Agronegocios y Difusión Del INIA. 2005. 247p. (Boletín de Divulgación 88).

KURTZ, C.; ERNANI, P.R.; COIMBRA, J.L.M. & PETRY, E. Rendimento e conservação de cebola alterados pela dose e parcelamento de nitrogênio em cobertura. Revista Brasileira de Ciência do Solo 36: 865-876, 2012.

MARSCHNER, H. Mineral Nutrition of Higher Plants. 3 ed. San Diego: Academic Press. 2012. 643p.

MAY, A; CECÍLIO FILHO, A.B.; PORTO, D.R.Q.; VARGAS, P.F. & BARBOSA, J.C. Acúmulo de macronutrientes por duas cultivares de cebola produzidas em sistema de semeadura direta. Horticultura Brasileira, 25:53-59, 2008.

PEREIRA, P.R.G. & FONTES, P.C.R. Nutrição Mineral de Hortaliças. In: FONTES, P.C.R. (ed). Olericultura: teoria e prática. Viçosa. p. 39-55, 2005.

PÔRTO, D.R.Q.; CECÍLIO FILHO, A.B.; MAY, A. & BARBOSA, J.C. Acúmulo de macronutrientes pela cultivar de cebola "Optima" estabelecida por semeadura direta. *Horticultura Brasileira* 24:470-475, 2006.

PÔRTO, D.R.Q.; CECÍLIO FILHO, A.B.; MAY, A. & VARGAS, P.F. Acúmulo de macronutrientes pela cultivar de cebola "Superex" estabelecida por semeadura direta. *Ciência Rural* 37: 949-955, 2007.

SANGOI, L.; ERNANI, P.R.; LECH, V.A. & RAMPAZZO, C. Lixiviação de nitrogênio afetada pela forma de aplicação de uréia e manejo dos restos culturais de aveia em dois solos com texturas contrastantes. *Ciência Rural* 33:65-70, 2003.

SANTOS, E.E.F. Acúmulo de nutrientes e relação Ca:Mg no cultivo da Cebola, no Submédio São Francisco. Botucatu: UNESP – FCA. 2007. 120 p. (Tese Doutorado).

TAIZ, L. & ZEIGER, E. 2009. *Fisiologia vegetal*. 4. ed. Porto Alegre, Artmed, 2009. 819 p.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C; BISSANI, C.A. & BOHNEN, H. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5).

VIDIGAL, S.M.; MOREIRA, M.A. & PEREIRA, P.R.G. Crescimento e absorção de nutrientes pela planta de cebola cultivada no verão por semeadura direta e por transplante de mudas. *Bioscience Journal* 26:59-70, 2010.

VIDIGAL, S.M.; PEREIRA, P.R.G. & PACHECO, D.D. Nutrição mineral e adubação de cebola. In: *Informe Agropecuário* 23: 36-50, 2002.

VIDIGAL, S.M.; PEREIRA, P.R.G.; PACHECO, D.D. & FACION, C.E. Acumulação de matéria fresca e seca pela cebola. In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA*, 43. Resumos... Recife: SOB, 2003 (CD-ROM).

VILLAS BÔAS, R.L.; ANTUNES, C.L.; BOARETTO, A.E.; SOUSA, V.F. de & DUENHAS, L.H. Perfil da pesquisa e emprego da fertirrigação no Brasil. In: FOLEGATTI, M.V. (Coord.) Fertirrigação: flores, frutas e hortaliças. Guaíba: Agropecuária p. 71-103, 2001.

WIEDENFELD R. Nitrogen rate and timing effects on onion growth and nutrient uptake in a subtropical climate. *Subtropical Plant Science* 46: 32-37, 1994.

CAPÍTULO 2. PRODUTIVIDADE, CLASSIFICAÇÃO COMERCIAL E CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA DE CULTIVARES DE CEBOLA SOB DOSES DE NITROGÊNIO EM SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA

RESUMO

O suprimento de N inferior às exigências da cultura da cebola reduz significativamente o rendimento. Entretanto, o excesso de N ou o suprimento na época inadequada em relação às exigências das plantas, afeta a sanidade, a qualidade dos bulbos e aumenta as perdas de bulbos na colheita e pós-colheita. O objetivo do trabalho foi de avaliar o desenvolvimento, rendimento, classificação comercial, conservação em pós-colheita e aspectos nutricionais de cultivares de cebola sob diferentes doses de nitrogênio no sistema de semeadura direta para as condições do Sul do Brasil. Foram conduzidos dois experimentos em campo, nas safras 2012/13 e 2013/14 no município de Ituporanga, região do Alto Vale do Itajaí, SC. O delineamento experimental foi em parcelas subdivididas com blocos completamente casualizados, com duas cultivares na parcela e cinco doses de N nas subparcelas e quatro repetições. As doses de N adicionadas foram de 0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹, com aplicação de 20 kg ha⁻¹ na semeadura e o restante da dose dividida em quatro partes iguais, adicionadas em cobertura, aos 45, 85, 115 e 145 dias após semeadura (DAS). As cultivares usadas foram a Bola Precoce e Crioula. As doses de máxima eficiência econômica para as cultivares de cebola Bola Precoce e Crioula no sistema de semeadura direta variaram de 146 a 192 kg ha⁻¹ de N nas duas safras estudadas. O incremento das doses de N aumentou o número de folhas, a altura de plantas, a massa média de bulbos e proporcionou maior produção de bulbos comerciais das classes 3 e 4. As perdas em pós-colheita aumentaram com o incremento das doses de N na safra 2012/13. Os teores de N e dos cátions K, Ca e Mg no tecido foliar da cebola aumentaram em ambas as safras com o acréscimo das doses de N. Os teores críticos de N no tecido foliar para o rendimento máximo de ambas as cultivares, situaram-se em 38,9 e 34,4 g kg⁻¹, respectivamente para as safras 2012/13 e 2013/14.

Palavras-chave: *Alium cepa* L. Adubação nitrogenada. Nutrição de plantas. Rendimento.

CHAPTER 2. PRODUCTIVITY, COMMERCIAL CLASSIFICATION AND CONSERVATION POST-HARVEST IN ONION CULTIVARS UNDER NITROGEN DOSES IN DIRECT SEEDING SYSTEM

ABSTRACT

The N supply less than the onion crop requirements significantly reduces the yield. However, excess N or inadequate supply in relation to the time requirements of plants, affecting the health, quality of the bulbs and bulbs increases losses at harvest and post-harvest. The objective was to evaluate the development, performance, commercial classification, conservation post-harvest and nutritional aspects of onion cultivars under different doses of nitrogen in the direct seeding system for the conditions in southern Brazil. Two experiments were conducted in field crops in 2012/13 and 2013/14 in the municipality of Ituporanga, region of Alto Vale do Itajaí, SC. The experimental design was a split plot with completely randomized block design with two cultivars in the plot and five doses of N subplots and four replications. The added N rates were 0, 60, 120, 180 and 240 kg ha⁻¹ with application of 20 kg ha⁻¹ at sowing and the remainder of the divided dose into four equal parts, added to cover 45 to 85 , 115 and 145 days after sowing (DAS). The cultivars used were the Bola Precoce and Crioula. Doses of maximum economic efficiency for onion cultivars Bola Precoce and Crioula in direct seeding system ranged 146-192 kg ha⁻¹ N in the two studied harvests. The increase in N rates increased the number of leaves, plant height, the average mass of bulbs and provided greater production of commercial bulbs in classes 3 and 4. The losses in post-harvest increased with increasing nitrogen rates in 2012/13 crop. The levels of N and cations K, Ca and Mg in the leaves of onion increased in both harvests with the addition of N. Doses critical levels of N in the leaf tissue for maximum yield of both cultivars, stood in 38.9 and 34.4 g kg⁻¹, respectively, for 2012/13 and 2013/14 harvests.

Keywords: *Allium cepa* L. Nitrogen fertilization. Plant nutrition. Yield.

2.1. INTRODUÇÃO

O rendimento, a sanidade e a qualidade dos bulbos de cebola (*Allium cepa* L.) são influenciados pela disponibilidade de nitrogênio (N) no solo. O N e o K são os nutrientes mais requeridos por essa espécie (Santos, 2007; May et al., 2008; Pôrto et al., 2007; Vidigal et al., 2010).

O suprimento de N inferior às exigências da cebola reduz significativamente o rendimento. Entretanto, o excesso de N ou o suprimento na época inadequada em relação às exigências das plantas, afeta a sanidade, a qualidade dos bulbos e aumenta as perdas de bulbos na colheita e pós-colheita (May, 2006; Kurtz et al., 2012, 2013).

Além da influência direta sobre o desenvolvimento vegetativo e sobre a produtividade da lavoura (Pande & Mundra, 1971), a nutrição adequada e equilibrada tem uma importante ação sobre o controle fitossanitário. Mogor & Goto (2000) observaram menor severidade do míldio (*Peronospora destructor*) com manejo adequado da adubação nitrogenada e potássica.

No solo, a disponibilidade de N para as plantas é influenciada por várias reações e não é afetada por efeitos residuais diretos das adubações anteriores. Dentre as reações que afetam a disponibilidade de N, destacam-se a mineralização de compostos orgânicos, a nitrificação, a desnitrificação, a imobilização e a lixiviação. Esta última é maior em anos de alta precipitação pluviométrica, especialmente em solos de textura arenosa, e consiste na principal razão do parcelamento dos fertilizantes nitrogenados (Raij, 1991; Ernani, 2008).

A mineralização normalmente é o processo mais importante de suprimento de N para as plantas em solos não adubados, uma vez que o N orgânico representa mais de 95 % do N total do solo (Oliveira, 1987). As formas inorgânicas de N apresentam maior dinâmica no solo comparativamente às formas orgânicas. Em solos agrícolas com boa aeração, normalmente há predomínio de NO_3^- . As concentrações de N-inorgânico podem variar grandemente num curto intervalo de tempo, principalmente após precipitações elevadas, quando as perdas por lixiviação do NO_3^- acontecem com mais intensidade. O NH_4^+ , por ser retido nas cargas negativas da superfície dos colóides é menos móvel do que o nitrato. Assim, a forma nítrica traz importantes implicações para o manejo da adubação e para o controle da poluição local (Vidigal, 2000).

O fator agravante na determinação da disponibilidade de N é a limitação das análises de solo. A análise de N no solo fornece poucos subsídios para uma tomada de decisão sobre a necessidade ou não da adubação nitrogenada, uma vez que os valores podem mudar em poucos dias em função principalmente das condições edafoclimáticas que influenciam a lixiviação e a mineralização. A diagnose foliar, que consiste na avaliação do estado nutricional das culturas por meio da análise de determinados órgãos das plantas em períodos definidos, é uma alternativa importante pelo fato de que esses órgãos respondem mais às variações no suprimento de nutrientes e proporcionam maior correlação com a produção (Vidigal, 2000). Entretanto, esta metodologia normalmente é onerosa, demorada e somente realizada por pessoas qualificadas dificultando sua empregabilidade (Fontes, 2011).

A cultura da cebola normalmente responde à adição de fertilizantes nitrogenados (Buwalda & Freeman, 1987; Greenwood et al., 1992; May et al., 2007; Kurtz, et al., 2012,13; Resende & Costa, 2014). A dose de N que proporciona a máxima produtividade depende da cultivar (May et al., 2007; Resende e Costa, 2014) e de atributos de solo, principalmente dos teores de argila e de matéria orgânica (Magalhães, 1988; Vidigal, 2000), além das condições de cultivo (Batal et al., 1994), e normalmente se situa entre 100 e 200 kg ha⁻¹ (Magalhães, 1988; May et al., 2007; Kurtz et al., 2012, 2013, Resende & Costa, 2009). Entretanto, Batal et al. (1994) citam que alguns estudos têm indicado não haver incremento no rendimento de cebola pela adição de N. No entanto, é evidente que a magnitude de resposta e a quantidade de N a ser empregada na cultura da cebola dependem da população de plantas, do teor de água no solo, do parcelamento da dose e principalmente do teor de matéria orgânica do solo, bem como a taxa de decomposição desta (Magalhães, 1988).

O sistema de semeadura direta de cebola é amplamente difundido em algumas regiões produtoras de cebola do Brasil como no Sudeste e Centro-Oeste, mas ainda ocupa menos de 30% das áreas de cultivo no Sul. Entretanto, este sistema vem se expandindo rapidamente nos últimos anos e tende a se tornar o principal sistema de cultivo adotado nesta região. Este fato se deve, principalmente, pela escassez e elevado custo da mão de obra para a operação do transplante das mudas (Epagri, 2013). No entanto, os trabalhos de pesquisa para as condições de semeadura direta de cebola são escassos na literatura internacional, nacional e inexistentes para as condições da região Sul, principal polo de produção desta hortaliça no Brasil.

Segundo Factor et al. (2009) existem grandes diferenças entre o sistema de transplante de mudas e o de semeadura direta de cebola, as quais afetam a demanda por nutrientes ao longo do ciclo, bem como o rendimento da cultura. Segundo estes autores, este fato é agravado quando se trata do N, pois uma adubação realizada em quantidade e momento inadequados podem favorecer as perdas por volatilização e lixiviação e limitar o aproveitamento deste nutriente pelas plantas de cebola. Em trabalho realizado por May et al. (2007) no estado de São Paulo no sistema de semeadura direta, as produtividades máximas de 72 t ha⁻¹ e 79 t ha⁻¹ foram obtidas com a adição de 125 kg ha⁻¹ e 120 kg ha⁻¹ de N para os híbridos Optima e Superex, respectivamente. Entretanto, Factor et al. (2009), avaliando estes mesmos híbridos em sistema de semeadura direta também no estado de SP, observaram que as maiores produtividades e melhor classificação comercial foram obtidas com a adição de 200 kg ha⁻¹ de N para uma produtividade média de 29,22 t ha⁻¹. Estes resultados evidenciam a grande variabilidade nos resultados dos trabalhos que avaliam a resposta da cebola à adubação nitrogenada, dependendo das condições de cultivo.

Nos estados de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul, a recomendação de N considera os teores de matéria orgânica (MO) do solo e possui indicação de doses somente para o sistema de cultivo por transplante de mudas, não havendo atualmente, pesquisas e recomendações de adubação para o sistema de semeadura direta para as condições do Sul do Brasil. Segundo CQFS – RS/SC (2004), a dose máxima recomendada para cebola em solos com baixo teor de MO (< 25g kg⁻¹) é de 95 kg ha⁻¹.

Kurtz et al. (2012, 2013) demonstraram que as doses recomendadas pela CQFS – RS/SC (2004) são insuficientes para obter a máxima produtividade técnica e econômica no sistema de transplante de mudas em solos que possuem teores baixos e médios de argila e de MO, tanto no sistema de manejo do solo convencional como em sistema de plantio direto na palha. Estes autores estimaram as doses de maior retorno econômico para a cebola em 249 kg ha⁻¹ de N, em solo arenoso com baixo teor de MO na safra 2006/07 e de 116 e 142 kg ha⁻¹ de N, em solos com teores médios de argila e MO no sistema convencional de manejo do solo, respectivamente nas safras 2008/09 e 2009/10. Diversos trabalhos realizados em outros estados brasileiros também indicaram a necessidade de doses superiores a 100 kg ha⁻¹ de N para obtenção de altos rendimentos de bulbos de cebola (Magalhães, 1988; Vidigal, 2000; May et al., 2007; Resende et al., 2008; Resende & Costa, 2009; Factor et al., 2009; Vidigal et al., 2010; Resende & Costa, 2014). Por outro lado, em solos com teores médios e altos de

matéria orgânica a adição de N preconizada pela CQFS – RS/SC (2004) somente quando as plantas apresentarem sintomas visuais de deficiência é uma estratégia arriscada, pois se estes surgirem no momento da bulbificação, provavelmente ocorrerá perdas no rendimento por não haver mais tempo hábil para recuperação das plantas.

Desse modo, os resultados mais recentes de pesquisa apontam que as recomendações de N para cebola no Sul (Kurtz et al., 2012; 2013) necessitam ser melhor ajustadas para se gerar recomendações com viabilidade técnica e econômica para os diferentes sistemas de cultivo adotados na região.

O objetivo do trabalho foi de avaliar o desenvolvimento vegetativo, rendimento, máximo retorno econômico, classificação comercial, conservação pós-colheita e aspectos nutricionais de cultivares de cebola sob doses de nitrogênio no sistema de semeadura direta para as condições do Sul do Brasil.

2.2. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos em campo, nas safras 2012/13 e 2013/14 na Estação Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI) no município de Ituporanga, na região do Alto Vale do Itajaí, Santa Catarina. A área experimental está situada a 475 m de altitude, 27° 22' S de latitude e 49° 35' W de longitude, sobre um Cambissolo Húmico de textura média (Embrapa, 2006) com relevo suave ondulado. O clima local é do tipo Cfa, segundo a classificação de Köppen.

Nas duas safras os experimentos foram conduzidos na mesma área experimental, e após o cultivo no verão de milho. Por ocasião da implantação dos experimentos, foram coletadas amostras de solo para determinação da composição química na camada de 0-20 cm. As análises apresentaram os seguintes valores para as safras 2012/13 e 2013/14, respectivamente: pH-H₂O: 6,0 e 5,6; M.O.(g kg⁻¹): 33 e 32; P (mg dm⁻³): 32 e 45; K (cmol_c dm⁻³): 0,28 e 0,49; Ca (cmol_c dm⁻³): 7,8 e 7,4; Mg (cmol_c dm⁻³): 3,3 e 3,1; Al (cmol_c dm⁻³): 0,0 e 0,0; H + Al (cmol_c dm⁻³): 4,3 e 5,5; CTC (cmol_c dm⁻³): 15,7 e 16,5; argila (g dm⁻³): 35 e 36; V (%): 68,3 e 66,7.

A irrigação da cultura foi realizada somente nos 45 dias iniciais após a semeadura para garantir a germinação e estabelecimento das plantas e após as adubações de cobertura

com N. Neste período a frequência de irrigação foi a cada quatro dias na ausência de precipitação e a lâmina usada foi cerca de 20 mm.

Nas Tabelas 3 e 4 constam os valores de precipitações pluviométricas (mm) e de temperaturas (°C) e insolação (horas brilho solar) ocorrida na Estação Experimental de Ituporanga durante a condução dos experimentos, de junho a novembro nas safras de 2012 e 2013, segundo Epagri/Ciram.

Tabela 3. Precipitação diária e mensal (mm) ocorrida durante o período de condução dos experimentos nas safras 2012/13 e 2013/14.

Dia	Junho		Julho		Agosto		Setembro		Outubro		Novembro	
	2012	2013	2012	2013	2012	2013	2012	2013	2012	2013	2012	2013
1	0	0	0.1	10.8	9.8	0	0	0.4	0	11.5	0.7	1.5
2	0	48.2	0.6	0	0	0	0	8.6	27.8	0	0.2	0.2
3	13	0	0.6	0	0.2	0	0.1	3	4.6	3.5	0	0
4	31.7	0	0.4	0	0	31.4	0	20	12.6	9.6	0	4.6
5	23.9	0	0.2	0	0	0	0	0.4	1.8	0	13.6	0
6	0	0.2	0	0	0	34	0	1.2	0	0	0	0
7	0	0	9.4	0	0	0	0	0	0	2.8	0	0
8	0	0	6.5	3.3	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0.4	0	0	0.1	0	0	0	0.6	0
10	0	0	0	0.1	0	48.7	10	0	6.8	0	0.1	0
11	24.7	0.2	6.3	0	0	13	10.2	0	28	0	0	4
12	0	0.1	9	0	0	0	0	0	15.4	0	12.6	21
13	0	0	0	0	0	0	1.2	0	0	0	2.3	0
14	0	0	0	0	0	10.8	0	0	0	0	0	0
15	0.6	0	0	8.2	0	0	0	0	0	0	5.3	0
16	0	1.2	0	0	0	0	0	25.4	0	0	5.5	2.2
17	0	16.9	10.8	0	0	0	0.2	33.2	6.4	6.1	0	0
18	39	0	16.9	0	0	0	0	10.3	0	7.3	0	0
19	0.2	14.6	0	14.1	0	1.4	17.5	1.4	0	0	0	0
20	4.2	0	0.2	12.3	0	0.4	14.9	52	0	0	4.8	3.4
21	1.6	29.9	0	27.6	0	0	6	75	2.8	0	1	1
22	17.1	24.8	0	7	0	0	0	72.4	4.2	9.2	0	2.8
23	0.4	0	4.9	14.8	0	0.6	0	14.5	86	0	0	0
24	0	4.8	0	0	0	5.3	0	0	0	8.3	2.8	0
25	0.2	37.6	16.8	0	0	0	0	0	0	6.4	25.8	0.5
26	0	0	3.5	0	0	31.6	9.3	0	2.4	1.4	0	2
27	0	6.9	42.6	0	0	18.2	0	0	7.2	31.6	0	0
28	0	0	1.4	0	3.6	0	0	0	0	0	4.1	0
29	0.2	22.2	0.7	0	4.6	0	0.2	13.8	0.2	0	0	6
30	0	4.3	18.7	0	0.1	0	0	0	0.9	0	0.3	0
31			23.2	0	0	0			0.1	0		
Total	157	212	173	99	18	195	70	332	207	98	80	49

Total no período: 2012: 705 mm; 2013: 985 mm.

Tabela 4. Temperaturas médias mínimas e máximas mensais (°C) e insolação (horas brilho solar) durante a condução dos experimentos nas safras 2012/13 e 2013/14.

Mês	-Temp. Méd. Mínima-		--Temp. Med. Máxima--		-----Insolação-----	
	2012	2013	2012	2013	2012	2013
Junho	9,27	10,38	18,49	19,30	32,9	75,4
Julho	7,79	7,56	17,92	18,76	88,0	112,1
Agosto	11,92	7,99	22,92	20,37	149,5	97,0
Setembro	11,77	11,61	23,39	22,07	148,8	115,1
Outubro	14,34	13,88	24,59	24,27	100,7	172,2
Novembro ¹	15,30	15,16	27,50	26,02	139,1	123,4
Média	11,73	11,09	22,47	21,80	659,0²	695,2²

¹ Valores referentes ao período de 1 a 25/11. ² Valores correspondem a somatória do período.

Os experimentos foram conduzidos no sistema de semeadura direta, que consiste na semeadura das sementes diretamente no campo definitivo de cultivo sem passar pela etapa de produção de mudas em canteiros para posterior transplante.

Após o preparo do solo com uma aração e duas gradagens, a semeadura a campo foi realizada por semeadora pneumática de alta precisão específica para hortaliças, da marca Jumil modelo POP EX 2670. A semeadura foi realizada em 31/05/2012 e 27/05/2013, respectivamente para as duas safras. O espaçamento adotado foi de 0,30 m entre linhas com 15-18 sementes por metro linear. Obteve-se uma população final de 432 e 320 mil plantas na safra 2012/13 e de 410 e 434 mil plantas por hectare na safra 2013/14, respectivamente para as cultivares Bola Precoce e Crioula.

O delineamento experimental foi em parcelas subdivididas com blocos completamente casualizados, com duas cultivares na parcela e cinco doses de N nas subparcelas e quatro repetições. A dimensão das subparcelas foi de 3,2 x 3,5 m (11,2 m²) e foi usada uma área útil para avaliação da produtividade de 6 m².

As doses de N adicionadas foram de 0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹, sendo que nos tratamentos com adição de N, 20 kg ha⁻¹ foram aplicados na semeadura e o restante da dose dividido em quatro partes iguais adicionados em cobertura a lanço, aos 45, 85, 115 e 145 dias após semeadura (DAS). A fonte de N usada foi o nitrato de amônio (32 % N). Na adubação, além do N, foram adicionados 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfosfato triplo na semeadura e 90 kg ha⁻¹ de K₂O, sendo 2/3 na semeadura e 1/3 no início da bulbificação.

As cultivares utilizadas foram a Epagri 352 - Bola Precoce (Bola Precoce) de ciclo precoce e a Epagri 362 - Crioula Alto Vale (Crioula) de ciclo médio. Estas cultivares foram

escolhidas por serem as mais cultivadas no Sul do Brasil onde juntas ocupam área superior a 80 % (Kurtz et al., 2009).

O controle de plantas espontâneas, de pragas e de doenças foi efetuado por meio de pulverizações com produtos químicos registrados no Ministério da Agricultura para a cultura da cebola.

No controle de plantas espontâneas, foram efetuadas três aplicações de herbicidas (ioxynil, pendimetalina, fenoxaprop-p-ethyl + clethodim) e uma capina manual para retirada de plantas esporádicas não controladas pelos herbicidas. Para o controle de pragas, especialmente do tripses (*Thrips tabaci* Lind), foram realizadas três aplicações de inseticidas (lambdacyhalothrin e imidacloprid). Para o controle de doenças fúngicas, principalmente de míldio (*Peronospora destructor*) e alternaria (*Alternaria solani*), foram realizadas cinco pulverizações de fungicidas (metalaxyl + clorotalonil, metalaxyl + mancozeb, iprodione, tebuconazole + trifloxistrobina)

Foram avaliadas as seguintes variáveis:

- a) Produtividade total de bulbos ($t\ ha^{-1}$): massa fresca de todos os bulbos colhidos na área útil da parcela e posteriormente transformado para ha;
- b) Produtividade de bulbos comerciais ($t\ ha^{-1}$): massa fresca dos bulbos das classes dois ou superior, excluindo os bulbos duplos, com emissão de pendão floral, defeituosos ou deteriorados colhidos na área útil da parcela. A classificação comercial foi feita pela medida do diâmetro, de acordo com a Portaria 529 do Ministério da Agricultura Mapa (Epagri, 2013), onde os bulbos foram separados em três classes: Classe 2 (diâmetro entre 35 e 50 mm), Classe 3 (diâmetro entre 50 e 70 mm) e Classe 4 (diâmetro entre 70 e 90 mm).
- c) Altura de plantas (cm): obtida pela medição da distância entre o nível do solo (colo da planta) e a extremidade da última folha completamente desenvolvida ou estendida, realizada no início da bulbificação (18/10/2012 e 07/10/2013) em 10 plantas por parcela;
- d) Número de folhas: contagem do número de folhas fotossinteticamente ativas e completamente desenvolvidas, sendo desconsideradas as folhas secas ou deterioradas, realizada no início da bulbificação (18/10/2012 e 07/10/2013) em 10 plantas por parcela;

- e) Perda pós-colheita (%): todos os bulbos da área útil da parcela com diâmetro maior do que 50 mm (Classes 3 e 4) após pesados, classificados e foram armazenados em galpão em temperatura ambiente. Nestes bulbos manteve-se a palha e foram acondicionados em caixas plásticas (hortifruti – 56 x 36 x 31cm) e permaneceram armazenados por um período médio de 120 dias (até início de abril do ano seguinte) para posterior avaliação das perdas em pós-colheita. As caixas foram sobrepostas umas sobre as outras em altura de cinco caixas e a cada 30 dias foi realizado rodízio para homogeneizar as condições.
- f) Teor dos macronutrientes N, P, K, Ca e Mg no tecido foliar (g kg^{-1}): analisou-se a folha índice (folha mais nova totalmente expandida no meio do ciclo) coletadas no início da bulbificação em 10/10/2012 e 30/09/2013.

Foi determinado o teor crítico de N para a dose de máxima eficiência técnica.

Para análise de nutrientes no tecido foliar foram coletadas folhas de oito plantas por parcela e acondicionadas em pacotes de papel e secas em estufa de circulação forçada de ar a 65°C até atingirem massa constante. Em seguida foram trituradas em partículas com diâmetro inferior a 1 mm em moinho Willey. Para determinação do teor de nutrientes, as amostras foram submetidas à digestão nitro-perclórica para as análises de P, K, Ca, Mg e à digestão sulfúrica para a análise de N (Tedesco et al., 1995). Os teores de N, foram determinados pelo método de arraste de vapores em aparelho semi-micro Kjeldahl (Tedesco et al., 1995). Os teores de P foram determinados por colorimetria; o teor de K por fotometria de chama e os teores de Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica (Tedesco et al., 1995).

A colheita dos bulbos foi realizada quando aproximadamente 70 % das plantas apresentaram tombamento da parte aérea (estalamento) em 23/11/2012 (175 DAS) e 28/11/2013 (180 DAS) na primeira safra e 24/11/2012 (180 DAS) e 02/12/2013 (188 DAS) na segunda safra avaliada, respectivamente para as cultivares Bola Precoce e Crioula. Após serem colhidos, os bulbos permaneceram na lavoura sobre o solo por cerca de 12 dias, no processo denominado de pré-cura. Posteriormente, os bulbos foram separados em sadios, defeituosos e deteriorados, e em seguida efetuou-se a classificação comercial, quantificação e pesagem.

Foi realizada análise econômica onde a produção de máxima eficiência econômica foi estimada pelo cálculo da derivada das equações de regressão obtidas entre a quantidade de N aplicada, o rendimento e os preços dos bulbos comercializados e do N. Esta metodologia

está baseada na lei dos incrementos decrescentes que serve de base para a definição da dose mais econômica de um insumo (Raij, 1991). Para o cálculo considerou-se o preço médio pago ao produtor no estado de Santa Catarina para cebola de R\$ 0,78 kg⁻¹ de bulbo e do N oriundo do nitrato de amônio (32 % N) que foi de R\$ 2,95 kg⁻¹ de N, praticado na média das últimas cinco safras de 2009 a 2013 (Epagri/Cepa, 2014).

Os dados foram submetidos ao teste de Bartlett para verificar a homogeneidade das variâncias. Os valores em porcentagem foram transformados em arc-seno $(P/100)^{0,5}$ para realizar a análise de variância. O efeito dos fatores principais e da interação entre eles foi avaliado estatisticamente por meio da análise de variância (ANOVA); o efeito das doses de N foi avaliado por meio de análise de regressão, sendo selecionada aquela equação com significância ($p \leq 0,05$) e maior coeficiente de determinação (R^2). Os experimentos foram avaliados separadamente dentro de cada safra. Para a realização das análises estatísticas foi utilizado o programa ASSISTAT 7.7 Beta e SigmaPlot 11.0. Este último também foi usado para elaboração dos gráficos.

2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No teste de Bartlett verificou-se homogeneidade ($p \leq 0,05$) para todos os dados analisados. Na Tabela 5 são apresentados os resultados da análise estatística para as variáveis rendimento de bulbos total, comercial e das classes 2, 3 e 4, massa média de bulbos, altura de planta, número de folhas por planta, perda pós-colheita e teor de macronutrientes no tecido foliar (N, P, K, Ca e Mg) para os fatores cultivar (teste F) e doses de N (regressão) para cebola no sistema de semeadura direta para as safras 2012/13 e 2013/14.

Rendimento de bulbos total e comercial

O rendimento de bulbos total foi influenciado pelas cultivares na safra 2012/13 e pelas doses de N em ambas as safras (Tabela 5). O rendimento na safra 2012/13 foi 9,5 % superior para a cultivar Bola Precoce em relação à Crioula, cujos rendimentos foram de 28,75 e 26,25 Mg ha⁻¹, respectivamente (Tabela 6). Na safra seguinte o rendimento total entre as duas cultivares não diferiu e foi em média de 36,8 Mg ha⁻¹.

Tabela 5. Resultados da análise estatística (teste F e regressão para doses de N) para as variáveis rendimento de bulbos total, comercial, classes 2, 3 e 4, massa média de bulbos, altura, número de folhas por planta, perda pós-colheita e teor de macronutrientes no tecido foliar (N, P, K, Ca e Mg) para os fatores cultivar e doses de N para cebola no sistema de semeadura direta nas safras 2012/13 e 2013/14.

Variável analisada	----- Teste F -----			----- Regressão -----		----- CV% -----	
	Dose (D)	Cultivar (cv)	D x cv	Linear (D)	Quadrática (D)	Parcela (cv)	Sub-parcela (D)
Saфра 2012/13							
Rendimento bulbos							
Total	*	*	ns	*	*	12,44	10,54
Comercial	*	*	ns	*	**	4,34	10,30
Classe 2	ns	**	ns	ns	ns	12,21	24,28
Classe 3	**	ns	ns	ns	**	14,89	20,24
Classe 4	*	**	ns	ns	*	11,16	34,46
Massa de bulbos	**	**	ns	ns	**	8,25	4,95
Altura de plantas	**	ns	ns	**	*	4,15	4,87
Nº folhas por planta	**	ns	ns	**	*	4,87	5,27
Perda pós-colheita	**	*	ns	**	ns	23,17	17,05
Teor foliar							
N	**	ns	ns	**	ns	4,09	5,42
K	ns	ns	ns	ns	ns	18,88	13,42
P	ns	ns	ns	ns	ns	17,77	13,80
Ca	*	ns	ns	*	ns	26,34	17,81
Mg	*	ns	ns	*	ns	25,07	16,10
Saфра 2013/14							
Rendimento bulbos							
Total	**	ns	ns	**	**	16,30	5,82
Comercial	**	ns	ns	**	**	20,53	8,12
Classe 2	**	*	ns	**	*	22,87	17,31
Classe 3	**	ns	*	**	**	12,46	13,67
Classe 4	**	ns	ns	**	**	51,55	24,93
Massa de bulbos	**	ns	*	**	**	14,29	5,98
Altura de plantas	**	ns	ns	**	**	6,50	5,13
Nº folhas por planta	**	ns	ns	**	ns	4,87	5,27
Perda pós-colheita	ns	ns	*	ns	ns	31,33	14,21
Teor foliar							
N	**	**	ns	**	**	2,77	4,56
K	**	ns	ns	**	ns	10,65	5,52
P	**	ns	ns	**	*	11,85	7,77
Ca	**	ns	ns	**	ns	18,41	8,37
Mg foliar	**	ns	ns	**	ns	12,62	5,58

ns, *, **: respectivamente, não significativo a 5% de probabilidade, significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo Teste F ou análise de regressão para o fator doses de N.

Tabela 6. Valores médios de rendimento de bulbos total, comercial, bulbos das classes 2, 3 e 4, massa de bulbos, altura, número de folhas por planta, perda pós-colheita e macronutrientes no tecido foliar (N, P, K, Ca e Mg) para as cvs. de cebola Bola Precoce e Crioula.

Variável analisada	Unidade	Bola Precoce	Crioula
Safrá 2012/13			
Rendimento bulbos			
Total	t ha ⁻¹	28,75 A	26,25 B
Comercial	t ha ⁻¹	27,40 A	24,76 B
Classe 2	t ha ⁻¹	13,02 A	8,40 B
Classe 3	t ha ⁻¹	12,43 ns	12,31
Classe 4	t ha ⁻¹	1,95 B	4,05 A
Massa de bulbos	g	66,55 B	82,02 A
Altura de plantas	cm	61,14 ns	62,34
Nº de folhas por plantas	unidade	8,24 ns	8,12
Perda pós-colheita	(%)	36,3 A	20,8 B
Teor foliar			
N	g kg ⁻¹	37,6 ns	38,0
K	g kg ⁻¹	29,8 ns	31,4
P	g kg ⁻¹	2,45 ns	2,58
Ca	g kg ⁻¹	10,9 ns	9,70
Mg	g kg ⁻¹	3,44 ns	3,1
Safrá 2013/14			
Rendimento bulbos			
Total	t ha ⁻¹	38,17 ns	35,42
Comercial	t ha ⁻¹	37,16 ns	35,21
Classe 2	t ha ⁻¹	8,32 B	11,61 A
Classe 3	t ha ⁻¹	14,88 ns	14,74
Classe 4	t ha ⁻¹	13,95 ns	8,86
Massa de bulbos	g	98,56 *	86,60
Altura de plantas	cm	54,5 ns	51,20
Nº de folhas por plantas	unidade	5,5 ns	5,3
Perda pós-colheita	(%)	20,0 *	15,1
Teor foliar			
N	g kg ⁻¹	30,52 B	32,28 A
K	g kg ⁻¹	32,73 ns	33,02
P	g kg ⁻¹	3,48 ns	3,55
Ca	g kg ⁻¹	7,92 ns	7,84
Mg	g kg ⁻¹	2,63 ns	2,68

Valores seguidos de letras diferentes na linha, diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade; ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade; *: interação entre fatores.

Para o fator doses de N, o rendimento de bulbos total aumentou de forma quadrática para ambas as cultivares com o incremento das doses de N nas duas safras avaliadas (Figura 6A). Na safra 2012/13, o rendimento médio das duas cultivares passou de 24,7 t ha⁻¹ no

tratamento sem adição de N, para 29,0 t ha⁻¹ na dose de máxima eficiência técnica (MET), estimado com a adição de 156,9 kg ha⁻¹ de N, o que representou um incremento de 17,3%.

Na safra 2013/14, o rendimento total teve aumento mais expressivo, passando de 23,6 t ha⁻¹ na testemunha sem N, para 43,5 t ha⁻¹ na dose de MET que situou-se em 192,4 kg ha⁻¹, representando um incremento de 84,3 % pela adição do nutriente.

A maior demanda por N nesta última safra pode ser atribuída em parte, a precipitação pluviométrica significativamente maior (40 % superior) durante o período de cultivo, o que pode ter favorecido a lixiviação de NO₃⁻ no solo (Tabela 3). Outros fatores climáticos como temperatura e insolação (horas de brilho solar) podem ter contribuído para o maior rendimento nesta última safra. As temperaturas e insolação durante a fase de crescimento vegetativo (agosto e setembro) foram superiores no ano de 2012, favorecendo o desenvolvimento vegetativo. No entanto, a insolação no mês de outubro deste ano foi muito baixa na fase de bulbificação, momento que ocorre os maiores acúmulos de massa seca (vide capítulo 1), cerca de 60% inferior em relação à 2013. Além disso, as temperaturas mais elevadas no ano de 2012 podem ter favorecido a mineralização da matéria orgânica e contribuindo para menores respostas a este nutriente.

O maior potencial produtivo da safra 2013/14 também pode ter aumentado a demanda por nutrientes, em especial de N, que é o primeiro (Santos, 2007; May et al., 2008) ou segundo (Pôrto et al., 2006, 2007; Vidigal et al., 2010) nutriente mais absorvido pela cebola.

As quantidades necessárias de N para o máximo rendimento neste estudo foram superiores aquelas observadas por May et al. (2007) em trabalho realizado no estado de São Paulo, onde os rendimentos máximos de 72,0 t ha⁻¹ e 78,9 t ha⁻¹ foram obtidos com a adição de 125 e 120 kg ha⁻¹ para os híbridos Optima e Superex, respectivamente, em sistema de semeadura direta. A necessidade de doses superiores de N no presente trabalho, provavelmente se deve às diferenças entre os materiais genéticos, uma vez que as cultivares adotadas no presente estudo, além de outras diferenças, possuem um ciclo cerca de 30 dias maior. Além disso, as condições edafoclimáticas são bastante distintas entre as duas regiões, principalmente o regime de chuvas que normalmente é maior no Sul durante as respectivas épocas de cultivo, o que pode favorecer a lixiviação de NO₃⁻.

Kurtz et al. (2012), avaliando doses de N para a cultivar Bola Precoce no sistema de transplante no município de Ituporanga, SC na mesma área experimental do presente estudo,

verificaram que as doses que proporcionaram a MET variaram de 124 a 153 kg ha⁻¹ no sistema convencional de manejo do solo em duas safras avaliadas. A necessidade de doses maiores de N no sistema de semeadura direta do que aquelas encontradas para o sistema de transplante de mudas, a exemplo do que ocorreu na safra 2013/14, pode ser em parte devido ao maior ciclo que ocorre a campo na semeadura direta que é de aproximadamente 180 dias, ao passo que no sistema de transplante é de cerca de 120 dias. Além disso, no sistema de semeadura direta geralmente se utiliza populações de plantas maiores do que aquelas adotadas no sistema de transplante aumentando assim a exigência por N (May et al., 2007).

Diversos autores também encontraram efeito positivo para adição de N para cebola no sistema de transplante, onde foram necessários entre 180 e 200 kg ha⁻¹ de N, em solos de Minas Gerais (Vidigal, 2000), 180 kg ha⁻¹ de N em um Latossolo no estado de Pernambuco para a cultivar IPA 10 (Resende et al., 2009) e 161 e 216 kg ha⁻¹ de N para as cultivares Alfa Tropical e Alfa São Francisco, respectivamente, em um Latossolo de Pernambuco (Resende & Costa, 2014) e 224 kg ha⁻¹ de N em solo dos EUA (Halvarson et al., 2002).

Entre as duas safras estudadas, verificou-se que na safra 2013/14 a eficiência de uso do N pela cebola foi muito superior com um incremento de 103,1 kg de bulbos para cada kg de N adicionado, enquanto que na safra anterior houve um aumento de apenas 27,3 kg de bulbos para cada kg de N adicionado. Vidigal (2000), observou um incremento no rendimento de 39,4 a 96,3 kg de bulbo para cada kg de N aplicado, dependendo da fonte de N, do sistema de parcelamento e do tipo de solo. Já Resende & Costa (2014), verificaram valores superiores de eficiência de uso do N com um índice de 113,0 kg de bulbos por kg de N adicionado para a cv. Alfa São Francisco e 143,3 kg de bulbo por kg de N adicionado para a cv. Alfa Tropical.

Comparando as diferenças entre as duas safras e considerando que o experimento foi conduzido na mesma área experimental e com o emprego do mesmo sistema tecnológico de cultivo, as diferenças de rendimento e eficiência de uso de N, provavelmente ocorreram em função das condições climáticas que não permitiram as plantas expressarem seu potencial produtivo na safra 2012/13 comparativamente com a safra 2013/14 (Tabelas 3 e 4). Isso fica evidenciado pelo rendimento médio estadual da safra 2013/14 foi 30,5 % superior ao da safra 2012/13. No entanto, os rendimentos obtidos nos experimentos em ambas as safras foram superiores às médias registradas para o estado de Santa Catarina que se situaram em 20,03 e 26,14 t ha⁻¹, respectivamente para as safras 2012/13 e 2013/14 (Schmitt, 2014).

O rendimento comercial de bulbos apresentou comportamento similar ao rendimento total, diferindo entre as cultivares na safra 2012/13 e com incrementos de rendimento com o acréscimo nas doses de N em ambas as safras (Tabela 5). Na safra 2012/13, a cultivar Bola Precoce apresentou rendimento 10,7 % superior com produção de 27,40 t ha⁻¹ em relação a cultivar Crioula que foi de 24,76 t ha⁻¹ (Tabela 06). Na safra seguinte, não houve diferença entre as cultivares e foi em média de 37,16 t ha⁻¹ e 35,10 t ha⁻¹ para as cvs. Bola Precoce e Crioula, respectivamente.

Para o fator doses de N na safra 2012/13, houve acréscimos no rendimento comercial de forma quadrática para ambas as cultivares, aumentando de 23,7 t ha⁻¹ na testemunha sem N, para 27,4 t ha⁻¹ na dose MET, estimada em 149,3 kg ha⁻¹ de N, ou seja, um aumento de 15,6 % (Figura 6B). Na safra seguinte, ambas as cultivares apresentaram aumento no rendimento comercial de forma quadrática com um rendimento de 23,6 t ha⁻¹ na testemunha e 42,6 t ha⁻¹ na dose de MET, estimada com a adição de 193,1 kg ha⁻¹ de N, o que representa um incremento de 80,3 %.

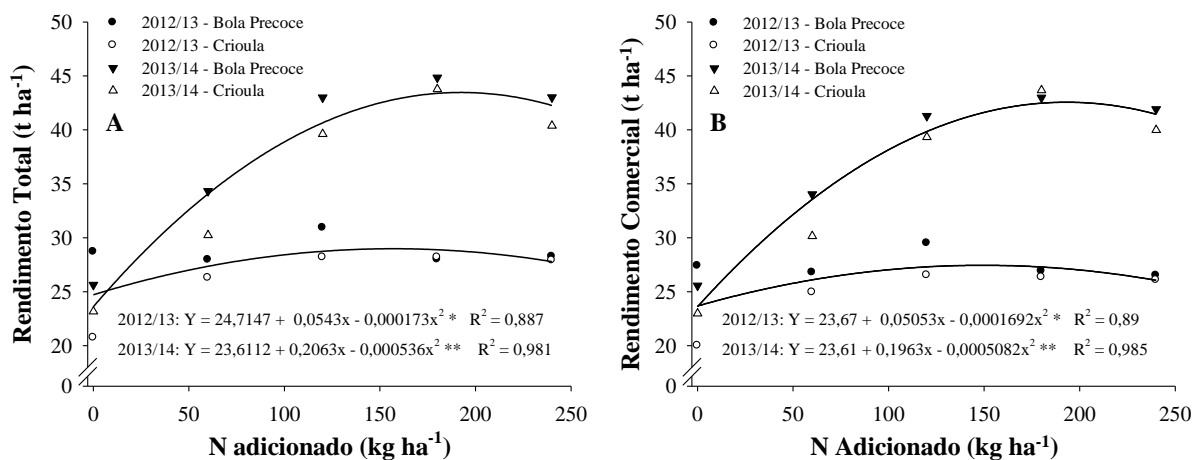


Figura 6. Rendimento total (A) e comercial (B) das cultivares de cebola Bola Precoce e Crioula nas safras 2012/13 e 2013/14, em função da aplicação de doses crescentes de nitrogênio. *, **: significativo a 5 e 1%, respectivamente.

A massa média de bulbos foi influenciada pelas cultivares e doses de N na safra 2012/13 e na safra subsequente houve interação entre os dois fatores estudados (Tabela 5). Na safra 2012/13, a massa de bulbos foi 16,6 % maior na cultivar Crioula com 82,0 g, enquanto que a cultivar Bola Precoce o peso foi de 66,6 g por bulbo (Tabela 6). A massa maior de bulbos nesta primeira safra para a cultivar Crioula é decorrente da menor população de

plantas, já que o rendimento total de bulbos foi menor para esta cultivar. Nesta safra, a massa de bulbos aumentou de forma quadrática com os incrementos nas doses de N, passando de 68,9 g na testemunha para o peso máximo de 74,5 g na dose estimada de 123,5 kg ha⁻¹ de N (Figura 7A).

Na safra 2013/14, na qual ocorreu interação, os resultados foram apresentados separadamente para cada cultivar. As cultivares apresentaram diferenças entre si nas doses de 120 e 240 kg ha⁻¹, onde as massas de bulbos foram maiores para a cultivar Bola Precoce e não diferiram nas demais doses avaliadas. Em relação ao fator doses de N, as duas cultivares apresentaram comportamento similar com aumentos no peso médio de bulbos de forma quadrática com o aumento dos níveis de N adicionados. Para a cv. Bola Precoce houve um incremento de 78,7 % no peso médio de bulbos pela adição de N, passando de 64,9 g na testemunha sem N, para um máximo de 115,9 g por bulbo, obtido com a dose estimada de 200,0 kg ha⁻¹. De maneira semelhante, a cv. Crioula apresentou um incremento de 81 % no peso médio de bulbos com a adição de N, aumentando de 55,7 g na testemunha para o valor máximo 102,6 g, na dose estimada de 201,1 kg ha⁻¹ de N.

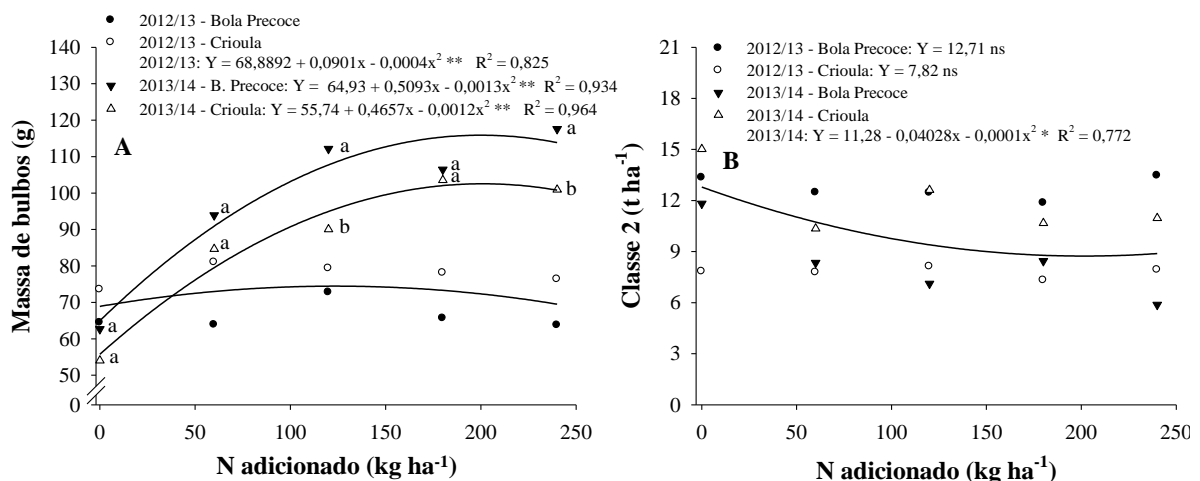


Figura 7. Massa média de bulbos (A) e bulbos da classe 2 (B) para as cultivares de cebola Bola Precoce e Crioula nas safras 2012/13 e 2013/14 em função da aplicação de doses crescentes de nitrogênio. Para a safra 2013/14 para a massa média de bulbos, letras iguais dentro de cada dose para o fator cultivar não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. ns, *, **: não significativo, significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

May et al. (2007) também observaram aumentos no peso médio de bulbos com o incremento das doses de N até o limite máximo estudado de 150 kg ha⁻¹ de N em sistema de semeadura direta. Kurtz et al. (2012) verificaram que as doses de N que proporcionaram os maiores pesos de bulbos foram de 112 e 156 kg ha⁻¹ de N em duas safras avaliadas no mesmo solo do presente estudo no sistema de transplante. Outros autores, embora em sistema de transplante, também observaram incrementos no peso de bulbos com o aumento das doses de N (Faria & Pereira, 1992; Batal et al., 1994; Mandira & Khan, 2003; Singh et al., 2004; Resende et al., 2008).

O maior retorno econômico da produção de cebola para ambas as cultivares considerando preço do N e dos bulbos em função da adubação nitrogenada foi atingido com a aplicação de 146 e 192 kg ha⁻¹ de N, respectivamente nas safras 2012/13 e 2013/14. Portanto, verifica-se que as doses recomendadas atualmente para os estados do RS e SC para o sistema de transplante (CQFS–RS/ SC, 2004), são insuficientes para atingir a máxima eficiência econômica para a cultura da cebola no sistema de semeadura direta. O que corrobora com as observações de Resende & Costa (2014), em que ao avaliarem as doses de N em sistema de transplante no Nordeste do Brasil, verificaram que a máxima eficiência econômica foi atingida com a adição de 156,6 kg ha⁻¹ para a cultivar Alfa Tropical e de 213,8 kg ha⁻¹ para a cultivar Alfa São Francisco.

Classificação comercial dos bulbos

O rendimento de bulbos da Classe 2 (diâmetro de 35 a 50 mm) foi influenciada pelas cultivares nas duas safras avaliadas e pelas doses de N somente na safra 2013/14 (Tabela 5). Na safra 2012/13, a produção de bulbos desta classe foi maior para a cultivar Bola Precoce com produção de 12,71 t ha⁻¹ ao passo que para a cultivar Crioula totalizou 7,82 t ha⁻¹ (Tabela 6). Desse modo, verifica-se que embora a cv. Bola Precoce tenha apresentado um rendimento total superior (Figura 7B), este foi basicamente com bulbos da classe 2, que são indesejáveis pelo mercado em função do tamanho reduzido. Já na safra 2013/14, houve um comportamento diferente em que a cultivar Bola Precoce apresentou menor produção de bulbos desta classe com 8,32 t ha⁻¹ comparado a cultivar Crioula que foi 11,61 t ha⁻¹. Nesta safra, houve uma redução de forma quadrática da quantidade de bulbos da classe 2 com o incremento das doses de N com a produção mínima de bulbos de 7,22 t ha⁻¹ na dose estimada de 201,4 kg ha⁻¹ de N. Estes dados demonstram que as doses encontradas para o rendimento e peso máximo de

bulbos são próximas também para obter o mínimo de bulbos de tamanho pequeno. Isso decorre em função que a adição de doses crescentes de N aumenta o tamanho dos bulbos e o rendimento, reduzindo a quantidade de bulbos de tamanho pequeno. May et al. (2007) e Resende et al. (2008) também obtiveram maior produção de bulbos de diâmetro comercializável quando aumentaram as doses de N.

A produção de bulbos das classes 3 e 4 abrangeu a maior parte da produção e em ambas as safras foi superior para a classe 3 (diâmetro de 50 a 70 mm) que são os bulbos preferidos pelo mercado consumidor (Cecilio Filho et al., 2010) (Figura 8).

Na safra 2012/13, a produção de bulbos da classe 3 não foi influenciada pelas cultivares, mas teve crescimento de forma quadrática com o acréscimo da quantidade de N aplicado. Passou de 11,1 t ha⁻¹ na testemunha para a produção máxima de 13,5 t ha⁻¹, estimada com a dose de 116,6 kg ha⁻¹ de N (Figura 8A). Já a produção de bulbos da classe 4 (diâmetro de 70 a 90 mm) foi baixa e significativamente maior para a cv. Crioula com 3,80 t ha⁻¹ em relação a cv. Bola Precoce que foi de 1,97 t ha⁻¹. Esta classe também apresentou aumento na produção de maneira quadrática com o incremento nas doses de N e produziu 2,7 t ha⁻¹ sem adição de N e atingiu a produção máxima de 3,4 t ha⁻¹, estimada com a adição de 100,1 kg ha⁻¹ de N.

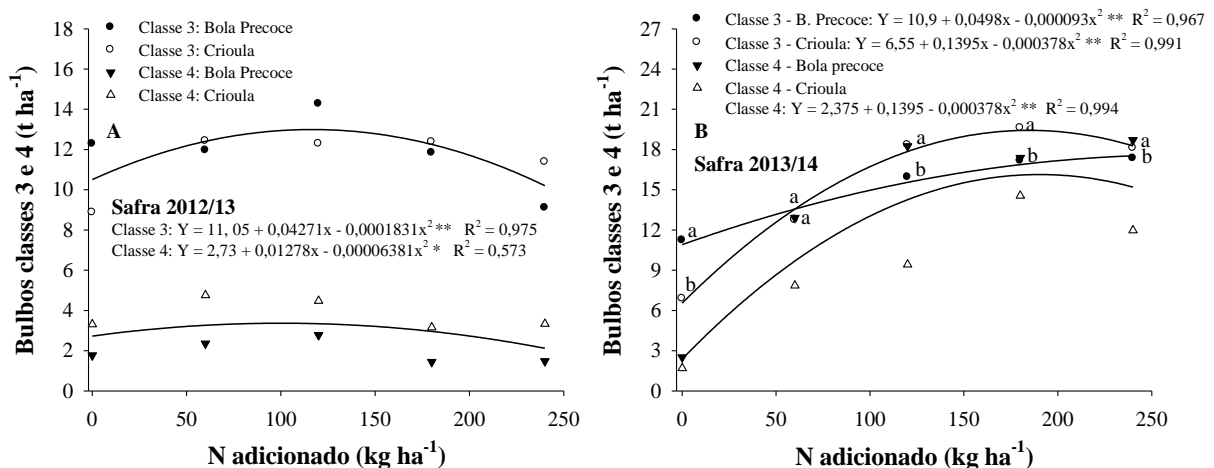


Figura 8. Produção de bulbos das classes 3 e 4 nas safras 2012/13 (A) e 2013/14 (B) em função da aplicação de doses crescentes de nitrogênio. Na safra 2013/14 para a classe 3, letras iguais dentro de cada dose para o fator cultivar não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. *, **: significativo a 5 e 1%, respectivamente.

Na safra 2013/14, para a classe 3 ocorreu interação entre os fatores estudados e a classe 4 apresentou efeito significativo apenas para o fator doses de N (Figura 8B). Para a

produção de bulbos da classe 3, observou-se que a cv. Bola Precoce teve produção superior no tratamento sem adição de N, foi igual na dose de 60 kg ha⁻¹ e inferior que a cv. Crioula nas doses mais elevadas. Isto demonstra uma resposta maior da cv. Crioula em relação à cv. Bola Precoce, quando se adicionou doses superiores a 60 kg ha⁻¹ de N e, por outro lado, uma maior capacidade de produção da cv. Bola Precoce quando a disponibilidade de N foi baixa no solo (tratamento sem adição de N).

Para o fator doses de N (safra 2013/14), verificou-se para as duas cultivares um incremento na produção de forma quadrática com o aumento das doses de N. Para a cv. Bola Precoce a produção da classe 3 aumentou com o acréscimo das doses de N e situou-se acima do intervalo das doses estudadas e foi de 17,52 t ha⁻¹ na dose máxima avaliada de 240 kg ha⁻¹. Já a cv. Crioula apresentou produção máxima de 19,5 t ha⁻¹ estimada com a adição de 184,5 kg ha⁻¹ de N. Nesta mesma safra, a produção de bulbos da classe 4 para ambas as cultivares também aumentou com o incremento das doses de N e alcançou o teto máximo de 15,5 t ha⁻¹, também estimada com a dose de 184,5 kg ha⁻¹. Segundo Cecilio Filho et al. (2010), o aumento das doses de N, incrementaram a participação de bulbos da classe 3 e foi crescente até 137 kg ha⁻¹ de N. Assim, pôde-se notar a grande importância do N para o aumento de bulbos comercialmente desejáveis (Maier et al., 1990).

A produção de bulbos maiores (classe 3 e 4), além de estar diretamente relacionada com o aumento no rendimento, também aumenta a remuneração da produção, pois bulbos com diâmetro inferior a 50 mm apresentam menor aceitação comercial e valor de mercado. Os bulbos de peso médio, entre 100 e 150 g, são os preferidos pelo mercado consumidor. Bulbos de tamanho muito grande devem ser evitados, pois, além de terem menor aceitação comercial, são mais suscetíveis ao apodrecimento (Batal et al., 1994). Os tratamentos com as maiores doses de N proporcionaram bulbos maiores nas duas safras avaliadas. Além da dose de N, o tamanho dos bulbos pode ser controlado pela variação na população de plantas (Stoffella, 1996; Santos et al., 2000; Dellacecca & Lovato, 2000); quanto maior a população de plantas, maior é a quantidade de N necessária para manter a massa de bulbos (May, 2006).

Altura e número de folhas por planta

A altura de plantas não foi influenciada pelas cultivares, mas aumentou com o acréscimo das doses de N nas duas safras (Tabelas 5). Na safra 2012/13, a altura de plantas foi em média de 61,1 e 62,3 cm, respectivamente para as cultivares Bola Precoce e Crioula

(Tabela 6) e teve incrementos de forma quadrática com o aumento das doses de N, passando de 57,6 cm na testemunha para um máximo de 64,5 cm com a dose estimada em 179,1 kg ha⁻¹ de N (Figura 9A). Na safra seguinte, também houve incrementos de forma quadrática na altura, passando de 46,4 cm no tratamento sem a adição de N, para 56,2 cm no ponto máximo, com a dose estimada em 196,6 kg ha⁻¹ de N. A altura menor das plantas na safra 2013/14, provavelmente se deve ao atraso no crescimento relacionado às condições climáticas, principalmente menores temperaturas na fase de crescimento vegetativo (Tabela 3), demonstrada também pela colheita atrasada que ocorreu com um ciclo de cerca de uma semana a mais do que na safra 2012/13.

O incremento na altura de planta e consequente área foliar com a aplicação de doses maiores de nitrogênio pode proporcionar maior capacidade de produção de fotoassimilados, capaz de refletir na produtividade de bulbos (Cecilio Filho et al., 2010). May (2006), ao avaliar duas cultivares de cebola em sistema de semeadura direta, também obteve aumentos na altura das plantas com a adição de doses crescentes de N, passando de 58,8 cm na testemunha para 80 cm na maior dose avaliada de 150 kg ha⁻¹ de N. Resultados semelhantes foram registrados por Kurtz et al. (2012) para o sistema de transplante, em que as alturas de plantas foram incrementadas até as doses de 167 e 183 kg ha⁻¹ de N, respectivamente nas safras 2008/09 e 2009/10. Os resultados deste estudo mostram que, para atingir a altura máxima das plantas, são necessárias quantidades maiores de N do que aquelas para obter o rendimento máximo, concordando com resultados de outros trabalhos (May, 2006; Cecilio Filho, et al., 2010; Kurtz et al., 2012, 2013) e demonstrando que não são as maiores alturas ou portes de planta que irão proporcionar os maiores rendimentos.

A quantidade de folhas por planta, a exemplo da altura, também não foi afetada pelas cultivares, mas aumentou com o incremento das doses de N (Tabela 5). Na primeira safra avaliada, o número de folhas por plantas foi em média de 8,2 e 7,7, respectivamente para as cultivares Bola Precoce e Crioula (Tabela 6). O incremento das doses de N promoveu aumento de forma linear na quantidade de folhas, passando de 7,8 na testemunha para 8,6 na dose máxima avaliada de 240 kg ha⁻¹ de N (Figura 9B). Já na safra posterior houve aumento de forma quadrática no número de folhas por planta passando de 5,0 na testemunha para 5,6 no ponto máximo, estimado com a adição de 182,5 kg ha⁻¹ de N. A quantidade menor de folhas na safra 2013/14, se deve em parte a época de avaliação que foi 11 dias antes que a safra anterior e também as condições climáticas, principalmente as temperaturas mais baixas

nos meses de agosto e setembro, quando ocorre a fase de crescimento vegetativo das plantas (Tabela 3).

Cecilio Filho et al. (2010), ao avaliar doses de N em sistema de semeadura direta observaram que as plantas apresentaram o maior número de folhas com a aplicação de 150 kg ha⁻¹ de N com 7,2 folhas, enquanto que sem a aplicação de N o número de folhas foi de 6,5 folhas por planta. Assim como observado para a altura da planta, o nitrogênio influenciou o número de folhas da planta, resultando em maior vigor da parte aérea com maiores doses do nutriente. Asiegbu (1989) observou aumento no número de folhas aos 150 dias após a semeadura, com aplicação de doses de até 200 kg ha⁻¹ de N. Khan et al. (2002), relataram incremento em número de folhas por planta com utilização de doses de N até 100 kg ha⁻¹. O incremento no número de folhas por planta de cebola pela adição de N foram também obtidos por May (2006) e Kurtz et al. (2012, 2013). Tanto a quantidade de folhas quanto a altura das folhas interferem na área foliar por planta e estão diretamente relacionadas com o rendimento, que pode ser explicado pela maior área fotossintética e, principalmente, pelo fato de o bulbo ser formado pelo acúmulo de reservas na base da bainha das últimas folhas formadas (INIA, 2005; Brewster, 2008).

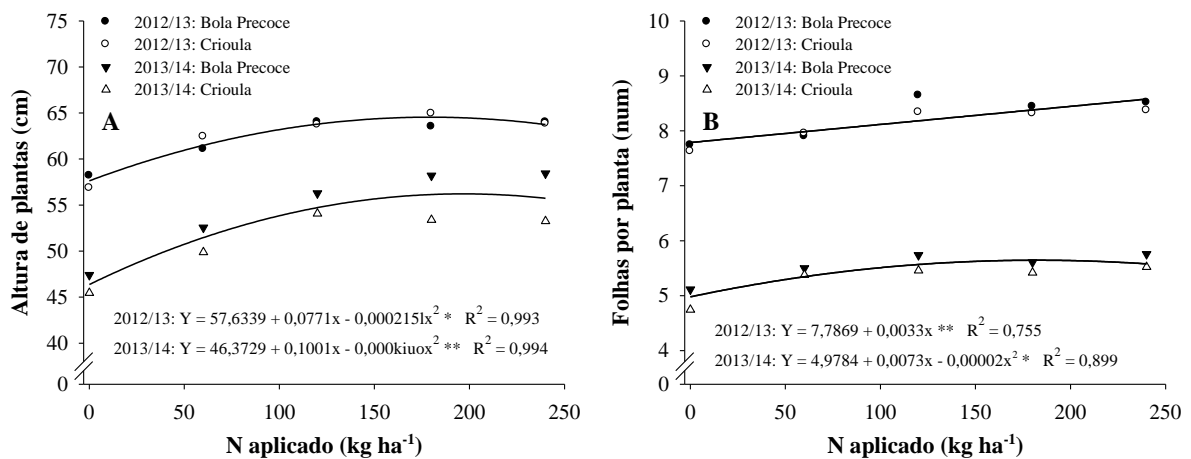


Figura 9: Altura (A) e número de folhas (B) por planta para as cultivares de cebola Bola Precoce e Crioula nas safras 2012/13 e 2013/14 em função da aplicação de doses crescentes de nitrogênio. *, **: significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

Perdas em Pós-colheita

As perdas pela deterioração dos bulbos em pós-colheita após quatro meses de armazenamento foram afetadas pelas cultivares e doses de N na safra 2012/13, enquanto que na safra seguinte houve interação entre os fatores e somente a cultivar Crioula foi afetada pelo aumento das doses de N (Tabelas 5 e 6). Na safra 2012/13, a cultivar Bola Precoce apresentou maiores perdas alcançando em média 36,3 % da produção, ao passo que a cultivar Crioula apresentou uma perda de 20,8 %, representando uma perda proporcional de 74,5 % superior para a cultivar de ciclo precoce.

Estes resultados podem ter advindos das características intrínsecas da cultivar Crioula que apresenta película mais resistente, maior pungência e consequente maior capacidade de armazenagem (Epagri, 2013) se colhida nas mesmas condições de outras cultivares. Este fato pode ser também devido a efeitos das condições climáticas em que bulbos colhidos em condições mais úmidas e de altas temperaturas apodrecem mais no armazenamento pela incidência de bactérias que são favorecidas por estas condições (Wordell Filho & Boff, 2006). Nesta safra, também se observou um aumento de forma linear nas perdas com o aumento das doses de N, passando de 20,7 % na testemunha para 36,5 % na maior dose avaliada de 240 kg ha⁻¹ de N (Figura 10).

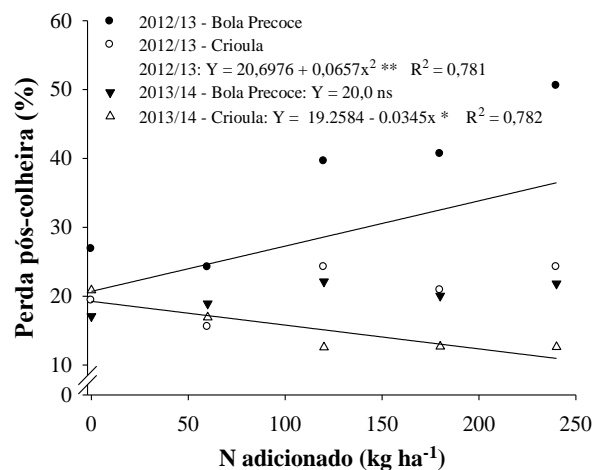


Figura 10: Perda pós-colheita para as cultivares de cebola Bola Precoce e Crioula nas safras 2012/13 e 2013/14, em função da aplicação de doses crescentes de nitrogênio. ns, *, **: não significativo, significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

Kurtz et al. (2012), também observaram aumentos das perdas pelo aumento das doses de N no sistema de transplante para a cultivar Bola Precoce na safra 2008/09,

umentando de 19,5 % na testemunha, para um máximo de 34,5 % na dose de 158 kg ha⁻¹ de N. No entanto, estes autores na safra seguinte, não observaram influência do N nas perdas em pós-colheita, atribuídas a menor precipitação pluviométrica no final do ciclo. Este fato também foi observado no presente trabalho, pois embora a precipitação tenha sido menor na safra 2012/13, esta foi alta e aproximadamente 100 % superior nos meses de outubro e novembro em relação à safra 2013/14, cujas perdas foram menores. Resende & Costa (2014), ao avaliar as perdas em pós-colheita aos 60 dias após a cura, também verificaram aumentos nas perdas com o incremento das doses de N e esta variável foi máxima com a adição de 149 kg ha⁻¹ de N.

Na safra 2013/14, houve interação entre os fatores em estudo. Desmembrando as cultivares para avaliar o fator dose de N, verificou-se ausência de resposta para a cultivar Bola Precoce com perda média de 20,0 %. Por outro lado, houve uma redução de forma linear nas perdas para a cultivar Crioula de 19,3 % no tratamento sem N para 11,0 % na dose máxima avaliada de 240 kg ha⁻¹ de N (Figura 10). Este fato pode ter ocorrido em função de que o aumento das doses de N favoreceram o estalo das plantas na fase final do ciclo, impedindo a entrada de água no pseudo-caule nos tratamentos com doses maiores de N evitando a proliferação de agentes, principalmente bactérias, que provocam o apodrecimento dos bulbos no armazenamento.

Segundo May (2006), na ausência ou sob baixas doses de N, as plantas não estalam de forma uniforme, e apresentam maior suscetibilidade à infestação por bacterioses, principalmente no final do ciclo. Resultados semelhantes ao deste trabalho foram obtidos por Resende & Costa (2008), que ao avaliar as perdas em pós-colheita aos 80 dias após a cura observaram redução quadrática, com perda mínima com a aplicação de 103,4 kg ha⁻¹ de N e sem adição de K. No entanto, este comportamento de redução de perdas com o aumento das doses de N difere dos resultados obtidos na primeira safra deste estudo e os observados em outros trabalhos (Resende & Costa, 2009, 2014; Kurtz et al., 2012, 2013), o que sugere efeito associado de adubação nitrogenada com condições climáticas.

Macronutrientes no tecido foliar

Na safra 2012/13, observou-se aumento linear nos teores de N com o acréscimo das doses de N adicionadas ao solo de forma similar para ambas as cultivares (Figura 11A). O teor de N passou de 34,3 g kg⁻¹ no tratamento sem adição de N para 41,3 g kg⁻¹ no tratamento

com a dose máxima avaliada de 240 kg ha^{-1} . Na safra seguinte, a cv. Crioula apresentou um teor médio de $32,3 \text{ g kg}^{-1}$, sendo este, significativamente superior ao valor observado para a cv. Bola Precoce que foi $30,5 \text{ g kg}^{-1}$ (Tabelas 5 e 6). Baseado em que os teores de N diminuem ao longo ciclo (Vidigal, 2000), esta diferença pode ser devido a cultivar Crioula ser de ciclo mais tardio e encontra-se numa fase mais juvenil que a cv. Bola Precoce, já que a coleta das folhas foi realizada na mesma data. No entanto, apesar da diferença entre as cultivares, o aumento dos níveis aplicados de N proporcionou aumento quadrático no teor foliar deste nutriente para ambas as cultivares na safra 2013/14 (Figura 11A). Na testemunha o teor foi de $26,0 \text{ g kg}^{-1}$ e alcançou $35,9 \text{ g kg}^{-1}$ na dose máxima avaliada de 240 kg ha^{-1} , sendo que o ponto de máxima da curva ficou acima do intervalo dos níveis de N testados.

Os teores críticos de N no tecido foliar, estimados por meio de equações para o rendimento de máxima eficiência técnica (Figura 6) de ambas as cultivares, obtidos com as aplicações de 157 e 192 kg ha^{-1} de N, situaram-se em $38,9$ e $34,4 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente para as safras 2012/13 e 2013/14.

Vidigal (2000), ao avaliar os teores de N-orgânico no tecido foliar em quatro experimentos no sistema de transplante em cultivo de verão com doses de N variando de 0 a 480 kg ha^{-1} , verificou que os teores de N-orgânico para a máxima eficiência econômica para produção de bulbos, variaram de $24,4$ a $37,9 \text{ g kg}^{-1}$. De maneira semelhante, Kurtz et al. (2013) observaram variação nos teores totais de 24 a 38 g kg^{-1} em três safras avaliadas no sistema de transplante e o nível crítico para o máximo rendimento foi 30 e 33 g kg^{-1} de N em duas safras e os teores de N não foram afetados pela adição de N em uma das safras avaliadas.

Observou-se que na safra 2012/13, o teor de N no tratamento sem aplicação deste nutriente ($34,3 \text{ g kg}^{-1}$) ficou próximo do nível crítico ($38,6 \text{ g kg}^{-1}$), o que pode justificar em parte a menor resposta à adubação nitrogenada em relação a safra 2013/14 (Figura 6). Este fato pode ter ocorrido em função da maior disponibilidade de N na safra 2012/13, oriundo da mineralização da matéria orgânica favorecido por temperaturas mais elevadas e menores índices de precipitação reduzindo assim a lixiviação de nitrato. Além disso, as temperaturas mais elevadas, principalmente nos meses de agosto e setembro, podem ter favorecido o crescimento e maior absorção de N nesta safra ao passo que as condições climáticas foram desfavoráveis na fase de bulbificação pela menor insolação e temperaturas mais elevadas nesta fase podem ter afetado negativamente o enchimento de bulbos. Pois altas temperaturas

no período de bulbificação promove maturação precoce das plantas de cebola afetando negativamente este processo, reduzindo o tamanho dos bulbos (Brewster, 2008).

Para as duas safras avaliadas no presente estudo, os teores de N encontrados situaram-se dentro da faixa adequada para cebola entre 19 e 40 g kg⁻¹ (Reuter & Robinson, 1988; Jones Júnior et al., 1991; Caldwell et al., 1994).

O teor de K no tecido foliar não foi influenciado pelas cultivares e foi afetado pelas doses de N somente na safra 2013/14 (Tabela 5). Os teores médios de K foram de 29,8 e 31,4 g kg⁻¹ na safra 2012/13 e 32,7 e 33,0 g kg⁻¹ na safra seguinte para as cultivares Bola Precoce e Crioula, respectivamente (Tabela 6). Na safra 2013/14, observou-se aumento linear nos teores de K no tecido foliar com o incremento das doses de N, passando de 31,2 g kg⁻¹ na testemunha para 34,6 g kg⁻¹ na dose de 240 kg ha⁻¹ (Figura 11B). Kurtz et al. (2012), também observaram uma elevação de forma linear dos teores de K com o aumento das doses de N em duas, das três safras avaliadas.

Os valores de K encontrados estão dentro da faixa adequada para cebola (20 e 50 g kg⁻¹), de acordo com Jones Júnior et al., 1991, Caldwell et al., 1994 e a CQFS – RS/SC, 2004. O potássio presente nas plantas desempenha um importante papel na abertura e fechamento dos estômatos, regulação do potencial osmótico das células vegetais (Taiz & Zeiger, 2009) e promove em plantas de bulbo como a cebola a redução do potencial osmótico na fase de bulbificação, favorecendo a entrada de água e de fotoassimilados (Brewster, 2008), contribuindo para o enchimento dos bulbos.

O teor de P no tecido foliar não diferiu entre as cultivares nas duas safras avaliadas e apresentou redução na safra 2013/14 com o aumento das doses de N em ambas as cultivares (Tabelas 5 e 6). Os teores médios de P foram de 2,5 e 2,6 g kg⁻¹ na safra 2012/13 e 3,5 e 3,6 g kg⁻¹ na safra seguinte, respectivamente para as cultivares Bola Precoce e Crioula. Para o fator doses de N não houve resposta para esta variável na safra 2012/13 que foi em média de 2,6 g kg⁻¹ (Figura 11C). Já na safra 2013/14, houve redução de forma quadrática dos teores de P com o aumento das doses de N, passando de 4,0 g kg⁻¹ na testemunha para um mínimo de 3,2 g kg⁻¹ que ocorreu exatamente na dose máxima testada de 240 kg ha⁻¹. Esta redução no teor de P no tecido foliar se deve, provavelmente, à diluição deste nutriente nas folhas já que as plantas tiveram maior número de folhas e maior altura de plantas com o aumento das doses de N.

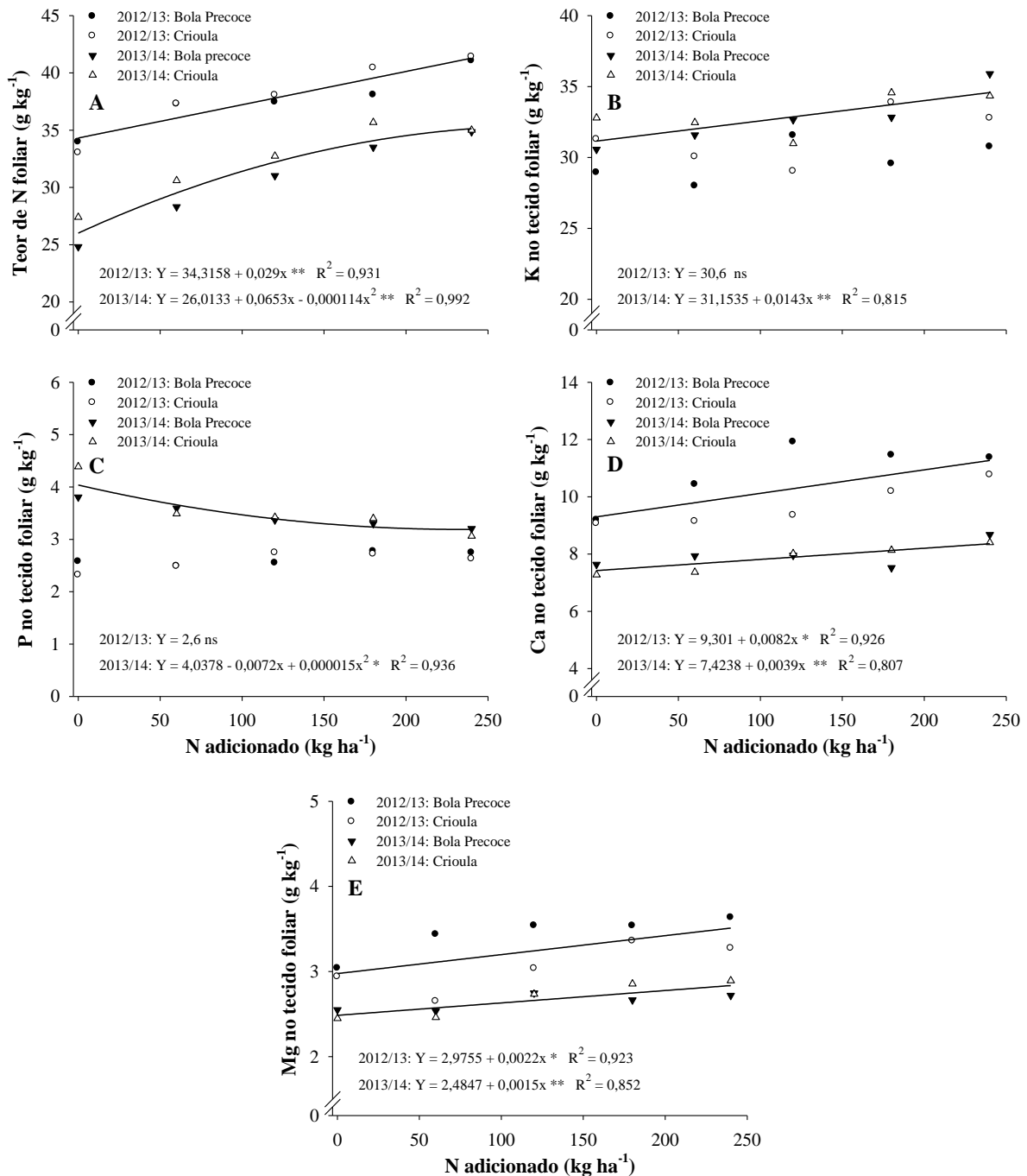


Figura 11. Macronutrientes (N, K, P, Ca e Mg) no tecido foliar para as cultivares de cebola Bola Precoce e Crioula nas safras 2012/13 e 2013/14, em função da aplicação de doses crescentes de nitrogênio. ns, *, **: não significativo, significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

Resultados similares deste estudo foram obtidos por Vidigal (2000) em quatro experimentos, em que o autor atribui a redução dos teores de P no tecido foliar em função da diluição pelo maior crescimento das plantas com o incremento das doses de N. Outro aspecto

que pode ter contribuído é a translocação deste nutriente para os bulbos, cuja produtividade aumentou com o aumento da dose de N (Figura 6). O P é o macronutriente proporcionalmente mais acumulado nos bulbos de cebola (> 65 %) e seu acúmulo na parte aérea praticamente cessa a partir do início da bulbificação, enquanto que seu acúmulo nos bulbos é alto e contínuo até a maturação (Pôrto et al., 2007; Vidigal et al., 2010). Os valores de P encontrados situaram-se dentro da faixa normal para cebola (2,5 e 4,0 g kg⁻¹), segundo Caldwell et al. (1994) e CQFS – RS/SC (2004).

Os teores de Ca no tecido foliar não foram afetados pelo fator cultivar, mas aumentaram com as doses crescentes de N nas duas safras avaliadas (Tabela 5). Na safra 2012/13, para ambas as cultivares, os teores de Ca foram de 9,3 g kg⁻¹ na testemunha e aumentaram de forma linear para 11,3 g kg⁻¹ na dose de 240 kg ha⁻¹, o que representa um aumento na absorção de 21,5 % (Figura 11D). Da mesma forma na safra seguinte, houve aumento linear nos teores de Ca de 12,2 %, passando de 7,4 g kg⁻¹ sem adição de N, para 8,3 g kg⁻¹ na maior dose avaliada. Aumentos nos teores de Ca com o incremento das doses de N, também foram obtidos por Vidigal (2000) e Kurtz, et al. (2012). Os teores de Ca ficaram dentro da faixa considerada ideal para cebola (9 a 35 g kg⁻¹) na safra 2012/13 e abaixo na safra seguinte, segundo Reuter & Robinson (1988), Jones Júnior et al. (1991) e Caldwell et al. (1994) e abaixo do adequado (15 a 30 g kg⁻¹) nas duas safras conforme a CQFS – RS/SC (2004).

Os teores de Mg no tecido foliar variaram de maneira semelhante ao Ca, não sendo afetados pelo fator cultivar, mas aumentando com o incremento das doses de N nas duas safras avaliadas (Tabela 5). Na safra 2012/13, para ambas as cultivares, os teores de Mg aumentaram de forma linear e passaram de 3,0 g kg⁻¹ na ausência de N para 3,5 g kg⁻¹ na dose de 240 kg ha⁻¹ de N, representando um aumento de 16,7 % (Figura 11E). Da mesma forma na safra posterior, houve aumento linear nos teores de Mg passando de 2,5 g kg⁻¹ na testemunha para 2,8 g kg⁻¹ na maior dose avaliada, o que representa 12 % de acréscimo. Resultados semelhantes foram obtidos por Kurtz, et al. (2012) em uma das três safras avaliadas, enquanto que em duas safras o teor de Mg não foi afetado pelo N. Vidigal (2000), verificou que o aumento das doses de N não afetaram os teores de Mg no tecido foliar nos quatro experimentos em que avaliou este nutriente. Segundo Engels et al. (2012), há uma grande demanda de Mg na fase de bulbificação devido o acúmulo de açúcares no vacúolo de órgãos de reserva ser dependente do Mg e estimulado pelo K. Os teores de Mg ficaram dentro da

faixa considerada ideal para cebola (1,8 a 5,0 g kg⁻¹) nas duas safras avaliadas, segundo Reuter & Robinson (1988), Jones Júnior et al. (1991) e Caldwell et al. (1994) e abaixo do adequado (3 a 5 g kg⁻¹) conforme a CQFS – RS/SC (2004) na safra 2013/14.

O aumento da absorção dos cátions Ca, Mg e K decorrente do aumento da disponibilidade de N, verificado no presente estudo, pode ter ocorrido pelo fato de o N da forma iônica no solo encontrar-se fundamentalmente na forma de NO₃⁻. A presença de NO₃⁻ pode ter favorecido a formação de pares iônicos com Ca, Mg e K e, conseqüentemente, a absorção desses nutrientes, ou ainda ter promovido a necessidade de maior absorção de cátions para compensar o controle interno das cargas elétricas (Kurtz et al., 2012).

2.4. CONCLUSÕES

1. As doses de N para obter a máxima eficiência econômica para as cultivares de cebola Bola Precoce e Crioula no sistema de semeadura direta variaram de 146 a 192 kg ha⁻¹ nas duas safras estudadas.

2. O incremento das doses de N aumentou o número de folhas, a altura de plantas e a produção de bulbos comerciais das classes 3 e 4.

3. As perdas em pós-colheita aumentaram com o incremento nas doses de N na safra 2012/13.

4. Os teores de N e dos cátions K, Ca e Mg no tecido foliar da cebola aumentaram com o acréscimo das doses de N.

5. Os teores críticos de N no tecido foliar para os rendimentos máximos de 29,0 e 43,5 t ha⁻¹ para ambas as cultivares, situaram-se em 38,9 e 34,4 g kg⁻¹, obtidos com a aplicação de 157 e 192 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, para as safras 2012/13 e 2013/14.

2.5. LITERATURA CITADA

ASIEGBU, J.E. Response of onion to lime and fertilizer N in a tropical Ultisol. *Tropical Agriculturae*, 66:161-166, 1989.

BATAL, K.M.; BONDARI, K.; GRANBERRY, D. M. & MULLINIX, B. G. Effects of source, rate, and frequency of N application on yield, marketable and rot incidence of sweet onion (*Allium cepa* L. cv. granex-33). *Journal Horticultural Science*, 69:1043-1051, 1994.

BREWSTER, J.L. Onions and other vegetable alliums. 2 ed. Wellesbourne, UK. 2008. 455p.

BUWALDA, J.G. & FREEMAN, R.E. Effects of nitrogen fertilizers on growth and yield of potato (*Solanum tuberosum* L. 'llam hardy'), onion (*Allium cepa* L. 'pukekohe longkeeper'), garlic (*Allium sativum* L. 'y strain') and hybrid squash (*Curcubita maxima* L. 'delica'). *Science Horticultural*, 32:161-173, 1987.

CECÍLIO FILHO, A.B.; MARCOLINI, M.W; MAY, A. & BARBOSA, J. C. Produtividade e classificação de bulbos de cebola em função da fertilização nitrogenada e potássica, em semeadura direta. *Científica* 38:14-22, 2010.

CALDWELL, J.O.N.; SUMNER, M.E. & VAVRINA, C.S. Development and testing of preliminary foliar DRIS norms for onions. *HortScience*, 29:1501-1504, 1994.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CQFS-RS/SC. Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 10 ed. Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Núcleo Regional Sul/ Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2004. 394p.

DELLACECCA, V. & LOVATO, A.F.S. Effects of different plant densities and planting systems on onion (*Allium cepa* L.) bulb quality and yield. *Acta Horticulturae*, Richmond, n. 533, p. 197-201, 2000.

EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2. Ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2006. 306p.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA - EPAGRI. Sistemas de produção para cebola: Santa Catarina (4ª revisão). Florianópolis: Epagri. 2013. 106p. (Sistemas de Produção, 46).

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA - EPAGRI. Centro de Socioeconomia e Planejamento Agrícola – CEPA. Disponível em <http://www.epagri.sc.gov.br>. Acesso em 16 de dezembro de 2014.

ENGELS, C.; KIRKBY, E. & WHITE, P. Mineral nutrition, yield and source-sink relationships. In: MARSCHNER, H. Mineral Nutrition of Higher Plants. 3 ed. San Diego: Academic Press. p.85-133, 2012.

ERNANI, P.R. Química do solo e disponibilidade de nutrientes às plantas. Lages (SC), 2008. 229p.

FACTOR, T.L.; LIMA, J.R.S.; PURQUERIO, L.F.V.; TIVELLI, S.W.; TRANI, P.E.; BREDA JR., J.M. & ROCHA, M.A.V. Manejo da adubação nitrogenada na produção de cebola em plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA 49. Horticultura Brasileira. 27: Suplemento CD-ROM. 2009.

FARIAS, C.M. & PEREIRA, J.R. Fontes e níveis de nitrogênio na produtividade da cebola no Vale do São Francisco. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 27:403-407, 1992.

FONTES, P.C.R. Nutrição mineral de plantas: avaliação e diagnose. Voçosa (MG), 2011. 296p.

GREENWOOD, D.J.; NEETESON, J.J.; DRAYCOTT, A.; WIJNEN, G. & STONE, D. Measurement and simulation of the effects of N-fertilizer on growth, plant composition and distribution of soil mineral-N in nationwide onion experiments. Fertilizer Research, 31:305-318, 1992.

HALVARSON, A.D.; FOLLETT, R.; BALTOLO, M.E. & SCHWEISSING, F.C. Nitrogen fertilizer use efficiency of furrow-irrigated onion end corn. *Agronomy Journal*, 94:442-449, 2002.

INIA – Instituto Nacional de Investigacion Agropecuária do Uruguai. Tecnología para La producción de cebolla. Montevideo: Unidad de Agronegocios y Difusión Del INIA. 247p. 2005. (Boletín de Divulgación 88).

JONES JUNIOR, J.B.; WOLF, B. & MILLS, H.A. Plant analysis an analysis handbook: a practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide. Athens: Micro-Macro. 1991. 213p.

KHAN, H.; IQBAL, M.; GHAFFOR, A. & WASEEM, K. Effect of various plant spacing and different nitrogen levels on the growth and yield of onion (*Allium cepa* L.) *Journal of Biological Sciences, Bombay*, 8: 545-547, 2002.

KURTZ, C.; ERNAN, P.R.; COIMBRA, J.L.M. & PETRY, E. Rendimento e conservação de cebola alterados pela dose e parcelamento de nitrogênio em cobertura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 36:865-876, 2012.

KURTZ, C.; ERNANI, P.R.; PAULETTI, V.; MENEZES JUNIOR, F.O.G. & VIEIRA NETO, J. Produtividade e conservação de cebola afetadas pela adubação nitrogenada no sistema de plantio direto. *Horticultura Brasileira* 31: 559-567, 2013.

KURTZ, C.; SCHMITT, D.R.; MENEZES JÚNIOR, F.O.G.; WERNER, H.; GONÇALVES, P.A.S.; LANNES, S.D. & MISSIO, V.C. Relatório de avaliação dos impactos das tecnologias e ações geradas pela Epagri. Ituporanga: Epagri. 2009. 11p. (Relatório Balaço Social 2009).

MAGALHÃES J.R. Nutrição mineral da cebola. In: CHURATA-MASCA, M.G.C. & CANALEZ, J.I. Seminário Nacional da Cebola, n.3, 1988, Piedade (SP). Anais. Jaboticabal (SP): ESALQ, p.93-118, 1988.

MAIER, N.A.; DAHLENBURG, A.P. & TWIGDEN, T.K. Effect of nitrogen on the yield and quality of irrigated onions (*Allium cepa* L.) cv. Cream Gold grown on siliceous sands. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 30: 845-851, 1990.

MANDIRA, C. & KHAN, A.H. Effect of nitrogen and potassium on growth, yield and yield attributes of onion. *New Agriculturist* 14: 9-11, 2003.

MAY, A. Desempenho de híbridos de cebola em função da população de plantas e fertilização nitrogenada e potássica. Jaboticabal (SP), Universidade Estadual Paulista, 2006. 142p. (Tese de Doutorado).

MAY, A.; CECÍLIO FILHO, A.B.; PORTO, D.R.Q; VARGAS, P.F. & BARBOSA, C.B. Produtividade de híbridos de cebola em função da população de plantas e da fertilização nitrogenada e potássica. *Horticultura Brasileira* 25: 53-59, 2007.

MAY, A; CECÍLIO FILHO, A.B.; PORTO, D.R.Q.; VARGAS, P.F. & BARBOSA, J.C. Acúmulo de macronutrientes por duas cultivares de cebola produzidas em sistema de semeadura direta. *Bragantia*, 67:507-512, 2008.

MOGOR, A.F. & GOTO, R. Severidade de míldio em função da nutrição de fósforo e potássio na cultura da cebola. *Horticultura Brasileira*, 18: 830-831, 2000.

OLIVEIRA, S.A. Avaliação da mineralização e disponibilidade de nitrogênio para o trigo (*Triticum aestivum* L.) em solos do Distrito Federal. 1987. 128p. Tese (Doutorado em Fitotecnia). Escola Superior de Agricultura Luís de Queiroz, Piracicaba (SP), 1987.

PANDE, R.C. & MUNDRA, R.S. Note on response of onion (*Allium cepa* L.) to varying levels of N, P and K. *Indian Journal of Agricultural Science*, Mansoura University, 41: 107-108, 1971.

PÔRTO, D.R.Q.; CECÍLIO FILHO, A.B.; MAY, A. & BARBOSA, J.C. Acúmulo de macronutrientes pela cultivar de cebola "Optima" estabelecida por semeadura direta. *Horticultura Brasileira* 24:470-475, 2006.

PÔRTO, D.R.Q.; CECILIO FILHO, A.B.; MAY, A. & VARGAS, P.F. Acúmulo de macronutrientes pela cultivar de cebola "Superex" estabelecida por semeadura direta. *Ciência Rural* 37:949-955, 2007.

RAIJ, B. Fertilidade do solo e adubação. Campinas: Ceres. 1991. 343p.

RESENDE, G.M. & COSTA, N.D. Dose econômica de nitrogênio na produtividade e armazenamento de cultivares de cebola. *Horticultura Brasileira* 32:357-362, 2014.

RESENDE, G.M. & COSTA, N.D. Produtividade e armazenamento de cebola (*Allium Cepa* L.) submetida a doses de nitrogênio e potássio via fertirrigação em cultivo de verão. *Ciência e Agrotecnologia* ., 33:1314-1320, 2009.

RESENDE, G.M.; COSTA, N.D. & PINTO, J.M. Produtividade e qualidade pós-colheita de cebola adubada com doses crescentes de nitrogênio e potássio. *Horticultura Brasileira* 26: 388-392, 2008.

REUTER, D.J. & ROBINSON, J.B. Plant analysis: an interpretation manual. Melbourne: Inkata press, 1988. 218p.

SANTOS, E.E.F. Acúmulo de nutrientes e relação Ca:Mg no cultivo da Cebola, no submédio São Francisco. Botucatu: UNESP – FCA. 2007. 120 p. (Tese Doutorado).

SANTOS, H.S.; TANAKA, M.T.; WATANABE, S.H.; ARANTES P.A.Z. & IVONE T.T. Produção de cebola em função de tamanho de muda e espaçamento. *Horticultura Brasileira*, 18:556-557, 2000.

SCHMITT, D.R. Cebola. In: Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina 2013-2014. Florianópolis: Epagri/Cepa. p. 46-51, 2014.

SINGH, S.; YADAV, P.K. & SINGH, B. Effect of nitrogen and potassium on growth and yield of onion (*Allium cepa*) cv. Pusa Red. Haryana Journal Horticultural Sciences 33:308-309, 2004.

STOFFELLA, P.J. Planting arrangement and density of transplants influence sweet spanish onion yields and bulbs size. Hortscience, Alexandria, 31: 1129-1130, 1996.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 4. ed. Porto Alegre, Artmed. 2009. 819 p.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A. & BOHNEN, H. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre: UFRGS. 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5).

VIDIGAL, S.M. Adubação nitrogenada de cebola irrigada cultivada no verão - Projeto Jaíba, Norte de Minas Gerais. Viçosa: UFV. 2000. 136p (Tese doutorado).

VIDIGAL, S.M.; MOREIRA, M.A & PEREIRA, P.R.G. Crescimento e absorção de nutrientes pela planta de cebola cultivada no verão por semeadura direta e por transplântio de mudas. Bioscience Journal, Uberlândia, 26: 59-70, 2010.

WORDELL FILHO, J.A. & BOFF, P. Doenças de origem parasitária. In: WORDELL FILHO, J.A.; ROWE, E.; GONÇALVES, P.A. de S.; DEBARBA, J.F.; BOFF, P.; THOMAZELLI, L.F. Manejo fitossanitário na cultura da cebola. Florianópolis: Epagri. p.19-162, 2006.

CAPÍTULO 3. DIAGNÓSTICO DO ESTADO DE NITROGÊNIO PELO ÍNDICE DE CLOROFILA E NITRATO NA SEIVA PARA CULTIVARES DE CEBOLA EM SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA

RESUMO

O diagnóstico do estado nutricional constitui uma ferramenta de grande importância para auxiliar o manejo dos fertilizantes. O objetivo do trabalho foi de avaliar o diagnóstico do estado de nitrogênio por meio de técnicas de diagnose em tempo real com os medidores portáteis de clorofila e nitrato na seiva e verificar a possibilidade de recomendação de N em cobertura com base nestes métodos para duas cultivares de cebola no sistema de semeadura direta. Foram conduzidos dois experimentos de campo, nas safras 2012/13 e 2013/14 na Estação Experimental da EPAGRI no município de Ituporanga, SC. O delineamento experimental foi em parcelas subdivididas com blocos completamente casualizados, com duas cultivares na parcela (Bola Precoce e Crioula) e cinco doses de N nas subparcelas (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹) e quatro repetições. Foram avaliados a intensidade de cor verde das folhas (índice de clorofila) e o teor de nitrato na seiva na folha mais jovem totalmente expandida (FJTE) em intervalo aproximado de 20 dias em três épocas na safra 2012/13 (105, 132 e 153 dias após a semeadura - DAS) e cinco épocas na safra 2013/14 (85, 105, 125, 145 e 160 DAS). Houve relação entre teor foliar de N na FJTE e rendimento de bulbos com os teores de NO₃⁻ na seiva e índice de clorofila - IC para ambas as cultivares de cebola e safras. Tanto a determinação do NO₃⁻ quanto do IC nas folhas podem ser usados na determinação do estado de N e na definição da necessidade deste nutriente a ser aplicado em cobertura na cultura da cebola. Os níveis críticos para ambos os índices variam com a época de avaliação, porém os valores do IC apresentam menor amplitude que os de NO₃⁻ na seiva. Para uso do teor de NO₃⁻ para recomendação de N em lavouras comerciais é sugerido uma área de referência com alta disponibilidade deste nutriente para as plantas. Quando as leituras de NO₃⁻ na seiva na lavoura forem inferiores a 90 % do valor das leituras obtidas na área de referência (com alta dose de N) sugere-se a aplicação de N em cobertura. Para uso do IC na recomendação de N, sugere-se adicionar N em cobertura quando os valores das leituras forem inferiores a 72.

Palavras-chave: *Allium cepa* L. Adubação nitrogenada. Nutrição. Diagnose nutricional.

CHAPTER 3. NITROGEN FOR DIAGNOSIS BY CHLOROPHYLL INDEX AND NITRATE IN SAP FOR ONION CULTIVARS IN DIRECT SEEDING SYSTEM

ABSTRACT

The diagnosis of the nutritional status is a very important tool to assist the management of fertilizer. The objective was to evaluate the diagnosis of nitrogen status through diagnostic techniques in real time with portable meters of chlorophyll and nitrate in sap and check the possibility of N recommendation for coverage based on these methods for two cultivars onion in direct seeding system. Two field experiments were conducted in the 2012/13 and 2013/14 crops in Experimental Station EPAGRI in the municipality of Ituporanga, SC. The experimental design was a split plot with completely randomized block design with two cultivars in the plot (Bola Precoce and Crioula) and five doses of N in the subplots (0, 60, 120, 180 and 240 kg ha⁻¹) and four replications. We evaluated the green color intensity of the leaves (chlorophyll index) and the nitrate content in the sap in the youngest fully expanded leaf (FJTE) in 20 days of driving range three times in the 2012/13 season (105, 132 and 153 days after sowing - DAS) and five times in the 2013/14 season (85, 105, 125, 145 and 160 DAS). There was a relationship between leaf nitrogen content on the index sheet and income bulbs with NO₃⁻ content in the sap and chlorophyll index - CI in both onion cultivars at both harvests. Both the determination of the IC NO₃⁻ as the leaves can be used in determining the state C and the definition of this nutrient needs to be applied to cover the onion culture. The critical levels for both indices vary with the time of assessment, but the CI values have lower amplitude than those of NO₃⁻ in the sap. For use in the NO₃⁻ content rating for N in commercial crops is suggested a reference area with high availability of this nutrient for plants. When the readings of NO₃⁻ in the sap on the farm is less than 90% of the readings obtained in the reference area (with high-dose N) suggest the application of N in coverage. To use the CI in N recommendation, it is suggested to add N in coverage when the readings values are less than 72.

Keywords: *Allium cepa* L. Nitrogen fertilization. Nutrition. nutritional diagnosis.

3.1. INTRODUÇÃO

O rendimento, a sanidade e a qualidade dos bulbos de cebola são influenciados pela disponibilidade de nitrogênio (N) no solo (capítulo 2).

A disponibilidade de N no solo para as plantas é influenciada por várias reações e não é afetada por efeitos residuais diretos das adubações anteriores. Dentre as reações que afetam a disponibilidade de N destacam-se a mineralização, a nitrificação, a desnitrificação, a imobilização e a lixiviação. Esta última é maior em anos de alta precipitação pluviométrica, especialmente em solos de textura arenosa, e consiste na principal razão do parcelamento dos fertilizantes nitrogenados (Ernani, 2008). Mais de 95 % do N do solo está na forma orgânica e sua disponibilidade para as plantas depende da mineralização pela atividade biológica, que por sua vez, é afetada pela variação das condições ambientais durante todo o ciclo das culturas (Cantarella, 2007). Em função disso, a quantidade de N disponível para as plantas pode variar muito em poucos dias.

O fator agravante na determinação da disponibilidade de N é a limitação das análises de solo. A análise de N no solo fornece poucos subsídios para uma tomada de decisão sobre a necessidade ou não da adubação nitrogenada, uma vez que os valores podem mudar em poucos dias em função principalmente das condições edafoclimáticas que influenciam a lixiviação e a mineralização. A diagnose foliar, que consiste na avaliação do estado nutricional das culturas por meio da análise de determinados órgãos das plantas em períodos definidos, é uma alternativa importante pelo fato de que esses órgãos respondem mais às variações no suprimento de nutrientes e proporcionam maior correlação com a produção (Vidigal, 2000). Entretanto, esta metodologia normalmente é onerosa, demorada e somente realizada por pessoas qualificadas dificultando sua empregabilidade (Fontes, 2011).

O diagnóstico do estado nutricional constituiu uma ferramenta de grande importância para auxiliar o manejo dos fertilizantes para maximizar a produção e qualidade dos produtos e reduzir riscos ambientais. O fator agravante na determinação da disponibilidade de N é a limitação das análises de solo. A análise de N no solo fornece poucos subsídios para uma tomada de decisão sobre a necessidade ou não da adubação nitrogenada, uma vez que os valores podem mudar em poucos dias em função principalmente das condições de lixiviação e mineralização. A diagnose foliar, que consiste na avaliação do estado nutricional das culturas em períodos definidos, é uma alternativa importante pelo fato de que esses órgãos respondem

mais às variações no suprimento de nutrientes e proporcionam maior correlação com a produção (Vidigal, 2000). Entretanto, esta metodologia normalmente é onerosa, demorada e somente realizada por pessoas qualificadas dificultando sua empregabilidade (Fontes, 2011).

Para obter um sistema de recomendação de adubação mais eficiente, uma das alternativas recentes em avaliação é o uso de métodos de diagnóstico em tempo real usando a planta como indicador, em consonância com a agricultura de precisão, permitindo uma avaliação rápida e em área maior do que a realmente possível com a determinação em laboratório (Fontes, 2011). As avaliações em tempo real envolvem a medição de nitrato na seiva (N-NO_3^-), clorofila, refletância, entre outros, que geralmente são medidos por meio de equipamentos portáteis ou acoplados em maquinário agrícola. Esses são os mais promissores, por permitirem o ajuste instantâneo na aplicação de N (Olf et al., 2005).

A utilização de medidores portáteis de íons específicos como para nitrato é vantajosa em relação ao método de análise convencional devido à rapidez e aos baixos custos (Folegatti et al., 2005). A concentração de nitrato na seiva é influenciada pelos fatores responsáveis pela disponibilidade do íon no solo e pelas condições edafoclimáticas e culturais que a planta está submetida. Portanto, a concentração do nutriente na seiva indica a momentânea quantidade do nutriente em circulação na planta e o atual estado nutricional da planta sendo o nitrato e o potássio os mais comuns íons determinados na seiva do pecíolo (Fontes, 2011). Esta medição é realizada por microeletrodo portátil que é um sensor que converte a atividade do íon na seiva em potencial elétrico o qual é medido por um voltímetro.

A análise de nitrato na seiva tem apresentado estreita relação com a concentração de N na folha determinada pelo método tradicional de micro Kjeldahl e com a produção da planta (Alcantar et al., 2002; Rosolem e Mellis, 2010; Fontes, 2011) e com a quantidade de N aplicada durante o ciclo da cultura (Alva, 2007). O teste de N-NO_3^- na seiva tem sido proposto como ferramenta auxiliar no manejo da fertilização nitrogenada em hortaliças. O medidor de N-NO_3^- , além de propiciar rapidez de análise, é utilizado no campo e determina com precisão a concentração de N-NO_3^- na seiva no momento da medição.

Assim, a deficiência de N pode ser detectada antes de ocorrer perda na cultura e pode assegurar que o suprimento de N está ótimo para o máximo crescimento e produtividade das plantas (Vidigal & Moreira, 2009a). No entanto, o teor de N-NO_3^- na seiva pode ser usado como um critério no diagnóstico do estado de N na planta para um determinado momento do ciclo da cultura, pois o nitrato tende a diminuir ao longo do ciclo (Errebhi et al., 1998).

Vidigal & Moreira (2009b) ao avaliar o $N-NO_3^-$ no híbrido de cebola Superex no estado de Minas Gerais observaram que o valor crítico de $N-NO_3^-$ na seiva do pecíolo foi de 2.130,34 e 1.011,79 $mg L^{-1}$ em solo arenoso e argiloso, respectivamente, sendo obtido na folha mais jovem totalmente expandida coletada em uma única época, aos 114 dias após a semeadura.

A intensidade do verde das folhas também tem sido utilizada com sucesso em diversos estudos como critério indireto para avaliar o estado de nitrogênio na planta em tempo real, de maneira não destrutiva. Isso devido ao fato de diferentes doses de N proporcionarem diferentes concentrações de clorofila e de tons de verde na folha que determinam a intensidade da radiação absorvida e refletida pelo dossel (Fontes, 2011). Isso ocorre pelo fato de que 70 % do N contido nas folhas estão nos cloroplastos, participando da síntese e da estrutura das moléculas de clorofila (Marenco & Lopes, 2005). Por essa razão, o teor de clorofila na fase vegetativa tem sido relacionado com o estado nutricional de N de diversas culturas (Argenta et al., 2001). Este método destaca-se recentemente como alternativa para avaliar o estado de N da planta em tempo real pelo fato de haver correlação significativa entre a intensidade da cor verde com o teor de clorofila e com a concentração de N na folha (Gil et al., 2002; Fontes, 2011; Pôrto et al., 2011; Pôrto et al., 2014).

Os medidores portáteis avaliam, quantitativamente, a intensidade do verde da folha, medindo as transmissões de luz a 650 nm, onde ocorre absorção de luz pela molécula de clorofila, e a 940 nm, onde não ocorre absorção (Gil et al., 2002; Ferreira et al., 2006). Com estes dois valores, o equipamento calcula um número entre 0 e 100 que é adimensional e geralmente denominado de índice de clorofila (IC) ou índice SPAD (*Soil Plant Analysis Development*), dependendo do aparelho usado, que normalmente é altamente correlacionado com o teor de clorofila da folha e pode identificar deficiência, toxidez e concentração adequada de N (Gil et al., 2002).

Índices de clorofila obtidos em folhas de diversas espécies apresentaram correlação positiva com a suficiência de N, podendo este ser considerado um índice apropriado para avaliar o estado de N das culturas (Gil et al., 2002; Fontes, 2011; Pôrto et al., 2011; Pôrto et al., 2014). Estes medidores portáteis tem demonstrado correlação positiva com o teor de N e o rendimento e tem sido utilizado com sucesso para diagnosticar o estado de N em batata (Gil et al., 2002; Busato, 2007; Silva et al., 2009; Coelho et al., 2010), beterraba (Sexton & Carrol, 2002), pimentão (Madeira et al., 2003), tomate (Araujo, 2004; Ferreira et al., 2006; Güler &

Büyük, 2007), pepino (Pôrto et al., 2014), e algodão (Rosolem & Mellis, 2010), dentre outras culturas.

Vidigal & Moreira (2009a) ao avaliar a intensidade de cor verde para o híbrido de cebola Superex no estado de Minas Gerais observaram que os valores críticos alcançados para o IC obtido no meio da folha mais jovem totalmente expandida coletada aos 114 dias após a semeadura foram de 63,9 em solo arenoso e 69,7 num solo argiloso.

Tais testes são rápidos, podem ser feitos no campo e permitem o sensoriamento em tempo real do estado nutricional de nitrogênio na planta (Fontes & Araújo, 2007) e podem tornar-se uma alternativa viável para o sistema de produção de cebola. Entretanto, trabalhos acerca do emprego do IC e nitrato na seiva para diagnóstico do estado de N na cultura da cebola em condições de campo são bastante escassos na literatura. Assim, o estabelecimento de um sistema de diagnose do estado do nitrogênio em tempo real para cebola poderá contribuir para otimizar a fertilização nitrogenada para as principais cultivares de cebola do Sul do Brasil.

O objetivo do trabalho foi de avaliar o diagnóstico do estado de nitrogênio por meio de técnicas de diagnose em tempo real com medidores portáteis de clorofila e de nitrato na seiva e verificar a possibilidade de recomendação de N em cobertura com base nestes métodos para duas cultivares de cebola no sistema de semeadura direta.

3.2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos dois experimentos de campo, nas safras 2012/13 e 2013/14 na Estação Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI) no município de Ituporanga, na região do Alto Vale do Itajaí, Santa Catarina. A área experimental está situada a 475 m de altitude, 27° 22' S de latitude e 49° 35' W de longitude, sobre um Cambissolo Húmico Distrófico de textura média (Embrapa, 2006) com relevo suave ondulado. O clima local é do tipo Cfa, segundo a classificação de Köppen.

O delineamento experimental foi em parcelas subdivididas com blocos completamente casualizados, com duas cultivares na parcela e cinco doses de N nas subparcelas e quatro repetições. As doses de N adicionadas foram de 0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹, com adição de 20 kg ha⁻¹ na semeadura e o restante da dose dividido em quatro partes

iguais adicionados em cobertura, aos 45, 85, 115 e 145 dias após semeadura (DAS). As cultivares usadas foram a Epagri 352 - Bola Precoce (Bola Precoce) de ciclo precoce e Epagri 362 - Crioula Alto Vale (Crioula) de ciclo médio. A caracterização detalhada dos experimentos e a metodologia de condução empregada constam no capítulo 2, item 2.2 por tratar de avaliação nos mesmos experimentos.

Neste trabalho foram avaliadas as variáveis, intensidade de cor verde da folha (índice de clorofila - IC) e o teor de nitrato na seiva da folha mais jovem totalmente expandida (FJTE) em intervalo aproximado de 20 dias em três épocas na safra 2012/13 (13/09 -105 DAS: fase vegetativa), 10/10 - 132 DAS: início da bulbificação e 31/10 - 153 DAS: plena bulbificação) e em cinco épocas na safra 2013/14 (21/08 - 85 DAS: 4 folhas, 11/09 - 105 DAS: fase vegetativa, 01/10 - 125 DAS: início bulbificação, 21/10 - 145 DAS: plena bulbificação e 05/11- 160 DAS: início maturação).

A intensidade de cor verde determinada pelo teor de clorofila (IC) foi realizada indiretamente pelo uso de clorofilômetro portátil modelo CFL 1030 ClorofiLOG da marca Falker. Para realização desta leitura foram usadas oito plantas por parcela (11,2 m²) de forma aleatória em cada época avaliada. A leitura foi realizada na parte intermediária da FJTE. As avaliações foram realizadas sempre em dias ensolarados.

O teor de nitrato na seiva foi obtido pela leitura do medidor portátil da marca Horiba, modelo B-743. Estas leituras também foram realizadas em oito plantas por parcela em cada época avaliada. Para esta avaliação as folhas foram coletadas na parte da manhã entre 8:30 e 11:00 horas. Após a coleta, as folhas foram levadas ao laboratório e acondicionadas em geladeira (5° C) até a realização da leitura geralmente no mesmo dia da coleta ou eventualmente no dia seguinte.

Para extração da seiva ou extrato foliar, as folhas foram lavadas em água destilada, secas com papel toalha e foram separados os quatro cm imediatamente acima da bainha foliar. Estas partes das folhas foram cortadas com tesoura transversalmente em fragmentos de aproximadamente três mm de largura. Após o corte estas partes foram acondicionadas em espremedor de alho e pressionadas para obter o extrato de aproximadamente 2 a 3 gotas que foram depositadas no sensor do aparelho para obtenção da leitura (Vidigal & Moreira, 2009a). O aparelho foi calibrado com a solução padrão de 2000 mg L⁻¹ de NO₃⁻ antes da realização das leituras e recalibrado a cada 20 amostras lidas.

Os demais procedimentos, como a análise de N no tecido foliar, procedimentos de colheita e avaliação do rendimento e resultados de rendimento constam no capítulo 2, itens 2.2 e 2.3.

Os dados foram submetidos ao teste de Bartlett para verificar a homogeneidade. O efeito dos fatores principais e da interação entre eles foi avaliado estatisticamente por meio da análise de variância (ANOVA); o efeito das doses de N foi avaliado por meio de análise de regressão, sendo selecionada aquela equação com significância ($p \leq 0,05$) e maior coeficiente de determinação (R^2). Os experimentos foram avaliados separadamente dentro de cada safra.

O nível crítico (NC) foi estimado associando-se os valores das variáveis nitrato na seiva, IC e teor de N no tecido foliar com o rendimento de bulbos e estimados pela equação de regressão na produção máxima dos bulbos (Fontes, 2001). A obtenção dos níveis críticos foi usada para determinar o estado de N na planta e avaliar o potencial de uso na recomendação da adubação nitrogenada. Os teores de N no tecido foliar, produtividade, índices gerados pelos equipamentos portáteis (clorofilômetro e medidor de NO_3^-) também foram correlacionados entre si (correlação de Pearson) para verificar a relação entre eles e avaliar o potencial de uso como ferramentas para o diagnóstico do estado de N em cebola.

Para a realização das análises estatísticas foi utilizado o programa ASSISTAT 7.7 Beta e SigmaPlot 11.0. Os gráficos foram gerados no programa SigmaPlot 11.0.

3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No teste de Bartlett verificou-se homogeneidade ($p \leq 0,05$) para todos os dados analisados. Na Tabela 7 são apresentados os resultados da análise estatística para as variáveis nitrato na seiva e IC, para os fatores cultivar e doses de N para as safras 2012/13 e 2013/14. De maneira geral houve maior influência, e de forma linear, das doses de N e pouca variação entre as cultivares utilizadas.

Nitrato na seiva

Verificaram-se respostas distintas entre safras, cultivares e épocas avaliadas, mas houve aumentos expressivos dos teores de NO_3^- em todas as avaliações com o incremento das doses de N adicionadas ao solo (Tabela 7). Na safra 2012/13 a concentração de NO_3^- na seiva

das folhas de cebola variou de forma diferente entre as três épocas avaliadas para os dois fatores em função do acréscimo das doses de N (Tabela 7 e Figura 12).

Tabela 7. Resultados da análise estatística (teste F e regressão) para as variáveis nitrato na seiva (NO_3^-) e índice de clorofila (IC) para os fatores cultivar (cv) e doses (D) de N para a cultura da cebola no sistema de semeadura direta nas safras 2012/13 e 2013/14.

Variável analisada	----- Teste F -----			----- Regressão -----		----- CV% -----	
	Dose (D)	Cultivar (cv)	D x cv	Linear (D)	Quadrática (D)	CV % Parcela (cv)	CV % Sub-parcela (D)
Saфра 2012/13							
NO_3^- (105 DAS)	**	ns	*	**	ns	9,0	16,42
NO_3^- (132 DAS)	**	ns	ns	**	**	35,73	22,67
NO_3^- (153 DAS)	**	**	ns	**	ns	16,31	28,50
IC (105 DAS)	**	*	ns	**	ns	1,69	4,54
IC (132 DAS)	**	ns	ns	**	ns	2,70	2,82
IC (152 DAS)	**	*	ns	**	ns	1,54	3,02
Saфра 2013/14							
NO_3^- (85 DAS)	**	ns	ns	**	**	6,67	24,12
NO_3^- (105 DAS)	**	ns	ns	**	ns	12,66	22,36
NO_3^- (125 DAS)	**	ns	ns	**	ns	59,52	40,21
NO_3^- (145 DAS)	**	ns	ns	**	**	39,97	37,62
NO_3^- (160 DAS)	**	ns	*	**	*	22,76	28,54
IC (85 DAS)	**	ns	ns	**	ns	3,02	3,28
IC (105 DAS)	**	ns	ns	**	**	5,77	3,27
IC (125DAS)	**	ns	ns	**	ns	5,19	4,94
IC (145 DAS)	**	ns	ns	**	ns	3,08	3,59
IC (160 DAS)	**	ns	ns	**	**	6,20	3,50

ns, *, **: respectivamente, não significativo a 5% de probabilidade, significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F ou análise de regressão para o fator doses de N.

Na primeira época (105 DAS), houve interação entre os fatores e observou-se diferença significativa entre as cultivares somente na dose de 180 kg ha^{-1} , onde a cv. Bola Precoce apresentou maior teor NO_3^- na seiva (Figura 12A). Nesta mesma época para o fator doses de N, houve crescimento linear nos teores de NO_3^- com o incremento das doses de N. Na cultivar Bola Precoce, os teores passaram de 1132 mg L^{-1} na testemunha para 2285 mg L^{-1} na dose máxima avaliada de 240 kg ha^{-1} , representando incremento de aproximadamente 100%. Já para a cv. Crioula, o incremento foi menos expressivo e os valores passaram de 1297 mg L^{-1} na testemunha, para 1950 mg L^{-1} na dose de 240 kg ha^{-1} , o que representa cerca de 50% de acréscimo.

Na segunda época avaliada (132 DAS), não houve diferença entre as cultivares, mas verificou-se aumentos de forma quadrática dos teores de NO_3^- na seiva com o acréscimo das doses de N (Figura 12B). O teor de NO_3^- na seiva passou de 412 mg L^{-1} na testemunha, para um máximo de 1668 mg L^{-1} na dose estimada de 223,7 kg ha^{-1} de N, o que representou um acréscimo de cerca de quatro vezes.

Na terceira época (153 DAS), a cv. Crioula apresentou teores de NO_3^- na seiva significativamente superiores em relação à cv. Bola Precoce (Figura 14). Isto ocorreu, provavelmente, em função de atraso no estágio fenológico da cv. Crioula devido ao ciclo mais tardio. Nesta época para o fator doses de N, observou-se um incremento expressivo e de forma linear nos teores de NO_3^- na seiva com o aumento dos níveis de N para as duas cultivares (Figura 12C). Os teores médios passaram de 120 mg L^{-1} na testemunha sem aplicação de N, para 830 mg L^{-1} na dose de 240 kg ha^{-1} de N. De maneira geral, para as três épocas avaliadas observou-se um aumento expressivo dos níveis de NO_3^- com o incremento das doses de N adicionadas ao solo.

Na safra 2013/14, os teores de NO_3^- na seiva também tiveram incremento expressivo em função do acréscimo das doses de N e não se observou diferenças entre as cultivares, exceto na quinta época avaliada, quando houve interação entre os fatores (Tabela 7; Figuras 13 e 14).

Na primeira (85 DAS), na quarta (145 DAS) e na quinta época (160 DAS) (cv. Crioula), houve crescimento dos teores de NO_3^- de forma quadrática, enquanto que na segunda (105 DAS) e terceira época (125 DAS), observou-se incrementos de forma linear nos teores de NO_3^- na seiva com o acréscimo da quantidade de N adicionada. Na quinta época, quando se observou interação dos fatores, houve diferença significativa entre as cultivares somente na dose máxima avaliada de 240 kg ha^{-1} , quando os teores de NO_3^- na seiva foram maiores para a cv. Crioula (Figura 13A). Nesta época, para o fator doses de N o teor de NO_3^- na cultivar Bola Precoce não foi afetada pelos aumentos das doses de N, enquanto que na cv. Crioula houve crescimento de forma quadrática. Estes valores menores de NO_3^- na seiva para a cv. Bola Precoce como também observado na safra 2012/13 na última época avaliada, provavelmente se devem a diferença entre ciclos, onde a cv. Bola Precoce, por ser mais precoce, já encontrava-se em fase de maturação, fase em que os teores de NO_3^- na seiva são mais baixos.

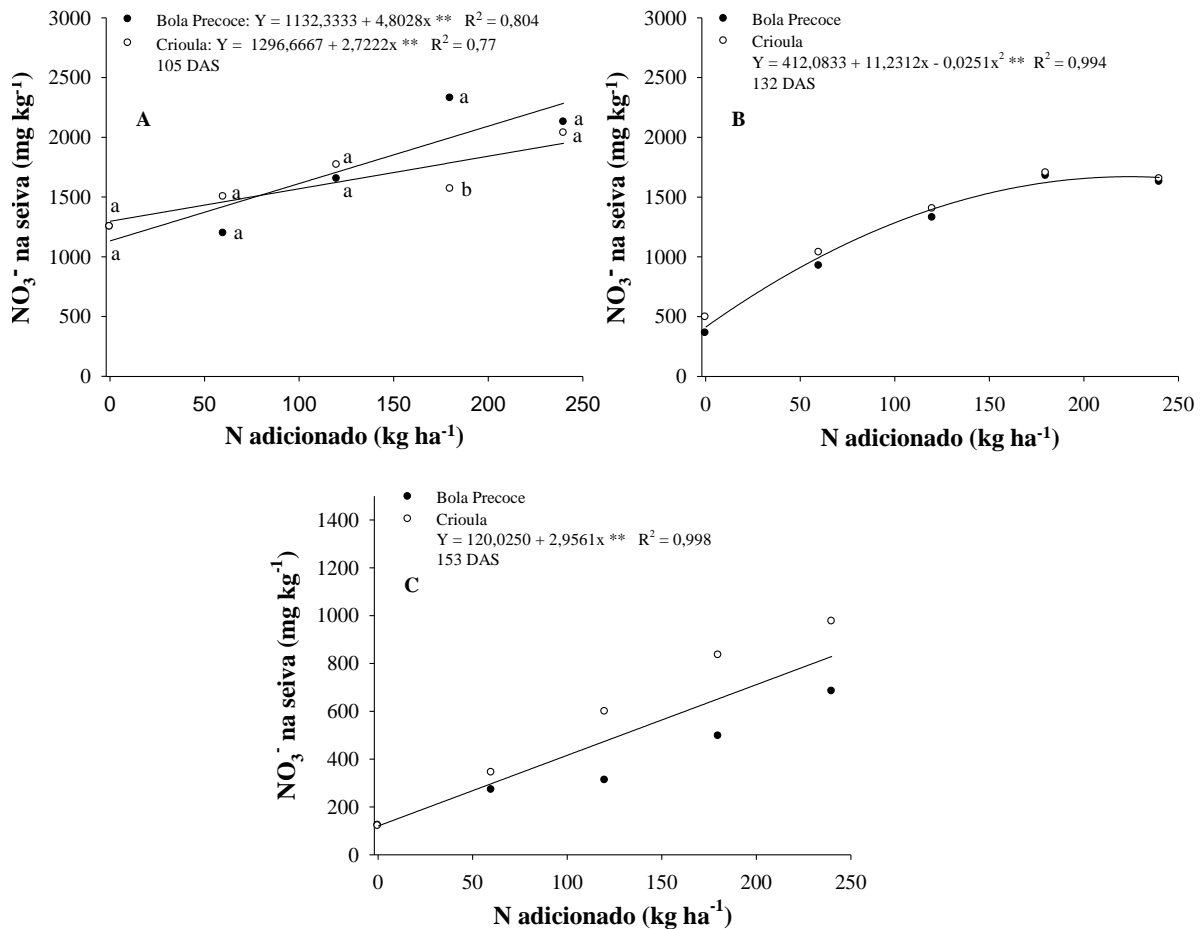


Figura 12. Nitrato na seiva de folhas de cebola das cultivares Bola Precoce e Crioula em função da adição de doses crescentes de N em três épocas na safra 2012/13.

De maneira geral, também observar-se que em todas as épocas houve grande amplitude (100 e 900%) no incremento dos teores de NO_3^- com o aumento das doses de N, passando de 222 para 495 mg L^{-1} , de 353 para 1920 mg L^{-1} , de 173 para 713 mg L^{-1} , de 82 para 763 mg L^{-1} e de 203 para 405 mg L^{-1} (cv. Crioula), respectivamente, na sequência das cinco épocas avaliadas. Westerveld et al. (2004) ao avaliarem a relação entre teores de NO_3^- na seiva da folha de cebola e doses de N em solo do Canadá, observaram comportamento geralmente linear e os teores de NO_3^- na seiva variaram de 99 a 1590 mg kg^{-1} , 86 a 490 mg kg^{-1} e de 61 a 480 mg kg^{-1} na safra 2000 e de 140 a 840 mg kg^{-1} , 430 a 960 mg kg^{-1} e de 220 a 600 mg kg^{-1} na safra 2001, dependendo das doses de N, respectivamente para os estágios de cinco folhas, bulbificação e maturação. Estes autores também relataram dificuldade de estabelecer um nível crítico dos valores de NO_3^- na seiva devido à ausência de resposta obtida para a cultura da cebola para N para a variável rendimento nas duas safras avaliadas.

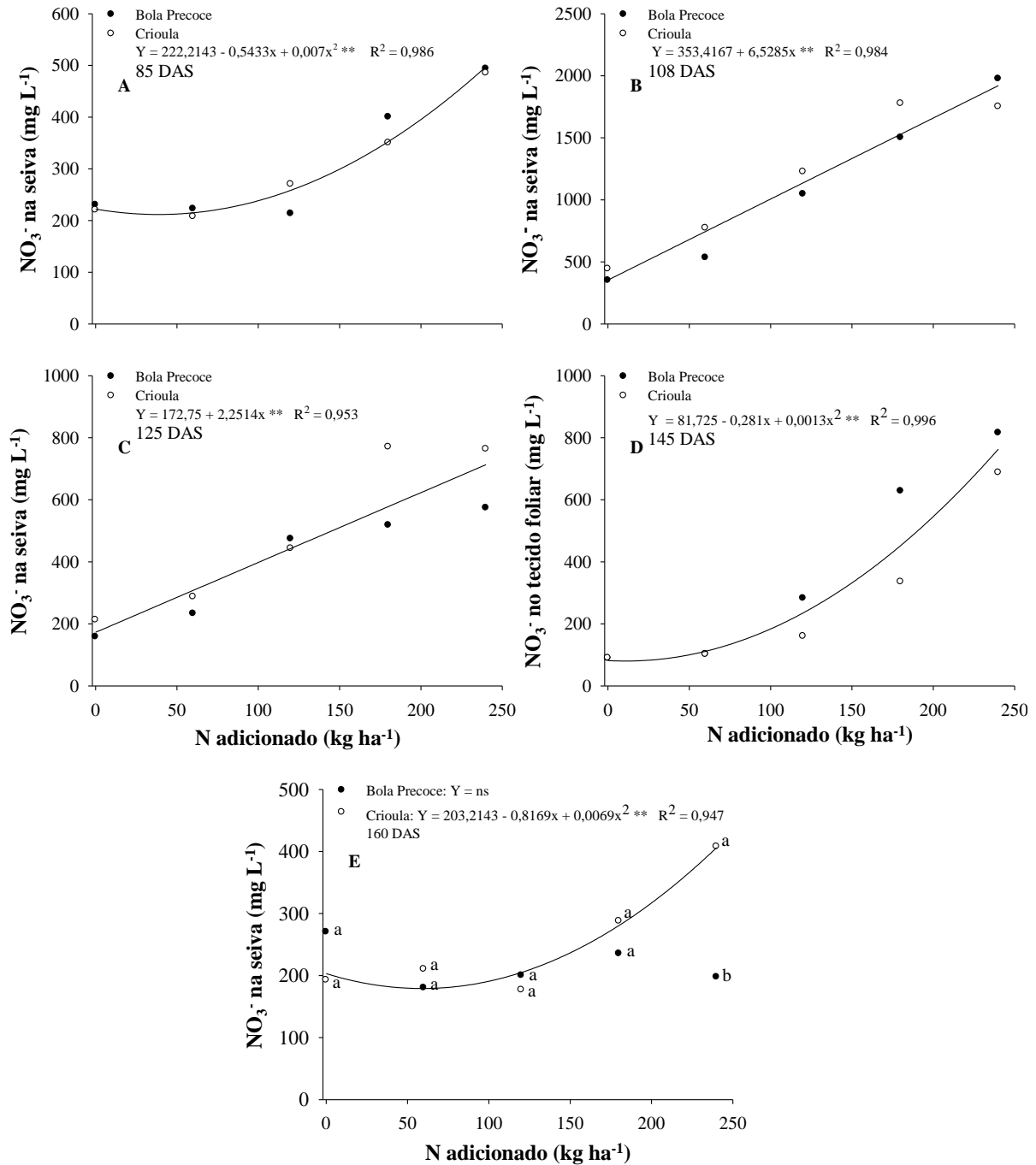


Figura 13. Nitrato na seiva de folhas de cebola das cultivares Bola Precoce e Crioula em função da adição de doses crescentes de N em cinco épocas (85, 108, 125, 145 e 160 DAS) na safra 2013/14.

Os teores de NO_3^- na seiva decresceram com o aumento da idade das plantas (Figura 14), exceto na primeira época da safra 2013/14, quando a avaliação foi realizada numa fase mais inicial de desenvolvimento. Westerveld et al. (2004) também observaram que os teores

de NO_3^- na seiva de folhas de cebola geralmente decresceram com o aumento da idade das plantas.

Segundo Bredmeier & Mudstock (2000), a quantidade de N absorvida aumenta progressivamente durante o período de crescimento vegetativo, atinge o máximo durante os estádios reprodutivos e decresce na fase final, como ocorre no enchimento dos grãos. Segundo estes autores, durante o rápido crescimento vegetativo, são altas as taxas de redução de nitrato e síntese de aminoácidos nas folhas. Ali mesmo, é utilizada a maioria dos aminoácidos para a síntese de clorofila, rubisco e outras proteínas e, com isso, é baixo o nível de aminoácidos no floema e que é translocado até as raízes. Por outro lado, durante a fase reprodutiva, diminui a taxa de redução de nitrato; em paralelo, em função da remobilização do N foliar para o desenvolvimento dos órgãos reprodutivos, aumenta a exportação de aminoácidos das folhas, enriquecendo, com esses compostos, o floema que entra nas raízes. O mecanismo proposto sugere que esses aminoácidos provocam uma redução na taxa de absorção de NO_3^- no final do ciclo (Imsande & Touraine, 1994).

Os teores de NO_3^- na seiva também tiveram uma correlação altamente significativa com os teores de N foliar que é o método tradicionalmente usado para o diagnóstico de N para a maioria das culturas (Tabela 8). As correlações foram altas nas duas safras e para ambas as cultivares e épocas, exceto na primeira época da safra 2012/13 para a cv. Crioula e quinta época da safra 2013/14 para a cv. Bola Precoce, as quais não foram significativas.

A análise de NO_3^- na seiva, normalmente apresenta correlação positiva com a concentração de N na folha determinada pelo método tradicional de micro Kjeldahl e com a produção da planta (Alcantar et al., 2002; Fontes et al., 2003). Gaviola & Lipinski (2002), também verificaram uma relação estreita entre doses de N e NO_3^- na seiva para a cultura do alho em trabalho realizado na Argentina. Alva (2007) observou uma proporcionalidade dos teores de nitrato na seiva com a quantidade de N aplicada durante o ciclo da cultura da batata, a exemplo do que ocorreu no presente estudo para ambas as cultivares nas duas safras avaliadas.

Numerosos trabalhos com olerícolas, obtiveram correlação positiva e altamente significativa entre teores de nitratos medidos na seiva da folha com eletrodo específico com o N total na massa seca de folhas em procedimentos convencionais de laboratório (Vidigal & Moreira, 2009a, b; Freire et al., 2008; Ferreira & Fontes, 2011; Guimarães, 1998; Westerveld et al., 2003, 2004; Gaviola & Lipinski, 2002). Isto sugere que procedimentos rápidos como o

uso de eletrodos específicos para nitrato podem ser usados como alternativa aos métodos convencionais de determinação de N no tecido e com isso reduzir significativamente o tempo de análise e custos analíticos. Ademais, a concentração de nitratos na seiva reflete a quantidade de N realmente disponível no metabolismo das plantas e permite contar com um diagnóstico mais rápido e com boa precisão do estado nutricional de N e possibilita ainda tomar decisão em tempo real sobre a necessidade de aplicação de N (Fontes, 2011).

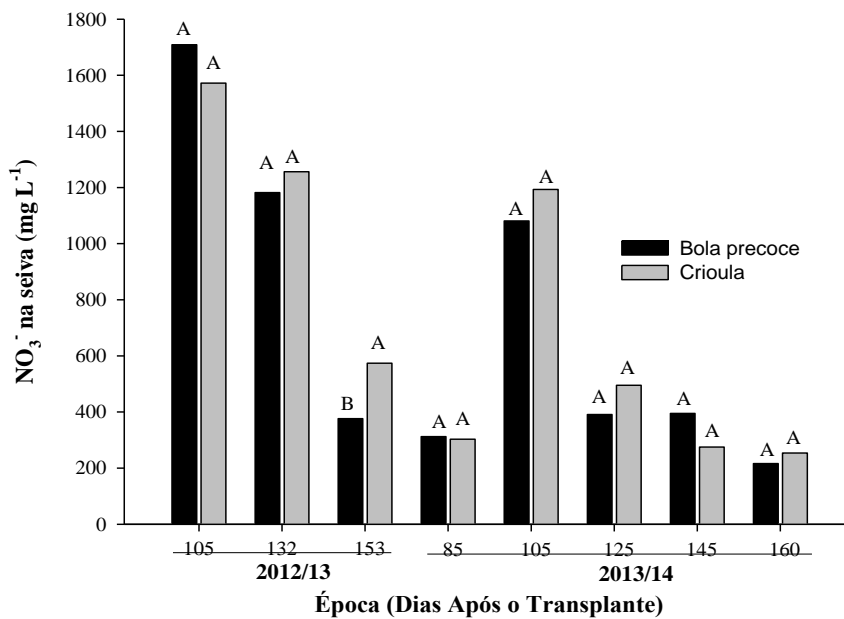


Figura 14. Valores médios de nitrato na seiva (NO_3^-) para cada época ao longo do ciclo para as cultivares de cebola Bola Precoce e Crioula nas safras 2012/13 e 2013/14. Valores para cultivar seguidos de mesma letra não diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade.

Os teores de NO_3^- na seiva também tiveram uma correlação alta e significativa para as duas safras e na maioria das épocas com a intensidade de cor verde das folhas avaliada por meio do índice de clorofila (Tabela 8). A correlação somente não foi significativa na safra 2012/13 na primeira época para ambas as cultivares e na safra 2013/14 para a quinta época para a cv. Bola Precoce e terceira época para a cv. Crioula. Rosolem & Mellis (2010) também encontraram uma correlação altamente significativa para os teores de NO_3^- na seiva e IC para quatro épocas num total de seis épocas avaliadas para a cultura do algodoeiro. Resultados semelhantes também foram encontrados para as culturas do tomate e da batata (Moreira et al., 2011; Guimarães et al., 1999).

Tabela 08. Correlação linear de Pearson entre NO_3^- na seiva, índice de clorofila (IC), N no tecido foliar avaliado no período crítico (132 DAS - 2012/13 e 125 DAS - 2013/14) e rendimento (Bulbos t ha^{-1}) para as cultivares de cebola Bola Precoce (BP) e Crioula (C) implantada no sistema de semeadura direta nas safras de 2012/13 e 2013/14.

Data	NO_3^-						IC				N foliar	
	Bulbos t ha^{-1}		IC		N foliar		Bulbos t ha^{-1}		N foliar		Bulbos t ha^{-1}	
	BP	C	BP	C	BP	C	BP	C	BP	C	BP	C
Safrá 2012/13												
105 DAS	0,22	0,90	0,74	0,85	0,70*	0,83	0,56*	0,95*	0,75	0,99**		
132 DAS	0,26	0,83*	0,72**	0,58°	0,87**	0,97**	0,24	0,72*	0,67	0,54*	0,15	0,91**
153 DAS	0,15	0,94*	0,91**	0,95**	0,95**	0,97**	0,35	0,83°	0,79*	0,92**		
Safrá 2013/14												
85 DAS	0,57°	0,67*	0,81*	0,72**	0,81**	0,78*	0,87**	0,95**	0,97**	0,99**		
105 DAS	0,84**	0,96**	0,48°	0,91**	0,96**	0,99**	0,84*	0,96**	0,64*	0,97**		
125 DAS	0,95**	0,89**	0,83**	0,91	0,97**	0,95**	0,82**	0,74	0,99**	0,82	0,94**	0,98**
145 DAS	0,76**	0,61*	0,93**	0,88**	0,92**	0,73**	0,89**	0,81**	0,92**	0,91**		
160 DAS	0,50	0,52°	0,60	0,61**	0,45	0,67*	0,99**	0,93**	0,95**	0,94**		

°, * e **: r significativa ($p < 0.10$, $p < 0.05$ e $p < 0.01$, respectivamente).

Relação entre nitrato na seiva e rendimento de bulbos

De maneira geral, observou-se uma relação significativa entre os teores de nitrato na seiva e o rendimento de bulbos para ambas as safras, cultivares e épocas avaliadas. Na safra 2012/13, verificou-se uma relação significativa entre o rendimento e os teores de NO_3^- na seiva da folha de cebola para a cv. Bola Precoce na primeira época e para a cv. Crioula nas três épocas avaliadas (Figura 15). Na primeira época (105 DAS), os teores críticos de NO_3^- para o rendimento máximo das cultivares Bola Precoce e Crioula foram similares e situaram-se em 1724 e 1696 mg L^{-1} , respectivamente (Figura 14). Na segunda (132 DAS) e na terceira época (153 DAS) quando os valores foram significativos somente para a cv. Crioula, o rendimento máximo foi obtido com os valores de 1558 e 731 mg L^{-1} , respectivamente.

Nesta safra, também verificou-se ausência de correlação linear entre NO_3^- na seiva e rendimento para a cv. Bola Precoce nas três épocas e correlação significativa para a cv. Crioula na segunda e terceira época (Tabela 8).

Na safra 2013/14, nas duas cultivares a relação entre rendimento e teores de NO_3^- foi significativa e de forma quadrática para as primeiras quatro épocas e não houve significância para a última época avaliada (Figura 16). Os teores críticos de NO_3^- para o rendimento máximo para ambas as cultivares de cebola foram de 393, 1527, 574, e 513 mg L^{-1} para a primeira (85 DAS), segunda (105 DAS), terceira (125 DAS) e quarta época (145 DAS), respectivamente. A ausência de significância na quinta época (160 DAS) se deve provavelmente as plantas já se encontrarem em processo inicial de maturação, fase em que os níveis de NO_3^- diminuem nos vasos condutores (Errebhi et al., 1998) e demonstra que esta época não é adequada para avaliar o estado de N na planta de cebola.

Para a safra 2013/14, se observou também correlação significativa entre teores de NO_3^- na seiva e rendimento para as quatro primeiras épocas para a cv. Bola Precoce e para todas as cinco épocas para a cv. Crioula (Tabela 8). De maneira geral, as correlações foram altas ($p < 0,01$) para as três avaliações intermediárias, indicando serem mais adequadas para avaliação do estado de N. No entanto, a primeira época avaliada também apresentou correlação significativa e pode ser incluída para o diagnóstico do estado de N por ser uma época considerada estratégica para adicionar N em cobertura. Vidigal & Moreira (2009a) observaram como valor crítico de NO_3^- na seiva de folhas de pecíolo de cebola no estado de Minas Gerais os valores de 2.130 e 1.011 mg L^{-1} em solo arenoso e solo argiloso, respectivamente, obtidos na folha mais nova totalmente desenvolvida, avaliados numa única época aos 114 dias após a semeadura. Gaviola & Lipinski (2002) estudando a viabilidade do

diagnóstico do estado de N para a cultura do alho na Argentina pelo NO_3^- na seiva, encontraram como níveis críticos para o máximo rendimento em cinco épocas analisadas os valores de $1500 \text{ mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$ (01/09); $1300 \text{ mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$ (15/09); $1700 \text{ mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$ (01/10) e $800 \text{ mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$ (15/10).

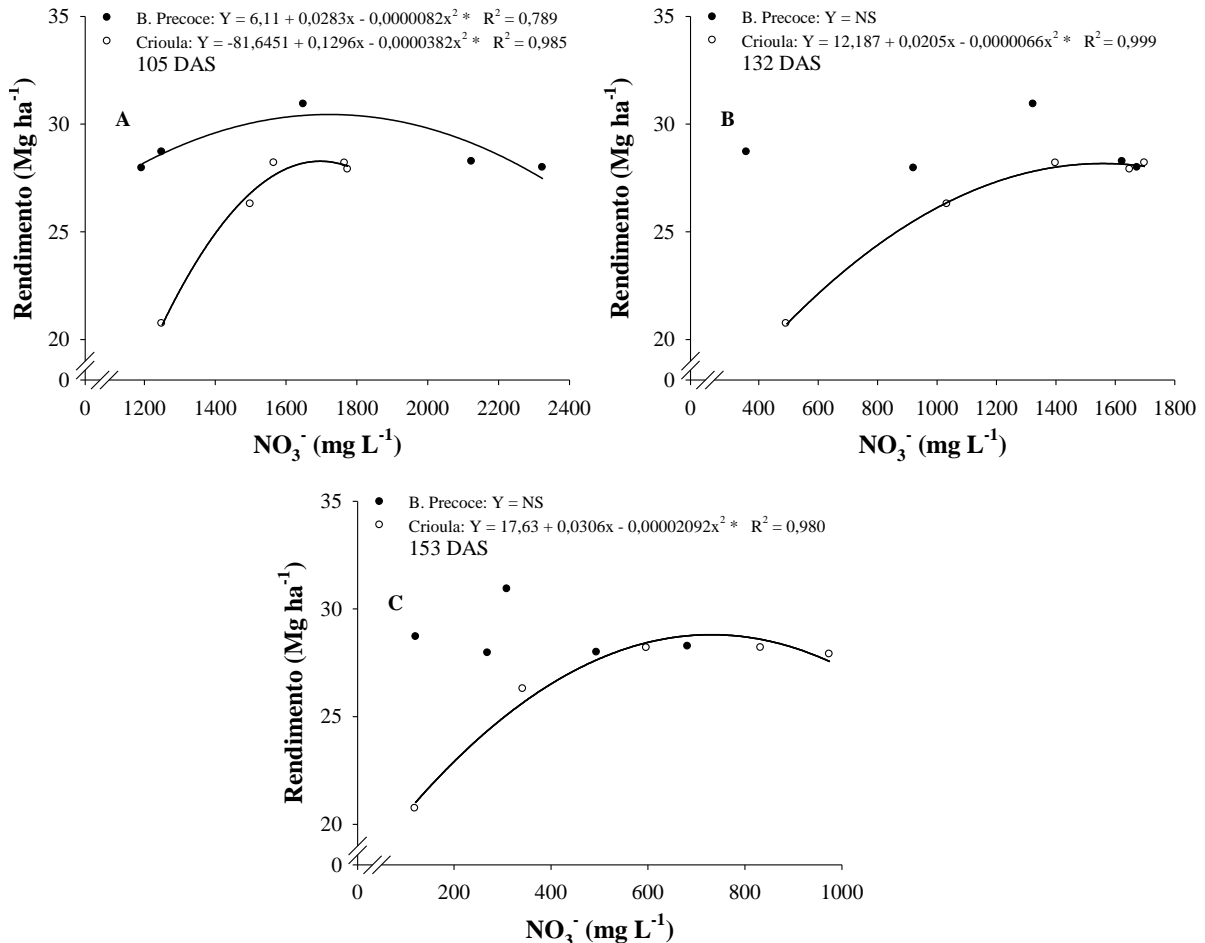


Figura 15. Relação entre rendimento de bulbos e NO_3^- em folhas de cebola das cultivares Bola Precoce e Crioula em função da adição de doses crescentes de N em três épocas na safra 2012/13.

Os resultados obtidos nas duas safras para todas as épocas avaliadas, com efeito quadrático da relação entre rendimento e teores de NO_3^- na seiva, evidenciam que os teores de NO_3^- na seiva de folhas de cebola aumentam além dos valores necessários para a obtenção dos rendimentos máximos, indicando “consumo de luxo” do nutriente. Neste caso, mesmo que absorvido, o excedente do nutriente não é incorporado em compostos orgânicos, não promovendo incremento no rendimento.

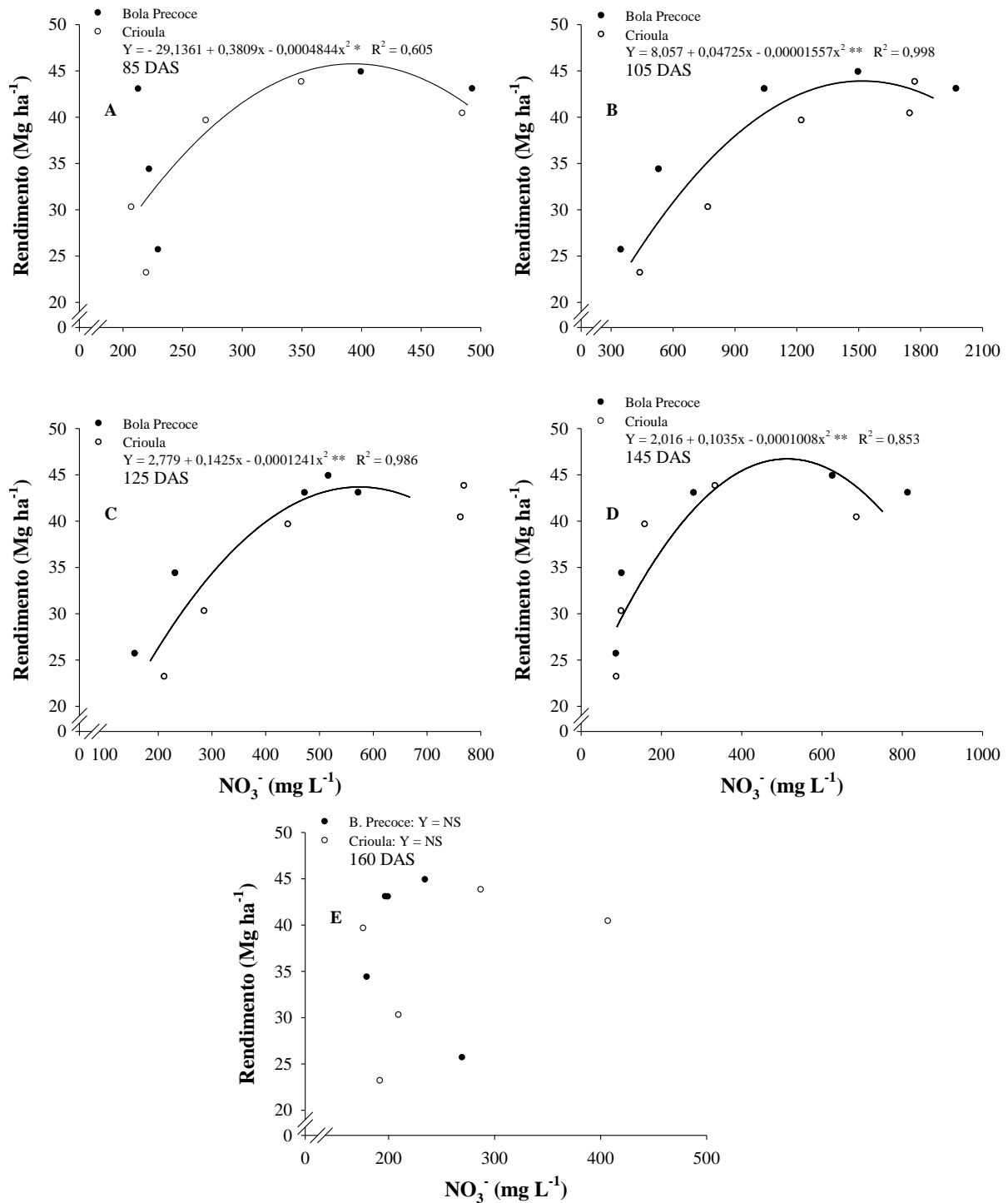


Figura 16: Relação entre rendimento de bulbos e NO_3^- em folhas de cebola das cultivares Bola Precoce e Crioula em função da adição de doses crescentes de N em cinco épocas na safra 2013/14.

Na safra 2012/13, os valores de NO_3^- na seiva para o rendimento máximo situaram-se em 87, 93 e 88 % em relação aos teores máximos para a cultivar Crioula, respectivamente, na sequência das três épocas e para a cv. Bola Precoce foi de 75 %, na qual os valores foram significativos somente para a primeira época (Tabela 9). Já para a safra seguinte, os valores de

NO_3^- na seiva para o rendimento máximo, situaram-se em 79 %, 80 %, 81 % e 67 % em relação aos teores máximos para ambas as cultivares, respectivamente na sequência das quatro épocas iniciais avaliadas. Nesta última safra, considerando que as quatro primeiras épocas apresentaram valores de correlações altamente significativas entre as variáveis rendimento e teores de NO_3^- na seiva (Tabela 8) e estas épocas coincidirem com o momento de grande crescimento e demanda por N pela cebola (capítulo 1) estas podem ser consideradas adequadas para o diagnóstico do estado de N e para a aplicação do N em cobertura quando estiver abaixo do nível crítico.

Para a recomendação de N, baseando-se nos resultados das duas safras estudadas, sugere-se a implantação de área de referência na lavoura com dose elevada de N para o diagnóstico do nível crítico em relação a área geral da lavoura, conforme trabalho de Carvalho et al. (2012) realizado com arroz e feijão para o índice de clorofila (SPAD). Em função das variações nos teores de NO_3^- na seiva ao longo da safra e entre safras, este procedimento atenuaria problemas relacionados a estas variações. Neste caso, quando as leituras de NO_3^- na seiva das plantas da lavoura em análise forem igual ou inferiores a 90 % do valor das leituras obtidas na área de referência (com alta dose de N) se recomendaria a aplicação de N em cobertura.

Com base nas máximas respostas a N obtidas no presente estudo (capítulo 2) de 157 e 192 kg ha^{-1} nas safras 2012/13 e 2013/14, respectivamente, a quantidade a ser aplicada nas épocas com diagnóstico de necessidade de N seria de 34,5 kg ha^{-1} em cada cobertura realizada. Desse modo, seria aplicado 20 kg ha^{-1} na semeadura, 34,5 kg ha^{-1} aos 45 DAS quando as plantas estiverem com 2-3 folhas (neste momento ainda não seria possível avaliar o NO_3^- na seiva pelo reduzido tamanho das folhas) e as outras coberturas nesta mesma quantidade seriam realizadas em até quatro vezes conforme o diagnóstico de cada época (85, 105, 125, e 145 DAS).

Se o diagnóstico indicar a necessidade de adubação de cobertura em todas as leituras teríamos ao final do ciclo um total de 192,5 kg ha^{-1} de N adicionados, o que seria a dose de MET na safra 2013/14. Esta dose será menor como no caso da safra 2012/13 com 158 kg ha^{-1} de N, se em determinada época de avaliação o diagnóstico não indicar a necessidade de N, ou seja, quando o valor de NO_3^- na seiva for maior que 90% do valor da área de referência, como ocorreu na segunda época (132 DAS) desta safra (Tabela 9).

Tabela 09. Valores de NO_3^- na seiva máximos de leitura, nível crítico e da relação entre nível crítico e NO_3^- na seiva máximos para cultura da cebola em sistema de semeadura direta nas diversas épocas nas safras 2012/13 e 2013/14.

Época avaliada	NO_3^- máximo		Nível crítico (NC)		Relação entre NC e valor de NO_3^- máximo (%)	
	Bola P.	Crioula	Bola P.	Crioula	Bola P.	Crioula
Safr 2012/13						
105 DAS	2285	1950	1724	1696	75	87
132 DAS	1668	1668	-	1558	-	93
153 DAS	830	830	-	731	-	88
Safr 2013/14						
85 DAS	495	495	393	393	79	79
105 DAS	1920	1920	1527	1527	80	80
125 DAS	713	713	574	574	81	81
145 DAS	763	763	513	513	67	67
160 DAS	-	-	-	-	-	-

Índice de Clorofila (IC)

Para ambas as safras, cultivares e épocas avaliadas observou-se aumento no IC com o incremento das doses de N. Na safra 2012/13, a intensidade de cor verde das folhas de cebola avaliada por meio do índice IC apresentou diferenças entre cultivares na primeira (105 DAS) e terceira época (153 DAS) e aumentos do índice para fator doses de N para todas as três épocas avaliadas (Tabela 7 e Figura 18). Na primeira e terceira época, a cv. Crioula apresentou valores superiores aos da cv. Bola Precoce. Para o fator doses de N, observou-se crescimento do índice IC de forma linear nas três épocas com os valores passando de 63,3; 77,2 e 67,4 na testemunha, para 69, 79, e 72,5 na dose máxima avaliada de 240 kg ha^{-1} , respectivamente para as três épocas (105, 132 e 153 DAS).

Na safra 2013/14, o acréscimo das doses de N promoveram incrementos nos valores do IC para as duas cultivares de maneira similar para todas as cinco épocas avaliadas (Tabela 7, Figura 19). O incremento das doses de N promoveram aumentos no IC de forma linear na primeira (85 DAS), terceira (125 DAS) e quarta época (145 DAS), quando os valores passaram de 55,5, 62,4 e 59,8 na testemunha sem a aplicação de N, para 61,6; 70,1 e 68,3, na dose máxima avaliada (240 kg ha^{-1}), respectivamente. Na segunda (105 DAS) e quinta épocas (160 DAS) verificou-se aumentos do IC de forma quadrática com o incremento das doses de N com os valores passando de 61,2 e 58,8 na testemunha, para 68,6 e 71,2 nos pontos máximos da curva com aplicação de $166,9$ e $202,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, respectivamente para as duas épocas.

Estes resultados corroboram aos obtidos por outros autores para as culturas olerícolas como o pepino (Pôrto et al., 2014), abóbora (Swiader & Moore, 2002), abobrinha (Pôrto et al., 2011), batata (Gil et al., 2002) e tomate (Ferreira et al., 2006; Güler & Büyük, 2007), onde também foram constatados aumentos nos teores de clorofila total e, ou, valores de IC nas folhas das plantas com incremento na dose de N aplicada.

O N é o nutriente que participa da síntese e da estrutura das moléculas de clorofila, de modo que o aumento do suprimento de N às plantas, até determinado limite, proporciona incremento no teor de clorofila e intensidade de cor verde nas folhas da planta (Gil et al., 2002; Fontes, 2011; Pôrto et al., 2011).

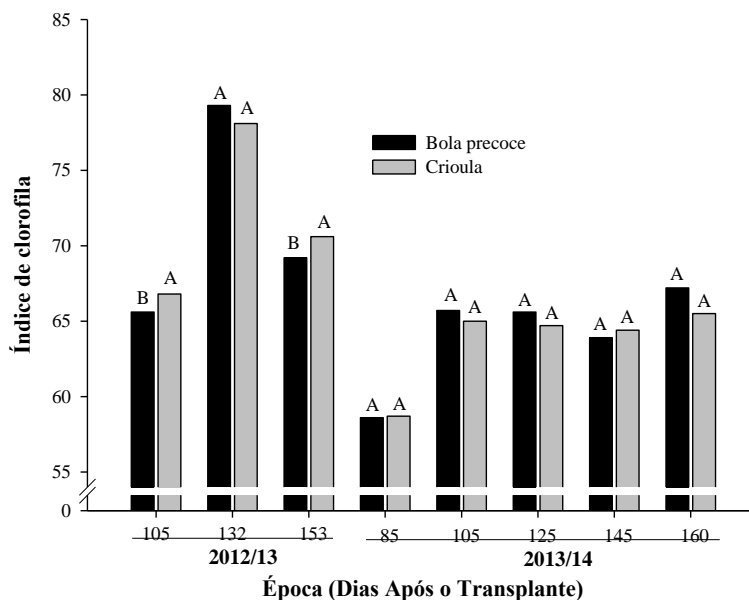


Figura 17. Valores de índice de clorofila (IC) ao longo do ciclo para as safras 2012/13 e 2013/14. Valores seguidos de mesma letra não diferem entre si pelo teste F a 5 % de probabilidade.

Os valores de IC apresentaram também correlação altamente significativa com os teores de N foliar (Tabela 8). Dentre as duas safras, cultivares e épocas avaliadas, não observou-se correlação para estas variáveis somente na segunda e terceira época para a cv. Bola Precoce na primeira safra e na terceira época para a cv. Crioula na safra seguinte. A relação direta da intensidade da cor verde com o teor de clorofila e com a concentração de N na folha, também foi encontrada em diversos outros trabalhos para culturas olerícolas (Gil et al., 2002; Fontes, 2011; Pôrto et al., 2011; Pôrto et al., 2014).

Esses resultados indicam a possibilidade de utilização do medidor portátil na avaliação indireta do teor de clorofila total e na caracterização do estado de N na cultura da

cebola. Dentre as vantagens haveria maior rapidez na diagnose nutricional, simplicidade e a possibilidade de avaliação não destrutiva do tecido foliar, podendo ser realizada diretamente a campo (Amarante et al., 2008).

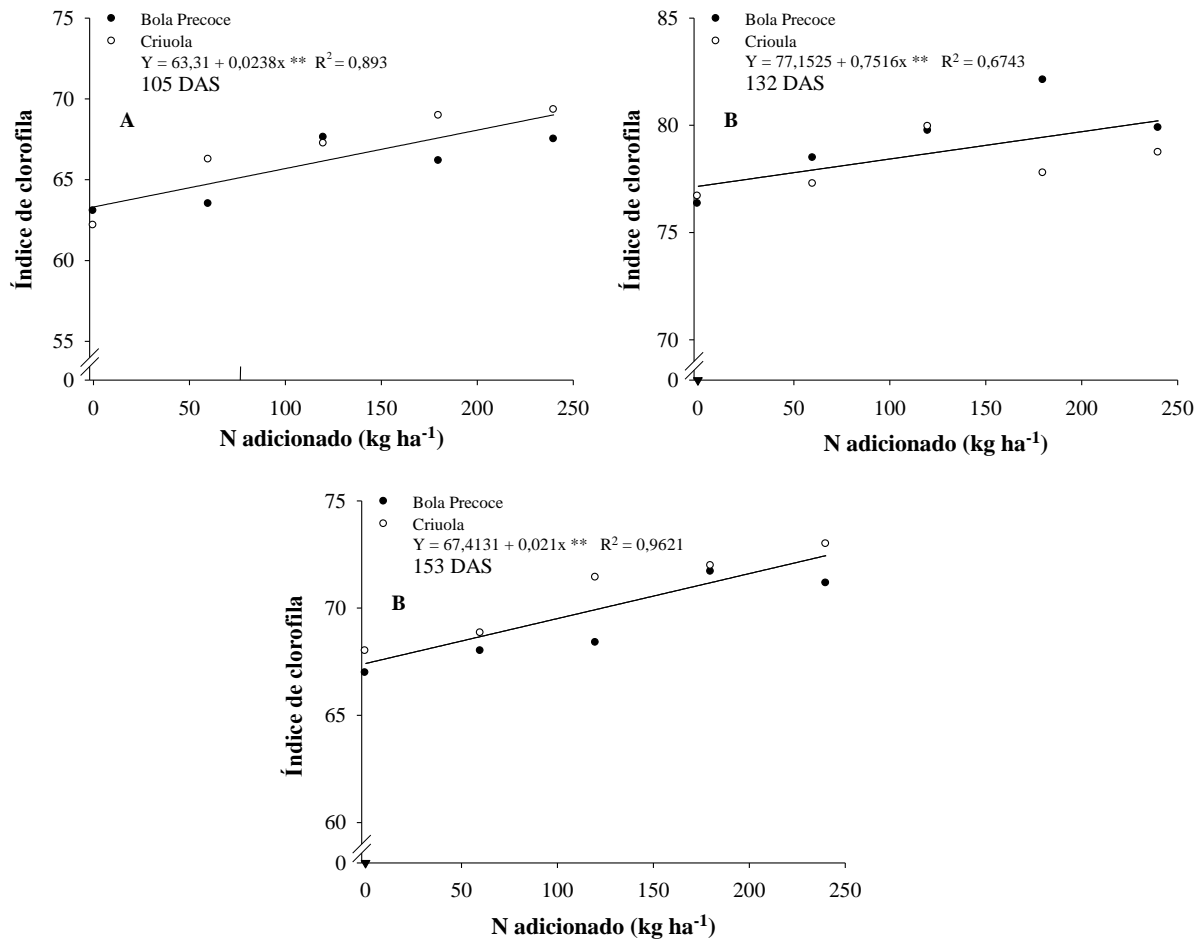


Figura 18. Índice de IC em folhas de cebola das cultivares Bola Precoce e Crioula em função da adição de doses crescentes de N em três épocas na safra 2012/13.

Relação entre rendimento e índice de clorofila (IC)

A relação entre rendimento e IC de maneira geral foi significativa para ambas as safras, épocas e cultivares avaliados. Para a relação entre o rendimento e o IC na safra 2012/13, verificou-se valores significativos nas três épocas avaliadas para a cultivar Crioula (Figura 20). O IC crítico para o rendimento máximo para esta cultivar foi de 69,1; 75,7 e 71,4 para a primeira (105 DAS), a segunda (132 DAS) e a terceira época (153 DAS), respectivamente.

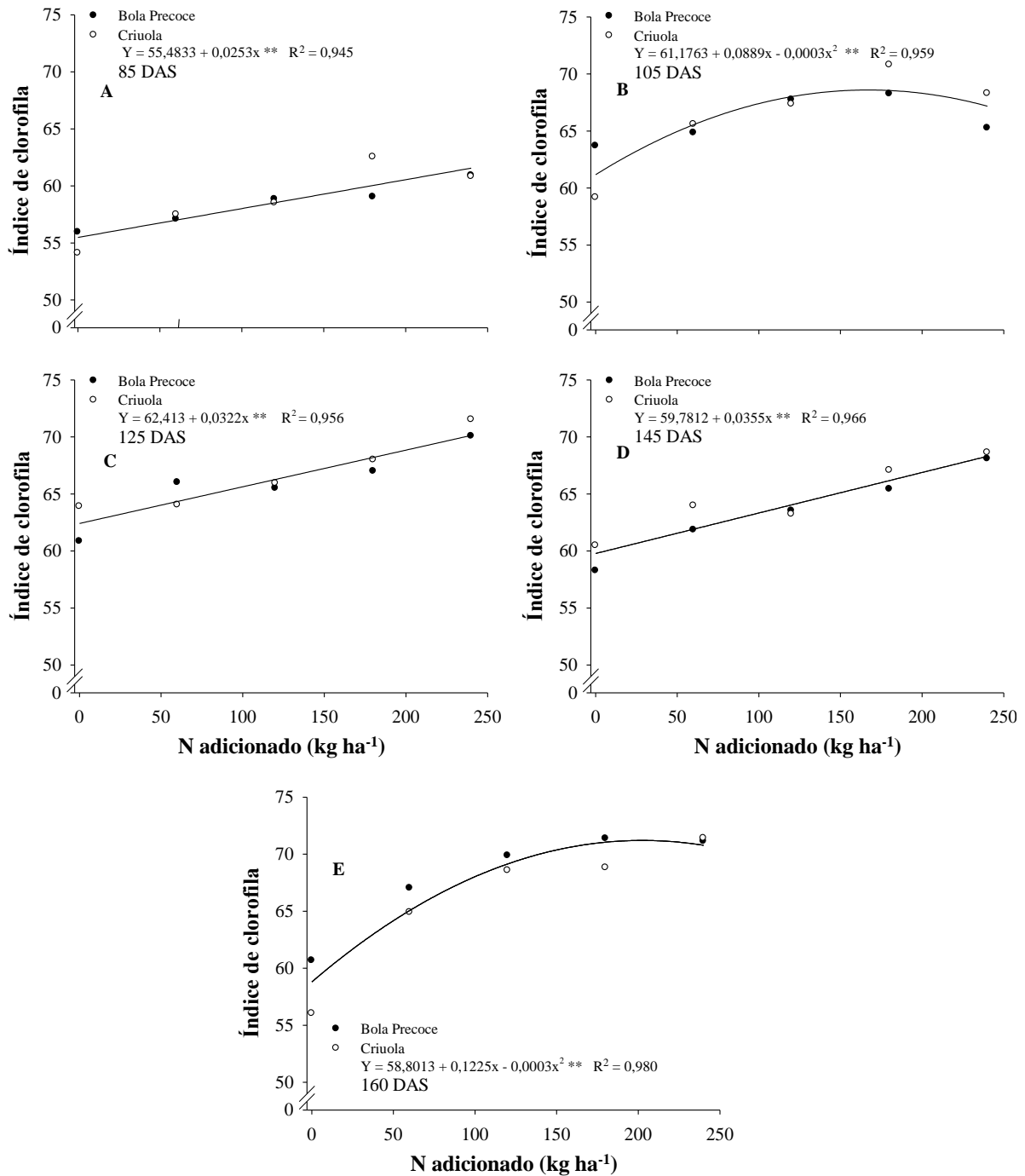


Figura 19. Índice de clorofila (IC) em folhas de cebola das cultivares Bola Precoce e Criuola em função da adição de doses crescentes de N em cinco épocas na safra 2013/14.

Para a cv. Bola Precoce, em função da baixa resposta a N nesta safra, não houve correlação entre o rendimento e IC. Os valores do IC da cv. Criuola para o rendimento máximo situaram-se entre 95 % e 100 % dos valores máximos de leitura. Nesta mesma safra, usando como metodologia a dose obtida para a máxima eficiência técnica de 157 kg ha^{-1} para prever os valores críticos do IC, estes situaram-se em 67,5; 78,3 e 70,7 para ambas as

cultivares, respectivamente nas três épocas avaliadas. Neste caso, estes valores representam entre 97 % e 99% dos valores máximos de leitura e são similares aos valores obtidos pela relação entre rendimento e IC. Nesta mesma safra, também houve correlação significativa e positiva entre o rendimento e o IC para cv. Bola Precoce na primeira época e para a cv. Crioula nas três épocas analisadas (Tabela 8).

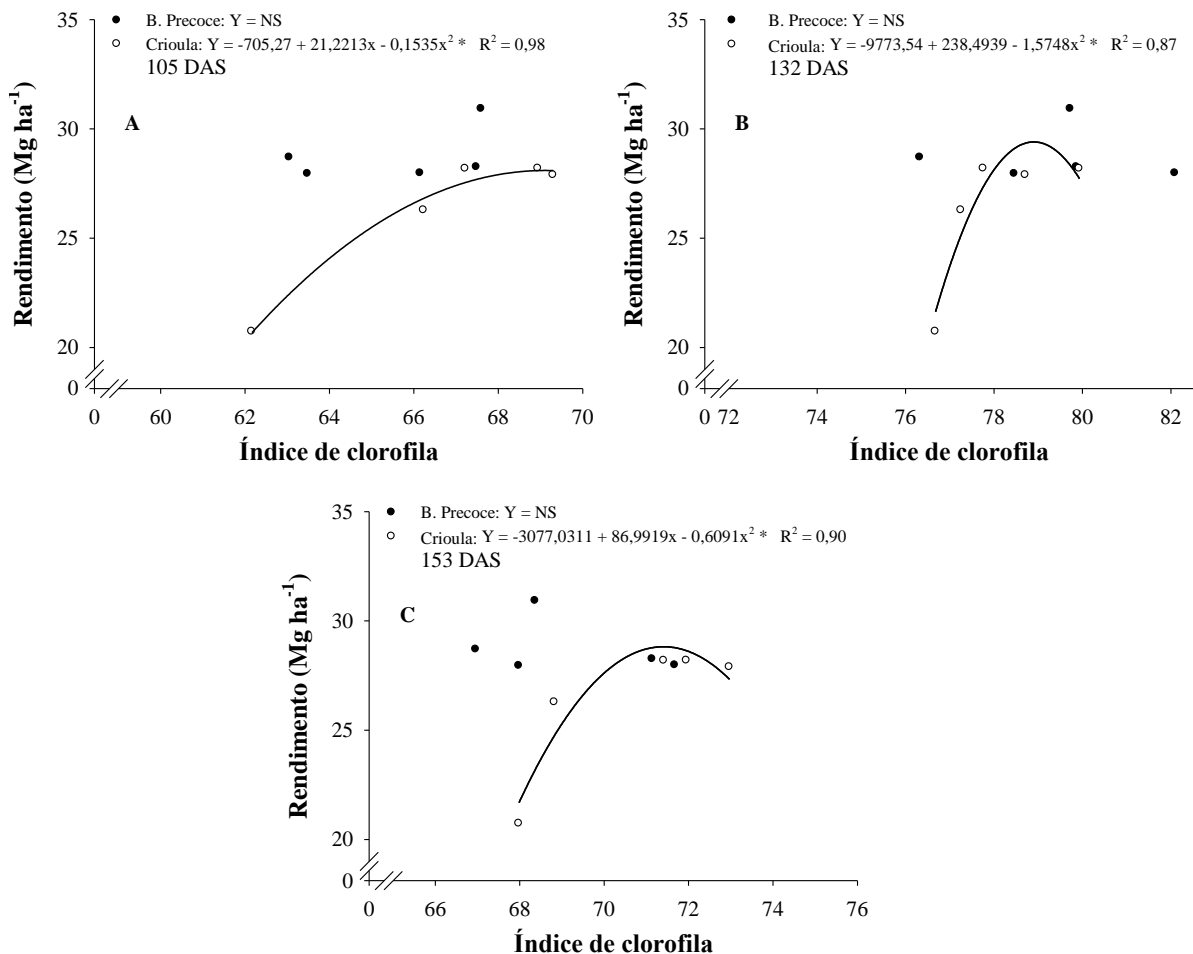


Figura 20. Relação entre rendimento e índice de clorofila (IC) em folhas de cebola das cultivares Bola Precoce e Crioula em função da adição de doses crescentes de N em três épocas na safra 2012/13.

Na safra 2013/14, a relação entre rendimento e IC foi significativa para ambas as cultivares e para as cinco épocas avaliadas (Figura 21). Observou-se um comportamento de forma quadrática para a primeira (85 DAS), terceira (105 DAS) e quarta (145 DAS) época e de forma linear para a segunda (105 DAS) e quinta (160 DAS) época avaliadas. Os valores críticos do IC para o rendimento máximo para ambas as cultivares foram de 62,2; 69,5; 68,8; 67,4 e 71,3, respectivamente, na sequência das cinco épocas avaliadas. Devido à quinta época

já encontrar-se próximo ao período de maturação, este momento não é mais adequada para diagnóstico de N para realizar adubação de cobertura. Considerando somente as três épocas intermediárias no diagnóstico do estado de N, observa-se uma variação muito pequena para os índices críticos (69,5 a 67,4) para alcançar o rendimento máximo. Também constata-se que os valores do nível crítico do IC para o rendimento máximo situa-se entre 98 % e 100 % dos valores máximos observados. Nesta safra, usando também como metodologia a dose obtida para a máxima eficiência técnica de 192 kg ha⁻¹ para predizer os valores críticos do IC, estes situam-se em 60,3; 68,4; 68,6; 66,6 e 71,2 para ambas as cultivares, respectivamente nas cinco épocas avaliadas. Neste caso, estes valores representam entre 97,5 % e 100 % dos valores máximos de leitura e também são similares aos valores obtidos pela relação entre rendimento e IC.

Vidigal & Moreira (2009a) ao avaliar a intensidade de cor verde para o híbrido de cebola Superex no estado de Minas Gerais, observaram que os valores críticos alcançados para o IC obtido no meio da folha mais jovem totalmente expendida coletada aos 114 DAS, foram de 63,9 em solo arenoso e 69,7 num solo argiloso, respectivamente. Este último valor situa-se próximo aos valores críticos encontrados para o presente trabalho para as três épocas intermediárias avaliadas.

De maneira similar ao presente estudo o conteúdo de clorofila, estimado com o medidor portátil, tem demonstrado correlação positiva com a concentração de N na planta e também com o rendimento de diversas espécies (Gil et al., 2002; Fontes, 2011; Pôrto et al., 2011). Desse modo, esta metodologia mostra-se promissora para uso como ferramenta auxiliar para caracterizar de forma indireta a necessidade de adubação nitrogenada. Em hortaliças, o IC tem sido utilizado com sucesso para diagnosticar o estado nitrogenado em alho (Backes et al., 2008), batata (Gil et al., 2002) tomate (Ferreira et al., 2006), pimentão (Madeira et al., 2003) e pepino (Pôrto et al., 2014), dentre outras.

Os valores obtidos para o IC obtidos no presente estudo apresentam uma baixa amplitude e variabilidade entre anos e épocas de diagnose em comparação aos valores de NO₃⁻ na seiva, o que permite diagnosticar o estado de N sem a necessidade de área de referência com alta disponibilidade de N como foi indicado para a diagnose através do NO₃⁻ na seiva.

Também obteve-se correlação linear significativa e positiva entre o rendimento de bulbos e o IC para a todas as épocas para ambas as cultivares, exceto na terceira época para a cultivar Crioula (Tabela 8).

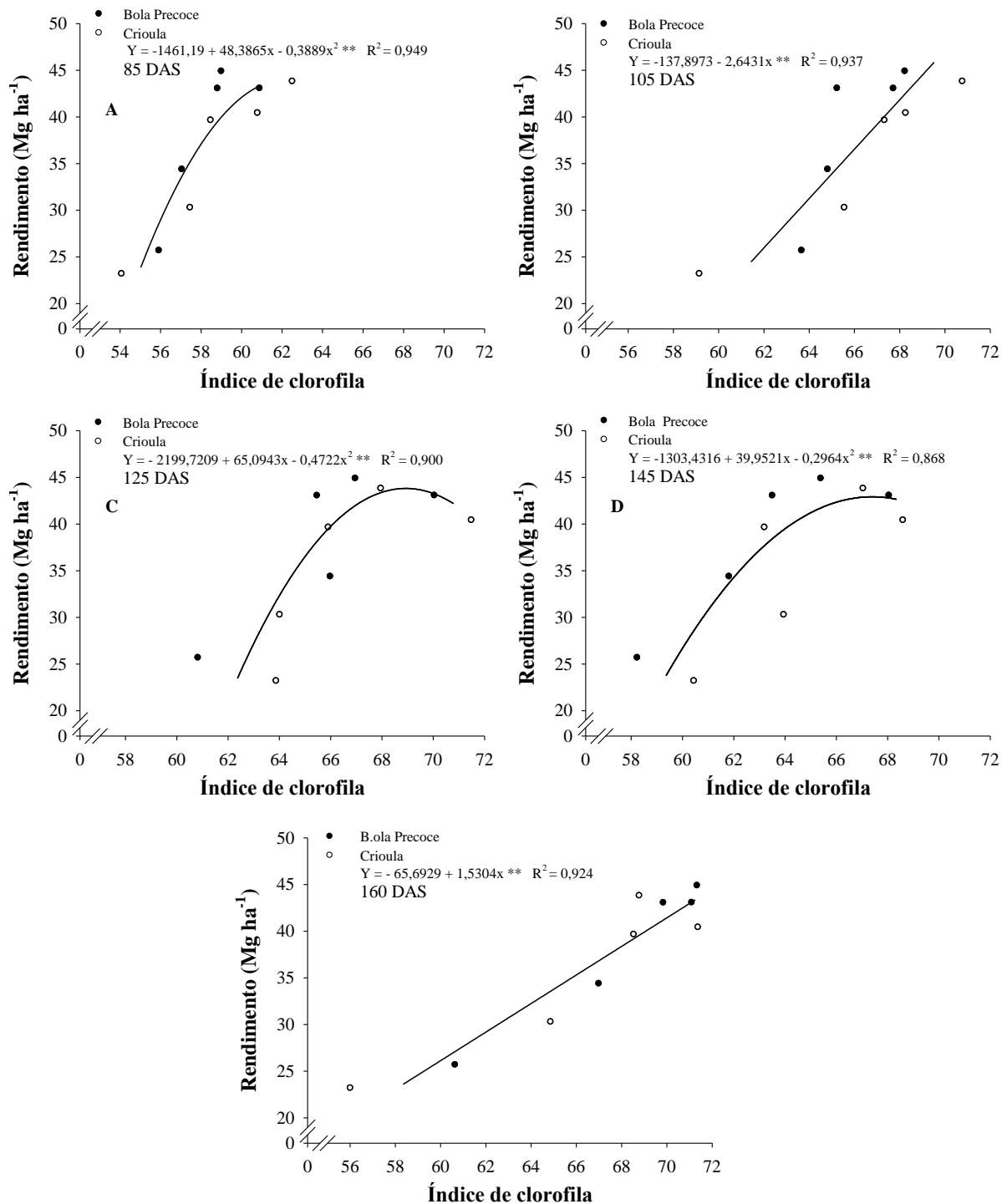


Figura 21. Relação entre rendimento e índice de clorofila (IC) em folhas de cebola das cultivares Bola Precoce e Crioula em função da adição de doses crescentes de N em cinco épocas na safra 2013/14.

Com base nos dados das duas safras estudadas para a adubação com N, sugere-se quando as leituras do IC forem inferiores a 72 nas primeiras quatro épocas avaliadas (épocas conforme safra 2013/14) se recomenda a aplicação de N em cobertura. Neste caso, a exemplo

do parcelamento sugerido anteriormente para o diagnóstico com base nos teores de NO_3^- na seiva, seria aplicado 20 kg ha^{-1} na sementeira, $34,5 \text{ kg ha}^{-1}$ aos 45 DAS quando as plantas estiverem com 2-3 folhas e as outras coberturas nesta mesma quantidade seriam realizadas em até quatro vezes (85, 105, 125, e 145 DAS), sempre que o IC estiver abaixo de 72. Se os valores do IC forem inferiores a 72 em todas as épocas diagnosticadas, a dose máxima aplicada será de $192,5 \text{ kg ha}^{-1}$, a exemplo do que seria adicionado na safra 2013/14.

Relação entre rendimento e N no tecido foliar

A relação entre N no tecido foliar e o rendimento de bulbos foi significativa para a cv. Bola Precoce na safra 2012/13 e para ambas as cultivares na safra seguinte, indicando efeito positivo da adubação com este nutriente no rendimento da cebola (Figura 22). No primeiro ano avaliado, houve um comportamento quadrático para esta relação e ficou estimado em $40,2 \text{ g kg}^{-1}$ o teor de N para o rendimento máximo de bulbos para a cv. Crioula.

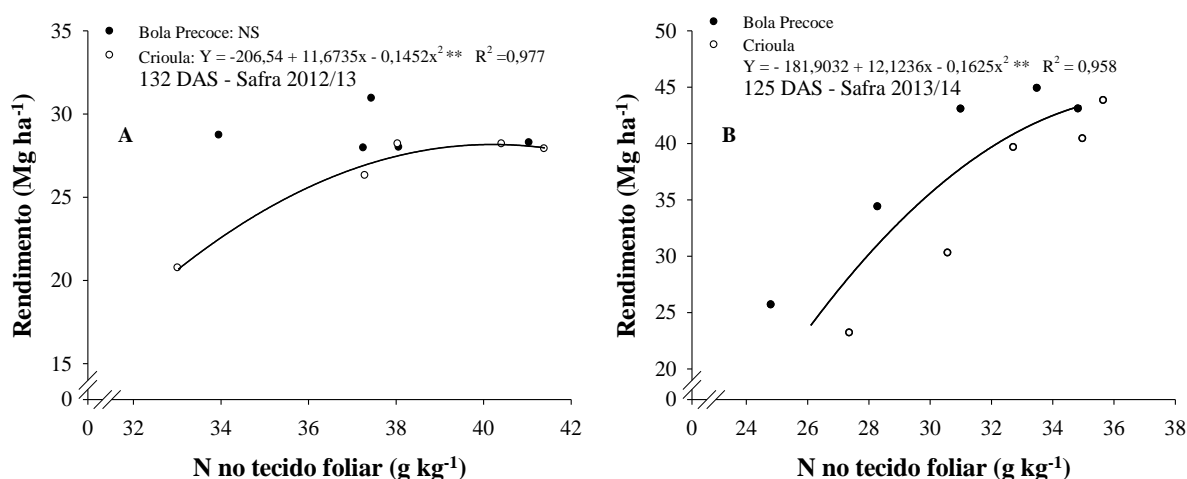


Figura 22. Relação entre rendimento de bulbos e N no tecido foliar de cebola das cultivares Bola Precoce e Crioula nas safras 2012/13 e 2013/14.

Na safra seguinte, o rendimento máximo de bulbos foi obtido com $34,8 \text{ g kg}^{-1}$ de N no tecido foliar para ambas as cultivares. Para as duas safras esta relação foi altamente significativa ($P < 0,01$) e o coeficiente de determinação também foi elevado (0,98 e 0,96). Resultados semelhantes também foram observados na correlação que foi altamente significativa para a cv. Crioula na primeira safra e para ambas as cultivares na safra seguinte (Tabela 8).

Conforme já discutido no Capítulo 2, o rendimento de bulbos aumentou com os incrementos nas doses de N no solo e com o aumento dos teores de N no tecido foliar e as

doses de máxima eficiência técnica para as cultivares de cebola Bola Precoce e Crioula no sistema de semeadura direta variou de 157 a 192 kg ha⁻¹ de N nas duas safras estudadas. Os teores de N no tecido foliar de maneira geral são usados como método padrão para o diagnóstico do estado N para a grande maioria das culturas (Fontes, 2011).

3.4. CONCLUSÕES

1. Houve relação entre teor foliar de N e rendimento de bulbos com os teores de NO₃⁻ na seiva e índice de clorofila para ambas as safras e cultivares de cebola.

2. Tanto a determinação do NO₃⁻ na seiva quanto do índice de clorofila nas folhas de cebola, podem ser usados na determinação do estado de N e na definição da necessidade deste nutriente a ser aplicada em cobertura na cultura da cebola.

3. Os valores das leituras para ambos os índices variam com a época de avaliação, porém o índice de clorofila tem menor amplitude que o NO₃⁻ na seiva.

4. Com base neste estudo, para recomendação de N com base nos teores de NO₃⁻ na seiva em lavouras comerciais, sugere-se implantar uma área de referência com alta disponibilidade de N para as plantas. Quando as leituras de NO₃⁻ na seiva na lavoura for inferior a 90 % do valor da leitura obtida na área de referência, independente da época avaliada, sugere-se a aplicação de N em cobertura.

5. Para recomendação de N com base no índice de clorofila, sugere-se adicionar N em cobertura quando os valores das leituras do índice de clorofila forem inferiores a 72, independente da época avaliada.

3.5. LITERATURA CITADA

ALCÁNTAR, G.; SANDOVAL, M.; CASTELLANOS, J.; MÉNDEZ, F.; SÁNCHEZ, P. & RODRÍGUEZ, M.N. Diagnostic methods to evaluate nutrient status of garlic, onion, and broccoli. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 33:2585-2598, 2002.

ALVA, A.K. Petiole and soil nitrogen concentrations during the growing season of two potato cultivars as influenced by different nitrogen management practices. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 38:403-421, 2007.

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*, 26: 471-475, 2008.

ARAÚJO, C. de; Critérios para manejo adubação nitrogenada do tomateiro em ambiente protegido e no campo. Viçosa: UFV, 2004. 221p. (Tese de DS em Fitotecnia).

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F. & BARTOLINI, C.G. Clorofila na folha como indicador do nível de nitrogênio em cereais. *Ciência Rural*, 31: 715-722, 2001.

BACKES, C.; LIMA, C.P.; GODOY, L.J.G.; BÔAS, L.R.V. & IMAIZUMI, I. Coloração verde nas folhas da cultura do alho vernalizado em resposta à adubação nitrogenada. *Bragantia*, 67: 491-498, 2008.

BREDEMEIER, C. & MUNDSTOCK, C.M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. *Ciência Rural*, 30: 365-372, 2000.

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

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, F.V.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B & NEVES, L.N. Eds. *Fertilidade do solo*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.376-449.

CARVALHO, M.A.F.; SILVEIRA, P.M. & SANTOS, A.B. Utilização do clorofilômetro para racionalização da adubação nitrogenada nas culturas do arroz e do feijoeiro. Santo Antônio de Goiás (GO), Embrapa, 2012. 14p. (Comunicado Técnico 205)

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 Ciência do Solo* 34: 1175-1183, 2010.

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

ERNANI, P.R. Química do solo e disponibilidade de nutrientes às plantas. Lages (SC), 2008. 229p.

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

FERREIRA, M.M.M.; FERREIRA, G.B.; FONTES, P.C.R. & DANTAS, J.P. Índice SPAD e teor de clorofila no limbo foliar do tomateiro em função de doses de nitrogênio e da adubação orgânica, em duas épocas de cultivo. *Revista Ceres*, 53: 83-92, 2006

FERREIRA, M.M.M. & FONTES, P.C.R. Índices de nitrogênio nas folhas de tomateiro em função do nitrogênio e da adubação orgânica. *Revista Agro@mbiente On-line*, 5: 106-112, 2011.

FOLEGATTI, M.V.; BLANCO, F.F. BOARETTO, R.M. & BOARETTO, A.E. Calibration of cardy-ion meters to measure nutrient concentrations in soil solution and in plant sap. *Scientia Agrícola*, 62: 8-11. 2005.

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

FONTES, P.C.R.; COELHO, E.; CARDOSO, A.A. Petiole sap nitrate and leaf nitrogen critical values in melon plants grown in unheated greenhouse and field conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 26:1403-1411, 2003.

FONTES, P. C. R. Diagnóstico do estado nutricional das plantas. Viçosa: UFV, 2001. 121p.

FONTES, P.C.R. Nutrição mineral de plantas: avaliação e diagnose. Viçosa: O autor. 2011. 296p.

FREIRE, F.M.; MASCARENHAS, M.H.T.; VIANA, M.C.M.; GONÇALVES, L.D.; LARA, J.F.R.; ANDRADE, C.L.T. & PURCINO, H.M.A. Produtividade, teor de nitrato na seiva da nervura central e de nitrogênio total de folhas de alface em resposta a doses de nitrogênio. *Horticultura Brasileira*, 26: S74-S78, 2008.

GAVIOLA, S. & LIPINSKI, V.M. Diagnóstico rápido de nitrato en ajo cv. fuego inta con riego por goteo. *Ciencia del Suelo*, 20: 43-49, 2002.

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

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

GUIMARÃES, T.G. Nitrogênio no solo e na planta, teor de clorofila e produção do tomateiro, no campo e na estufa, influenciados por doses de nitrogênio. 1998. 184f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – UFV, Viçosa.

GÜLER, S. & BÜYÜK, G. 2007. Relationships among chlorophyll-meter reading value, leaf N and yield of cucumber and tomatoes. *Acta Horticulturae*, 729: 307-311, 2007.

IMSANDE, J., TOURAINÉ, B. N Demand and regulation of nitrate uptake. *Plant Physiology*, Lancaster, 105:3-7, 1994.

MADEIRA, A.C.; FERREIRA, A.; VARENNE, A. & VIEIRA, M.I. SPAD meter versus tristimulus colorimeter to estimate chlorophyll content and leaf color in sweet pepper. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 34: 2461-2470, 2003.

MARENCO, R.A.; LOPES, N.F. Fisiologia Vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral. 2. ed. Viçosa: UFV. 2005. 439p.

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*, 33:335-340, 2011.

OLFS, H.W.; BLANKENAU, K.; BRENTROP, F.; JASPER, J.; LINK, A. & LAMMEL, J. Soil-and plant-based nitrogen-fertilizer recommendations in arable farming. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 168:414-431, 2005.

PÔRTO, M.L.; PUIATTI, M.; FONTES, P.C.R.; CECON, P.R.; ALVES, J.C.; ARRUDA, J.A. Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio na cultura da abobrinha. *Horticultura Brasileira*, 29: 311-315, 2011.

PÔRTO, M.L.A.; PUIATTI, M.; FONTES, P.C.R.; CECON, P.R.; ALVES, J.C. Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio na cultura do pepino japonês em ambiente protegido. *Horticultura Brasileira*, 32: 292-296, 2014.

ROSOLEM, C.A. & MELLIS, V. van. Monitoring nitrogen nutrition in cotton. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34:1601-1607, 2010.

SEXTON, P. & CARROL, L. Compararison of SPAD chlorophyll meter readings VS. petiole nitrate concentration in sugarbeeed. *Jounal of Plant Nutrition.*, 25:1975-1986, 2002.

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*, 27: 17-22, 2009.

SWIADER, J.M. & MOORE, A. SPAD-chlorophyll response to nitrogen fertilization and evaluation of nitrogen status in dryland and irrigated pumpkins. *Journal of Plant Nutrition* 25: 1089-1100, 2002.

VIDIGAL, S.M. Adubação nitrogenada de cebola irrigada cultivada no verão - Projeto Jaíba, Norte de Minas Gerais. 2000. 136f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2000.

VIDIGAL, S.M. & MOREIRA, M.A. Diagnóstico de nitrogênio por medidores portáteis para uso na cultura da cebola. Belo Horizonte (MG), Epamig, 2009a. 5p. (Circular Técnica n. 52)

VIDIGAL, S.M. & MOREIRA, M.A. Diagnóstico de nitrogênio por medidores portáteis para uso na cultura do repolho. Belo Horizonte (MG), Epamig, 2009b. 5p. (Circular Técnica n. 53)

WESTERVELD, S.M.; MCKEOWN, A.W.; MACDONALD, M.R. & SCOTT-DUPREE, C.D. Assessment of chlorophyll and nitrate meters as field tissue nitrogen tests for cabbage, onions and carrots. HortTechnology, 14:179-188, 2004.

WESTERVELD, S.M.; MCKEOWN, A.W.; MACDONALD, M.R. & SCOTT-DUPREE, C.D. Chlorophyll and nitrate meters as nitrogen monitoring tools for selected vegetables in southern Ontario. Acta Horticulturae, 627:259-266, 2003.

CONCLUSÕES GERAIS

Tanto o crescimento quanto o acúmulo de nutrientes da cultivar de cebola Bola Precoce no sistema de transplante foi mais intenso durante a fase de bulbificação (61-119 DAT) período em que 84 % da MS total e entre 73 a 89% do total de nutrientes foi acumulado.

A sequência de acúmulo de nutrientes verificada em ordem decrescente foi $N > K > Ca > P > Mg > Fe > B > Mn > Zn > Cu$, com 101,4; 86,5; 46,6; 34,5; 12,1 kg ha⁻¹ e 761; 221; 150; 84; 34 g ha⁻¹, respectivamente. Desta quantidade, 57,5 %, 52,8 %, 42,3 %, 68,5 %, 57,3 %, 37,6 %, 70,7 %, 41,9 %, 73,6 % e 71,6 %, respectivamente, foram acumulados no bulbo.

As doses de N de máxima eficiência econômica para o cultivo de cebola no sistema de semeadura direta variaram entre 146 a 192 kg ha⁻¹ nas duas safras estudadas, com os teores críticos de N foliar variando entre 34,4 e 38,9 g kg⁻¹.

A determinação do NO₃⁻ na seiva e do índice de clorofila nas folhas foram eficientes em determinar o estado de N na planta e como ferramentas de definição da dose deste nutriente a ser aplicada em cobertura na cultura da cebola.

Com base neste trabalho, sugere-se a recomendação de adubação nitrogenada em cobertura quando os teores de NO₃⁻ na seiva das plantas da lavoura forem inferiores a 90 % do valor das leituras obtidas na área de referência, com elevada disponibilidade de N, ou quando o índice de clorofila for inferior a 72, independente da época avaliada.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A determinação das curvas e das taxas diárias de acúmulo de nutrientes para a cultura da cebola no sistema de transplante mostrou-se de relevante importância para o entendimento da dinâmica de absorção e acúmulo de nutrientes e pode constituir-se numa ferramenta auxiliar no planejamento da adubação, especialmente para N e K em cobertura.

Para a recomendação do N em cobertura proposta para a cultura da cebola em sistema de semeadura direta com base nos teores de NO_3^- e no índice de clorofila é importante validar estes métodos de diagnose em lavouras comerciais por mais duas a três safras em diferentes locais para verificar a sua eficácia para consolidar como métodos de recomendação.

RESUMO BIOGRÁFICO

Claudinei Kurtz, filho de Dionisio Kurtz e Emília Jochem Kurtz, nasceu em 27 de novembro de 1971, em Atalanta (SC).

Viveu a infância e parte da juventude no interior em contato direto com atividades agropecuárias na propriedade agrícola da família.

Cursou as séries iniciais (1ª até a 4ª) na Escola Estadual da Comunidade de Rio Caçador e completou em 1986 o ensino fundamental (5ª até a 8ª) na Escola Estadual Dr. Frederico Rolla de Atalanta (SC).

Em fevereiro de 1987, ingressou no curso de 2º grau no Colégio Agrícola Vidal Ramos em Canoinhas (SC), formando-se Técnico em Agropecuária em dezembro de 1989.

Em junho de 1991 iniciou atividades como Técnico em Agropecuária na Secretaria da Agricultura do Município de Atalanta (SC) onde trabalhou até julho de 1994.

Em agosto de 1994 ingressou no curso de Agronomia no Centro de Ciências Agroveterinárias – CAV da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, Lages, SC, graduando-se em julho de 1999.

Em julho de 1999, iniciou atividades como Secretario da Agricultura do Município de Atalanta (SC), permanecendo até janeiro de 2001.

Em março de 2001, iniciou atividades na empresa Cooper HF na área de assistência técnica e gerente da loja filial de Ituporanga (SC), permanecendo até outubro 2002.

Em novembro de 2002, após aprovado em concurso público, iniciou as atividades na Epagri - Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina como extensionista rural nos municípios de Marema e Petrolândia, SC.

Em março de 2006, ingressou no curso de mestrado em Ciência do Solo na Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC, Lages, SC, sob orientação do prof. Dr. Paulo Roberto Ernani, concluindo em fevereiro de 2008.

Em março de 2008, iniciou as atividades na área de pesquisa da Epagri - Estação Experimental de Ituporanga (SC) na área de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas.

Em março de 2012, iniciou o Curso de Doutorado em Ciência do Solo e submetendo-se à defesa de tese em maio de 2015, na área de Nutrição de Plantas, sob orientação do Prof. Dr. Volnei Pauletti, no Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Paraná – UFPR, Curitiba (PR).