

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

**INTEGRAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS DE PLANTA, DE DOSSEL E DE SOLO
PARA MAIOR EFICIÊNCIA DA ADUBAÇÃO NITROGENADA EM
COBERTURA EM MILHO**

Lisandro Rambo

Engenheiro Agrônomo, M.Sc. (UFRGS)

Tese apresentada como um dos
requisitos à obtenção do Grau de
Doutor em Fitotecnia
Área de Concentração Plantas de Lavoura

Porto Alegre, RS, Brasil
Julho, 2005

LISANDRO RAMBO
Engenheiro Agrônomo – UFSM
Mestre em Fitotecnia - UFRGS

TESE

Submetida como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de
DOUTOR EM FITOTECNIA
Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia
Faculdade de Agronomia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovada em:
Pela Banca Examinadora

Homologada em:
Por:

PAULO REGIS FERREIRA DA SILVA
Orientador-PPG-Fitotecnia

JOSÉ ANTÔNIO MARTINELLI
Coordenador do Programa de
Pós-Graduação em Fitotecnia

CARLA ANDRÉA DELATORRE
PPG-Fitotecnia

CIMÉLIO BAYER
PPG-Solos

LUÍS SANGOI
Universidade do Estado de Santa
Catarina (UDESC-Lages)

GILMAR ARDUINO BETTIO
MARODIN
Diretor da Faculdade
de Agronomia

“O trabalho científico é lento na maioria das vezes, monótono e quase sempre sujeito às adversidades. Somente a disposição, a perseverança e o amor ao estudo e à pesquisa científica de interesse podem manter o pesquisador ligado ao seu trabalho. Não se devem esperar compensações financeiras ou gratidões humanas. O trabalho científico honesto é acompanhado sempre pela recompensa espiritual e, eventualmente, por alguma homenagem que florescerá de suas verdades.”

PETROIANUA

DEDICATÓRIA

*“Aos meus pais Irineu e Dianete,
pelo esforço, estímulo e compreensão, sem
os quais não teria realizado mais esta etapa
em minha vida”.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela força, amor e por me acompanhar nesta caminhada.

Ao professor Paulo Regis Ferreira da Silva, pela orientação, amizade e pelo apoio e incentivo durante esta jornada.

À minha esposa Eliane, pela compreensão, amor e carinho, que me deram força para sempre seguir em frente e nunca desanimar mesmo nas horas mais difíceis.

Ao amigo e colega Mércio Luiz Strieder, pela dedicação, companherismo e estímulo durante a realização deste trabalho.

Ao amigo e colega Gilber Argenta, pela motivação e orientação durante esta jornada.

Aos bolsistas de iniciação científica Adriano Alves da Silva, Elias Suhre, Paulo César Endrigo e Thais Fernanda Stella de Freitas, pela ajuda na realização das determinações.

Aos professores do Departamento de Plantas de Lavoura, o agradecimento pelos ensinamentos e atenção dispensados.

Aos colegas de pós-graduação, pela amizade e colaboração recebidas durante o curso, e aos funcionários do Departamento de Plantas de Lavoura que ajudaram na execução deste trabalho.

Aos amigos e colegas João Leonardo F. Pires, Mario Bianchi e Naracelis Polleto pelo companherismo, amizade e estímulo durante o percurso desta caminhada.

Ao pesquisador Bao-Luo Ma e aos técnicos Doug Balchin e Lynne Evenson, do *Estern Cereal and Oilseed Research Center – Canada*, pela boa acolhida, boa vontade e ajuda. Aos estudantes Crystal Dyson e Jeffrey MacDonald, pela ajuda na coleta de dados naquele centro de pesquisa.

Ao CNPq, pelo auxílio financeiro.

INTEGRAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS DE PLANTA, DE DOSSSEL E DE SOLO PARA MAIOR EFICIÊNCIA DA ADUBAÇÃO NITROGENADA EM COBERTURA EM MILHO¹

Autor: Lisandro Rambo

Orientador: Prof. Paulo Regis Ferreira da Silva

SINOPSE GERAL

O milho é um das culturas mais exigentes em nitrogênio (N). A sua aplicação na dose e época correta pode aumentar a sua eficiência de uso, diminuindo custos e danos ambientais. Foram estudadas características de planta, de dossel e de solo, como indicadores da disponibilidade de N no sistema solo-planta para predição da necessidade deste nutriente em cobertura em milho. Foram conduzidos cinco experimentos a campo e dois em casa de vegetação, nas estações de crescimento de 2002/03 e 2003/04, na Estação Experimental Agronômica e na Faculdade de Agronomia da UFRGS, em Eldorado do Sul e em Porto Alegre-RS, Brasil, respectivamente, e dois experimentos a campo no ano de 2004 no *Estern Cereal and Oilseed Research Center*, em Ottawa-Ontário, Canadá. Foram avaliadas, em diferentes locais e situações de manejo, características de planta, de dossel e de solo, citando-se: teores de nitrato, amônio e N mineral no solo e na folha; massa seca e área foliar da folha e da planta, teor e acúmulo de N na folha e na planta; teor relativo de clorofila na folha, medido pelo clorofilômetro, reflectância do dossel, medido por dois tipos de radiômetros e fluorescência da folha, medida pelo fluorômetro. Além disso, foram avaliados o rendimento de grãos e seus componentes e parâmetros de eficiência técnica e econômica de uso de N. Dentre as características de planta, o teor relativo de clorofila na folha, e dentre os de solo, o teor de nitrato no solo, destacaram-se entre os demais avaliados. Foram determinados níveis críticos e doses ótimas de N, bem como estabelecidas curvas de calibração para dois níveis de manejo com base nestas características para monitoramento da lavoura. No que diz respeito às características de dossel estudadas, a reflectância apresentou melhores resultados que a fluorescência como indicador do nível de N no sistema solo-planta. Os estudos realizados mostraram que dentre as características avaliadas, atualmente, o teor relativo de clorofila na folha tem o maior potencial para auxiliar na determinação da época mais adequada para aplicação de N em cobertura em milho.

¹ Tese de Doutorado em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. (176 p.) Julho, 2005.

INTEGRATION OF PLANT, CANOPY AND SOIL CHARACTERISTICS TO INCREASE THE EFFICIENCY OF NITROGEN SIDE DRESS FERTILIZATION IN CORN²

Author: Lisandro Rambo

Adviser: Prof. Paulo Regis Ferreira da Silva

GENERAL ABSTRACT

Corn is one of the most demanding and responsive grasses in terms of nitrogen (N) fertilization. N application in the right timing and rate can increase N efficiency use and decrease the farm costs and environment hazards. Several methods based on plant, canopy and soil characteristics, were studied as indicators of N availability in the soil-plant system to predict corn N side dress requirements. Five field experiments and two greenhouse studies were conducted in the 2002/03 and 2003/04 growing seasons in Eldorado do Sul and in Porto Alegre - RS, Brazil, respectively and two field experiments were carried out at the Estern Cereal and Oilseed Research Center in Ottawa - ON, Canada. Several plant, canopy and soil characteristics, using field and laboratory equipments were evaluated in different environment and management conditions, such as: soil and leaf nitrate, ammonium and mineral N contents; plant and leaf dry weight and leaf area; plant and leaf N content and accumulated; leaf relative chlorophyll content, measured by the chlorophyll meter; canopy reflectance, measured by two different radiometers, and leaf fluorescence, measured by fluorometer. Besides, the grain yield and its components, and technical and economic characteristics of N use efficiency were evaluated. The results showed that, among the plant characteristics, the leaf relative chlorophyll content, and among the soil characteristics, the soil nitrate content, were the most efficient. Critical level, optimum rates of N and calibration curves based on these characteristics, in two management levels, were established for field monitoring, aiming to help corn N fertilization management. Regarding of the canopy characteristics, reflectance presented better results than fluorescence as plant N indicator in the soil-plant system. The studies showed that among the evaluated characteristics, nowadays, the leaf relative chlorophyll content has the highest potential for assisting the decision about when to side dress N in corn.

² Doctoral Thesis in Agronomy, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (176 p.) July, 2005.

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2. CAPÍTULO I - Relação entre características de planta e rendimento de grãos para predição da época de aplicação de nitrogênio em cobertura em milho sob dois níveis de manejo.....	7
3. CAPÍTULO II - Teor de nitrato no solo como indicador complementar no manejo da adubação nitrogenada em milho.....	35
4. CAPÍTULO III - Monitoramento do nível de nitrogênio na planta através de dois índices avaliados pelo clorofilômetro na predição da adubação nitrogenada em milho sob alto manejo.....	53
5. CAPÍTULO IV – Eficiência de uso de dois índices do teor relativo de clorofila na folha como indicadores para predição da adubação nitrogenada em cobertura em milho sob dois níveis de manejo.....	81
6. CAPÍTULO V - Sistema de predição de doses ótimas para a adubação nitrogenada em cobertura em milho com base em indicadores de solo e de planta.....	109
7. CAPÍTULO VI - Avaliação de características óticas da folha e do dossel como indicadores para predição da necessidade de nitrogênio em milho.....	128
8. CONCLUSÃO GERAL.....	153
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	157
10. APÊNDICES.....	168

RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
TABELA 1 - Caracterização dos dois níveis de manejo aplicados na cultura do milho nos experimentos conduzidos no ano agrícola de 2003/04.....	13
TABELA 2 - Caracterização das doses e épocas de aplicação de N nos dois níveis de manejo na cultura do milho, nos experimentos conduzidos no ano agrícola de 2003/04.....	14
TABELA 3 - Análises de variâncias, médias e coeficientes de variação, por experimento, do rendimento de grãos ($t\ ha^{-1}$) do híbrido de milho Pioneer 32R21, em dois anos agrícolas. EEA/UFRGS, Eldorado Sul-RS.....	17
TABELA 4 - Análises de variância, médias (M) e coeficientes de variação (CV), em quatro estádios de desenvolvimento, das características de planta do híbrido de milho Pioneer 32R21 no Experimento I – Alto Manejo. EEA/UFRGS, Eldorado Sul-RS, 2002/03.....	19
TABELA 5 - Análises de variância, médias (M) e coeficientes de variação (CV), em seis estádios de desenvolvimento, das características de planta do híbrido de milho Pioneer 32R21 no Experimento II – Médio Manejo. EEA/UFRGS, Eldorado Sul-RS, 2003/04.....	20
TABELA 6 - Análises de variância, medias (M) e coeficientes de variação (CV), em seis estádios de desenvolvimento, das características de planta do híbrido de milho Pioneer 32R21 no Experimento III – Alto Manejo. EEA/UFRGS, Eldorado Sul-RS, 2003/04.....	21
TABELA 7 - Correlação simples entre rendimento de grãos do híbrido de milho Pioneer 32R21e as características de planta no Experimento I – Alto Manejo, em quatro estádios de desenvolvimento. EEA/UFRGS, Eldorado Sul-RS, 2002/03.....	22
TABELA 8 - Correlação simples entre rendimento de grãos do híbrido de milho Pioneer 32R21 e as características de planta no Experimento II – Médio Manejo, em seis estádios de desenvolvimento. EEA/UFRGS, Eldorado Sul-RS,	

	2003/04.....	24
TABELA 9 -	Correlação simples entre rendimento de grãos do híbrido de milho Pioneer 32R21 e as características de planta no Experimento III – Alto Manejo, em seis estádios de desenvolvimento. EEA/UFRGS, Eldorado Sul-RS, 2003/04.....	25
TABELA 10 -	Análises de variâncias, médias e coeficientes de variação (CV) do experimento realizado em casa de vegetação, em dois anos e em dois estádios de desenvolvimento, para as características de planta do híbrido de milho Pioneer 32R21, Porto Alegre-RS.....	31
TABELA 11 -	Correlação simples entre teor de N na última folha expandida do híbrido de milho Pioneer 32R21 com as características de planta no experimento conduzido em casa de vegetação, em dois anos e em dois estádios de desenvolvimento. Faculdade de Agronomia/UFRGS, Porto Alegre-RS.....	32
TABELA 12 -	Análises de variâncias, médias (M) e coeficientes de variação (CV), por estágio de desenvolvimento, do híbrido de milho Pioneer 32R21, das características de solo e do rendimento de grãos, em dois anos agrícolas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul-RS.....	43
TABELA 13 -	Correlação simples entre rendimento de grãos do híbrido de milho Pioneer 32R21 e as características de solo, por estágio de desenvolvimento, em dois anos agrícolas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul-RS.....	44
TABELA 14 -	Equações de regressão, coeficientes de determinação (R^2) entre rendimento de grãos e características de solo, por estágio de desenvolvimento, do híbrido de milho Pioneer 32R21, em dois anos agrícolas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul-RS.....	44
TABELA 15 -	Equações de regressão e coeficientes de determinação (R^2) entre teor de nitrato no solo (y) e níveis de N aplicados (x) no estágio V6 do híbrido de milho Pioneer 32R21, em dois anos agrícolas, e na análise conjunta dos anos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul-RS.....	48
TABELA 16 -	Teor relativo de clorofila na folha (TRC) do híbrido de milho Pioneer 32R21, índice de suficiência de N (IS) e doses de N aplicadas em 10 sistemas de manejo de N, em quatro estádios de desenvolvimento da planta. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul-RS, 2002/03.....	64
TABELA 17 -	Teor relativo de clorofila na folha (TRC) do híbrido de milho Pioneer 32R21, índice de suficiência de N (IS), teor de nitrato no solo ($\text{NO}_3^- \text{ mg kg}^{-1}$) e doses de N aplicadas em 14 sistemas	

	de manejo de N, em quatro estádios de desenvolvimento da planta. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul-RS, 2003/04.....	66
TABELA 18 -	Rendimento e incremento no rendimento de grãos e margem bruta do híbrido de milho Pioneer 32R21 sob 10 sistemas de manejo de N. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul-RS, 2002/03.....	67
TABELA 19 -	Eficiência técnica, econômica e de uso do N do híbrido de milho P 32R21 sob nove sistemas de manejo da adubação nitrogenada através de dois índices do teor relativo de clorofila na folha. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul-RS, 2002/03.....	69
TABELA 20 -	Rendimento e incrementos no rendimento de grãos e margem bruta do híbrido de milho Pioneer 32R21 sob 14 sistemas de manejo de N. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul-RS, 2003/04.....	71
TABELA 21 -	Eficiências técnica, econômica e de uso do N do híbrido de milho P 32R21 sob 13 sistemas de manejo da adubação nitrogenada através de dois índices do teor relativo de clorofila na folha. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul-RS, 2003/04.....	73
TABELA 22 -	Análises de variâncias, médias (M) e coeficientes de variação (CV), por estágio de desenvolvimento, dos dois índices do teor relativo na folha e do rendimento de grãos do híbrido de milho Pioneer 32R21 nos três experimentos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul-RS.....	92
TABELA 23 -	Equações de regressão e coeficientes de determinação (R^2) entre o rendimento de grãos (y) e os dois índices do teor relativo de clorofila na folha (x), por estágio de desenvolvimento, do híbrido de milho Pioneer 32R21, nos três experimentos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul-RS.....	94
TABELA 24 -	Equações de regressão e coeficientes de determinação (R^2) entre os dois índices do teor relativo de clorofila na folha (y) e os níveis de N aplicados (x), por estágio de desenvolvimento, do híbrido de milho Pioneer 32R21 nos experimentos conduzidos no ano agrícola de 2003/04. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul-RS.....	102
TABELA 25 -	Valores críticos e doses de N a serem aplicadas por unidade do teor relativo de clorofila na folha e por unidade centesimal do índice de suficiência abaixo dos seus valores críticos, por estágio de desenvolvimento, do híbrido Pioneer 32R21, nos dois experimentos conduzidos no ano agrícola de 2003/04. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul-RS, 2003/04.....	106
TABELA 26 -	Análises de variância, média e coeficiente de variação (CV), do rendimento de grãos do híbrido de milho Pioneer 32R21, durante dois anos agrícolas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul-RS.....	115

TABELA 27 -	Doses ótimas de N para cada nível de N aplicado no estágio V3, em dois anos agrícolas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul-RS.....	116
TABELA 28 -	Médias das características de planta e de solo determinados nos estádio V6 do híbrido de milho Pioneer 32R21 para cada nível de N aplicado no estágio V3, em dois anos agrícolas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul-RS.....	117
TABELA 29 -	Análise de variâncias, média (M) e coeficiente de variação (CV), por estágio de desenvolvimento, das características analisados no Experimento I, conduzido no Central Experimental Farm (CEF). Ottawa, ON, 2004.....	138
TABELA 30 -	Análise de variâncias, média (M) e coeficiente de variação (CV), por estágio de desenvolvimento, das características analisados no Experimento I, conduzido no Central Farm Inspection Animal (CFIA). Ottawa, ON, 2004.....	139
TABELA 31 -	Análise de variâncias, média (M) e coeficiente de variação (CV), por estágio de desenvolvimento, das características analisados no Experimento II, conduzido no Central Farm Inspection Animal (CFIA). Ottawa, ON, 2004.....	140
TABELA 32 -	Coeficiente de correlação simples entre rendimento de grãos do híbrido de milho Pioneer 38W36 com as características da planta e do dossel no Experimento I, em dois locais (CEF e CFIA) e em quatro estádios de desenvolvimento. Ottawa, ON, 2004.....	147
TABELA 33 -	Coeficiente de correlação simples entre o rendimento de grãos do híbrido de milho Pioneer 38W36 com as características da planta e do dossel no Experimento II, conduzido no CFIA, em quatro estádios de desenvolvimento. Ottawa, ON, 2004.....	148

RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1 - Análise gráfica de Cate-Nelson relacionando teor de nitrato no solo no estágio V6 do híbrido de milho Pioneer 32R21 com rendimento de grãos relativo, em dois anos agrícolas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul-RS, 2002/03 e 2003/04.....	47
FIGURA 2 - Análise gráfica de Cate-Nelson, modificada por FOX et al. (2001), relacionando o teor relativo de clorofila na folha com o rendimento de grãos relativo, por estágio de desenvolvimento, do híbrido de milho Pioneer 32R21, no Experimento II, conduzido sob médio nível de manejo. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul-RS, 2003/04.....	96
FIGURA 3 - Análise gráfica de Cate-Nelson, modificada por FOX et al. (2001), relacionando o teor relativo de clorofila na folha com o rendimento de grãos relativo, por estágio de desenvolvimento, do híbrido de milho Pioneer 32R21, no Experimento III, conduzido sob alto manejo. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul-RS, 2003/04.....	97
FIGURA 4 - Análise gráfica de Cate-Nelson, modificada por FOX et al. (2001), relacionando o índice de suficiência com o rendimento de grãos relativo, por estágio de desenvolvimento, do híbrido de milho Pioneer 32R21, no Experimento II, sob nível médio de manejo. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul-RS, 2003/04.....	98
FIGURA 5 - Análise gráfica de Cate-Nelson, modificada por FOX et al. (2001), relacionando o índice de suficiência com o rendimento de grãos relativo, por estágio de desenvolvimento, do híbrido de milho Pioneer 32R21, no Experimento III, sob nível alto de manejo. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul-RS, 2003/04.....	99
FIGURA 6 - Valores críticos do teor relativo de clorofila na folha (TRC) (A) e do índice de suficiência (IS) (B), e de doses de N a serem aplicadas a cada unidade do TRC (C) e a cada unidade centesimal do IS (D) menores que seus níveis críticos, em função de estágios de desenvolvimento do híbrido de milho Pioneer 32R21, nos Experimento II (nível de manejo médio) e no Experimento III (nível de manejo alto). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul (RS), 2003/04. Os dias 11, 23, 38, 64, 72 e 86 após a emergência, correspondem, respectivamente, aos	

	estádios de desenvolvimento V3, V6, V10, espigamento, R2 e R4.....	105
FIGURA 7 -	Doses ótimas de N a serem aplicadas em cobertura em função dos valores do teor relativo de clorofila na folha, massas seca da folha e da planta e teores de nitrato, amônio e N mineral no solo obtidos no estágio V6 do híbrido de milho Pioneer 32R21, no ano agrícola 2002/03. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS...	119
FIGURA 8 -	Doses ótimas de N a serem aplicadas em cobertura em função dos teores de N na folha e na planta e das quantidades de N acumulado na folha e na planta obtidos no estágio V6 do híbrido de milho Pioneer 32R21, no ano agrícola 2002/03. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS.....	120
FIGURA 9 -	Doses ótimas de N a serem aplicadas em cobertura em função dos valores de teor relativo de clorofila na folha, massas seca da folha e da planta e teores de nitrato, amônio e N mineral no solo obtidos no estágio V6 do híbrido de milho Pioneer 32R21, no ano agrícola 2003/04. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS...	121
FIGURA 10 -	Doses ótimas de N a serem aplicadas em cobertura em função dos teores de N na folha e na planta e das quantidades de N acumulado na folha e na planta obtidos no estágio V6 do híbrido de milho Pioneer 32R21, no ano agrícola 2003/04. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS.....	122
FIGURA 11 -	Efeito de níveis de N aplicados sobre o teor relativo de clorofila na folha (A) e sobre a reflectância, medida pelos equipamentos Green Seeker (B) e Crop Scan (C), em quatro estádios de desenvolvimento do milho, no Experimento I, conduzido no CEF, Ottawa, ON, 2004.....	144
FIGURA 12 -	Efeito de níveis de N aplicados sobre o teor relativo de clorofila na folha (A) e sobre a reflectância, medida pelos equipamentos Green Seeker (B) e Crop Scan (C), em quatro estádios de desenvolvimento do milho, no Experimento I, conduzido no CFIA, Ottawa, ON, 2004.....	145
FIGURA 13 -	Efeito de níveis de N aplicados sobre o teor relativo de clorofila na folha (A) e sobre a reflectância, medida pelos equipamentos Green Seeker (B) e Crop Scan (C), em quatro estádios de desenvolvimento do milho, no Experimento II, conduzido no CFIA, Ottawa, ON, 2004.....	146

1. INTRODUÇÃO GERAL

O milho é um dos cereais mais cultivados no mundo, sendo produto fundamental para alimentação animal e humana. O Brasil está entre os maiores produtores de milho, no entanto, nos últimos anos, tem sido produzida quantidade insuficiente para atender à demanda nacional. O milho pode ser considerado uma cultura de integração nacional, pois é cultivado em todo o país (Monteiro, 1995). Uma das principais causas da falta de produto para atender à demanda nacional é o rendimento de grãos desta cultura no Brasil, que ainda se mantém em patamares muito baixos.

O milho constitui-se em um dos principais insumos para o segmento produtivo, com destaque no arraçãoamento de animais, em especial na suinocultura, na avicultura e na bovinocultura de leite, tanto na forma “in natura”, como na forma de farelo, de ração ou de silagem. Na alimentação humana, o milho é comumente empregado na forma “in natura”, como milho verde, e na forma de subprodutos, como pão, farinha e massas. Na indústria, o milho é empregado como matéria-prima para extração de amido, óleo, farinha, glicose, produtos químicos, rações animais e para elaboração de formulações alimentícias (Pinazza, 1993).

No Rio Grande do Sul, o milho responde por cerca de um terço da produção de grãos, considerando cereais, leguminosas e oleaginosas. Essa cultura tem importância sócio-econômica significativa para esse estado, em termos de renda e emprego, ocupando aproximadamente 28% do total da área com cultivos de grãos de primavera-verão (Bisotto, 2001).

O milho é uma das culturas mais exigentes em fertilizantes, especialmente os nitrogenados. O suprimento inadequado de nitrogênio (N) é considerado um dos principais fatores limitantes ao rendimento de grãos, pois esse nutriente exerce importante função nos processos bioquímicos da planta. Ele é constituinte de proteínas, enzimas, coenzimas, ácidos nucleicos, fitocromos e da clorofila (Cantarella, 1993). Além disso, afeta as taxas de iniciação e expansão foliar, o tamanho final e a intensidade de senescência das folhas (Schroder et al., 2000).

A fotossíntese é o processo bioquímico na planta que tem quantitativamente a maior demanda por N. A enzima Rubisco, que é a enzima que fixa o CO₂ inicialmente, conta com mais da metade das proteínas nas folhas das plantas C₃. Nas plantas C₄, que é o caso do milho, esta enzima responde por cerca de um quarto das proteínas presentes nas folhas. Além disso, existem outras enzimas que participam do processo de captura do CO₂, ressaltando a dependência da fotossíntese pelo conteúdo de N nas folhas. Por isso, diminuições no conteúdo de N das folhas das culturas agrícolas estão associadas invariavelmente à diminuição na taxa de fotossíntese. Uma relação estreita entre a assimilação máxima de CO₂ e N por unidade de área foliar tem sido documentada em muitas espécies, incluindo o milho (Sinclair & Vadez, 2002).

A eficiência do uso da radiação é diretamente dependente da taxa de fotossíntese máxima da folha. Considerando que a atividade fotossintética é dependente do conteúdo de N na folha, a eficiência do uso da radiação é conseqüentemente também fortemente relacionada ao conteúdo deste nutriente na folha (Sinclair & Vadez, 2002). Estima-se que a necessidade de N para produção de uma tonelada de grãos varie de 20 a 28 kg ha⁻¹ (Cantarella, 1993). Desta forma, deve-se manter a planta sempre bem nutrida em relação a este nutriente. Para isto, há necessidade de se estimar corretamente a quantidade de N que deve ser aplicada ao solo, com intuito de satisfazer às necessidades da cultura.

No entanto, deve-se considerar que a variabilidade das condições meteorológicas e de solo, associada aos múltiplos processos que interferem na complexa dinâmica do N no solo (lixiviação, volatilização, imobilização-mobilização, nitrificação, desnitrificação, mineralização) e na sua relação com a planta, podem ocasionar grandes modificações na disponibilidade e na necessidade deste nutriente durante a ontogenia da planta. Assim, pode-se subestimar ou superestimar a demanda nitrogenada do milho. No primeiro caso, haverá limitação ao seu potencial produtivo. No segundo, ocorrerá redução nos lucros do produtor, pelo gasto desnecessário com compra de adubo nitrogenado, e prejuízos ao ambiente, devido à contaminação das águas superficial e subterrânea pela lixiviação de nitrato.

A eficiência de uso do N em cereais no mundo é de apenas 33 %. Considerando os 67 % de N que não são aproveitados, tem-se uma perda estimada anual de 15,9 bilhões de dólares em fertilização nitrogenada (Raun & Johnson, 1999), em adição aos prováveis impactos negativos ocasionados ao ambiente (Schröder et al., 2000). A dose aplicada de N tem aumentado rapidamente nas últimas décadas no mundo. Dentre as suas conseqüências, estão a elevação das perdas de nitrato do solo para os lençóis freáticos e para os sistemas marinhos, bem como de gases que contém N para a atmosfera (Matson et al., 1998).

Sistemas de manejo da adubação nitrogenada devem visar a maximização dos lucros, reduzir a suscetibilidade das plantas a pragas e moléstias, otimizar a qualidade de grãos, poupar energia e proteger o ambiente. De forma mais simplificada, Stanford (1973) e Keeney (1982) definem o manejo ideal da adubação nitrogenada como sendo aquele que permite satisfazer a necessidade da cultura com o mínimo de risco ambiental.

A alta mobilidade do nitrato no solo justifica a preocupação em relação ao manejo da adubação nitrogenada em solos agrícolas (Vanotti & Bundy, 1994). A sua lixiviação é um fenômeno físico, favorecido pela baixa energia envolvida na sua adsorção às partículas de solo e pela alta solubilidade em água (Ceretta, 1997). Este íon pode ser carregado pela

água de percolação, resultando em perdas e na contaminação do lençol freático e de cursos d'água (Dydia & Camargo, 1999).

O potencial de contaminação ambiental pela lixiviação de nitrato tem motivado pesquisas de caráter agro-ecológico no mundo inteiro, a partir da década de 80. Nos países do Reino Unido, na Europa, o aumento do teor de nitrato na água gerou grande discussão sobre seus efeitos na saúde e no ambiente, estimulando a criação de um grande programa de pesquisa. Tendências similares alavancaram a pesquisa em outros países da Europa e na América do Norte (Addiscott, 2000). Particularmente nos Estados Unidos da América, algumas pesquisas têm sugerido relação entre redução da quantidade de oxigênio na área do Golfo do México (área de hipoxia) e perda de N de origem agrícola na bacia do rio Mississippi, uma área que compreende mais de 30 estados (Andraski et al., 2000). No Brasil, as menores doses de N aplicadas podem explicar, ao menos em parte, a menor preocupação na avaliação dos impactos da fertilização nitrogenada no ambiente. Entretanto, o aumento das doses de N em sistemas altamente produtivos e o uso de fertilizantes nitrogenados associado com plantas de cobertura leguminosas e/ou a dejetos animais merecem atenção quanto ao seu impacto no ambiente (Ceretta et al, 2003; PORT et al, 2003), especialmente a contaminação da água pela lixiviação de nitrato (Randall & Mulla, 2001).

No Sul do Brasil, especificamente nos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, a recomendação de adubação nitrogenada em milho apresentou melhorias expressivas recentemente. A nova recomendação também passou a considerar a cultura anterior ao milho (N mineralizado ou N imobilizado), em adição ao teor de matéria orgânica do solo e à expectativa de rendimento de grãos (Amado et al., 2002). Considerando que o sistema de recomendação está em constante aperfeiçoamento, uma melhoria potencial seria a inclusão de características complementares de solo e de planta que permitam o monitoramento da disponibilidade de N durante o ciclo da cultura, visando

maior precisão das doses recomendadas bem como maior flexibilidade do seu manejo (Argenta, 2001). Esta tarefa é complexa, pois existem vários fatores que interferem na disponibilidade de N liberado pelo solo, bem como na velocidade de sua absorção e assimilação pela planta (Bredemeier & Mundstock, 2000).

Indicadores de solo, de planta e de dossel têm sido utilizados para monitorar a disponibilidade de N e auxiliar na decisão sobre dose e época de sua aplicação. Um indicador ideal deve reproduzir a relação do nível de N no sistema solo-planta, sendo capaz de detectar ou prever tanto a deficiência quanto o excesso. Ele deve ser de rápida execução, de forma a permitir ações de manejo que corrijam deficiências durante a ontogenia da cultura. Além disso, os equipamentos para amostragem e análise devem ser de fácil manuseio e, de preferência, portáteis. Os valores obtidos nas leituras não devem ser afetados por nenhum outro fator, além do nível de N, no sistema solo-planta (Schröder et al., 2000).

O objetivo deste trabalho foi utilizar indicadores de planta, de dossel e de solo como parâmetros para auxiliar a tomada de decisão sobre a necessidade e a quantificação do N a ser aplicado em cobertura na cultura do milho, visando maximizar o rendimento de grãos e reduzir custos de produção e riscos de contaminação ambiental. Em última análise, estes indicadores poderão auxiliar no melhor gerenciamento da lavoura no que se refere à adubação nitrogenada, possibilitando um tratamento mais específico para as suas diferentes partes (variabilidade espacial), através do uso dos princípios da chamada agricultura de precisão.

Para tanto, a presente tese foi dividida em seis capítulos. No Capítulo I, testou-se a hipótese de que o teor relativo de clorofila na folha, medido pelo clorofilômetro, é um indicador preciso na predição da necessidade de N em cobertura em milho, independente do nível de manejo. Além disso, foi investigada a razão da baixa relação desta característica nos estádios iniciais de desenvolvimento da planta com rendimento de grãos,

bem como foi testado um método de correção da leitura do clorofilômetro para tentar solucionar este problema. No Capítulo II, foi testado o potencial de uso das características de solo (teores de nitrato, amônio e N mineral) como indicadores complementares da disponibilidade de N no solo, para auxiliar a tomada de decisão sobre o manejo da adubação nitrogenada em milho. No Capítulo III, buscou-se comparar a eficiência do monitoramento do nível de N na planta com base em dois índices de teor relativo de clorofila na folha (nível crítico e índice de suficiência), determinados pelo clorofilômetro, como indicadores do manejo da adubação nitrogenada em cobertura em milho. Além disso, testou-se a hipótese do uso integrado de características de planta e de solo no monitoramento do nível de N do sistema solo-planta para auxiliar no manejo da adubação nitrogenada em cobertura em milho. No Capítulo IV, buscou-se desenvolver e testar uma metodologia para estabelecimento de níveis críticos, doses ótimas de aplicação de N em cobertura e de curvas de calibração para os dois índices do teor relativo de clorofila na folha, determinados pelo clorofilômetro, durante a ontogenia do milho, sob dois níveis de manejo. No Capítulo V, objetivou-se adaptar e testar uma metodologia disponível na literatura para a cultura do trigo, visando estabelecer os princípios para um sistema de predição de doses ótimas de N a serem aplicadas em cobertura no milho com base em características de solo e de planta. Por fim, no Capítulo VI, foram comparadas características de dossel com base nas propriedades óticas da folha para predizer a necessidade de N para a cultura do milho. Foram testados, alguns indicadores de dossel que podem ser usados como sensores remotos e que têm maior potencial de uso na chamada agricultura de precisão.

2. CAPÍTULO I

RELAÇÃO ENTRE CARACTERÍSTICAS DE PLANTA E RENDIMENTO DE GRÃOS PARA PREDIÇÃO DA ÉPOCA DE APLICAÇÃO DE N EM COBERTURA EM MILHO EM DOIS NÍVEIS DE MANEJO

RELATION AMONG PLANT CHARACTERISTICS AND GRAIN YIELD TO PREDICT NITROGEN SIDE DRESS APPLICATION TIMING IN CORN IN TWO MANAGEMENT LEVELS

2.1. RESUMO

Características de planta têm sido estudadas como indicadores da disponibilidade de nitrogênio (N) para predição da sua época de aplicação em milho. Este estudo teve como objetivos: (i) avaliar a relação entre características de planta e o rendimento de grãos de milho, em dois níveis de manejo; (ii) verificar qual a relação entre o teor relativo de clorofila na folha (TRC), medido pelo clorofilômetro, e do teor de nitrato na folha com o teor de N na folha, nos estádios iniciais de desenvolvimento da planta e (iii) testar se a correção do TRC em função do peso específico da folha melhora sua relação com teor de N na folha. Foram conduzidos três experimentos a campo, na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em Eldorado do Sul-RS, sob dois níveis de manejo. Foi também realizado um estudo em casa de vegetação, na Faculdade de Agronomia da UFRGS, em Porto Alegre-RS, em dois anos (2002 e 2003). Os experimentos tiveram como tratamentos diferentes níveis de N. As características avaliadas foram TRC, determinado pelo clorofilômetro, índice de suficiência (IS - leitura padronizada do clorofilômetro), teor e acúmulo de N na folha e na planta de milho e rendimento de grãos. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e de correlação simples. O efeito dos níveis de N sobre as características de planta avaliadas e as suas relações com rendimento de grãos foi variável entre experimentos e, principalmente, entre estádios de desenvolvimento da planta. O TRC e o IS foram os que melhor se relacionaram com rendimento de grãos. A relação entre características de planta e rendimento de grãos é modificada pelo nível de manejo. A correção do TRC pelo peso específico da folha não melhora a relação desta característica com o nível de N na folha nos estádios iniciais de desenvolvimento da planta. As inter-relações entre TRC, teor de N na folha e rendimento de grãos de milho são menores nos estádios iniciais de desenvolvimento desta cultura, podendo ser em função da grande quantidade de nitrato presente na folha nestes estádios.

Termos para indexação: *Zea mays*, eficiência de uso do N, monitoramento, clorofilômetro.

2.2. ABSTRACT

Plant characteristics have been studied as indicators of nitrogen (N) availability to predict the correct time to apply this nutrient in corn. The objectives of this study were: (i) to evaluate the relationship between plant characteristics and corn grain yield in two management levels; (ii) to verify the relationship between the relative chlorophyll leaf content (RCC), measured by the chlorophyll meter, and leaf nitrate content with the N leaf content, in the early vegetative corn development stages; and (iii) to test whether the relationship between N leaf content and RCC is altered due to the correction by leaf specific weight. Three field experiments were conducted in Eldorado do Sul – RS, Brazil, using two management levels. Besides, it was conducted one green house study, in Porto Alegre – RS, Brazil, in 2002 and 2003 years. The treatments in the field and greenhouse experiments were different N levels. The plant characteristics evaluated were RCC, obtained by the chlorophyll meter, sufficiency index (SI - chlorophyll meter measurement standardized), leaf and plant N content and accumulation, and corn grain yield. Analyses of variances and simple correlation were done for all data. Plant characteristics were affected by N level depending on the experiment and growth stage. The relationship between plant characteristics and corn grain yield was variable with the experiment and, mainly, with the growth stages. RCC and SI were the best related to grain yield. The management level modifies the plant characteristic relationship with grain yield. The RCC corrected by the specific leaf weight does not improve its relationship with N leaf content in the early vegetative growth stages. The inter-relationships of RCC, N leaf content and grain yield is low in the early vegetative growth stages of corn what could be related with the high nitrate leaf content in these stages.

Index terms: *Zea mays*, N efficiency use, monitoring, chlorophyll meter.

2.3. INTRODUÇÃO

Recentemente, a recomendação de N para a cultura do milho teve um avanço expressivo na região Sul do Brasil, quando passou a considerar também a cultura anterior, em adição ao teor de matéria orgânica do solo e a expectativa de rendimento de grãos. A busca de otimização do sistema de recomendação é constante e, nesse sentido, há grande potencial de inclusão de características de solo e de planta como indicadores complementares da disponibilidade de N no solo, principalmente em sistemas altamente produtivos e com aplicação de altas doses de N (Rambo et al. 2004). Indicadores de solo e de planta têm sido utilizados para monitorar a disponibilidade de N e auxiliar na decisão sobre a dose e a época de aplicação deste nutriente. Um indicador ideal deve reproduzir a relação do nível de N no sistema solo-planta, para detectar ou prever tanto deficiências quanto excessos. Ele deve ser de rápida execução, para permitir ações de manejo que corrijam deficiências durante a ontogenia da cultura. Além disso, os equipamentos para

amostragem e análise devem ser de fácil manuseio e, de preferência, portáteis. Os valores obtidos nas leituras não devem ser afetados por nenhum outro fator, além do nível de N no sistema solo-planta (Schröder et al., 2000).

O N mineral do solo e o rendimento de grãos estão associados em função da absorção de nitrato e de amônio e da conversão destes íons em proteína e clorofila. Isto sugere que existem várias formas de avaliação do nível de N na cultura do milho (Schröder et al., 2000). Várias características de planta têm sido estudados para ser usados como indicadores do nível de N na planta, destacando-se os teores e os acúmulos de N na folha e na planta e o teor relativo de clorofila na folha.

A análise de tecido vegetal é freqüentemente usada para determinar o estado nutricional das plantas (Cerrato & Blackmer, 1991). A diagnose foliar é um método de avaliação do estado nutricional das culturas em que se analisam determinadas folhas, em períodos definidos do ciclo. Parte-se do princípio de que as folhas são os órgãos da planta que melhor refletem o seu estado nutricional, respondendo mais rapidamente às variações no suprimento de nutrientes de solo e de fertilizantes. Assim, a diagnose foliar consiste na análise do solo usando a planta como solução extratora (Malavolta et al., 1997). A utilização do teor de N na folha está embasada na sua relação com rendimento de grãos (Blackmer & Schepers, 1994; Waskom et al., 1996). Partindo-se deste mesmo princípio, pode-se utilizar o teor de N na planta para indicar o seu nível. Segundo Binford et al (1992), uma vantagem potencial deste indicador é que as plantas podem integrar melhor os fatores que determinam a disponibilidade de N no solo.

Outra característica que pode ser usada como indicador da necessidade de N, é a sua quantidade acumulada pela comunidade de plantas num determinado estágio de desenvolvimento. Segundo Plénet & Lemaire (1999), a relação entre teor crítico de N e massa seca acumulada fornece um indicativo do nível nutricional da cultura do milho em cada estágio de desenvolvimento, para manejo da adubação nitrogenada. Além disso, a

integração desta relação em modelos de crescimento da cultura pode permitir a predição da demanda de N em função de condições ambientais.

Dentre as características de planta citados, o teor relativo de clorofila na folha é o que tem sido mais estudado nos últimos anos. Este método fundamenta-se na correlação positiva existente entre teor de clorofila e teor de N na planta (Piekielek & Fox, 1992; Blackmer & Schepers, 1994; Waskom et al., 1996; Argenta et al., 2001) que, por sua vez, está associado à atividade fotossintética (Sinclair & Horie, 1989; Ma et al., 1995). Esta relação se deve ao fato de que 50 a 70 % do N total das folhas ser integrante de enzimas que estão associadas aos cloroplastos (Chapman & Barreto, 1997). Os métodos laboratoriais de determinação de clorofila na folha são destrutivos, muito trabalhosos e demorados. O desenvolvimento de um medidor portátil, denominado clorofilômetro, como o Minolta SPAD-502[®], permite obtenção de valores indiretos do teor de clorofila presente na folha, de modo não destrutivo, rápido e simples.

Um das dificuldades do uso do clorofilômetro está no fato de que a leitura realizada pode ser influenciada por outros fatores além do N (Piekielek & Fox, 1992; Smeal & Zhang, 1994; Dwyer et al., 1995; Waskom et al., 1996; Sunderman et al., 1997, Varvel et al., 1997; Hoel & Solhaug, 1998). Para minimizar a influência de outros fatores, tem sido recomendado um método de padronização das leituras do clorofilômetro para cada área de cultivo, híbrido, estágio de desenvolvimento, condição edafo-climática e prática de manejo (Schepers et al., 1992; Blackmer & Schepers, 1994; Waskom et al., 1996; Hussain, et al., 2000; Costa et al., 2001). Uma forma de padronizar as leituras é a determinação do índice de suficiência, que é obtido pela média das leituras do clorofilômetro nas amostras, dividida pela média das leituras numa área de referência. Esta área de referência é uma faixa da lavoura, com a mesma cultivar, adubada com uma dose de N muito superior ao restante da lavoura, para que, teoricamente, não haja sua deficiência.

Além disso, alguns autores consideram os estádios iniciais de desenvolvimento da planta de milho inadequados para separar áreas com plantas deficientes ou não deficientes em N, através do uso do clorofilômetro, em função da baixa relação observada entre teor relativo de clorofila e teor de N na folha neste período (Waskom et al., 1996; Argenta, 2001). Para aumentar esta associação e minimizar o efeito de fatores que podem influenciar a leitura do aparelho, como cultivar, estágio de desenvolvimento da planta e local de cultivo, tem sido proposto o uso da correção da leitura do clorofilômetro pelo peso específico da folha (Pettigrew et al., 1993; Chapman & Barreto, 1997). Esta correção tem sido proposta porque segundo Campbell et al. (1990), a espessura da folha pode variar com estágio de desenvolvimento, cultivar (Pettigrew et al., 1993) e com condições ambientais (Chapman & Barreto, 1997) e, desta maneira, pode interferir na relação entre TRC e teor de N na folha.

Os estudos anteriormente realizados com características de planta para predição da adubação nitrogenada em cobertura em milho não avaliaram se estes indicadores são influenciados pelo nível de manejo desta cultura. Trabalhos de pesquisa conduzidos por Argenta et al. (2002a) e Forsthofer (2004), em Eldorado do Sul-RS, região ecoclimática da Depressão Central, e por Sangoi et al. (2003), em Lages-SC, região ecoclimática do Planalto Serrano Catarinense, mostraram resposta significativa das características agrônômicas e do rendimento de grãos de milho à mudança no nível de manejo. Estes estudos justificam a realização de trabalhos com características de planta como indicadores do nível de N na planta em função do nível de manejo adotado.

Este estudo tem como objetivos: (i) avaliar a relação entre características de planta que podem ser utilizadas como indicadores do nível de N na planta para prever a necessidade de adubação nitrogenada em cobertura e o rendimento de grãos de milho, em dois níveis de manejo; (ii) verificar qual a relação entre teor relativo de clorofila, medido pelo clorofilômetro, e teor de nitrato e de N na folha, para explicar a razão da baixa relação

que tem sido verificada, nos estádios iniciais de desenvolvimento da planta, entre as leituras do clorofilômetro e o rendimento de grãos de milho e (iii) avaliar se a correção da leitura do teor relativo de clorofila pelo peso específico da folha melhora a relação da leitura realizada pelo clorofilômetro com o teor de N na folha de milho.

2.4. MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos três experimentos a campo e um experimento em casa de vegetação. Os experimentos a campo foram realizados durante os anos agrícolas 2002/03 e 2003/04, variando as doses de N aplicadas e o nível de manejo. No primeiro ano, foi conduzido um experimento sob alto manejo para determinar quais as características de planta mais relacionadas com rendimento de grãos. No segundo ano, foram conduzidos dois experimentos com níveis de manejo diferenciados (médio e alto) para verificar se a relação entre características de planta e rendimento de grãos se modificava com o nível de manejo. Os experimentos foram conduzidos na Estação Experimental Agronômica, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA-UFRGS), localizada no município de Eldorado do Sul, região ecoclimática da Depressão Central do estado do Rio Grande do Sul. O solo da área experimental pertence à unidade de mapeamento São Jerônimo, sendo classificado como Argissolo Vermelho Distrófico típico (Embrapa, 1999). Os resultados da análise de solo no ano de 2002/03 foram: argila: 29%, pH (água): 5,4, índice SMP: 5,9, P: 9,4 mg L⁻¹, K: 105 mg L⁻¹, MO: 2,5% e CTC: 7,6 cmol_c L⁻¹. No ano de 2003/04 os resultados foram: argila: 38%, pH (água): 5,3, índice SMP: 6,2, P: 5,6 mg L⁻¹, K: 161 mg L⁻¹, MO: 2,5% e CTC: 8,1 cmol_c L⁻¹.

No ano agrícola 2002/03 foi semeado o híbrido simples Pioneer 23R21, de ciclo superprecoce, no dia 15 de outubro de 2002, em sistema de semeadura direta, em sucessão à aveia preta (3,4 t ha⁻¹ de rendimento de massa seca), no espaçamento de 0,7 m e na densidade de 65 000 pl ha⁻¹. A adubação com fósforo e potássio constou da aplicação de 80

kg ha⁻¹ de P₂O₅ e de 60 kg ha⁻¹ de K₂O. O experimento recebeu irrigação suplementar. Os tratamentos constaram de cinco níveis de N (0, 50, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹), aplicados parte na semeadura e parte no estágio V3. Na semeadura foi aplicado 20% da dose total de N, ou seja, 10, 20, 40 e 60 kg ha⁻¹ de N nos tratamentos correspondentes aos níveis de 50, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹, respectivamente, e o restante no estágio V3.

No ano agrícola 2003/04, foram conduzidos dois experimentos com níveis diferenciados de manejo (médio e alto manejo), conforme descrito na Tabela 1. O mesmo híbrido do ano anterior foi semeado no dia 27 de outubro de 2003, em sistema de semeadura direta, em sucessão à aveia preta (5,2 t ha⁻¹ de rendimento de massa seca), no espaçamento de 0,7 m. Os tratamentos constaram de seis níveis de N, que foram aplicados parte na semeadura e parte em cobertura (Tabela 2), de acordo com o nível de manejo adotado.

Tabela 1. Caracterização dos dois níveis de manejo aplicados na cultura do milho nos experimentos conduzidos no ano agrícola de 2003/04

Práticas de manejo	Nível de manejo	
	Médio	Alto
Densidade (plantas m ⁻²)	5,0	6,5
Adubação de base (kg ha ⁻¹) ¹	40 P ₂ O ₅ e 60 K ₂ O	70 P ₂ O ₅ e 100 K ₂ O
Condição hídrica	Não irrigado	Irigado
Níveis de N	0 a 150 kg ha ⁻¹	0 a 240 kg ha ⁻¹

¹As doses de P, K e N foram estabelecidas segundo a análise de solo (valores de reposição para o P e K de acordo com as atualizações de recomendação e calagem para os estados do RS e SC).

Os experimentos que receberam suplementação hídrica foram irrigados por aspersão quando o potencial de água no solo era inferior a -0,04 Mpa. Nos três experimentos, a adubação com fósforo e potássio foi realizada na linha, por ocasião da semeadura. Foi realizado controle de plantas daninhas e pragas, de modo que não interferissem no desenvolvimento da planta e na expressão do efeito das doses de N aplicadas no rendimento de grãos de milho.

Tabela 2. Caracterização das doses e épocas de aplicação de N nos dois níveis de manejo na cultura do milho, nos experimentos conduzidos no ano agrícola de 2003/04

Época de aplicação de N ¹	Nível de manejo médio						
	Tratamentos (níveis de N - kg ha ⁻¹)						
N total	0	25	50	75	100	150	
Semeadura	0	10	20	30	40	60	
V4	0	15	30	45	60	90	
	Nível de manejo alto						
	Tratamentos (níveis de N - kg ha ⁻¹)						
	N total	0	40	80	120	160	240
	Semeadura	0	15	30	45	60	80
	V4	0	15	30	45	60	80
V8	0	10	20	30	40	80	

¹ Segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993).

Nos três experimentos, as determinações realizadas, nos estádios V3, V6, V10 e espigamento foram: teor relativo de clorofila na folha (TRC), índice de suficiência (IS), massa seca da última folha expandida e da parte aérea da planta, teor e acúmulo de N na última folha expandida e na planta, teores de nitrato, amônio e de N mineral (nitrato + amônio) na última folha expandida e rendimento de grãos. A folha avaliada no espigamento foi a da espiga, chamada de folha índice.

O TRC na folha foi avaliado com o clorofilômetro modelo Minolta SPAD-502[®] em cinco plantas por parcela. Esse equipamento possui diodos que emitem luz a 650 nm (vermelho) e a 940 nm (infravermelho). A luz em 650 nm situa-se próxima dos dois comprimentos primários de ondas associados à atividade da clorofila (645 e 663 nm). O comprimento de onda de 940 nm serve como referência interna para compensar diferenças na espessura ou no conteúdo de água da folha ou devidas a outros fatores (Waskom et al., 1996). A luz que passa através da amostra da folha, atinge um receptor (fotodiodo de silicone), que a converte em sinais elétricos analógicos. Esses sinais são convertidos em sinais digitais por meio do conversor A/D (Minolta, 1989) e são usados por microprocessador para calcular os valores SPAD (“Soil Plant Analysis Development”), mostrados num visor. Os valores obtidos são proporcionais ao teor de clorofila na folha. As leituras com o medidor de clorofila (duas por folha) foram feitas em pontos situados na

metade a dois terços do comprimento da folha, a partir da base, e a dois centímetros da sua margem (Argenta, 2001).

Os valores obtidos pelo clorofilômetro foram usados para cálculo do índice de suficiência (IS). O IS foi determinado a partir dos valores TRC na folha em cada tratamento, dividido pelo valor do teor relativo de clorofila na folha obtido na parcela com nível mais alto de N (parcela de referência).

A massa seca da última folha expandida (nos três primeiros estádios) e da folha índice no espigamento, e da parte aérea da planta foram determinadas a partir de uma amostra de cinco folhas e de cinco plantas, respectivamente, secadas em estufa na temperatura de 60⁰C, até atingirem peso constante, e pesadas. As plantas e folhas foram moídas e homogeneizadas, separadamente, para determinação do teor de N total no tecido vegetal, pelo método de Kjeldahl, conforme metodologia descrita por Tedesco et al. (1995). As quantidades de N acumulado na folha e na planta foram obtidas pela multiplicação do valor obtido para massa seca pelo teor de N. Os teores de nitrato e amônio na folha foram determinados, seguindo os procedimentos descritos por Tedesco et al (1995). O teor de N mineral foi obtido pela soma dos teores de nitrato e amônio na folha. O rendimento de grãos foi obtido pela extrapolação da produção da área útil da parcela (8,4 m²) para um hectare, corrigindo-se a umidade para 130 g kg⁻¹.

O delineamento experimental utilizado nos três experimentos foi o de blocos casualizados, com quatro repetições. As variáveis foram submetidas à análise de variância pelo Teste F, a 5% de probabilidade, e à análise de correlação simples.

O experimento em casa de vegetação foi conduzido nos anos de 2002 e 2003, em vasos, no Departamento de Plantas de Lavoura, da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), localizada no município de Porto Alegre-RS. Vasos de oito litros foram preenchidos com solo (7 kg) pertencente à unidade de mapeamento São Jerônimo, classificado com Argissolo Vermelho Distrófico típico

(Embrapa, 1999), cuja análise indicou não haver necessidade de adubação com P e K, bem como correção do pH. Os tratamentos constaram da aplicação de seis níveis de N, sob a forma de nitrato de amônio (32 % de N). Em 2002, os níveis de N utilizados foram: sem N, 16, 32, 64, 128 e 256 mg L⁻¹ de N e, em 2003: sem N, 50, 100, 150, 300 e 450 mg L⁻¹. O aumento nas doses de N aplicadas no segundo ano objetivou aumentar a sua disponibilidade. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com três repetições.

A semeadura do milho ocorreu nos dias três de outubro de 2002 e nove de setembro de 2003. Foram semeadas 12 sementes por vaso a 3 cm de profundidade. Utilizou-se o híbrido simples Pioneer 32R21, de ciclo superprecoce. A emergência ocorreu nos dias nove de outubro de 2002 e 19 de setembro de 2003, sendo que dois dias após (estádio cotiledonar) foi realizado desbaste, deixando seis plântulas por vaso. Nesse dia, foram aplicadas as doses de N, diluindo-se nitrato de amônio em água.

No início do experimento, nos dois anos, os vasos foram irrigados até atingirem a capacidade de campo do solo, a qual foi mantida durante toda a sua condução. Para isto, o peso inicial dos vasos com solo na capacidade de campo foi monitorado através de pesagens durante a condução do experimento, irrigando-se sempre que o peso do vaso fosse menor que o peso inicial até atingir à capacidade de campo.

Quando as plantas estavam com três e seis folhas completamente expandidas (V3 e V6, respectivamente) foram realizadas as seguintes determinações: teor relativo de clorofila na folha (TRC), teor relativo de clorofila na folha corrigido pelo peso específico, teor de N total e de N mineral (nitrato e amônio), massa seca e área foliar da terceira folha expandida. Para tanto, foram coletadas três plantas no estágio V3, deixando-se outras três para as determinações realizadas no estágio V6. Para as determinações do TRC, teor de N total e mineral e da massa seca foram seguidos os mesmos procedimentos utilizados nos

experimentos de campo. A área foliar foi medida em integrador de área foliar LI-COR, modelo 3100.

O teor relativo de clorofila na folha corrigido foi determinado pela divisão do teor relativo de clorofila pelo peso específico da folha [massa seca de folha (g)/área foliar (m²)= g de folha m⁻² de folha], sendo este determinado de acordo com método proposto por Chapman & Barreto (1997). Os dados obtidos para as variáveis estudadas foram submetidos à análise de variância pelo Teste F, a 5% de probabilidade, e à análise de correlação simples.

2.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O rendimento de grãos foi significativamente afetado pelas doses de nitrogênio (N) aplicadas nos três experimentos realizados a campo, variando de cerca de 6,87 a 9,64 t ha⁻¹ (Tabela 3). No segundo ano (2003/04), o rendimento médio de grãos também foi influenciado pelo nível de manejo adotado, sendo que houve diferença de quase três toneladas entre os experimentos com médio e alto níveis de manejo, alcançando-se, portanto, o objetivo de obter níveis diferenciados de rendimento de grãos em função do manejo.

Tabela 3. Análises de variâncias, médias e coeficientes de variação, por experimento, do rendimento de grãos (t ha⁻¹) do híbrido de milho Pioneer 32R21, em dois anos agrícolas. EEA/UFRGS, Eldorado Sul-RS

Experimento	Ano agrícola	Rendimento médio de grãos (t ha ⁻¹)	Coefficiente de variação (%)	Efeito de dose de N
I - Alto Manejo	2002/03	8,08	10,7	**
II – Médio Manejo	2003/04	6,87	11,9	**
III – Alto Manejo	2003/04	9,64	7,1	**

** Significativo, ao nível de 1% de probabilidade.

De uma maneira geral, as características de planta estudadas foram afetados pelo nível de N aplicado com intensidade variável em função do experimento e do estágio de desenvolvimento (Tabelas 4, 5, 6). Dentre estes, destacaram-se o teor relativo de clorofila na folha (TRC) e o índice de suficiência (IS) que foram significativamente afetados em todos os experimentos e estágios de desenvolvimento avaliados. As médias das características de planta e os coeficientes de variação variaram entre experimentos e níveis de manejo e, principalmente, entre estágios de desenvolvimento.

Para identificar as características de planta melhor relacionadas com rendimento de grãos, foi realizada análise de correlação simples em cada experimento, por estágio de desenvolvimento (Tabelas 7, 8 e 9). A relação entre as características de planta e o rendimento de grãos variou entre experimentos, níveis de manejo e entre estágios de desenvolvimento.

Tabela 4. Análises de variância, médias (M) e coeficientes de variação (CV), em quatro estádios de desenvolvimento, das características de planta do híbrido de milho Pioneer 32R21 no Experimento I – Alto Manejo. EEA/UFRGS, Eldorado Sul-RS, 2002/03

Características de planta	Estádio de desenvolvimento ¹											
	V3			V6			V10			Espigamento		
	M	CV (%)	N ²	M	CV (%)	N	M	CV (%)	N	M	CV (%)	N
Teor relativo de clorofila na folha	36,89	4,79	**	49,24	6,77	**	49,78	5,93	**	48,66	4,75	**
Índice de suficiência	0,86	4,73	**	0,93	6,75	**	0,91	5,89	**	0,95	4,75	**
N na folha ³ (%)	3,85	8,29	*	3,36	11,93	ns	2,66	21,96	ns	2,40	13,56	*
N na planta (%)	3,64	8,79	**	3,22	8,05	**	1,85	16,39	*	1,25	28,41	ns
N acumulado na folha (mg)	3,73	15,98	*	20,95	24,90	**	91,37	22,52	*	84,89	20,37	**
N acumulado na planta (mg)	20,54	15,47	**	405,27	30,53	**	1027,07	22,83	**	1391,20	24,60	**

¹ Segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993). ² Fonte de variação: doses de N. ³ Na última folha expandida em V3, V6 e V10 e na folha índice no espigamento.

** Significativo ao nível de 1%. * Significativo ao nível de 5%. ns – Não significativo ao nível de 5%.

Tabela 5. Análises de variância, médias (M) e coeficientes de variação (CV), em seis estádios de desenvolvimento, das características de planta do híbrido de milho Pioneer 32R21 no Experimento II – Médio Manejo. EEA/UFRGS, Eldorado Sul-RS, 2003/04

Características de planta	Estádio de desenvolvimento ¹																	
	V3			6 – 7 folhas			10-11 folhas			Espigamento			R2			R4		
	M	CV (%)	N ²	M	CV (%)	N	M	CV (%)	N	M	CV (%)	N	M	CV (%)	N	M	CV (%)	N
Teor relativo de clorofila na folha	31,40	7,12	**	47,37	2,73	**	49,44	2,97	**	38,64	6,27	**	41,52	6,46	**	40,84	9,02	**
Índice de suficiência	0,85	7,12	**	0,84	2,73	**	0,92	2,97	**	0,84	5,84	**	0,78	6,46	**	0,77	9,03	**
N na folha ⁴ (%)	3,98	14,37	**	3,80	13,86	**	3,01	6,54	**	- ³	-	-	-	-	-	-	-	-
N na planta (%)	4,33	12,66	ns	3,92	8,07	**	3,03	10,68	*	0,95	9,11	**	-	-	-	-	-	-
N acumulado na folha (mg)	3,08	19,51	**	23,52	15,59	ns	80,37	13,17	**	77,29	7,07	**	-	-	-	-	-	-
N acumulado na planta (mg)	10,79	29,36	ns	128,45	26,18	ns	546,05	15,25	**	990,22	16,13	**	-	-	-	-	-	-

¹Segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993). ²Fonte de variação: doses de N. ³Determinações não realizadas. ⁴Na última folha expandida em V3, V6 e V10 e na folha índice no espigamento

** Significativo ao nível de 1%. * Significativo ao nível de 5%. ns – Não significativo ao nível de 5%.

Tabela 6. Análises de variância, médias (M) e coeficientes de variação (CV), em seis estádios de desenvolvimento, das características de planta do híbrido de milho Pioneer 32R21 no Experimento III – Alto Manejo. EEA/UFRGS, Eldorado Sul-RS, 2003/04

Características de planta	Estádio de desenvolvimento ¹																	
	V3			V6			V10			Espigamento			R2			R4		
	M	CV (%)	N ²	M	CV (%)	N	M	CV (%)	N	M	CV (%)	N	M	CV (%)	N	M	CV (%)	N
Teor relativo de clorofila na folha	37,34	9,26	**	48,42	4,62	**	48,90	4,16	**	46,90	4,09	**	47,77	3,23	**	44,30	7,40	**
Índice de suficiência	0,86	9,26	**	0,95	4,62	**	0,87	4,16	**	0,81	4,09	**	0,77	3,23	**	0,76	7,40	**
N na folha ⁴ (%)	6,96	12,42	**	4,09	25,12	ns	3,14	5,84	**	2,27	7,88	**	- ³	-	-	-	-	-
N na planta (%)	5,70	20,32	**	3,71	7,68	*	2,99	7,96	**	1,08	16,68	**	-	-	-	-	-	-
N acumulado na folha (mg)	5,82	20,75	*	29,25	32,38	ns	96,28	15,66	**	101,07	13,86	**	-	-	-	-	-	-
N acumulado na planta (mg)	18,16	30,43	**	159,04	33,40	ns	649,59	20,20	**	1318,96	21,62	**	-	-	-	-	-	-

¹Segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993). ²Fonte de variação: doses de N. ⁴Determinações não realizadas. ⁴Na última folha expandida em V3, V6 e V10 e na folha índice no espigamento.

** Significativo ao nível de 1%. * Significativo ao nível de 5%. ns – Não significativo ao nível de 5%.

As características de planta, TRC e IS destacaram-se entre os demais, pois apresentaram relação significativa e positiva com rendimento de grãos em todos os experimentos e estádios de desenvolvimento avaliados (Tabelas 7, 8 e 9). No Experimento I – Alto Manejo (2002/03), todas as características de planta avaliadas apresentaram boas correlações com rendimento de grãos no estádio V3, com valores maiores que 0,50 (Tabela 7). No estádio V6, quatro das seis características avaliadas (TRC, IS, N acumulado na folha e na planta) apresentaram valores de “r” maiores que 0,50. Para N na folha e na planta, não houve correlação.

No estádio V10, os coeficientes de correlação das características avaliadas foram significativos, exceto para teor de N na folha. Os coeficientes de correlação foram maiores que 0,50, exceto para N acumulado na folha ($r=0,47$). No estádio de espigamento, os coeficientes de correlação de todas as características foram significativos, sendo superiores a 0,60, exceto para a característica teor de N na planta em que não houve correlação com rendimento de grãos.

Tabela 7. Correlação simples entre rendimento de grãos do híbrido de milho Pioneer 32R21 e as características de planta no Experimento I – Alto Manejo, em quatro estádios de desenvolvimento. EEA/UFRGS, Eldorado Sul-RS, 2002/03

Características de planta	Estádio de desenvolvimento ¹			
	V3	V6	V10	Espigamento
	Coeficiente de correlação (r)			
Teor relativo de clorofila na folha	0,83**	0,76**	0,62**	0,91**
Índice de suficiência	0,81**	0,75**	0,61**	0,91**
N na folha ² (%)	0,65**	0,20 ns	0,32 ns	0,71**
N na planta (%)	0,76**	0,42 ns	0,54**	0,37 ns
N acumulado na folha (mg)	0,55**	0,62**	0,47*	0,80**
N acumulado na planta (mg)	0,83**	0,73**	0,79**	0,68**

¹Segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993). ²Na última folha expandida em V3, V6 e V10 e na folha índice no espigamento.

** Significativo ao nível de 1%. * Significativo ao nível de 5%. ns– Não significativo ao nível de 5%.

Nos dois experimentos realizados no ano agrícola de 2003/04 (Tabelas 8 e 9), independente do nível de manejo adotado, os coeficientes de correlação (r) entre o TRC e o IS com rendimento de grãos aumentaram com o decorrer do desenvolvimento da planta. Estas características apresentaram maiores correlações com rendimento de grãos a partir do estágio V10 ($r > 0,75$), confirmando os resultados obtidos para a característica TRC por Argenta (2001) ao realizar experimento no mesmo local sob alto nível de manejo. Diferentemente do que foi observado por Argenta (2001), as correlações observadas entre o TRC e o rendimento de grãos, nos estádios iniciais de desenvolvimento (V3 e V6), não foram baixas, apresentando valores de “ r ” superiores a 0,50.

No entanto, as demais características de planta avaliadas apresentaram comportamento mais variável no decorrer do desenvolvimento da planta. O teor N na folha, nos dois experimentos, apresentou correlação maior que 0,40 no estágio V3, não foi significativa no estágio V6, e maior que 0,60 nos estádios V10 e espigamento. Já o teor de N na planta não foi significativo no estágio V3, mas apresentou correlação maior que 0,50 nos estádios V6, V10 e espigamento. A variável N acumulado na folha apresentou correlação com rendimento de grãos maior do que 0,40 em todos os estádios avaliados, nos dois níveis de manejo, com exceção do estágio V6, no nível médio de manejo. O N acumulado na planta também mostrou “ r ” superior a 0,40, nos dois níveis de manejo, exceto nos estádios V3 e V6, no nível de manejo médio. Ao se comparar os dois níveis de manejo da cultura do milho, observou-se que, para todas as variáveis avaliadas, as maiores correlações foram obtidas no experimento com alto nível em relação ao médio nível de manejo, comprovando a hipótese de que o nível de manejo modifica a relação das características de planta com rendimento de grãos. As maiores correlações das características estudadas com o rendimento de grãos ocorreram no nível mais alto de manejo provavelmente porque nesta condição a influência de outros fatores no crescimento e desenvolvimento da planta, além da disponibilidade do N, foi menor.

Tabela 8. Correlação simples entre rendimento de grãos do híbrido de milho Pioneer 32R21 e as características de planta no Experimento II – Médio Manejo, em seis estádios de desenvolvimento. EEA/UFRGS, Eldorado Sul-RS, 2003/04

Características de planta	Estádio de desenvolvimento ¹					
	V3	V6	V10	Espigamento	R2	R4
Coeficiente de correlação (r)						
Teor relativo de clorofila na folha	0,50**	0,63**	0,78**	0,83**	0,93**	0,93**
Índice de suficiência	0,50**	0,63**	0,78**	0,82**	0,93**	0,93**
N na folha ² (%)	0,46*	0,06 ns	0,66**	-	-	-
N na planta (%)	0,39 ns	0,56**	0,72**	0,59**	-	-
N acumulado na folha (mg)	0,46*	0,06 ns	0,73**	0,86**	-	-
N acumulado na planta (mg)	0,30 ns	0,21 ns	0,73**	0,84**	-	-

¹Segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993). ²Na última folha expandida em V3, V6 e V10 e na folha índice no espigamento.

** Significativo ao nível de 1%. * Significativo ao nível de 5%. ns– Não significativo ao nível de 5%.

Tabela 9. Correlação simples entre rendimento de grãos do híbrido de milho Pioneer 32R21 e as características de planta no Experimento III – Alto Manejo, em seis estádios de desenvolvimento. EEA/UFRGS, Eldorado Sul-RS, 2003/04

Características de planta	Estádio de desenvolvimento ¹					
	V3	V6	V10	Espigamento	R2	R4
Coeficiente de correlacao (r)						
Teor relativo de clorofila na folha	0,67**	0,77**	0,92**	0,97**	0,98**	0,96**
Índice de suficiência	0,67**	0,77**	0,92**	0,97**	0,98**	0,96**
N na folha ² (%)	0,58**	0,28 ns	0,82**	0,92**	-	-
N na planta (%)	0,13 ns	0,59**	0,89**	0,75**	-	-
N acumulado na folha (mg)	0,57**	0,40*	0,85**	0,92**	-	-
N acumulado na planta (mg)	0,57**	0,42*	0,83**	0,87**	-	-

¹Segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993). ²Na última folha expandida em V3, V6 e V10 e na folha índice no espigamento.

** Significativo ao nível de 1%. * Significativo ao nível de 5%. ns– Não significativo ao nível de 5%

De forma geral, os resultados mostraram que os teores de N na folha e na planta não apresentaram grande sensibilidade como indicadores do nível de N em milho, devido às baixas relações entre estas características e o rendimento de grãos em relação aos demais indicadores avaliados neste trabalho. Estes resultados estão de acordo com a conclusão de Cerrato & Blackmer (1991), de que o teor de N na folha não é um indicador sensível do estado nutricional da planta.

Geralmente, o teor de N na folha é uma característica capaz de detectar deficiências, mas também demonstra o consumo de luxo, em que o seu teor continua aumentando e o rendimento de grãos fica estável com aplicação de doses mais altas deste nutriente. Assim, o consumo de luxo diminui a sensibilidade desta característica próximo à obtenção do rendimento máximo, dificultando a obtenção de níveis críticos de N (Binford et al., 1992; Blackmer & Schepers, 1994). Cerrato & Blackmer (1991) estimaram que o teor crítico de N na folha índice (folha da espiga) do milho é de 2,1 %. Contudo, eles também observaram que a variação entre os locais avaliados foi muito grande, dificultando o seu uso como ferramenta de diagnóstico prático. Os resultados deste trabalho concordam com os obtidos por Binford et al. (1992) que, ao avaliarem o uso do teor de N na planta nos estádios iniciais de desenvolvimento da planta de milho, como indicador do estado nutricional de N, verificaram que esta característica não seria um indicador confiável de sua disponibilidade nesta fase fenológica. No entanto, a estimativa da dose de N requerida pelas culturas para atingir o rendimento projetado tem interessado muitos pesquisadores (Amado, 1997). Para se chegar a esta estimativa é necessária a determinação do nível crítico de N na massa seca da planta de milho, que é o teor mínimo de N na planta para obtenção do máximo rendimento de grãos.

Nesta linha, Stanford (1973) analisou os dados disponíveis de vários experimentos conduzidos nos Estados Unidos da América sobre a relação entre massa seca total e quantidade de N absorvida pela planta de milho, tendo observado que o rendimento de

grãos máximo estava associado ao teor de 1,2 % de N na massa seca total. Mais recentemente, Amado & Mielniczuk (2000) consideraram 0,9 % como teor crítico de N na massa seca do milho necessário para atingir o rendimento máximo de grãos no estado do Rio Grande do Sul. Esses autores utilizaram este valor para calcular a dose de N requerida para atingir um determinado rendimento e estimar a adubação nitrogenada necessária para esta cultura.

As características massa seca acumulada na folha e na planta apresentaram melhores correlações com rendimento de grãos que os teores de N na folha e na planta e, às vezes, até superiores que as do TRC e IS. A maior vantagem do uso das características massa seca acumulada na folha e na planta em relação ao teor de N na folha e/ou na planta está no fato destes incluírem a produção de massa seca da folha e planta, respectivamente, no cálculo do consumo de N (Bredemeier, 1999). Assim, estas características de planta geralmente conseguem expressar melhor a integração dos vários fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento da planta, tais como radiação, temperatura, outros nutrientes, etc. Porém, apesar destas características poderem ser ferramentas úteis para manejo da adubação nitrogenada em milho, elas envolvem análise laboratorial e apresentam a desvantagem de não possibilitar a correção da sua deficiência no mesmo ano agrícola, devido ao tempo dispendido entre a coleta e o resultado obtido, servindo apenas como dado indicativo para os próximos cultivos (Argenta et al., 2002b).

Considerando todos os resultados obtidos, verificou-se que o TRC e o IS foram as características mais relacionadas com rendimento de grãos, independente do estágio de desenvolvimento e nível de manejo adotado. Por apresentar baixa sensibilidade ao consumo de luxo de N, o TRC está sendo considerado melhor indicador do nível deste nutriente do que seu próprio teor na folha (Blackmer & Schepers, 1995). Além desta vantagem, existem outros benefícios do uso do TRC, avaliado pelo clorofilômetro, entre os quais destacam-se: realização de leituras instantâneas e não destrutivas, que não envolvem

procedimentos laboratoriais e uso de reagentes químicos, proporcionando avaliação rápida e de fácil interpretação (Blackmer & Scheper, 1994); apresenta custo mínimo de manutenção (Piekielek & Fox, 1992) e permite fazer quantas amostras forem necessárias, sem custos adicionais e sem destruição de folha (Malavolta, 1997).

Devido a estas vantagens e, por estar correlacionado com rendimento de grãos, o TRC tem sido usado para prever a necessidade de adubação nitrogenada em cobertura em várias culturas, especialmente trigo (Follet et al., 1992; Reeves et al., 1993; Fox et al., 1994; Bredemeier, 1999; Singh et al., 2002), arroz (Turner & Jund, 1991; Peng et al., 1993; Balasubramanian et al., 2000; Hussain et al., 2000; Stalin et al., 2000; Singh et al., 2002) e milho (Piekielek & Fox, 1992; Smeal & Zang 1994; Blackmer & Schepers, 1994, 1995; Waskom et al., 1996; Varvel et al., 1997; Fox et al., 2001; Costa et al., 2001; Zebarth et al., 2002; Argenta et al., 2003). No entanto, na literatura, ainda não existem trabalhos que tenham usado o TRC para prever a dose de N a ser aplicada, quando detectada a sua deficiência pelo clorofilômetro.

Além das vantagens já mencionadas, Argenta (2001) cita outras perspectivas de uso do TRC reportadas na literatura, tais como: integração de medidas de solo (teor de matéria orgânica, N mineral disponível) com leituras SPAD (Soil Plant Analyses Development) para refinar as recomendações de adubação nitrogenada; uso nos modelos de simulação de crescimento ou no monitoramento de mudanças no grau de esverdeamento da folha; verificação do nível de N em comunidades de plantas através de sensoriamento remoto; determinação do nível de N em culturas testes em diferentes estádios de desenvolvimento para melhor entendimento da dinâmica deste nutriente no sistema solo-planta, e avaliação de linhas segregantes para maior eficiência de uso de N e adaptação a situações de estresses, bem como identificação de linhas e de genes responsáveis por estas características.

O uso do TRC no manejo da adubação nitrogenada em milho vem sendo estudado sob duas abordagens, valores críticos do teor relativo de clorofila (TRC) e índice de suficiência de N (IS). A utilização de valores críticos pressupõe que, para cada estágio de desenvolvimento, haja um valor mínimo do TRC (nível crítico) que a planta deve apresentar em função da leitura, que corresponda ao nível mínimo de clorofila necessário naquela fase da ontogenia para maximizar o rendimento de grãos. Leituras abaixo deste nível indicam necessidade de suplementar N através de adubação, enquanto que acima do valor crítico não se recomenda a fertilização nitrogenada. Alguns estudos têm determinado valores críticos durante a ontogenia do milho (Pieielek & Fox, 1992; Jemison & Lytle, 1996; Sunderman et al., 1997, Argenta, 2001). No entanto, o uso desta metodologia pode ter alguns problemas, pois outros fatores, além da disponibilidade de N no solo, podem afetar a intensidade da coloração verde da folha e a respectiva leitura pelo clorofilômetro (Pieielek & Fox, 1992; Smeal & Zhang, 1994; Dwyer et al., 1995; Waskom et al., 1996; Sunderman et al., 1997, Varvel et al., 1997; Hoel & Solhaug, 1998).

Assim, para minimizar a influência de outros fatores, tem sido recomendado um método de calibração das leituras do clorofilômetro para cada área de cultivo, híbrido, estágio de desenvolvimento, condição edafo-climática e prática de manejo (Schepers et al., 1992; Blackmer & Schepers, 1994; Waskom et al., 1996; Hussain, et al., 2000; Costa et al., 2001). Uma forma de calibrar as leituras é a determinação do IS, que é obtido pela média das leituras do TRC nas amostras, dividida pela média das leituras na área de referência. Esta área de referência é uma faixa da lavoura, com a mesma cultivar, adubada com uma dose de N bastante superior ao restante da lavoura, para que, teoricamente, não haja sua deficiência.

O uso do IS no manejo da adubação nitrogenada tem sido associado ao monitoramento do nível de N na planta, na estratégia denominada de “adubação quando necessária”, efetivada especialmente sob condições de fertirrigação (Blackmer & Schepers,

1994). Neste contexto, Blackmer & Schepers (1994) e Varvel et al. (1997) recomendam que, quando for indicada a necessidade de adubação nitrogenada pelo IS menor ou igual a 0,95, devem ser adicionados 30 kg ha^{-1} de N através de fertirrigação.

Apesar dos resultados obtidos terem mostrado que o TRC e o IS serem as características mais relacionadas com rendimento de grãos, tendo, portando, grande potencial para serem usados como indicadores do nível de N na planta de milho, deve ser considerado o fato de que esta relação foi menor nos estádios iniciais de desenvolvimento e que se recomenda o monitoramento do nível de N na planta já nas primeiras etapas de desenvolvimento da planta, especialmente a partir do estágio de seis folhas. Nesta fase, acentua-se a absorção de N (Piekielek et al., 1995; Blackmer & Schepers, 1994) e ocorre a diferenciação do pendão (Silva, 2001). O monitoramento nos estádios iniciais é importante para que eventuais deficiências de N identificadas possam ser corrigidas a tempo de não comprometer o desempenho agrônômico da cultura (Varvel et al., 1997; Binder et al., 2000).

Estudos anteriores também mostraram menor relação do TRC com rendimento de grãos nos estádios iniciais de desenvolvimento (Waskom et al., 1996; Rozas & Echeverria, 1998; Argenta, 2001). Uma das razões desta baixa relação pode estar relacionada ao fato de que, nesta fase inicial de desenvolvimento da planta, grande parte do N está associado ao nitrato e não à molécula de clorofila (Dwyer et al., 1995). Para testar esta hipótese foi conduzido o ensaio em casa de vegetação. Na Tabela 10 pode-se visualizar a análise de variância, as médias e os coeficientes de variação nesse experimento, em dois estádios de desenvolvimento e em dois anos. As variáveis foram afetadas de forma diferenciada pelas doses de N, apresentando de forma geral menor efeito no estágio V3.

Tabela 10. Análises de variância, médias e coeficientes de variação (CV) do experimento realizado em casa de vegetação, em dois anos e em dois estádios de desenvolvimento, para as características de planta do híbrido de milho Pioneer 32R21, Porto Alegre-RS

Características de planta	Estádio de desenvolvimento ¹	Ano de realização do experimento em casa de vegetação					
		2002			2003		
		Médias	CV (%)	N ²	Médias	CV (%)	N
Teor relativo de clorofila na folha	V3	39,46	3,34	**	42,12	2,84	ns
	V6	36,18	4,34	ns	36,50	3,91	**
Teor relativo de clorofila na folha corrigido ³	V3	1,19	5,97	*	1,79	35,11	**
	V6	1,02	5,65	ns	0,94	7,55	**
NO ₃ ⁻ na folha (mg kg ⁻¹)	V3	4305,33	0,46	**	2533,18	27,69	ns
	V6	387,24	9,06	**	577,77	63,62	ns
NH ₄ ⁺ na folha (mg kg ⁻¹)	V3	239,01	12,57	ns	546,50	128,20	ns
	V6	212,06	10,36	**	96,57	75,34	*
N mineral na folha (mg kg ⁻¹)	V3	4557,54	9,60	**	3079,68	39,50	ns
	V6	600,25	6,10	**	674,01	60,08	*
N na folha (%)	V3	3,24	3,89	ns	1,04	4,64	ns
	V6	2,28	11,67	**	2,57	13,10	**

¹Segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993). ²Fonte de variação: doses de N. ³Teor relativo de clorofila na folha corrigido pelo peso específico da folha.

** Significativo ao nível de 1%. * Significativo ao nível de 5%. ns– Não significativo ao nível de 5%.

Na Tabela 11 são apresentadas as correlações entre as características TRC, TRC corrigido pelo peso específico e os teores de nitrato, amônio e de N mineral na folha com o teor de N total na folha. No primeiro ano, verifica-se que o TRC teve boa relação com teor de N na folha, nos dois estádios de desenvolvimento. No entanto, o teor de N mineral na folha, especialmente o teor de nitrato, também apresentou boas correlações com teor de N na folha. No segundo ano, no estádio V3, nenhuma característica correlacionou-se significativamente com teor de N na folha. Porém, no estádio V6, todas as características

avaliadas apresentaram boa correlação com esta variável (valores de $r > 0,73$), exceto o NH_4^+ na folha que apresentou menor correlação ($r = 0,49$). Nos dois anos agrícolas, a correção do TRC pelo peso específico não aumentou a relação entre TRC e teor de N na folha, pelo contrário a diminuiu.

Tabela 11. Correlação simples entre o teor de N na última folha expandida do híbrido de milho Pioneer 32R21 com as características de planta no experimento conduzido em casa de vegetação, em dois anos e em dois estádios de desenvolvimento. Faculdade de Agronomia/UFRGS, Porto Alegre-RS

Características de planta	Ano de realização			
	2002		2003	
	Estádio de desenvolvimento ¹			
	V3	V6	V3	V6
Coeficiente de correlação (r)				
Teor relativo de clorofila na folha	0,68**	0,60**	0,33 ns	0,86**
Teor relativo de clorofila na folha corrigido ²	0,60**	-0,02 ns	0,07 ns	0,85**
NO_3^- na folha (mg kg^{-1})	0,67**	0,74**	0,05 ns	0,75**
NH_4^+ na folha (mg kg^{-1})	0,16 ns	0,83**	0,04 ns	0,49**
N mineral na folha (mg kg^{-1})	0,66**	0,83**	0,05 ns	0,74**

¹Segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993). ²Teor relativo de clorofila na folha corrigido pelo peso específico da folha.

** Significativo ao nível de 1%. * Significativo ao nível de 5%. ns– Não significativo ao nível de 5%.

Os dados obtidos indicam que o teor de N mineral na folha, especialmente o de nitrato, não está mais relacionado com teor de N na folha do que o TRC, nos estádios iniciais de desenvolvimento da planta de milho. Contudo, verificou-se que o teor de N mineral, especialmente o nitrato, está presente em grande quantidade na folha, significando que, nesta fase inicial do milho, grande parte do N encontra-se sob esta forma. Estes resultados concordam com a pressuposição de Dwyer et al., (1995), de que uma das razões da baixa relação entre TRC e teor de N na folha nos estádios iniciais de desenvolvimento da planta deve-se ao fato de que grande parte do N está associado ao nitrato e não à

molécula de clorofila. O N é absorvido nas raízes sob forma de nitrato (NO_3^-) ou amônio (NH_4^+), sendo incorporado em aminoácidos na própria raiz ou na parte aérea da planta (Bredemeier & Mundstock, 2000). O NO_3^- é a forma mais disponível nos solos agrícolas, quando a nitrificação não é inibida (Teyker et al., 1989; Von Wirén et al, 1997), como, por exemplo, em solos bem aerados (condição da maioria das lavouras de milho do estado do Rio Grande do Sul). Após absorvido, o NO_3^- é reduzido a NH_4^+ e incorporado em aminoácidos, ou transportado para os vacúolos, onde pode ser armazenado em altas concentrações, especialmente nas folhas que estão entre os órgãos com maior capacidade de armazenamento deste íon (Buchanan et al., 2000). Isto pode explicar o fato do TRC ter apresentado menor relação com rendimento de grãos nesta fase inicial, na maioria das vezes, que nos estádios mais avançados de desenvolvimento da planta de milho.

Os dados também mostram que a correção do TRC pelo peso específico da folha não aumentou a sua relação com o teor de N na folha, evidenciando que outros fatores, como espessura da folha, não afetaram significativamente a leitura do clorofilômetro neste estudo. Isto pode ter ocorrido porque o clorofilômetro utilizado para determinar o TRC possui diodos que emitem luz a 650 nm (vermelho) e a 940 nm (infravermelho). A luz em 650 nm situa-se próxima dos dois comprimentos primários de onda associados à atividade da clorofila (645 e 663 nm). O comprimento de onda de 940 nm serve como referência interna para compensar diferenças na espessura ou no teor de água da folha, ou devidas a outros fatores (Waskom et al., 1996). Resultados similares foram obtidos por Argenta (2001).

2.6. CONCLUSÕES

A relação entre as características de planta avaliadas e o rendimento de grãos é maior sob alto nível de manejo na cultura do milho.

Dentre as características de planta avaliadas, o teor relativo de clorofila na folha e o índice de suficiência estão mais relacionados com o rendimento de grãos, sendo os melhores indicadores da necessidade de N na planta de milho.

A correção do teor relativo de clorofila na folha pelo peso específico da folha não é eficiente para aumentar a relação entre esta variável e o teor de N na folha nos estádios iniciais de desenvolvimento da planta de milho.

As relações entre teor relativo de clorofila na folha, teor de N na folha e rendimento de grãos de milho são menores nos estádios iniciais de desenvolvimento da planta, provavelmente devido à grande quantidade de nitrato presente na folha nestes estádios.

3. CAPÍTULO II

TEOR DE NITRATO NO SOLO COMO INDICADOR COMPLEMENTAR NO MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA EM COBERTURA EM MILHO

SOIL NITRATE CONTENT AS A COMPLEMENTARY INDICE FOR MANAGEMENT OF CORN NITROGEN SIDE DRESS APPLICATION

3.1. RESUMO

A otimização do sistema de recomendação de adubação deve ser constante. Avanços na recomendação de nitrogênio (N) poderão ser potencialmente obtidos com inclusão de características de solo, tais como o teor de nitrato, como indicadores complementares da disponibilidade de N ao milho. Este trabalho teve por objetivos (i) avaliar o potencial de uso do teor de nitrato no solo como indicador complementar da disponibilidade de N no solo, (ii) verificar se a determinação do teor de amônio, em adição ao do teor de nitrato, aumenta a precisão da predição da disponibilidade de N no solo e, (iii) determinar qual a melhor época para determinação do teor de nitrato no solo na predição da disponibilidade de N para o milho. Foi conduzido um experimento a campo na EEA-UFRGS, em Eldorado do Sul-RS, em dois anos agrícolas (2002/03 e 2003/04). Os tratamentos constaram de cinco níveis de N. As características avaliadas foram teores de nitrato, amônio e de N mineral (nitrato + amônio) no solo e rendimento de grãos. Os dados obtidos foram submetidos às análises de variância, de correlação e de regressão simples. O efeito dos níveis de N sobre as características de solo avaliadas e as suas relações com rendimento de grãos foi variável entre as estações de crescimento e, principalmente, entre os estádios de desenvolvimento da planta. Os resultados obtidos indicam que o teor de nitrato no solo tem potencial para ser usado como indicador complementar da disponibilidade de N no solo para manejo da adubação nitrogenada em milho, porém mais estudos são necessários para avaliar a possibilidade de uso desta característica em outros locais e condições edafoclimáticas. A melhor época para determinação do teor de nitrato no solo como indicador do nível de N no solo é no estádio V6, sendo que o seu nível crítico é de 20 mg kg^{-1} para o solo estudado. A utilização do teor de amônio, em adição ao teor de nitrato, aumenta a precisão da predição disponibilidade de N no solo para manejo da adubação nitrogenada em milho nas condições ambientais avaliadas, evidenciando a necessidade de desenvolvimento de “kits” de determinação rápida do teor de N mineral no solo.

Termos para indexação: *Zea mays*, eficiência de uso do N, testes de nitrato, rendimento de grãos, estádios de desenvolvimento da planta.

3.2. ABSTRACT

Improvement of nitrogen (N) management is constantly aimed. There is potential to include soil characteristics, such as soil nitrate content, as a complementary indicator of soil N availability to corn. The objectives of this study were: (i) to discuss the potential use of soil nitrate content as complementary indicator of soil N availability; (ii) to verify if the

determination of the soil ammonium content, in addition to nitrate content, increase the precision to predict soil N availability and (iii) to determinate what is the best time for sampling soil nitrate content to predict soil N availability for corn. It was conducted one field experiment in Eldorado do Sul, state of Rio Grande do Sul, Brazil, in the 2002/03 and 2003/04 growing seasons. The treatments were five nitrogen levels. Soil nitrate, ammonium and N mineral contents and corn grain yield were evaluated. Analyses of variances, simple correlation and simple regression were done for all data. The relationship between soil characteristics with corn grain yield was variable with the growing season and, mainly, with the plant growth stage. The results indicated that soil nitrate content has potential to be used as a complementary indicator of soil N availability for corn. However, it is necessary more studies to evaluate this characteristic in other soil and weather conditions. The best time for soil nitrate sampling at 30 cm was in the V6 growth stage and its critical level was 20 mg kg⁻¹. The soil ammonium content determination improved the precision for predicting soil N availability as complementary indicator to the N fertilization management in the environment conditions tested, demanding “kits” to determine soil N mineral content instantly.

Index terms: *Zea mays*, N efficiency use, soil nitrate tests, grain yield, plant growth stages.

3.3. INTRODUÇÃO

No Brasil, o teor de matéria orgânica do solo vem sendo utilizado em alguns Estados como principal parâmetro indicativo da liberação de N pelo solo durante a estação de cultivo, pois fornece uma estimativa indireta do solo em fornecer este nutriente. O uso deste parâmetro e, mais recentemente, da cultura anterior como critérios indicativos da disponibilidade potencial de N do solo (Amado et al., 2002) fundamenta-se na premissa de que o N presente na matéria orgânica e na fitomassa das culturas irá ser mineralizado em tempo hábil para ser absorvido pelas plantas (Amado, 1997).

Entretanto, fatores de solo e de clima afetam a mineralização do N presente na matéria orgânica e nos resíduos vegetais. A acidez (pH), textura e mineralogia do solo, entre outros, são parâmetros que podem afetar a taxa de decomposição da matéria orgânica e dos resíduos culturais (Stevenson, 1994; Bayer, 1996). Em regiões de clima úmido, a temperatura do solo é o fator climático mais determinante da taxa de mineralização do N orgânico, a qual varia na ordem de duas vezes para cada variação de 10° C na temperatura (Jenkinson & Ayanaba, 1977). Desta forma, variações edafo-climáticas podem determinar que o uso isolado do teor de matéria orgânica do solo e/ou da cultura anterior não seja

suficiente para a avaliação da disponibilidade real de N às plantas (Pottker & Roman, 1994). Desta forma, a inclusão de testes complementares de teor de N mineral no solo como critérios de manejo de N em milho pode ser benéfica.

No Sul do Brasil, especificamente nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, a recomendação de adubação nitrogenada em milho apresentou, recentemente, avanços expressivos. Ela passou a considerar a cultura anterior ao milho (N mineralizado ou N imobilizado), além do teor de matéria orgânica do solo e da expectativa de rendimento de grãos (Amado et al., 2002). Considerando que o sistema de recomendação deve estar em constante aperfeiçoamento, uma melhoria potencial seria a inclusão de características complementares de solo e de planta que permitam o monitoramento da disponibilidade de N durante o ciclo do milho, visando maior precisão na recomendação das doses e maior flexibilidade do manejo do N nesta cultura (Argenta, 2001).

Dentre as características de solo usadas como indicadores do nível de N no solo, o teor de N mineral, especialmente o de nitrato, tem-se destacado. O uso desta característica baseia-se na disponibilidade de testes rápidos para sua determinação (Roth et al., 1991; Roth et al., 1992; Sims et al., 1995), bem como no fato de que grande proporção do N mineral estar na forma de nitrato (Blackmer et al., 1989; Sims et al., 1995; Ma & Dwyer, 1999). No entanto, deve-se considerar que o íon nitrato é repellido pelas cargas negativas dos colóides, tendendo a permanecer em solução e ser lixiviado pela água de percolação (Dyria & Camargo, 1999). Desta forma, sob certas condições, como por exemplo, com alta precipitação pluvial ou sob irrigação complementar, a inclusão da determinação do íon amônio pode ser uma boa alternativa, por poder ser adsorvido ao complexo de troca do solo ou nitrificado.

Os testes que fornecem ou indicam a quantidade de N mineral presente, denominados testes de intensidade, podem ser divididos basicamente em teste de pré-semeadura – TPS (“preplant soil nitrate test”), teste de pré-aplicação de N em cobertura –

TPNC (“pre-side dress soil nitrate test”) e teste de pós-colheita – TPC (“post-harvest soil nitrate test”). Todos eles foram desenvolvidos inicialmente para regiões de clima árido, onde já vem sendo utilizados há mais tempo. No entanto, foram feitas adaptações, como no TPNC e no TPC, para uso em regiões mais úmidas, onde as perdas por lixiviação de nitrato podem ser expressivas. Eles têm sido usados para detectar a variação da disponibilidade de N antes e durante o ciclo da cultura e para predizer a dose de N a ser suplementada (Vanotti & Bundy, 1994), determinando maior flexibilidade no manejo da adubação nitrogenada. A variação da disponibilidade de N pode se dar por eventos meteorológicos, como precipitações pluviais de grande volume, e por alterações nos manejos da cultura e da adubação, entre outros, influenciando muito a resposta do milho à aplicação de N (Vanotti & Bundy, 1994).

Dentre os testes citados acima, destaca-se o teste de pré-aplicação da adubação nitrogenada em cobertura (TPNC), que tem sido o mais estudado e difundido, principalmente nos Estados Unidos da América. Nesse teste é avaliada a quantidade de nitrato que se encontra no solo até à profundidade de 30 cm, no estágio V6 de desenvolvimento de milho. Porém, para se entender por que este tem sido considerado uma característica eficiente na predição da necessidade de adubação nitrogenada é preciso compreender os seus princípios. Nesse sentido, os modelos de mineralização de N no solo, de absorção pela planta e de lixiviação de nitrato ajudam a explicar como o TPNC estima o nível de suprimento de N no solo (Magdoff, 1991).

Poucos foram os estudos realizados no Brasil, especialmente na Região Sul, visando o uso do teor de N mineral, principalmente o de nitrato, como indicador do nível de N no solo para a cultura do milho. Além disso, não se tem conhecimento de trabalhos realizados no Brasil que tenham utilizado esta abordagem no sistema de semeadura direta. Neste sentido, este trabalho teve por objetivos (i) avaliar o potencial de uso do teor de nitrato no solo como indicador complementar da disponibilidade de N no solo, visando a

tomada de decisão sobre manejo da adubação nitrogenada em milho (ii) verificar se o uso do teor de amônio no solo aumentaria a precisão da predição da disponibilidade de N no solo e (iii) determinar a melhor época para determinação do teor de nitrato para predição da disponibilidade de N no solo para a cultura do milho.

3.4. MATERIAL E MÉTODOS

Foi conduzido um experimento a campo na Estação Experimental Agronômica, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA-UFRGS), localizada no município de Eldorado do Sul, região ecoclimática da Depressão Central, do estado do Rio Grande do Sul, em duas estações de crescimento (2002/03 e 2003/04). As características do solo da área experimental estão descritas no Capítulo I.

Os tratamentos constaram de cinco níveis de N (0, 50, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹), aplicados parte na semeadura (20%) e o restante no estágio V3. O experimento foi disposto em blocos casualizados, com quatro repetições.

No ano agrícola 2002/03, foi semeado o híbrido simples Pioneer 32R21, de ciclo superprecoce, no dia 15 de outubro de 2002, em sistema de semeadura direta, em sucessão à aveia preta (3,4 t ha⁻¹ de rendimento de massa seca), no espaçamento de 0,7 m e na densidade de 65 000 pl ha⁻¹. A adubação com fósforo e potássio foi realizada na linha, por ocasião da semeadura, constando de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 60 kg ha⁻¹ de K₂O.

No ano agrícola 2003/04, foi usado o mesmo híbrido do experimento anterior, em semeadura direta realizada no dia 07 de outubro de 2003, em sucessão à aveia preta (5,2 t ha⁻¹ de rendimento de massa seca), nos mesmos espaçamento e densidade de plantas do ano anterior. A adubação com fósforo e potássio foi realizada da mesma forma que no experimento anterior, porém utilizando as doses de 105 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e de 150 kg ha⁻¹ de K₂O.

Nos dois anos, o experimento foi irrigado por aspersão, quando o potencial de água no solo foi inferior a $-0,04$ Mpa. Foi realizado controle de plantas daninhas e pragas, para que não interferissem no desenvolvimento e na expressão do efeito das doses de N aplicadas no rendimento de grãos de milho.

As determinações realizadas nos dois anos agrícolas foram teores de nitrato, amônio e de N mineral (nitrato + amônio) no solo e rendimento de grãos de milho. No primeiro ano, as características de solo foram determinadas em quatro estádios de desenvolvimento (V3, V6, V10 e espigamento), segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993). Já no segundo ano, em função dos resultados obtidos no primeiro ano, estas características foram avaliados somente nos estádios V3 e V6.

Os teores de nitrato e amônio no solo foram determinados a partir da coleta de três subamostras de solo na camada de 0-30 cm de profundidade, por parcela, com auxílio de um trado. As subamostras foram homogeneizadas, formando uma amostra composta. Nos estádios V3 e V6, nos dois anos agrícolas, as amostras de solo foram colocadas imediatamente após a coleta em becker com 150 ml de KCl 1N. Já nos estádios V10 e espigamento, as amostras foram colocadas em sacos plásticos em caixa de isopor com gelo, sendo levadas ao laboratório e, em seguida, colocadas em becker com 150 ml de KCl 1N. Após, em ambos os casos, as amostras foram agitadas por 30 minutos e deixadas decantar por mais 30 minutos. Posteriormente, foi coletado o sobrenadante e determinados os teores de nitrato e amônio no solo, seguindo os procedimentos descritos por Tedesco et al (1995). Salienta-se que, quando o solo não é colocado imediatamente em KCl após a coleta, pode ocorrer maior mineralização de N em comparação a amostra colocada no reagente logo após a coleta. O teor de N mineral foi obtido pela soma dos teores de nitrato e amônio no solo. O rendimento de grãos foi obtido através da extrapolação da produção da área útil da parcela ($8,4 \text{ m}^2$) para um hectare, corrigindo-se a umidade para 130 g kg^{-1} .

Os dados coletados foram submetidos à análise de variância pelo Teste F, a 5% de probabilidade. Realizou-se também as análises de correlação e de regressão entre as características de solo avaliadas, nos estádios V3 e V6, e o rendimento de grãos, nos dois anos agrícolas. Além disso, foi aplicada a análise gráfica de Cate-Nelson (1987), modificada por Fox et al. (2001), para determinação do nível crítico de nitrato no solo no estádio V6. A dose de N a ser aplicada para cada unidade de nitrato menor que a do nível crítico foi determinada de acordo metodologia descrita por Feibo et al. (1998).

3.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O rendimento de grãos do milho foi afetado pelos níveis de N aplicado nos dois anos de cultivo, apresentando média de 8,0 t ha⁻¹ em 2002/03 e de 7,4 t ha⁻¹ em 2003/04 (Tabela 12), que podem ser considerados altos comparadas com as médias obtidas pelos produtores da região da Depressão Central do RS. O efeito de níveis de N aplicados sobre as características de solo avaliadas foi variável entre anos e estádios de desenvolvimento avaliados. No primeiro ano, foram significativos o teor de nitrato no solo nos estádios V3 e V6, o teor de amônio no estádio V6 e o teor de N mineral nos quatro estádios avaliados. No segundo ano, em função dos resultados obtidos no primeiro ano não terem mostrado boas relações das características avaliadas com rendimento de grãos nos estádios V10 e espigamento, as avaliações restringiram-se aos estádios V3 e V6. Neste ano, as três características avaliadas foram significativos em relação às doses de N aplicadas somente no estádio V6.

Para verificar a relação entre características de solo e rendimento de grãos de milho foram realizadas as análises de correlação e de regressão simples (Tabelas 13 e 14, respectivamente). Na Tabela 13 pode-se verificar que os teores de nitrato, amônio e de N mineral no solo apresentaram maiores correlações com rendimento de grãos nos estádios V3 e V6, que nos estádios V10 e espigamento. Em função disto, as análises de regressão

dessas características com rendimento de grãos foram restringidas para estes dois estádios. Na Tabela 14, visualiza-se que a resposta das características de solo avaliadas foi quadrática no estádio V6 e foram obtidas maiores relações neste estádio em relação ao V3, nos dois anos de estudo.

Tabela 12. Análises de variância, médias (M) e coeficientes de variação (CV), por estágio de desenvolvimento, do híbrido de milho Pioneer 32R21, das características de solo e do rendimento de grãos, em dois anos agrícolas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul-RS

Características avaliadas	Ano agrícola 2002/03											
	Estádio de desenvolvimento ¹											
	V3			V6			V10 ²			Espigamento ²		
	M	CV (%)	N ³	M	CV (%)	N	M	CV (%)	N	M	CV (%)	N
Nitrato no solo (mg kg ⁻¹)	8,15	11,50	**	17,94	11,43	**	20,00	28,34	ns	20,50	10,46	ns
Amônio no solo (mg kg ⁻¹)	11,54	22,90	ns	21,63	10,82	**	12,71	37,43	ns	13,80	25,56	ns
N mineral no solo (mg kg ⁻¹)	19,59	15,62	**	39,57	8,19	**	32,70	20,80	*	34,30	10,38	*
Rendimento de grãos (t ha ⁻¹)	8,08	10,72	**									
	Ano agrícola 2003/04											
Nitrato no solo (mg kg ⁻¹)	8,65	19,87	ns	12,75	16,33	**	-	-	-	-	-	-
Amônio no solo (mg kg ⁻¹)	8,21	27,81	ns	14,22	38,66	*	-	-	-	-	-	-
N mineral no solo (mg kg ⁻¹)	16,87	19,47	ns	26,96	26,93	*	-	-	-	-	-	-
Rendimento de grãos (t ha ⁻¹)	7,39	15,81	*									

¹ Segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993). ² Determinações em que o solo foi colocado em KCl somente no laboratório, podendo ter ocorrido maior mineralização do N que no procedimento em que o solo foi colocado em KCl diretamente após a coleta no campo. ³ Fonte de variação: doses de N. ** Significativo ao nível de 1%. * Significativo ao nível de 5%. ns – Não significativo ao nível de 5%.

Tabela 13. Correlação simples entre rendimento de grãos do híbrido de milho Pioneer 32R21 e as características de solo, por estágio de desenvolvimento, em dois anos agrícolas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul-RS

Estádio de desenvolvimento ¹	Ano agrícola	Característica de solo (mg kg ⁻¹)		
		Teor de nitrato	Teor de amônio	Teor de N mineral
Coeficiente de correlação (r)				
V3	2002/03	0,47*	0,32 ns	0,41 ns
	2003/04	0,42 ns	0,42 ns	0,47 *
V6	2002/03	0,57**	0,70**	0,69**
	2003/04	0,71 **	0,70**	0,74**
V10	2002/03	- 0,29 ns	- 0,22 ns	- 0,33 ns
	2003/04	-	-	-
Espigamento ²	2002/03	- 0,12 ns	0,08 ns	0,0008 ns
	2003/04	-	-	-

¹ Segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993). ² Determinações em que o solo foi colocado em KCl somente no laboratório, podendo ter ocorrido maior mineralização do N que no procedimento em que o solo foi colocado em KCl diretamente após a coleta no campo.

** Significativo ao nível de 1%. * Significativo ao nível de 5%. ns – Não significativo ao nível de 5%.

Tabela 14. Equações de regressão, coeficientes de determinação (R²) entre rendimento de grãos e características de solo, por estágio de desenvolvimento, do híbrido de milho Pioneer 32R21, em dois anos agrícolas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul-RS

Característica de solo	Ano agrícola	Estádio de desenvolvimento ¹			
		V3		V6	
		Equação de regressão	R ²	Equação de regressão	R ²
Teor de nitrato (mg kg ⁻¹)	2002/03	Y= 2542,09 +699,74x	0,22*	Y= -27699,00 +3713,60x -93,59x ²	0,40**
	2003/04	Y= 2465,10 +568,98x	0,14 ns	Y= 5145,17 +1383,62x -29,44x ²	0,51**
Teor de amônio (mg kg ⁻¹)	2002/03	Y= 4979,28 +268,62x	0,10 ns	Y= -6513,27 +807,29x -5,99x ²	0,49**
	2003/04	Y= 3629,63 +457,64x	0,16 ns	Y= 43,568 +741,95x -13,00x ²	0,53**
Teor de N mineral (mg kg ⁻¹)	2002/03	Y= 3353,41 +240,06x	0,17 ns	Y= -4427,40 +304,67x +0,28x ²	0,48**
	2003/04	Y= 2045,43 +316,78x	0,19 ns	Y= -1640,34 +456,38x -4,01x ²	0,56**

¹ Segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993). Número de amostras por estágio de desenvolvimento = 20.

** Significativo ao nível de 1%. * Significativo ao nível de 5%. ns – Não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Os resultados mostraram que a melhor época para determinação dos teores de nitrato, amônio e de N mineral para predição da disponibilidade de N no solo, foi no estágio V6. Estes dados estão de acordo com as pressuposições para uso do teste de pré-aplicação da adubação nitrogenada em cobertura (TPNC), que se realiza neste mesmo estágio. Segundo Magdoff et al. (1984), devem ser considerados vários aspectos que possibilitam que este teste possa prever as necessidades de N da cultura do milho. Inicialmente, parte-se do princípio de que o N mineral presente no solo na época da amostragem (V6 - seis folhas expandidas) é o resultado da integração de todos os fatores climáticos e de manejos da cultura, adubação e do solo que influenciam a disponibilidade de N até à coleta. Considera-se também que: a) grande parte do N do solo é mineralizado até pouco tempo antes da época de amostragem; b) a maioria do N disponível no solo deve estar presente próximo à zona radicular no início do rápido crescimento da planta (V6) para assegurar nutrição adequada e c) o nível de N determinado pelo teste está correlacionado com o N total disponibilizado pelo solo ao longo da ontogenia da planta (Magdoff, 1991). Os valores médios dos teores de nitrato, amônio e N mineral (amônio + nitrato) no solo apresentados na Tabela 12 mostram que estas variáveis aumentaram do estágio V3 para o V6, nos dois anos avaliados, indicando que grande parte fora disponibilizado no estágio V6, o que está de acordo com as pressuposições apresentadas por Magdoff et al. (1984) e por Magdoff (1991).

Os resultados indicaram que o uso do teor de amônio conjuntamente com o de nitrato, formando o N mineral, de uma maneira geral, apresentou maior relação com rendimento de grãos que o teor de nitrato (Tabelas 13 e 14). Isto indica que haveria maior precisão na predição da disponibilidade de N no solo usando o teor de N mineral (nitrato + amônio) que somente o teor de nitrato. Estes resultados diferem dos obtidos por Rozas et al. (2000) em trabalho desenvolvido na Argentina onde observaram que a inclusão do teor de amônio não aumentou significativamente a confiabilidade dos resultados. No entanto,

segundo Binford et al. (1992) e Schmitt & Randall (1994) em solos que receberam esterco animal ou fonte de N amoniacal, a avaliação do íon amônio também pode ser útil. Além disso, sob condições de alta precipitação pluvial a inclusão desta característica pode ser benéfica em função de sua carga positiva, que permite sua adsorção ao complexo de troca do solo ou sua nitrificação.

Apesar dos resultados terem mostrado que justificaria-se a determinação do teor de amônio juntamente ao de nitrato para predição da disponibilidade de N no solo, foram realizadas as determinações dos níveis críticos e das doses de N a serem aplicadas quando os valores encontrados estivessem abaixo do nível crítico, apenas para teor de nitrato no solo no estágio V6. Esta decisão foi tomada porque, atualmente, existem somente “kits” de determinação rápida para o teor de nitrato. No entanto, no momento em que sejam também desenvolvidos “kits” de determinação rápida do teor de N mineral (nitrato + amônio) o uso desta característica é recomendável.

De acordo com a Figura 1, onde foi analisada graficamente a relação entre teor de nitrato no solo no estágio V6 do milho e rendimento de grãos relativo, seguindo os procedimentos estabelecidos por Cate-Nelson (1987), modificados por Fox et al. (2001), o nível crítico de nitrato no solo para atingir o rendimento de grãos máximo foi de 20,2 mg kg⁻¹.

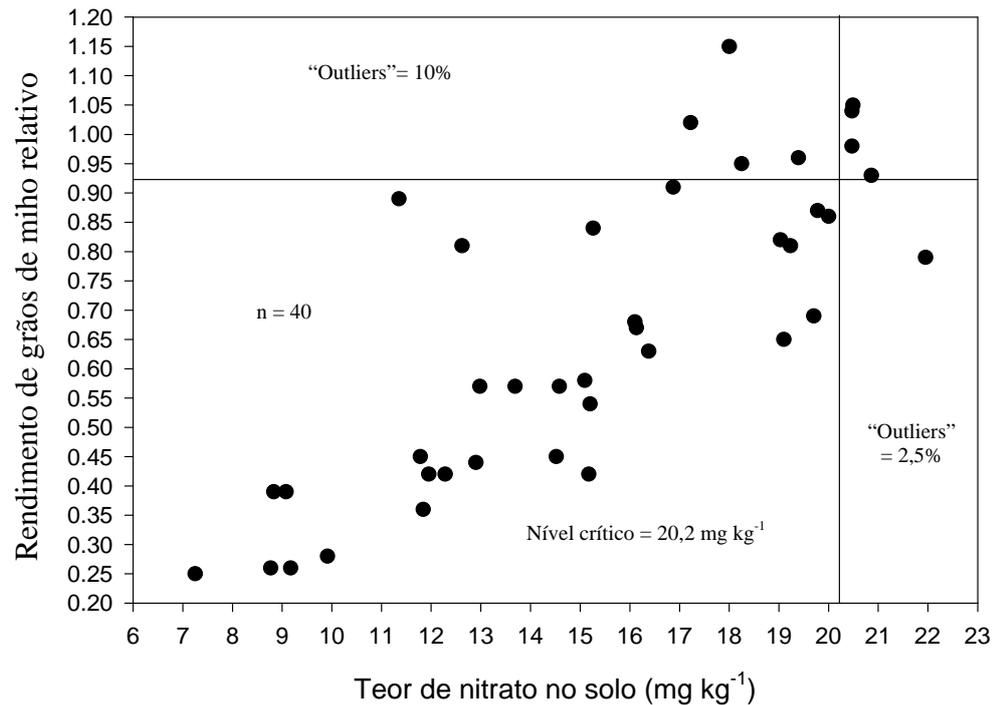


Figura 1. Análise gráfica de Cate-Nelson relacionando teor de nitrato no solo no estádio V6 do híbrido de milho Pioneer 32R21 com rendimento de grãos relativo, em dois anos agrícolas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul (RS), 2002/03 e 2003/04.

Para definir o nível crítico de teor de nitrato no solo seguiu-se a metodologia proposta por Fox et al. (2001). Assim, foi considerado como valor crítico horizontal o rendimento relativo de 0,93 e o valor crítico vertical foi definido para minimizar os erros ou “outliers”. De acordo com a análise gráfica, os dados que se encontram no quadrante superior esquerdo superestimaram a necessidade de N, ou seja, indicaram que o tratamento era deficiente em N mas, na verdade, havia N suficiente para atingir o rendimento máximo. Já os dados que se encontram no quadrante inferior direito, subestimaram a necessidade de N, ou seja, indicaram que o tratamento não era deficiente em N mas, de fato, havia necessidade de mais N para atingir o rendimento máximo.

Em seguida, foram estabelecidas relações entre níveis de N aplicados e teor de nitrato no solo, no estádio V6 do milho, por ano agrícola. Como o coeficiente “b” foi igual para os dois anos agrícolas, também foi estabelecida esta relação utilizando os dados obtidos nos dois anos conjuntamente (Tabela 15). Utilizando-se a equação entre níveis de

N aplicados e teor de nitrato no solo e nível crítico obtidos, seguindo a metodologia usada por Feibo et al. (1998), calculou-se a dose de N a ser aplicada para cada unidade de nitrato no solo abaixo do nível crítico. Inicialmente, foi calculada a dose ótima de N para atingir o rendimento de grãos máximo, utilizando a equação conjunta (Tabela 15) e o nível crítico de nitrato no solo de 20,2 mg kg⁻¹ (Figura 1), obtendo-se a dose de 365,5 kg ha⁻¹ de N. Após, fez-se este mesmo cálculo usando o valor de 19,2 mg kg⁻¹ de nitrato no solo (uma unidade menor que a do nível crítico, obtendo-se o de valor 315,5 kg ha⁻¹ de N). Então, por diferença, pressupõe-se que, de acordo com esta metodologia, seria necessária a aplicação de 50 kg ha⁻¹ para cada unidade de teor de nitrato no solo, medido no estádio V6, menor do que o do nível crítico, não havendo necessidade de aplicação de N quando o valor obtido for superior ao do nível crítico. No entanto, salienta-se que há necessidade de validação desta metodologia em outros ambientes para sua utilização a campo, principalmente no que se refere à dose obtida.

Tabela 15. Equações de regressão e coeficientes de determinação (R²) entre teor de nitrato no solo (y) e níveis de N aplicados (x) no estádio V6 do híbrido de milho Pioneer 32R21, em dois anos agrícolas, e na análise conjunta dos anos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul-RS

Ano agrícola	Equação de regressão	R ²	n ¹
2002/03	Y= 15,95 +0,02x	0,35**	20
2003/04	Y= 9,82 +0,02x	0,54**	20
Conjunta	Y= 12,89 +0,02x	0,26**	40

¹ Numero de amostras.

** Significativo ao nível de 1%.

Vários estudos têm sido realizados utilizando o TPNC, principalmente na definição de níveis críticos de nitrato no solo, acima dos quais a resposta à adubação nitrogenada é improvável. Os valores críticos encontrados variam de 15 a 30 mg kg⁻¹ de nitrato. Geralmente, tem-se obtido menores valores críticos quando a profundidade de amostragem

excede os 30 cm preconizados pelo teste. Nesses estudos há boa correlação entre rendimento de grãos de milho e teor de nitrato no solo no estádio V6. Isto se torna muito importante devido ao fato de que, nesse estádio, a maioria dos testes de planta não têm evidenciado boas correlações com rendimento de grãos. Desta forma, o TPNC tem sido usado como ferramenta para indicar se há necessidade de aplicação de adubação nitrogenada em cobertura no estádio V6 no milho (Blackmer et al. 1989, Fox et al., 1989; Bindord et al., 1992; Klausner et al., 1993; Heckman et al., 1996; Spellman et al., 1996; Zebarth & Paul, 1996; Rozas et al., 2000), ou ainda, tem-se estudado a possibilidade de seu uso para recomendar doses de N em cobertura (Bindord et al., 1992; Klausner et al., 1993; Schmitt & Randall, 1994). Em estudo conduzido por Jaynes et al. (2004), em uma área de 400 ha no estado de Iowa nos EUA, foi observado que o uso do TPNC reduziu, significativamente, em dois dos quatro anos avaliados, as aplicações de fertilizantes nitrogenados quando comparado com as práticas adotadas corriqueiramente pelos produtores. Baseados nos resultados observados, estes autores concluíram que a adoção de um programa de manejo de N usando o TPNC poderia reduzir em até mais de 30% o teor de nitrato na superfície da água naquele estado. Atualmente, o TPNC, conhecido também como LSNT (“Late Spring Nitrate Test”) é recomendado para fertilização de milho no estado de Iowa nos EUA, sendo sugerido também como opção para os estados que o circundam (Jaynes et al., 2004).

O uso do TPNC como índice quantitativo da necessidade de adubação nitrogenada em cobertura em milho apresenta resultados variáveis. Por exemplo, nos estados da Pensilvânia, Iowa e Vermont (EUA), os valores obtidos abaixo do nível crítico dado pelo TPNC têm sido usados para estabelecer recomendações de adubação nitrogenada (Bundy & Meisinger, 1994). Em trabalho mais recente, Andraski & Bundy (2002) observaram que o uso do TPNC para ajustar as doses de adubação nitrogenada em milho, em áreas que tinham sido adubadas com esterco animal ou em sucessão a leguminosas, proporcionou

maior retorno econômico que a recomendação tradicional, que não considerou as contribuições de N oriundas destes adubos. Já, em alguns casos, o seu uso como índice quantitativo foi comprometido, principalmente em função da variabilidade na relação entre o teste e o rendimento relativo (Fox et al., 1989, Heckman et al., 1996). Tendo em vista estas contradições, Bundy & Meisinger (1994) recomendam que a adoção do TPNC sob o aspecto quantitativo deve ser avaliada em nível estadual, pois esta abordagem envolve os seguintes pontos críticos: (i) dados atualizados de calibração de campo, (ii) filosofia de recomendação da adubação nitrogenada e (iii) sistemas alternativos de recomendação da adubação nitrogenada. Portanto, esta abordagem quantitativa do teste necessita ser mais pesquisada, pois cada um dos pontos acima tem soluções específicas para o solo, o clima e o sistema de cultivo de cada região. Dificilmente, o uso deste teste de forma isolada será eficiente para determinação da dose de N a ser aplicada, necessitando, portanto, de integração com outras características de solo e/ou de planta.

Apesar da utilidade do TPNC já ter sido demonstrada em vários estudos, há de se atentar que este teste pode ser influenciado por vários fatores, como tipo de solo, especialmente a textura, condições meteorológicas, principalmente a precipitação pluvial da região, tipo de adubação nitrogenada utilizada (orgânica ou mineral) e cultura de cobertura antecessora ao milho (histórico da área). Dentre estes fatores, destacam-se a precipitação pluvial e a textura do solo, pois afetam principalmente a lixiviação de nitrato, que resulta em erros de estimação do teste. A lixiviação de nitrato ocorre principalmente quando a precipitação pluvial é superior à evapotranspiração e o solo estiver na capacidade de campo (Magdoff, 1991).

A dimensão das perdas de nitrato por lixiviação é também muito influenciada pelas propriedades do solo. O tamanho e a distribuição de poros governam a capacidade de retenção de água no solo e o seu fluxo, em condições de saturação e de insaturação. Grande quantidade de água pode percolar para camadas mais profundas em solo, com elevado

número de poros grandes, sem lixiviar muito nitrato da sua matriz (Magdoff, 1991). Contudo, o fluxo preferencial pode causar grande perda de nitrato que tenha sido recentemente aplicado na superfície, precedendo a ocorrência de elevada precipitação pluvial, visto que ele se move na superfície junto com a água, entra nos grandes canais (poros grandes) e percola (Tyler & Thomas, 1977). Por outro lado, o fertilizante que tiver tempo para se difundir entre os agregados nos microporos, estaria mais protegido de subseqüentes lixiviações devido à alta proporção de fluxo de água através de macroporos, o que pode ser verificado sob semeadura direta e em solo com textura menos arenosa (Bundy & Meisinger, 1994; Rozas et al., 2000).

Em solos arenosos, que possuem poros com tamanho similar e não apresentam fluxo preferencial, a precipitação pluvial pode resultar em lixiviação uniforme de nitrato através do perfil (Magdoff, 1991), aumentando, desta forma, o problema de lixiviação. Outro aspecto a ser considerado é que os solos arenosos têm menor capacidade de retenção de água, o que significa que a mesma quantidade de água provinda da precipitação pluvial ou da irrigação suplementar causa maior lixiviação de nitrato em solo arenoso do que em solos com textura menor. Diante deste contexto, o teste TPNC tem apresentado melhores resultados em solos estruturados, com textura média, em regiões em que não ocorrem intensas precipitações. Segundo Bundy & Meisinger (1994), este teste apresenta limitações sob determinadas condições, tais como: (i) sob temperatura baixa e/ou deficiência hídrica que afetem a mineralização e a nitrificação do N da matéria orgânica ou dos fertilizantes (ii) em solos altamente desestruturados e lixiviados e (iii) sob circunstâncias em que as transformações do solo afetem o “pool” de nitrato no solo, tais como os processos de denitrificação ou imobilização.

Considerando que vários fatores podem interferir na quantidade de nitrato que está presente no solo no momento da sua determinação, sugere-se que outros estudos para calibrar o TPNC para uso na recomendação de N em milho devam ser realizados.

Isto porque se visualiza que o nitrato pode ser ferramenta útil para predição da necessidade de aplicação de N em cobertura, bem como para refinamento das doses de N aplicadas nos estádios iniciais de desenvolvimento da planta. As vantagens e as limitações do uso deste teste no Brasil dependerão muito das condições edafo-climáticas de cada região, considerando a sua grande dimensão geográfica.

Por fim, ressalte-se que o TPNC deve ser usado como característica complementar no manejo da adubação nitrogenada, associado a outras características de solo e/ou de planta, bem como, às informações que atualmente são recomendadas, ou seja, o teor de matéria orgânica, a cultura antecedente e o rendimento de grãos projetado. Esta integração preconiza que haja manejo adequado da adubação nitrogenada durante todas as fases de desenvolvimento, aumentando a eficiência de uso do N.

3.6. CONCLUSÕES

O teor de nitrato no solo tem potencial para ser utilizado como indicador complementar da disponibilidade de N no solo para manejo da adubação nitrogenada em milho, porém mais estudos são necessários para avaliar a possibilidade de seu uso em outros locais e condições edafo-climáticas.

A utilização do teor de amônio, em adição ao teor de nitrato, aumenta a precisão da predição disponibilidade de N no solo para manejo da adubação nitrogenada em milho nas condições ambientais avaliadas, evidenciando a necessidade de desenvolvimento de “kits” de determinação rápida do teor de N mineral no solo.

A melhor época para determinação do teor de nitrato no solo como indicador do nível de N no solo é no estádio V6, sendo que o seu nível crítico é de 20 mg kg^{-1} para o ambiente estudado.

4. CAPÍTULO III

MONITORAMENTO DO NÍVEL DE N NA PLANTA COM BASE NA INTEGRAÇÃO ENTRE TEOR RELATIVO DE CLOROFILA NA FOLHA E TEOR DE NITRATO NO SOLO PARA PREDIÇÃO DA ADUBACAO NITROGENADA EM MILHO SOB ALTO MANEJO

MONITORING PLANT N STATUS USING LEAF RELATIVE CHLOROPHYLL CONTENT AND NITRATE SOIL CONTENT TO PREDICT NITROGEN FERTILIZATION IN CORN IN HIGH MANAGEMENT SYSTEM

4.1. RESUMO

A eficiência estimada de uso do N (EUN) em cereais no mundo é de apenas 33 %, o que resulta em grandes perdas financeiras e prejuízos ao ambiente. Os objetivos deste trabalho foram: (i) comparar a eficiência do monitoramento do nível de N na planta com base em dois índices de teor relativo de clorofila na folha (teor relativo de clorofila na folha crítico - TRCC e índice de suficiência - IS), determinados pelo clorofilômetro e (ii) avaliar a integração de características de planta e de solo no monitoramento do nível de N do sistema solo-planta para auxiliar no manejo da adubação nitrogenada em cobertura. Foram conduzidos dois experimentos nos anos agrícolas 2002/03 e 2003/04, em Eldorado do Sul-RS, Brasil. Os tratamentos constaram de vários sistemas de manejo de N, que diferiram quanto à época e à dose de aplicação e ao critério adotado para decidir pela aplicação de N (com e sem monitoramento). Nos sistemas monitorados, o TRCC e o IS foram usados para indicar a época de aplicação de N em cobertura. Além disso, no segundo ano testou-se o monitoramento integrado com o TRCC e o teor de nitrato no solo, em três sistemas. Houve variação nas doses aplicadas entre os sistemas de manejo do N, o que resultou em respostas diferenciadas quanto ao rendimento e aos incrementos no rendimento de grãos e na margem bruta, e as eficiências técnica, econômica e de uso do N. Estas variáveis foram, na maioria das vezes, maiores nos sistemas monitorados com os dois índices que nos sistemas sem monitoramento. A eficiência dos métodos de monitoramento com base no TRCC (desenvolvido para a mesma cultivar, local e condições de manejo em estudo) e no IS de 0,95 é similar. O monitoramento do nível de N na planta com base no teor relativo de clorofila na folha é uma técnica com grande potencial para aumentar a EUN, especialmente sob altas condições de manejo, com aplicação de altas doses desse nutriente. O monitoramento com base na integração entre o teor de nitrato no solo e o TRCC não incrementou a EUN no ambiente avaliado. Porém, em função do potencial de uso desta técnica mais estudos devem ser realizados para testar esta possibilidade.

Termos para indexação: *Zea mays*, práticas de manejo, época e dose de aplicação de N, rendimento de grãos e eficiência de uso do N.

4.2. ABSTRACT

The world N use efficiency (NUE) in cereals is only 33 %, which results in financial and environment hazards. The objectives of this study were: to compare the monitoring efficiency of corn plant nitrogen status using two indexes of leaf relative chlorophyll content (critical leaf relative chlorophyll content – CRCC and sufficiency index - SI), measured by the chlorophyll meter; (ii) to evaluate the integration between plant and soil characteristics for monitoring the N content of the soil-plant system in order to help corn N management. Two field experiments were conducted in Eldorado do Sul, State of Rio Grande do Sul, Brazil, in the 2002/03 and 2003/04 growing seasons. The treatments were different N management systems, which had different N application times and N rates, being conducted with or without monitoring. In the monitored systems, CRCC and SI were used to indicate when to side dress N in corn. Besides, in three monitored systems, in the 2003/04 growing season, it was tested, using the CRCC and soil nitrate content, one integrated monitoring system. There was variation in the application rates among the N management systems, which resulted in differences in grain yield and grain yield increase, gross profit increase and in the technical, economic and N use efficiency. These variables were, most of the times, higher in the monitored systems with the two indexes than in the systems without monitoring. The efficiency of the monitoring methods using the CRCC, which were developed for the same hybrid, soil and management conditions of this study, and using the SI of 0,95 is similar. The monitoring of N plant status using the chlorophyll meter is one technique with high potential to increase the NUE, especially under high management conditions, when high N rates are used. Using the monitoring integrating the CRCC and soil nitrate content, did not improve the NUE in the tested environment. However, due to the potential of this technique more studies should be done to evaluate this possibility.

Index terms: *Zea mays*, management practices, nitrogen application time, grain yield and N efficiency use.

4.3. INTRODUÇÃO

No mundo, a eficiência de uso do nitrogênio (EUN) em cereais é de apenas 33 %. Considerando os 67 % de N que não são aproveitados, tem-se uma perda anual de 15,9 bilhões de dólares em fertilização nitrogenada (Raun & Johnson, 1999), além dos prováveis impactos negativos ao ambiente (Schröder et al., 2000). Uma das alternativas para aumentar a EUN é a busca de sincronia entre a época de aplicação de N com os estádios de sua maior necessidade pela planta. Neste contexto, o monitoramento do nível de N na planta é muito importante para que se possa fazer sua aplicação na época mais adequada. No entanto, esta tarefa é complexa, pois existem vários fatores que interferem na disponibilidade do N liberado pelo solo, bem como na velocidade de sua absorção e assimilação pela planta (Bredemeier & Mundstock, 2000).

Indicadores de solo e de planta têm sido usados para monitorar a disponibilidade de N e auxiliar na decisão sobre a dose e a época de sua aplicação. Um indicador ideal deve reproduzir a relação do nível de N no sistema solo-planta, sendo capaz de detectar ou prever tanto as deficiências quanto os excessos. Ele deve ser de rápida execução, para permitir ações de manejo que corrijam deficiências durante a ontogenia da cultura (Schröder et al., 2000).

Dentre as características de solo utilizadas como indicadores do nível de N no solo, tem-se destacado o teor de N mineral, especialmente o de nitrato. O uso do nitrato se dá em função da disponibilidade de testes rápidos para sua determinação (Roth et al., 1991; Roth et al., 1992; Sims et al., 1995) e ao fato de que grande parte do N mineral no solo estar na forma de nitrato (Blackmer et al., 1989; Sims et al., 1995; Ma & Dwyer, 1999).

Dentre as características de planta, destaca-se a determinação do teor relativo de clorofila na folha (TRC) pelo clorofilômetro, que tem sido bastante estudado nos últimos anos, em função de sua rapidez, precisão e baixo custo. Este método fundamenta-se na correlação positiva existente entre teor de clorofila na folha e teor de N na planta (Piekielek & Fox, 1992; Blackmer & Schepers, 1994; Waskom et al., 1996; Argenta et al., 2001) que, por sua vez, está associada à atividade fotossintética (Sinclair & Horie, 1989; Ma et al., 1995). Esta relação se deve ao fato de que 50 a 70 % do N total das folhas ser integrante de enzimas, que estão associadas aos cloroplastos (Chapman & Barreto, 1997). Os valores obtidos são proporcionais ao teor de clorofila presente na folha, conforme estudos realizados em milho (Dwyer et al., 1995; Argenta et al., 2002) e em outras culturas (Yadava, 1986; Marquardt & Tipton, 1987; Tenga et al., 1989; Dwyer et al., 1995).

O uso do clorofilômetro no manejo da adubação nitrogenada em milho vem sendo estudado sob duas abordagens: a de valores críticos do teor relativo de clorofila (TRCC) e do índice de suficiência de N (IS). A utilização de valores críticos pressupõe que, para cada estágio de desenvolvimento, haja um valor mínimo do TRC (nível crítico - TRCC) que a

planta apresenta em função da leitura com clorofilômetro, que corresponde ao nível mínimo de clorofila necessário naquela fase da ontogenia para maximizar o rendimento de grãos. Leituras abaixo deste nível indicam necessidade de suplementar N através de adubação, enquanto que as acima do valor crítico indicam que não é recomendada a fertilização.

Alguns estudos têm determinado valores críticos durante a ontogenia da cultura do milho (Pieielek & Fox, 1992; Jemison & Lytle, 1996; Sunderman et al., 1997; Argenta, 2001). Este último autor elaborou uma curva do nível adequado de N para o milho cultivado sob alta condição de manejo, a partir de níveis críticos determinados em quatro estádios de desenvolvimento (TRCC: V3= 45,4, V6= 52,1, V10= 55,3 e espigamento= 58,0), em função dos valores de TRC lidos pelo clorofilômetro. Os valores da leitura no clorofilômetro aumentaram de forma quadrática à medida que a planta avançou no seu desenvolvimento. Através da equação estimada, pode-se fazer a extrapolação dos valores de leitura do aparelho para os estádios intermediários aos que foram avaliados. O mesmo tipo de resposta quadrática das leituras do clorofilômetro com a evolução da ontogenia da planta também foi observado por Sunderman et al. (1997).

Outros autores têm recomendado um método de calibração das leituras do clorofilômetro para cada área de cultivo, híbrido, estádio de desenvolvimento, condição edafo-climática e prática de manejo (Schepers et al., 1992; Blackmer & Schepers, 1994; Waskom et al., 1996; Hussain, et al., 2000; Costa et al., 2001). Uma forma de calibrar as leituras é a determinação do índice de suficiência (IS), que é obtido pela média das leituras do clorofilômetro nas amostras, dividida pela média das leituras do aparelho na área de referência. Esta área de referência é uma faixa da lavoura, com a mesma cultivar, adubada com uma dose de N bem superior a do restante da lavoura, de forma que, teoricamente, não haja sua deficiência. O uso desta dose elevada de N na faixa de referência é possível porque o TRC não está associado ao consumo de luxo de N, sob forma de nitrato

(Blackmer & Schepers, 1994, 1995). O valor que tem sido mais utilizado como IS é igual a 0,95. Assim, quando o percentual relativo de clorofila da amostra situar-se abaixo de 95 % da leitura na faixa de referência, recomenda-se a aplicação da adubação nitrogenada (Blackmer & Schepers, 1994; Waskom et al., 1996; Varvel et al., 1997).

Apesar da existência de estudos sobre o uso dos índices teor relativo de clorofila crítico na folha (TRCC) e de suficiência (IS) no manejo da adubação nitrogenada em cobertura em milho, não se conhece trabalhos que tenham comparado a eficiência de uso destes dois índices no monitoramento do nível de N na planta para predizer a sua necessidade de aplicação. Da mesma forma, não se conhecem estudos que tenham testado o uso de características de planta e de solo de forma integrada para monitoramento do nível de N no sistema solo-planta. Assim, este trabalho teve como objetivos: (i) comparar a eficiência do monitoramento do nível de N na planta com base em dois índices de teor relativo de clorofila na folha (TRCC e IS), determinados pelo clorofilômetro, como indicadores do manejo da adubação nitrogenada em cobertura em milho; (ii) testar a possibilidade de uso integrado de características de planta e de solo no monitoramento do nível de N do sistema solo-planta para auxiliar no manejo da adubação nitrogenada em cobertura em milho.

4.4. MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos dois experimentos a campo, na Estação Experimental Agrônômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, localizada no município de Eldorado do Sul, região ecoclimática da Depressão Central do estado do Rio Grande do Sul, nas estações de crescimento 2002/03 (Experimento I) e 2003/04 (Experimento II). O solo da área experimental pertence à unidade de mapeamento São Jerônimo, sendo classificado como Argissolo Vermelho Distrófico típico (Embrapa, 1999). Os resultados da análise de solo no ano de 2002/03 foram: argila: 29%, pH (água): 5,4, índice SMP: 5,9, P:

9,4 mg L⁻¹, K: 105 mg L⁻¹, MO: 2,5% e CTC: 7,6 cmol_c L⁻¹. No ano de 2003/04 os resultados foram: argila: 38%, pH (água): 5,3, índice SMP: 6,2, P: 5,6 mg L⁻¹, K: 161 mg L⁻¹, MO: 2,5% e CTC: 8,1 cmol_c L⁻¹.

No Experimento I, os tratamentos constaram de 10 sistemas (S) de manejo de N (Tabela 16). O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com quatro repetições. Os 10 sistemas de manejo foram agrupados em três grupos, de acordo com a dose máxima de N aplicada. No primeiro grupo, denominado “dose média”, foram incluídos os sistemas S2, S3, S4, cuja dose máxima de N aplicada foi de 130 kg ha⁻¹. No segundo grupo, denominado “dose alta”, constituiu-se dos sistemas S5, S6 e S7, cuja dose máxima de N aplicada foi de 260 kg ha⁻¹. No terceiro grupo, denominado “dose muito alta”, foram incluídos os sistemas S8, S9 e S10, cuja dose máxima de N aplicada foi de 455 kg ha⁻¹. Em cada grupo, foi incluído o sistema S1 (sem N) como testemunha.

Os sistemas S1, S4, S7 e S10 corresponderam aos níveis de N de 0, 130, 260 e 455 kg ha⁻¹, respectivamente. As doses de N foram aplicadas na semeadura e em quatro estádios de desenvolvimento, exceto no sistema S1. Na semeadura, foram aplicadas as doses de 10, 20 e 35 kg ha⁻¹, correspondendo, respectivamente, aos sistemas S4, S7 e S10, denominados sistemas padrões. No estádio V3, foram aplicadas as doses de 30, 60 e 105 kg ha⁻¹ nos sistemas S4, S7 e S10, respectivamente. O restante do N foi aplicado em três doses iguais, nos estádios V6, V10 e espigamento.

Os sistemas de manejo S2, S5 e S8 equivaleram-se aos sistemas S4, S7 e S10, com a diferença de que foram monitorados com clorofilômetro e as doses de N foram aplicadas somente quando os valores lidos eram inferiores aos níveis críticos estabelecidos por Argenta (2001). Segundo este autor, as leituras no clorofilômetro de 45,4, 52,1, 55,3, e 58,0 correspondem ao nível crítico, respectivamente, para os estádios V3, V6, V10 e espigamento. Os sistemas S3, S6 e S9 também foram monitorados com clorofilômetro, assim como os sistemas S2, S5 e S8. No entanto, este monitoramento teve como base o IS

de 0,95. O IS foi determinado a partir dos valores do TRC na folha obtidos nos sistemas S3, S6 e S9, divididos pelo valor do TRC na folha obtido na parcela com o nível mais alto de N (parcela de referência). As doses de N pré-estabelecidas para os sistemas S3, S6 e S9 foram iguais às dos sistemas S4, S7 e S10, para cada estágio de desenvolvimento, sendo aplicadas somente quando o valor do IS era inferior a 0,95.

No Experimento II, os tratamentos constaram de 14 sistemas (S) de manejo de N (Tabela 17). O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com quatro repetições. Assim como no Experimento I, os sistemas de manejo foram agrupados em três grupos, de acordo com a dose máxima aplicada de N. No primeiro grupo, denominado “dose média”, foram incluídos os sistemas S3, S4, S5 e S6 cuja dose máxima aplicada de N foi de 130 kg ha⁻¹. O segundo grupo, denominado “dose alta”, constituiu-se dos sistemas S7, S8, S9 e S10, cuja dose máxima aplicada de N foi de 260 kg ha⁻¹. No terceiro grupo, denominado “dose muito alta”, foram incluídos os sistemas S11, S12, S13 e S14, cuja dose máxima de N aplicada foi de 455 kg ha⁻¹. Em cada grupo, foi incluído o sistema S1 como testemunha e o sistema S2 como referência (sem limitação de N).

Neste experimento, os sistemas S1 (sem N), S2 (parcela de referência), S6, S10 e S14 representam níveis de N de 0, 555, 130, 260 e 455 kg ha⁻¹, respectivamente. As doses de N foram aplicadas na semeadura e em quatro estádios de desenvolvimento, exceto no sistema S1. Na semeadura, foram aplicadas as doses de 10, 20 e 35 kg ha⁻¹, correspondendo, respectivamente, aos sistemas S6, S10 e S14, denominados padrões. No estágio V3, foram aplicadas as doses de 30, 60 e 105 kg ha⁻¹ nos sistemas S6, S10 e S14, respectivamente. O restante do N foi aplicado em três doses iguais, nos estádios V6, V10 e espigamento.

Os sistemas de manejo S3, S7 e S11 equivaleram-se aos sistemas S6, S10 e S14, com a diferença de que foram monitorados com clorofilômetro e as doses de N foram aplicadas somente quando os valores lidos foram inferiores aos níveis críticos (TRCC)

estabelecidos por Argenta (2001). Segundo este autor, as leituras no clorofilômetro correspondentes ao TRCC foram de 45,4, 52,1, 55,3 e 58,0, respectivamente, para os estádios V3, V6, V10 e espigamento. Os sistemas S4, S8 e S12 também foram monitorados com clorofilômetro, assim como os sistemas S3, S7 e S11. No entanto, este monitoramento teve como base o IS de 0,95. O IS foi determinado a partir dos valores do teor relativo de clorofila (TRC) na folha obtidos nos sistemas S4, S8 e S12, divididos pelo valor do TRC na folha obtido na parcela com o nível mais alto de N (parcela de referência). As doses de N pré-estabelecidas para os sistemas S4, S8 e S12 foram iguais às dos sistemas S6, S10 e S14, para cada estágio de desenvolvimento. Contudo, estas doses foram aplicadas somente quando o valor do IS era inferior ao valor de 0,95. Os sistemas S5, S9 e S13 foram monitorados segundo o TRCC, da mesma forma que os sistemas S3, S7 e S11, exceto que no estágio V6 o monitoramento foi com base na determinação do teor de nitrato no solo, utilizando como valor crítico $20,3 \text{ mg kg}^{-1}$. Este valor foi determinado em um experimento preliminar (dados não apresentados).

No Experimento I, o híbrido simples, de ciclo superprecoce, Pioneer 32R21 foi semeado no dia 14 de outubro de 2002, em semeadura direta, em sucessão ao consórcio aveia preta e ervilhaca, na densidade de 65000 pl ha^{-1} . A adubação com fósforo e potássio foi realizada na linha, por ocasião da semeadura, constando de 80 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 60 kg ha^{-1} de K_2O . No Experimento II, foi utilizado o mesmo híbrido do experimento anterior, sendo que a semeadura direta foi realizada no dia 25 de setembro de 2003, em sucessão à aveia preta, na densidade de 65000 pl ha^{-1} . A adubação com fósforo e potássio foi realizada da mesma forma que no experimento anterior, porém utilizando-se as doses de 105 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 105 kg ha^{-1} de K_2O . Os dois experimentos foram irrigados por aspersão, quando o potencial de água no solo era inferior a $-0,04 \text{ Mpa}$.

As determinações realizadas no milho foram: teor relativo de clorofila na folha (TRC), teor de N na planta e rendimento de grãos. O TRC, medido com o clorofilômetro,

modelo Minolta SPAD-502, foi determinado nos estádios V3, V6, V10 e espigamento, de acordo com metodologia proposta por Argenta (2001). Os valores obtidos pelo clorofilômetro foram usados para cálculo do IS. No Experimento I, considerou-se como parcela de referência aquela com valores mais altos do TRC em cada estágio de desenvolvimento. Desta forma, a parcela de referência não foi a mesma nos estádios de desenvolvimento avaliados. Já no Experimento II, foi prevista a implantação de uma parcela de referência especificamente para determinação do IS. O teor de N na planta foi determinado a partir de uma amostra de cinco plantas por parcela, que foram coletadas na colheita, seguindo os procedimentos sugeridos por Tedesco et al. (1995). O rendimento de grãos foi obtido através da extrapolação da produção da área útil da parcela (8,4 m²) para um hectare, corrigindo-se a umidade para 130 g kg⁻¹.

Além das determinações anteriores, no Experimento II, foi determinado no estágio V6 o teor de nitrato no solo a 30 cm de profundidade nos sistemas S5, S9 e S13. Para tanto, foram coletadas três amostras de solo nas entrelinhas do milho por parcela, formando uma amostra composta, da qual foi retirado 35 g de solo, que foi colocado em um recipiente, contendo 150 ml de KCl 1N. As amostras foram agitadas por 30 minutos e deixadas decantar por mais 30 minutos. Após coletou-se uma alíquota do sobrenadante, para realização das análises, que seguiram os procedimentos descritos por Tedesco et al. (1995).

Nos dois experimentos, também foram calculados os incrementos no rendimento de grãos e na margem bruta e as eficiências técnica, econômica e de uso de N. O incremento no rendimento de grãos foi determinado pela diferença entre o rendimento de grãos das parcelas que receberam e das que não receberam adubação nitrogenada. O incremento na margem bruta foi calculado pela diferença entre o ganho monetário obtido com o incremento no rendimento de grãos com a aplicação de N (R\$ 17,00/60 kg de milho – Cotrijal 25 de maio de 2003) e o custo do fertilizante (R\$ 785/t de uréia – Cotrijal 25 de maio de 2003) e de sua aplicação (R\$18,13/aplicação, de acordo com Fecoagro, 2001/02).

A eficiência técnica de N foi calculada pela expressão: (rendimento de grãos do tratamento com N – rendimento de grãos da testemunha sem N) / dose de N aplicada. A eficiência econômica de N foi determinada pela expressão: receita bruta advinda do incremento da produtividade com a aplicação de N / custos do fertilizante e de sua aplicação. A eficiência de uso de N foi calculada pela expressão: (rendimento de grãos da parcela fertilizada com N – rendimento de grãos da testemunha sem N)/(N acumulado na planta do tratamento com N – N acumulado na planta da testemunha sem N).

A análise estatística foi realizada dentro de cada grupo de tratamentos por dose de N (dose média, alta e muito alta) para cada experimento. Optou-se pela análise por grupo porque, em cada um deles havia um sistema padrão (não monitorado), que serviu como referência para comparação com os sistemas monitorados. A formação dos grupos se deu em função das doses máximas de N aplicadas. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F. A comparação entre médias foi realizada pelo teste de Duncan, a 5% de probabilidade.

4.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Experimento I (Tabela 16), os valores do teor relativo de clorofila na folha (TRC) nos estádios V3 e V6 nos sistemas monitorados S2, S5 e S8, de acordo com o teor relativo de clorofila crítico na folha (TRCC), foram inferiores, respectivamente, aos valores críticos de 45,4 e 52,1 estabelecidos por Argenta (2001). Os valores do índice de suficiência (IS) também foram menores que o do valor crítico de 0,95, em todos os sistemas monitorados com este índice, exceto no sistema S9 no estádio V6. No estádio V10, os valores de TRC nos sistemas monitorados S2, S5 e S8 foram inferiores ao do TRCC de 55,3, determinado por Argenta (2001). No entanto, nos sistemas monitorados de acordo com o IS (S3, S6 e S9), os valores obtidos foram superiores a 0,95. No espigamento, os sistemas S5 e S8 apresentaram valores do TRC superiores ao do TRCC de

58,0, determinado por Argenta (2001). Nos sistemas S6 e S9 monitorados de acordo com o IS os valores obtidos foram maiores que 0,95.

Tabela 16. Teor relativo de clorofila na folha (TRC) do híbrido de milho Pioneer 32R21, índice de suficiência de N (IS) e doses de N aplicadas em 10 sistemas de manejo de N, em quatro estádios de desenvolvimento da planta. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul-RS, 2002/03

Sistemas de manejo ⁽²⁾	N total aplicado (kg ha ⁻¹)		Estádios de desenvolvimento ⁽¹⁾											
	Semeadura	Cobertura	V3			V6			V10			Espigamento		
			TRC	IS	N aplicado (kg ha ⁻¹)	TRC	IS	N aplicado (kg ha ⁻¹)	TRC	IS	N aplicado (kg ha ⁻¹)	TRC	IS	N aplicado (kg ha ⁻¹)
S1	0	0	32,0	0,68	0	44,8	0,83	0	43,6	0,81	0	43,1	0,72	0
S2	10	120	37,2	-	30	50,3	-	30	52,7	-	30	57,7	-	30
S3	10	90	-	0,77	30	-	0,94	30	-	0,96	0	-	0,90	30
S4	10	120	-	-	30	-	-	30	-	-	30	-	-	30
S5	20	180	33,4	-	60	51,1	-	60	52,5	-	60	58,2	-	0
S6	20	120	-	0,85	60	-	0,91	60	-	0,97	0	-	0,97	0
S7	20	240	-	-	60	-	-	60	-	-	60	-	-	60
S8	35	315	40,7	-	105	51,5	-	105	52,7	-	105	58,4	-	0
S9	35	105	-	0,89	105	-	0,95	0	-	0,98	0	-	0,96	0
S10	35	420	-	-	105	-	-	105	-	-	105	-	-	105

⁽¹⁾ Segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993).

⁽²⁾ Os sistemas S1, S4, S7 e S10 representam níveis de N de 0, 130, 260 e 455 kg ha⁻¹, respectivamente. As doses de N foram aplicadas na semeadura e em quatro estádios de desenvolvimento. Os sistemas de manejo S2, S5 e S8 equivalem-se aos sistemas S4, S7 e S10, com a diferença de que foram monitorados com clorofilômetro e as doses de N foram aplicadas somente quando os valores lidos no instrumento foram inferiores aos níveis críticos (TRCC) estabelecidos por Argenta (2001). Segundo este autor, as leituras no clorofilômetro correspondentes ao TRCC são de 45,4, 52,1, 55,3, e 58,0, respectivamente, para os estádios V3, V6, V10 e espigamento. Os sistemas S3, S6 e S9 também foram monitorados com clorofilômetro, assim como os sistemas S2, S5 e S8. No entanto, este monitoramento teve como base o índice de suficiência (IS) de 0,95. O IS foi determinado a partir dos valores do teor relativo de clorofila (TRC) na folha obtido nos sistemas S3, S6 e S9, dividido pelo valor do TRC na folha obtido na parcela com o nível mais alto de N (parcela de referência). As doses de N pré-estabelecidas para os sistemas S3, S6 e S9 foram iguais às dos sistemas S4, S7 e S10, para cada estágio de desenvolvimento, sendo aplicadas somente quando o valor do IS foi inferior a 0,95.

No Experimento II (Tabela 17), novamente os valores de TRC nos estádios V3 e V6 nos sistemas monitorados conforme o TRCC (S3, S5, S7, S9, S11 e S13) foram inferiores, respectivamente, aos dos valores críticos de 45,4 e 52,1, estabelecidos por Argenta (2001). Nestes estádios, os valores de IS também foram menores que 0,95, em dois dos sistemas monitorados com este índice (S4 e S8), exceto no sistema S12, no estádio V6, em que o IS obtido foi superior a 0,95. Os valores de teor de nitrato no solo no estádio V6 nos sistemas S5, S9 e S13 foram inferiores ao do valor crítico de 20,3 mg kg⁻¹. No estádio V10, os valores de TRC em todos os sistemas monitorados de acordo com o TRCC foram inferiores ao valor crítico de 55,3. Os valores de IS também foram menores que 0,95, em dois dos sistemas monitorados com este índice (S4, S12), mais foi maior no sistema S8. No estádio de espigamento, em quatro dos sistemas monitorados (S7, S9, S11 e S13) os valores do TRC foram superiores ao do nível crítico de 58,0, enquanto que em dois (S3 e S5) foram inferiores. Já nos sistemas monitorados com base no IS, todos os valores neste estádio foram inferiores a 0,95.

Nos dois experimentos, quando o TRCC e o IS foram superiores nos sistemas monitorados, respectivamente, ao nível crítico para cada estádio de desenvolvimento e ao IS de 0,95 não foi aplicada a dose de N pré-estabelecida. Esta diferença resultou em variação do rendimento de grãos entre sistemas de manejo.

No Experimento I, de forma geral, o rendimento de grãos foi estatisticamente semelhante entre os sistemas monitorados com base nos TRCC estabelecidos por Argenta (2001) (S2, S5 e S8) e os sistemas padrões, sem monitoramento (S4, S7 e S10), conforme Tabela 18. Com o monitoramento, houve redução na aplicação de 60 kg ha⁻¹ de N no S5 e de 105 kg ha⁻¹ de N no S8, em relação aos sistemas padrões S7 e S10, respectivamente, sem diminuição no rendimento de grãos. Nos sistemas monitorados com base no IS (S3, S6 e S9) também houve redução nas doses aplicadas de N em relação aos respectivos sistemas padrões.

Tabela 17. Teor relativo de clorofila na folha (TRC) do híbrido de milho Pioneer 32R21, índice de suficiência de N (IS), teor de nitrato no solo (NO_3^- mg kg^{-1}) e doses de N aplicadas em 14 sistemas de manejo de N, em quatro estádios de desenvolvimento da planta. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul-RS, 2003/04

Sistemas de manejo ⁽²⁾	N total aplicado (kg ha ⁻¹)		Estádios de desenvolvimento ⁽¹⁾											
	Semea-dura	Cobertura	V3			V6			V10			Espigamento		
			TRC	IS	N aplicado (kg ha ⁻¹)	TRC	IS	N aplicado (kg ha ⁻¹)	TRC	IS	N aplicado (kg ha ⁻¹)	TRC	IS	N aplicado (kg ha ⁻¹)
S1	0	0	18,6	0,56	0	28,3	0,71	0	41,6	0,77	0	34,0	0,55	0
S2	75	480	33,1	-	120	39,8	-	120	54,2	-	120	61,2	-	120
S3	10	120	25,2	-	30	35,8	-	30	49,9	-	30	56,2	-	30
S4	10	120	-	0,81	30	-	0,90	30	-	0,91	30	-	0,87	30
S5	10	120	25,7	-	30	8,73 NO_3^- mg kg^{-1}	-	30	47,6	-	30	51,5	-	30
S6	10	120	-	-	30	-	-	30	-	-	30	-	-	30
S7	20	180	27,4	-	60	37,1	-	60	51,7	-	60	59,5	-	-
S8	20	180	-	0,77	60	-	0,90	60	-	0,97	-	-	0,85	60
S9	20	180	28,7	-	60	13,71 NO_3^- mg kg^{-1}	-	60	53,0	-	60	58,5	-	-
S10	20	240	-	-	60	-	-	60	-	-	60	-	-	60
S11	35	315	29,1	-	105	40,9	-	105	54,6	-	105	61,0	-	-
S12	35	315	-	0,86	105	-	0,96	-	-	0,92	105	-	0,94	105
S13	35	315	28,1	-	105	18,86 NO_3^- mg kg^{-1}	-	105	55,2	-	105	60,3	-	-
S14	35	420	-	-	105	-	-	105	-	-	105	-	-	105

⁽¹⁾ Segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993).

⁽²⁾ Os sistemas S1 (testemunha, sem N), S2 (parcela de referência), S6, S10 e S14 representam níveis de N de 0, 555, 130, 260 e 455 kg ha⁻¹, respectivamente. As doses de N foram aplicadas na semeadura e em quatro estádios de desenvolvimento. Os sistemas de manejo S3, S7 e S11 equivalem aos sistemas S6, S10 e S14, com a diferença de que foram monitorados com clorofilômetro e as doses de N foram aplicadas somente quando os valores lidos no instrumento foram inferiores aos níveis críticos do teor relativo de clorofila na folha (TRCC) estabelecidos por Argenta (2001). Segundo este autor, as leituras no clorofilômetro correspondentes ao TRCC são de 45,4, 52,1, 55,3, e 58,0, respectivamente, para os estádios V3, V6, V10 e espigamento. Os sistemas S4, S8 e S12 também foram monitorados com o clorofilômetro, assim como os sistemas S3, S7 e S11. No entanto, este monitoramento teve como base o índice de suficiência (IS) de 0,95. O IS foi determinado a partir dos valores do teor relativo de clorofila (TRC) na folha obtidos nos sistemas S4, S8 e S12, divididos pelo valor do TRC na folha obtido na parcela com o nível mais alto de N (parcela de referência). As doses de N pré-estabelecidas para os sistemas S4, S8 e S12 foram iguais às dos sistemas S6, S10 e S14, para cada estágio de desenvolvimento, sendo aplicadas somente quando o valor do IS foi inferior a 0,95. Os sistemas S5, S9 e S13 foram monitorados segundo o nível crítico, da mesma forma que os sistemas S3, S7 e S11, exceto que no estágio V6 o monitoramento foi com base na determinação do teor de nitrato no solo, utilizando como valor crítico 20,3 mg kg^{-1} .

Tabela 18. Rendimento e incremento no rendimento de grãos e margem bruta do híbrido de milho Pioneer 32R21 sob 10 sistemas de manejo de N. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul-RS, 2002/03

Grupos de tratamentos com N	Sistema de manejo ⁽¹⁾	N aplicado na semeadura (kg ha ⁻¹)	N aplicado em cobertura (kg ha ⁻¹)	N total aplicado (kg ha ⁻¹)	Rendimento de grãos (t ha ⁻¹)	Incremento no rendimento de grãos (t ha ⁻¹)	Incremento na margem bruta (R\$ ha ⁻¹)
Dose média	S1 -testemunha	0	0	0	6,28 c*	-	-
	S2 – monitorado-TRCC	10	120	130	12,88 a	6,60 a ⁽²⁾	1571 a ⁽³⁾
	S3 – monitorado-IS	10	90	100	10,21 b	3,93 b	885 b
	S4 – padrão	10	120	130	12,17 a	5,89 a	1371 ab
Dose alta	S1 –testemunha	0	0	0	6,28 c	-	-
	S5 – monitorado- TRCC	20	180	200	12,27 ab	6,00 ab	1296 a
	S6 – monitorado-IS	20	120	140	10,44 b	4,17 b	901 a
	S7 – padrão	20	240	260	13,31 a	7,00 a	1466 a
Dose muito alta	S1 –testemunha	0	0	0	6,28 c	-	-
	S8 – monitorado- TRCC	35	315	350	13,66 a	7,38 a	1427 a
	S9 – monitorado-IS	35	105	140	10,79 b	4,51 b	1016 a
	S10 – padrão	35	420	455	13,51 a	7,24 a	1184 a

⁽¹⁾ Os sistemas S1, S4, S7 e S10 representam níveis de N de 0, 130, 260 e 455 kg ha⁻¹, respectivamente. As doses de N foram aplicadas na semeadura e em quatro estádios de desenvolvimento. Os sistemas de manejo S2, S5 e S8 equivaleram-se aos sistemas S4, S7 e S10, com a diferença de que foram monitorados com clorofilômetro e as doses de N foram aplicadas somente quando os valores foram inferiores aos dos níveis críticos (TRCC) estabelecidos por Argenta (2001). Segundo este autor, as leituras no clorofilômetro correspondentes ao TRCC são de 45,4, 52,1, 55,3, e 58,0, respectivamente, para os estádios V3, V6, V10 e espigamento (Ritchie et al., 1993). Os sistemas S3, S6 e S9 também foram monitorados com o clorofilômetro, assim como os sistemas S2, S5 e S8. No entanto, este monitoramento teve como base o índice de suficiência (IS) de 0,95. O IS foi determinado a partir dos valores do teor relativo de clorofila (TRC) na folha obtidos nos sistemas S3, S6 e S9, divididos pelo valor do TRC na folha obtido na parcela com o nível mais alto de N (parcela de referência). As doses de N pré-estabelecidas para os sistemas S3, S6 e S9 foram iguais às dos sistemas S4, S7 e S10, para cada estádio de desenvolvimento, sendo aplicadas somente quando o valor do IS foi inferior a 0,95. *Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, dentro de cada grupo, não diferem significativamente pelo teste de Duncan, a 5% de probabilidade.

⁽²⁾ Incremento no rendimento de grãos dos tratamentos que receberam N em relação à testemunha (sem N).

⁽³⁾ Incremento na margem bruta: diferença entre ganho monetário com incremento no rendimento de grãos com aplicação de N (R\$ 17,00/60 kg de milho – Cotrijal 25/05/03) e custo do fertilizante (R\$ 785/t de uréia – Cotrijal 25/05/03) e de sua aplicação [R\$18,13/aplicação, de acordo com Fecoagro (2001/2002)].

No sistema S3, houve redução na aplicação de 30 kg ha^{-1} de N, no sistema S6 de 120 kg ha^{-1} de N e no sistema S9 de 315 kg ha^{-1} de N em relação às doses aplicadas nos sistemas padrões S4, S7 e S10, respectivamente (Tabela 18). Contudo, os rendimentos de grãos nos sistemas monitorados com base no IS foram inferiores aos obtidos nos sistemas padrões, sem monitoramento (Tabela 18). Assim, o uso de doses de N inferiores a dos sistemas padrões diminuiu o rendimento de grãos.

De forma geral, verifica-se que os incrementos no rendimento de grãos e na margem bruta confirmam os resultados obtidos com rendimento de grãos anteriormente discutidos (Tabela 18). A exceção ocorreu na variável incremento na margem bruta, nos grupos de tratamentos com dose alta e muito alta, em que não foi verificada diferença estatística entre os sistemas de monitoramento com IS e TRCC em relação aos respectivos sistemas padrões.

Contudo, ao se analisar as variáveis eficiências técnica, econômica e de uso do N (Tabela 19), verifica-se um novo cenário. O monitoramento com o IS passa ter papel mais importante, pois ele sempre se mostrou igual ou superior ao sistema monitorado com o TRCC e, principalmente, em relação aos sistemas padrões. Assim, apesar do monitoramento com o IS ter subestimado a necessidade de N pela planta, que reduziu o rendimento de grãos e os incrementos no rendimento de grãos e na margem bruta, esse método mostrou-se igual ou mais eficiente econômica e tecnicamente e no uso de N que os sistemas monitorados com o TRCC e os padrões. O fato mais importante é que os dois índices de monitoramento (TRCC e IS) apresentaram melhores resultados em termos de eficiências técnica, econômica e de uso do N que os sistemas padrões, que utilizaram doses de N pré-estabelecidas.

Tabela 19. Eficiência técnica, econômica e de uso do N do híbrido de milho P 32R21 sob nove sistemas de manejo da adubação nitrogenada através de dois índices do teor relativo de clorofila na folha. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul-RS, 2002/03

Grupos de tratamentos com dose de N	Sistema de manejo ⁽¹⁾	N total aplicado (kg ha ⁻¹)	Eficiência técnica ⁽²⁾ (kg grão kg N ⁻¹)	Eficiência econômica ⁽³⁾ (R\$ grão R\$ N ⁻¹)	Eficiência do uso do N (kg grão kg N ⁻¹) ⁽⁴⁾
Média	S2 – monitorado-TRCC	130	50,78 a*	6,25 a	67,19 a
	S3 – monitorado-IS	100	39,24 a	4,87 a	86,75 a
	S4 – padrão	130	45,34 a	5,58 a	69,61 a
Alta	S5 – monitorado- TRCC	200	29,98 a	4,21 a	62,64 ab
	S6 – monitorado-IS	140	29,78 a	4,21 a	71,72 a
	S7 – padrão	260	27,04 a	3,78 a	47,99 b
Muito alta	S8 – monitorado- TRCC	350	21,10 b	3,15 ab	47,21 b
	S9 – monitorado-IS	140	32,24 a	4,87 a	86,84 a
	S10 – padrão	455	15,91 c	2,37 b	34,38 c

⁽¹⁾ Os sistemas S1, S4, S7 e S10 representam níveis de N de 0, 130, 260 e 455 kg ha⁻¹, respectivamente. As doses de N foram aplicadas na semeadura e em quatro estádios de desenvolvimento. Os sistemas de manejo S2, S5 e S8 equivaleram-se aos sistemas S4, S7 e S10, com a diferença de que foram monitorados com clorofilômetro e as doses de N foram aplicadas somente quando os valores foram inferiores aos dos níveis críticos (TRCC) estabelecidos por Argenta (2001). Segundo este autor, as leituras no clorofilômetro correspondentes ao TRCC são de 45,4, 52,1, 55,3, e 58,0, respectivamente, para os estádios V3, V6, V10 e espigamento (Ritchie et al., 1993). Os sistemas S3, S6 e S9 também foram monitorados com clorofilômetro, assim como os sistemas S2, S5 e S8. No entanto, este monitoramento teve como base o índice de suficiência (IS) de 0,95. O IS foi determinado a partir dos valores do teor relativo de clorofila (TRC) na folha obtidos nos sistemas S3, S6 e S9, divididos pelo valor do TRC na folha obtido na parcela com o nível mais alto de N (parcela de referência). As doses de N pré-estabelecidas para os sistemas S3, S6 e S9 foram iguais às dos sistemas S4, S7 e S10, para cada estágio de desenvolvimento, sendo aplicadas somente quando o valor do IS foi inferior a 0,95. *Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, dentro de cada grupo, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

⁽²⁾ (rendimento de grãos do tratamento com N – rendimento de grãos da testemunha sem N)/quantidade de N aplicada.

⁽³⁾ Receita bruta advinda do incremento da produtividade com aplicação de N / custo do fertilizante e de sua aplicação.

⁽⁴⁾ (rendimento de grãos da parcela fertilizada com N – rendimento de grãos da testemunha sem N)/(N acumulado na planta do tratamento com N – N acumulado na planta da testemunha sem N).

No Experimento II, nos sistemas monitorados do grupo de tratamentos com dose média de N (S3, S4 e S5) foram aplicadas as mesmas doses que no sistema padrão (S6), resultando na obtenção de rendimentos de grãos estatisticamente iguais (Tabela 20). Nos sistemas monitorados do grupo com dose alta de N (S7, S8 e S9) foram aplicados 60 kg ha⁻¹ a menos que no sistema padrão (S10). Porém, esta redução na dose de N aplicada diminuiu significativamente o rendimento de grãos em relação ao sistema padrão. Por outro lado, nos sistemas monitorados do grupo com dose muito alta de N (S11, S12 e S13) economizou-se

uma aplicação de 105 kg ha^{-1} de N em relação ao sistema padrão (S14), sem redução no rendimento de grãos.

Tabela 20. Rendimento e incrementos no rendimento de grãos e margem bruta do híbrido de milho Pioneer 32R21 sob 14 sistemas de manejo de N. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul-RS, 2003/04

Grupos de tratamentos com dose de N	Sistema de manejo ⁽¹⁾	N aplicado na semeadura (kg ha ⁻¹)	N aplicado em cobertura (kg ha ⁻¹)	N total aplicado (kg ha ⁻¹)	Rendimento de grãos (t ha ⁻¹)	Incremento no rendimento de grãos ⁽²⁾ (t ha ⁻¹)	Incremento na margem bruta ⁽³⁾ (R\$ ha ⁻¹)
Média	S1 -testemunha	0	0	0	5,81 c*	-	-
	S2 - referência	75	480	555	15,22 a	6,99 a	1203,5 a
	S3 – monitorado-TRCC	10	120	130	12,09 b	4,35 b	1131,5 a
	S4 – monitorado-IS	10	120	130	11,46 b	5,10 b	1380,0 a
	S5 – monitorado-NO₃⁻	10	120	130	11,12 b	4,22 b	1086,3 a
	S6 – padrão	10	120	130	12,06 b	5,11 b	1383,4 a
Alta	S1 -testemunha	0	0	0	5,81 c	-	-
	S2 - referência	75	480	555	15,22 a	6,99 a	1203,5 b
	S7 – monitorado- TRCC	20	180	200	12,89 b	6,90 a	1866,2 a
	S8 – monitorado-IS	20	180	200	13,51 b	6,81 a	1837,0 a
	S9 – monitorado- NO₃⁻	20	180	200	12,81 b	6,39 a	1697,0 a
	S10 – padrão	20	240	260	14,74 a	7,81 a	2036,1 a
Muito alta	S1 -testemunha	0	0	0	5,81 c	-	-
	S2 - referência	75	480	555	15,22 a	6,99 a	1203,5 a
	S11 – monitorado- TRCC	35	315	350	14,84 a	7,38 a	1742,5 a
	S12 – monitorado-IS	35	315	350	14,82 a	7,19 a	1676,2 a
	S13 – monitorado-NO₃⁻	35	315	350	14,53 a	7,10 a	1645,7 a
	S14 – padrão	35	420	455	15,14 a	7,19 a	1458,4 a

⁽¹⁾ Os sistemas S1 (testemunha, sem N), S2 (parcela de referência), S6, S10 e S14 representam níveis de N de 0, 555, 130, 260 e 455 kg ha⁻¹, respectivamente. As doses de N foram aplicadas na semeadura e em quatro estádios de desenvolvimento. Os sistemas de manejo S3, S7 e S11 equivaleram-se aos sistemas S6, S10 e S14, com a diferença de que foram monitorados com clorofilômetro e as doses de N foram aplicadas somente quando os valores foram inferiores aos níveis críticos (TRCC) estabelecidos por Argenta (2001). Segundo este autor, as leituras no clorofilômetro correspondentes ao TRCC são de 45,4, 52,1, 55,3, e 58,0, respectivamente, para os estádios V3, V6, V10 e espigamento (Ritchie et al., 1993). Os sistemas S4, S8 e S12 também foram monitorados com clorofilômetro, assim como os sistemas S3, S7 e S11. No entanto, este monitoramento teve como base o índice de suficiência (IS) de 0,95. O IS foi determinado a partir dos valores do teor relativo de clorofila (TRC) na folha obtidos nos sistemas S4, S8 e S12, divididos pelo valor do TRC na folha obtido na parcela com o nível mais alto de N (parcela de referência). As doses de N pré-estabelecidas para os sistemas S4, S8 e S12 foram iguais às dos sistemas S6, S10 e S14, para cada estádio de desenvolvimento, sendo aplicadas somente quando o valor do IS foi inferior a 0,95. Os sistemas S5, S9 e S13 foram monitorados segundo o nível crítico, da mesma forma que os sistemas S3, S7 e S11, exceto que no estádio V6 o monitoramento foi com base na determinação do teor de nitrato no solo, utilizando como valor crítico 20,3 mg kg⁻¹. *Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, dentro de cada grupo, não diferem significativamente pelo teste de Duncan, a 5% de probabilidade.

⁽²⁾ Incremento no rendimento de grãos nos tratamentos que receberam N em relação à testemunha (sem N).

⁽³⁾ Incremento na margem bruta: diferença entre ganho monetário com incremento no rendimento de grãos com aplicação de N (R\$ 17,00/60 kg de milho – Cotrijal 25/05/03) e custo do fertilizante (R\$ 785/t de uréia – Cotrijal 25/05/03) e de sua aplicação [R\$18,13/aplicação, de acordo com Fecoagro (2001/2002)].

Nas Tabelas 20 e 21, pode-se observar que não houve diferença significativa entre os sistemas monitorados e os sistemas padrões para as variáveis incrementos no rendimento de grãos e na margem bruta (Tabela 20) e eficiência técnica (Tabela 21), exceto no sistema S8, que apresentou maior eficiência técnica que a dos demais sistemas no grupo de tratamentos com dose alta de N, o que não se justifica, pois foi aplicada a mesma dose de N em todos os sistemas.

No que se refere às variáveis eficiências econômica e de uso do N (Tabela 21), os resultados foram similares aos obtidos para rendimento de grãos. Nos sistemas monitorados do grupo de tratamentos com dose média de N (S3, S4 e S5), onde foram aplicadas as mesmas doses que no sistema padrão (S6), as eficiências econômica e de uso do N não se diferenciaram estatisticamente. A aplicação de 60 kg ha⁻¹ de N a menos nos sistemas monitorados do grupo com alta dose de N (S7, S8 e S9), reduziu os rendimentos de grãos em relação ao sistema padrão (S10), conforme Tabela 20. Apesar disto, não foi observada diferença significativa entre estes sistemas (S7, S8, S9 e S10) para as variáveis eficiências econômica e de uso do N. Isto pode ser explicado porque nos cálculos destas variáveis são contabilizados o rendimento de grãos e a dose aplicada de N. Desta forma, o menor rendimento de grãos obtido nos sistemas monitorados do grupo com dose alta de N foi compensado economicamente pela menor dose aplicada em relação ao sistema padrão (S10). Por outro lado, os sistemas monitorados do grupo com dose muito alta de N (S11, S12 e S13), onde se economizou a aplicação de 105 kg ha⁻¹ de N em relação ao sistema padrão (S14), sem redução no rendimento de grãos, apresentaram maiores eficiências econômica e de uso do N em relação ao sistema padrão (S14).

Tabela 21. Eficiência técnica, econômica e de uso do N do híbrido de milho P 32R21 sob 13 sistemas de manejo da adubação nitrogenada através de dois índices do teor relativo de clorofila na folha. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul-RS, 2003/04

Grupos de tratamentos com dose de N	Sistema de manejo ⁽¹⁾	N total aplicado (kg ha ⁻¹)	Eficiência técnica ⁽²⁾ (kg grão kg N ⁻¹)	Eficiência econômica ⁽³⁾ (R\$ grão R\$ N ⁻¹)	Eficiência de uso do N ⁽⁴⁾ (kg grão kg N ⁻¹)
Média	S2 - referência	555	16,95 b*	2,07 b	31,76 b
	S3 – monitorado-TRCC	130	48,31 a	4,54 a	49,24 a
	S4 – monitorado-IS	130	43,48 a	5,32 a	50,49 a
	S5 – monitorado- NO₃⁻	130	40,87 a	4,40 a	62,99 a
	S6 – padrão	130	48,90 a	5,33 a	57,65 a
Alta	S2 - referência	555	16,95 c	2,07 b	31,76 c
	S7 – monitorado-TRCC	200	35,42 b	5,30 a	47,07 ab
	S8 – monitorado-IS	200	38,51 a	5,23 a	49,30 ab
	S9 – monitorado- NO₃⁻	200	35,02 b	4,91 a	51,73 a
	S10 – padrão	260	34,37 b	4,59 a	41,07 b
Muito alta	S2 - referência	555	16,95 c	2,07 b	31,76 b
	S11 – monitorado-TRCC	350	25,81 a	3,42 a	40,16 a
	S12 – monitorado-IS	350	25,76 a	3,33 a	37,31 a
	S13 – monitorado-NO₃⁻	350	24,92 a	3,29 a	39,42 a
	S14 – padrão	455	20,50 b	2,55 b	32,54 b

⁽¹⁾ Os sistemas S1 (testemunha, sem N), S2 (parcela de referência), S6, S10 e S14 representam níveis de N de 0, 555, 130, 260 e 455 kg ha⁻¹, respectivamente. As doses de N foram aplicadas na semeadura e em quatro estádios de desenvolvimento. Os sistemas de manejo S3, S7 e S11 equivaleram-se aos sistemas S6, S10 e S14, com a diferença de que foram monitorados com clorofilômetro e as doses de N foram aplicadas somente quando os valores foram inferiores aos dos níveis críticos (TRCC) estabelecidos por Argenta (2001). Segundo este autor, as leituras no clorofilômetro correspondentes ao TRCC são de 45,4, 52,1, 55,3, e 58,0, respectivamente, para os estádios V3, V6, V10 e espigamento (Ritchie et al., 1993). Os sistemas S4, S8 e S12 também foram monitorados com clorofilômetro, assim como os sistemas S3, S7 e S11. No entanto, este monitoramento teve como base o índice de suficiência (IS) de 0,95. O IS foi determinado a partir dos valores do teor relativo de clorofila (TRC) na folha obtidos nos sistemas S4, S8 e S12, divididos pelo valor do TRC na folha obtido na parcela com o nível mais alto de N (parcela de referência). As doses de N pré-estabelecidas nos sistemas S4, S8 e S12 foram iguais às dos sistemas S6, S10 e S14, para cada estágio de desenvolvimento, sendo aplicadas somente quando o valor do IS foi inferior a 0,95. Os sistemas S5, S9 e S13 foram monitorados segundo o nível crítico, da mesma forma que os sistemas S3, S7 e S11, exceto que no estágio de 6-7 folhas o monitoramento foi com base na determinação do teor de nitrato no solo, utilizando como valor crítico 20,3 mg kg⁻¹. *Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, dentro de cada grupo, não diferem significativamente pelo teste de Duncan, a 5% de probabilidade.

⁽²⁾ (rendimento de grãos do tratamento com N – rendimento de grãos da testemunha sem N)/quantidade de N aplicada.

⁽³⁾ receita bruta advinda do incremento da produtividade com aplicação de N / custo do fertilizante e sua aplicação

⁽⁴⁾ (rendimento de grãos da parcela fertilizada com N – rendimento de grãos da testemunha sem N)/(N acumulado na planta do tratamento com N – N acumulado na planta da testemunha sem N).

Os dados obtidos evidenciam que os níveis críticos do teor relativo de clorofila na folha (TRCC) estabelecidos por Argenta (2001) são eficientes para separar plantas com deficiência e com nível adequado de N. Esta afirmação está fundamentada nos dados de rendimentos de grãos nos sistemas monitorados com os níveis críticos (TRCC), nos dois experimentos (Tabelas 18 e 20). Estes sistemas, mesmo quando receberam doses de N inferiores a dos sistemas padrões, não diferiram estatisticamente dos sistemas padrões

quanto ao rendimento de grãos, exceto no sistema S7, no Experimento II. Além disso, os sistemas monitorados com TRCC sempre apresentaram desempenho igual ou superior aos sistemas padrões para as variáveis incrementos no rendimento de grãos e na margem bruta (Tabelas 18 e 20) e eficiências técnica, econômica e de uso do N (Tabelas 19 e 21). Resultados semelhantes foram obtidos por Peng et al. (1996), Balasubramanian et al. (1999) e Singh et al. (2002) com a cultura do arroz. Nestes estudos, os autores observaram maior eficiência da adubação nitrogenada nos sistemas monitorados com clorofilômetro usando níveis críticos que nos sistemas onde foram aplicadas doses pré-determinadas de N. Segundo Peng et al. (1996), isto se deve, principalmente, à maior sincronia entre a época de aplicação de N e a sua demanda da planta.

No que se refere à utilização do IS de 0,95 como critério para monitoramento do nível de N na planta, para tomada de decisão da sua necessidade de aplicação em cobertura, observou-se que a resposta variou nos dois experimentos. No Experimento I, este índice não foi eficiente para separar plantas com deficiência das com nível adequado de N. Isto pode ser verificado pelos menores rendimentos de grãos obtidos nos sistemas monitorados com IS em relação aos sistemas padrões (Tabela 18). Esta resposta pode ser devida a dois fatores. Primeiro, nesse experimento não se implementou uma parcela específica de referência, isto é, usou-se como referência a parcela que apresentava maior valor na leitura do TRC em cada estágio. Assim, pode ter ocorrido superestimação do IS em função da leitura na parcela de referência ter sido muito próxima da leitura nas parcelas que receberam os demais níveis de N, evidenciando a não necessidade de aplicação de N em condições em que este nutriente era necessário para a planta.

Além disso, foi utilizado um único IS em todos os estágios de desenvolvimento. Talvez, o IS crítico, da mesma forma que ocorre com o TRCC, varie durante a ontogenia da planta de milho. Nesse sentido, alguns autores já propuseram a utilização de IS diferentes de 0,95. De acordo com Rozas & Echeverría (1998), um IS entre 0,97 e 0,98

deve ser mantido a partir do estágio V6 para se alcançar 95 % do rendimento de grãos máximo. Em contrapartida, Jemison & Lytle (1996) postulam que valores de IS abaixo de 0,93 indicam situações de deficiência de N, enquanto que Varvel et al. (1997) sustentam que se o IS for menor que 0,90 no estágio V8, a deficiência de N não poderá ser mais corrigida com posterior adubação em cobertura para maximizar o rendimento de grãos. Já Piekielek et al. (1995) recomendam o IS de 0,93 para o estágio de grãos leitosos.

Por outro lado, apesar do monitoramento com o IS não ter sido eficiente para atingir os mesmos rendimentos de grãos obtidos nos sistemas padrões, ele proporcionou a obtenção de eficiências técnica, econômica e de uso do N iguais ou superiores às dos respectivos sistemas padrões (Tabela 19). Isto é muito importante no contexto da agricultura moderna, onde se busca maximizar o uso dos recursos do ambiente.

No Experimento II, em que foi estabelecida uma parcela de referência específica para determinação do IS, o monitoramento com o IS de 0,95 apresentou eficiência similar ao com base nos níveis críticos. As duas formas de monitoramento foram eficientes para separar plantas com deficiência das com nível adequado de N, nos grupos com dose média e muito alta de N. Isto ficou confirmado, pela obtenção de rendimentos de grãos nestes sistemas monitorados estatisticamente iguais aos dos respectivos padrões (Tabela 20). Além disso, estes sistemas monitorados apresentaram iguais ou maiores incrementos no rendimento de grãos e na margem bruta e iguais ou maiores eficiências técnica, econômica e de uso do N do que nos padrões (Tabelas 20 e 21). Resultados similares foram obtidos por Hussain et al. (2000) na cultura do arroz irrigado. Eles observaram maior eficiência agrônômica da adubação nitrogenada quando foi utilizado o IS em relação ao uso de doses pré-estabelecidas no manejo do N, em várias cultivares e em dois locais. Estes mesmos autores concluíram que o IS se adapta a diferentes estações de crescimento, tipos de solo e cultivares.

No entanto, no grupo de tratamentos com dose alta de N, as duas formas de monitoramento subestimaram a necessidade de N no milho. Estas indicaram que não havia necessidade de N para aumentar o rendimento de grãos quando, na verdade, ainda houve incremento com a sua aplicação, obtido no sistema padrão (S10) (Tabela 20). Por outro lado, mesmo neste grupo de tratamentos não foi observada diferença em relação ao sistema padrão nas variáveis incrementos no rendimento de grãos e na margem bruta (Tabelas 18 e 20) e eficiências técnica, econômica e de uso do N (Tabelas 19 e 21).

Outro aspecto importante é que no Experimento II buscou-se integrar o uso de características de planta e de solo para monitorar o nível de N no sistema solo-planta, buscando aumentar a eficiência de predição da necessidade de aplicação de N em cobertura em milho. Nos sistemas S5, S9 e S13 usou-se o teor de nitrato no solo como critério de monitoramento para determinar a necessidade de aplicação de N no estágio V6 e, nos demais estádios, utilizou-se os TRCC estabelecidos por Argenta (2001) (Tabela 17, 20 e 21). O monitoramento com o teor de nitrato no solo (V6) e com o TRCC (demais estádios) não se diferenciou do monitoramento somente com o TRCC ou IS.

Esperava-se que o monitoramento integrando uma característica de solo (nitrato no solo), especificamente no estágio V6, com uma característica de planta (teor relativo de clorofila na folha), nos demais estádios, apresentasse melhor resultado que o realizado somente com esta característica de planta durante toda a ontogenia. Essa hipótese foi levantada em função de que, segundo Waskom et al. (1996) e Rozas & Echeverria (1998), o estágio V6 é inadequado para separar áreas com plantas deficientes daquelas bem supridas em N em milho, usando o clorofilômetro. Pressupõe-se que esta baixa eficiência do clorofilômetro deve-se ao fato do N não ser limitante até este estágio, principalmente quando se tem uma leguminosa antecedendo o milho (Waskom et al., 1996; Argenta, 2001). Além disto, na fase inicial de desenvolvimento da planta grande parte do N na folha está associado ao nitrato e não à molécula de clorofila (Dwyer et al., 1995).

Apesar dos resultados obtidos no Experimento II terem indicado que o monitoramento com base na integração entre teor de nitrato de solo e teor relativo de clorofila na folha não aumenta a eficiência técnica e econômica de uso do N, eles não podem ser considerados conclusivos, pois são de apenas um experimento e um ano. Além disso, eles indicaram que a estratégia de uso integrado destas características não deve ser descartada, visto que não houve diferença estatística, para as variáveis avaliadas, entre os sistemas monitorados somente com clorofilômetro e os sistemas monitorados com teor de nitrato no solo e o clorofilômetro (Tabelas 20 e 21). O monitoramento do nível de N na planta nos estádios iniciais de desenvolvimento é muito importante para que eventuais deficiências identificadas neste período possam ser corrigidas a tempo de não comprometer o desempenho do milho (Varvel et al., 1997; Binder et al., 2000). Assim, mais trabalhos são necessários para explorar e concluir sobre a integração entre características de solo e de planta no monitoramento do nível de N no sistema solo-planta para prever a necessidade de sua aplicação em cobertura.

Considerando os resultados obtidos nos dois anos de estudo, pode-se afirmar que os monitoramentos com o TRCC e com o IS são alternativas viáveis para refinamento do manejo do N em cobertura em milho. Contudo, o uso dos dois índices têm suas vantagens e desvantagens. No que diz respeito ao uso do TRCC, salienta-se que este trabalho foi realizado no mesmo local e com o mesmo híbrido de milho utilizado por Argenta (2001) e sob condições de alto manejo. Assim, deve-se questionar se os TRCC propostos por este autor apresentarão a mesma eficiência quando utilizados em outros locais, com outros híbridos e em condições de manejo menos apropriadas, pois outros fatores, além da disponibilidade de N no solo, podem afetar a intensidade da coloração verde da folha e a respectiva leitura pelo clorofilômetro. Dentre estes, são citados na literatura: tipo de híbrido (Sunderman et al., 1997, Varvel et al., 1997); irradiação (Hoel & Solhaug, 1998); local de cultivo (Piekielek & Fox, 1992; Smeal & Zhang, 1994; Waskom et al., 1996); ano

de cultivo (Sunderman et al., 1997); níveis de outros nutrientes (Al-Abbas et al., 1974); ataque de insetos (Smeal & Zhang, 1994); estresse hídrico (Schepers et al., 1992); temperatura do ar (Dwyer et al., 1995); estágio de desenvolvimento da cultura (Schepers et al., 1992; Smeal & Zhang, 1994); arranjo de plantas (Hashemi-Dezfouli & Herbert, 1992, Blackmer et al., 1993); tipo, espessura e parte da folha onde é realizada a leitura (Chapman & Barreto, 1997) e aplicação de herbicidas (Mayasich et al., 1990; Santos et al., 1999). Além disso, os níveis críticos variam em função do potencial de rendimento de grãos obtido nos experimentos, sendo recomendada a realização de experimentos em diferentes ambientes e em distintas situações de manejo (Bredemeier, 1999). Partindo desse pressuposto, este seria um entrave, pois teria que se desenvolver diferentes níveis críticos para cada região, grupos do cultivares e condições de manejo da cultura.

Para minimizar a influência dos fatores citados, tem sido recomendado um método de calibração das leituras do clorofilômetro para cada área de cultivo, híbrido, estágio de desenvolvimento, condição edafo-climática e prática de manejo (Schepers et al., 1992; Blackmer & Schepers, 1994; Waskom et al., 1996; Hussain, et al., 2000; Costa et al., 2001), sendo que uma forma de calibrar as leituras é a determinação do índice de suficiência. Por outro lado, os fatores que afetam a síntese de clorofila podem ser minimizados sob condições de manejo que diminuam a ocorrência de estresses. Nestes casos, o uso da faixa de referência (índice de suficiência) pode ser substituída pelo do níveis críticos (Sunderman et al., 1997; Argenta, 2001). O uso do IS no manejo da adubação nitrogenada tem sido associado ao monitoramento do nível de N na planta, na estratégia denominada de “adubação quando necessário”, efetivada especialmente sob condições de fertirrigação (Blackmer & Schepers, 1994). Neste contexto, Blackmer & Schepers (1994) e Varvel et al. (1997) recomendam que, quando for indicada a necessidade de adubação nitrogenada pelo IS menor ou igual a 0,95, devem ser adicionados 30 kg ha^{-1} de N através de fertirrigação.

Outra questão importante é que, mesmo com o uso de faixas de referência, há necessidade de se definir qual deve ser o IS mais adequado para cada estágio de desenvolvimento da planta de milho. Além disso, ainda não existem critérios estabelecidos na literatura para definição da dose e época de aplicação de N a ser aplicada na faixa de referência. Assim, se estas faixas não forem manejadas corretamente, a necessidade de aplicação de N em cobertura pode ser sub ou superestimada, reduzindo o rendimento de grãos ou aumentando a contaminação ambiental, respectivamente (Sunderman et al., 1997). Outro problema potencial é que muitos agricultores podem relutar em manejar uma faixa da lavoura de forma diferenciada, ou seja, aplicar uma dose mais elevada de N na faixa de referência.

Por fim, a escolha de qual índice (TRCC ou IS) a ser utilizado no monitoramento do nível de N na planta com o clorofilômetro irá depender dos fatores acima discutidos. De forma geral, acredita-se que, quando há disponibilidade de índices TRCC adequados para a região em que se está trabalhando, seria mais conveniente a sua opção. Na ausência destes índices críticos regionais, a melhor opção seria o uso do IS.

4.6. CONCLUSÕES

A eficiência para separar plantas deficientes e com nível adequado de N em milho através dos métodos de monitoramento do seu nível na planta com base no teor relativo de clorofila na folha crítico (desenvolvido para a mesma cultivar, local e condições de manejo em estudo) e no índice de suficiência (0,95) é similar.

O monitoramento do nível de N na planta com base no teor relativo de clorofila na folha é uma técnica com grande potencial para aumentar a eficiência de uso do N em lavouras, especialmente, sob altas condições de manejo, onde são usadas elevadas doses desse nutriente, o que pode reduzir a contaminação ambiental e o custo de produção.

O monitoramento com base na integração entre o teor de nitrato no solo e o teor relativo de clorofila na folha não incrementou a eficiência técnica e econômica de uso do N no ambiente avaliado. Porém, em função do potencial de uso desta técnica mais estudos devem ser realizados para testar esta possibilidade.

5. CAPÍTULO IV

EFICIÊNCIA DE USO DE DOIS ÍNDICES DO TEOR RELATIVO DE CLOROFILA NA FOLHA COMO INDICADORES PARA PREDIÇÃO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA EM COBERTURA NO MILHO EM DOIS NÍVEIS DE MANEJO

USE EFFICIENCY OF TWO LEAF CHLOROPHYLL RELATIVE CONTENT INDICES AS INDICATORS TO PREDICT SIDE DRESS NITROGEN FERTILIZATION IN MAIZE IN TWO MANAGEMENT LEVELS

5.1. RESUMO

O monitoramento do nível de nitrogênio (N) na planta utilizando o teor relativo de clorofila na folha (TRC), medido pelo clorofilômetro, surgiu como nova técnica para manejo da adubação nitrogenada em milho de forma mais eficiente. O seu uso pode ser baseado em duas estratégias: uso de níveis críticos do TRC e/ou do índice de suficiência (IS). Este trabalho teve como objetivos: (i) estudar uma metodologia para determinar níveis críticos do TRC e do IS; (ii) verificar se os níveis críticos do TRC e do IS variam com o estágio de desenvolvimento e com o nível de manejo; e (iii) testar uma metodologia para determinar a dose de N a ser aplicada quando as leituras do clorofilômetro forem inferiores a dos níveis críticos. Foram conduzidos três experimentos a campo, em Eldorado do Sul-RS, sob dois níveis de manejo. Os experimentos tiveram como tratamentos diferentes níveis de N. As características avaliadas foram TRC e IS e rendimento de grãos. As leituras do clorofilômetro foram realizadas nos estádios V3, V6, V10, espigamento, R2 e R4 de desenvolvimento do milho. Os dados obtidos foram submetidos às análises de variância e de regressão simples. Utilizou-se também a análise gráfica de Cate & Nelson para determinação dos níveis críticos. O efeito dos níveis de N sobre os dois índices avaliados e as suas relações com rendimento de grãos variaram entre os experimentos e, principalmente, entre os estádios de desenvolvimento da planta. A metodologia utilizada para determinação dos níveis críticos do TRC e do IS é eficiente e versátil para obtenção do teor adequado de N na planta. Os valores críticos do TRC e do IS variaram com o estágio de desenvolvimento da planta e com o nível de manejo adotado. A metodologia usada para determinar doses de N com base no TRC e IS indica que é possível o estabelecimento de estratégias de manejo de N em milho com base no monitoramento do nível deste nutriente na planta. Os resultados indicam que as metodologias propostas para determinação dos níveis críticos e das doses ótimas de N poderiam ser utilizadas na estratégia de manejo “adubar quando é necessário”, para maior eficiência de uso do N.

Termos para indexação: *Zea mays*, monitoramento do nível de N na planta, clorofilômetro, rendimento de grãos e eficiência de uso do N.

5.2. ABSTRACT

The monitoring of plant nitrogen (N) status using the leaf relative chlorophyll content (RCC), evaluated by chlorophyll meter, has been studied as a new tool for a more efficient corn N fertilization management. The chlorophyll meter can be used based in two strategies: using RCC critical levels or the sufficiency index (SI). This study aimed: (i) to study a methodological procedure to determine RCC and SI critical levels; (ii) to verify if the RCC and SI critical levels are variable with growth stages and with the management level; (iii) to test a methodological procedure to determinate N rate application when the chlorophyll meter measurements are lower than the critical levels. Three field experiments were conducted in Eldorado do Sul, state of Rio Grande do Sul, Brazil, using two management levels. The treatments were different N levels. The evaluated characteristics were leaf relative chlorophyll content and sufficiency index, using the chlorophyll meter, and corn grain yield. The chlorophyll meter measurements were taken in V3, V6, V10, silking, R2 and R4 growth stages. Analyses of variance and simple regression were done for all data. Besides, it was applied the Cate & Nelson graphic analyses to determine the critical levels. The evaluated plant characteristics were affected by the N level, depending on the experiment and growth stage. The relationship between plant characteristics and grain yield was variable with the experiment and, mainly, with growth stages. The tested methodology to determinate RCC and IS critical levels is efficient and versatile to obtain plant adequate N content. The RCC and IS critical levels were variable with growth stage and management level. The results using the methodology to determine N rate application in corn using the chlorophyll meter showed that is possible to use this technique to develop N management monitoring strategies. The found results indicate that the tested methodologies to determinate the critical levels and optimum N rates could be used as a strategic “apply when it is necessary”, aiming to obtain high N efficiency use.

Index terms: *Zea mays*, monitoring N plant level, chlorophyll meter, grain corn yield, N efficiency use.

5.3. INTRODUÇÃO

A cultura do milho no Brasil é uma das maiores consumidoras de fertilizantes, especialmente os nitrogenados, que são os que mais aumentam a produtividade. O nitrogênio (N) é um dos nutrientes mais requeridos pelas plantas. Este nutriente é essencial para crescimento e desenvolvimento das plantas, sendo considerado um dos principais fatores limitantes ao rendimento de grãos de milho, pois exerce importante função nos processos bioquímicos da planta. O N é constituinte de proteínas, enzimas, coenzimas, ácidos nucléicos, fitocromos e da clorofila (Cantarella, 1993). Além disso, afeta as taxas de iniciação e expansão foliar, o tamanho final e a intensidade de senescência das folhas (Schröder et al., 2000). Estima-se que a necessidade de N para produção de uma tonelada de grãos de milho varie de 20 a 28 kg ha⁻¹ (Cantarella, 1993).

O uso de N tem sido muito discutido recentemente, principalmente quando veio a público o impacto negativo da superfertilização deste nutriente na contaminação ambiental da água no solo (Schröder et al., 2000). Nesse sentido, Stanford (1973) e Keeney (1982) definem o manejo ideal da adubação nitrogenada como sendo aquele que permite satisfazer a necessidade da cultura com o mínimo risco ambiental. Para atingi-lo, um dos fatores mais importantes é a busca de sincronia entre a época de aplicação e os estádios de maior necessidade de N pela planta, aumentando a eficiência de uso do N (EUN). Existem vários fatores que contribuem para se obter baixa EUN, sendo um dos principais a falta de parcelamento das doses de N em cobertura (Raun & Johnson, 1999). Segundo Binder et al. (2000), a época ótima para aplicação de N em milho depende do grau de deficiência deste nutriente, que se dá em função da quantidade disponibilizada pelo solo e da demanda da planta. Sistemas de manejo que são flexíveis e que podem ser modificados para compensar as adversidades das condições climáticas têm maior potencial para ser mais eficientes (Blackmer & Schepers, 1994).

A demanda de N pelo milho é diferenciada durante o seu ciclo de desenvolvimento. Além disso, esta cultura apresenta vários estádios de desenvolvimento em que o rendimento de grãos é definido. A absorção de N pela planta ocorre durante todo o período vegetativo, sendo pequena nos primeiros 30 dias (Fornasieri Filho, 1992). No entanto, nesta fase o número de fileiras da espiga está sendo definido, sendo que a deficiência de N reduz o número de óvulos nos primórdios da espiga (Schreiber et al., 1988) e o crescimento e o desenvolvimento da planta (Varvel et al., 1997b). Segundo Yamada (1996), apesar da pequena exigência de N da planta de milho nos estádios iniciais, altas concentrações desse nutriente na zona radicular são benéficas para seu vigor inicial. Além disso, nesta fase inicial está ocorrendo a diferenciação das várias partes da planta que começam a se desenvolver (Fancelli & Dourado-Neto, 1996; Cantarella, 1993).

A partir do estágio V6, a planta de milho apresenta sistema radicular mais desenvolvido, com maior capacidade de absorção de nutrientes e água (Mundstock & Silva, 1989). Neste estágio, quando a planta termina de diferenciar o número total de folhas, ocorre uma mudança rápida e brusca na função do ponto de crescimento, que se diferencia num minúsculo pendão. Deste estágio em diante, os entre-nós começam a se alongar rapidamente e a planta desenvolve-se a taxas muito elevadas, sendo que a diferenciação do primórdio da espiga ocorre quando a planta está com 10 a 12 folhas expandidas, independente de cultivar e época de semeadura (Forsthofer, 2004). Este é um estágio crítico, uma vez que está sendo formado o número potencial de óvulos da espiga (Silva, 2001). Assim, no período compreendido entre duas semanas antes a três semanas após espigamento, o número de grãos por espiga está sendo determinado (Earley et al., 1967).

Neste contexto, o monitoramento do nível de N na planta de milho e da disponibilidade de N mineral no solo são muito importantes para que se possa fazer a sua aplicação na época e dose adequadas. No entanto, esta tarefa é complexa, pois existem vários fatores que interferem na disponibilidade de N liberado pelo solo, bem como na sua absorção e assimilação pela planta. Indicadores de solo e de planta têm sido estudados para monitorar a disponibilidade deste nutriente e auxiliar na tomada de decisão sobre dose e época de aplicação. Um indicador ideal deve reproduzir a relação do nível de N no sistema solo-planta, sendo capaz de detectar ou prever tanto deficiências quanto excessos. Ele deve ser de rápida execução, para permitir ações de manejo que corrijam deficiências ainda durante a ontogenia da cultura. Além disso, os equipamentos para amostragem e análise devem ser de fácil manuseio e, de preferência, portáteis. Os valores obtidos nas leituras não devem ser afetados por nenhum outro fator, além do nível de N no sistema solo-planta (Schröder et al., 2000).

Em função das características acima descritas, desejadas num bom indicador, o uso do teor relativo de clorofila na folha (TRC), determinado pelo clorofilômetro, é o que tem sido mais estudado nos últimos anos. Este método fundamenta-se na relação positiva existente entre teor de clorofila e teor de N na planta (Piekielek & Fox, 1992; Blackmer & Schepers, 1994; Waskom et al., 1996; Argenta, 2001) que, por sua vez, está relacionada à atividade fotossintética (Sinclair & Horie, 1989; Ma et al., 1995). Esta relação se deve ao fato de que 50 a 70 % do N total das folhas ser integrante de enzimas que estão associadas aos cloroplastos (Chapman & Barreto, 1997). Além disso, o teor relativo de clorofila na folha não está associado com o consumo de luxo de N, sob forma de nitrato (Blackmer & Schepers, 1994, 1995).

Os métodos laboratoriais de determinação de clorofila na folha são destrutivos, muito trabalhosos e demorados. O desenvolvimento de um medidor portátil, denominado clorofilômetro, como o Minolta SPAD-502[®], permitiu a obtenção de valores indiretos do teor de clorofila presente na folha, de modo não destrutivo, rápido e simples.

Por apresentar baixa sensibilidade ao consumo de luxo de N, a leitura pelo clorofilômetro está sendo considerada melhor indicadora do nível deste nutriente do que seu próprio teor na folha (Blackmer & Schepers, 1995). Além desta vantagem, existem outros benefícios da utilização deste aparelho, entre os quais destacam-se: realização de leituras instantâneas, não destrutivas, que não envolvem procedimentos laboratoriais e uso de reagentes químicos, proporcionando avaliação rápida e de fácil interpretação (Blackmer & Scheper, 1994); apresenta custo mínimo de manutenção (Piekielek & Fox, 1992) e permite fazer quantas amostras forem necessárias, sem custos adicionais e sem destruição da folha (Malavolta, 1997). Em trabalho conduzido por Argenta (2001), comparando várias características de planta, tais como teor e acúmulo de massa seca por planta, massa seca e área foliar por planta com o TRC, foi verificado que este último foi a característica mais precisa na estimativa do nível de N na planta de milho.

Devido a estas vantagens e, por estar correlacionado com rendimento de grãos, a determinação do TRC pelo clorofilômetro tem sido usada para prever a necessidade de adubação nitrogenada em cobertura em várias culturas, especialmente trigo (Follet et al., 1992; Reeves et al., 1993; Fox et al., 1994; Bredemeier, 1999; Singh et al., 2002), arroz (Turner & Jund, 1991; Peng et al., 1993; Balasubramanian et al., 2000; Hussain et al., 2000; Stalin et al., 2000; Singh et al., 2002) e milho (Piekielek & Fox, 1992; Smeal & Zang 1994; Blackmer & Schepers, 1994, 1995; Waskom et al., 1996; Varvel et al., 1997; Fox et al., 2001; Costa et al., 2001; Zebarth et al., 2002; Argenta et al., 2003). No entanto, na literatura, ainda não existem trabalhos que tenham utilizado o TRC para prever a dose de N a ser aplicada, quando detectada a sua deficiência.

A utilização do clorofilômetro no manejo da adubação nitrogenada do milho vem sendo estudada sob duas abordagens, o uso de valores críticos do TRC e do índice de suficiência (IS). A utilização de valores críticos do TRC pressupõe que, para cada estágio de desenvolvimento, haja um valor mínimo do TRC (nível crítico) que a planta deve apresentar, em função da leitura com o clorofilômetro, que corresponde ao nível mínimo de clorofila necessário naquela fase da ontogenia para maximizar o rendimento de grãos. Leituras abaixo deste nível indicam necessidade de suplementar N através de adubação e leituras superiores ao valor crítico indicam que não há necessidade de sua suplementação. Alguns estudos têm determinado valores críticos do TRC durante a ontogenia da planta de milho (Piekielek & Fox, 1992; Jemison & Lytle, 1996; Sunderman et al., 1997; Argenta, 2001). Este último autor elaborou uma curva do nível adequado de N para o milho cultivado em altas condições de manejo na região ecoclimática da Depressão Central, do estado do Rio Grande do Sul, a partir de níveis críticos determinados em quatro estágios de desenvolvimento ($V_3= 45,4$, $V_6= 52,1$, $V_{10}= 55,3$ e de espigamento= $58,0$), em função do valor do TRC lido pelo clorofilômetro. No entanto, neste estudo, os níveis críticos foram estabelecidos somente para situações de alto nível de manejo. Segundo Bredemeier (1999),

os níveis críticos do TRC variam em função do teto de rendimento de grãos obtidos nos experimentos, sendo recomendada a realização de experimentos em diferentes ambientes e situações de manejo.

O uso da metodologia de determinação de níveis críticos do teor relativo de clorofila pode ter alguns problemas pois outros fatores, além da disponibilidade de N no solo, podem afetar a intensidade da cor verde da folha e a respectiva leitura pelo clorofilômetro. Dentre estes, são citados: tipo de híbrido (Sunderman et al., 1997, Varvel et al., 1997); irradiação (Hoel & Solhaug, 1998); local de cultivo (Piekielek & Fox, 1992; Smeal & Zhang, 1994; Waskom et al., 1996); ano de cultivo (Sunderman et al., 1997); níveis de outros nutrientes (Al-Abbas et al., 1974); ataque de insetos (Smeal & Zhang, 1994); ocorrência de estresse hídrico (Schepers et al., 1992); temperatura do ar (Dwyer et al., 1995); estágio de desenvolvimento da cultura (Schepers et al., 1992; Smeal & Zhang, 1994); arranjo de plantas (Hashemi-Dezfouli & Herbert, 1992, Blackmer et al., 1993); tipo, espessura e parte da folha onde é realizada a leitura (Chapman & Barreto, 1997) e herbicidas aplicados na cultura (Mayasich et al., 1990; Santos et al., 1999).

Para minimizar o efeito dos fatores citados, tem sido recomendado a calibração das leituras do clorofilômetro para cada área de cultivo, híbrido, estágio de desenvolvimento, condição edafo-climática e prática de manejo (Schepers et al., 1992; Blackmer & Schepers, 1994; Waskom et al., 1996; Hussain, et al., 2000; Costa et al., 2001). Uma forma de normalizar as leituras é a determinação de um índice de suficiência (IS), que é obtido pela média das leituras do clorofilômetro nas amostras, dividida pela média das leituras numa área de referência. Esta área de referência é uma faixa da lavoura, com a mesma cultivar, adubada com uma dose de N bastante superior ao restante da lavoura, de forma que, teoricamente, não haja sua deficiência.

O valor que tem sido mais utilizado como IS no milho é o de 0,95. Assim, quando o percentual relativo de clorofila da amostra situar-se abaixo de 95 % da leitura na faixa de

referência, recomenda-se a aplicação de N (Blackmer & Schepers, 1994; Waskom et al., 1996; Varvel et al., 1997). No entanto, têm-se observado algumas divergências na literatura quanto ao uso do IS como indicador da necessidade de aplicação da adubação nitrogenada em cobertura. Além disso, tem sido recomendado o uso de um único valor de IS, independente do estágio de desenvolvimento da planta. Isto pode não ser o mais adequado, pois os níveis críticos do TRC mudam durante a ontogenia da planta (Argenta, 2001).

Dentro deste contexto, este trabalho teve como objetivos: (i) estabelecer uma metodologia para determinar o teor de N adequado no tecido da planta de milho com base em dois índices do TRC, medidos pelo clorofilômetro, em seis estádios de desenvolvimento e em dois níveis de manejo; (ii) verificar se os níveis críticos do TRC e do IS, variam com os estádios de desenvolvimento da planta e com o nível de manejo da cultura do milho e (iii) propor uma metodologia para determinar a dose de N a ser aplicada no milho quando as leituras do clorofilômetro forem inferiores aos níveis críticos, usando os dois índices em estudo, em seis estádios de desenvolvimento e em dois níveis de manejo.

5.4. MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados três experimentos com a cultura do milho, variando a dose de N aplicada e o nível de manejo. No primeiro ano (2002/03) foi conduzido um experimento sob alto nível manejo para determinar a relação entre os dois índices do teor relativo de clorofila na folha (TRC), medidos pelo clorofilômetro, e o rendimento de grãos. No segundo ano (2003/04) foram conduzidos dois experimentos, um sob alto nível de manejo e um sob médio nível de manejo, para verificar se a relação entre os dois índices e o rendimento de grãos se modificava com a mudança do nível de manejo. No segundo ano, buscou-se também determinar os níveis críticos para os dois índices de TRC, nos dois

níveis de manejo, partindo-se do pressuposto de que os níveis críticos se diferenciam com o nível de manejo.

Os experimentos foram conduzidos a campo, na Estação Experimental Agrônômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA-UFRGS), localizada no município de Eldorado do Sul, região ecoclimática da Depressão Central do estado do Rio Grande do Sul. As características de solo da área experimental estão descritas no Capítulo I.

No ano agrícola 2002/03, foi semeado o híbrido simples, de ciclo superprecoce, Pioneer 23R21, no dia 15 de outubro de 2002, em sistema de semeadura direta, em sucessão à aveia preta (3,4 t ha⁻¹ de rendimento de massa seca), no espaçamento de 0,7 m e na densidade de 65 000 pl ha⁻¹. A adubação com fósforo e potássio constou da aplicação de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 60 kg ha⁻¹ de K₂O. O experimento recebeu irrigação suplementar, quando necessário. Os tratamentos constaram de cinco níveis de N (0, 50, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹), aplicados parte na semeadura e parte no estágio V3. Na semeadura foi aplicado 20% da dose total de N, ou seja, 10, 20, 40 e 60 kg ha⁻¹ de N nos tratamentos correspondentes a 50, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹, respectivamente, sendo o restante aplicado no estágio V3.

No ano agrícola 2003/04, foram conduzidos dois experimentos, um com nível alto manejo e um com nível médio de manejo (Tabela 1 – Capítulo I). Foi utilizado o mesmo híbrido do ano anterior, com semeadura realizada no dia 27 de outubro de 2003, em sistema de semeadura direta, em sucessão à aveia preta (5,2 t ha⁻¹ de rendimento de massa seca), no mesmo espaçamento e na mesma densidade utilizadas no ano anterior. Em cada nível de manejo, os tratamentos constaram de seis níveis de N, aplicados parte na semeadura e o restante em cobertura (Tabela 2 – Capítulo I). As demais diferenças de manejo entre os dois níveis encontraram-se descritas na Tabela 1 - Capítulo I.

Nos três experimentos, a adubação de fósforo e de potássio foi realizada na linha, por ocasião da semeadura. Os dois experimentos que receberam suplementação hídrica foram irrigados por aspersão, quando o potencial de água no solo foi inferior a $-0,04$ Mpa. Foi realizado controle de plantas daninhas e pragas para que não interferissem no desenvolvimento do milho e na expressão do efeito de doses de N aplicadas e de níveis de manejo no rendimento de grãos.

As determinações realizadas nos dois anos agrícolas, nos estádios V3, V6, V10 e espigamento do milho foram: teor relativo de clorofila na folha (TRC), índice de suficiência (IS) e rendimento de grãos. O TRC, medido com o clorofilômetro, modelo Minolta SPAD-502, foi determinado a partir da leitura em cinco plantas por parcela, de acordo com metodologia proposta por Argenta (2001). Os valores obtidos pelo clorofilômetro foram utilizados para cálculo do IS. O índice de suficiência de N foi determinado a partir dos valores de TRC na folha em cada tratamento, divididos pelo valor do TRC obtido na parcela com o nível mais alto de N (parcela de referência). O rendimento de grãos foi obtido através da extrapolação da produção da área útil da parcela ($8,4 \text{ m}^2$) para um hectare, corrigindo-se a umidade para 130 g kg^{-1} .

O delineamento experimental utilizado nos três experimentos foi o de blocos casualizados, com quatro repetições. Todos os dados coletados foram submetidos à análise de variância pelo Teste F, a 5% de probabilidade. Realizou-se, também, a análise de regressão entre o TRC e o IS com rendimento de grãos e a análise gráfica de Cate-Nelson (1987), modificada por Fox et al. (2001), para determinação dos níveis críticos dos dois índices, para cada estágio de desenvolvimento e nos dois níveis de manejo. Determinou-se, também, a dose de N a ser aplicada para cada unidade do TRC e para cada centésimo de unidade do IS menor do que a do nível crítico determinado, de acordo com Feibo et al. (1998).

5.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O rendimento médio de grãos de milho foi significativamente afetado pelas doses de nitrogênio (N) aplicadas, variando, entre os três experimentos, de 6,87 a 9,64 t ha⁻¹. No ano agrícola 2003/04, o rendimento médio de grãos variou também com o nível de manejo adotado, sendo quase três toneladas menor no experimento conduzido sob médio nível de manejo em relação ao com alto nível de manejo (Tabela 22). Desta forma, alcançou-se o objetivo de se obter dois níveis de rendimento de grãos em função dos manejos distintos. Os dois índices do TRC estudados foram afetados pelo nível de N aplicado, nos três experimentos e nos seis estádios de desenvolvimento avaliados. As médias dos índices variaram entre experimentos e estádios avaliados (Tabela 22).

Na Tabela 23, encontram-se as equações de regressão dos índices teor relativo de clorofila na folha (TRC) e índice de suficiência (IS) com o rendimento de grãos, nos três experimentos. No Experimento I (2002/03), os dois índices apresentam relação quadrática com o rendimento de grãos de milho, nos quatro estádios avaliados. Neste ano, a melhor relação dos dois índices com o rendimento de grãos ocorreu no estádio de espigamento ($R^2 = 0,87$), mas obteve-se também boas relações nos estádios V3 e V6 ($R^2 > 60$). Já no estádio V10, a relação obtida foi significativa, mas com coeficiente de determinação baixo ($R^2 < 40$). Este último resultado não era esperado, pois o que tem se observado normalmente é que as relações entre os dois índices e o rendimento de grãos aumentam com o desenvolvimento da planta. Talvez, isto possa ter ocorrido por algum erro de amostragem.

Tabela 22. Análises de variâncias, médias (M) e coeficientes de variação (CV), por estágio de desenvolvimento, dos dois índices do teor relativo na folha e do rendimento de grãos do híbrido de milho Pioneer 32R21 nos três experimentos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul-RS

Característica Avaliada	Estádio de desenvolvimento ¹																	
	Experimento I – Alto nível de manejo (2002/03)																	
	V3			V6			V10			Espigamento			R2			R4		
	M	CV	N ²	M	CV	N	M	CV	N	M	CV	N	M	CV	N	M	CV	N
Teor relativo de clorofila na folha	36,89	4,79	**	49,24	6,77	**	49,78	5,93	**	48,66	4,75	**	-	-	-	-	-	-
Índice de Suficiência	0,86	4,73	**	0,93	6,75	**	0,91	5,89	**	0,95	4,75	**	-	-	-	-	-	-
Rendimento de grãos (t há ⁻¹)	8,08	10,72	**															

	Experimento II – Médio nível de manejo (2003/04)																	
Teor relativo de clorofila na folha	31,40	7,12	**	47,37	2,73	**	49,44	2,97	**	38,64	6,27	**	41,52	6,46	**	40,84	9,02	**
Índice de Suficiência	0,85	7,12	**	0,84	2,73	**	0,92	2,97	**	0,84	5,84	**	0,78	6,46	**	0,77	9,03	**
Rendimento de grãos (t há ⁻¹)	6,87	11,94	**															

	Experimento III – Alto nível de manejo (2003/04)																	
Teor relativo de clorofila na folha	37,34	9,26	**	48,42	4,62	**	48,90	4,16	**	46,90	4,09	**	47,77	3,23	**	44,30	7,40	**
Índice de Suficiência	0,86	9,26	**	0,95	4,62	**	0,87	4,16	**	0,81	4,09	**	0,77	3,23	**	0,76	7,40	**
Rendimento de grãos (t há ⁻¹)	9,64	7,11	**															

¹ Segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993) ² Fonte de variação: doses de N

** Significativo ao nível de 1%. * Significativo ao nível de 5%.

Nos experimentos realizados em 2003/04 (Experimento II, sob médio manejo e Experimento III, sob alto manejo) também se observaram relações quadráticas entre os índices TRC e IS com o rendimento de grãos, nos seis estádios avaliados (Tabela 23). Porém, desta vez, como era esperado, as relações aumentaram com o decorrer do desenvolvimento da planta, atingindo valor máximo no estágio R2 ($R^2= 0,96$), com posterior redução no estágio R4. Também observou-se que as relações foram maiores, em todos os estádios de desenvolvimentos avaliados, no experimento com alto nível de manejo em relação ao com médio nível de manejo. Outro aspecto importante a ser ressaltado, é o que os índices TRC e IS tiveram relações muito semelhantes com o rendimento de grãos em todos os estádios em que foram avaliados, indicando que eles têm a mesma eficiência de predição desta variável.

Nas Figuras 2, 3, 4 e 5 foram analisadas graficamente, nos dois experimentos conduzidos em 2003/04, as relações entre TRC e IS com o rendimento de grãos relativo, em seis estádios de desenvolvimento e em dois níveis de manejo do milho, de acordo com os procedimentos estabelecidos por Cate-Nelson (1987), modificados por Fox et al. (2001). Para definir os níveis críticos destes dois índices seguiu-se a metodologia proposta por Fox et al. (2001). Assim, foi considerado como valores críticos horizontais o rendimento relativo de 0,93. Os valores críticos, verticais foram definidos para minimizar os erros ou “outliers”. De acordo com esta análise gráfica, os dados que se encontram no quadrante superior esquerdo superestimaram a necessidade de N, ou seja, mostraram que o tratamento era deficiente em N mas que, na verdade, havia N suficiente para atingir o rendimento máximo. Já os dados que se encontram no quadrante inferior direito subestimaram a necessidade de N, ou seja, indicaram que o tratamento não era deficiente em N mas, de fato, havia necessidade de se aplicar mais N para atingir o rendimento máximo.

Tabela 23. Equações de regressão e coeficientes de determinação (R^2) entre o rendimento de grãos (y) e os dois índices do teor relativo de clorofila na folha (x), por estágio de desenvolvimento, do híbrido de milho Pioneer 32R21, nos três experimentos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul-RS

Índice avaliado	Estádio de desenvolvimento ¹											
	Experimento I – Alto nível de manejo (2002/03)											
	V3		V6		V10		Espigamento		R2		R4	
	Equação ²	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²
Teor relativo de clorofila na folha	Y= 12022 -715,25x +16,14x ²	0,71 **	Y= 16635 -824,14x +13,04x ²	0,64 **	Y= -19361 +786,73x -4,69x ²	0,38 *	Y= 10241 -420,26x +7,50x ²	0,87 **	-	-	-	-
Índice de suficiência	Y= 5643,35 -13606x +18638x ²	0,67 **	Y= 13692 -35336x +31147x ²	0,61 **	Y= -4524,06 +9704,80x -4590,52x ²	0,38 *	Y= 10241 -26560x +29975x ²	0,87 **	-	-	-	-
Experimento II – Médio nível de manejo (2003/04)												
Teor relativo de clorofila na folha	Y= -11055 +966,89x -12,45x ²	0,27 *	Y= -6982,21 +225,61x -1,41x ²	0,40 **	Y= 21134 -928,01x +12,86x ²	0,63 **	Y= -8115 +560,68x -4,39x ²	0,70 **	Y= -1846,67 +238,07x – 0,66x ²	0,87 **	Y= 1108,38 +120,38x -0,49x ²	0,86 **
Índice de suficiência	Y= -11055 +35581x -16868x ²	0,27 *	Y= -6982,21 +11213x +3477,18x ²	0,40 **	Y= 21134 -49834 +37071x ²	0,63 **	Y= -7183,62 +23434x -7779,50x ²	0,68 **	Y= -1846,67 +12689x -1862,23x ²	0,87 **	Y= 1108,38 +6344,01x +1353,76x ²	0,86 **
Experimento III – Alto nível de manejo (2003/04)												
Teor relativo de clorofila na folha	Y= -68424 +4354,31x -59,59x ²	0,57 **	Y= 4605,19 -424,32x +10,85x ²	0,60 **	Y= -34254 +1347,11x -9,09x ²	0,85 **	Y= -12883 +703,88x -4,60x ²	0,94 **	Y= -8741,07 +544,52x -3,19x ²	0,96 **	Y= -2046,90 +309,90x – 0,98x ²	0,92 **
Índice de suficiência	Y= -68424 +171124x -92029x ²	0,57 **	Y= 4605,19 -21598x +28101x ²	0,60 **	Y= -34254 +75708x -28721x ²	0,85 **	Y= -12883 +40543x -15246x ²	0,94 **	Y= -8741,07 +33815x -12308x ²	0,96 **	Y= -2046,90 +18098x – 3329,15x ²	0,92 **

¹ Segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993) ²Número de amostras= 24

** Significativo ao nível de 1%. * Significativo ao nível de 5%.

A Figura 6 mostra as regressões entre os níveis críticos obtidos para o dois índices, em cada estágio de desenvolvimento e nos dois níveis de manejo, em função dos dias após emergência quando foram realizadas as determinações, nos dois experimentos conduzidos em 2003/04. Assim, poder-se-ia fazer o monitoramento do nível de N na planta de milho com base na estimativa dos níveis críticos dos dois índices em qualquer estágio de desenvolvimento da planta e em função do nível de manejo adotado.

Os valores dos níveis críticos de TRC aumentaram com o decorrer do desenvolvimento da planta de milho, atingindo um valor crítico máximo no estágio R2 e posterior redução no estágio R4, apresentando resposta quadrática, nos dois níveis de manejo estudados (Figura 6). Esta resposta quadrática das leituras do TRC com o transcorrer da ontogenia da planta também foi observada por Argenta (2001), que elaborou uma curva do nível adequado de N para esta cultura, a partir de níveis críticos determinados em quatro estádios de desenvolvimento (V3, V6, V10 e espigamento), em função do valor do TRC lido pelo clorofilômetro, e por Sunderman et al. (1997).

Observou-se também que os níveis críticos de TRC diferiram entre os níveis de manejo, sendo maiores, em todos os estádios de desenvolvimento avaliados, no nível alto. Alguns estudos têm determinado valores críticos do TRC para o milho durante a sua ontogenia. Neste sentido, Argenta (2001) obteve valores SPAD de 45,4 e 52,1 nos estádios V3 e V6, respectivamente. Já Pieielek & Fox (1992) e Jemison & Lytle (1996) obtiveram valores de 43,4 e 42,0 no estágio V6. No estágio de 10 a 11 folhas, os valores críticos disponíveis na literatura para esta cultura variam de 48,6 (Sunderman et al., 1997) a 55,3 SPAD (Argenta, 2001).

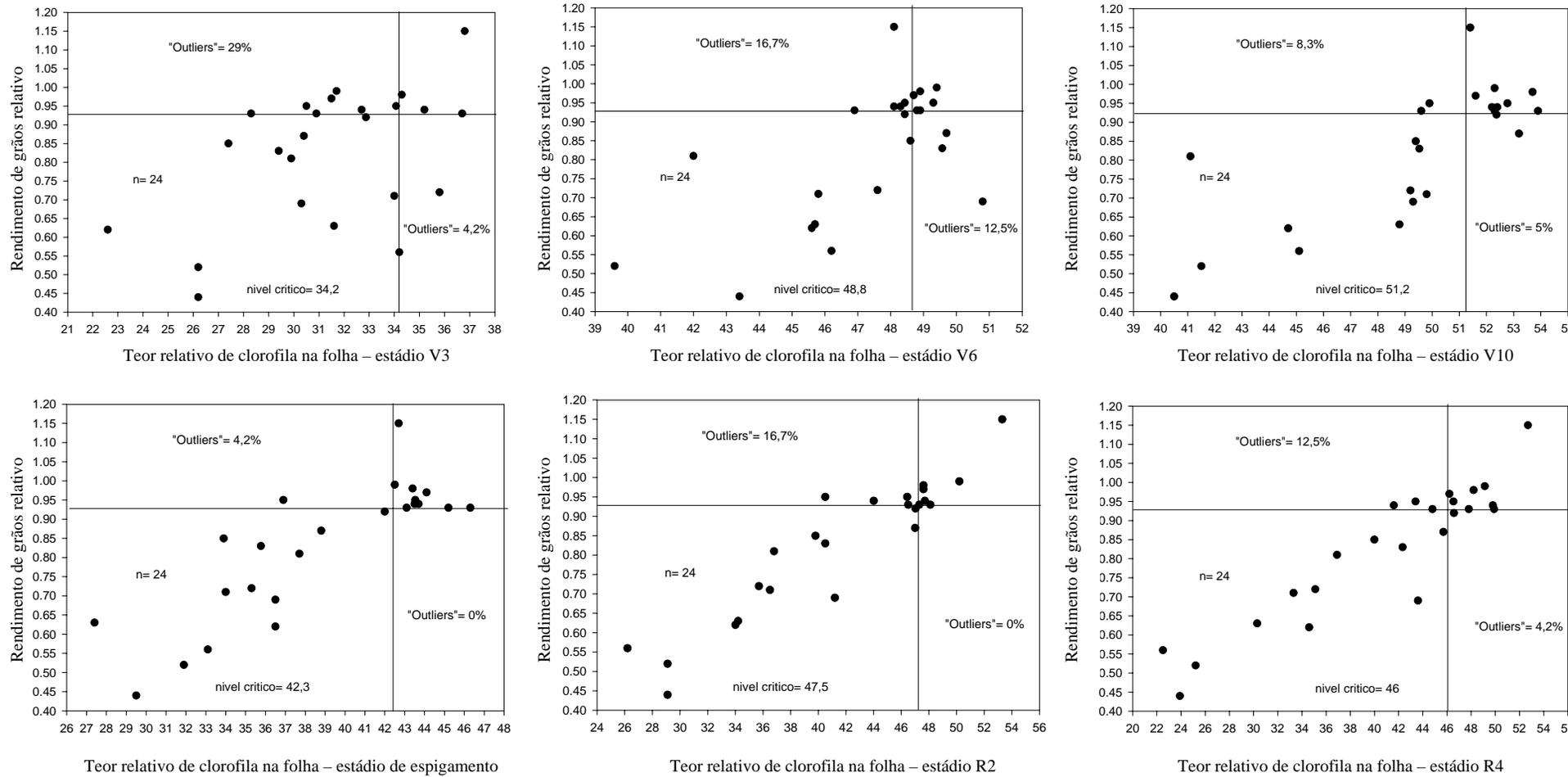


Figura 2. Análise gráfica de Cate-Nelson, modificada por Fox et al. (2001), relacionando o teor relativo de clorofila na folha com o rendimento de grãos relativo, por estágio de desenvolvimento, do híbrido de milho Pioneer 32R21, no Experimento II, conduzido sob médio nível de manejo. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul -RS, 2003/04.

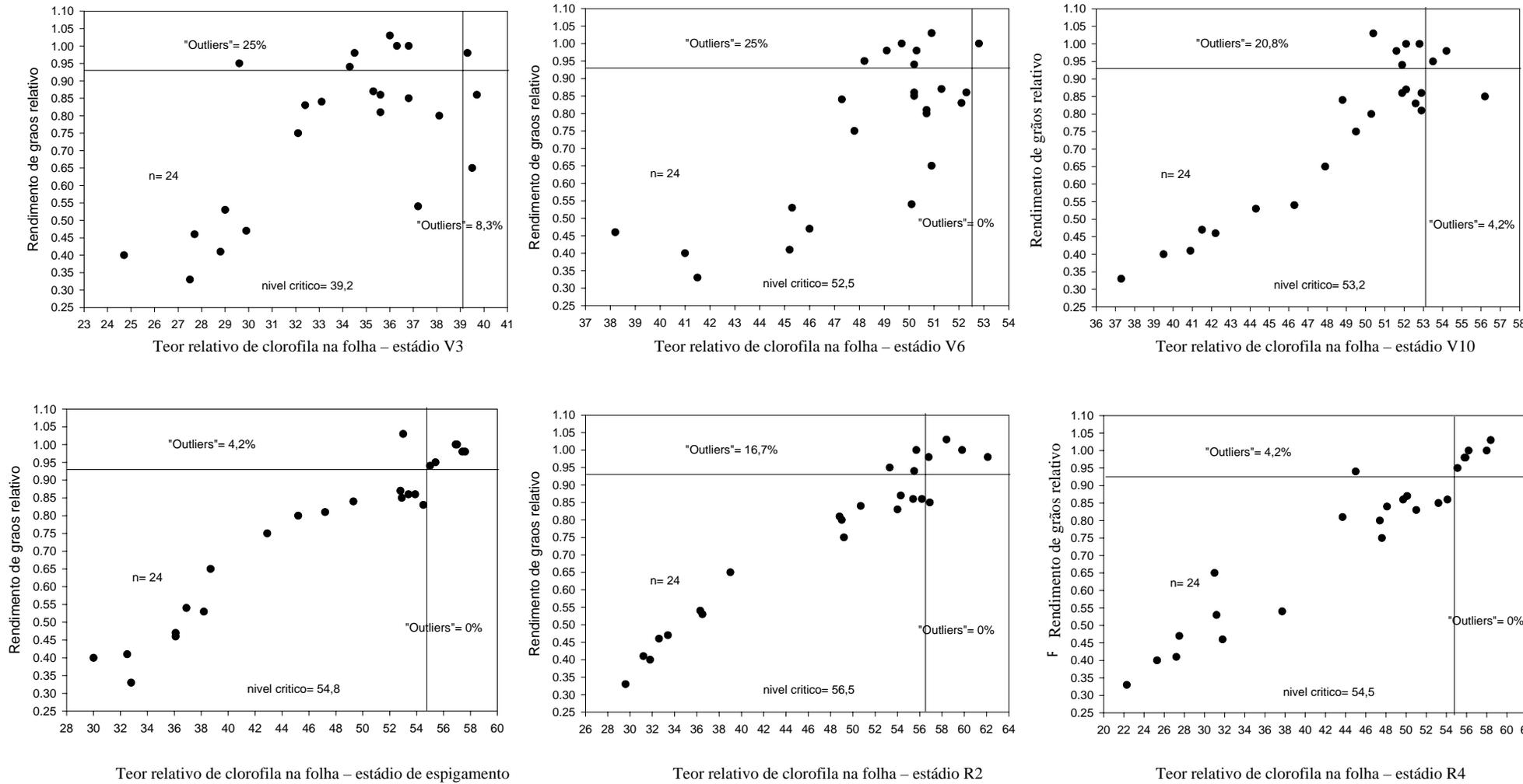


Figura 3. Análise gráfica de Cate-Nelson, modificada por FOX et al. (2001), relacionando o teor relativo de clorofila na folha com o rendimento de grãos relativo, por estágio de desenvolvimento, do híbrido de milho Pioneer 32R21, no Experimento III, conduzido sob alto manejo. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul-RS, 2003/04.

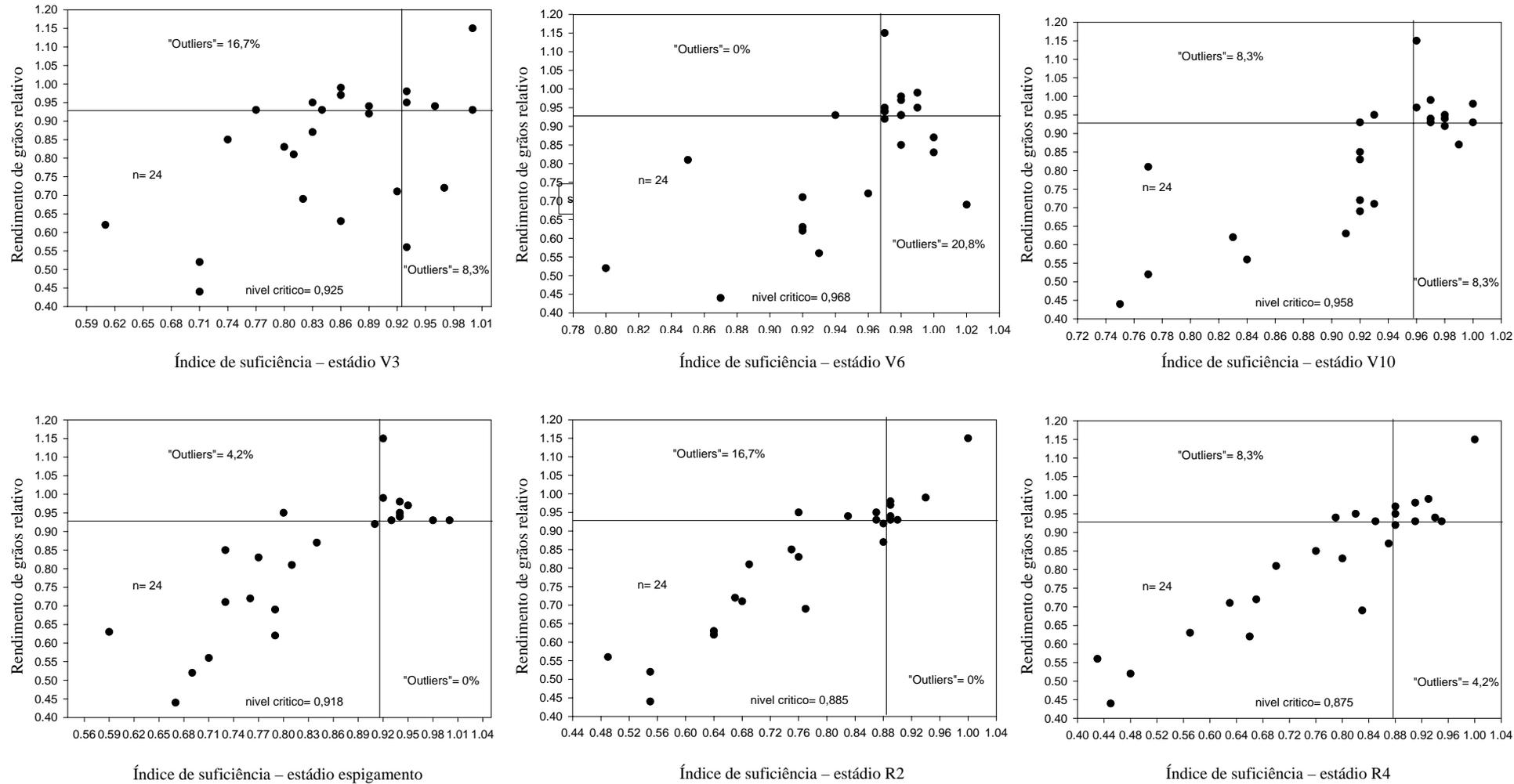


Figura 4. Análise gráfica de Cate-Nelson, modificada por Fox et al. (2001), relacionando o índice de suficiência com o rendimento de grãos relativo, por estágio de desenvolvimento, do híbrido de milho Pioneer 32R21, no Experimento II, sob nível médio de manejo. EEA/UFGRS, Eldorado do Sul (RS), 2003/04.

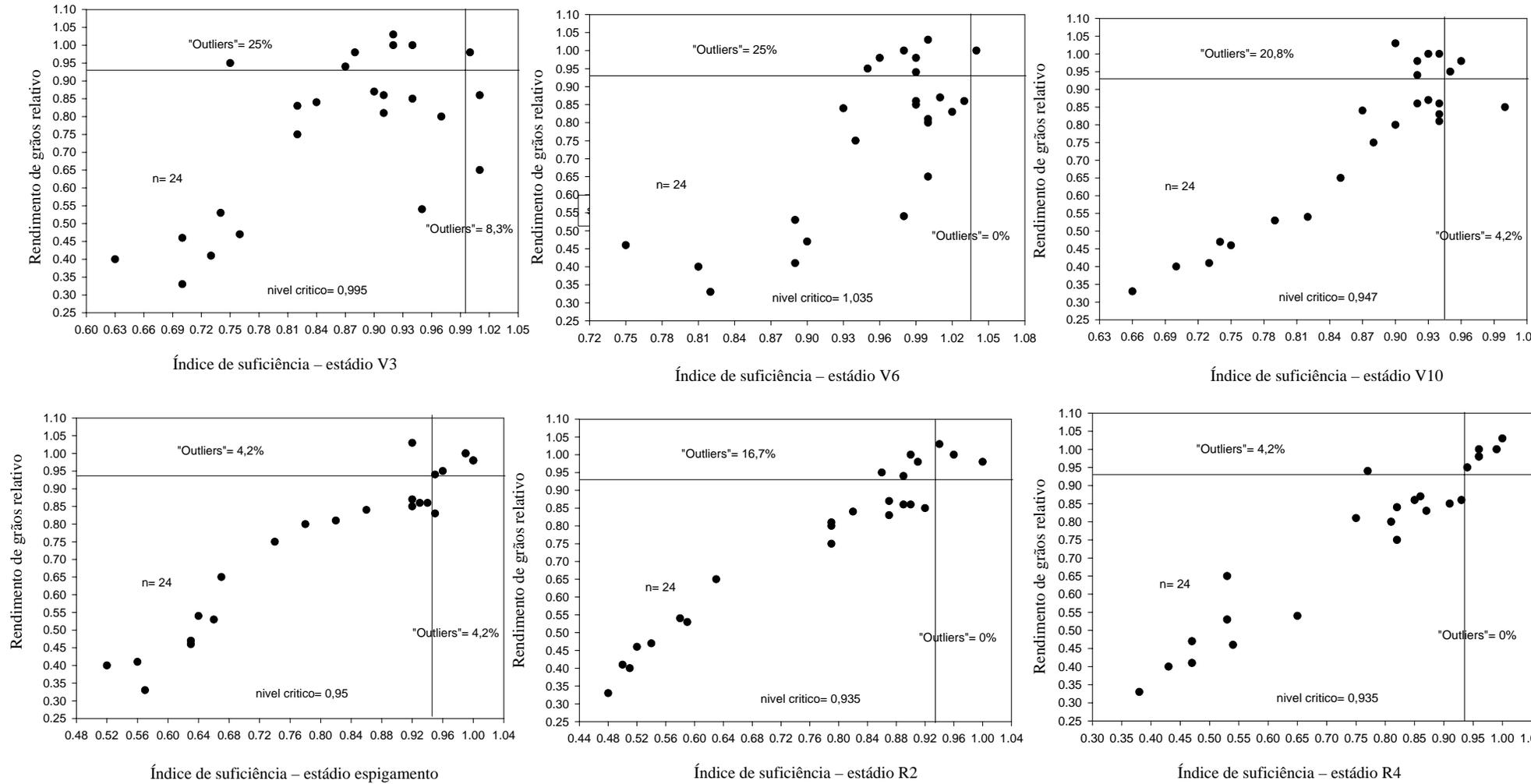


Figura 5. Análise gráfica de Cate-Nelson, modificada por Fox et al. (2001), relacionando o índice de suficiência com o rendimento de grãos relativo, por estágio de desenvolvimento, do híbrido de milho Pioneer 32R21, no Experimento III, sob nível alto de manejo. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul-RS, 2003/04.

Já na fase de florescimento, Sunderman et al. (1997) obtiveram o valor de 57,9, no início do pendoamento e, no espigamento, Argenta (2001) obteve a leitura de 58,0. Os valores críticos obtidos neste último trabalho, que foi realizado no mesmo local do presente estudo, não foram iguais aos disponíveis na literatura. Segundo Argenta (2001), as diferenças nos valores SPAD obtidos por diferentes autores no mesmo estágio da cultura devem-se ao local da folha amostrada na planta e à aplicação prévia ou não de N antes da avaliação. O tipo de híbrido adotado também pode modificar o valor do TRC crítico encontrado (Sunderman et al., 1997; Varvel et al., 1997) Além disso, este trabalho mostrou que as diferenças encontradas podem também se dar em função do nível de manejo adotado. Isto mostra que as leituras críticas do TRC devem ser determinadas por nível de manejo e tipos de híbridos, sendo de preferência regionalizadas.

Diferentemente dos níveis críticos do TRC, os valores críticos do IS diminuíram de forma linear com o decorrer do desenvolvimento da planta de milho (Figura 6). Na literatura, há divergências entre os valores críticos do IS a serem usados para monitoramento do nível de N na planta. O valor que tem sido mais utilizado como índice de suficiência, é igual a 0,95. Assim, quando o percentual relativo de clorofila da amostra situar-se abaixo de 95 % da leitura na faixa de referência, recomenda-se a aplicação da adubação nitrogenada em cobertura (Blackmer & Schepers, 1994; Waskom et al., 1996; Varvel et al., 1997). No entanto, de acordo com Rozas & Echeverría (1998), um índice de suficiência entre 0,97 e 0,98 deve ser mantido a partir do estágio de seis folhas para se alcançar 95 % do rendimento máximo. Em contrapartida, Piekielek et al. (1995) e Jemison & Lytle (1996) postulam que índices de suficiência abaixo de 0,93 indicam situações de deficiência de N, enquanto que Varvel et al. (1997) evidenciam que, se o IS for menor que 0,90 no estágio de oito folhas, a deficiência de N não poderá ser mais corrigida com adubação em cobertura para maximizar o rendimento de grãos. Em nenhum dos trabalhos citados acima foi determinado o IS crítico por estágio de desenvolvimento e por nível de

manejo adotado. Os resultados do presente trabalho, mostram que o IS crítico é modificado durante a ontogenia da planta e com o nível de manejo. Desta forma, ao se utilizar o IS no monitoramento do nível de N na planta, também devem ser considerados o estágio de desenvolvimento da planta e o nível de manejo adotado no milho.

Foram também estabelecidas relações entre os níveis de N aplicados e o TRC e o IS, em seis estádios de desenvolvimento e em dois níveis de manejo, nos dois experimentos conduzidos em 2003/04 (Tabela 24). Utilizando-se as equações de regressão entre os níveis de N aplicados e os dois índices estudados e seus níveis críticos obtidos de acordo com Feibo et al. (1998), calculou-se a dose de N a ser aplicada para cada unidade do TRC e para cada unidade centesimal do IS abaixo dos seus níveis críticos. Para tanto, inicialmente foram calculadas as doses ótimas de N para atingir o rendimento máximo de grãos utilizando-se as equações da Tabela 24 e os níveis críticos previamente obtidos (Figura 2, 3, 4 e 5). Assim, por exemplo, para o TRC no estágio V3, no nível de manejo médio, o nível crítico foi de 34,2 (Figura 2). Este valor foi aplicado na equação de regressão entre doses de N e TRC neste estágio, no nível de manejo médio ($Y = 29,48 + 0,03x$) (Tabela 24), obtendo-se a dose ótima de $157,3 \text{ kg ha}^{-1}$ de N. Após, fez-se este mesmo cálculo utilizando o valor de 33,2 (uma unidade menor que a do nível crítico), obtendo-se a dose ótima de 124 kg ha^{-1} de N. Então, por diferença, pressupõe-se que são necessários $33,3 \text{ kg ha}^{-1}$ de N para cada unidade do TRC, medida neste estágio e no nível de manejo médio, menor do que o nível crítico (Tabela 25). Quando o valor obtido for superior ao do nível crítico, não há necessidade de aplicação de N.

Tabela 24. Equações de regressão e coeficientes de determinação (R^2) entre os dois índices do teor relativo de clorofila na folha (y) e os níveis de N aplicados (x), por estágio de desenvolvimento do híbrido de milho Pioneer 32R21 nos experimentos conduzidos no ano agrícola 2003/04. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul-RS

Índice avaliado	Estádio de desenvolvimento ¹											
	Experimento II – Médio nível de manejo											
	V3		V6		V10		Espigamento		R2		R4	
	Equação ²	R ²	Equação	R ²								
Teor relativo de clorofila na folha	Y= 29,48 +0,03x	0,16 *	Y= 45,15 +0,03x	0,41 **	Y= 45,42 +0,06x	0,58 **	Y= 32,81 +0,09x	0,68 **	Y= 32,93 +0,13x	0,77 **	Y= 31,44 +0,14x	0,66 **
Índice de suficiência	Y= 0,80 +0,0008x	0,16 *	Y= 0,91 +0,0007x	0,41 **	Y= 0,85 +0,0011x	0,58 **	Y= 0,71 +0,0018x	0,68 **	Y= 0,62 +0,0024x	0,77 **	Y= 0,60 +0,0027x	0,66 **
	Experimento III – Alto nível de manejo											
Teor relativo de clorofila na folha	Y= 30,58 +0,03x	0,32 **	Y= 45,01 +0,03x	0,46 **	Y= 43,62 +0,05x	0,58 **	Y= 35,78 +0,10x	0,81 **	Y= 34,88 +0,12x	0,83 **	Y= 30,53 +0,13x	0,78 **
Índice de suficiência	Y= 0,78 +0,0008x	0,32 **	Y= 0,88 +0,0006x	0,46 **	Y= 0,78 +0,0009x	0,58 **	Y= 0,62 +0,0018x	0,81 **	Y= 0,56 +0,0020x	0,83 **	Y= 0,52 +0,0022x	0,78 **

¹ Segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993) ²Numero de amostras= 24

** Significativo ao nível de 1%. * Significativo ao nível de 5%.

Por fim, fez-se a regressão entre as doses ótimas de N calculadas, que devem ser aplicadas a cada unidade menor que a dos valores críticos estabelecidos neste trabalho, para os dois índices estudados, em dois níveis de manejo, em função dos dias após a emergência correspondentes aos estádios de desenvolvimento em que as leituras dos índices TRC e IS foram realizadas (Figura 6). As equações encontradas mostraram relação linear negativa entre doses ótimas e dias após a emergência, para os dois índices, nos dois níveis de manejo.

Isto significa que as doses de N a serem aplicadas quando as leituras do clorofilômetro, para os dois índices estudados, forem inferiores aos valores críticos, diminuirão com o decorrer do desenvolvimento da planta de milho, nos dois níveis de manejo. Assim, por exemplo, uma unidade inferior ao do valor crítico do TRC no estágio de espigamento significa que a dose de N a ser aplicada é muito diferente da dose de N a ser aplicada quando a leitura do clorofilômetro indicar uma unidade abaixo do valor crítico no estágio V6 (Tabela 25). Estes resultados indicam que a demanda da planta por N é diferente durante a sua ontogenia, pois o seu teor mínimo na planta para atingir o rendimento máximo de grãos (nível crítico) e a dose ótima deste nutriente para alcançá-lo quando o seu teor estiver abaixo do valor crítico é variável com o estágio de desenvolvimento da planta.

Este estudo mostra a possibilidade de monitoramento do nível de N da planta de milho, através dos dois índices estudados, como indicadores da necessidade e da dose de N a ser aplicada em cobertura. Este tipo de metodologia foi idealizada para ser adotada em situações em que se possa fazer monitoramento da lavoura durante todo o seu ciclo, utilizando a estratégia denominada de “adubar quando necessário”, efetivada especialmente sob condições de fertirrigação (Blackmer & Schepers, 1994). Neste contexto, alguns autores, tais como, Blackmer & Schepers (1994) e Varvel et al. (1997),

particularmente para o IS, já haviam recomendado que, quando for indicada a necessidade de adubação nitrogenada pelo IS menor ou igual a 0,95, deve ser adicionado 30 kg ha⁻¹ de

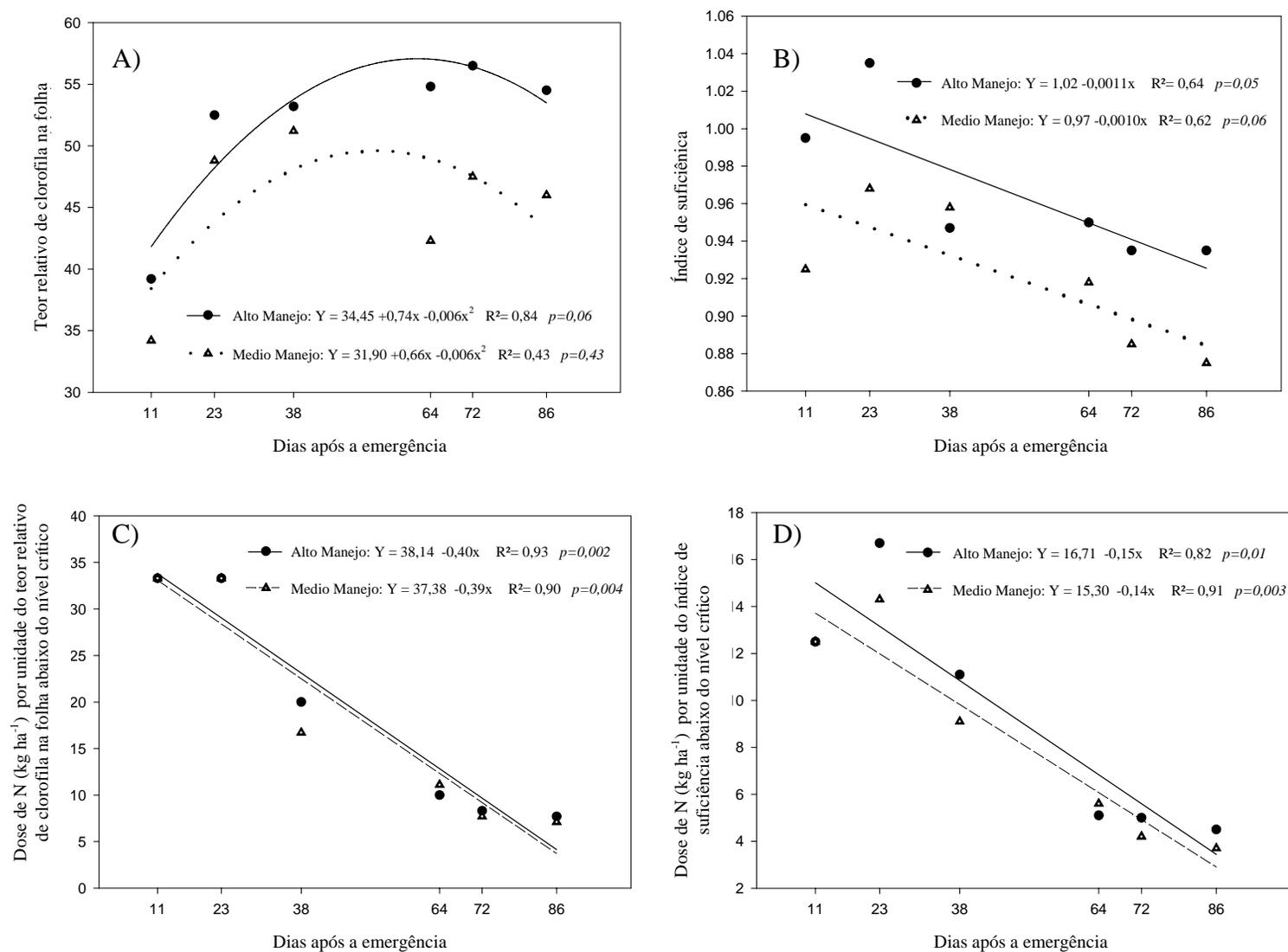


Figura 6. Valores críticos do teor relativo de clorofila na folha (TRC) (A) e do índice de suficiência (IS) (B), e de doses de N a serem aplicadas a cada unidade do TRC (C) e a cada unidade centesimal do IS (D) menores que seus níveis críticos, em função de estádios de desenvolvimento do híbrido de milho Pioneer 32R21, nos Experimento II (nível de manejo médio) e no Experimento III (nível de manejo alto). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul (RS), 2003/04. Os dias 11, 23, 38, 64, 72 e 86 após a emergência, correspondem, respectivamente, aos estádios de desenvolvimento V3, V6, V10, espigamento, R2 e R4.

Tabela 25. Valores críticos e doses de N a serem aplicadas por unidade do teor relativo de clorofila na folha e por unidade centesimal do índice de suficiência abaixo dos seus valores críticos, por estágio de desenvolvimento, do híbrido Pioneer 32R21, nos dois experimentos conduzidos no ano agrícola de 2003/04. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul-RS, 2003/04

Índice avaliado	Estádio de desenvolvimento ¹											
	Experimento II – Médio nível de manejo											
	V3		V6		V10		Espigamento		R2		R4	
	Valor crítico	Dose de N (kg ha ⁻¹) ²	Valor crítico	Dose de N (kg ha ⁻¹)	Valor crítico	Dose de N (kg ha ⁻¹)	Valor crítico	Dose de N (kg ha ⁻¹)	Valor crítico	Dose de N (kg ha ⁻¹)	Valor crítico	Dose de N (kg ha ⁻¹)
Teor relativo de clorofila na folha	34,2	33,3	48,8	33,3	51,2	16,7	42,3	11,1	47,5	7,7	46,0	7,1
Índice de suficiência	0,92	12,5	0,97	14,3	0,96	9,1	0,92	5,6	0,88	4,2	0,88	3,7
	Experimento III – Alto nível de manejo											
Teor relativo de clorofila na folha	39,2	33,3	52,5	33,3	53,2	20	54,8	10	56,5	8,3	54,5	7,7
Índice de suficiência	1,0	12,5	1,0	16,7	0,95	11,1	0,95	5,1	0,94	5,0	0,94	5,0

¹ Segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993). ² Dose de N ha⁻¹ a ser aplicada para cada unidade do teor relativo de clorofila na folha e do índice de suficiência menores que as dos níveis críticos.

N através da fertirrigação. Porém, desconhecem-se trabalhos que tenham estabelecido precisamente a dose a ser aplicada em função do valor crítico do TRC, por estágio de desenvolvimento da planta e por nível de manejo. Além disso, pressupõe-se que, mesmo quando o monitoramento for parcial, por exemplo, em situações que seja possível a aplicação do N somente até o estágio V10 (limite máximo para entrada do trator na lavoura), essa metodologia seja viável e aumente a eficiência de uso do N pelo milho.

Alguns autores verificaram que o uso do teor relativo de clorofila na folha, avaliado pelo clorofilômetro, não foi eficiente para separar plantas de milho com e sem deficiência de N no início de seu ciclo. Nesse sentido, Waskom et al. (1996) e Rozas & Echeverria (1998) consideraram o estágio V6 inadequado para separar áreas de lavouras com plantas deficientes daquelas bem supridas em N, utilizando este equipamento. Provavelmente, isto se deve ao fato do N não ser limitante até este estágio, principalmente quando se tem uma espécie leguminosa como antecessora (Waskom et al., 1996; Argenta, 2001). Além disto, na fase inicial de desenvolvimento da planta grande parte do N está associado ao nitrato e não à molécula de clorofila (Dwyer et al., 1995). No presente trabalho, as relações entre as leituras do TRC, para os dois índices avaliados, com o rendimento de grãos sob alto manejo apresentaram coeficientes de determinação superiores a 0,55. Porém, sob condições de médio nível de manejo estas relações foram menores ($R^2 < 0,40$), o que indica que a eficiência do uso do clorofilômetro também depende do nível de manejo adotado (Tabela 23).

Mesmo havendo menor eficiência do uso do clorofilômetro no início do ciclo de desenvolvimento do milho, recomenda-se que o monitoramento do nível de N na planta seja iniciado já nos estágios iniciais de desenvolvimento, especialmente a partir de V6. Nesta fase, acentua-se a absorção de N pela planta (Piekielek et al., 1995; Blackmer & Schepers, 1994) e ocorre a diferenciação do pendão (Silva, 2001). O monitoramento precoce é importante para que eventuais deficiências de N identificadas na fase inicial

possam ser corrigidas a tempo de não comprometer o desempenho da cultura (Varvel et al., 1997; Binder et al., 2000). Como a relação dos dois índices avaliados com rendimento de grãos se mostrou similar nos dois níveis de manejo adotados neste trabalho, a escolha do índice a ser usado para monitoramento do nível de N dependerá da disponibilidade de valores críticos para a região e do tipo de híbrido de milho cultivado.

5.6. CONCLUSÕES

A metodologia utilizada para determinação dos níveis críticos do teor relativo de clorofila na folha e do índice de suficiência, medidos pelo clorofilômetro, é eficiente e versátil para obtenção de níveis críticos do nível de N na planta, em diferentes estádios de desenvolvimento e níveis de manejo na cultura do milho.

Os valores críticos do teor relativo de clorofila na folha e do índice de suficiência variam com o estágio de desenvolvimento e com o nível de manejo adotado na cultura do milho.

A metodologia utilizada para determinar a dose de N a ser aplicada com base nos dois índices do teor relativo de clorofila na folha indica que é possível o seu uso para estabelecimento de estratégias de manejo de adubação de N em milho com base no monitoramento do seu nível na planta.

A metodologia proposta para determinação dos níveis críticos e das doses ótimas de aplicação de N, poderiam ser utilizadas na estratégia de manejo “adubar quando é necessário”, visando maior eficiência de uso do N.

6. CAPÍTULO V

PREDIÇÃO DE DOSES ÓTIMAS DE ADUBAÇÃO NITROGENADA EM COBERTURA EM MILHO COM BASE EM INDICADORES DE SOLO E DE PLANTA

PREDICTION OF OPTIMUM SIDE DRESS NITROGEN RATES IN CORN BASED ON SOIL AND PLANT CHARACTERISTICS

6.1. RESUMO

Características de solo e de planta têm sido estudadas para diagnosticar a melhor época de aplicação de N em milho. No entanto, poucos trabalhos têm sido realizados usando estas características para determinação das doses de N a serem aplicadas nesta cultura. Este trabalho teve como objetivos: (i) testar uma metodologia para determinar doses ótimas de N a serem aplicadas em cobertura no milho no estágio V6, com base em características de solo e de planta e (ii) verificar quais os indicadores mais precisos da dose de N a ser aplicada. Foi conduzido um experimento a campo, em Eldorado do Sul-RS, nas estações de crescimento 2002/03 e 2003/04. Os tratamentos constaram de cinco níveis de N, aplicados em duas épocas (época 1= 20% na semeadura + 80% em cobertura no estágio V3 e época 2= 100% em cobertura no estágio V6). As determinações realizadas, no estágio V6, foram: teor relativo de clorofila na folha, medido pelo clorofilômetro, massas seca na folha e na planta, teor e N acumulado na folha e na planta, teores de nitrato, amônio e N mineral (nitrato + amônio) no solo e rendimento de grãos de milho. Para estabelecimento dos princípios de um sistema de predição de doses ótimas de N em cobertura para a cultura do milho com base em características de solo e de planta foi utilizada metodologia disponível na literatura, desenvolvida para cereais de inverno. O rendimento de grãos foi significativamente afetado pelas doses de N aplicadas e houve interação entre doses aplicadas nos estádios V3 e V6 para esta variável, o que viabilizou a aplicação do sistema de predição de doses de N nos dois anos agrícolas. Dentre as características avaliadas, os mais precisos para predição das doses ótimas de N em cobertura em milho foram a massa seca e o N acumulado na planta, seguidos pelo teor relativo de clorofila na folha. Os resultados mostraram que é possível desenvolver e/ou adaptar uma metodologia para predição de doses ótimas de N em cobertura em milho, a partir de características de planta e de solo. Porém, existem várias restrições de exequibilidade pela necessidade de condução de experimentos de grande dimensão, em vários locais, anos e situações de manejo.

Termos para indexação: *Zea mays*, dose de aplicação de N em cobertura, teor relativo de clorofila na folha, teor de N mineral no solo.

6.2. ABSTRACT

Soil and plant characteristics have been studied to evaluate the best time for applying N in corn. However, few studies have been done using these characteristics aiming to determine

N rate application. The objectives of this study were: (i) to test one methodology to determine N optimum rate to side dress at V6 using soil and plant characteristics; and (ii) to verify which are the most precise indicator of N rate application. One field experiment was conducted in Eldorado do Sul, State of Rio Grande do Sul, Brazil, in the 2002/03 and 2003/04 growing seasons. The treatments were five nitrogen levels applied in two timing (time 1= 20% at sowing + 80% at V3 and time 2= 100% at V6). Leaf relative chlorophyll content, measured by chlorophyll meter; leaf and plant dry weight; N content and accumulated in the leaf and plant; soil nitrate, ammonium and N mineral contents (nitrate + ammonium), were measured at V6; and corn grain yield, was determined at harvesting. In order to establish the principles of a prediction system to side dress optimum N rates for corn based on soil and plant characteristics a methodology developed for winter cereals was used. It was possible to apply the prediction system of optimum N rate because corn grain yield was affected by N rates and because there was interaction between timing of N application (V3 and V6) for this variable, in the two growing seasons. Among the evaluated characteristics, the most precise to predict optimum N rate for side dressing in corn were plant dry weight, N accumulated in the plant and leaf relative chlorophyll content. The results showed that is possible to adapt or to develop a methodology to predict the optimum N rates for side dressing using soil and plant characteristics. However, there are many practical restrictions because the methodology needs large experiments conducted in different management conditions, years and locations.

Index terms: *Zea mays*, timing and rate of N side dress, leaf relative chlorophyll content, soil mineral N content.

6.3. INTRODUÇÃO

Em alguns estados do Brasil, o teor de matéria orgânica (MO) vem sendo utilizado como principal parâmetro indicativo da liberação de N pelo solo durante a estação de cultivo, pois fornece estimativa indireta do solo em fornecer N. O uso do teor de MO e, mais recentemente, da cultura anterior como critérios indicativos da disponibilidade potencial de N no solo (Amado et al., 2002) estão fundamentados na premissa de que o N presente na MO e na fitomassa das culturas antecedentes irá ser mineralizado em tempo hábil para ser absorvido pelas plantas (Amado, 1997).

Entretanto, fatores de solo e de clima afetam a mineralização do N presente na MO e nos resíduos vegetais das culturas de cobertura. A acidez (pH), a textura e a mineralogia, entre outros, são parâmetros de solo que podem afetar a taxa de decomposição da MO e dos resíduos culturais (Stevenson, 1994; Bayer, 1996). Em regiões de clima úmido, a temperatura é o fator climático mais determinante da taxa de mineralização do N orgânico, a qual varia na ordem de duas vezes para cada variação de 10° C (Jenkinson & Ayanaba,

1977). Desta forma, a influência das variações de parâmetros de solo, tais como acidez, textura e mineralogia, e de parâmetros climáticos, tais como temperatura, na mineralização de N indica que o uso isolado do teor de MO do solo e/ou cultura anterior pode não ser adequado para avaliar a sua disponibilidade real para as plantas (Pottker & Roman, 1994). Assim, pode ser benéfica a inclusão de outros parâmetros como critérios de manejo de N em milho.

Indicadores de solo e de planta têm sido utilizados para monitorar a disponibilidade de nitrogênio (N) e auxiliar na decisão sobre a dose e época de sua aplicação, para obtenção do rendimento de grãos máximo, com maior eficiência de uso do N e mínimo impacto ambiental. Em geral, características de solo predizem com maior segurança a dose de N a ser aplicada e, os de planta, a sua época de aplicação (Waskom et al., 1996; Sunderman et al., 1997, Schröder et al., 2000).

Vários trabalhos vêm sendo conduzidos, principalmente em países onde se aplicam doses mais elevadas de N na agricultura, para se buscar características de solo e de planta que possam ser usadas para prever a necessidade de aplicação de N em milho. Entre as características de planta mais utilizadas como indicadores do nível de N estão o teor de nitrato no colmo (Ivern et al. 1985; Binford et al., 1990; Bundy & Andraski, 1993), a massa seca e o teor e a quantidade de N acumulada no tecido (Binford et al., 1992; Roberts & Rhee, 1993; Blackmer & Schepers, 1994; Soltanpour et al., 1995; Waskom et al., 1996; Bredemeier, 1999) e a intensidade da cor verde da folha. Esta última característica pode ser determinada através de mensurações de reflectância (Mass & Dunlap, 1989; Ma et al., 1996), de absorção e de transmitância da folha (Blackmer & Schepers, 1995; Jemison & Lytle, 1996; Waskom et al., 1996; Sunderman et al., 1997; Varvel et al., 1997; Bullock & Anderson, 1998; Argenta et al., 2001).

Dentre as características que se baseiam na intensidade da cor verde da folha, destaca-se o uso do medidor portátil de clorofila (clorofilômetro), que permite medições

instantâneas do valor correspondente ao seu teor na folha e está correlacionado com rendimento de grãos. Este equipamento tem sido usado para predizer a necessidade de adubação nitrogenada em cobertura em várias culturas, dentre os quais o milho (Piekielek & Fox, 1992; Smeal & Zang 1994; Blackmer & Schepers, 1994, 1995; Waskom et al., 1996; Varvel et al., 1997; Fox et al., 2001; Costa et al., 2001; Zebarth et al., 2002; Argenta et al., 2003).

Dentre as características de solo utilizadas como indicadores do nível de N no solo, o teor de N mineral, especialmente o de nitrato, tem sido mais estudado. O uso mais freqüente do nitrato decorre da disponibilidade de testes rápidos para sua determinação (Roth et al., 1991; Roth et al., 1992; Sims et al., 1995) e do fato de que, grande parte do N mineral do solo, estar sob a forma de nitrato (Blackmer et al., 1989; Sims et al., 1995; Ma & Dwyer, 1999).

Na literatura, dispõe-se de uma metodologia para determinar a dose de N a ser aplicada em cobertura em cereais, com base em características de planta (Scharf et al. 1993; Sharf & Alley, 1993; Bredemeier, 1999). Ela já foi usada, testando características de planta em trigo, cevada e aveia (Scharf et al. 1993; Sharf & Alley, 1993; Bredemeier, 1999). Para essas culturas, foram também usadas características de solo (Sharf & Alley, 1993; Bredemeier, 1999). No entanto, desconhecem-se estudos que tenham utilizado esta metodologia na cultura do milho. Nesse sentido, este trabalho teve como objetivos (i) testar uma metodologia para determinar as doses ótimas de N a serem aplicadas em cobertura no milho no estágio V6, com base em características de solo e de planta e (ii) verificar, dentre as características de solo e planta avaliadas, quais os mais precisos para serem usados como indicadores da dose de N a ser aplicada nessa cultura.

6.4. MATERIAL E MÉTODOS

Foi conduzido um experimento a campo sob alto nível de manejo, na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do

Sul, localizada no município de Eldorado do Sul, região ecoclimática da Depressão Central do estado do Rio Grande do Sul, nas estações de crescimento 2002/03 e 2003/04. As características de solo da área experimental estão descritas no Capítulo I.

Os tratamentos constaram de cinco níveis de N (0, 50, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹), aplicados em duas épocas na cultura do milho (época 1= 20% na semeadura + 80% em cobertura no estádio V3 e época 2= 100% em cobertura no estádio V6), segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993). Os tratamentos foram arranjos num experimento fatorial 5x5, disposto no delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições. Na época 1, 20 % da dose total de N foi aplicado na semeadura do milho, ou seja, 10, 20, 40 e 60 kg ha⁻¹ de N nos tratamentos correspondentes às doses de 50, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹, respectivamente, e o restante no estádio V3. Na época 2, os níveis de N (0, 50, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹) foram aplicados em dose única no estádio V6.

No ano agrícola 2002/03, foi semeado o híbrido simples Pioneer 32R21, de ciclo superprecoce, no dia 15 de outubro de 2002, em sistema de semeadura direta, em sucessão à aveia preta (3,4 t ha⁻¹ de rendimento de massa seca), no espaçamento de 0,7 m e na densidade de 65000 pl ha⁻¹. A adubação com fósforo e potássio foi realizada na linha, por ocasião da semeadura, constando de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e de 60 kg ha⁻¹ de K₂O. No ano agrícola 2003/04, foi utilizado o mesmo híbrido utilizadas no ano anterior, sendo que a semeadura direta foi realizada no dia 07 de outubro de 2003, em sucessão à aveia preta (5,2 t ha⁻¹ de rendimento de massa seca), nos mesmos espaçamento e densidade de plantas do ano anterior. A adubação com fósforo e potássio foi realizada da mesma forma que no ano anterior, porém utilizando as doses de 105 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 150 kg ha⁻¹ de K₂O. Foram realizados controle de plantas daninhas e de pragas para que não interferissem no desenvolvimento da planta e na expressão do efeito de doses de N aplicadas no rendimento de grãos. Nos dois anos, experimento foi irrigado por aspersão quando o potencial de água no solo era inferior a - 0,04 Mpa.

Nos dois anos agrícolas, determinou-se no estágio V6: teor relativo de clorofila na folha (TRC), massas seca da sexta folha completamente desenvolvida e da planta, teor e N acumulado na folha e na planta, teores de nitrato, amônio e N mineral no solo e rendimento de grãos.

O TRC, medido com clorofilômetro, modelo Minolta SPAD-502, foi determinado a partir da leitura em cinco plantas por parcela, de acordo com metodologia proposta por Argenta (2001). As massas secas, os teores de N e as quantidades de N acumuladas na sexta folha completamente desenvolvida e na planta foram determinadas de acordo com a metodologia descrita no Capítulo I. Os teores de nitrato e amônio no solo e o rendimento de grãos foram determinados de acordo com a metodologia descrita no Capítulo II.

Para estabelecimento dos princípios de um sistema de predição de doses ótimas de N em cobertura para milho com base em características de solo e de planta, foi utilizada a mesma metodologia proposta por Scharf et al. (1993), Sharf & Alley (1993) e por Bredemeier (1999) para trigo. Para tanto, inicialmente foram determinadas as doses ótimas de N em cobertura para a segunda época de aplicação (estádio V6), para cada uma das doses de N aplicadas na primeira época (semeadura + doses aplicadas no estágio V3). Considerou-se como dose ótima aquela que resulta em maior rendimento de grãos com a menor dose de N aplicada. As doses ótimas foram obtidas pela análise de regressão, quando significativa, entre os níveis de N e o rendimento de grãos ou pelo teste de comparação de médias, quando a regressão não foi significativa, para avaliar o efeito de doses de N no rendimento de grãos. Desta forma, no primeiro ano, as doses ótimas foram obtidas pelas equações de regressão para os níveis de 0 e 50 kg ha⁻¹ e, pelo teste de Duncan a 5%, para os níveis de 100, 200 e 300 kg ha⁻¹. Já no segundo ano, as doses ótimas para os níveis 0, 50 e 100 kg ha⁻¹ foram obtidas pelas equações de regressão e, para os níveis de 200 e 300 kg ha⁻¹, foram obtidas pelo teste de Duncan a 5%. Após, as doses

ótimas foram correlacionadas com os valores das características de solo e de planta avaliadas no momento da aplicação da segunda dose de N em cobertura (estádio V6).

No entanto, é importante salientar que esta metodologia só pode ser usada quando houver significância da interação entre as duas épocas de aplicação de N para a variável rendimento de grãos. Neste caso, a interação entre as doses de N aplicadas na emergência mais as aplicadas no estágio V3 (primeira época) com as doses de N aplicadas no estágio V6 (segunda época), que era o estágio em que se desejava determinar as doses ótimas. Assim, os dados obtidos para a variável rendimento de grãos foram submetidos à análise de variância pelo teste F, a 5% de probabilidade.

6.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos dois anos agrícolas, o rendimento de grãos de milho foi significativamente afetado pelas doses de N aplicadas e pela interação entre as doses aplicadas nos estádios V3 e V6 (Tabela 26). O rendimento de grãos médio foi bastante similar nos dois anos agrícolas. Esta interação entre as doses aplicadas nos dois estádios possibilitou o estabelecimento do sistema de predição de doses de N para os dois anos agrícolas. Inicialmente, determinou-se as doses ótimas de N para cada dose de N aplicada no estágio V3 (Tabela 27). Considerou-se dose ótima a que resulta em maior rendimento de grãos com a menor dose de N aplicada.

Tabela 26. Análises de variância, média e coeficiente de variação (CV), do rendimento de grãos do híbrido de milho Pioneer 32R21, durante dois anos agrícolas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul-RS

Fonte de variação	Significância	
	Ano 2002/03	Ano 2003/04
Blocos	Ns	*
Dose de N - estágio V3	*	*
Dose de N - estágio V6	*	*
Interação entre doses de N (V3 e V6)	*	*
Média (t ha ⁻¹)	10,62	10,39
CV (%)	9,6	8,9

* Significativo ao nível de 5%. ns – Não significativo ao nível de 5%.

As doses ótimas de N obtidas nos dois anos diferiram muito (Tabela 27). No primeiro ano, as doses ótimas de N variaram de 0 a 224 kg ha⁻¹, enquanto que no segundo ano variaram de 200 para mais de 300 kg ha⁻¹ de N (Tabela 27). Assim, no ano agrícola 2003/04, houve maior necessidade de N a ser aplicado no estágio V6 para atingir o rendimento de grãos máximo, comparado com o ano anterior. Uma das explicações pode ter sido em função da diferença na quantidade de cobertura de solo de inverno anterior ao milho, entre os anos. Nos dois anos, o milho foi cultivado em sistema de semeadura direta em sucessão à aveia preta. Porém no primeiro ano, o rendimento de massa seca foi de 3,4 t ha⁻¹ enquanto que no segundo ano foi de 5,2 t ha⁻¹, portanto, cerca de 35% maior.

Tabela 27. Doses ótimas de N para cada nível de N aplicado no estágio V3, em dois anos agrícolas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul - RS

Ano agrícola	Nível de N aplicado no estágio V3 - kg ha ⁻¹				
	0	50	100	200	300
	Dose ótima de N para o estágio V6 - kg ha ⁻¹				
2002/03	224	221	100	0	0
2003/04	318	271	231	200	200

Esta maior quantidade de resíduos de aveia preta sobre o solo no ano de 2003 na semeadura e durante o ciclo de desenvolvimento do milho pode ter determinado a maior necessidade de N no estágio V6. Os resíduos de aveia preta têm alta relação C:N, imobilizando grande parte do N disponível no solo. A adição de quantidades elevadas de resíduos com alta relação C:N faz com que os organismos quimiorganotróficos que atuam na decomposição da matéria orgânica, se multipliquem gradativamente, produzindo CO₂ em grande quantidade. Como consequência, o nitrato e o amônio presentes no solo diminuem significativamente. Isto pode ser confirmado ao se comparar os valores de teor de N mineral no solo determinado no estágio V6, previamente à aplicação da segunda dose de N em cobertura. No ano de 2002/03, os valores de teor de N mineral no solo variaram

de 30 a 47 mg kg⁻¹, enquanto que no segundo ano os valores foram menores, variando de 16 a 33 mg kg⁻¹ (Tabela 28). Além disso, pode-se verificar que a disponibilidade de N na planta também foi menor no segundo ano (119 a 445 mg de N planta⁻¹) em relação ao primeiro (122 a 552 mg de N planta⁻¹) no estágio V6, mostrando que a variação entre anos não foi em função de diferenças na velocidade de absorção de N, mas sim da sua disponibilidade no solo.

Tabela 28. Médias das características de planta e de solo determinadas no estágio V6 do híbrido de milho Pioneer 32R21 para cada nível de N aplicado no estágio V3, em dois anos agrícolas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS

Características avaliadas	Ano agrícola	Níveis de N aplicado no estágio V3 (kg ha ⁻¹)				
		0	50	100	200	300
Massa seca na sexta folha (g)	2002/03	0,49	0,77	0,91	1,04	1,03
	2003/04	0,76	0,80	0,77	0,93	1,05
Massa seca na planta (g)	2002/03	4,37	8,42	15,0	17,1	16,5
	2003/04	2,07	3,76	4,58	5,64	6,05
N acumulado na folha (mg)	2002/03	14,2	27,8	33,6	35,7	34,0
	2003/04	25,9	27,4	30,3	31,4	39,9
N acumulado na planta (mg)	2002/03	121,6	287,6	507,6	557,1	552,3
	2003/04	119,2	227,2	304,4	377,9	444,7
Teor de N na sexta folha (%)	2002/03	2,82	3,63	3,66	3,41	3,25
	2003/04	3,23	3,42	3,86	3,32	3,88
Teor de N na planta (%)	2002/03	2,62	3,42	3,41	3,24	3,40
	2003/04	5,75	6,10	6,65	6,92	7,38
Leitura do clorofilômetro (SPAD)	2002/03	40,1	47,9	51,5	53,8	52,8
	2003/04	36,0	42,4	48,3	47,4	49,5
Teor de nitrato no solo (mg kg ⁻¹)	2002/03	13,6	19,1	17,8	19,4	19,8
	2003/04	8,77	10,7	14,1	14,1	16,1
Teor de amônio no solo (mg kg ⁻¹)	2002/03	16,3	22,5	21,8	23,4	27,5
	2003/04	7,61	9,94	17,0	19,2	17,3
Teor de N mineral no solo (mg kg ⁻¹)	2002/03	29,9	41,6	39,5	42,8	47,3
	2003/04	16,4	20,6	31,1	33,3	33,4

Nas Figuras 7 e 8 (2002/03) e 9 e 10 (2003/04) encontram-se as regressões entre as doses ótimas de N para cada dose aplicada no estádio V3 com as características de planta e de solo determinadas no estádio V6 (Tabela 28), antes da aplicação da segunda época de N. Verificou-se que a dose ótima de N diminuiu linearmente com o aumento do valor da característica avaliada nos dois anos. Dentre as características de planta testadas no primeiro ano (Figuras 7 e 8), os melhores para predizer as doses ótimas de N em cobertura no estádio V6 foram: massas seca da folha e da planta, teores de N acumulados na folha e na planta e teor relativo de clorofila na folha ($R^2 > 0,60$). As características de solo teores de nitrato, amônio e N mineral apresentaram resultados intermediários ($R^2 < 0,60$). As características de planta, teor de N na folha e na planta não foram bons preditores das doses ótimas de N ($R^2 < 0,25$).

No segundo ano agrícola (Figuras 9 e 10), as características de planta que melhor predizeram as doses ótimas de N a serem aplicadas em cobertura foram: massa seca da planta, N acumulado na planta, teor de N na planta e teor relativo de clorofila na folha ($R^2 > 0,90$). Já, as características N acumulado na folha, teor de N na folha e massa seca da folha não apresentaram boa relação com as doses ótimas. Diferentemente do ano anterior, as características de solo, teores de N mineral, amônio e de nitrato apresentaram alta relação com as doses ótimas de N ($R^2 > 0,90$).

Considerando os dois anos de estudo, as características que apresentaram melhor consistência dos resultados, ou seja, que melhor predizeram as doses ótimas de N em cobertura no estádio V6, foram massa seca e N acumulado na planta, seguidos pelo teor relativo de clorofila na folha. Surpreendentemente, as características de planta apresentaram resultados mais consistentes que os de solo, pois estes últimos apresentaram bons resultados somente no segundo ano agrícola.

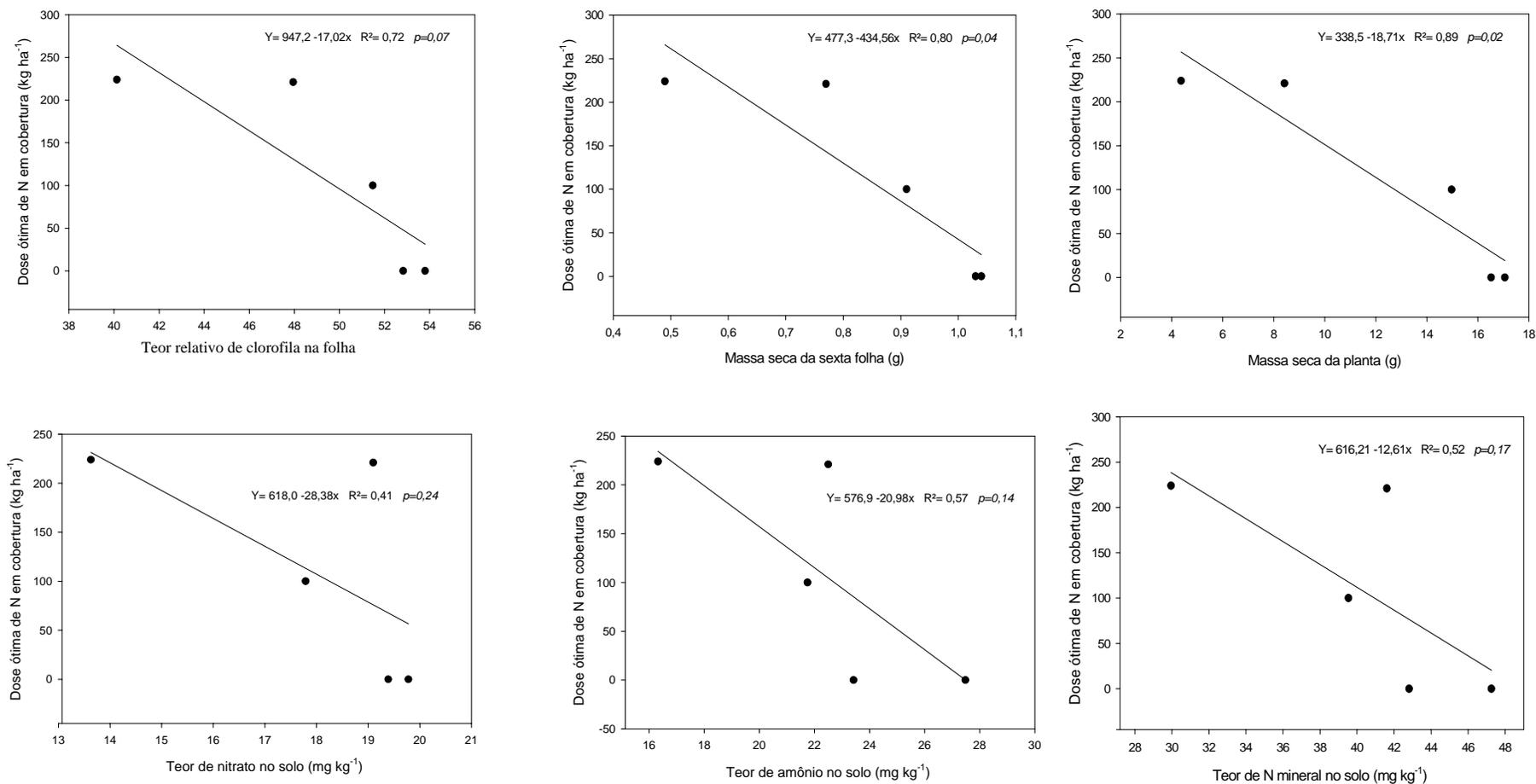


Figura 7. Doses ótimas de N a serem aplicadas em cobertura em função dos valores do teor relativo de clorofila na folha, massas seca da folha e da planta e teores de nitrato, amônio e N mineral no solo obtidos no estágio V6 do híbrido de milho Pioneer 32R21, no ano agrícola 2002/03. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS.

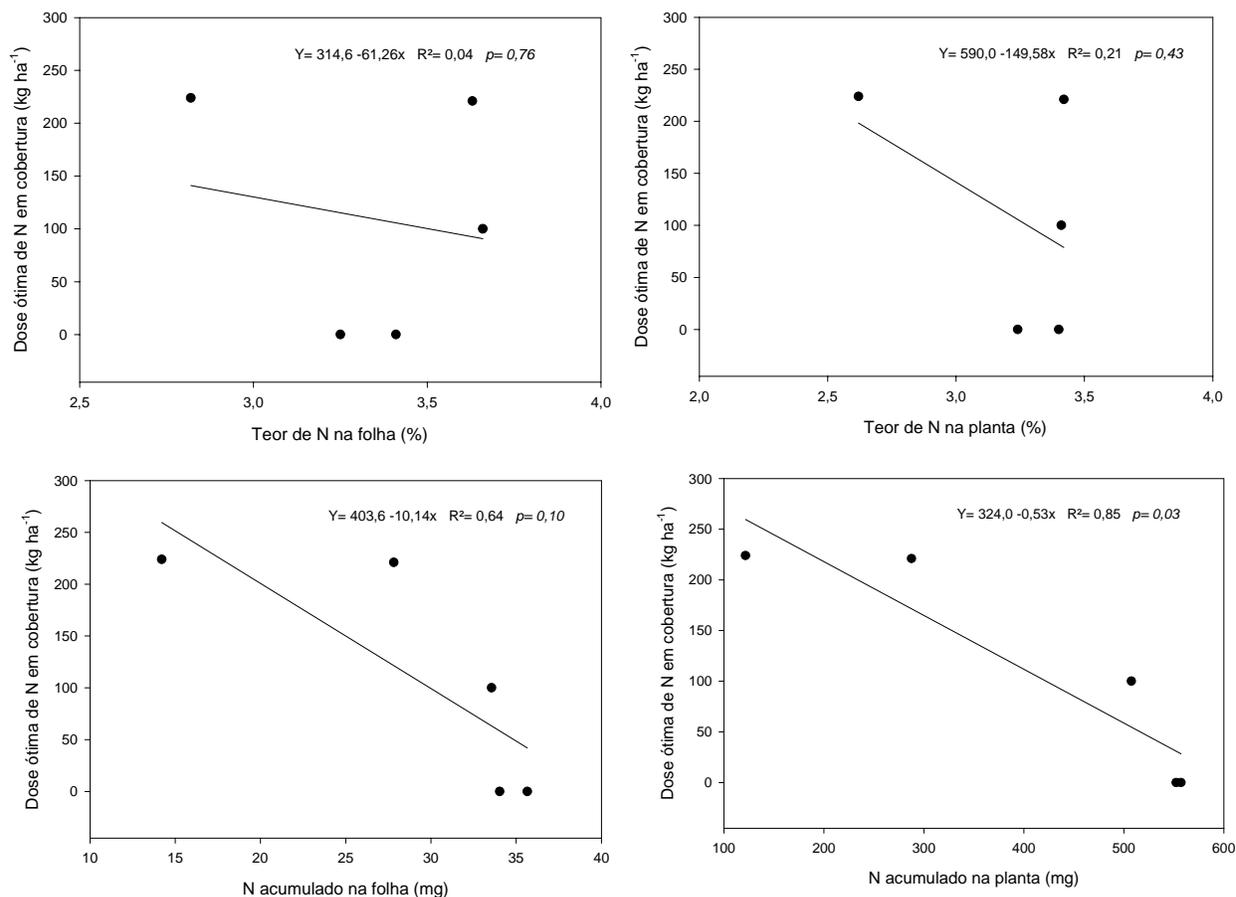


Figura 8. Doses ótimas de N a serem aplicadas em cobertura em função dos teores de N na folha e na planta e das quantidades de N acumulado na folha e na planta obtidos no estágio V6 do híbrido de milho Pioneer 32R21, no ano agrícola 2002/03. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS.

Apesar de não terem apresentado resultados consistentes nos dois anos, as características de solo avaliadas (teores de nitrato, amônio e N mineral (nitrato + amônio)) foram escolhidas para testar porque podem, especialmente o teor de nitrato, ser usados em testes que forneçam ou indiquem a quantidade de N mineral presente, que são denominados testes de intensidade (Rambo et al., 2004).

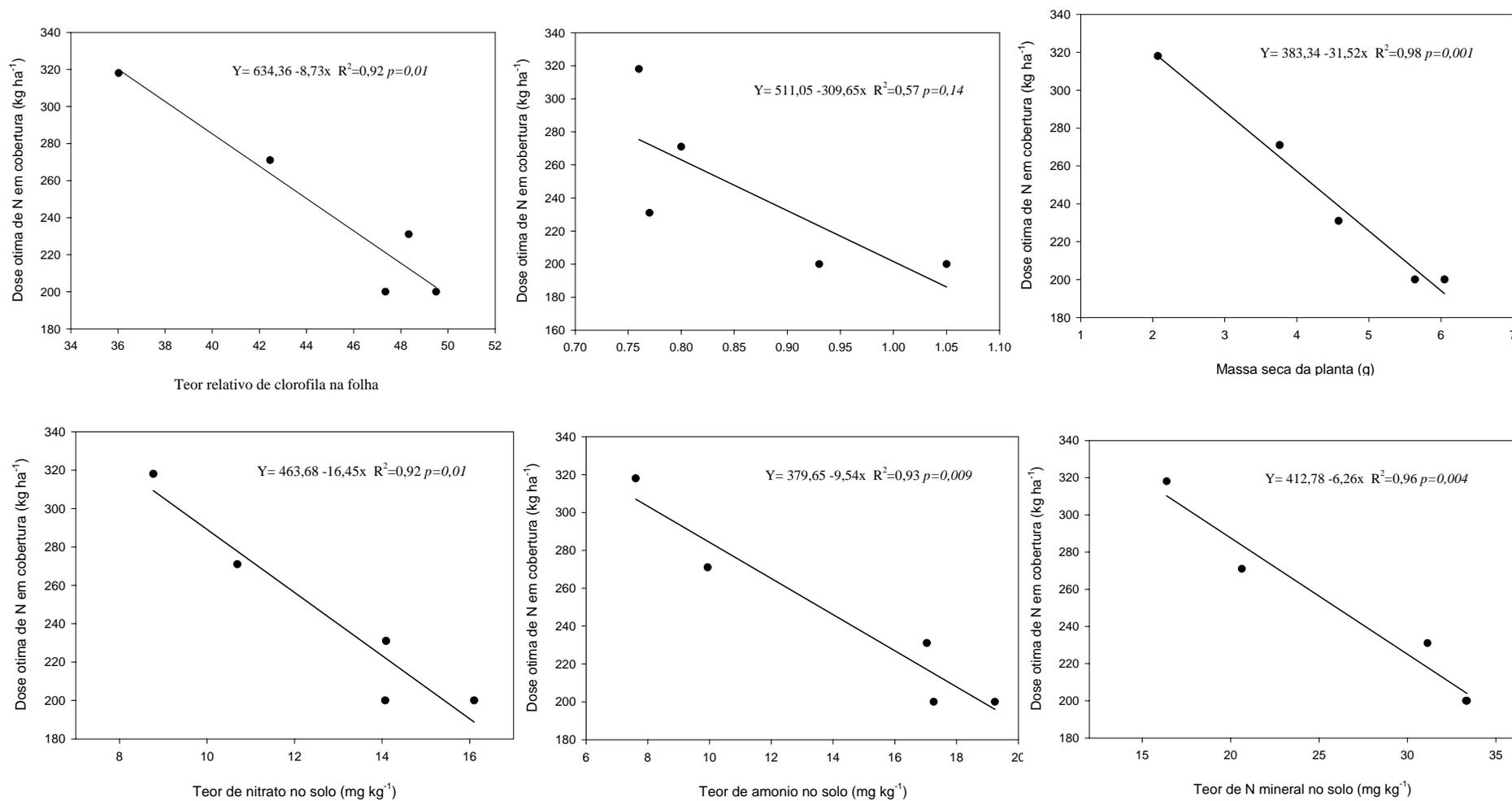


Figura 9. Doses ótimas de N a serem aplicadas em cobertura em função dos valores de teor relativo de clorofila na folha, massas seca da folha e da planta e teores de nitrato, amônio e N mineral no solo obtidos no estágio V6 do híbrido de milho Pioneer 32R21, no ano agrícola 2003/04. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS.

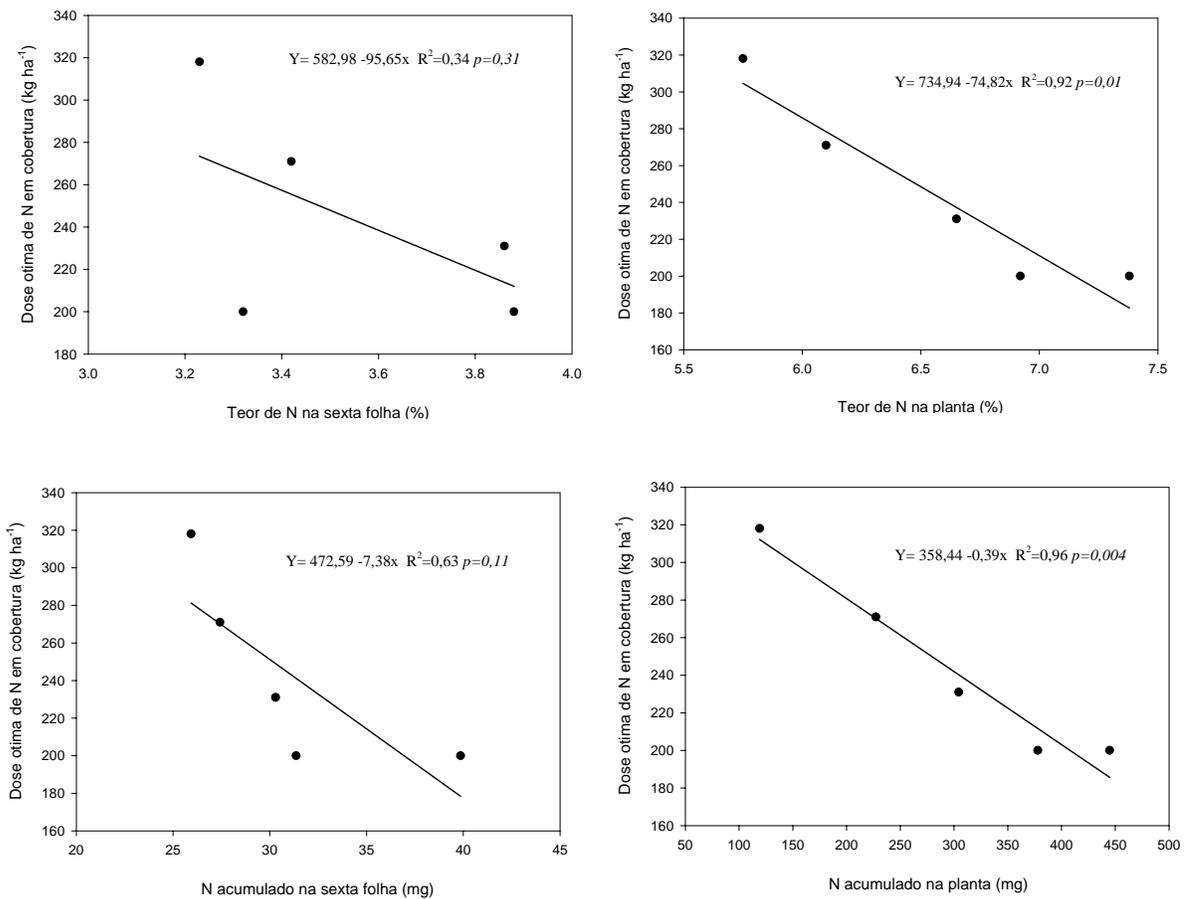


Figura 10. Doses ótimas de N a serem aplicadas em cobertura em função dos teores de N na folha e na planta e das quantidades de N acumulado na folha e na planta obtidos no estágio V6 do híbrido de milho Pioneer 32R21, no ano agrícola 2003/04. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS.

Dentre os testes de intensidade, deve-se destacar o teste de pré-aplicação da adubação nitrogenada em cobertura (TPNC), que tem sido o mais estudado e difundido, principalmente nos Estados Unidos da América. Ele determina a quantidade de nitrato que se encontra no solo até à profundidade de 30 cm, no estágio de seis folhas expandidas do milho. Vários estudos têm sido realizados utilizando o TPNC, principalmente na definição de níveis críticos de nitrato no solo, acima dos quais, a resposta à adubação nitrogenada é improvável.

Os valores críticos encontrados variam de 15 a 30 mg de nitrato por quilograma de solo, sendo que geralmente tem-se obtido os menores valores críticos quando a

profundidade de amostragem excede os 30 cm preconizados pelo teste. Esses estudos têm apresentado também boa correlação entre rendimento de grãos de milho e teor de nitrato no solo nos estádios V4 e V6. Desta forma, o TPNC tem sido usado como ferramenta para indicar se há necessidade de aplicação de adubação nitrogenada em cobertura no estádio V6 (Fox et al., 1989; Bindord et al., 1992; Klausner et al., 1993; Heckman et al., 1996; Spellman et al., 1996; Rozas et al., 2000). Tem-se, ainda, estudado a possibilidade de seu uso para recomendação de doses de N em cobertura (Bindord et al., 1992; Klausner et al., 1993; Schmitt & Randall, 1994).

Os valores médios do teor de nitrato no solo variaram de 13,6 a 19,8 mg kg⁻¹ no primeiro ano, estando muito próximos ou acima dos níveis críticos citados na literatura e um pouco abaixo do nível crítico de 20 mg kg⁻¹ determinado para o local estudado (Capítulo II). Já no segundo ano, os valores médios foram menores, variando de 8,8 a 16,1 mg kg⁻¹. A diferença na faixa de valores médios do teor de nitrato entre os anos talvez ajude a explicar o porquê desta característica ter sido bom indicador da quantidade de N a ser aplicada somente no último ano de avaliação. O fato de, no primeiro ano, os valores médios do teor de nitrato no solo serem mais semelhantes ao do nível crítico para máximo rendimento do milho, pode ajudar a explicar o porquê de não ter havido relação desta característica com as doses ótimas de N aplicadas, pois os valores encontrados já se mostravam próximos ao nível de suficiência, não havendo a variabilidade necessária desta característica para que a metodologia funcionasse corretamente. Já no segundo ano, o fato dos valores do teor de nitrato no solo serem mais baixos que o nível crítico, pode ter proporcionado a variabilidade necessária para haver boa relação entre esta característica e as doses ótimas de N aplicadas.

Quanto as características teores de amônio e de N mineral (nitrato + amônio) no solo, em virtude do desconhecimento da existência de disponibilidade de valores críticos na literatura, não foi possível fazer este mesmo raciocínio, porém pressupõe-se que a

mesma explicação usada para teor de nitrato é válida para estas duas características, já que os seus valores também foram diferenciados entre os dois anos de estudo.

O uso do teor de nitrato no solo como indicador da dose de N a ser aplicada em cobertura no milho tem gerado resultados variáveis. Por exemplo, nos estados da Pensilvânia, Iowa e Vermont (EUA), os valores obtidos abaixo do nível crítico dado pelo TPNC têm sido usados para recomendar a adubação nitrogenada (Bundy & Meisinger, 1994). Em trabalho mais recente, Andraski & Bundy (2002) observaram que o uso do TPNC para fazer o ajuste das doses de adubação nitrogenada em milho, em áreas que tinham sido adubadas com esterco animal ou em sucessão a leguminosas, deu maior retorno econômico que a recomendação tradicional, que não considerou as contribuições de N oriundas do esterco animal e das leguminosas. Já, em alguns casos, o seu uso como índice quantitativo foi comprometido, principalmente em função da variabilidade na relação entre o teste e o rendimento relativo de grãos (Fox et al., 1989, Heckman et al., 1996).

Tendo em vista estas contradições, Bundy & Meisinger (1994) recomendam que a adoção do TPNC para determinação de doses de N deve ser avaliada ao nível estadual, pois esta abordagem envolve os seguintes pontos críticos: (i) dados atualizados de calibração de campo, (ii) filosofia de recomendação de adubação nitrogenada e (iii) sistemas alternativos de recomendação de adubação nitrogenada. Portanto, esta abordagem quantitativa do teste necessita ser mais pesquisada, pois cada um dos pontos acima tem soluções específicas de acordo com solo, clima e sistema de cultivo de cada região. Dificilmente, o uso deste teste, de forma isolada, será eficiente para determinação da dose de N a ser aplicada, necessitando, portanto, de integração com outros atributos de solo e/ou de planta.

Dentre as características de planta avaliadas nos dois anos, a massa seca e o N acumulado na planta foram os mais precisos na predição das doses ótimas de N em cobertura no estágio V6, seguidos pelo teor relativo de clorofila na folha. A massa seca da

planta é afetada pelo teor de N disponível, pois este é constituinte de proteínas, enzimas, coenzimas, ácidos nucleicos, fitocromos e da clorofila (Cantarella, 1993), além de afetar as taxas de iniciação e expansão foliar, o tamanho final e a intensidade de senescência de folhas (Schroder et al., 2000). Portanto, esta característica tem potencial para ser usada como um bom indicador da dose de N requerida pela planta.

Já o teor de N acumulado na planta tem como maior vantagem o fato de incluir a produção de massa seca no cálculo do consumo de N (Bredemeier, 1999). Segundo Plénet & Lemaire (1999), a relação entre teor crítico de N e massa seca acumulada indica o nível nutricional da cultura em cada estágio de desenvolvimento para manejo da adubação nitrogenada. Além disso, a integração desta relação em modelos de crescimento da cultura pode permitir a predição da demanda de N pelo milho em função de condições ambientais. Por outro lado, a determinação da massa seca e do N acumulado na planta é trabalhosa e demorada, impossibilitando a tomada de decisão na mesma safra de cultivo.

O teor relativo de clorofila na folha (TRC), por apresentar baixa sensibilidade ao consumo de luxo de N, está sendo considerada melhor indicadora do nível deste nutriente do que seu próprio teor na folha (Blackmer & Schepers, 1995). Além desta vantagem, existem outros benefícios do uso desta característica, entre os quais destacam-se: realização de leituras instantâneas e não destrutivas, que não envolvem procedimentos laboratoriais e uso de reagentes químicos, com avaliação rápida e de fácil interpretação (Blackmer & Scheper, 1994); ter custo mínimo de manutenção (Piekielek & Fox, 1992) e permitir fazer quantas amostras forem necessárias, sem custos adicionais e sem destruição da folha (Malavolta, 1997).

Devido a estas vantagens e, por estar correlacionado com rendimento de grãos, a determinação do TRC pelo clorofilômetro tem sido usada para prever a necessidade de adubação nitrogenada em cobertura em várias culturas. No entanto, na literatura, ainda não existem trabalhos que tenham utilizado o TRC para prever a dose de N a ser aplicada,

quando detectada a sua deficiência pelo clorofilômetro. Apesar dos resultados obtidos com esta variável terem sido positivos, eles não foram suficientemente consistentes para recomendação do seu uso como indicador da dose de N a ser aplicada em milho, havendo, portanto, a necessidade de condução de mais trabalhos.

Os resultados evidenciaram que a metodologia testada para determinação de doses ótimas de N a serem aplicadas em cobertura a partir de características de planta e de solo pode ser utilizada para a cultura do milho, mas apresenta várias limitações. Um dos maiores entraves ao seu uso está relacionado à dificuldade de execução. Há necessidade de condução de experimentos de grande dimensão, já que precisa de dois fatores: diferentes níveis de N e duas épocas de aplicação de N em cobertura. Além disso, é importante que sejam conduzidos experimentos utilizando vários níveis de N, ou seja, que se disponha o máximo de pontos possíveis para se estimar as doses ótimas visando aumentar a precisão da metodologia. Em segundo lugar, é possível determinar-se as doses ótimas de N somente para um estágio de desenvolvimento por vez, o que pode ser problemático quando se deseja o parcelamento das doses a serem aplicadas em cobertura em duas ou mais vezes. Neste caso, ter-se-ia que se conduzir um experimento para determinação das doses ótimas para cada época de aplicação de N. Além disso, exige a execução de grande número de experimentos conduzidos em diferentes locais, anos e condições de manejo para que se possam obter resultados consistentes.

6.6. CONCLUSÕES

Dentre as características avaliadas, os mais precisos para predição das doses ótimas de N a serem aplicadas em cobertura em milho são a massa seca e o N acumulado na planta, seguidos pelo teor relativo de clorofila na folha que, devido a sua praticidade e facilidade de obtenção, apresenta o maior potencial de uso na atualidade.

Os resultados mostraram que é possível desenvolver e/ou adaptar uma metodologia para predição de doses ótimas de N em cobertura em milho, a partir de características de planta e de solo. Porém, existem várias restrições de exeqüibilidade pela necessidade de condução de experimentos de grande dimensão, em vários locais, anos e situações de manejo.

7. CAPÍTULO VI

CARACTERÍSTICAS ÓTICAS DA FOLHA E DO DOSSEL COMO INDICADORES PARA PREDIÇÃO DA NECESSIDADE DE NITROGÊNIO EM COBERTURA EM MILHO

LEAF AND CANOPY OPTICAL CHARACTERISTICS AS INDICATORS TO PREDICT SIDE DRESS NITROGEN REQUIREMENT IN CORN

7.1. RESUMO

As propriedades óticas da folha e do dossel de plantas, tais como transmitância, absorvância, reflectância e, mais recentemente, a fluorescência, têm sido estudadas para desenvolvimento de equipamentos que visam determinar o nível nutricional em plantas, especialmente o de nitrogênio (N). Os objetivos deste trabalho foram: (i) comparar características de planta com base nas propriedades óticas de transmitância, reflectância e de fluorescência da folha e do dossel para predizer a necessidade de N em milho, (ii) comparar a eficiência de dois radiômetros (Crop Scan e Green Seeker) usados para detectar a reflectância do dossel de milho e (iii) avaliar a precisão destas características de planta como indicadores da necessidade de N. No ano de 2004 foram conduzidos dois experimentos a campo, com diferentes doses de N e híbridos de milho, na cidade de Ottawa, estado de Ontário-Canadá. O Experimento I foi realizado em dois locais: *Central Experimental Farm* e *Central Farm Inspection Animal*, em função destes locais apresentarem características de solo diferentes. Os tratamentos constaram de seis níveis de N. O Experimento II foi realizado no *Central Farm Inspection Animal*, tendo-se como tratamentos quatro níveis de N e dois híbridos de milho. Neste estudo, foram avaliados o teor relativo de clorofila, determinado pelo clorofilômetro Minolta Spad 502, a reflectância, determinada pelos radiômetros Green Seeker e Crop Scan, e a área foliar, em quatro estádios de desenvolvimento. Foi também avaliada a fluorescência da folha, através do fluorômetro OS-30, em três estádios de desenvolvimento, e o rendimento de grãos. Os resultados mostraram que, dentre as características avaliadas, o clorofilômetro, equipamento que tem como base a transmitância da folha, foi o indicador mais preciso para predizer a necessidade de N em milho. Já os radiômetros Crop Scan e Green Seeker apresentaram eficiência similar para detectar a reflectância do dossel em milho como indicador do nível de N, em dias ensolarados. As características avaliadas pelo fluorômetro utilizado neste trabalho não foram bons indicadores do nível de N na cultura do milho.

Termos para indexação: *Zea mays*, monitoramento do nível de N, rendimento de grãos, transmitância, absorvância, reflectância, fluorescência.

7.2. ABSTRACT

Leaf and canopy optical characteristics, such as transmittance, absorbance, reflectance and, more recently, fluorescence, have been studied to develop equipments to determine plant

nutritional status, especially nitrogen (N). The objectives of this study were: (i) to compare plant characteristics based on leaf and canopy optical properties transmittance, reflectance and fluorescence to predict corn N requirement; (ii) to compare the efficiency of two radiometers (Crop Scan and Green Seeker) that have been used to detect reflectance in corn; and (iii) to evaluate the precision of plant characteristics as indicators of corn N requirement. Two field experiments were conducted in 2004, using different nitrogen levels and hybrids, in Ottawa (Ontario) – Canada. The Experiment I was conducted in two places: Central Experimental Farm and Central Farm Inspection Animal. The places had different soil characteristics. The treatments were six N levels. The Experiment II was conducted in the Central Farm Inspection Animal. The treatments were four N levels and two corn hybrids. The leaf relative chlorophyll content, measured by the chlorophyll meter Minolta Spad 502, the reflectance, measured by the radiometers Green Seeker and Crop Scan, and the leaf area, in four corn growth stages, were evaluated. Besides, the fluorescence, measured by the fluorometer OS-30, in three growth stages, and the grain yield were determined. The results showed that chlorophyll meter, among the characteristics evaluated, was the most precise indicator to predict corn N requirement. The Crop Scan and Green Seeker radiometers presented similar efficiency to detect the corn canopy reflectance as an indicator of corn N requirement, in sunny days. The fluorometer characteristics evaluated in this study were not good indicators of corn N requirements.

Index terms: *Zea mays*, monitoring of N level, grain yield, transmittance, absorbance, reflectance and fluorescence.

7.3. INTRODUÇÃO

Atualmente, tem sido dada mais atenção as características de planta para predição da deficiência de nitrogênio (N) em milho, especialmente para determinar quando aplicá-lo em cobertura. Isto se deve ao fato de que o aumento da eficiência do N tem papel fundamental na prevenção da contaminação ambiental, principalmente dos sistemas aquíferos globais, bem como na sustentabilidade e na lucratividade dos produtores de grãos.

Potencialmente, características tais como quantidade de massa seca por planta ou teor de N no tecido vegetal poderiam ser usados para prever o nível de N nas culturas. A análise de tecido vegetal é frequentemente usada para avaliar o estado nutricional das plantas (Cerrato & Blackmer, 1991), pois consiste na análise de solo, usando a planta como solução extratora (Malavolta et al., 1997). Porém, apesar destas características poderem ser ferramentas úteis para manejo da adubação nitrogenada em milho, eles envolvem análise laboratorial e têm a desvantagem de não possibilitar a correção da sua deficiência no

mesmo ano agrícola, devido ao tempo despendido entre coleta e resultado, servindo apenas como característica indicativa para os próximos cultivos (Argenta et al., 2002).

Para amenizar este problema, bem como para aumentar a precisão dos indicadores de plantas do estado nutricional de N, características baseadas nas propriedades óticas da folha e do dossel, tais como transmitância, reflectância e, mais recentemente, fluorescência, têm sido bastante estudados.

O medidor do teor relativo de clorofila da folha, denominado clorofilômetro, tem sido usado para indicar o nível de N em plantas de milho e em outras espécies agrícolas. Ele baseia-se na transmitância e na absorvância da folha (Dwyer et al., 1991 e 1995).

Como o mesmo objetivo que o do clorofilômetro, medidas de reflectância do dossel das culturas têm sido avaliadas, com bons resultados, na predição do nível de N. Por exemplo, radiômetros tais como o Crop Scan, têm sido usados para determinar a reflectância do dossel. Este instrumento opera sob condições de radiação solar, o que significa que ele trabalha com mínima variabilidade, somente em dias ensolarados. Recentemente, um novo tipo de radiômetro, denominado Green Seeker, foi também desenvolvido para determinar a reflectância do dossel. No entanto, diferentemente do Crop Scan, ele possui sua própria fonte de luz que, permite determinar a reflectância do dossel sob todas condições de iluminação, exceto sob dias chuvosos.

A medida da reflectância do dossel tem sido usada nas técnicas de sensoriamento remoto, por não ser difícil de ser medida remotamente e devido às respostas e as características singulares da vegetação quanto à sua reflectância, o que facilita a sua distinção dos demais alvos (Law & Waring, 1994). Com sensoriamento remoto, obtêm-se informações de um objeto, área ou fenômeno pela análise de dados adquiridos por um dispositivo que não está em contato com os mesmos (Osborne et al. 2002a). A reflectância do dossel é definida como a razão entre a quantidade de radiação refletida e a de radiação incidente (Schröder et al. 2000). Vários pesquisadores têm usado a reflectância para indicar

o nível de N e para prever o potencial de rendimento em várias culturas, tais como milho (Bausch & Duck, 1996; Ma et al., 1996; Osborne et al., 2002a), arroz (Casanova et al., 1998) e soja (Ma et al., 2001).

Assim como a reflectância, as medições de fluorescência têm mostrado potencial para avaliação remota (à distância) do impacto relativo de fatores ambientais, tais como suprimento de N, no dossel das culturas. Nesse sentido, vários pesquisadores têm demonstrado relação entre as bandas de emissão de fluorescência com as condições de crescimento e de estresses da planta (Corp et al., 2003). A fluorescência e/ou a emissão de calor ocorrem quando a energia recebida for maior do que a transferida e assimilada pelos sistemas bioquímicos da planta. A magnitude da emissão de fluorescência é inversamente relacionada com a eficiência relativa da fotossíntese e de outros processos bioquímicos (Mcmurtrey et al., 1994). Desta forma, a medição da fluorescência tem sido usada para detectar ou indicar a ocorrência de estresses em plantas, dentre estes o causado por deficiências nutricionais (Günther et al., 1993; McMurtrey et al., 1994; Valentini et al., 1994; McMurtrey et al., 1996; Corp et al., 2003).

Apesar destas ferramentas terem sido estudadas e testadas separadamente em vários trabalhos, há grande carência de estudos comparativos de sua eficiência e precisão. Os objetivos deste trabalho foram: (i) comparar características de planta com base nas propriedades óticas de transmitância e fluorescência da folha e reflectância do dossel para prever a necessidade de N em cobertura em milho; (ii) comparar a eficiência de dois radiômetros (Crop Scan and Green Seeker) que detectam a reflectância do dossel em milho como indicadores da necessidade de N em cobertura em milho e (iii) avaliar a precisão de uso destas características de planta como indicadores da necessidade de N nesta cultura.

7.4. MATERIAL E MÉTODOS

No ano de 2004 foram conduzidos dois experimentos a campo, com diferentes doses de N e híbridos de milho, na cidade de Ottawa, estado de Ontário, Canadá. O Experimento I foi realizado em dois locais: *Central Experimental Farm* (CEF) e *Central Farm Inspection Animal* (CFIA), por apresentarem diferentes características de solo. Os tratamentos constaram de seis níveis de N (0, 40, 80, 120, 160, 240 kg ha⁻¹), aplicados de forma mecanizada, sob forma de uréia (45% N), um dia antes da semeadura. Logo após a aplicação do adubo nitrogenado, o solo foi cultivado para sua incorporação. Foi utilizado o delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições.

No CEF, o híbrido de milho Pioneer 38W36 (Bt - 2775 unidades de calor) foi semeado no dia 21 de maio de 2004, com semeadora de parcelas, no espaçamento entre linhas de 76 cm e na densidade de 70 000 pl ha⁻¹. O solo da área experimental, com textura arenosa (73 %), apresentava as seguintes características químicas: pH= 6,0, MO= 3,4, P= 22,9 mg L⁻¹, K= 116,7 mg L⁻¹. Devido aos valores de P e K serem considerados altos para a região, não foi necessária a adubação de base com esses nutrientes.

No CFIA, o híbrido de milho Pioneer 38W36 (Bt - 2775 unidades de calor) foi semeado no dia 13 de maio de 2004, com semeadora de parcelas, no espaçamento entre linhas de 76 cm e na densidade de 70 000 pl ha⁻¹. O solo da área experimental, com textura menos arenosa (56 %), apresentava as seguintes características químicas: pH= 6,9, M.O.= 5,5, P= 3 mg L⁻¹, K= 133 mg L⁻¹. Devido à quantidade de P ser considerada baixa para a região, foi aplicado 110 kg ha⁻¹ de superfosfato triplo (46% P₂O₅) antes da semeadura.

Nos dois locais, o Experimento I foi conduzido sob sistema convencional de semeadura. O milho foi semeado em área que tinha soja e trigo como culturas antecessoras no CEF e CFIA, respectivamente. Nos estádios V4 e V6, foram determinados: teor relativo de clorofila na folha (TRC), área foliar por planta e reflectância do dossel. No estádio V6 foi também determinada a fluorescência da folha. Nos estádios V10 e espigamento foram

avaliados: TRC, fluorescência da folha, área foliar da planta e reflectância do dossel. Na colheita determinou-se o rendimento de grãos.

O Experimento II foi realizado no Central Farm Inspection Animal (CFIA), sendo testados como tratamentos quatro níveis de N e dois híbridos de milho. Os quatro níveis de N (0, 75, 150 e 225 kg ha⁻¹) foram aplicados de forma mecanizada, sob forma de uréia (45% de N), um dia antes da semeadura. Logo após a aplicação, o solo foi cultivado para sua incorporação. Os híbridos utilizados foram o Pioneer 3893 (2700 unidades de calor) e o Maizex LF850RR (2600 unidades de calor). Este último é chamado de “leafy” porque apresenta estrutura de planta diferenciada dos demais híbridos, tendo maior número de folhas acima da espiga e maior índice de área foliar. O experimento constou de um fatorial 2 x 4, utilizando-se o delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições. A semeadura foi realizada no dia 13 de maio de 2004 com semeadora de parcelas, no espaçamento entre linhas de 76 cm e na densidade de 75 000 pl ha⁻¹. O solo da área experimental, com textura menos arenosa (56 %), apresentava as seguintes características químicas: pH= 6,9, M.O.= 5,5, P= 3 mg L⁻¹, K= 133 mg L⁻¹. Devido à quantidade de P ser considerada baixa para a região, foi aplicado 110 kg ha⁻¹ de superfosfato triplo (46% de P₂O₅) antes da semeadura. Este experimento foi também conduzido sob sistema convencional de semeadura, em área que tinha trigo como cultura antecessora. No Experimento II foram realizadas as seguintes determinações nos estádios V4, V6, V10 e espigamento: teor relativo de clorofila na folha e reflectância do dossel. Nos estádios V6, V10 e espigamento foi também determinada a fluorescência da folha. Na colheita foi avaliado o rendimento de grãos.

Nos dois experimentos, o manejo de plantas daninhas foi realizado com utilização de herbicidas em pré-plantio e uma capina mecânica quando o milho estava no estádio de seis a sete folhas desenvolvidas. Não foi necessária a aplicação de inseticidas e de fungicidas para controle de insetos e doenças, respectivamente.

A metodologia e os equipamentos utilizados nas determinações realizadas nos dois experimentos conduzidos estão descritos a seguir. O teor relativo de clorofila na folha foi avaliado com o clorofilômetro, modelo Minolta SPAD-502[®] (Apêndice 1). Foram realizadas 20 leituras por parcela nos estádios V4 e V6 e 15 leituras por parcela, nos estádios V10 e espigamento. As leituras foram realizadas no terço superior da última folha expandida.

A área foliar foi determinada por planta nos estádios V4 e V6, coletando-se cinco plantas, das quais foram retiradas e determinadas a área foliar com o integrador Licor 3100 (Apêndice 2). Já nos estádios V10 e espigamento, foi determinada a área foliar em três plantas, de forma não destrutiva, utilizando-se o medidor portátil Licor 3000A (Apêndice 3).

Para determinação da fluorescência da folha utilizou-se o fluorômetro portátil OS-30 (Apêndice 4). Ele é composto por uma unidade de controle e uma sonda, a qual contém tanto componentes óticos de excitação quanto de detecção. A fluorescência é excitada por um diodo laser sólido no comprimento de onda de 685 nm. A intensidade deste laser é ajustável e regulada pela unidade de controle. A fluorescência resultante é separada da luz de excitação por um filtro com comprimento de onda $>700\text{nm}$ e detectada por um fotodiodo PIN (Opti-Sciences, 2004). As características coletadas pelo fluorômetro são: F_0 : fluorescência não variável, F_m : fluorescência máxima, F_v : fluorescência variável, F_v/F_m : eficiência fotoquímica do PS II, F_t : valor da fluorescência terminal, F_q : capacidade de “quenching” da fluorescência, $T_{1/2}$: metade do tempo necessário para a fluorescência aumentar de F_0 para F_m . A fluorescência da folha foi determinada em oito plantas, na parte superior da última folha expandida. As folhas foram previamente adaptadas por 10 minutos antes das leituras. Para tanto, foram colocados “clips” nas folhas, que possuíam dispositivos que possibilitaram a manutenção da área da folha em que é feita a leitura da

fluorescência no escuro. O fluorômetro foi ajustado para efetuar a leitura com fonte de intensidade de 3000 uE, durante seis segundos.

Para determinação da reflectância do dossel foram utilizados dois equipamentos: Crop Scan (Apêndice 5) e Green Seeker (Apêndice 6). O Crop Scan (modelo MSR87) é um radiômetro multiespectral portátil, que captura o percentual de luz refletida em oito bandas centrais, em intervalos de 50 nm, na faixa de 450 a 800 nm. O sensor foi montado em um mastro de 3 m. Um microcomputador conectado ao sensor automaticamente gravou os dados de todos os canais. O mastro foi posicionado e seguro manualmente num ângulo de 45⁰, de forma que o sensor ficasse a 2,6 m acima da superfície. A área medida foi um círculo com diâmetro de metade da altura do sensor (aproximadamente 1,3 m). Foram tomadas duas medidas, centradas na mesma linha, em cada parcela, durante o período das 10 h da manhã ao meio dia, em dias completamente ensolarados.

O Green Seeker (modelo 505) é um sensor ótico integrado, que usa diodos de emissão de luz (LED) para gerar luz vermelha e infravermelha próxima. A luz gerada pelo sensor é refletida pela cultura e medida por um fotodiodo localizado na frente do sensor. O microprocessador dentro do sensor analisa a luz refletida e calcula os resultados. Os dados do sensor são transmitidos serialmente para um HP iPAQ (*palmatop*) e, posteriormente exportados para um computador para análise. O equipamento fornece duas medidas: o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e a razão vermelho/infravermelho próximo (R/NIR). O NDVI é calculado usando a expressão: $(\text{NIRrefletido} - \text{vermelho refletido}) / (\text{NIRrefletido} + \text{vermelho refletido})$ (Ntech Industries, In, 2004a e Ntech Industries, In, 2004b). Foi feita uma leitura por parcela, o que significa que foi realizada a passagem com sensor ligado sobre uma linha inteira de milho, posicionado paralelamente à cultura, numa altura de aproximadamente um metro acima do topo do dossel.

A principal vantagem do Green Seeker em relação ao Crop Scan é que ele possui fonte de luz própria, o que significa poder trabalhar-se sob qualquer condição de

iluminação, mesmo à noite. Além disso, a sua determinação é bem mais rápida, podendo-se coletar maior número de amostras. Porém, o equipamento Crop Scan tem a vantagem de fazer leituras em um número maior de comprimentos de ondas, possibilitando a escolha de bandas que mais representem o nível de N do dossel. O rendimento de grãos foi obtido através da extrapolação da produção da área útil da parcela para um hectare, corrigindo-se a umidade para 130 g kg^{-1} .

Todos os dados coletados foram submetidos à análise de variância pelo Teste F, a 1% e a 5% de probabilidade. Realizaram-se também as análises de correlação e de regressão entre o teor relativo de clorofila na folha e a reflectância, determinada pelos dois equipamentos, com o rendimento de grãos e com os níveis de N, respectivamente.

7.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O rendimento de grãos de milho foi afetado pelas doses aplicadas de N em um local (CEF) do Experimento I, e no Experimento II, conduzido no CFIA. Os rendimentos médios foram de 10,4 e 11,7 nos dois locais (CEF e CFIA) do Experimentos I, e de 10,5 t ha^{-1} no Experimento II, conduzido no CFIA (Tabelas 29, 30 e 31). As características de planta e de dossel estudadas foram afetados diferentemente pelo N aplicado, variando em função do experimento e, principalmente, do estágio de desenvolvimento da planta (Tabelas 29, 30 e 31). Dentre estes, destaca-se o teor relativo de clorofila na folha que foi significativamente afetado nos estádios V10 e espigamento no Experimento I conduzido no CEF, nos estádios V6, V10 e espigamento no Experimento I conduzido no CFIA e, em todos os estádios avaliados, no Experimento II (CFIA).

A característica índice de esverdeamento, que resulta da multiplicação da leitura do clorofilômetro pela área foliar por planta, somente foi afetado pelos níveis de N aplicados no milho (Tabelas 29, 30 e 31) nos estádios V10, no Experimento I (CEF) e nos estádios V10 e espigamento no Experimento I (CFIA). Isto mostra que não se justifica a

determinação desta característica, já que a leitura do clorofilômetro respondeu mais ao nível de N que o índice de esverdeamento e, além disso, a determinação da área foliar é mais demorada e trabalhosa. A reflectância do dossel, medida pelos radiômetros Green Seeker e Crop Scan, foi afetada pelo nível de N somente em alguns estádios de desenvolvimento da planta, dependendo do experimento. No Experimento I (CEF), somente a reflectância medida pelo Green Seeker apresentou resposta significativa ao nível de N aplicado nos estádios V6 (NDVI e R/NIR) e espigamento (R/NIR) (Tabela 29). No Experimento I (CFIA), apenas a reflectância determinada pelo Crop Scan, no estádio V10 (NDVI e R/NIR), foi significativamente afetada pelo nível de N (Tabela 30). Já no Experimento II (CFIA), novamente, somente a reflectância determinada pelo Green Seeker foi afetada pelo N nos estádios V10 e espigamento (NDVI e R/NIR) (Tabela 31).

Tabela 29. Análise de variâncias, média (M) e coeficiente de variação (CV), por estágio de desenvolvimento, das características analisadas no Experimento I, conduzido no Central Experimental Farm (CEF). Ottawa, ON, 2004

Características da planta e do dossel	Estádio de desenvolvimento ¹											
	4 a 5 folhas			6 – 7 folhas			10-11 folhas			Espigamento		
	M	CV	N ²	M	CV	N	M	CV	N	M	CV	N
Teor relativo de clorofila na folha	32,45	6,20	ns	46,10	3,55	ns	53,36	1,81	**	57,59	2,95	**
Índice de esverdeamento	3713	24,95	ns	34251	18,22	ns	64453	11,45	**	293549	9,07	ns
Reflectância pelo Green Seeker (NDVI ³)	0,27	6,95	ns	0,57	11,43	*	0,89	1,01	ns	0,87	1,02	ns
Reflectância pelo Green Seeker (R/NIR ⁴)	0,58	3,83	ns	0,28	19,22	**	0,06	9,19	ns	0,07	7,57	*
Reflectância pelo Crop Scan (NDVI)	0,31	6,28	ns	0,47	13,75	ns	0,82	1,95	ns	0,86	2,05	ns
Reflectância pelo Crop Scan (R/NIR)	0,53	4,29	ns	0,36	16,05	ns	0,10	9,93	ns	0,08	13,51	ns
Fluorescência mínima (Fo)	- ⁵	-	-	765,64	10,82	ns	636,09	9,31	ns	740,66	10,65	ns
Fluorescência máxima (Fm)	-	-	-	2806,00	4,09	ns	2482,18	6,37	ns	3014,02	6,81	ns
Eficiência quântica máxima do fotossistema II (Fv/Fm)	-	-	-	0,73	3,67	ns	0,74	3,61	ns	0,75	2,47	ns
Rendimento de grãos (t ha ⁻¹)	10,42	8,69	**									

¹De acordo com a escala proposta por Ritchie et al. (1993). ²Fonte de variação: doses de N. ³Índice de vegetação por diferença normalizada ⁴Razão vermelho/infravermelho próximo. ⁵Não avaliado.

** Significativo ao nível de 1%. * Significativo ao nível de 5%. ns – Não significativo ao nível de 5%.

Tabela 30. Análise de variâncias, média (M) e coeficiente de variação (CV), por estágio de desenvolvimento, das características analisadas no Experimento I, conduzido no Central Farm Inspection Animal (CFIA). Ottawa, ON, 2004

Características da planta e do dossel	Estádio de desenvolvimento ¹											
	4 a 5 folhas			6 – 7 folhas			10-11 folhas			Espigamento		
	M	CV	N ²	M	CV	N	M	CV	N	M	CV	N
Teor relativo de clorofila na folha	42,91	3,74	ns	51,76	2,01	*	54,86	2,32	**	59,47	2,66	**
Índice de esverdeamento	6723	19,10	ns	38977	16,42	ns	236028	5,37	**	329327	4,89	*
Reflectância pelo Green Seeker (NDVI ⁴)	0,37	5,14	ns	0,65	4,20	ns	0,88	0,57	ns	0,85	0,75	ns
Reflectância pelo Green Seeker (R/NIR ⁵)	0,47	4,14	ns	0,22	10,30	ns	0,07	4,52	ns	0,08	4,69	ns
Reflectância pelo Crop Scan (NDVI)	0,35	4,06	ns	0,59	5,96	ns	0,88 ³	0,73	**	0,86	1,47	ns
Reflectância pelo Crop Scan (R/NIR)	0,48	3,21	ns	0,26	10,70	ns	0,07 ³	5,60	**	0,08	9,74	ns
Fluorescência mínima (Fo)	- ⁶	-	-	800,09	12,45	ns	713,91	8,39	ns	673,76	7,83	ns
Fluorescência máxima (Fm)	-	-	-	3130,46	5,84	ns	2928,09	5,61	ns	2800,95	4,58	ns
Eficiência quântica máxima do fotossistema II (Fv/Fm)	-	-	-	0,74	2,65	ns	0,76	2,66	ns	0,76	2,16	ns
Rendimento de grãos (t ha ⁻¹)	11,68	9,84	ns									

¹De acordo com a escala proposta por Ritchie et al. (1993). ²Fonte de variação: doses de N. ³Medida realizada no estágio de 14-15 folhas. ⁴Índice de vegetação por diferença normalizada. ⁵Razão vermelho/infravermelho próximo. ⁶Não avaliado.

** Significativo ao nível de 1%. * Significativo ao nível de 5%. NS – Não significativo ao nível de 5%.

Tabela 31. Análise de variâncias, média (M) e coeficiente de variação (CV), por estágio de desenvolvimento, das características analisadas no Experimento II, conduzido no Central Farm Inspection Animal (CFIA). Ottawa, ON, 2004

Características de planta e de dossel	Estádio de desenvolvimento ¹																			
	4 a 5 folhas					6 – 7 folhas					10-11 folhas					Espigamento				
	M ²	CV	H	N	NxH	M	CV	H	N	NxH	M	CV	H	N	NxH	M	CV	H	N	NxH
Teor relativo de clorofila na folha	42,2	3,57	**	*	ns	46,0	3,13	**	**	ns	50,6	4,77	**	**	ns	55,89	3,20	**	**	ns
Reflectância pelo Green Seeker (NDVI ⁴)	0,36	5,75	*	ns	ns	0,63	5,55	*	ns	ns	0,88	0,84	**	**	ns	0,88	1,03	ns	**	ns
Reflectância pelo Green Seeker (R/NIR ⁵)	0,48	4,57	*	ns	ns	0,23	11,7	*	ns	ns	0,06	6,87	**	**	ns	0,06	8,21	ns	**	ns
Reflectância pelo Crop Scan (NDVI)	0,34	8,17	ns	ns	ns	0,58	8,79	ns	ns	ns	0,86 ³	1,78	ns	ns	ns	0,85	1,08	**	ns	ns
Reflectância pelo Crop Scan (R/NIR)	0,50	6,20	ns	ns	ns	0,27	15,1	ns	ns	ns	0,07 ³	11,96	ns	ns	ns	0,08	6,49	**	ns	ns
Fluorescência mínima (Fo)	- ⁶	-	-	-	-	730,1	11,2	ns	ns	ns	718,4	7,00	ns	ns	ns	634,9	8,41	ns	ns	ns
Fluorescência máxima (Fm)	-	-	-	-	-	2596	5,73	ns	ns	ns	2802	5,92	ns	Ns	ns	2737	4,29	ns	ns	ns
Eficiência quântica máxima do fotossistema II (Fv/Fm)	-	-	-	-	-	0,72	4,24	ns	ns	ns	0,74	2,84	ns	Ns	ns	0,77	1,97	ns	ns	ns
Rendimento de grãos (t há ⁻¹)	10,48	10,4	ns	**																

¹De acordo com a escala proposta por Ritchie et al. (1993). ¹Fontes de variação= N: doses de N, H: híbridos de milho, HxN: interação. ²Medida realizada no estágio de 14-folhas. ³Índice de vegetação por diferença normalizada. ⁴Razão vermelho/infravermelho próximo. ⁶Não avaliado.

** Significativo ao nível de 1%. * Significativo ao nível de 5%. NS – não significativo ao nível de 5%.

As características relacionadas à fluorescência da folha, medidos pelo fluorômetro, não foram afetados pelo nível de N nos dois experimentos e nos três estádios de desenvolvimento avaliados (Tabelas 29, 30 e 31).

Para que se possa justificar a hipótese deste trabalho de que é possível o uso da medição da fluorescência para detectar diferenças nos níveis de N em lavouras, é necessário, inicialmente, que se conheçam os fundamentos teóricos dos processos de absorção de luz e de conversão de energia pela planta.

A luz precisa ser absorvida para que sua energia possa ser usada pela planta. As moléculas que absorvem luz são chamadas pigmentos, tais como a clorofila. A absorção de um fóton por uma molécula de clorofila, por exemplo, resulta na conversão deste pigmento de seu estado de menor energia (basal) para o estado de excitação. Esta molécula torna-se excitada porque a absorção da energia da luz faz com que seus elétrons mudem de um orbital molecular com menor nível de energia para orbitais de nível mais alto de energia. Uma vez excitado, um elétron pode retornar para o nível basal de energia (mais baixo e mais estável) por vários caminhos, que liberam energia de forma diferenciada (Taiz & Zeiger, 1998). Numa destas formas, a energia é liberada como calor. Em outro mecanismo, o pigmento excitado transfere sua energia para outra molécula, reduzindo-a. Em outro processo, chamado fotoquímico, esta energia causa reações químicas, que são essenciais para fotossíntese. Finalmente, um dos mecanismos envolve a emissão de um fóton, no processo conhecido como fluorescência. O comprimento de onda de fluorescência é quase sempre maior que o de absorção do mesmo estado elétrico, porque uma porção da energia de excitação é convertida em calor antes que o fóton fluorescente seja emitido (Taiz & Zeiger, 1998; Malkin & Niyogi, 2000). Assim, resumidamente, o princípio da fluorescência envolve a absorção de um comprimento de onda de luz específico pelo pigmento, e a posterior dissipação da energia absorvida pela emissão de luz, dentro de um período muito curto de tempo (< 20 nanosegundos) (Corp et al., 2003).

A fluorescência e/ou a emissão de calor ocorrem quando a energia recebida for maior do que a transferida e a assimilada pelos sistemas bioquímicos da planta. A magnitude de emissão da fluorescência é inversamente relacionada com a eficiência relativa da fotossíntese e de outros processos bioquímicos (McMurtrey et al., 1994). *In vivo*, as emissões de fluorescência da vegetação ocorrem desde o ultravioleta até à região visível do espectro porém, mais freqüentemente, nas regiões do ultravioleta-A, azul, verde, vermelho e vermelho-longo. As tecnologias atuais de medição de fluorescência indicam que há várias regiões de emissão de fluorescência que poderiam ser usadas para diferenciar o desenvolvimento da vegetação sob taxas variáveis de fertilização nitrogenada.

Neste trabalho, não foi obtido sucesso com as medições com o fluorômetro portátil, modelo OS-30. Estes resultados podem ser devido ao tipo de equipamento usado, que provavelmente não tem a eficiência e a precisão necessárias para diferenciar os níveis de N aplicados, e/ou fato de suas calibrações não terem sido apropriadas para o milho. No entanto, particularmente para esta cultura, tecnologias recentes de medição de fluorescência, tais como *Fluorescence Imaging System* (FIS) e *Laser Induced Fluorescence Imaging System* (LIFIS), já mostraram resultados que suportam a hipótese de que as emissões de fluorescência pelo dossel e pelas folhas estão associadas a outras características de desenvolvimento da planta (teor de clorofila, relação C:N, índice de área foliar) e ao rendimento de grãos (Corp et al., 2003). Tanto a fluorescência quanto estas características apresentam respostas curvilíneas similares à aplicação da fertilização nitrogenada. Assim, estas informações podem auxiliar no manejo específico de áreas quanto à adubação nitrogenada (Corp et al., 2003). Desta forma, outros trabalhos são necessários utilizando equipamentos mais modernos para detecção da fluorescência, que têm como base a captura de imagens, para avaliar o seu uso como indicador da necessidade de N em milho.

Nas Tabelas 29, 30 e 31 pode-se, também, verificar as médias e os coeficientes de variação obtidos para cada variável estudada, em quatro estádios de desenvolvimento. As médias das características da planta e do dossel variaram entre experimentos e, principalmente, entre estádios de desenvolvimento. Outro aspecto importante, que pode ser observado no Experimento II (CFIA), é que todas as características avaliadas, especialmente o teor relativo de clorofila na folha (TRC) foram afetados pelo híbrido utilizado (Tabela 31). Isto mostra que se deve tomar cuidado quando se deseja generalizar as informações obtidas para um híbrido, em determinadas situações, para outros híbridos. Outros trabalhos já haviam mostrado que existem diferenças entre híbridos de milho quanto ao TRC (Costa et al., 2001) e à reflectância (Ma et al., 1996).

Para verificar a resposta de características da planta e do dossel ao nível de N aplicado foi realizada análise de regressão simples. Em função dos resultados da análise de variância, foi realizada para os dois experimentos a análise de regressão para as características TRC e reflectância (NDVI), determinada pelo Green Seeker e Crop Scan (Figuras 11, 12 e 13). Novamente, destacou-se o TRC, pois houve relação significativa entre doses de N aplicadas e esta característica nos estádios V10 e espigamento (Experimento I – CEF), nos estádios V6, V10 e espigamento (Experimentos I - CFIA e II – CFIA). A relação entre TRC e níveis de N aplicados foi quadrática, com exceção do estágio V6 no Experimento I (CFIA), cuja relação foi linear.

Os resultados obtidos para reflectância (NDVI), medida pelos radiômetros Green Seeker e Crop Scan, foram bastante similares nos dois experimentos. No Experimento I (CEF), em nenhum dos estádios avaliados, as leituras realizadas pelos equipamentos apresentaram relação significativa com os níveis de N aplicados. Já no Experimento I (CFIA), somente o NDVI medido pelo Crop Scan apresentou relações linear no estágio V13 e quadrática no estágio de espigamento com os níveis de N aplicados.

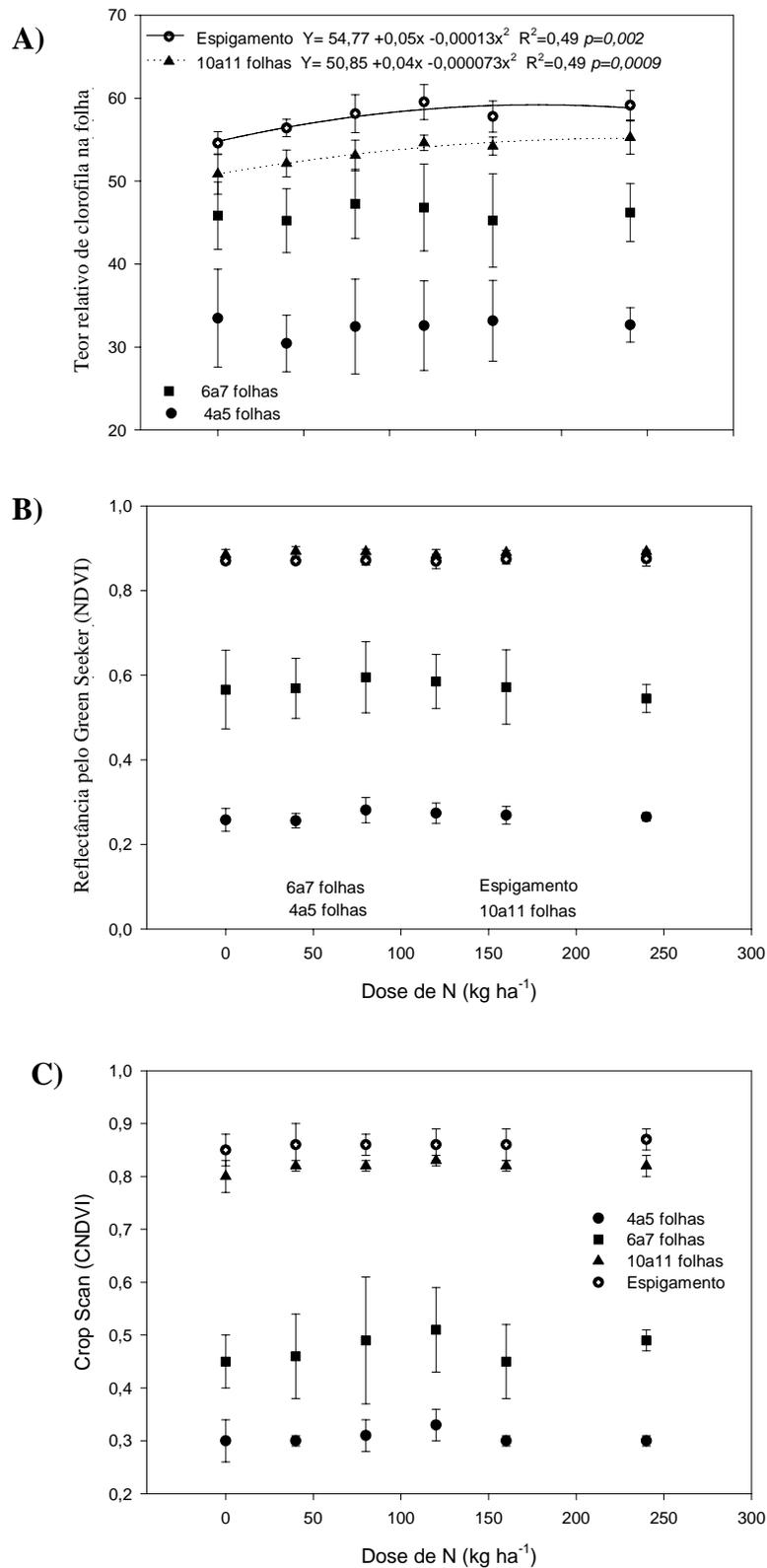


Figura 11. Efeito de níveis de N aplicados sobre o teor relativo de clorofila na folha (A) e sobre a reflectância, medida pelos equipamentos Green Seeker (B) e Crop Scan (C), em quatro estádios de desenvolvimento do milho, no Experimento I, conduzido no CEF, Ottawa, ON, 2004. As barras associadas a cada ponto correspondem ao erro padrão da média. NDVI: Índice de vegetação por diferença normalizada.

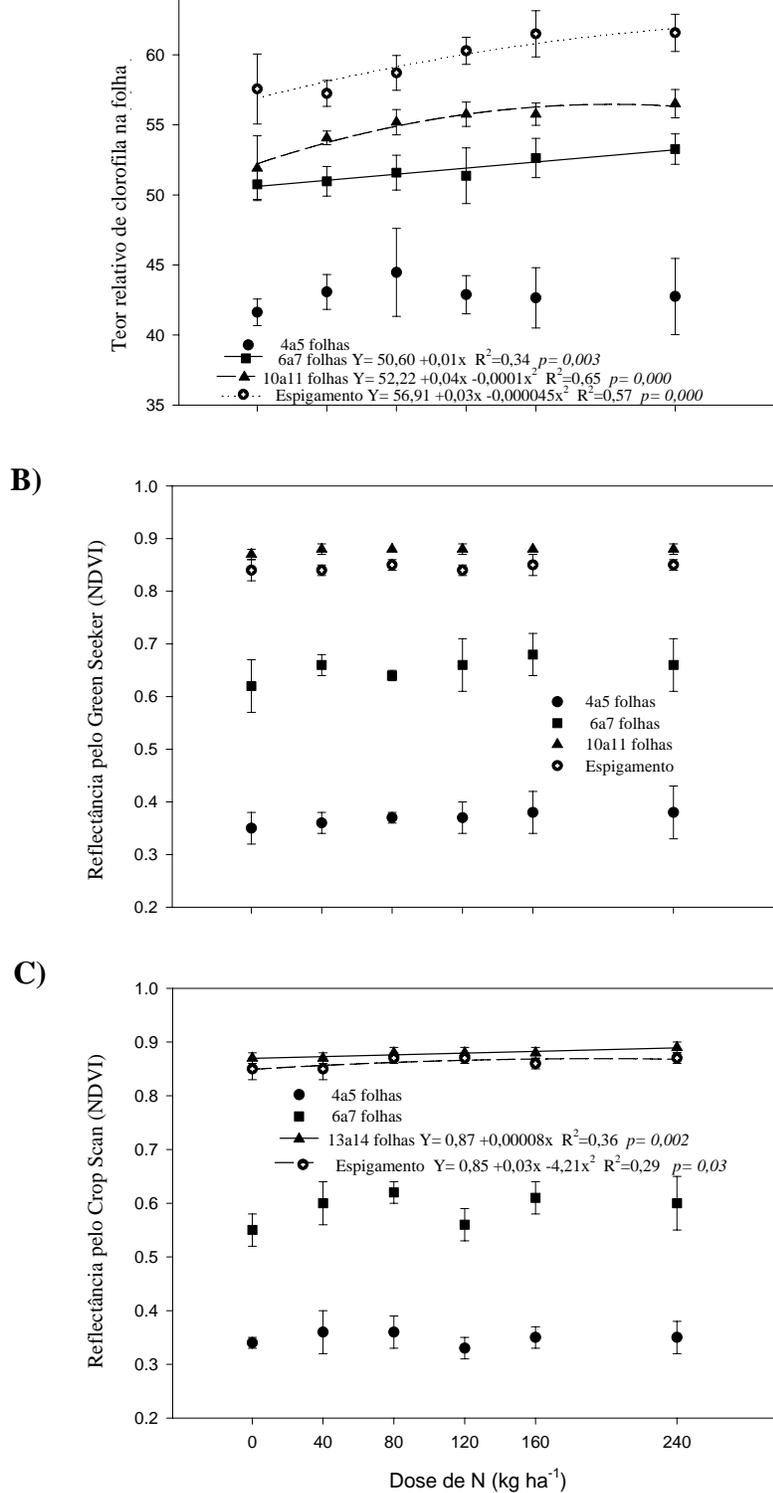


Figura 12. Efeito de níveis de N aplicados sobre o teor relativo de clorofila na folha (A) e sobre a reflectância, medida pelos equipamentos Green Seeker (B) e Crop Scan (C), em quatro estádios de desenvolvimento do milho, no Experimento I, conduzido no CFIA, Ottawa, ON, 2004. As barras associadas a cada ponto correspondem ao erro padrão da média. NDVI: Índice de vegetação por diferença normalizada.

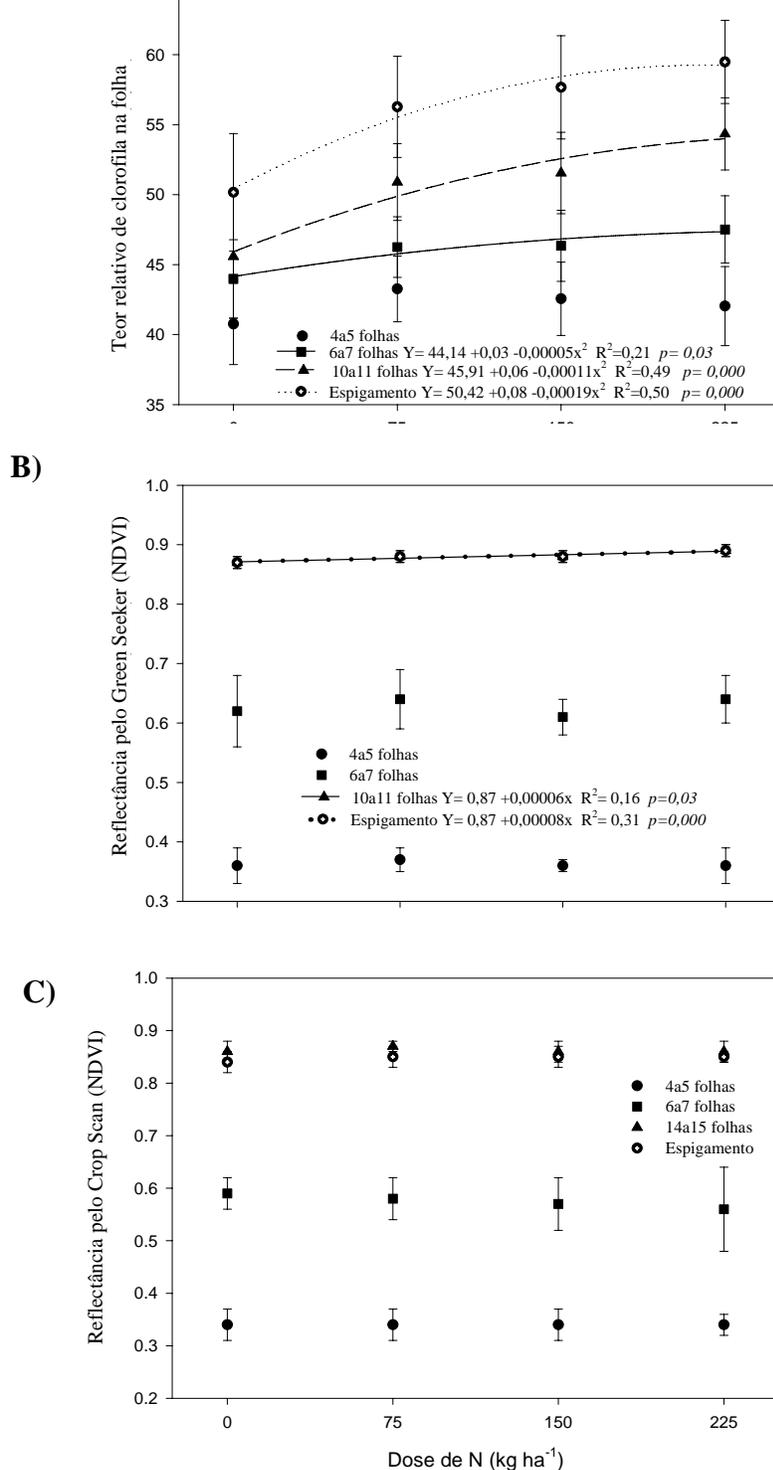


Figura 13. Efeito de níveis de N aplicados no teor relativo de clorofila na folha (A) e na reflectância, medidos pelos equipamentos Green Seeker (B) e Crop Scan (C), em quatro estádios de desenvolvimento do milho, no Experimento II, conduzido no CFIA, Ottawa, ON, 2004. As barras associadas a cada ponto correspondem ao erro padrão da média. NDVI: Índice de vegetação por diferença normalizada.

No entanto, no Experimento II (CFIA) apenas o NDVI medido pelo Green Seeker mostrou relação linear nos estádios V10 e espigamento com os níveis de N aplicados.

Com o objetivo de verificar a relação entre as características da planta e do dossel com rendimento de grãos de milho, foi realizada análise de correlação simples. Novamente, em função dos resultados da análise de variância foram analisadas as características teor relativo de clorofila na folha (TRC) e reflectância (NDVI), determinada pelos equipamentos Green Seeker e Crop Scan. Dentre as características avaliadas, de uma forma geral, o TRC foi o que apresentou maior correlação com rendimento de grãos (Tabelas 32 e 33), mostrando-se positivamente relacionado com rendimento de grãos nos estádios V6 (Experimentos I e II - CFIA), V10 (Experimento II - CFIA) e espigamento (Experimento I - CEF e CFIA, e Experimento II - CFIA).

Tabela 32. Coeficiente de correlação simples entre rendimento de grãos do híbrido de milho Pioneer 38W36 com as características da planta e do dossel no Experimento I, em dois locais (CEF e CFIA) e em quatro estádios de desenvolvimento. Ottawa, ON, 2004

Características da planta e do dossel	Local	Estádio de desenvolvimento ¹			
		V4	V6	V10	Espigamento
Coeficiente de correlação (r)					
Teor relativo de clorofila na folha	CEF	-0,04 ns	-0,06 ns	0,35 ns	0,42*
	CFIA	-0,18 ns	0,41*	0,28 ns	0,49*
Reflectância pelo Green Seeker (NDVI) ²	CEF	0,29 ns	0,08 ns	0,17 ns	0,32 ns
	CFIA	-0,06 ns	0,04 ns	0,24 ns	0,58**
Reflectância pelo Crop Scan (NDVI) ²	CEF	0,17 ns	0,18 ns	0,29 ns	0,41*
	CFIA	-0,37 ns	0,23 ns	0,46 * ³	0,43*

¹Segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993). ²Índice de vegetação por diferença normalizada.

³Determinação realizada no estádio V14.

**Significativo quando $P \leq 0,01$ *Significativo quando $P \leq 0,05$ ns – não significativo.

Tabela 33. Coeficiente de correlação simples entre o rendimento de grãos do híbrido de milho Pioneer 38W36 com as características da planta e do dossel no Experimento II, conduzido no CFIA, em quatro estádios de desenvolvimento. Ottawa, ON, 2004

Características da planta e do dossel	Estádio de desenvolvimento ¹			
	V4	V6	V10	Espigamento
Coeficiente de correlação (r)				
Teor relativo de clorofila na folha	0,28 ns	0,49**	0,60**	0,53**
Reflectância pelo Green Seeker (NDVI) ³	0,23 ns	0,29 ns	0,48**	0,64**
Reflectância pelo Crop Scan (NDVI)	0,13 ns	0,16 ns	0,14 ns ²	0,37*

¹Segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993). ²Determinação realizada no estágio V14. ³Índice de vegetação por diferença normalizada.

**Significativo quando $P \leq 0,01$. *Significativo quando $P \leq 0,05$. ns – não significativo.

A relação verificada neste trabalho entre a leitura do TRC e os níveis de N aplicados pode ser explicada em função de que este método fundamenta-se na correlação positiva existente entre teor de clorofila na folha e teor de N na planta (Piekielek & Fox, 1992; Blackmer & Schepers, 1994; Waskom et al., 1996; Argenta, 2001) que, por sua vez, está associada à atividade fotossintética (Sinclair & Horie, 1989; Ma et al., 1995). Esta relação se deve ao fato de que 50 a 70 % do N total das folhas ser integrante de enzimas que estão associadas aos cloroplastos (Chapman & Barreto, 1997).

Vários estudos têm mostrado que há alta relação entre o TRC e rendimento de grãos de milho (Piekielek & Fox, 1992; Smeal & Zang 1994; Blackmer & Schepers, 1994, 1995; Waskom et al., 1996; Varvel et al., 1997; Fox et al., 2001; Costa et al., 2001; Zebarth et al., 2002; Argenta et al., 2003). Porém, alguns autores consideram os estádios iniciais de desenvolvimento da planta inadequados para separar áreas com plantas com ou sem deficiência de N, usando o clorofilômetro, em função da baixa relação que foi observada entre TRC e teor de N na folha nestes estádios (Waskom et al., 1996; Argenta, 2001). Provavelmente, isto ocorre quando o N não é limitante nesta fase inicial (Waskom et al., 1996) como, por exemplo, quando se tem uma espécie leguminosa antecedendo o milho

(Argenta, 2001), ou ainda, segundo Dwyer et al. (1995), pelo fato de que grande parte do N estar associado ao nitrato e não à molécula da clorofila na fase inicial de desenvolvimento da planta.

A característica reflectância do dossel (NDVI), medido pelos equipamentos Green Seeker e Crop Scan, correlacionou-se com rendimento de grãos somente a partir do estágio V10 (Tabelas 32 e 33). A eficiência do uso dos dois equipamentos foi muito similar nos dois experimentos, verificada pela relação entre reflectância do dossel e rendimento de grãos.

O uso da reflectância como característica indicadora do nível de N da planta se dá em função de que os pigmentos envolvidos na fotossíntese absorvem luz visível (400-700 nm) seletivamente, sendo que as folhas absorvem principalmente os comprimentos de onda azul (cerca de 450 nm) e vermelho (cerca de 660 nm) e refletem, principalmente, o verde (cerca de 550 nm). Por isso, medições de reflectância nestes comprimentos de onda indicam com boa precisão o índice de esverdeamento da folha. Já a faixa de comprimento de onda do infravermelho próximo (700 a 1400 nm) é mais absorvido pelo solo do que pela cultura. Medições de reflectância neste comprimento de onda indicam a quantidade de folha relativa à quantidade de solo descoberto. Desta forma, a coloração do dossel, especialmente no início do desenvolvimento das culturas, quando ele ainda está aberto, não é apenas determinada pela cultura, mas também pelo solo (Schröder et al. 2000).

Para minimizar os efeitos externos à comunidade vegetal, os dados de observações espectrais são transformados em índices de vegetação. Os principais índices de vegetação usados são a combinações de valores de reflectância da vegetação em duas faixas de comprimento de onda, visível e infravermelho próximo. O uso destas duas faixas de comprimento de onda justifica-se devido à grande absorção de radiação incidente pelos pigmentos das plantas na faixa visível do espectro e pela grande reflectância do mesófilo da folha na faixa do infravermelho próximo. Entre os índices de vegetação mais usados

estão a razão simples (SR= reflectância no infravermelho/reflectância no visível) e o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI= (reflectância no infravermelho – reflectância no visível) / (reflectância no infravermelho + reflectância no visível) (Fonseca, 2002).

Os índices de vegetação têm sido usados para dar informações sobre a vegetação, tais como índice de área foliar, biomassa, percentual de radiação fotossinteticamente ativa absorvida e produtividade das culturas (Fonseca, 2002). Além disso, especialmente para o milho, tem-se avaliado também o uso da reflectância do dossel para estimar o nível de N na planta durante o seu desenvolvimento, com vistas ao uso desta característica no manejo da adubação nitrogenada (Baush & Duke, 1996; Ma et al., 1996; Osborne et al., 2002a; Osborne et al. 2002b). Isto é possível, porque diferenças nos níveis de adubação nitrogenada podem ser detectadas através de sensores remotos, pois afetam, principalmente, a reflectância na porção visível do espectro. À medida que aumentam os níveis de N aplicados, diminui a reflectância em todos os comprimentos de onda da porção visível do espectro, devido ao aumento na quantidade de biomassa (Fernández et al., 1994). No entanto, o uso da reflectância como indicador do nível de N na planta ainda necessita ser mais estudado, principalmente para corrigir os efeitos de outros fatores, além do N, na coloração da cultura (Schröder et al. 2000). Isto ficou evidente neste trabalho, principalmente nos estádios iniciais de desenvolvimento do milho, em que as relações entre níveis de N aplicados e rendimento de grãos foram baixas.

Este trabalho mostrou que o teor relativo de clorofila na folha, medido pelo clorofilômetro, foi a característica mais eficiente para indicar o nível de N em milho, pois apresentou maior relação com níveis de N aplicados e com rendimento de grãos. Os resultados obtidos com o fluorômetro indicaram que o seu uso não seria viável para diferenciar níveis de N na cultura do milho, pelo menos, usando as calibrações feitas neste estudo. Já os resultados obtidos com os dois radiômetros testados (Green Seeker e Crop

Scan), apesar de não terem sido tão eficientes quanto os do clorofilômetro, mostraram que os mesmos têm potencial para serem usados como indicadores do nível de N. Porém, mais trabalhos precisam ser realizados para buscar maior eficiência no uso destes equipamentos para diferenciar de níveis de N no dossel. Neste trabalho, a vantagem teórica do Green Seeker, que apresenta sua própria fonte de luz, em relação ao Crop Scan, não se efetivou a campo. Isto talvez tenha ocorrido porque as medições da reflectância foram todas realizadas sob condições ideais, ou seja, em dias totalmente ensolarados e nas horas mais propícias (10 às 12 h).

Um indicador ideal deve reproduzir a relação do nível de N no sistema solo-planta, sendo capaz de detectar ou prever tanto a sua deficiência quanto o seu excesso. Ele deve ser de rápida execução, para permitir ações de manejo que corrijam deficiências durante a ontogenia da cultura. Além disso, os equipamentos para amostragem e análise devem ser de fácil manuseio e, de preferência, portáteis. Os valores obtidos não devem ser afetados por nenhum outro fator, além do nível de N no sistema solo-planta (Schröder et al., 2000). A medida do teor relativo de clorofila na folha, efetuada pelo clorofilômetro, por apresentar baixa sensibilidade ao consumo de luxo de N, está sendo considerada melhor indicadora do nível deste nutriente do que seu próprio teor na folha (Blackmer & Schepers, 1995), sendo esta uma das vantagens do seu uso. Além disso, existem outros benefícios do seu uso, como: proporciona leituras instantâneas, não destrutivas, que não envolvem procedimentos laboratoriais e uso de reagentes químicos, com avaliação rápida e de fácil interpretação (Blackmer & Schepers, 1994); o aparelho tem custo mínimo de manutenção (Piekielek & Fox, 1992) e o técnico e/ou o agricultor podem fazer quantas amostras desejarem, sem custos adicionais e sem destruição da folha (Malavolta, 1997).

Por outro lado, a medida da reflectância do dossel apresenta como vantagem a capacidade de amostragem em termos de comunidade de plantas, possibilitando avaliação rápida da variabilidade espacial no campo. Já outras medidas, como teor relativo de

clorofila na folha, determinado pelo clorofilômetro, são pontuais, isto é, os dados são obtidos em uma única folha da planta ou em parte da área da lavoura. Conseqüentemente, muitas plantas precisam ser medidas para se ter avaliação adequada da variabilidade espacial (Baush & Duke, 1996). Portanto, nenhum destes métodos representa a melhor solução para todos os casos. Assim, a integração no uso destas características pode ser uma boa alternativa para monitoramento mais efetivo do nível de N na planta e no dossel como indicadores da adubação nitrogenada em cobertura em milho.

7.6. CONCLUSÕES

Dentre os indicadores da planta e do dossel avaliados neste estudo, o teor relativo de clorofila na folha, medido pelo clorofilômetro, é a melhor característica para prever a necessidade de N em milho, devido a maior relação com níveis de N aplicados e com rendimento de grãos.

A reflectância do dossel, medida pelos radiômetros Crop Scan e Green Seeker, tem potencial para ser usada como indicadora do nível de N em milho, porém, são necessários mais estudos para aumentar sua eficiência. Os equipamentos testados apresentam eficiência similar na determinação da reflectância do dossel em dias ensolarados.

As características avaliadas pelo fluorômetro utilizado neste trabalho não são bons indicadores do nível de N na cultura do milho. Portanto, são necessários mais estudos usando outros equipamentos e calibrações para determinação da fluorescência na folha e no dossel para aumentar a sua eficiência.

8. CONCLUSÃO GERAL

No presente trabalho, foram testadas algumas características de solo e do dossel e várias características da planta para predição da necessidade de N em cobertura em milho, chegando-se às conclusões abaixo descritas.

Dentre as características de planta avaliadas, o teor relativo de clorofila na folha e o índice de suficiência, medidos pelo clorofilômetro, são os que melhor se relacionam com rendimento de grãos, sendo, no entanto, afetados pelo nível de manejo. As inter-relações entre leitura do clorofilômetro, teor de N na folha e rendimento de grãos de milho são menores nos estádios iniciais de seu desenvolvimento, devido, principalmente à grande quantidade de nitrato presente na folha nestes estádios. O uso do peso específico da folha como fator de correção para o teor relativo de clorofila na folha, medida pelo clorofilômetro, não é eficiente para aumentar a relação entre esta variável e o teor de N na folha.

O teor de nitrato no solo tem potencial para ser usado como indicador complementar da disponibilidade de N no solo para manejo da adubação nitrogenada em milho, porém mais estudos são necessários para avaliar a possibilidade de sua utilização em outros locais e condições edafo-climáticas. Evidenciou-se também que a melhor época para determinação do teor de nitrato no solo como indicador do nível de N no solo é no estágio V6, sendo que o seu nível crítico é de 20 mg kg^{-1} para o ambiente estudado. Observou-se que a utilização do teor de amônio, em adição ao teor de nitrato, aumenta a precisão da predição disponibilidade de N no solo para manejo da adubação nitrogenada

em milho nas condições ambientais avaliadas, evidenciando a necessidade de desenvolvimento de “kits” de determinação rápida do teor de N mineral no solo.

A eficiência dos métodos de monitoramento do nível de N na planta com base no teor relativo de clorofila na folha crítico (TRCC - desenvolvido para a mesma cultivar, local e condições de manejo em estudo) e no índice de suficiência (IS de 0,95) para separar plantas deficientes e com nível adequado de N em milho é similar. Independente da estratégia utilizada, o monitoramento do nível de N na planta com base no TRC é uma técnica com grande potencial para aumentar a eficiência de uso do N em lavouras. Isto é válido, especialmente, sob altas condições de manejo, em que são usadas elevadas doses desse nutriente, resultando em menor contaminação ambiental e em menor custo de produção. O monitoramento com base na integração entre o teor de nitrato de solo e o teor relativo de clorofila na folha não incrementou a eficiência técnica e econômica de uso do N no ambiente avaliado. Porém, em função do potencial de uso desta técnica mais estudos devem ser realizados para testar esta possibilidade.

A metodologia testada para determinação dos níveis críticos do TRC e do IS, medidos pelo clorofilômetro, é eficiente e versátil para obtenção de níveis críticos do nível de N na planta de milho, em diferentes épocas de amostragem e situações de manejo. Os valores críticos do TRC e do IS variam com o estágio de desenvolvimento da planta e com o nível de manejo adotado. A metodologia utilizada para determinar a quantidade de N a ser aplicada com base nos dois índices do teor relativo de clorofila na folha indica que é possível o seu uso para estabelecimento de estratégias de manejo de adubação de N com base no monitoramento do nível de N na planta através do clorofilômetro. As metodologias propostas para determinação dos níveis críticos e doses ótimas de aplicação de N poderiam ser utilizadas na estratégia de manejo “adubar quando é necessário”, para aumentar a eficiência de uso de N.

Dentre as características avaliadas, as mais precisas para predição das doses ótimas de N a serem aplicadas em cobertura em milho são a massa seca e o N acumulado na planta, seguidos pelo teor relativo de clorofila na folha que, devido a sua praticidade e facilidade de obtenção, apresenta o maior potencial de uso na atualidade. Os resultados mostraram que é possível desenvolver e/ou adaptar uma metodologia para predição de doses ótimas de N em cobertura em milho, a partir de características de planta e de solo. Porém, existem várias restrições de exequibilidade pela necessidade de condução de experimentos de grande dimensão, em vários locais, anos e situações de manejo.

Dentre os indicadores da planta e do dossel avaliados neste estudo, o TRC é a melhor característica para prever a necessidade de N em milho, pois apresentou a maior relação com níveis de N aplicados e com rendimento de grãos. A reflectância do dossel, medida pelos radiômetros Crop Scan e Green Seeker, tem potencial para ser usada como indicadora do nível de N, porém, são necessários mais estudos para aumentar a sua eficiência. Os equipamentos testados apresentam desempenho semelhante na determinação da reflectância do dossel em dias ensolarados. As características avaliadas pelo fluorômetro utilizado neste trabalho não são bons indicadores do nível de N na cultura do milho. Portanto, são necessários mais estudos usando outros equipamentos e calibrações na determinação da fluorescência na folha e no dossel para aumentar a sua eficiência.

Por fim, dentre todas as características da planta, do dossel e do solo avaliadas, na atualidade, o TRC, medido pelo clorofilômetro, é o mais preciso, apresentando maior potencial para ser utilizado para predição da necessidade de adubação nitrogenada em milho. Porém, medições de reflectância e de fluorescência do dossel através de sensores remotos são alternativas que podem se tornar viáveis a curto prazo para determinação, com maior agilidade, da variabilidade espacial do nível de N nas culturas. O uso de indicadores de planta, dossel e de solo possibilitará que se faça o manejo mais específico da adubação nitrogenada para cada situação, seguindo os princípios da chamada agricultura de precisão.

Visualizam-se algumas linhas de pesquisa para dar continuidade a esta proposta:

- Validação das metodologias para determinação dos níveis críticos e das doses ótimas de N estabelecidas neste trabalho em diferentes condições edafo-climáticas.
- Desenvolvimento de novas estratégias de manejo que possam integrar o uso das características estudadas neste trabalho como, por exemplo, o teor de nitrato no solo com o teor relativo de clorofila na folha para predição da necessidade de N em cobertura em milho.
- Estudo e determinação de níveis críticos das características que se mostraram mais promissoras neste trabalho, tais como teor relativo de clorofila na folha sob diferentes condições de manejo, ambientes e para diferentes cultivares de milho. Com isto, poderiam ser elaboradas tabelas de níveis críticos para monitoramento do nível de N nas lavouras auxiliando na tomada de decisão quanto à época de aplicação deste nutriente em cobertura em milho.
- Aprofundar os estudos sobre as características baseadas na reflectância e na fluorescência do dossel, testando novamente os equipamentos usados neste trabalho, assim como novas ferramentas mais modernas e precisas, em várias situações de manejo. Apesar dos resultados terem indicado que, atualmente, o teor relativo de clorofila na folha é a característica mais eficiente na predição da necessidade de N em milho, as características baseadas na reflectância e fluorescência devem ser estudadas porque têm potencial para serem usadas nas técnicas de sensoriamento remoto. Isto ocorre devido aos instrumentos que as determinam não necessitarem de contato direto com a cultura, sendo de rápida execução e de fácil manuseio e podendo ser acoplados a tratores e a implementos agrícolas.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADDISCTOTT, T.M. Tillage, mineralization and leaching – foreword. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.53, p.163-165, 2000.

AL-ABBAS, A.H. et al. Spectra of normal and nutrient-deficient maize leaves. **Agronomy Journal**, Madison, v.66, n.1, p.16-20, jan-fev., 1974.

AMADO, T.J.C. **Disponibilidade de nitrogênio para o milho em sistemas de cultura e preparo do solo**. 1997. 201f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J. Estimativa da adubação nitrogenada para o milho em sistemas de manejo e culturas de cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.3, p.553-560, jul-set., 2000.

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n.2, p.241-248, 2002.

ANDRASKI, T.W.; BUNDY, L.G.; BRYE, K.R. Crop management and corn nitrogen rate effects on nitrate leaching. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.29, n.4, p.1095-1103, 2000.

ANDRASKI, T.W.; BUNDY, L.G.. Using the pre-side dress soil nitrate test and organic nitrogen crediting to improve corn nitrogen recommendations. **Agronomy Journal**, Madison, v.94, p.1411-1418, 2002.

ARGENTA, G. **Monitoramento do nível de nitrogênio na planta como indicador da adubação nitrogenada em milho**. 2001. 112f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F. da; BORTOLINI, C.G. Teor de clorofila na folha como indicador do nível de N em cereais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, n.3, p.715-722, 2001.

ARGENTA, G. et al. Parâmetros de planta como indicadores do nível de nitrogênio na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.4, p.519-527, 2002.

ARGENTA, G. et al. Adubação nitrogenada em milho pelo monitoramento do nível de nitrogênio na planta por meio do clorofilômetro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.1, p.109-119, 2003.

BALASUBRAMANIAN, V. et al. On-farm adaptation of knowledge-intensive nitrogen management technologies for rice systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v.53, p.59-69, 1999.

BALASUBRAMANIAN, V. et al. Adaptation of chlorophyll meter (SPAD) technology for real-time N management in rice: a review. **International Rice Research Institute**, Manila, v.25, n.1, p.1-5, abr., 2000.

BARTZ, H.R. et al. **Recomendações de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 3 ed. Passo Fundo: SBCS - Núcleo Regional Sul, 1994. 223 p.

BAUSCH, W.C.; DUKE, H.R. Remote sensing of plant nitrogen status in corn. **Transactions of the ASE**, St. Joseph, v.39, n.5, p.1869-1875, 1996.

BAYER, C. **Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos**. 1996. 240f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

BINDER, D.L.; SANDER, D.H; WALTERS, D.T. Maize response to time of nitrogen application as affected by level of nitrogen deficiency. **Agronomy Journal**, Madison, v.92, n.6, p.1228-1236, 2000.

BINFORD, G.D.; BLACKMER, A.M.; EL-HOUT, N.M. Tissue test for excess nitrogen during corn production. **Agronomy Journal**, Madison, v.82, n.1, p.124-129, 1990.

BINFORD, G.D.; BLACKMER, A.M. CERRATO, M.E. Nitrogen concentration of young corn plants as an indicator of nitrogen availability. **Agronomy Journal**, Madison, v.84, n.2, p.219-223, 1992.

BINFORD, G.D.; BLACKMER, A.M. CERRATO, M.E. Relationships between corn yields and soil nitrate in late spring. **Agronomy Journal**, Madison, v.84, n.1, p.53-59, 1992.

BLACKMER, A.M., POTTKER, D.; CERRATO, M.E., WEBB, J. Correlations between soil nitrate concentrations in late spring and corn yields in Iowa. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v.2, p.103-109, 1989.

BLACKMER, T.M.; SCHEPERS, J.S.; VIGIL, M.F. Chlorophyll meter readings in corn as affected by plant spacing. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.24, n.17/18, p.2507-2516, 1993.

BLACKMER, T.M.; SCHEPERS, J.S. Techniques for monitoring crop nitrogen status in corn. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.25, n.9/10, p.1791-1800, 1994.

BLACKMER, T.M.; SCHEPERS, J.S. Use of chlorophyll meter to monitor nitrogen status and schedule fertigation for corn. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v.8, n.1, p.56-60, 1995.

BREDEMEIER, C. **Predição da necessidade de nitrogênio em cobertura em trigo e aveia**. 1999. 101f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C.M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.2, p.365-372, 2000.

BUCHANAN, B.B.; GRUISSEM, W.; JONES, R. L. **Biochemistry & molecular biology of plants**. Rockville: American Society of Plant Physiologists, 2000. 1367p.

BUNDY, L.G.; ANDRASKI, T.W. Soil and plant nitrogen availability tests for corn following alfafa. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v.6, n.2, p.200-206, 1993.

BUNDY, L.G.; MEISINGER, J.J. Nitrogen availability indices. In: Soil Science Society of America. **Methods of soil analysis, part 2: microbiological and biochemical properties**. Madison: WEAVER, R.W., 1994. p.951-984.

CAMPBELL, R.J. et al. Growing conditions after the relationship between SPAD-501 values and apple leaf chlorophyll. **HortScience**, Alexandria, v.25, p.330-331, 1990.

CANTARELLA, H. Calagem e adubação do milho. In: BÜLL, L.T.; CANTARELLA, H.(Eds) **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFOS, 1993. p.147-198.

CASANOVA, D.; EPEMA, G.F.; GOUDRIAAN, J. Monitoring rice reflectance at field level for estimating biomass and LAI. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.55, p.83-92, 1998.

CATE, R.B.; NELSON, L.A. A simple statistical procedure for partitioning soil test correlation data into two classes. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.35, p.658-660, 1987.

CERETTA, C.A. Manejo da adubação nitrogenada na sucessão aveia/milho, no sistema de plantio direto. In: FRIES, M.R.; DALMOLIN, R.S.D. **Atualização em recomendação de adubação e calagem: ênfase em plantio direto**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 1997. p.112-124.

CERETTA, C.A. et al. Características químicas de solo sob aplicação de esterco líquido de suínos em pastagem natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, p. 729-735, 2003.

CERRATO, M.E.; BLACKMER, A.M. Relationships between leaf nitrogen concentrations and the nitrogen status of corn. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v.4, n.3, p.525-531, 1991.

CHAPMAN, S.C.; BARRETO, H.J. Using a chlorophyll meter to estimate specific leaf nitrogen of tropical maize during vegetative growth. **Agronomy Journal**, Madison, v.89, n.4, p.557-562, jul-ago., 1997.

CORP, A.C. et al. Fluorescence sensing systems: In vivo detection of biophysical variations in field corn due to nitrogen supply. **Remote Sensing of Environment**, New York, v.86, p.470-479, 2003.

COSTA, C. et al. Inter-relationships of applied nitrogen, SPAD, and yield of leafy and non-leafy maize genotypes. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.24, n.8, p.1173-1194, 2001.

DWYER, L.M. et al. Quantifying the nonlinearity in chlorophyll meter response to corn leaf nitrogen concentration. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v.75, n.1, p.179-182, 1995.

DYNIA, J.F.; CAMARGO, O.A. Retenção de nitrato num solo de carga variável, influenciada por adubação fosfatada e calagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.1, p.141-144, 1999.

EARLEY, E.B.; MCIIRATH W.O.; SEIF R.D. Effects of shade applied at different stages of plant development on corn (*Zea mays* L.) production. **Crop Science**, Madison, v.7, p.151-156, 1967.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA, 1999. 412p

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Fisiologia de produção e manejo de água e nutrientes na cultura do milho de alta produtividade**. Piracicaba: POTAFOS, Departamento de Agricultura/ESALQ, USP, 1996. 29 p.

FEIBO et al. Chlorophyll meter to predict nitrogen sidedress requirements for short-season cotton (*Gossypium hirsutum* L.). **Field Crop Research**, Amsterdam, v.56, p.309-314, 1998.

FERNÁNDEZ, S; VIDAL, D.; SIMÓN, E. et al. Radiometric characteristics of *Triticum aestivum* c. Astral under water and nitrogen stress. **International Journal of Remote Sensing**, Dundee, v.15, n.9, p.1867-1884, 1994.

FOLLET, R.H.; FOLLET, R.F.; HALVORSON, A.D. Use of a chlorophyll meter to evaluate the nitrogen status of dryland winter wheat. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.23, n.7/8, p.687-697, 1992.

FONSECA, E.L. da. **Caracterização espectral e índices de vegetação em *Paspalum notatum* Flüge var. *notatum* com vistas à modelagem de crescimento**. 2002. 61f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

FORSTHOFER, E.L. **Potencial de rendimento de grãos e desempenho econômico do milho em cinco níveis de manejo, em três épocas de semeadura**. 2004. 94f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

- FORSTHOFER, E.L. et al. Desenvolvimento fenológico e agrônômico de três híbridos de milho em três épocas de semeadura. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.5, p.1341-1348, 2004.
- FOX, R.H. et al. Soil and tissue tests compared for predicting soil nitrogen availability to corn. **Agronomy Journal**, Madison, v.81, n.6, p.971-974, 1989.
- FOX, R.H.; PIEKIELEK, W.P.; MACNEAL, K.M. Using a chlorophyll meter to predict nitrogen fertilizer needs of winter wheat. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.25, n.3/4, p.171-181, 1994.
- FOX, R.H.; PIEKIELEC, W.P.; MACNEAL, K.E. Comparison of late-season diagnostic tests for predicting nitrogen status of corn. **Agronomy Journal**, Madison, v.93, n.3, p.590-597, 2001.
- GÜNTHER, K.P.; DAHN, H.G.; LÜDEKER, W. Remote sensing vegetation status by laser-induced fluorescence. **Remote Sensing of Environment**, New York, v.47, p.10-17, 1993.
- HASHEMI-DEZFOULI, A.; HERBERT, S.J. Intensifying plant density response of corn with artificial shade. **Agronomy Journal**, Madison, v.84, n.4, p.574-551, 1992.
- HECKMAN, J.R. et al. Corn response to side dress nitrogen in relation to soil nitrate concentration. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.27, n.3/4, p.575-583, 1996.
- HOEL, O.B.; SOLHAUG, K.A. Effect of irradiance on chlorophyll estimation with the Minolta SPAD-502 leaf chlorophyll meter. **Annal of Botany**, v.82, p.389-392, 1998.
- HUSSAIN, F. et al. Use of chlorophyll meter sufficiency indices for nitrogen management of irrigated rice in Asia. **Agronomy Journal**, Madison, v.92, n.5, p.875-879, 2000.
- IVERN, K.V.; FOX, R.H.; PIEKIELEK, W.P. The relationships of nitrate concentration in young corn stalks to soil nitrogen availability and grain yields. **Agronomy Journal**, Madison, v.77, n.6, p.927-932, 1985.
- JAYNES, D.B. et al. Using the late spring nitrate test to reduce nitrate loss within a watershed. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.33, p.669-677, 2004.
- JEMISON, J.M.; LYTLE, D.E. Field evaluation of two nitrogen testing methods in maize. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v.9, n.1, p.106-113, 1996.
- KEENEY, S.D. Nitrogen management for maximum efficiency and minimum pollution. In: STEVENSON, F.J. (Ed.). **Nitrogen in agriculture soils**. Madison: Soil Science Society of America, 1982. p.605-949.
- KLAUSNER, S.D.; REID, W.S.; BOULDIN, D.R. Relationship between late spring soil nitrate concentrations and corn yields in New York. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v.6, n.3, p.350-354, 1993.

LAW, B.E.; WARING, R.H. Remote sensing of leaf area index and radiation intercepted by understory vegetation. **Ecological Applications**, New Jersey, v.4, n.2, p.272-279, 1994.

MA, B.L.; DWYER, L.M. Within plot variability in available soil mineral nitrogen in relation to leaf greenness and yield. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.30, n.13/14, p.1919-1928, 1999.

MA, B.L.; DWYER, L.M.; COSTA, C.; COBER, E.R.; MORRISON, M.J. Early prediction of soybean yields from canopy reflectance measurement. **Agronomy Journal**, Madison, v.93, p.1227-1234, 2001.

MA, B.L., MORRISON, M.J. VOLDENG, H.D. Leaf greenness and photosynthetic rates in soybean. **Crop Science**, Madison, v.35, n.5, p.1411-1414, 1995.

MA, B.L.; MORRISON, M.J.; DWYER, L.M. Canopy light reflectance and field greenness to assess nitrogen fertilization and yield of maize. **Agronomy Journal**, Madison, v.88, n.6, p.915-920, 1996.

MAGDOFF, F. Understanding the Magdoff pre-sidedress nitrate test for corn. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v.3, n.4, p.297-305, 1991.

MAGDOFF, F.R.; ROSS, D.; AMADON, J. A soil test for nitrogen availability to corn. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.48, p.1301-1304, 1984.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFÓS, 1997. 319p.

MARQUARDT, R.D.; TIPTON, J.L. Relationship between extractable chlorophyll and an *in situ* method to estimate leaf greenness. **HortScience**, Alexandria, v.22, n.6, p.1327, 1987.

MASS, S.J.; DUNLAP, J.R. Reflectance, transmittance, and absorptance of light by normal, etiolated, and albino corn leaves. **Agronomy Journal**, Madison, v.81, n.1, p.105-110, 1989.

MATSON, P.A.; NAYLOR, R.; MONASTERIO, O. Integration of environmental, agronomic, and economic aspects of fertilizer management. **Science**, Washington, v.280, n.3, 1998.

MAYASICH, J.M.; MAYASICH, S.A.; REBEILZ, C.A. Response of corn (*Zea mays*), soybean (*Glycine max*), and several weed species to dark-applied photodynamic herbicide modulators. **Weed Science**, Champaign, v.38, n.1, p.10-15, 1990.

MCMURTREY, J.E. et al. Distinguishing nitrogen fertilization level in field corn (*Zea mays* L.) with actively induced fluorescence and passive reflectance measurements. **Remote Sensing of Environment**, New York, v.47, p.36-44, 1994.

MCMURTREY, J.E. et al. Blue-green fluorescence and visible-infrared reflectance of corn (*Zea mays* L.) grain for *in situ* field detection of nitrogen supply. **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v.148, n.5, p.509-514, 1996.

MUNDSTOCK, C.M.; SILVA, P.R..F. da. **Manejo da cultura do milho**. Porto Alegre: Departamento de Plantas de Lavoura da UFRGS, 1989. 76 f. Datilografado.

NTECH INDUSTRIES, IN. Ukiah, CA, USA. Contém informações sobre o equipamento Green Seeker. Disponível em: <<http://www.ntechindustries.com/RT100-handheld.html>>. Acesso em: 20 jun. 2004a.

NTECH INDUSTRIES, IN. Ukiah, CA, USA. Contém informações sobre o equipamento Green Seeker. Disponível em: <http://www.ntechindustries.com/greenseeker_faqs.html>. Acesso em: 20 jun. 2004b.

OPTI-SCIENCES. Tyngsboro, MA, USA. Contém informações sobre o equipamento Fluorometer OS-30. Disponível em: <<http://www.optisci.com/os30.htm>>. Acesso em: 20 jun. 2004.

OSBORNE, S.L. et al. Detection of phosphorus and nitrogen deficiencies in corn using spectral radiance measurements. **Crop Science**, Madison, v.94, p.1215-1221, 2002a.

OSBORNE, S.L. et al. Use of spectral radiance to estimate in-season biomass and grain yield in nitrogen and water stressed corn. **Crop Science**, Madison, v.42, p.165-171, 2002b.

PENG, S. et al. Adjustment for specific leaf weight improves chlorophyll meter's estimate of rice leaf nitrogen concentration. **Agronomy Journal**, Madison, v.85, n.5, p.987-990, 1993.

PENG, S. et al. Increased N-use efficiency using a chlorophyll meter on high-yielding irrigated rice. **Field Crop Research**, Amsterdam, v.47, p.243-252, 1996.

PETTIGREW, W.T.; HEITHOLT, J.J.; VAUGHN, K.C. Gas exchange differences and comparative anatomy among cotton leaf-type isolines. **Crop Science**, Madison, v.33, p.1295-1299, 1993.

PIEKIELEK, W.P.; FOX, R.H. Use of a chlorophyll meter to predict sidedress nitrogen requirements for maize. **Agronomy Journal**, Madison, v.84, n.1, p.59-65, jan-fev., 1992.

PIEKIELEK, W.P.; FOX, R.H. Use of a chlorophyll meter to predict sidedress nitrogen requirements for maize. **Agronomy Journal**, Madison, v.84, n.1, p.59-65, jan-fev., 1992.

PIEKIELEK, W.P. et al. Use of a chlorophyll meter at the early dent stage of corn to evaluate nitrogen sufficiency. **Agronomy Journal**, Madison, v.87, n.3, p.403-408, mai-jun., 1995.

PLÉNET, D.; LEMAIRE, G. Relationships between dynamics of nitrogen uptake and dry matter accumulation in maize crop: determination of critical N concentration. **Plant and Soil**, Netherlands, v.216, n.1/2, p.65-82, 1999.

PORT, O.; AITA, C.; GIACOMINI, S.J. Perda de nitrogênio por volatilização de amônia com o uso de dejetos de suínos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, p. 857-865, 2003.

- POTTKER, D.; ROMAN, E. Efeito de resíduos de cultura e do pousio de inverno sobre a resposta do milho a nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, n.5, p.763-770, 1994.
- RAMBO, L. et al. Testes de nitrato no solo como indicadores complementares no manejo da adubação nitrogenada em milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.4, p.1279-1287, 2004.
- RANDALL, G.; MULLA, D.J. Nitrate nitrogen in surface waters as influenced by climatic conditions and agriculture practices. **Agronomy Journal**, Madison, v.30, n.2, p.337-344, mar-abr., 2001.
- RAUN, W.R.; JOHNSON, G.V. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. **Agronomy Journal**, Madison, v.91, n.3, p.357-363, 1999.
- REEVES, D.W. et al. Determination of wheat nitrogen status with a hand-held chlorophyll meter: influence of management practices. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.16, n.4, p.781-796, 1993.
- RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J; BENSON, G.O.. How a corn plant develops? **Iowa State University of Science and Technology**. Cooperative Extension Service. 21p. (Special Report n.48), Ames, 1993. Disponível em: <<http://www.maize.agron.iastate.edu/corngrows.html>>. Acesso em 20 jan. 2003.
- ROBERTS, S.; RHEE, J.K. Critical nutrient concentrations and DRIS analysis of leaf and grain from high-yielding corn. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.24, n.19/29, p.2679-2687, 1993.
- ROTH, G.W. et al. Development of a quicktest kit method to measure soil nitrate. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.22, n.3/4, p.191-200, 1991.
- ROTH, G.W.; BEEGLE, D.B.; BOHN, P.J. Field evaluation of a pre-side dress soil nitrate test and quick test for corn in Pennsylvania. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v.5, n.4, p.476-481, 1992.
- ROZAS, H.S.; ECHEVERRIA, H.E. Relación entre las lecturas del medidor de clorofila (Minolta SPAD 502) en distintos estadios del ciclo de maíz y el rendimiento en grano. **Revista Facultad de Agronomía**, v.103, n.1, p.37-34, 1998.
- ROZAS, H. S. et al. Evaluation of the presidress soil nitrogen test for no-tillage maize fertilized at planting. **Agronomy Journal**, Madison, v.92, n.6, p.1176-1183, 2000.
- SANGOI, L. et al. Níveis de manejo na cultura do milho em dois ambientes contrastantes: análise técnico-econômica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.6, p.1021-1029, 2003.
- SANTOS, D.M.M. dos; PITELLI, R.A.; BANZATTO, D.A. Efeito de herbicidas nos teores de clorofilas de *Spirodela punctata*. **Planta Daninha**, v.17, n.2, p.175-182, 1999.
- SCHEPERS, J.S. et al. Comparations of corn leaf nitrogen and chlorophyll meter readings. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.23, n.17/20, p.2173-2187, 1992.

SCHMITT, M.A.; RANDALL, G.W. Developing a soil nitrogen test for improved recommendations for corn. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v.7, n.3, p.328-334, 1994.

SCHREIBER H.A.; STANBERRY, C.O.; TUCKER, H. Irrigation and nitrogen effects sweet corn row number at various growth stages. **Science**, Washington, v.135, n.1, p.135-136, 1988.

SCHRÖDER, J.J. et al. Does the crop or the soil indicate how to save nitrogen in maize production? Reviewing the state of art. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.66, n.1, p.151-164, 2000.

SHARF, C.; ALLEY, M.M.. Spring nitrogen on winter wheat: II. A flexible multicomponent rate recommendation system. **Agronomy Journal**, Madison, v.85, p.1186-1192, 1993.

SILVA, P.R.F. da. Crescimento e desenvolvimento. In: **Indicações técnicas para cultura de milho no Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: FEPAGRO; EMBRAPA TRIGO, EMATER/RS; FECOAGRO/RS, 2001. 135p. (Boletim Técnico, 7)

SIMS, J.T. et al. Evaluation of soil and plant nitrogen tests for maize on manured soils of the Atlantic coastal plain. **Agronomy Journal**, Madison, v.87, n.2, p.213-222, 1995.

SINCLAIR, T.R.; HORIE, T. Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation use efficiency: a review. **Crop Science**, Madison, v.29, n.1, p.90-98, 1989.

SINCLAIR, T.R.; VADEZ, V. Physiological traits for crop yield improvement in low N and P environments. **Plant and Soil**, Netherlands, v.245, n.1/2, p.1-15, 2002.

SINGH, B. et al. Chlorophyll meter and leaf color chart based nitrogen management for rice and wheat in northwestern India. **Agronomy Journal**, Madison, v.94, n.4, p.821-829, 2002.

SMEAL, D.; ZHANG, H. Chlorophyll meter evaluation for nitrogen management in corn. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.25, n.9/10, p.1495-1503, 1994.

SOLTANPOUR, P.N.; MALAKOUTI, M.J.; RONAGHI, A. Comparison of DRIS and nutrient sufficiency range for corn. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.59, n.1, p.133-139, 1995.

SPELLMAN, D.E. et al. Pre-side dress nitrate soil testing to manage nitrogen fertility in irrigated corn in a semi-arid environment. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.27, n.3/4, p.561-574, 1996.

STALIN, P. et al. Comparing management techniques to optimize fertilizer N application in rice in the Cauvery Delta of Tamil Nadu, India. **International Rice Research Institute**, Makati, v.25, n.2, p.25-26, 2000.

STANFORD, G. Rationale for optimum nitrogen fertilization in corn production. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.2, n.2, p.159-166, 1973.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions.** 2 ed. New York: John Wiley & Sons, 1994. 496 p.

SUNDERMAN, H.D.; PONTUS, J.S. LAWLESS, J.R. Variability in leaf chlorophyll concentration among full-fertilized corn hybrids. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.28, n.19, p.1793-1803, 1997.

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

TENGA, A.Z.; MARIE, B.A.; ORMROD, D.P. Leaf greenness meter to assess ozone injury to tomato leaves. **HortScience**, Alexandria, v.24, n.4, p.524, 1989.

TEYKER, R.H.; MOIL, R.H.; JACKSON, W.A. Divergent selection among maize seedlings for nitrate uptake. **Crop Science**, Madison, v.29, n.5, p.879-884, 1989.

TURNER, F.T.; JUND, M.F. Chlorophyll meter to predict nitrogen topdress requirement for semidwarf rice. **Agronomy Journal**, Madison, v.83, n.5, p.926-928, 1991.

TYLER, D.D.; THOMAS, G.W. Lysimeter measurements of nitrate and chloride losses from soil under conventional cultivation and no-tillage maize. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.6, p.63-66, 1977

VALENTINI, R. et al. Remote sensing of chlorophyll *a* fluorescence of vegetation canopies: 2. Physiological significance of fluorescence signal in response to environmental stresses. **Remote Sensing of Environment**, New York, v.47, p.29-35, 1994.

VANOTTI, M.B.; BUNDY, L.G. An alternative rationale for corn nitrogen fertilizer recommendations. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v.7, n.2, p.243-249, 1994.

VARVEL, G.E.; SCHEPERS, J.S.; FRANCIS, D.D. Ability for in-season correction of nitrogen deficiency in corn using chlorophyll meter. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.61, n.4, p.1233-1239, 1997.

VON WIRÉN, N.; GAZZARRINI, S.; FROMMER, W.B. Regulation of mineral nitrogen uptake in plants. **Plant and Soil**, The Hague, v.196, p.191-199, 1997.

WASKOM, R.M. et al. Monitoring nitrogen status of corn with a portable chlorophyll meter. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.27, n.3, p.545-560, 1996.

YADAVA, U.L. A rapid and nondestructive method to determine chlorophyll in intact leaves. **HortScience**, Alexandria, v.21, n.6, p.1449-1450, 1986.

YAMADA, T. **Adubação nitrogenada do milho: quanto, como e quando aplicar?** p.1-5, 1996 (Informações Agrônomicas, n.74).

ZEBARTH, B.J.; PAUL, J.W. Growing season nitrogen dynamics in manured soils in south coastal British Columbia: implications for a soil nitrate test for silage corn. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.77, p.67-77, 1996.

ZEBARTH, B.J. et al. Evaluation of leaf chlorophyll index for making fertilizer nitrogen recommendations for silage corn in a high fertility environment. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.33, n.5/6, p.665-684, 2002.

10. APÊNDICES

APÊNDICE I



Apêndice 1. Leitura do teor relativo na folha de milho com o clorofilômetro.

APÊNDICE II



Apêndice 2. Determinação da área foliar de milho em laboratório com o equipamento Licor 3100.

APÊNDICE III



Apêndice 3. Determinação da área foliar de milho a campo com o equipamento Licor 3000A.

APÊNDICE IV



Apêndice 4. Determinação da fluorescência na folha de milho com o fluorômetro modelo OS-30.

APÊNDICE V



Apêndice 5. Determinação da reflectância do dossel de milho com o radiômetro Crop Scan, modelo MSR87.

APÊNDICE VI



Apêndice 6. Determinação da reflectância do dossel de milho com o radiômetro Green Seeker, modelo 505.

11. VITAE

Lisandro Rambo, nasceu em 11 de abril de 1976, na cidade de Victor Graeff-RS. Criado no meio rural, no município de Não-Me-Toque-RS, desde sua infância sempre mostrara interesse pela atividade agrícola. Assim, aos 14 anos de idade iniciou seus estudos nesta área na Escola Agrotécnica Federal de Sertão (EAFS), em Sertão-RS, onde completou o curso de Técnico em Agropecuária em 1993.

No ano seguinte iniciou o curso de Agronomia na Universidade de Passo Fundo, onde estudou por três semestres. Em virtude de dificuldades financeiras, em 1995 prestou vestibular para o curso de Agronomia na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), no qual foi aprovado, iniciando o curso no ano seguinte e graduando-se Engenheiro Agrônomo no ano de 1999. Durante a realização do curso de Agronomia foi bolsista do Programa Especial de Treinamento (PET/CAPES), onde desenvolveu interesse pela pesquisa.

Logo após o término do curso de Agronomia, iniciou o curso de mestrado em Fitotecnia na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), na área de concentração Fisiologia e Manejo de Plantas Cultivadas, sob a orientação do Professor José Antonio Costa. Seu trabalho de dissertação foi com a cultura da soja. No ano de 2002, concluiu o curso de mestrado e, neste mesmo ano, iniciou o curso de Doutorado em Fitotecnia, na mesma universidade e área de concentração. No entanto, desta vez, sob a orientação do Professor Paulo Regis Ferreira da Silva, trabalhando com a cultura do milho.

Durante a realização dos cursos de mestrado e doutorado foi bolsista do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico (CNPq), sendo que durante o doutorado obteve bolsa de doutorado sanduíche no exterior. Assim, teve a oportunidade de realizar parte de seu doutorado no *Estern Cereal Oilseed Research Center* (ECORC), sob a orientação do pesquisador Bao-Luo Ma, na cidade de Ottawa, Canadá, durante o período de março a outubro de 2004.