

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA - UDESC**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS - CAV**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**MESTRADO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**VITOR PAULO VARGAS**

**MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA NA RECUPERAÇÃO DE**  
**ESTRESSES EM MILHO**

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências  
Agroveterinárias da Universidade do Estado de  
Santa Catarina – UDESC para obtenção do  
título de Mestre em Ciência do Solo

**Orientador:** Prof. Ph.D. Luis Sangoi

**LAGES-SC**

**2010**

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária  
Renata Weingärtner Rosa – CRB 228/14ª Região  
(Biblioteca Setorial do CAV/UDESC)

Vargas, Vitor Paulo  
Manejo da adubação nitrogenada na recuperação de  
estresses em milho. / Vitor Paulo Vargas. – Lages, 2010.  
145 p.

Dissertação (mestrado) – Centro de Ciências Agroveterinárias /  
UDESC.

1. Milho. 2. Perfilhamento. 3. Desfolhamento.  
4. Fitotoxicidade. 5. Nitrogênio. I. Título.

CDD – 633.15

**VITOR PAULO VARGAS**

**MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA NA RECUPERAÇÃO DE  
ESTRESSES EM MILHO**

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo

**Banca Examinadora:**

---

**PhD. Luis Sangoi**

Orientador – UDESC/ Lages-SC

---

**Dr. Luciano Colpo Gatiboni**

Coordenador do Curso de Mestrado em  
Ciência do Solo, Coordenador Geral  
PPGCA – UDESC/ Lages-SC

---

**PhD. Paulo Roberto Ernani**

Co-orientador – UDESC/Lages-SC

---

**Dr. Adil Knackfuss Vaz**

Diretor Geral do Centro de Ciências  
Agroveterinárias – UDESC/ Lages-SC

---

**Dr. Luciano Colpo Gatiboni**

Co-orientador – UDESC/ Lages-SC

---

**PhD. Paulo Régis Ferreira da Silva**

Membro – UFRGS/ Porto Alegre-RS

**Lages, 25/02/2010**

*Aos meus pais queridos pelo amor e incentivo, e por sempre acreditarem que a minha caminhada, é nossa.*

*Ofereço e dedico.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por estar sempre presente em minha vida.

Aos meus pais, Paulo e Rosemere, primeiramente por terem me concedido a vida, e serem verdadeiros exemplos de caráter, honestidade e humildade. E, principalmente, por acreditarem que os meus sonhos são seus sonhos, e estarem sempre do meu lado, me apoiando incondicionalmente. Meus eternos agradecimentos.

Aos meus irmãos, Eder e Thiago, pelos bons momentos vividos juntos.

Ao meu orientador e “pai” científico, Prof. Luis Sangoi, por ter me apoiado e principalmente por ter confiado em mim nesta etapa. Meus sinceros agradecimentos.

Ao meu co-orientador e grande amigo, Prof. Paulo Roberto Ernani, pelo incentivo, pelos ensinamentos e pelos momentos de descontração.

A todos os professores do Programa de Pós Graduação em Manejo do Solo. Todos contribuíram para meu crescimento profissional e pessoal.

A todos os meus amigos, principalmente àqueles que fiz nos últimos dois anos, em meio aos livros, artigos e planilhas de campo.

A todos os bolsistas e voluntários que deram o máximo de si na realização dos trabalhos desenvolvidos. Agradeço aos meus “irmãos” Anderson, Rodolfo, Jeferson, Alexandre, Giovani, Eduardo, Mariana, Francisco e Thiago pelo apoio.

À UDESC, pelo ensino gratuito e de qualidade, e à CAPES, pela concessão da bolsa.

E por fim, gostaria de agradecer imensamente a três pessoas que muito bem me receberam na equipe: à minha “irmã” Paula, pelos bons conselhos dados; ao meu “irmão” e grande amigo Cleber, pela solidariedade, paciência e companheirismo; e especialmente àquele com quem, talvez, fiz a amizade mais sólida, e que aprendi muito sobre a vida: ao Sérgio.

Muito obrigado.

## RESUMO

A cultura do milho é suscetível a estresses. O surgimento de perfilhos, as desfolhas por granizo ou ataques de lagarta-do-cartucho e a ocorrência de fitotoxicidade foliar pelo contato físico entre fertilizantes nitrogenados aplicados em cobertura são estresses que podem reduzir o rendimento de grãos do milho. O manejo adequado da cobertura nitrogenada pode atenuar o efeito destes estresses. Este trabalho buscou identificar estratégias de manejo da adubação nitrogenada que permitam mitigar estresses ocasionados pelo perfilhamento do milho, pela desfolha e pela fitotoxicidade de fertilizantes nitrogenados. Foram conduzidos três experimentos a campo, em Lages, Santa Catarina. O primeiro ensaio analisou o efeito de doses e épocas de aplicação de nitrogênio sobre o perfilhamento e o rendimento de grãos. Foram testadas as doses 0, 50, 100 e 200 kg ha<sup>-1</sup>, aplicadas integralmente quando o milho tinha quatro folhas expandidas (V4), oito folhas (V8) e parceladamente, sendo metade da dose com quatro folhas e metade com oito folhas expandidas das plantas ( $\frac{1}{2}$ V4 +  $\frac{1}{2}$  V8). O segundo ensaio avaliou o efeito da reaplicação de nitrogênio após a desfolha em três estádios de desenvolvimento. As desfolhas foram realizadas quando o milho tinha oito folhas expandidas (V8), 15 folhas (V15) e no pendoamento (VT). Após a desfolha, em cada estádio, aplicaram-se as doses 0, 50, 100 e 200 kg de N ha<sup>-1</sup>. Uma testemunha sem desfolha foi incluída, na qual foram aplicadas as mesmas doses de N. No terceiro experimento avaliou-se a capacidade de recuperação do milho após a fitotoxicidade pelos fertilizantes nitrogenados. Avaliaram-se duas fontes de nitrogênio: uréia e nitrato de amônio, aplicadas em dois estádios: cinco (V5) e 10 folhas expandidas (V10). Os fertilizantes foram aplicados, na dose de 200 kg de N ha<sup>-1</sup>, de quatro modos: na linha de semeadura, via sólida ou fluída, e a lanço, com umidade e sem umidade sobre as folhas. Houve incremento na sobrevivência dos perfilhos com o uso de N até o florescimento da cultura. As aplicações precoces de nitrogênio estimularam a emissão e a sobrevivência destas estruturas até a colheita. Contudo, a época de aplicação e a dose de N não afetaram a contribuição dos perfilhos ao rendimento de grãos. As desfolhas realizadas em V8 não afetaram o rendimento de grãos. As desfolhas feitas no pendoamento reduziram acentuadamente o rendimento de grãos, independentemente da dose de N aplicada em cobertura. Em V15, houve redução da área foliar e do rendimento de grãos. No entanto, a reaplicação de 100 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio assegurou rendimentos semelhantes àqueles do tratamento sem desfolha. As aplicações de fertilizantes nitrogenados a lanço ocasionaram sintomas de fitotoxicidade foliar, independentemente da fonte de N e da umidade sobre as folhas. O nitrato de amônio a lanço reduziu mais a área foliar e o rendimento de grãos que a uréia. As aplicações próximas à linha asseguraram os maiores rendimentos, independentemente da fonte e da época de aplicação. A adubação nitrogenada em cobertura pode ser uma estratégia de mitigação de estresses oriundos do perfilhamento e da desfolha, principalmente quando não ocasiona fitotoxicidade

**Palavras – chave:** *Zea mays*. Perfilhamento. Desfolha. Fitotoxicidade. Nitrogênio.

## ABSTRACT

Maize is highly susceptible to stresses. Tiller emission, defoliations caused by hail or armyworm attack, and the occurrence of phytotoxicity derived from the physical contact between nitrogen fertilizers and leaf tissue, are examples of stresses that can reduce grain yield. The adequate management of nitrogen side-dress can mitigate the harmful effects of these stresses. This study was conducted aiming to identify management strategies of side dress nitrogen fertilization that alleviate stresses caused by maize tillering, defoliation and fertilizer phytotoxicity. Three field experiments were conducted in Lages, Southern Plateau of Santa Catarina, Brazil. The first experiment examined the effect of rates and times of nitrogen application on tiller emission, survival and contribution to maize grain yield. Four N rates (0, 50, 100 and 200 kg N ha<sup>-1</sup>) applied when plant had four expanded leaves (V4), eight leaves (V8) and, half rate with four and other half with eight expanded leaves ( $\frac{1}{2}$ V4 +  $\frac{1}{2}$  V8). The second trial evaluated the effect of re-application of nitrogen after defoliation at three growth stages. The defoliations were performed when plant had eight (V8), and 15 expanded leaves (V15), and at tasseling (VT). After each defoliation, the rates of 0, 50, 100 and 200 kg N ha<sup>-1</sup> were side-dressed. A control without defoliation was included, having the same doses of N. In the third experiment, maize recovery capacity after the occurrence of phytotoxicity caused by nitrogen fertilizers was assessed. Two nitrogen sources were evaluated: urea and ammonium nitrate. Both N sources were applied at two growth stages: five (V5) and 10 expanded leaves (V10). The rate of 200 kg N ha<sup>-1</sup> was side-dressed using four methods: in the row of sowing via solid or fluid, and broadcast, with dry and wet leaves. Tiller survival was enhanced with the increase in N rate at flowering. However, N rate did not influence tiller percentage at harvest. Early nitrogen side-dresses stimulated tiller emission and survival at harvest. However, the time and rate of nitrogen application did not affect tiller contribution to grain yield. Defoliations performed in V8 did not affect grain yield. Defoliations carried out in VT decrease drastically grain yield, regardless of N rate. Defoliations imposed at V15 reduced leaf area and grain yield. However, the re-application of 100 kg ha<sup>-1</sup> of N at this growth stage assured similar grain yield to those treatments without defoliation. Broadcasting nitrogen fertilizers caused phytotoxic symptoms, regardless of N source and the presence of moisture on the leaves. The broadcast of ammonium nitrate reduced more leaf area and grain yield than urea. Nitrogen side-dresses close to the sowing rows ensured the highest yields, regardless of N source and application time. Nitrogen side-dress can be a strategy to mitigate stresses derived from the competition among maize stems and defoliation, especially when it does not cause phytotoxicity.

**Keywords:** *Zea mays*. Tillering. Defoliation. Phytotoxicity. Nitrogen.



## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Temperatura média mensal do ar durante o período compreendido entre outubro de 2008 e abril de 2009, em Lages, SC. .... 34
- Tabela 2 - Percentagem de plantas perfilhadas em função da dose e época de aplicação de N em cobertura, em quatro estádios fenológicos do milho. Lages, SC, 2008/09. .... 35
- Tabela 3 - Duração de cinco subperíodos de desenvolvimento do milho em função da dose de N aplicada em cobertura, na média de três épocas de aplicação. Lages, SC, 2008/09. .... 38
- Tabela 4 - Eficiência agronômica do N aplicado (EAN)<sup>1/</sup> em função da dose de N aplicada em cobertura, na média de três épocas de aplicação, em milho. Lages, SC, 2008/09.. 45
- Tabela 5 - Eficiência de recuperação do nitrogênio (N) proveniente do fertilizante nos grãos de milho (ERNFG)<sup>1/</sup> em função da dose de N aplicada em cobertura, na média de três épocas de aplicação. Lages, SC, 2008/09..... 48
- Tabela 6 - Área foliar remanescente e percentagem de área foliar remanescente no florescimento do milho em relação às subparcelas sem desfolha, em função da época de desfolha e da reaplicação de doses de N. Lages, SC, 2008/09. .... 61
- Tabela 7 - Número de folhas verdes e senescidas no milho, em função do estágio de desfolha e da reaplicação de doses de nitrogênio. Lages, SC, 2008/09..... 63
- Tabela 8 - Duração dos subperíodos fenológicos do milho em função da época de desfolha, na média de quatro doses de nitrogênio reaplicadas na cobertura. Lages, SC, 2008/09. .... 66
- Tabela 9 - Rendimento de grãos de milho em função do estágio de desfolha e da dose de nitrogênio (N) reaplicada em cobertura. Lages, SC, 2008/09..... 68

Tabela 10 - Características agronômicas do milho em função do estágio de desfolha, na média de quatro doses de nitrogênio utilizadas na cobertura. Lages, SC, 2008/09.....	72
Tabela 11 - Massa de mil grãos em função do estágio de desfolha e da reaplicação de doses de nitrogênio (N). Lages, SC, 2008/09. ....	73
Tabela 12 - Eficiência agronômica do nitrogênio reaplicado (EAN) <sup>1/</sup> em função dos estádios de desfolha e de doses de nitrogênio (N) reaplicadas em cobertura, em milho. Lages, SC, 2008/09. ....	75
Tabela 13 - Nitrogênio recuperado <sup>1/</sup> nos grãos de milho em função dos estádios de desfolha e da dose de nitrogênio reaplicada em cobertura. Lages, SC, 2008/09.....	76
Tabela 14 - Eficiência de recuperação do nitrogênio (N) proveniente do fertilizante nos grãos (ERNFG) <sup>1/</sup> , em função da dose de N aplicada em cobertura e dos estádios de desfolha em milho. Lages, SC, 2008/09.....	77
Tabela 15 - Área foliar verde planta <sup>-1</sup> e percentagem de área foliar necrosada em relação à área foliar total aos dois dias após a cobertura com nitrogênio (N), em função da fonte, da época e do método de aplicação de N, em milho. Lages, SC, 2008/09.....	92
Tabela 16 - Área foliar verde planta <sup>-1</sup> de milho aos 10 dias após a aplicação de fertilizantes nitrogenados em cobertura em função da fonte e do método de aplicação de nitrogênio (N), na média de dois estádios fenológicos de aplicação. Lages, SC, 2008/09. ....	93
Tabela 17 - Área foliar necrosada planta <sup>-1</sup> de milho aos 10 dias após a aplicação do nitrogênio (N) em cobertura em função da fonte, do estágio fenológico e do método de aplicação. Lages, SC, 2008/09. ....	94
Tabela 18 - Percentagem da área foliar necrosada por planta em relação à área foliar emitida dos dois aos 10 dias após aplicação do N em cobertura, em função da fonte e do método de aplicação, na média de dois estádios fenológicos do milho. Lages, SC, 2008/09.....	95
Tabela 19 - Percentagem de área foliar necrosada planta <sup>-1</sup> de milho em relação à área foliar total emitida desde a emergência, em função da fonte e do método de aplicação	

de nitrogênio (N), na média de dois estádios fenológicos. Lages, SC, 2008/2009.	95
Tabela 20 - Área foliar verde e necrosada por planta de milho aos 30 dias após a aplicação dos fertilizantes nitrogenados em cobertura, em dois estádios fenológicos, em função da fonte e do método de aplicação de nitrogênio (N) em cobertura. Lages, SC, 2008/09.	96
Tabela 21 - Percentagem de área foliar necrosada planta <sup>-1</sup> em milho em relação à área foliar emitida entre a cobertura nitrogenada até os 30 dias após a aplicação, em função da fonte e do método de aplicação de nitrogênio (N), nos dois estádios fenológicos. Lages, SC, 2008/09.	97
Tabela 22 - Proporção entre área foliar necrosada planta <sup>-1</sup> e área foliar total emitida planta <sup>-1</sup> desde a emergência do milho até os 30 dias após a aplicação da cobertura nitrogenada em função da fonte e do método de aplicação de nitrogênio (N) em dois estádios fenológicos. Lages, SC, 2008/09.	98
Tabela 23 - Área foliar necrosada acumulada planta <sup>-1</sup> em milho aos 30 dias após a aplicação da cobertura nitrogenada em função da fonte, do estágio fenológico e do método de aplicação de nitrogênio (N). Lages, SC, 2008/09.	99
Tabela 24 - Área foliar verde planta <sup>-1</sup> no florescimento em função da fonte de nitrogênio (N), do estágio fenológico e do método de aplicação de cobertura nitrogenada. Lages, SC, 2008/09.	100
Tabela 25 - Estatura de planta e altura de inserção de espiga do milho em função da fonte, do estágio e do método de aplicação da cobertura nitrogenada. Lages, SC, 2008/09.	104
Tabela 26 - Duração de subperíodos fenológicos em milho, em função dos estádios e dos métodos de aplicação da cobertura nitrogenada. Lages, SC, 2008/09.	106
Tabela 27 - Rendimento de grãos de milho em função da fonte e do método de aplicação de nitrogênio em cobertura, na média de dois estádios fenológicos de aplicação. Lages, SC, 2008/2009.	107
Tabela 28 - Percentagem de plantas de milho sem espiga em função da fonte de N, do estágio e do método de aplicação da cobertura nitrogenada. Lages, SC, 2008/09.	112

Tabela 29 - Número de espigas por área de milho em função da fonte de N, do estágio e método de aplicação da cobertura nitrogenada. Lages, SC, 2008/09. ....	113
Tabela 30 - Número de grãos espiga <sup>-1</sup> de milho em função do método de aplicação da cobertura nitrogenada, na média de duas fontes de N e dois estádios fenológicos de aplicação. Lages, SC, 2008/2009.....	113
Tabela 31 - Número de grãos de milho produzidos por área (m <sup>2</sup> ) em função da fonte de nitrogênio e do método de aplicação, na média de dois estádios fenológicos. Lages, SC, 2008/09.....	114
Tabela 32 - Eficiência agrônômica do nitrogênio em função da fonte e do método de aplicação da cobertura nitrogenada, na média de dois estádios fenológicos, em milho. Lages, SC, 2008/09.....	115
Tabela 33 - Nitrogênio do fertilizante recuperado nos grãos de milho <sup>1/</sup> , em função da fonte, do estágio e do método de aplicação da cobertura nitrogenada. Lages, SC, 2008/09. ....	117
Tabela 34 - Eficiência de recuperação do N proveniente do fertilizante nos grãos de milho (ERNFG) <sup>1/</sup> em função da fonte de nitrogênio, do estágio e do método de aplicação da cobertura nitrogenada. Lages, SC, 2008/09. ....	118

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Balanço hídrico da safra 2008/09 na área experimental durante o desenvolvimento do milho, segundo metodologia proposta por Thorntwaite e Mather (1955), considerando uma capacidade de armazenamento de água no solo de 75 mm. Lages, SC. .... 33
- Figura 2 - Número de perfilhos por planta de milho em função da dose de nitrogênio (N) aplicada em cobertura, em quatro estádios de avaliação, na média de três épocas de aplicação. Lages, SC, 2008/09. .... 36
- Figura 3 - Número de perfilhos por planta em função da época de aplicação da cobertura nitrogenada, em quatro estádios fenológicos do milho, na média de quatro doses de N. Lages, SC, 2008/09..... 37
- Figura 4 - Área foliar (A) e índice de área foliar (IAF; B) do colmo principal planta<sup>-1</sup> no florescimento do milho em função da dose de nitrogênio (N) aplicada em cobertura, na média de três épocas de aplicação. Lages, SC, 2008/09..... 40
- Figura 5 - Número de folhas verdes no florescimento do milho em função da dose de nitrogênio (N) aplicada em cobertura, na média de três épocas de aplicação. Lages, SC, 2008/09..... 40
- Figura 6 - Estatura do colmo principal no florescimento do milho em função da dose de nitrogênio (N) aplicada em cobertura, na média de três épocas de aplicação. Lages, SC, 2008/09..... 41
- Figura 7 - Rendimento de grãos total e do colmo principal de milho, em função da dose de nitrogênio aplicada em cobertura, na média de três épocas de aplicação. Lages, SC 2008/09..... 43

Figura 8 - Número de grãos espiga <sup>-1</sup> (A) e massa de mil grãos (B) do colmo principal de milho em função da dose de nitrogênio (N) aplicada em cobertura, na média de três épocas de aplicação. Lages, SC, 2008/09.....	45
Figura 9 - Quantidade de nitrogênio (N) recuperado nos grãos de milho em função de doses e épocas de aplicação da cobertura nitrogenada. Lages, SC, 2008/09.....	47
Figura 10 - Área foliar por planta remanescente no florescimento do milho, em função da época de desfolha e da dose de nitrogênio (N) reaplicada em cobertura. Lages, SC, 2008/09.....	64
Figura 11 - Percentagem de área foliar remanescente em relação às subparcelas não desfolhadas, em função dose de nitrogênio e da época de desfolha, em milho. Lages, SC, 2008/09. ....	65
Figura 12 - Rendimento de grãos de milho em função da dose de nitrogênio reaplicada após a desfolha das plantas. Lages, SC, 2008/09.....	71
Figura 13 - Massa de mil grãos de milho em função do estágio de desfolha e da reaplicação de doses de nitrogênio (N). Lages, SC, 2008/09.....	74
Figure 14 - Nitrogênio (N) recuperado nos grãos de milho em função dos estádios de desfolha e da dose de N reaplicada em cobertura. Lages, SC, 2008/09. ....	76
Figura 15 - Sintomas de fitotoxicidade ocasionados pelas aplicações a lanço de uréia (a direita) e nitrato de amônio (a esquerda).....	102

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>16</b>
 <b>2 COBERTURA NITROGENADA COMO ESTRATÉGIA PARA AUMENTAR A CONTRIBUIÇÃO DOS PERFILHOS AO RENDIMENTO DE GRÃOS DO MILHO (<i>NITROGEN SIDE-DRESS AS A STRATEGY TO ENHANCE TILLER CONTRIBUTION TO MAIZE GRAIN YIELD</i>) .....</b>	<b>23</b>
2.1 RESUMO.....	23
2.1.1 Summary.....	24
2.2 INTRODUÇÃO .....	24
2.3 MATERIAL E MÉTODOS.....	28
2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	33
2.4.1 Dados Climáticos .....	33
2.4.2 Percentagem de plantas perfilhadas e número de perfilhos por planta .....	34
2.4.3 Fenologia da cultura.....	38
2.4.4 Área foliar, índice de área foliar e número de folhas verdes no florescimento .....	39
2.4.5 Estatura de planta e altura de inserção da espiga .....	39
2.4.6 Rendimento de grãos dos perfilhos, do colmo principal, total, componentes do rendimento e eficiência agronômica do nitrogênio.....	41
2.4.7 Quantidade de nitrogênio recuperado nos grãos e eficiência de recuperação do nitrogênio fertilizante nos grãos. ....	46
2.5 CONCLUSÕES .....	48
 <b>3 REAPLICAÇÃO DE NITROGÊNIO EM COBERTURA PARA RECUPERAR OS PREJUÍZOS DA DESFOLHA (<i>REAPPLICATION OF SIDE-DRESS NITROGEN TO RECOVER DEFOLIATION DAMAGES</i>).....</b>	<b>49</b>
3.1 RESUMO.....	49
3.1.1 Summary.....	50

3.2 INTRODUÇÃO .....	51
3.3 MATERIAL E MÉTODOS.....	55
3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	60
3.4.1 Área foliar, número de folhas verdes e senescência foliar no florescimento .....	60
3.4.2 Fenologia da cultura.....	65
3.4.3 Rendimento de grãos, componentes do rendimento e eficiência agronômica do nitrogênio.....	66
3.4.4 Nitrogênio recuperado nos grãos e eficiência de recuperação do N fertilizante nos grãos..	75
3.5 CONCLUSÕES .....	77
 <b>4 FITOTOXICIDADE FOLIAR E EFICIÊNCIA DE FONTES E MÉTODOS DE APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO EM COBERTURA EM MILHO (<i>FOLIAR PHYTOTOXICITY AND EFFICIENCY OF SOURCES AND METHODS OF SIDE-DRESS NITROGEN IN MAIZE</i>)</b> .....	 79
4.1 RESUMO.....	79
4.1.1 Summary.....	80
4.2 INTRODUÇÃO .....	81
4.3 MATERIAL E MÉTODOS.....	86
4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	91
4.4.1 Recuperação da área foliar e área foliar no florescimento .....	91
4.4.2 Estatura de planta e altura de inserção da espiga .....	102
4.4.3 Fenologia da cultura.....	105
4.4.4 Rendimento de grãos, componentes do rendimento e eficiência agronômica do nitrogênio.....	106
4.4.5 Nitrogênio recuperado nos grãos e eficiência de recuperação do nitrogênio fertilizante nos grãos.....	116
4.5 CONCLUSÕES .....	119
 <b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	 120
 <b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	 123



## 1 INTRODUÇÃO GERAL

A demanda crescente de alimentos constatada pela FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) para os próximos anos torna clara a necessidade de incrementar a produção de alimentos, aumentando principalmente a produtividade, pois a abertura de novas áreas implica em sérios impactos ambientais. Paralelamente, à busca em aumentar o rendimento, faz-se necessário garantir a produção, minimizando impactos de estresses sobre as culturas de interesse agrícola. O aumento na produção de alimentos é emergencial devido ao crescimento populacional, à redução dos estoques mundiais, bem como a utilização de grãos na produção de energia, como biocombustível (USDA, 2010).

A produção mundial de cereais na safra 2008/09 foi recorde, aproximando-se de 2,3 bilhões de toneladas, superando em 9,5% a safra 2007/2008. A safra brasileira de 2008/09 foi a segunda maior da história, totalizando 134,3 milhões de toneladas, 6,8% menor que a safra anterior. Uma grande fração desta produção se deve à cultura do milho, cuja produção mundial em 2008/09 foi de 792 milhões de toneladas, segundo o USDA (2010), o qual também prevê para a safra de 2009/10 uma produção de aproximadamente 800 milhões de toneladas deste cereal. Os Estados Unidos são os maiores produtores mundiais de milho, seguidos pela China e pelo Brasil. Esta grande produção se deve aos múltiplos usos do milho, o qual é utilizado na alimentação humana e animal e, mais recentemente, para a produção de etanol.

De acordo com os dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2009), a área cultivada de milho no Brasil na safra de 2008/09 foi de, aproximadamente, 14,5 milhões de hectares, sendo 5,1 milhões de hectares provenientes da safrinha (milho semeado extemporaneamente de janeiro a abril). A produção nacional de milho na safra 2008/09, que sofreu com a estiagem na região Centro-Sul, ultrapassou 50,3 milhões de toneladas de grãos, sendo 34,6% produzida na safrinha. Isto corresponde a uma produtividade média de 3.500 kg ha<sup>-1</sup> na safra e 3.400 kg ha<sup>-1</sup> na safrinha. A produtividade de milho nos estados brasileiros apresentou uma amplitude de 6.950 kg ha<sup>-1</sup>, resultado da diferença entre os 7.100 kg ha<sup>-1</sup> do Distrito Federal (maior produtividade nacional) e os 450 kg ha<sup>-1</sup> produzidos na Paraíba (menor produtividade nacional). A disparidade entre as médias de produtividade no Brasil

decorre de fatores climáticos e culturais, onde se podem encontrar os mais diversos níveis de manejo adotados entre os produtores das diferentes regiões. Além disso, soma-se a ocorrência de estresses que reduzem o potencial produtivo da lavoura brasileira.

O estado de Santa Catarina foi o sétimo produtor brasileiro de milho na safra 2008/09, com produção de aproximadamente 3,6 milhões de toneladas (CONAB, 2009), em 686,5 mil hectares. Cabe ressaltar que quando contabilizada apenas a primeira safra do milho, a única possível para Santa Catarina, esse estado passa a ser o quarto maior produtor nacional, ficando atrás apenas de Minas Gerais, Paraná e Rio Grande do Sul, e superando estados que têm sua produção baseada na safrinha (2ª safra), como Mato Grosso, Goiás e São Paulo. O rendimento médio da safra catarinense de 2008/09 foi o quarto maior do país, totalizando 5.200 kg ha<sup>-1</sup>. A produção de Santa Catarina é insuficiente para atender a sua demanda, que foi de 5,2 milhões de toneladas em 2009 (CEPA, 2009). A oferta de milho é historicamente inferior à demanda no estado. Na região do oeste catarinense concentra-se a maior produção de milho, que é quase toda absorvida pela suinocultura e avicultura local. A região oeste tem um déficit crônico, que é suprido pela produção de outras regiões do estado, pela importação de outros estados e da Argentina (ZAMPIERI e SILVA, 2005). Prevê-se um aumento na demanda de milho, enquanto se observa uma redução na área semeada. Na safra 2008/09 houve redução de 4,1% na área semeada, em relação à anterior. Isto aponta para um déficit cada vez maior. Assim, a produtividade e a busca pela atenuação de estresses devem ser mais exploradas.

As plantas estão sujeitas a vários estresses ambientais que reduzem o desempenho vegetal, em relação ao crescimento, desenvolvimento, metabolismo, acúmulo de biomassa e ao rendimento (DAMATTA e RAMALHO, 2006). Em nível celular e molecular, os estresses fomentam a produção de radicais livres que podem danificar as membranas, proteínas e DNA (SCANDALIOS, 1993; ARTILIP e WISNIEWSKI, 2002). Segundo Jones e Jones (1991), o estresse pode ser definido como uma pressão excessiva por algum fator adverso que inibe o funcionamento normal de um sistema. As plantas são sistemas que reagem às diferentes condições de estresse procurando minimizar os gastos energéticos com o metabolismo e priorizando determinadas características.

Os estresses podem ter natureza biótica ou abiótica (LEAVITT, 1980). Para cada fonte de estresse existe uma faixa que a planta pode tolerar. Quando esta faixa é excedida, a planta sofrerá danos, podendo até morrer. Os estresses abióticos podem ser divididos em dois grupos: nutricionais e ambientais. No primeiro caso, estão incluídas a deficiência de nutrientes e a toxidez (salinidade, acúmulo de metais pesados, fitotoxicidade de produtos

químicos, etc.). No segundo caso, pode-se agrupar os estresses causados por condições climáticas adversas, como a restrição hídrica, o encharcamento do solo, as temperaturas extremas, o excesso de luz, os ventos, as precipitações fortes somadas à ocorrência de granizo. Bray et al. (2000) constataram que 66% da redução do rendimento recorde obtido com a cultura do milho deveu-se a perdas por estresses abióticos e 10% à ocorrência de estresses bióticos. Segundo os mesmos autores, os estresses abióticos reduziram 82 e 69% do rendimento recorde obtido para as culturas do trigo e da soja, respectivamente. Os estresses bióticos, provavelmente por existirem ferramentas preventivas e curativas, oferecem menores danos às culturas, entretanto não são menos importantes. O ataque de pragas, a infecção por patógenos e a infestação de plantas daninhas são exemplos dos estresses bióticos mais conhecidos.

Assim como a maioria das espécies cultivadas de importância econômica, o milho requer a interação de um conjunto de fatores edafoclimáticos apropriados ao seu desenvolvimento (FANCELLI e DOURADO-NETO, 2000). Essa cultura possui grande habilidade fisiológica de conversão do CO<sub>2</sub> em compostos orgânicos. Por consequência, apresenta elevado potencial produtivo. No entanto, a translocação destes compostos orgânicos para os grãos pode ser alterada pelas condições de solo, clima e nível de estresse da cultura (TOLLENAAR, 1977)

O milho apresenta acentuada sensibilidade a estresses bióticos e abióticos. Esta característica, aliada à pequena plasticidade foliar, reduzida prolificidade e limitada capacidade efetiva de compensação de espaços, faz com que o seu cultivo necessite ser rigorosamente planejado e criteriosamente manejado, para que possa manifestar sua capacidade produtiva (ANDRADE, 1995; SANGOI et al., 2007).

A influência de um determinado tipo de estresse sobre a planta depende de sua magnitude. Este é um produto da severidade, da duração do estresse e do estágio fenológico da cultura (REDDY et al., 2004). Os estresses são mais nocivos quando ocorrem nos períodos de definição do rendimento. Na cultura do milho, a ocorrência de estresses nos estádios reprodutivos pode ser muito prejudicial ao rendimento, pois reduzirá a polinização e a fertilização dos óvulos, diminuindo, consequentemente, o tamanho de espigas, o número e o tamanho de grãos (HSIAO, 1973; MUCHOW e SINCLAIR, 1991; MARSCHNER, 1995).

O estresse hídrico é o evento desfavorável mais prejudicial ao cultivo do milho, especialmente quando ocorre na fase de florescimento e enchimento de grãos. A redução da disponibilidade de água no solo durante o período de pré-florescimento afeta o desenvolvimento das estruturas vegetativas das plantas, reduzindo a capacidade de produção

de fitomassa. Denmead e Shaw (1960) revelaram que a ocorrência do déficit hídrico reduziu o rendimento de grãos do milho em 25% antes da emissão dos estigmas e em 50% na fase de florescimento. A ocorrência do estresse durante a antese e logo após a fertilização causa abortamento de flores de milho (SCHUSLER e WESTGATE, 1991). Em condições de déficit hídrico, o milho prioriza a emissão da inflorescência masculina, pelo seu acentuado caráter protândrico (SANGOI e SALVADOR, 1998). Schusler e Westgate (1994) verificaram que a inibição da fotossíntese por seis dias durante a polinização reduziu a formação de grãos em plantas submetidas ao déficit hídrico. Estudos demonstraram que o estresse hídrico na pré-antese afeta tanto o número quanto o peso de grãos (CLAASSEM e SHAW, 1970). O enchimento de grãos também é afetado pelo estresse hídrico (KOBATA et al., 1992; BASSETI e WESTGATE, 1993), já que este período é dependente do suprimento de fotoassimilados à espiga (WESTGATE e BOYER, 1985; SCHUSSLER e WESTGATE, 1991). Além do estresse hídrico, outros eventos desfavoráveis podem ser citados influenciando o acúmulo de fitomassa e o rendimento da cultura do milho, como o estresse ocasionado por temperaturas extremas (TAYLOR et al., 1998), acúmulo de sais no solo (DUBEY e PESSARAKLI, 2002), deficiências e toxidez nutricionais (MALAVOLTA e DANTAS, 1987), patogenias (REIS et al., 2004), ataque de pragas (CRUZ e TURPIN, 1982) e competição com plantas daninhas (BEGON et al., 1986).

Além dos estresses já mencionados, pode-se enumerar, ainda, o perfilhamento do milho em ambientes de recursos limitados e a competição entre colmos, os danos ocasionados à área foliar pela desfolha, proveniente de chuvas de granizo, ataques pronunciados de lagartas desfolhadoras e pela fitotoxicidade ocasionada por aplicações de fertilizantes nitrogenados a lanço. Estes estresses podem afetar o desempenho agrônomo do milho.

Historicamente, a emissão e o desenvolvimento de perfilhos no milho são considerados indesejáveis pelo agricultor, que os considera como agentes causadores de estresse. Os perfilhos desenvolvem-se como o colmo principal e podem aumentar a competição dentro da planta, interferindo na capacidade de dreno (GOLDSWORTHY e COLEGROVE, 1974). O produtor de milho teme que estas estruturas laterais compitam por fotoassimilados e por recursos ambientais com o colmo principal, prejudicando o desenvolvimento das plantas. Na maioria das situações, os perfilhos morrem antes do final do ciclo do milho. Quando sobrevivem, não chegam a diferenciar espigas e quando as produzem são pequenas e imperfeitas (NAFZINGER, 2006). Neste caso a utilização dos recursos acaba sendo nula. Entretanto, o lançamento de alguns híbridos de alto potencial produtivo e elevada capacidade de perfilhamento suscitou dúvidas sobre os reais efeitos destas estruturas. Em

ambientes com bom suprimento de recursos, os perfilhos podem deixar de ser agentes causadores de estresse, contribuindo diretamente ao rendimento, através da produção de grãos, ou indiretamente, através da translocação de fotoassimilados ao colmo principal.

Lagartas desfolhadoras, como *Spodoptera frugiperda*, e chuvas de granizo podem destruir a área fotossintética do milho, sendo fontes de estresse muito prejudiciais, pois reduzem a interceptação da radiação fotossinteticamente ativa. Vários autores encontraram efeitos negativos da desfolha oriunda do granizo sobre o rendimento agrônomo das culturas (MURO et al., 1998; MURO et al., 2000; GONDIM, 2006), a eficiência fisiológica (TARTACHNYK e BLANKE, 2002) e a qualidade de produtos (ROTH e LAUER, 2008). Da mesma forma, as lagartas desfolhadoras podem destruir completamente o limbo foliar do milho (GALLO et al., 2002), sendo encontradas na literatura reduções no rendimento superiores a 30% pela redução da área foliar (WILLIAMS e DAVIS, 1990; CRUZ et al., 1996), dependendo dos estágios de desenvolvimento da cultura (CRUZ e TURPIN, 1982; SILOTO, 2002) e da área foliar remanescente nos períodos mais críticos do desenvolvimento.

Outros danos à área foliar do milho, com reflexos no rendimento de grãos do milho, podem ocorrer. São exemplos os efeitos fitotóxicos ocasionados por defensivos agrícolas (SPADER e VIDAL, 2001; LOPEZ OVEJERO et al., 2003; NICOLAI et al., 2006) e fertilizantes nitrogenados aplicados em cobertura (OLIVEIRA, 1995; YAMADA, 1996; VOSS e KILLORN, 1996). O efeito tóxico dos fertilizantes, na maioria das vezes, está relacionado à concentração de sais na constituição do fertilizante (ROSOLEM e BOARETTO, 1989). Condições climáticas, tais como presença de umidade sobre as folhas e altas temperaturas, também podem potencializar a fitotoxicidade oriunda das fontes de nitrogênio (ALMEIDA et al., 2000). O uso de altas doses de fertilizantes em aplicações a lanço provoca injúrias nas folhas e perda de área foliar, diminuindo o metabolismo e trazendo prejuízos ao rendimento de grãos.

A recuperação destes estresses é importante na manutenção do potencial produtivo ou na menor redução da produtividade do milho. O melhoramento genético vem buscando obter genótipos menos sensíveis aos estresses, entretanto a obtenção destas plantas demanda tempo. A correção de estresses pode ser conseguida pela regulação nutricional adequada da planta ou adequação do manejo de fertilizantes utilizados na cobertura do milho. Plantas nutricionalmente equilibradas são mais tolerantes à ocorrência de estresses. Nesse sentido, é pertinente avaliar o manejo da adubação nitrogenada em cobertura como estratégia para recuperação do milho submetido a estresses bióticos e abióticos em pós-emergência.

O nitrogênio (N) desempenha importante papel estrutural no metabolismo vegetal, pois faz parte de moléculas essenciais para a planta. Ele serve como constituinte de muitos componentes da célula, incluindo aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, coenzimas e pigmentos (TAIZ e ZEIGER, 2009). A deficiência de nitrogênio inibe o crescimento, provoca clorose e senescência das folhas mais velhas. Cobucci (1991) afirma que o N é um dos nutrientes que proporciona os maiores efeitos nos componentes de rendimento e na produtividade do milho, afetando diversas características do crescimento e desenvolvimento. A disponibilidade de N afeta o desenvolvimento da área foliar e a taxa de fotossíntese (LEMARE e GASTAL, 1997; AITA et al., 2001), o crescimento radicular (JENKINSON et al., 1985; RAO et al., 1992), o rendimento biológico (DUETE et al., 2008), o tamanho de espigas, o número, a massa de grãos e índice de espiga (MELGAR et al., 1991), a estatura de planta (GOMES et al., 2007; DUETE et al., 2008), o comprimento da espiga (BALKO e RUSSEL, 1980), o diâmetro de colmo (PEREIRA FILHO, 1977), a inserção de espiga (DUETE et al., 2008), o número de plantas acamadas e quebradas (GODOY JUNIOR e GRANER, 1964) e a sanidade de grãos.

Os ganhos de produtividade de milho nos EUA nas últimas décadas, segundo Cantarella e Duarte (2004), foram proporcionais ao uso de fertilizantes nitrogenados minerais, associados à alta densidade de plantas e ao melhoramento genético. Dentre os principais fatores que contribuem para as baixas produtividades do milho no Brasil, destaca-se a aplicação de quantidades insuficientes de N, nutriente absorvido em maior quantidade pelo milho, que mais influencia o rendimento de grãos e mais onera o custo de produção da cultura (SANGOI e ALMEIDA, 1994; ARAÚJO et al., 2004; SILVA et al., 2005).

As plantas de milho apresentam maior demanda por N a partir do estágio com quatro a cinco folhas expandidas (MENGEL e BARBER, 1974), onde inicia uma fase de rápido crescimento em estatura e de grande expansão de área foliar. O suprimento insuficiente de N nessa fase de maior acúmulo de MS pode reduzir a diferenciação de óvulos nos primórdios da espiga e o número de espigas por planta (SCHREIBER et al 1998).

O nitrogênio é o nutriente de manejo e recomendação mais complexos, em virtude da multiplicidade de reações químicas e biológicas a que está sujeito e de sua grande dependência das condições edafoclimáticas para absorção pela planta (CANTARELLA e DUARTE, 2004). A eficiência de utilização deste nutriente é geralmente inferior a 50% (GROVE et al., 1980; RAUN e JOHNSON, 1999; VILLAS BÔAS et al., 1999; SILVA et al., 2006; DUETE et al., 2008), e depende da sua dinâmica no solo. O N aplicado ao solo na forma de fertilizantes minerais segue diferentes caminhos. Uma parte é absorvida pelas

plantas; outra é perdida do sistema solo-planta por processos de lixiviação, volatilização, erosão e desnitrificação (LARA CABEZAS et al., 2000) e o restante permanece no solo, predominantemente na forma orgânica (SCIVITARRO et al., 2003; SILVA et al., 2006)

Sabendo-se que o nitrogênio é o nutriente que apresenta os maiores incrementos na produtividade do milho, que a cobertura nitrogenada é uma prática amplamente utilizada na agricultura moderna e que o N tem impacto positivo especialmente em condições limitantes, os efeitos deste nutriente na recuperação de estresses devem ser avaliados. O manejo da fertilização nitrogenada em cobertura engloba as quantidades a serem aplicadas, as fontes de N, épocas e métodos de aplicação. A forma de manejo do N exerce grande influência no aproveitamento deste nutriente pelo milho (MENGEL e BARBER, 1974; VARVEL et al., 1997; SILVA et al., 2005).

Condições ambientais adversas interferem no crescimento normal, no metabolismo e na síntese de proteínas. As plantas respondem a estes estresses com diferentes tipos de ajustes fisiológicos e bioquímicos. Vários processos fisiológicos (absorção, translocação e assimilação de N) são severamente afetados pelos diferentes tipos de estresse. A disponibilidade de N no solo, sua absorção e assimilação são diretamente relacionadas entre si, bem como o crescimento e o rendimento das culturas (DUBEY e PESSARAKLI, 2002). A recuperação de estresses bióticos e abióticos pela adequação do manejo da fertilização nitrogenada tem sido relatada na literatura nacional e internacional. Assim, buscando-se adequar o manejo da cobertura nitrogenada como estratégia na mitigação de estresses bióticos e abióticos na pós-emergência da cultura do milho conduziu-se este trabalho, composto por três experimentos, cujos objetivos específicos foram:

- Avaliar doses e épocas de cobertura nitrogenada que reduzam a competição entre colmos ocasionada pelo perfilhamento de híbridos com esta característica e permitam que os perfilhos possam contribuir diretamente ao rendimento de grãos.
- Determinar se o nitrogênio aplicado em cobertura é capaz de minimizar o estresse ocasionado pela desfolha, em diferentes estádios de desenvolvimento do milho.
- Avaliar fontes de N, épocas e métodos de aplicação que minimizem os efeitos fitotóxicos oriundos da cobertura nitrogenada e a capacidade de recuperação da área foliar da cultura quando submetida a este tipo de estresse.

## **2 COBERTURA NITROGENADA COMO ESTRATÉGIA PARA AUMENTAR A CONTRIBUIÇÃO DOS PERFILHOS AO RENDIMENTO DE GRÃOS DO MILHO** ***(NITROGEN SIDE-DRESS AS A STRATEGY TO ENHANCE TILLER CONTRIBUITON TO MAIZE GRAIN YIELD)***

### **2.1 RESUMO**

Os perfilhos são ramificações laterais que podem aumentar a competição entre os colmos de alguns híbridos de milho. O nitrogênio, por ser importante nos processos de morfogênese e perfilhamento das Poaceas, pode atenuar os prejuízos oriundos do perfilhamento e aumentar a contribuição direta dos perfilhos ao rendimento de grãos. Esse trabalho foi conduzido objetivando averiguar o efeito de doses e épocas de aplicação de N na emissão, sobrevivência e participação dos perfilhos no rendimento de grãos. O ensaio foi conduzido no município de Lages, Planalto Sul de Santa Catarina. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, dispostos em parcelas subdivididas. Na parcela principal foram testadas quatro doses de N: 0, 50, 100 e 200 kg ha<sup>-1</sup> de N. Nas subparcelas foram avaliadas três épocas de aplicação da cobertura nitrogenada: todo o N aplicado quando o milho tinha quatro folhas expandidas, metade da dose com quatro folhas e metade com oito folhas e toda a dose com oito folhas expandidas. Avaliaram-se quando o milho tinha nove, 15 folhas expandidas, no pendoamento e na colheita a percentagem de plantas perfilhadas e o número de perfilhos por planta. Depois da colheita, determinaram-se o rendimento de grãos do colmo principal, dos perfilhos e total. O aumento da dose de N incrementou a percentagem de plantas perfilhadas e o número de perfilhos por planta em V15 e no pendoamento. A aplicação do N em V4 propiciou maior percentagem de plantas perfilhadas e maior número de perfilhos por planta em todos os estádios de avaliação. O rendimento total de grãos foi produto apenas do rendimento de grãos do colmo principal e aumentou com o incremento das doses de N, não sendo influenciado pelo estágio de aplicação da cobertura nitrogenada. O aumento da dose de N e a antecipação da cobertura nitrogenada não são estratégias efetivas para incrementar a contribuição direta dos perfilhos ao rendimento de grãos, em anos onde a exigência hídrica da cultura do milho não é atendida.



**Palavras – chave:** *Zea mays*. Perfilhamento. Competição entre colmos. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio.

### 2.1.1 Summary

Tillers are lateral branches that may increase the competition among maize stalks of some maize hybrids. Because nitrogen is an important nutrient to the Poaceas tillering and morphogenesis, it can eliminate losses caused by tillering and increase the direct contribution of tillers to grain yield. This work was conducted to investigate the effect of doses and times of nitrogen side-dress on tiller emission, survival and contribution to maize grain yield. The trial was set in Lages, Southern Plateau of Santa Catarina, Brazil. The experimental design was a randomized block with split plots. Four nitrogen rates were tested in the main plots: 0, 50, 100 and 200 kg ha<sup>-1</sup> of N. Three times of nitrogen side-dress were assessed in the split plots: all N applied when the maize had four expanded leaves (V4), half the dose with four leaves and the other half with eight leaves (V4+V8), and all the rate with eight expanded leaves (V8). The percentage of plants with tillers and the number of tillers per plant were evaluated when the maize had nine (V9), 15 expanded leaves (V15), at tasseling (VT) and harvest. The main stem, tillers and total grain yield were determined after harvest. The increase of N rate enhanced the percentage of plants with tillers and the number of tillers per plant in V15 and VT. The application of N in V4 provided greater percentage of plants with tillers and higher number of tillers per plant in all growth stages. Total grain yield was only the product of main stem grain yield and increased with increasing levels of N. Time of nitrogen side-dress did not affect grain yield. Increasing N rates and anticipating time of nitrogen side-dress are not efficient strategies to increase tiller direct contribution to grain yield in years where maize water requirement is not fulfilled.

**Keywords:** *Zea mays*. Tillering. Stem competition. Rate and timing of N application .

## 2.2 INTRODUÇÃO

Os perfilhos são ramificações laterais, que se desenvolvem a partir de gemas axilares dos nós, que se localizam abaixo da superfície do solo. Os perfilhos são morfológicamente idênticos ao colmo principal. Eles são capazes de diferenciar seu próprio sistema radicular,

nós, entrenós, folhas e inflorescências. Geralmente, os perfilhos se desenvolvem no início do ciclo das espécies da família das poáceas.

A emissão, o desenvolvimento e a sobrevivência dos perfilhos são importantes para muitas poáceas, pois estas estruturas fazem parte dos componentes do rendimento e funcionam como prováveis supridoras de fotoassimilados ao colmo principal (MEROTTO JUNIOR, 1995). Além disto, o perfilhamento é considerado como uma estratégia eficiente na compensação de espaços vazios nesta família botânica. Nas espécies em que o perfilhamento é comum, tais como trigo, arroz e pastagens, o perfilhamento é benéfico, aumentando o número de inflorescências e folhas por área e os rendimentos biológico e de grãos (BOELT, 1999; PREMAZZI et al., 2003).

O processo de evolução do milho a partir do teosinto concentrou a energia da planta num único colmo principal. Em função disto, a emissão e o desenvolvimento de perfilhos foi suprimida e é considerada indesejável pelo produtor de milho. Os agricultores temem que os perfilhos, que surgem em alguns híbridos, compitam por fotoassimilados com o colmo principal, além de concorrerem por recursos ambientais como água e nutrientes, prejudicando o desenvolvimento da planta. Alguns produtores despendem tempo e recursos na remoção dos perfilhos emergidos. Geralmente a maior parte destas estruturas não sobrevive até o final do ciclo. Quando estas estruturas sobrevivem, normalmente não produzem espigas e quando as produzem são pequenas e imperfeitas. Nestas condições a utilização dos recursos acaba sendo nula. Além disso, os perfilhos podem aumentar a quantidade de matéria seca que passa pela colhedora (NAFZINGER, 2006) dificultando a colheita. Nesse cenário, os perfilhos são vistos como agentes causadores de estresse à cultura.

O estresse ocasionado pelos perfilhos refere-se à competição resultante de interações entre plantas induzidas pela necessidade de compartilhar recursos limitados, com redução no número de sobreviventes ou na taxa de crescimento (BEGON et al., 1986). A competição pode ocorrer entre plantas da mesma espécie ou dentro da mesma planta. Neste último caso, os recursos compartilhados incluem fotoassimilados, além dos recursos ambientais. Os perfilhos desenvolvem-se como o colmo principal e podem aumentar a competição dentro da planta. Segundo Goldsworthy e Colegrove (1974), genótipos tropicais de milho apresentam partição de matéria seca deficiente e variável, o que pode explicar o baixo rendimento de grãos da cultura neste ambiente, quando comparado aos ambientes de clima temperado. Relatam, ainda, que o rendimento do milho é limitado pela amplitude do dreno. A limitada capacidade de dreno, característica dos genótipos tropicais, é atribuída à competição interna entre as diferentes estruturas vegetativas e a espiga. Assim, os perfilhos podem interferir na

capacidade de dreno, competindo com as espigas e com o desenvolvimento do colmo principal.

A restrição de recursos é mais limitante nos períodos de maior crescimento. No estágio de alongamento dos entrenós ocorre a máxima competição entre os colmos por recursos do ambiente (GARCIA DEL MORAL et al., 1984). Vários fatores podem estar ligados à mortalidade de perfilhos. Entre eles destacam-se o seu menor desenvolvimento radicular (MASLE-MEYNARD, 1981) e o sombreamento exercido pelos colmos mais desenvolvidos (CHATURVEDI et al., 1981), que diminui a capacidade dos perfilhos defasados de competir por nutrientes e luz. Neste estágio há maior demanda por todos os fatores limitantes. A disponibilidade de recursos influenciará na definição dos colmos férteis em cereais de estação fria, já que apenas uma parte dos perfilhos formados chega à maturidade e produz grãos. Os demais senescem, num fenômeno denominado mortalidade de perfilhos (SIMMONS et al., 1982).

Os mecanismos de controle do desenvolvimento de gemas laterais têm origem genética, hormonal, nutricional e ambiental (ALVES et al., 2005). Assim, a disponibilidade de nutrientes na solução do solo influenciará a intensidade de emissão de perfilhos pelas plantas. A deficiência nutricional traz como conseqüências imediatas a interrupção do perfilhamento e a redução da taxa de crescimento dos perfilhos mais jovens (MASLE, 1985). Vários estudos têm comprovado o efeito do estado nutricional da planta sobre o perfilhamento (COLOZZA, 1998; PEREIRA, 2001). Em condições favoráveis, as plantas têm energia e nutrientes suficientes para investir no desenvolvimento de perfilhos, os quais poderão deixar de ser estruturas competidoras e causadoras de estresse, sobrevivendo e contribuindo diretamente para incrementar o rendimento de grãos.

A participação direta dos perfilhos no rendimento de grãos depende da capacidade de sobrevivência dos perfilhos e da diferenciação de espigas e grãos nestas estruturas. O número de perfilhos férteis em cereais depende das condições ambientais durante a pré-indução (THOMPSON e CLARKE, 1993), iniciação do primórdio do perfilho e em estádios de desenvolvimento subsequentes até o florescimento (ALMEIDA e MUNDSTOCK, 2001). Estresses ambientais durante a emergência dos afilhos podem inibir a sua formação. Em estádios posteriores, causar o seu aborto (MAAS et al., 1994).

A contribuição dos perfilhos pode ser conseguida com a utilização de maiores doses de nitrogênio (N) ou através da adequação das épocas de utilização deste nutriente. O N é o nutriente que mais afeta os processos de morfogênese e perfilhamento, tendo influência direta na taxa de emissão e desenvolvimento de perfilhos, quando os demais fatores estão em nível

ótimo. Longnecker et al. (1993) relataram que a disponibilidade inicial de N é importante para produção de colmos por área de trigo pelo incremento na emissão de perfilhos. Thompson e Clarke (1993), estudando os efeitos deste nutriente sobre *Poa pratensis*, diagnosticaram que o N aumentou a densidade e o diâmetro basal dos perfilhos, a produção de panículas e o rendimento de sementes. O N é o elemento mineral requerido em maiores quantidades pelas plantas. Ele serve como constituinte de muitos componentes da célula vegetal, incluindo aminoácidos, proteínas e ácidos nucléicos. Portanto, sua deficiência rapidamente inibe o crescimento (TAIZ e ZEIGER, 2009) e acentua a dominância apical (SANGOI et al., 2007).

A reduzida disponibilidade de N no início do ciclo inibe a formação de perfilhos primários e estimula a mortalidade destas estruturas (MUNDSTOCK e BREDEMEIER, 2001). O N em concentrações adequadas nos estádios de evocação e desenvolvimento de gemas laterais pode incitar o desenvolvimento das mesmas, pela maior produção de fotoassimilados. Ele permite que os perfilhos alcancem maiores taxas de crescimento (LONGNECKER et al., 1993) e sincronizem o seu desenvolvimento com o do colmo principal. Este sincronismo entre o desenvolvimento dos colmos é determinante na sobrevivência de perfilhos (MASLE, 1985; POLETTTO et al., 2009). Nestas condições, o nitrogênio aumenta a duração do período de perfilhamento e a sobrevivência dos perfilhos. As aplicações de N no final do perfilhamento são importantes para aumentar a sobrevivência dos perfilhos primários e a sua participação na definição do rendimento de grãos. Isto ocorre porque a demanda de N na fase de alongamento dos colmos é maior, pois é deste período até a antese que ocorre o maior acúmulo de massa seca e a maior competição entre os colmos. Assim, o N minimiza os efeitos da competição existente entre os colmos, favorecendo o seu desenvolvimento.

O parcelamento das aplicações de N pode aumentar a contribuição dos perfilhos e a eficiência de uso. As aplicações de N estão sujeitas a perdas, pois a dinâmica deste elemento na natureza é complexa. Ela envolve inúmeros fenômenos químicos, físicos e biológicos relacionados à disponibilidade do mesmo aos vegetais. A quantidade de N disponível no solo sofre flutuações, em função de alterações dos processos de adição e perda (KIEHL, 1987). Essas perdas, especialmente desnitrificação, lixiviação e volatilização, são responsáveis pela baixa eficiência de uso do N (IVANKO, 1972; MOREIRA e SIQUEIRA, 2002). Como forma de mitigar perdas e melhorar a eficiência agrônômica do N (EAN), recomenda-se aplicar os fertilizantes nitrogenados parceladamente. As aplicações parceladas da cobertura nitrogenada, combinando o início do perfilhamento e o início do alongamento dos perfilhos, podem

aumentar a densidade de perfilhos e mitigar a competição entre os colmos por N, além de reduzir as perdas do nutriente, de alto custo e impacto ambiental.

Na cultura do milho, os perfilhos se desenvolvem quando a planta apresenta de quatro a seis folhas expandidas, estádios V4 e V6 da escala de Ritchie et al. (1993), próximos à diferenciação do primórdio floral masculino. Não há relatos na literatura sobre os efeitos de doses e épocas de aplicação de N sobre o perfilhamento dessa cultura. Os estudos disponíveis sobre o efeito da cobertura nitrogenada no perfilhamento foram realizados com pastagens e cereais de estação fria. É possível que o manejo da cobertura nitrogenada contribua para reduzir o estresse ocasionado pela competição entre colmos, transformando os perfilhos de drenos em fontes e permitindo que estas estruturas contribuam direta e indiretamente ao rendimento de grãos.

Este trabalho foi conduzido com os seguintes objetivos: I) averiguar se a dose de N aplicada em cobertura interfere na capacidade de perfilhamento do milho; II) determinar se aplicações precoces de doses de N aumentam a emissão, o desenvolvimento e a sobrevivência de perfilhos; III) determinar se aplicações tardias de N reduzem a competição entre colmos e incrementam a sua sobrevivência, e IV) verificar se a dose e a época de aplicação de N em cobertura interferem na contribuição dos perfilhos ao rendimento de grãos do milho.

## 2.3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido a campo, durante o ano agrícola de 2008/09, no distrito de Santa Terezinha do Salto, localizado a 20 km da cidade de Lages, no Planalto Sul de Santa Catarina. As coordenadas geográficas da área experimental são 27°50'35" de latitude Sul e 50°29'45" de longitude Oeste e altitude de 849 metros. De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cfb, mesotérmico, com verões brandos, temperaturas médias do mês mais quente inferiores a 22°C e precipitações pluviais bem distribuídas (141 mm mês<sup>-1</sup>).

O solo da área experimental é classificado como NITOSSOLO VERMELHO Distrófico típico (EMBRAPA, 2006). Segundo análise da fertilidade do solo realizada em setembro de 2008, ele apresentava 420 g kg<sup>-1</sup> de argila; 51,0 g kg<sup>-1</sup> de matéria orgânica; pH H<sub>2</sub>O 5,5; índice SMP 5,7; 5 mg dm<sup>-3</sup> de P; 0,50 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> de K; 5,9 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> de Ca; 2,8 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> de Mg; 0,3 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> de Al e 15,3 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> de CTC. A área experimental vem

sendo utilizada à dez anos no sistema de semeadura direta e durante a entressafra faz-se o cultivo de espécies de cobertura, consorciando aveia e ervilhaca.

No período de outono-inverno, em meados de maio de 2008, procedeu-se a semeadura de aveia preta (*Avena strigosa*), utilizando-se  $170 \text{ kg ha}^{-1}$  de sementes para cobertura verde. A cobertura resultou em  $5.600 \text{ kg ha}^{-1}$  de massa seca ao final do mês de setembro, quando foi dessecada.

Foram testadas quatro doses de adubação nitrogenada em cobertura, equivalentes a 0, 50, 100 e  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de N. As três doses diferentes de zero foram aplicadas em duas épocas do ciclo da cultura: quando as plantas apresentavam quatro e oito folhas totalmente expandidas, respectivamente nos estádios de V4 e V8 da escala proposta por Ritchie et al. (1993). Para cada uma das épocas, o N foi aplicado de três formas: integralmente no estágio V4, integralmente no estágio V8 e metade da dose em V4 e metade da dose em V8.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados dispostos no arranjo de parcelas subdivididas, com quatro repetições por tratamento. As doses de N foram testadas nas parcelas principais e os estádios de aplicação do N em cobertura foram avaliados nas subparcelas. Cada subparcela foi composta por cinco linhas de seis metros de comprimento, espaçadas entre si por 0,7 m, tendo como área útil as duas linhas centrais, perfazendo  $8,4 \text{ m}^2$ .

O genótipo utilizado foi o híbrido simples P30F53, da empresa Pioneer Sementes, de ciclo precoce, com boa capacidade de perfilhamento.

O experimento foi implantado no dia 31 de outubro de 2008, no sistema de semeadura direta. A operação foi realizada com semeadoras manuais reguladas para distribuir de três a quatro sementes por cova. A população de plantas utilizada no ensaio foi de  $55.000 \text{ ha}^{-1}$ . No momento da semeadura, o arranjo de plantas na linha para a densidade desejada foi obtido utilizando-se barbantes marcados com as distâncias corretas entre as plantas. As sementes foram previamente tratadas com o inseticida imidacloprido+tiodicarbe ( $45 + 186 \text{ g de i.a. ha}^{-1}$ ), objetivando prevenir o ataque de pragas de solo na fase de emergência da cultura. A emergência ocorreu no dia 8 de novembro de 2009, nove dias após a semeadura. Quando as plantas estavam com três folhas expandidas (estádio V3) efetuou-se o desbaste, deixando-se apenas uma planta por cova, condicionando cada unidade experimental à densidade desejada.

A adubação de base foi realizada no dia da semeadura com nitrogênio, fósforo e potássio. As doses aplicadas foram baseadas na análise da fertilidade do solo e nas recomendações para a cultura do milho de acordo com o Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS-RS/SC, 2004), visando uma

produtividade de 12,0 t ha<sup>-1</sup>. As fontes de P e K foram superfosfato triplo (46% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e cloreto de potássio (60% K<sub>2</sub>O), nas quantidades equivalentes a 245 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 110 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Para o N foi utilizado como fertilizante a uréia (45% N), na dose equivalente a 30 kg ha<sup>-1</sup> de N. Os fertilizantes foram distribuídos superficialmente nas linhas de cultivo, paralelamente à operação de semeadura. A adubação de cobertura foi realizada aplicando-se uréia superficialmente, a 20 cm das linhas de milho, de acordo com as doses e épocas definidas para cada tratamento.

O controle de plantas daninhas foi efetuado com duas aplicações de herbicida. A primeira foi feita em pré-emergência, no dia da semeadura, com uma mistura de atrazina e s-metolaclor (1.480 + 1.160 g de i.a. ha<sup>-1</sup>). A segunda aplicação foi realizada em pós-emergência quando as plantas estavam com quatro folhas expandidas (estádio V4, segundo escala proposta por Ritchie et al., 1993), utilizando o produto tembotrione (100 g de i.a. ha<sup>-1</sup>).

O controle de *Spodoptera frugiperda* foi feito com duas aplicações em pós-emergência de inseticidas. O critério adotado foi a observação dos sintomas de raspagens de folhas e deposição de excrementos. A primeira aplicação foi feita com triflumuron (24 g de i.a. ha<sup>-1</sup>) e a segunda com o princípio ativo lufenuron (15 g de i.a. ha<sup>-1</sup>).

A percentagem de plantas perfilhadas e o número de perfilhos por planta foram obtidos contando-se o número de plantas que apresentavam estas estruturas laterais, o número total de perfilhos e o número total de plantas nas linhas dois e três das unidades experimentais. A percentagem de plantas perfilhadas foi determinada dividindo-se o número de plantas com perfilhos pelo número total de plantas da parcela e multiplicando-se por cem. O número de perfilhos por planta foi calculado dividindo-se o número total de perfilhos pelo número total de plantas da parcela. A capacidade de produção de perfilhos foi determinada nos estádios V9, V15, VT (pendoamento) de desenvolvimento da cultura e na colheita.

A fenologia da cultura foi avaliada determinando-se a duração dos subperíodos emergência-antese, emergência-espigamento, antese-espigamento e espigamento-maturação fisiológica. Para o cômputo do subperíodo emergência-antese, contou-se o número de dias existentes entre a exteriorização do coleóptilo e a emissão do pendão floral acima da folha bandeira com deiscência dos grãos de pólen em mais de 50% das plantas. A duração do subperíodo emergência-espigamento equivaleu ao número de dias compreendidos entre a exteriorização do coleóptilo e a visualização de estigmas com pelo menos 1 cm acima da pálea da espiga em mais de 80% das plantas. Subtraindo os dois períodos, calculou-se a duração do subperíodo antese-espigamento. A duração do subperíodo espigamento-maturação fisiológica foi obtida computando-se o número de dias decorridos entre a exteriorização de

estigmas e o aparecimento da camada preta no ponto de inserção dos grãos da fração mediana da espiga em 80% das plantas amostradas.

Para avaliação dos efeitos dos tratamentos sobre a área foliar fotossinteticamente ativa do colmo principal da planta, mensurada no florescimento, foram utilizadas cinco plantas por unidade experimental. Foram selecionadas plantas que apresentavam homogeneidade morfológica e fenológica no estágio V4. As plantas foram identificadas com o uso de tinta preta lavável, marcando-se as extremidades da quarta, oitava, décima segunda e décima sexta folhas, almejando-se maior precisão no levantamento, servindo essas folhas como referenciais. A área foliar foi obtida de acordo com a metodologia descrita por Tollenaar (1992). Foram medidos o comprimento (C) e a maior largura (L) de todas as folhas fotossinteticamente ativas. Considerou-se fotossinteticamente ativa toda a folha que tivesse pelo menos 50% de sua área foliar verde, de acordo com critério proposto por Borrás et al. (2003). A área foliar por planta (A), expressa em cm<sup>2</sup>, foi estimada aplicando-se a expressão:  $A = C \times L \times 0,75$ , onde o valor 0,75 é um coeficiente de correção, uma vez que as folhas não apresentam área retangular. O somatório das áreas de todas as folhas da planta determinou a área foliar por indivíduo. O índice de área foliar foi obtido como a relação entre a área foliar das plantas e o espaço ocupado por elas num metro quadrado.

A estatura e a altura de inserção da espiga foram determinadas quando as plantas estavam entre R2 e R3, segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993). Para determinação destas variáveis foram utilizadas seis plantas com homogeneidade morfológica e fenológica da linha dois. A estatura da planta correspondeu à medida da distância do colo da planta à extremidade do pendão. A altura de inserção de espiga correspondeu à distância entre o colo da planta e o nó em que estava inserida a espiga superior.

A colheita das espigas foi realizada manualmente, quando todas as folhas das plantas estavam senescentes e a umidade dos grãos situava-se entre 18 e 22%. Para avaliação do rendimento de grãos foram colhidas as linhas dois e três das unidades experimentais. As espigas produzidas nos colmos principais e nos perfilhos foram colhidas separadamente, para que se pudesse quantificar o rendimento de grãos obtido nos colmos principais e nos perfilhos e o total. O rendimento de grãos total correspondeu à soma das produtividades obtidas nos perfilhos e colmos principais. A contribuição dos perfilhos ao rendimento global de grãos também foi calculada, consistindo da relação entre o rendimento de grãos dos perfilhos dividido pelo rendimento de grãos total, multiplicado por cem.

As espigas foram trilhadas em uma trilhadora estacionária. Posteriormente, os grãos foram secos em estufa, à temperatura de aproximadamente 65°C e sob ventilação, até



atingirem massa constante. Os pesos obtidos da massa seca dos grãos dos perfilhos, do colmo principal e totais (perfilhos+colmo principal) foram convertidos para um hectare e expressos na umidade padrão de  $130 \text{ g kg}^{-1}$ . Uma sub-amostra de 400 grãos foi separada e pesada para cada subparcela. O valor obtido foi multiplicado por 2,5, convertido para  $130 \text{ g kg}^{-1}$  de umidade, e utilizado para expressar a massa de 1000 grãos. O número de grãos por espiga foi determinado indiretamente, através da relação do peso de 100 grãos, peso total de grãos e do número de espigas colhidas em cada unidade experimental. O número de grãos produzidos por área ( $\text{m}^2$ ) foi estimado com base no número de espigas por planta, no número de grãos por espiga e na densidade de plantas do ensaio ( $55.000 \text{ ha}^{-1}$ ).

A eficiência agronômica do nitrogênio (EAN) foi calculada com base no rendimento de grãos total (perfilhos+colmo principal). Foi determinada subtraindo-se o rendimento de grãos nas subparcelas em que foi aplicado N em cobertura da produtividade do tratamento sem N e dividindo-se o resultado pela quantidade de N aplicada na pós-emergência (HAVLIN et al., 2005).

O teor de N nos grãos foi determinado de acordo com a metodologia proposta por Tedesco et al. (1996), por digestão sulfúrica e destilação por arraste de  $\text{NH}_3$  utilizando o método semi-micro Kjeldahl. O teor de N nos grãos foi multiplicado pelo rendimento de grãos por hectare para que se obtivesse o N recuperado nos grãos por hectare. A eficiência de recuperação de N nos grãos foi obtida através da divisão entre a diferença do N recuperado nas subparcelas com N e naquelas sem N pela quantidade de N aplicada em cobertura e multiplicada por cem.

Os dados pluviométricos foram obtidos com auxílio de um pluviômetro no local do experimento. Os demais dados meteorológicos necessários ao cálculo do balanço hídrico da cultura e a temperatura foram obtidos junto à Unidade Meteorológica do CAV/UEDESC, situada em Lages, a aproximadamente 20 km da área experimental. Esses dados foram utilizados para cálculo do balanço hídrico relativo à estação de crescimento compreendida entre outubro de 2008 e abril de 2009, conforme metodologia desenvolvida por Thorntwaite e Mather (1955). É importante destacar que o ensaio não foi irrigado.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância. Os valores de F para efeitos principais e interações foram considerados significativos ao nível de significância de 5% ( $P < 0,05$ ). Quando os valores de F foram significativos, as médias de cada tratamento qualitativo foram comparadas entre si utilizando-se o teste DMS de Fischer, ao nível de significância de 5%. Quando os valores de F foram significativos para doses de N, as médias dos tratamentos foram ajustadas utilizando a análise de regressão polinomial, ao nível de

significância de 5% ( $P < 0,05$ ). Utilizou-se o programa estatístico Winstat 1.0 para análise dos dados.

## 2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 2.4.1 Dados Climáticos

Os dados pluviométricos mostram que houve excesso hídrico, superior a 30 mm, no início do desenvolvimento do milho (Figura 1). Já na fase vegetativa, as precipitações foram relativamente bem distribuídas. O período compreendido entre meados de janeiro e início do mês de fevereiro apresentou deficiência hídrica de 22 mm de água. Este déficit hídrico coincidiu com o pendoamento e o espigamento da cultura, que ocorreram no último decêndio de janeiro. A aplicação de N em V4 coincidiu com uma precipitação superior a 50 mm, que pode ter lixiviado o nutriente.

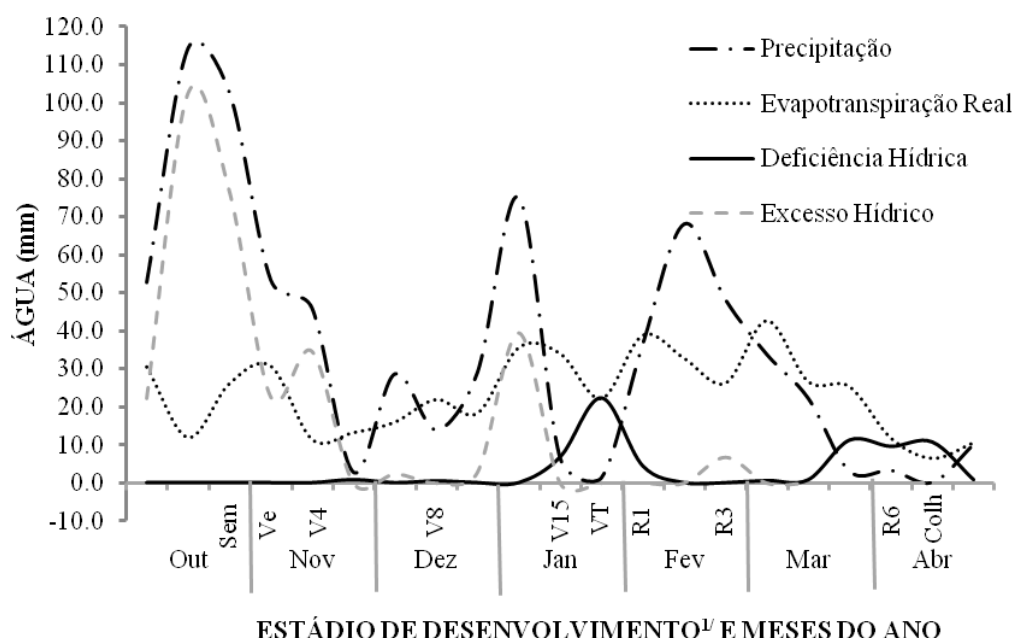


Figura 1 - Balanço hídrico da safra 2008/09 na área experimental durante o desenvolvimento do milho, segundo metodologia proposta por Thorntwaite e Mather (1955), considerando uma capacidade de armazenamento de água no solo de 75 mm. Lages, SC.

<sup>1</sup> Conforme escala de desenvolvimento proposta por Ritchie et al (1993).

A temperatura média mensal do ar durante o desenvolvimento do milho oscilou entre 16,3 (outubro) e 21,1°C (fevereiro). As maiores temperaturas coincidiram com os períodos de florescimento e enchimento de grãos, que ocorreram entre final de janeiro e meados de março. O ano agrícola teve temperatura média mensal igual à média histórica da região (Tabela 1).

Tabela 1 - Temperatura média mensal do ar durante o período compreendido entre outubro de 2008 e abril de 2009, em Lages, SC.

Período	Meses do ano							Média do período
	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	
	Temperatura média do ar (°C)							
Média entre 1976/2008 <sup>1/</sup>	16,1	17,7	19,5	20,4	20,3	19,2	16,4	18,5
Estação de crescimento 2008/09 <sup>2/</sup>	16,3	17,6	19,8	19,1	21,1	20,1	15,4	18,5

<sup>1/</sup>Dados fornecidos pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S.A. – EPAGRI; Centro integrado de Meteorologia e Recursos Hídricos de Santa Catarina – CLIMERH; Estação Agrometeorológica de Lages-SC.

<sup>2/</sup>Dados coletados na estação meteorológica do Centro de Ciências Agroveterinárias CAV/UDESC, Lages-SC.

#### 2.4.2 Percentagem de plantas perfilhadas e número de perfilhos por planta

A percentagem de plantas perfilhadas foi afetada pelos efeitos simples de doses e épocas de aplicação de N em cobertura (Tabela 2). Ela oscilou entre 53 e 84% até o florescimento, reforçando a boa capacidade de perfilhamento do híbrido P30F53, já destacada por Schmitt (2008) numa série de ensaios realizados com este genótipo. Houve redução de, aproximadamente, 40% na percentagem de plantas que diferenciaram estas estruturas entre as avaliações realizadas em V9 e na colheita. A maior mortalidade de perfilhos ocorreu no enchimento de grãos, sendo que mais de 30% das plantas que possuíam perfilhos no florescimento já não os apresentavam na colheita. Segundo Nafzinger (2006), os perfilhos de milho geralmente não sobrevivem até o final do ciclo, não contribuindo diretamente ao rendimento de grãos. A aplicação de N em cobertura propiciou maior percentagem de plantas perfilhadas nos estádios V15 e no pendoamento. Entretanto, a disponibilidade inicial de N não foi suficiente para atender à demanda gerada até a colheita. Por outro lado, Schmitt (2008) verificou que a percentagem de plantas com perfilhos vivos na colheita aumentou com o incremento no suprimento de N. A aplicação de 200 kg ha<sup>-1</sup> de N aumentou a sobrevivência dos perfilhos para um valor superior a 72% do externado em VT.

Tabela 2 - Percentagem de plantas perfilhadas em função da dose e época de aplicação de N em cobertura, em quatro estádios fenológicos do milho. Lages, SC, 2008/09.

Plantas Perfilhadas (%) <sup>5/</sup>				
Estádio Fenológico	Dose de N (kg ha <sup>-1</sup> )			
	0	50	100	200
V9 <sup>3/</sup>	58	84	71	78 <sup>NS2/</sup>
V15	53 b <sup>1/</sup>	80 a	70 a	77 a
VT	53 b	78 a	72 a	76 a
Colheita	36	52	43	51 <sup>NS2/</sup>
-----				
	Época de aplicação			
	V4 <sup>4/</sup>	V4+V8	V8	
V9	80 a <sup>1/</sup>	75 a	64 b	
V15	78 a	72 a	61 b	
VT	77 a	71 a	60 b	
Colheita	53 a	47 a	36 b	

<sup>1/</sup>Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem significativamente pelo teste DMS (P<0,05).

<sup>2/</sup>Diferenças não significativas pelo teste DMS (P<0,05).

<sup>3/</sup>V9 – nove folhas expandidas; V15 – quinze folhas expandidas; VT – pendoamento, de acordo com escala proposta por Ritchie et al. (1993).

<sup>4/</sup>V4 – quatro folhas expandidas; V8 – oito folhas expandidas, de acordo com escala proposta por Ritchie et al (1993).

<sup>5/</sup>CV (V9)= 14,5%; CV (V15)= 16,8%; CV (VT)= 17,1%; CV (colheita)= 23,8%.

O número de perfilhos por planta foi afetado pelas doses de N. Nas avaliações realizadas em V9, V15 e VT observou-se aumento linear desta variável em função da dose de N aplicada em cobertura (Figura 2). Segundo Wilman e Wright (1983), o nitrogênio tem expressivo efeito sobre o número de perfilhos. Vários trabalhos demonstram a importância do N na expressão do perfilhamento em pastagens (HARRYS et al., 1996; MCKENZIE, 1998; LAVRES JUNIOR et al., 2004), arroz (MALAVOLTA et al., 1997), aveia (MUNDSTOCK e BREDEMEIER, 2001), cevada (WANSER e MUNDSTOCK, 2007) e trigo (LONGNECKER et al., 1993). No presente trabalho, não houve efeito significativo da aplicação de N no número de perfilhos do milho na colheita. O déficit hídrico ocorrido entre os meses de janeiro e fevereiro contribui para a maior mortalidade destas estruturas e, provavelmente, eliminou a resposta às doses de N.

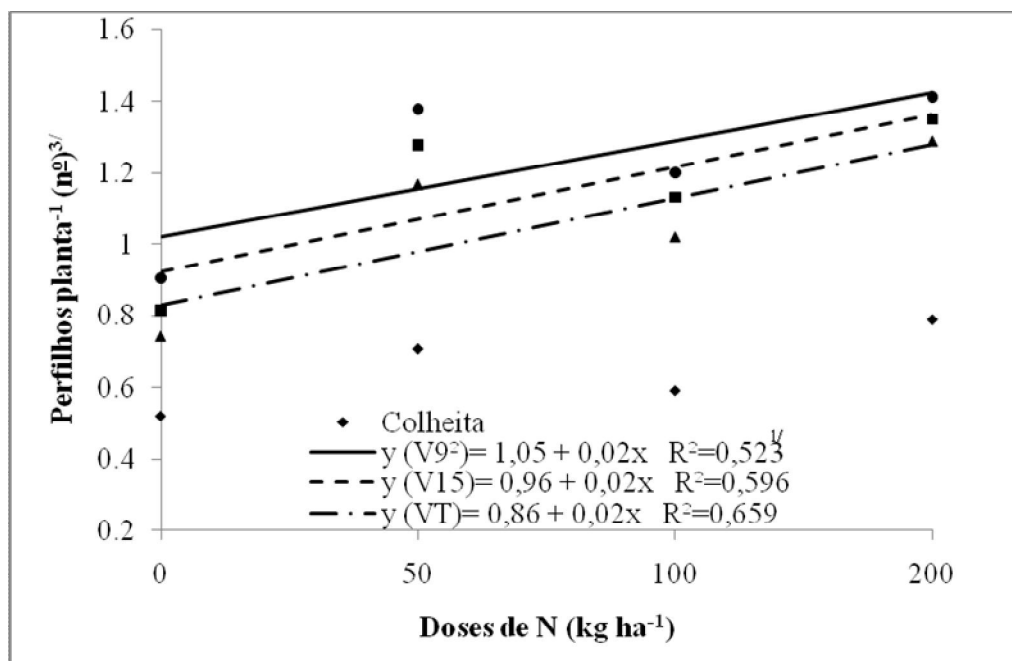


Figura 2 - Número de perfilhos por planta de milho em função da dose de nitrogênio (N) aplicada em cobertura, em quatro estádios de avaliação, na média de três épocas de aplicação. Lages, SC, 2008/09.

<sup>1</sup>Equações significativas ( $P < 0,05$ ).

<sup>2</sup> V9 – nove folhas expandidas; V15 – quinze folhas expandidas; VT – pendoamento, de acordo com escala proposta por Ritchie et al. (1993).

<sup>3</sup>CV (V9)= 19,2%; CV (V15)= 19,8%; CV (VT)= 19,2%; CV (Colheita)= 28,1%.

A aplicação da dose integral ou de metade da dose em V4 e metade da dose em V8 aumentou a percentagem de plantas perfilhadas, em relação à aplicação da dose integral em V8, nas avaliações feitas nos quatro estádios fenológicos do milho. Isto ocorreu porque a antecipação da aplicação de N proporcionou à planta melhor estado nutricional no momento da diferenciação das gemas em perfilhos, que ocorre quando a planta está com até seis folhas totalmente expandidas (RITCHIE et al., 1993). Melhor nutridos, os perfilhos conseguiram aumentar suas taxas de produção de fotoassimilados e sincronizar os processos de crescimento e desenvolvimento com o colmo principal, o que permitiu maior sobrevivência até à colheita. Thompson e Clarke (1993), estudando os efeitos do N sobre *Poa pratensis*, verificaram incremento no diâmetro basal dos perfilhos quando esse nutriente foi aplicado no período pré-indutivo do florescimento. Sangoi et al. (2007) relataram maior acúmulo de matéria seca nos afilhos de trigo quando a fertilização nitrogenada foi aplicada nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura. Observou-se que mais de 68% dos perfilhos quantificados na floração ainda permaneciam viáveis na colheita quando todo o N foi aplicado em V4.

A percentagem de plantas perfilhadas foi menor quando todo o N foi aplicado em V8 (Tabela 2). A cobertura em V8 pode ser muito tardia e, no momento em que a planta está bem nutrida, outras características já não são mais favoráveis, tais como a quantidade e a qualidade da luz que chegam aos estratos inferiores do dossel. A qualidade da luz modula precocemente o alongamento de colmos, bem como a capacidade dos cereais em emitir e produzir perfilhos férteis (ALMEIDA e MUNDSTOCK, 2001). Com boa disponibilidade de luz de qualidade, as plantas emitiram perfilhos. Aquelas que tinham suprimento adequado de N provavelmente conseguiram acumular maior matéria seca, garantindo o sincronismo dos perfilhos com o crescimento do colmo principal. O sincronismo do desenvolvimento determina a mortalidade de perfilhos (DAVIDSON e CHEVALIER, 1990) e é fundamental para que os perfilhos sejam produtivos e contribuam de forma direta ao rendimento de grãos (WOBETO, 1994). O número de perfilhos por planta aumentou quando as aplicações da dose integral ou parte da dose parcelada foram realizadas nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura (Figura 3). Da mesma forma, observou-se maior sobrevivência de perfilhos nestes tratamentos em todos os estádios de avaliação.

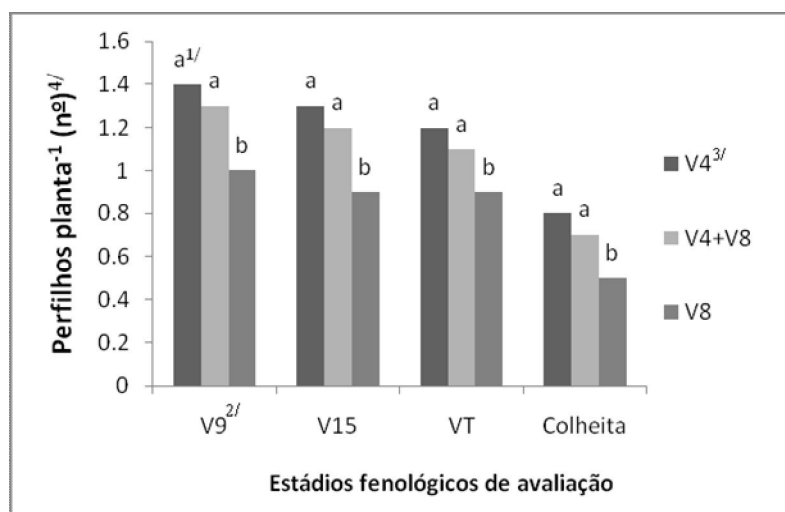


Figura 3 - Número de perfilhos por planta em função da época de aplicação da cobertura nitrogenada, em quatro estádios fenológicos do milho, na média de quatro doses de N. Lages, SC, 2008/09.

<sup>1/</sup>Médias seguidas de mesma letra, em cada estágio fenológico, não diferem significativamente pelo teste DMS ( $P < 0,05$ ).

<sup>2/</sup>V9 – nove folhas expandidas; V15 – quinze folhas expandidas; VT – pendoamento, segundo escala proposta por Ritchie et al (1993).

<sup>3/</sup>V4 – quatro folhas expandidas; V8 – oito folhas expandidas, segundo escala proposta por Ritchie et al (1993).

<sup>4/</sup>CV (V9)= 19,2%; CV (V15)= 19,8%; CV (VT)= 19,2%; CV (Colheita)= 28,1%.

### 2.4.3 Fenologia da cultura

As durações dos subperíodos emergência-espigamento e espigamento-maturação fisiológica foram influenciadas pelo efeito simples da dose de N aplicada em cobertura (Tabela 3). A ausência de cobertura nitrogenada aumentou a duração do subperíodo emergência-espigamento e reduziu a duração do subperíodo espigamento-maturação fisiológica, em relação à aplicação da maior dose de N ( $200 \text{ kg N ha}^{-1}$ ), na média das três épocas de aplicação. A duração dos subperíodos de desenvolvimento do milho depende do ambiente e das condições de fertilidade do solo. As deficiências hídrica e nutricional acentuam o caráter protândrico do milho, retardando o espigamento, e encurtam o período de enchimento de grãos, apressando a senescência (SANGOI, 2001). Apesar disso, nem o déficit nutricional e nem o déficit hídrico ocorrido no final de janeiro (Figura 1) aumentaram a duração do intervalo entre a antese e o espigamento, que foi de, aproximadamente, 2,5 dias, demonstrando boa sincronia entre os florescimentos masculino e feminino. A duração dos demais subperíodos avaliados não foi afetada pelos efeitos da quantidade de N disponibilizada à cultura, sendo que o ciclo total do milho foi, em média, de 148 dias para todos os tratamentos. A época de aplicação do N não interferiu na duração de nenhum dos subperíodos avaliados.

Tabela 3 - Duração de cinco subperíodos de desenvolvimento do milho em função da dose de N aplicada em cobertura, na média de três épocas de aplicação. Lages, SC, 2008/09.

Dose de N ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	Subperíodo (dias)				
	Emergência - antese	Antese - espigamento	Emergência – espigamento	Espigamento – mat. fisiol.	Emergência – mat. fisiol.
0	80 <sup>NS1/</sup>	2,5 <sup>NS1/</sup>	83 a <sup>2/</sup>	66 b <sup>2/</sup>	148 <sup>NS1/</sup>
50	79	2,4	82 ab	67 ab	149
100	79	2,7	82 ab	67 ab	148
200	80	2,2	81 b	68 a	149
Média	79	2,5	82	67	149
CV (%)	1,8	72,0	1,5	2,4	0,8

<sup>1/</sup>Diferenças não significativas pelo teste DMS ( $P < 0,05$ ).

<sup>2/</sup>Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente pelo teste DMS ( $P < 0,05$ ).

#### 2.4.4 Área foliar, índice de área foliar e número de folhas verdes no florescimento

A área foliar por planta e o índice de área foliar (IAF) mensurados no florescimento foram influenciados pelo efeito simples da dose de N aplicada em cobertura. Houve uma resposta quadrática em função dos níveis deste fator (Figura 4). As doses que maximizaram a área foliar e o IAF foram de 194 e 186 kg N ha<sup>-1</sup>, respectivamente. A área foliar por planta variou entre 6.688 a 8.086 cm<sup>2</sup> para a menor e a maior dose, respectivamente. O maior teor de N disponibilizado às plantas proporciona maior crescimento e desenvolvimento, aumentando o IAF (SILVA et al., 2005; SILVA et al., 2006). Além disso, a deficiência de N apressa a senescência natural. O IAF no florescimento oscilou entre 3,8 a 4,5. Fancelli e Dourado Netto (2000) citam que no cinturão de milho americano, o rendimento de grãos e o número de grãos aumentam com os incrementos no IAF até valores variando entre 3 e 5. Os resultados do presente trabalho corroboram as informações destes autores. O IAF depende da fertilidade do solo, das condições climáticas, do espaçamento e do genótipo utilizado, enquanto a área foliar por planta é uma função do número e tamanho de folhas (FANCELLI e DOURADO NETTO, 2000).

O número de folhas verdes no florescimento foi o fator que mais contribuiu para a maior área foliar naqueles tratamentos que receberam aplicação de N. Houve uma resposta quadrática em função do N aplicado em cobertura para esta variável (Figura 5). A aplicação de N em cobertura reduziu a senescência foliar, na média das três épocas de aplicação. A deficiência de N apressa a clorose de folhas, culminando com a sua senescência. Os sintomas de deficiência deste nutriente podem ser observados nas folhas dos estratos inferiores do dossel.

#### 2.4.5 Estatura de planta e altura de inserção da espiga

A estatura de planta respondeu de forma quadrática ao incremento da dose de N aplicada em cobertura (Figura 6). A dose que maximizou a estatura do colmo principal, foi de 125 kg ha<sup>-1</sup> de N, propiciando uma estatura de 261 cm. Já a altura de inserção da espiga superior do colmo principal não foi alterada por nenhum dos fatores. Na média de todos os tratamentos, a espiga ficou posicionada a 117 cm acima do solo



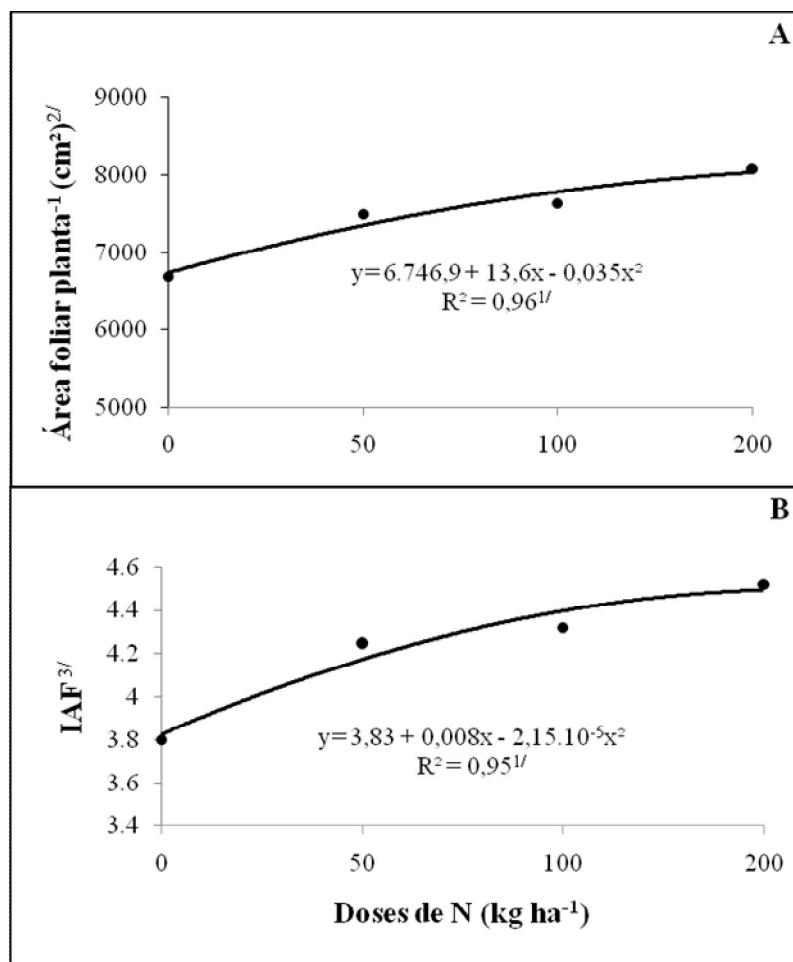


Figura 4 - Área foliar (A) e índice de área foliar (IAF; B) do colmo principal planta<sup>-1</sup> no florescimento do milho em função da dose de nitrogênio (N) aplicada em cobertura, na média de três épocas de aplicação. Lages, SC, 2008/09.

<sup>1/</sup>Equações de regressão significativas (P<0,05).

<sup>2/</sup>CV= 7,3%.

<sup>3/</sup>CV= 8,2%.

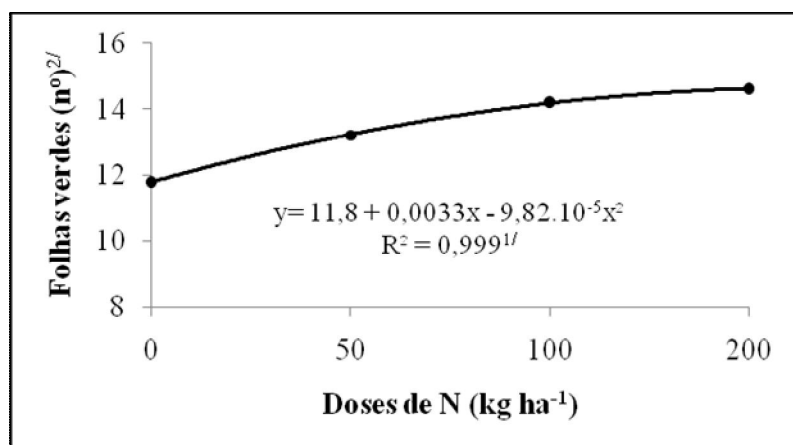


Figura 5 - Número de folhas verdes no florescimento do milho em função da dose de nitrogênio (N) aplicada em cobertura, na média de três épocas de aplicação. Lages, SC, 2008/09.

<sup>1/</sup>Equação significativa (P<0,05).

<sup>2/</sup>CV= 4,6%.

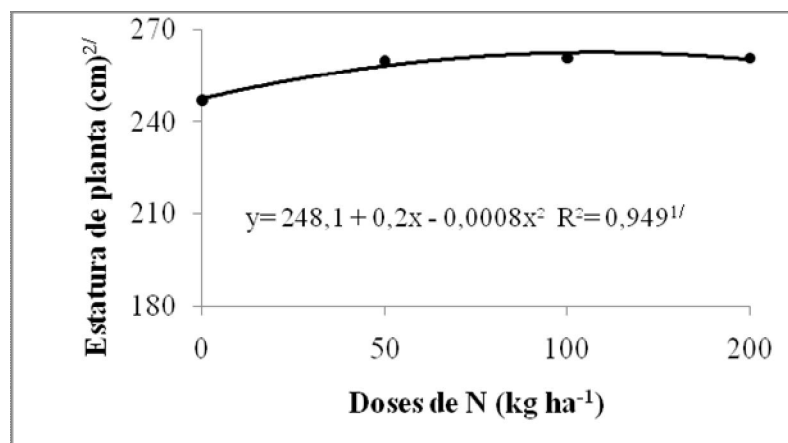


Figura 6 - Estatura do colmo principal no florescimento do milho em função da dose de nitrogênio (N) aplicada em cobertura, na média de três épocas de aplicação. Lages, SC, 2008/09.

<sup>1</sup>Equação significativa ( $P < 0,05$ ).

<sup>2</sup>CV = 1,4%.

#### 2.4.6 Rendimento de grãos dos perfilhos, do colmo principal, total, componentes do rendimento e eficiência agrônômica do nitrogênio

O rendimento de grãos total foi influenciado apenas pelo efeito simples da dose de N aplicada em cobertura. Ele dependeu exclusivamente do rendimento de grãos obtido no colmo principal, não sendo influenciado pela contribuição dos perfilhos. Os rendimentos de grãos total e do colmo principal aumentaram linearmente com o incremento da dose de N aplicada em cobertura no milho, na média das épocas de aplicação (Figura 7). Houve um acréscimo de 130 kg no rendimento total de grãos de milho para cada 10 kg de N aplicado em cobertura na faixa estudada, sendo a produtividade máxima superior a 11.700 kg ha<sup>-1</sup>. Resposta similar foi observada por Silva et al. (2009), porém com valores absolutos para rendimento de grãos menores, visto que o suprimento insuficiente de N é considerado como um dos principais fatores limitantes para o rendimento de grãos de milho (ESCOSTEGUY et al., 1997; FREIRE et al., 2001). O adequado suprimento de N incrementa significativamente a produtividade das espécies da família das poáceas quando aplicado em cobertura nas épocas de maior demanda pelo nutriente (AMADO et al., 2002; SILVA et al., 2005).

O perfilhamento não gerou estresse significativo no milho, pois os maiores rendimentos foram observados nos tratamentos que receberam cobertura nitrogenada e que apresentavam maior percentagem de plantas perfilhadas em V15 e VT. Além disso, esses

tratamentos apresentaram o maior número de perfilhos por planta nas avaliações feitas em V9, V15 e VT.

A contribuição direta dos perfilhos ao rendimento de grãos não foi afetada pela dose de N e pelo estágio de aplicação da cobertura nitrogenada. Registrou-se um rendimento de grãos nessas estruturas de  $241 \text{ kg ha}^{-1}$  (2,1% do rendimento total), na média dos tratamentos. Contudo, observa-se que a distância entre as retas que representam as produtividades do colmo principal e total afastam-se com o aumento da dose de N (Figura 7). Este afastamento representa o rendimento obtido nos perfilhos, o qual não foi influenciado pela dose de N aplicada. Os resultados referentes ao rendimento de grãos dos perfilhos apresentam geralmente altos coeficientes de variação, próximos a 90%, uma vez que sua emissão é muito dependente de outras condições ambientais que não são possíveis serem controladas em experimentos de campo. A baixa produção de grãos nos perfilhos deveu-se ao fato de apenas 6% das plantas apresentarem perfilhos com espigas na colheita. A baixa incidência de perfilhos férteis na colheita provavelmente decorreu do período de restrição hídrica entre meados de janeiro e início de fevereiro, que coincidiu com o período de enchimento de grãos da cultura (Figura 1). Estresses ambientais em períodos posteriores à emergência dos perfilhos podem causar o aborto destas estruturas (MAAS et al., 1994). Segundo Petr et al. (1988), os fatores que mais contribuem para abortamento de perfilhos são as disponibilidades hídrica e de N. A redução da precipitação provavelmente estimulou a dominância apical, dificultando a produção de grãos nos perfilhos. Entretanto, Schmitt (2008) constatou em ensaio avaliando doses de N, num ano sem restrição hídrica, que o aumento da disponibilidade de N proporcionou incrementos na contribuição direta dos perfilhos ao rendimento total de grãos do milho. Isto mostra a importância do N sobre a capacidade dos perfilhos de produzirem espigas. É importante ressaltar que os resultados deste ensaio referem-se a apenas um ano de avaliação.

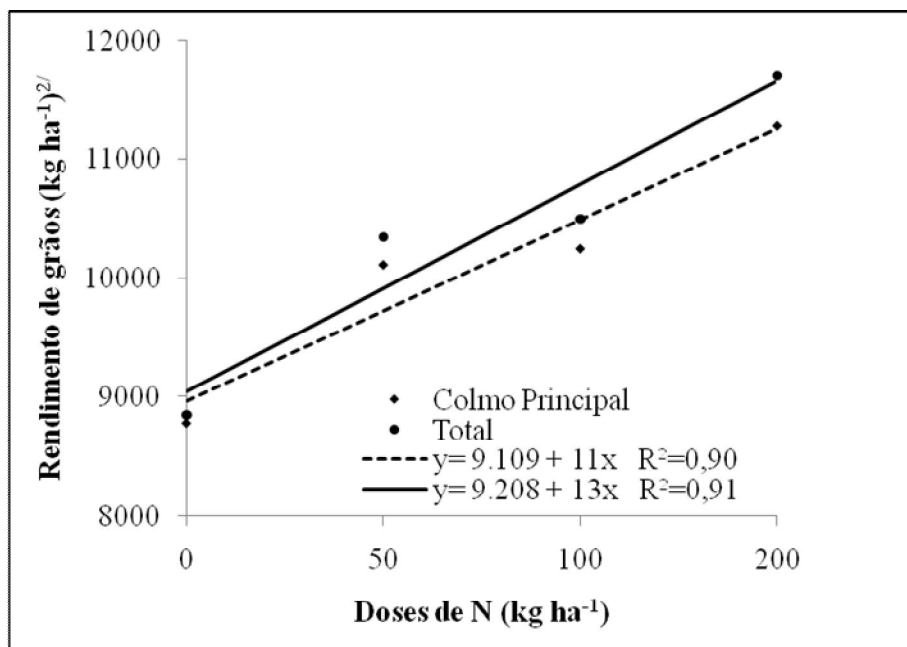


Figura 7 - Rendimento de grãos total e do colmo principal de milho, em função da dose de nitrogênio aplicada em cobertura, na média de três épocas de aplicação. Lages, SC 2008/09.

<sup>1</sup>Equações significativas ( $P < 0,05$ ).

<sup>2</sup>CV (rendimento total)= 7,7%; CV (rendimento do colmo principal)= 8,3%.

Deve-se destacar-se os altos tetos produtivos do ensaio. Mesmo no tratamento sem adição de N em cobertura se obteve produtividade superior a  $8.850 \text{ kg ha}^{-1}$ . Esta resposta está relacionada à contribuição da mineralização da matéria orgânica do solo, por conta do alto teor no Nitossolo Vermelho do estudo e pelo tempo de adoção do sistema de semeadura direta que auxilia na preservação da matéria orgânica nativa do solo. Considerando-se um teor de 5% de N no solo e uma taxa de mineralização de N de 2,5% ao ano (ERNANI, 2003), o solo é capaz de disponibilizar uma quantidade superior a  $125 \text{ kg ha}^{-1}$  de N anualmente. Deve-se ponderar que o milho permanece a campo apenas por quatro meses do ano, não utilizando todo o N mineralizado. Além disso, foram adicionados  $30 \text{ kg ha}^{-1}$  de N durante a semeadura do milho.

O maior rendimento de grãos nas maiores doses de N também pode estar associado a maior contribuição indireta dos perfilhos, uma vez que estes tiveram maior sobrevivência nos estádios V15 e na floração quando se utilizou N em cobertura (Tabela 2). Schmitt (2008) demonstrou que a contribuição indireta dos perfilhos do milho é importante, indicando que há remobilização de reservas destas estruturas para o colmo principal. A remobilização de reservas entre perfilhos e colmo principal é pouco observada antes do pendoamento. Contudo, depois da exteriorização dos estigmas e durante o enchimento de grãos grandes quantidades

de fotoassimilados podem mover-se das folhas dos perfilhos para a espiga da planta principal, principalmente quando o perfilho não produz espigas (THOMISON, 2009).

O incremento da dose de N aumentou linearmente o número de grãos por espiga e a massa de mil grãos dos colmos principais, na média de três épocas de aplicação (Figura 8). Isto colaborou para os incrementos lineares registrados nos rendimentos de grãos total e do colmo principal (Figura 7). O número de espigas e grãos por metro quadrado não foram influenciados significativamente pela dose de N, sendo registrado, na média de todos os tratamentos valores de 5,6 espigas  $m^{-2}$  e 3.157 grãos  $m^{-2}$  (dados não mostrados). Os componentes do rendimento dos perfilhos não foram alterados pelos tratamentos. A massa de mil grãos e o número de grãos por metro quadrado dos perfilhos foram, na média de todos os fatores em estudo, de 164g e 100 grãos  $m^{-2}$ , respectivamente.

A época de aplicação da cobertura nitrogenada não influenciou os rendimentos de grãos total, do colmo principal e dos perfilhos, independentemente da dose de N utilizada. Isto contrariou a hipótese de que a aplicação de altas doses de N no início do ciclo da cultura aumenta a participação dos perfilhos no rendimento de grãos de milho. Sangoi e Almeida (1994) e Gomes et al. (2007) também não constatarem efeitos da época de aplicação do fertilizante nitrogenado sobre o rendimento de grãos de milho. Isto provavelmente se deve ao alto teor de matéria orgânica (51 g  $kg^{-1}$ ) do Nitossolo Vermelho em que se conduziu o trabalho. Acredita-se que o fornecimento de N do solo advindo da mineralização da matéria orgânica mitigou as respostas à época de realização da adubação nitrogenada de cobertura, fato este corroborado por estudos conduzidos por Bayer e Mielniczuk (1997) e Gianello (2000). Em condições de elevado potencial de suprimento de N pelo solo, os estádios fenológicos para aplicação de N possuem menor importância na formação do rendimento de grãos (WANSER e MUNDSTOCK, 2007).

A eficiência agronômica do N aplicado (EAN) foi alterada pela dose de N (Tabela 4), apesar de o comportamento do rendimento de grãos à aplicação de N ter sido linear, dentro da faixa estudada. A dose de 50  $kg\ ha^{-1}$  proporcionou maior EAN. As demais doses não diferiram estatisticamente entre si. Esta resposta corrobora as informações de Lara Cabezas et al., 2000; Cantarella e Duarte, 2004; Silva et al., 2006. Geralmente, o aproveitamento de N pelo milho de N proveniente de fertilizantes minerais decresce com o aumento da dose aplicada, uma vez que o suprimento excede as necessidades da cultura e aumenta-se a probabilidade de perdas de N. Os baixos valores de EAN observados nas doses de 100 e 200  $kg\ ha^{-1}$  de N (Figura 7), em relação aos reportados por Presterl et al., (2003) e Ferro et al.

(2007), também se devem à produtividade superior a 8,5 t ha<sup>-1</sup> registrada no tratamento testemunha (Figura 7).

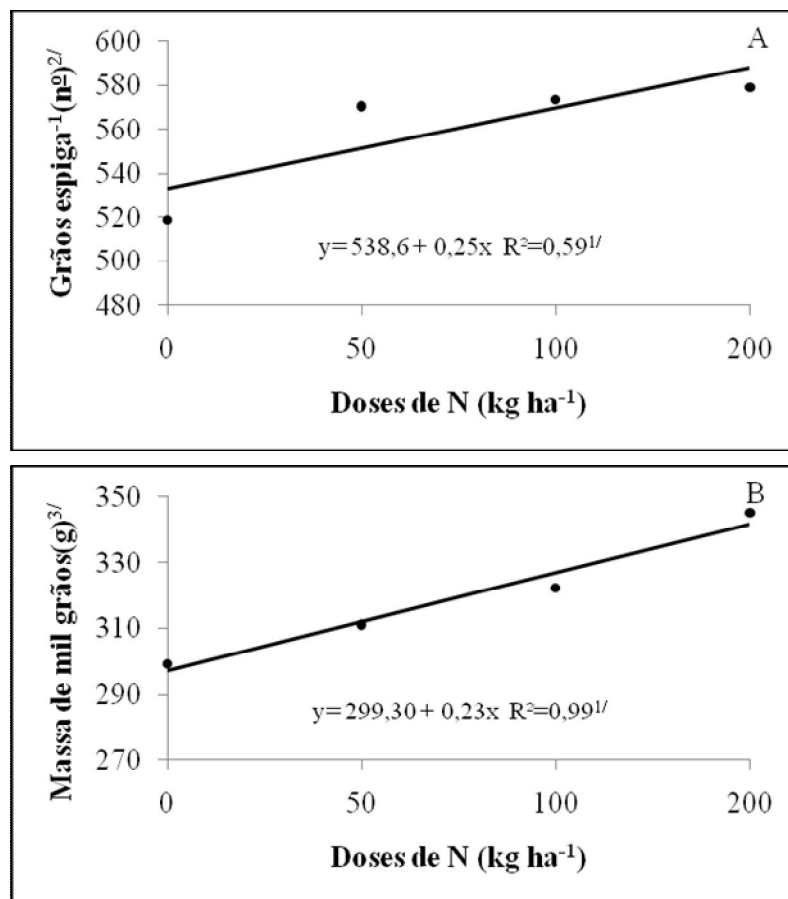


Figura 8 - Número de grãos espiga<sup>-1</sup> (A) e massa de mil grãos (B) do colmo principal de milho em função da dose de nitrogênio (N) aplicada em cobertura, na média de três épocas de aplicação. Lages, SC, 2008/09.

<sup>1</sup>Equações significativas (P<0,05).

<sup>2</sup>CV= 4,5%.

<sup>3</sup>CV= 3,7%.

Tabela 4 - Eficiência agrônômica do N aplicado (EAN)<sup>1/</sup> em função da dose de N aplicada em cobertura, na média de três épocas de aplicação, em milho. Lages, SC, 2008/09.

Dose de N (kg ha <sup>-1</sup> )	EAN (kg kg <sup>-1</sup> ) <sup>3/</sup>
0	-
50	42,6 a <sup>2/</sup>
100	12,3 b
200	12,8 b

<sup>1/</sup>EAN= (rendimento do tratamento com N – rendimento tratamento sem N)/ dose de N em cobertura (HAVLIN et al., 2005).

<sup>2/</sup>Médias antecedidas de mesma letra não diferem significativamente pelo teste DMS (P<0,05).

<sup>3/</sup>CV= 78,1%.

#### 2.4.7 Quantidade de nitrogênio recuperado nos grãos e eficiência de recuperação do nitrogênio fertilizante nos grãos.

O nitrogênio recuperado nos grãos da espiga do colmo principal foi alterado pela interação entre a dose de N aplicada e a época de aplicação. Com aplicação de N em V4 houve resposta quadrática da recuperação do N nos grãos do milho, oscilando entre 81,7 a 119 kg ha<sup>-1</sup> de N acumulado nos grãos, respectivamente para as doses de 0 e 200 kg ha<sup>-1</sup> de N. A dose que maximizou a recuperação, foi de, aproximadamente, 164 kg ha<sup>-1</sup> de N (Figura 9). Esta resposta pode estar associada a ocorrência de uma precipitação de 50 mm ocorrida logo após a aplicação em V4, que possivelmente acarretou perdas de N por lixiviação (Figura 1). As perdas foram mais significativas nas maiores doses e dificultaram a absorção do N pelo milho. Consequentemente, reduziram a quantidade de N acumulada nos grãos. Com as aplicações de metade da dose do N em V4 e metade em V8 e da dose completa em V8, houve recuperação linear desse nutriente. Entretanto, observou-se que o parcelamento da cobertura nitrogenada diminuiu o incremento na recuperação do nutriente. Para cada 10 kg de N aplicados em cobertura observou-se uma recuperação de 2,4 kg de N quando a cobertura foi parcelada e 3,4 quilos quando foi realizada integralmente em V8. Os menores incrementos observados com a aplicação do N parcelado provavelmente estão relacionados à precipitação ocorrida no dia da aplicação feita em V4, a qual reduziu a quantidade de N disponível ao milho. Lange et al. (2008) não encontraram diferenças na recuperação do N na planta inteira quando o mesmo foi aplicado parcelado em cobertura em relação à aplicação numa única vez. Quanto mais cedo o N for aplicado antes da época de maior demanda da cultura, maior é o potencial de perda (LANGE et al., 2002; CANTARELLA et al., 2003; SAINZ ROZAS et al., 2004). Entretanto, como em ambas as épocas de aplicação avaliadas no trabalho a demanda por N é grande, a maior limitação esteve relacionada ao fato da chuva ter proporcionado maior lixiviação do N em V4. A quantidade de N recuperada nos grãos dos perfilhos não foi influenciada por nenhum dos fatores, sendo de 2,77 kg ha<sup>-1</sup> de N, na média de todos os tratamentos em que foram colhidos grãos dos perfilhos.

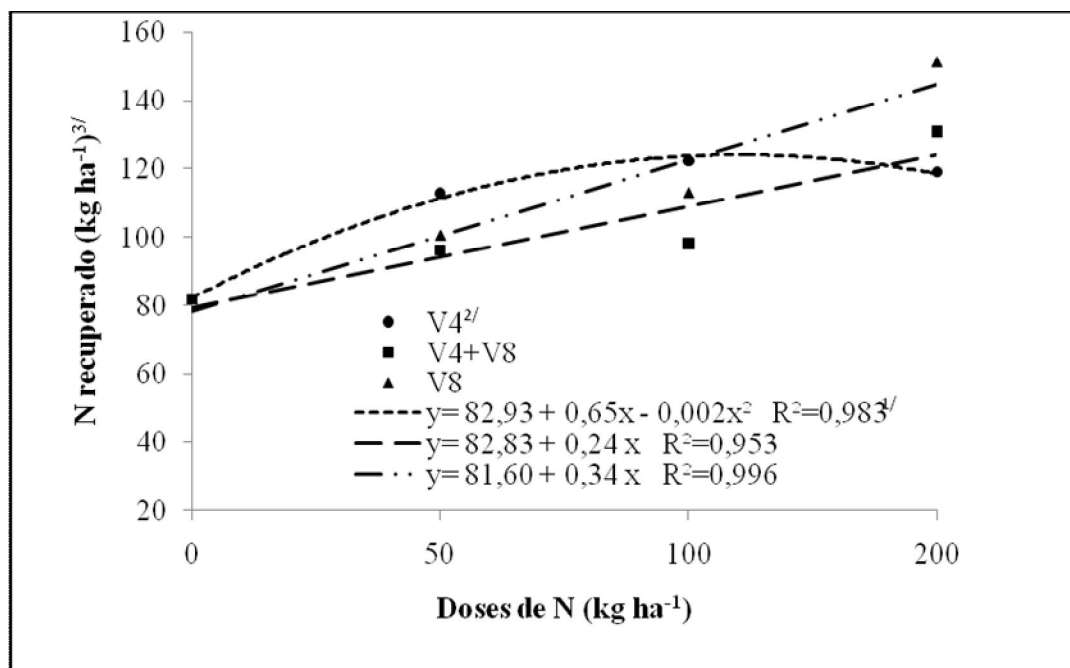


Figura 9 - Quantidade de nitrogênio (N) recuperado nos grãos de milho em função de doses e épocas de aplicação da cobertura nitrogenada. Lages, SC, 2008/09.

<sup>1/</sup>Equações significativas ( $P < 0,05$ ).

<sup>2/</sup>V4 – quatro folhas expandidas; V8 – oito folhas expandidas, segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993).

<sup>3/</sup>CV= 13,4%.

A eficiência de recuperação do N proveniente do fertilizante mineral nos grãos (ERNFG) não foi influenciada por nenhum dos fatores avaliados. A recuperação variou de 26 a 43%, em relação à parcela testemunha, de acordo com a dose de N utilizada. Apesar de não significativa, observou-se que os valores da ERNFG diminuíram com o incremento da dose de N, já que o suprimento excede às exigências da cultura do milho (HALVORSON et al., 2004; FERNANDES et al., 2005) e aumenta-se a possibilidade de perdas deste nutriente. Conforme documentado na literatura, a eficiência de recuperação média do N na cultura do milho é de 50%, quando analisada a planta inteira (LARA CABEZAS et al., 2005; GAVA et al., 2006). Lange et al. (2008) encontraram eficiência de recuperação do N nos grãos de 37% para uma dose de 70 kg ha<sup>-1</sup> de N, na média de duas fontes de N e cinco épocas de aplicação, valor intermediário aos encontrados neste ensaio.



Tabela 5 - Eficiência de recuperação do nitrogênio (N) proveniente do fertilizante nos grãos de milho (ERNFG)<sup>1/</sup> em função da dose de N aplicada em cobertura, na média de três épocas de aplicação. Lages, SC, 2008/09.

Dose de N (kg ha <sup>-1</sup> )	EAN (kg kg <sup>-1</sup> ) <sup>4/</sup>
0 <sup>3/</sup>	-
50	43,0 <sup>NS2/</sup>
100	29,4
200	26,0

<sup>1/</sup>ERNFG= ((N recuperado do tratamento com N – N recuperado do tratamento sem N)/ Dose de N)\*100.

<sup>2/</sup>Diferenças não significativas pelo teste DMS (P<0,05).

<sup>3/</sup>N recuperado nas subparcelas sem cobertura nitrogenada= 81,7 kg ha<sup>-1</sup>.

<sup>4/</sup>CV= 69,3%.

## 2.5 CONCLUSÕES

A utilização de N no início do ciclo de híbridos perfilhadores aumenta a capacidade de emissão e sobrevivência de perfilhos, contudo, não assegura a reprodução destas estruturas.

Em solos com alto teor de matéria orgânica, a época de realização da cobertura nitrogenada não é um fator determinante à produtividade de grãos do colmo principal e perfilhos do milho.

A adubação nitrogenada em cobertura mitiga os efeitos nocivos da competição entre colmos oriunda do perfilhamento do milho. No entanto, não é suficiente para aumentar a contribuição dos perfilhos ao rendimento global de grãos do milho, em anos que a exigência hídrica da cultura não é atendida.

### **3 REAPLICAÇÃO DE NITROGÊNIO EM COBERTURA PARA RECUPERAR OS PREJUÍZOS DA DESFOLHA (*REAPPLICATION OF SIDE-DRESS NITROGEN TO RECOVER DEFOLIATION DAMAGES*)**

#### **3.1 RESUMO**

A desfolha, ocasionada por ataques de lagartas desfolhadoras e granizo, diminui a interceptação de radiação solar e o rendimento de grãos do milho, especialmente quando ocorre próxima do florescimento. O nitrogênio incrementa as taxas fotossintéticas e auxilia na regeneração da área foliar, podendo atenuar o estresse ocasionado pela restrição de fonte. Este trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar se a reaplicação de doses crescentes de N após a desfolha, em três estádios fenológicos, é capaz de minimizar os prejuízos oriundos deste estresse sobre o rendimento de grãos. O ensaio foi conduzido a campo, no município de Lages, Planalto Sul de Santa Catarina. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, dispostos em parcelas subdivididas. Na parcela principal foram testadas três épocas de desfolha: oito (V8), quinze folhas expandidas (V15) e pendoamento (VT), e um tratamento sem desfolha. Nas subparcelas avaliaram-se quatro doses de N, reaplicadas em cobertura imediatamente após a desfolha: 0, 50, 100 e 200 kg ha<sup>-1</sup>. Avaliaram-se a duração dos subperíodos fenológicos, a área foliar remanescente no florescimento, o rendimento de grãos e seus componentes. A desfolha em V8 não reduziu a área foliar no florescimento e nem o rendimento de grãos, independentemente da dose de N reaplicada. A desfolha em V15 reduziu a área foliar por planta e o rendimento de grãos. Contudo, a reaplicação de 100 kg ha<sup>-1</sup> assegurou rendimentos similares àqueles obtidos no tratamento sem desfolha. Os menores rendimentos foram obtidos nos tratamentos em que a desfolha foi realizada em VT. Neste estágio, a reaplicação de N não afetou o rendimento de grãos. A desfolha em VT atrasou a exteriorização dos estigmas, antecipou a maturação fisiológica, aumentou a esterilidade feminina e reduziu todos os componentes do rendimento. A reaplicação de N em VT tem baixa eficiência agrônômica e aumenta o potencial de perdas desse nutriente, devido à pequena recuperação nos grãos. A reaplicação de N no milho submetido à desfolha é uma

estratégia de mitigação da restrição de fonte e depende do estágio fenológico e da dose de N utilizada.

**Palavras – chave:** *Zea mays*. Área foliar. Doses de Nitrogênio. Estresse.

### 3.1.1 Summary

Defoliation, caused by severe attacks of armyworm and hail, reduces the interception of solar radiation and decreases maize grain yield, especially when it occurs close to the crop's flowering. Nitrogen increases the leaf photosynthetic rates and helps to regenerate leaf area. Therefore, it may mitigate the stress caused by source restriction. This study was conducted to assess whether the re-application of increasing rates of N, following defoliation at three growth stages, is able to minimize the losses to grain yield arising from this stress. The trial was set in Lages, Southern Plateau of Santa Catarina, Brazil. The experimental design was a randomized block with split plots. Three times of defoliation were tested in the main plot: eight (V8), fifteen expanded leaves (V15) and tasseling (VT), plus a control without defoliation. Four nitrogen rates, reapplied immediately after defoliation, were assessed in the split-plots: 0, 50, 100 and 200 kg ha<sup>-1</sup> of N. The growth periods length, the remaining leaf area at flowering, grain yield and its components were determined. The defoliation in V8 did not reduce leaf area and grain yield, regardless of N rate reapplication. The defoliation in V15 reduced leaf area and grain yield. However, the re-application of 100 kg ha<sup>-1</sup> of N at this stage assured similar yields to those obtained in plots without defoliation. The lowest yields were obtained when defoliation was carried out in VT. At this stage, the re-application of nitrogen did not affect grain yield. Leaf removal in VT delayed silking, anticipated physiological maturity, increased barrenness and reduced all yield components. The re-application of N in VT had low agronomic efficiency and increased the potential for nutrient losses due to the small N recovery in grains. The re-application of N in maize subjected to defoliation is a strategy that mitigate source restriction, depending on the crop growth stage and nitrogen level.

**Keywords:** *Zea mays*. Leaf Area. Nitrogen Rates. Stress.

### 3.2 INTRODUÇÃO

O rendimento de grãos de milho depende da maneira como as plantas particionam a biomassa acumulada entre os órgãos colhidos e o restante de suas partes. Já o crescimento ou o acúmulo de matéria seca pelas plantas depende da fotossíntese, processo responsável pela transformação da radiação fotossinteticamente ativa em energia química. Portanto, a produção de matéria seca é função da radiação solar fotossinteticamente ativa incidente (RFA), da eficiência de interceptação da radiação e da eficiência com que as plantas utilizam a energia interceptada para fixar dióxido de carbono. A maior produção de biomassa do milho em relação a outras culturas comerciais como soja e girassol, cultivados sob condições não limitantes é atribuída a duas causas principais: altas eficiências de interceptação e de conversão da radiação (ANDRADE, 1995). A eficiência de conversão da radiação pelo milho depende do metabolismo de fixação do CO<sub>2</sub> pela rota C4 e de seu baixo coeficiente de extinção da luz. Já a eficiência de interceptação é dependente da área foliar por planta. As maiores taxas de crescimento da cultura são alcançadas quando as plantas atingem índices de área foliar (IAF) que interceptem 95% da RFA. Num dossel normal, em que as folhas se dispõem oferecendo diversos ângulos de interceptação aos raios solares, existe resposta linear da fotossíntese ao aumento da radiação fotossinteticamente ativa incidente. Assim, fica clara a importância da superfície foliar em interceptar essa radiação. A redução da área foliar, dependendo do estágio fenológico da cultura, limita o rendimento de grãos. Essa limitação decorre da redução da eficiência de interceptação da radiação.

A desfolha no milho pode ser oriunda de eventos bióticos ou abióticos. Dentre os eventos bióticos que podem ocasionar a redução de área foliar pela desfolha, pode-se citar o ataque de lagartas desfolhadoras. Já o granizo é o principal evento abiótico responsável pela redução da superfície fotossinteticamente ativa.

A lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda* Smith) é a principal praga que ataca as folhas do milho. Ela prefere as folhas mais novas e, por isso, ataca o cartucho da planta, chegando a destruí-lo completamente. Lagartas nos primeiros instares apenas raspam as folhas. Depois de desenvolvidas, conseguem fazer furos, danificando-as completamente (GALLO et al., 2002). Suscetíveis em praticamente todas as fases de desenvolvimento, as plantas ficam prejudicadas pela destruição do cartucho, reduzindo a área foliar fotossinteticamente ativa e a produção de fotoassimilados. São encontrados na literatura nacional e internacional relatos de reduções no rendimento superiores a 30% pela redução da

área foliar, ocasionada pelo ataque dessa praga (CARVALHO, 1970; WILLIAMS e DAVIS, 1990; CRUZ et al., 1996). Os prejuízos no rendimento dependem do estágio de desenvolvimento da cultura. O ataque severo desta praga em plantas jovens pode destruir a área foliar (CRUZ, 1995). Cruz e Turpin (1982) encontraram as maiores perdas no rendimento entre os estádios V8 e V10, segundo a escala de Ritchie et al (1993).

O granizo é uma precipitação de gelo formada pelo choque térmico entre as gotas de água que atravessam uma camada de ar frio. É uma das fontes abióticas de estresse mais prejudiciais às plantas, em qualquer época e magnitude, podendo causar diversos danos. Vorst (1986) estimou que as perdas anuais no rendimento de grãos de milho cultivado nos Estados Unidos, oriundas dos efeitos nocivos do granizo, ultrapassaram US\$ 52 milhões de dólares. Os efeitos do granizo sobre o cultivo do milho para produção de grãos (HANWAY, 1969; HICKS et al., 1977; SHAPIRO et al., 1986) e para produção de silagem (LAUER et al., 2004) são conhecidos e incluem a redução de estande, injúrias nos colmos e desfolha. A desfolha é responsável pela maior parte das perdas (LAUER et al., 2009).

O estudo do efeito nocivo destes estresses bióticos e abióticos às plantas pode ser realizado através da simulação da desfolha. Para determinar as perdas no rendimento devidas à desfolha, o estágio de desenvolvimento da lavoura e a percentagem de área foliar removida da planta devem ser avaliados. Estes tratamentos de simulação de granizo não computam a redução de estande e outras injúrias aos colmos, tendendo a subestimar os impactos no rendimento de grãos e forragem (LAUER et al., 2004). Baldrige (1976) estudou os efeitos do dano de granizo simulado sobre os rendimentos de forragem e de grãos em ambientes irrigados do estado de Montana, Estados Unidos. As desfolhas nos estádios de sete a onze folhas expandidas reduziram proporcionalmente mais a produtividade de forragem do que a de grãos. Contrariamente, desfolhas quando o milho estava com 15 folhas, no pendoamento ou com o grão leitoso, reduziram mais o rendimento de grãos que o de forragem. Os efeitos da desfolha sobre o rendimento de grãos variam com o ambiente. Isto provavelmente decorre da tolerância a estresse do híbrido e do nível de estresse seguinte à desfolha (SHAPIRO et al., 1986; LAUER et al., 2004).

Os efeitos da desfolha sobre o rendimento de grãos do milho dependem também do estágio de desenvolvimento que ocorre a perda das folhas e da área foliar removida (LAUER et al., 2004). Quando ocorrem desfolhas parciais, os efeitos deste estresse sobre o rendimento de grãos dependerão de que folhas foram removidas (PALMER et al., 1973; TOLLENAAR, 1977). As folhas acima da espiga podem ser suficientes para enchimento dos grãos (ALLISON et al., 1975). A remoção de todas as folhas abaixo da folha da espiga, ou de

apenas a folha da espiga no espigamento, propiciou reduções no rendimento de grãos de um híbrido convencional que variaram entre 19 a 26 e 17 a 25%, respectivamente. Quando todas as folhas acima da espiga foram removidas, o número de grãos por espiga e a massa seca dos grãos foram reduzidos em aproximadamente 84 e 94%, respectivamente (SUBEDI e MA, 2005).

Nos estádios iniciais do milho, a desfolha tem baixo impacto no rendimento de grãos (JOHNSON, 1978). Contudo, a partir de seis a sete folhas expandidas, o efeito da desfolha sobre a produtividade aumenta e decresce depois do florescimento. O milho é mais suscetível a perda de área foliar no pendoamento e no espigamento do que em qualquer outro estágio fenológico. Em geral, a perda completa de área foliar nestes estádios resulta numa perda próxima a 100% do rendimento (VASSILAS e SEIF, 1985). Isto se deve especialmente a duas razões. Primeiramente, o milho é uma planta de crescimento determinado. Quando o pendão emerge, as plantas têm seu crescimento vegetativo completado. Assim, todas as folhas estão expandidas neste momento e não existem mais folhas novas para emergir se as folhas expostas forem danificadas. Além disto, a perda de área foliar antes do enchimento de grãos significa que existirá menor área foliar disponível para interceptar a radiação que é necessária para o enchimento de grãos (LAUER, 2009).

Egharevba et al. (1976) afirmaram que a desfolha até trinta dias após o espigamento reduziu a acumulação de matéria seca do milho, sendo o peso dos grãos o componente do rendimento mais afetado. Entretanto, o número de grãos por espiga também foi reduzido quando todas as folhas foram retiradas entre o espigamento e dez dias depois. Borrás et al. (2004) verificaram que a menor relação fonte-dreno do milho após o florescimento reduz significativamente o peso dos grãos. A desfolha total reduz tanto a taxa de crescimento dos grãos como o seu período de enchimento, resultando em menor peso por grão (HANWAY, 1969; JONES e SIMONS, 1983). A desfolha reduz a concentração de carboidratos não estruturais no colmo, pela diminuição da atividade fotossintética e pela maior remobilização de açúcares do colmo para a espiga (ALLISON e WATSON, 1966; BARNETT e PEARCE, 1983). Jones e Simons (1983) relatam que o conteúdo de carboidratos solúveis no entrenó acima da espiga de plantas desfolhadas, declinou depois da remoção das folhas, provavelmente em conjunto com a remobilização de reservas do colmo. Isto pode favorecer o acamamento e a quebra de colmos ao final do ciclo da cultura.

Além do efeito sobre o suprimento e a mobilização de fotossintatos, a desfolha pode afetar a maturação do milho. Hicks (1977) relatou que a desfolha antes do pendoamento resultou em aumento na umidade da espiga na colheita e atrasou a maturação, enquanto

desfolhas depois do pendoamento anteciparam a maturação fisiológica das plantas. Desfolhas precoces em V5 atrasam o espigamento e a polinização (DUNGAN e GAUSMAN, 1951; CLONINGER et al., 1974; SINGH e NAIR, 1975; JOHNSON, 1978), encurtam o período de liberação de pólen (VASILAS e SEIF, 1985) e reduzem a quantidade total de pólen produzido (DUNGAN e GAUSMAN, 1951). Johnson (1978) não encontrou efeito da desfolha sobre o intervalo entre antese e espigamento.

A desfolha também pode alterar a qualidade do produto. Hicks e Peterson (1976) verificaram que a desfolha do milho, em condições de alto suprimento de N, propiciou maior acúmulo de nitrato no tecido. O nitrato é tóxico para animais ruminantes. Por isto, a desfolha também pode alterar a qualidade da silagem. Baldrige (1976) avaliou vários níveis de desfolha em diferentes estádios de crescimento e relatou que a silagem resultante do tratamento com 100% de desfolha, realizado no pendoamento, teve menores níveis de carboidratos e gorduras e maiores níveis de fibras. Mangen et al. (2005) relataram que a desfolha pode afetar os teores de proteína e amido nos grãos, sugerindo que a qualidade da silagem pode ser alterada. As maiores variações na qualidade da silagem são observadas quando a desfolha ocorre durante o período de enchimento de grãos (ROTH e LAUER, 2008).

Diante de efeitos tão prejudiciais oriundos da desfolha, é notória a importância de se buscar formas que minimizem este tipo de estresse, visando menores perdas na produtividade e na qualidade do milho. A atenuação de estresses pode ser obtida pela regulação nutricional adequada da planta. Nesse sentido, o N aplicado em cobertura pode ser uma estratégia importante. O N é o nutriente exigido em maiores quantidades e o que traz respostas rápidas e maiores incrementos no rendimento final da lavoura. O N pode promover incrementos na taxa fotossintética das plantas e atuar diretamente na regeneração da área foliar do milho.

Plantas cultivadas com quantidades inadequadas de N podem ter reduções significativas na taxa assimilatória líquida de CO<sub>2</sub> (EVANS, 1989). Existe alta correlação positiva entre taxa fotossintética e concentração de N no tecido, independentemente da relação ser expressa com base na área ou na matéria seca (EVANS, 1989). A deficiência de N diminui a taxa fotossintética por reduzir a concentração de pigmentos, especialmente clorofilas (CIOMPI et al., 1996; CRUZ et al., 2007), a atividade de algumas enzimas do ciclo redutivo do carbono, como rubisco e fosfoenolpiruvato carboxilase, (SUGIHARTO et al., 1990; CORREIA et al., 2005) e do nitrogênio (DELÚ-FILHO, 1994), a quantidade de tecido paliádico (KOZLOWSKI e PALLARDY, 1997) e a condutância estomática ao vapor d'água (GUIDI et al., 1998). Vargas et al. (2009) verificaram alta correlação linear e direta entre os teores de N e a concentração de clorofilas e a leitura com clorofilômetro em ensaio com doses

crescentes de N. Assim, com o aumento da disponibilidade de N há maior assimilação de carbono.

O nitrogênio pode atuar diretamente na regeneração foliar, por ser constituinte de proteínas, aminoácidos, enzimas e ácidos nucleicos importantes no processo de divisão celular. Por ser um elemento essencial, seu balanço afeta a taxa de crescimento entre folhas e raízes, sendo o crescimento foliar primeiramente afetado (TAIZ e ZEIGER, 2009). O incremento da dose de N aplicada em cobertura proporcionou um aumento linear no índice de área foliar (IAF) do milho, variando de 2,5 a 3,4 (VELOSO et al., 2009). Gomes et al. (2007) verificaram que as plantas de milho apresentaram maior crescimento vegetativo em resposta à aplicação de N.

Diante do exposto, espera-se que a reaplicação do N em cobertura no milho submetido à desfolha permita a mitigação desse estresse às plantas, proporcionando maior eficiência fotossintética e incrementando a área foliar por planta. Esta pode ser uma estratégia para minimizar os prejuízos ocasionados pela restrição de fonte e diminuir o efeito nocivo da desfolha sobre o rendimento de grãos. Considerando esta hipótese, o objetivo do trabalho foi quantificar as perdas no rendimento de grãos ocasionadas pela desfolha total em três estádios fenológicos do milho e determinar se a aplicação de doses crescentes de N após a desfolha é capaz de minimizar os prejuízos sobre a fonte produtora de fotoassimilados e ao rendimento de grãos.

### 3.3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido a campo, durante o ano agrícola de 2008/09, no distrito de Santa Terezinha do Salto, localizado a 20 km da cidade de Lages, no Planalto Sul de Santa Catarina. As coordenadas geográficas da área experimental são 27°50'35" de latitude Sul e 50°29'45" de longitude Oeste e altitude de 849 metros. De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cfb, mesotérmico, com verões brandos, temperaturas médias do mês mais quente inferiores a 22°C e precipitações pluviais bem distribuídas.

O solo da área experimental é classificado como NITOSSOLO VERMELHO Distrófico típico (EMBRAPA, 2006). Segundo análise da fertilidade do solo realizada em setembro de 2008, ele apresentava 420 g kg<sup>-1</sup> de argila; 51,0 g kg<sup>-1</sup> de matéria orgânica; pH H<sub>2</sub>O 5,5; índice SMP 5,7; 5 mg dm<sup>-3</sup> de P; 0,50 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> de K; 5,9 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> de Ca; 2,8 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> de Mg; 0,3 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> de Al e 15,3 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> de CTC. A área experimental vem



sendo utilizada a dez anos no sistema de semeadura direta e durante a entressafra faz-se o cultivo de espécies de cobertura, consorciando aveia e ervilhaca. Utilizando-se de um teor de N na matéria orgânica igual a 5% e uma taxa de mineralização de  $2,5\% \text{ ano}^{-1}$ , obtém-se que a matéria orgânica é capaz de contribuir  $127 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de N. Admitindo-se que exista pouca variação entre a mineralização durante os meses do ano, a contribuição ao milho, nos quatro meses que a cultura fica no campo será superior à  $30 \text{ kg ha}^{-1}$ .

Em meados de maio de 2008 procedeu-se a semeadura de aveia preta (*Avena strigosa*), utilizando-se  $170 \text{ kg ha}^{-1}$  de sementes para cobertura verde. A cobertura resultou em  $5.600 \text{ kg ha}^{-1}$  de massa seca por ocasião da dessecação realizada ao final do mês de setembro, 30 dias antes da semeadura.

Foram testadas quatro doses de adubação nitrogenada aplicada em cobertura, equivalentes a 0, 50, 100 e  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de N. As doses de N foram aplicadas quando as plantas de milho tinham oito folhas totalmente expandidas, 15 folhas totalmente expandidas e no pendoamento, equivalentes aos estádios V8, V15 e VT, respectivamente, segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993). As aplicações foram realizadas imediatamente após a remoção de todas as folhas totalmente expandidas para cada estágio. A desfolha foi feita manualmente retirando-se todas as folhas verdes totalmente expandidas, com colar visível, em cada estágio fenológico. Um tratamento sem desfolha também foi conduzido, sendo que as doses de N do mesmo foram aplicadas no estágio V8, que se encontra dentro do período de recomendação do nutriente.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, dispostos em parcelas subdivididas, com quatro repetições. As três épocas de desfolha e o tratamento sem desfolha foram avaliados nas parcelas principais. As quatro doses de N reaplicadas em cobertura foram testadas nas subparcelas. Cada subparcela foi constituída por quatro linhas de seis metros de comprimento, espaçadas entre si por 0,7 m, tendo como área útil, as duas linhas centrais, perfazendo  $8,4 \text{ m}^2$ .

O genótipo utilizado foi o híbrido simples AS 1570, da empresa Agroeste Sementes. As principais características deste material são o ciclo precoce, médio potencial produtivo, estabilidade de produção e alto rendimento biológico (AGROESTE, 2009).

A semeadura do milho foi realizada no dia 8 de novembro de 2008, no sistema de semeadura direta, sobre restos culturais de aveia preta. A operação foi realizada utilizando-se semeadoras manuais, reguladas para distribuir três a quatro sementes por cova igualmente espaçadas. Utilizou-se excesso de sementes para obter população de  $55.000 \text{ plantas ha}^{-1}$ . No momento da semeadura, o arranjo entre as plantas foi obtido utilizando-se barbantes marcados

com as distâncias corretas entre as plantas. A distância utilizada entre as covas foi de 26 cm. Previamente à semeadura, as sementes foram tratadas com inseticida à base de imidacloprid+tiodicarbe ( $45 + 186$  g de i.a.  $\text{ha}^{-1}$ ), para controle de pragas de solo na emergência do milho. As plantas emergiram no dia 16 de novembro, oito dias após a semeadura. Quando as plantas estavam no estágio V3, procedeu-se o desbaste do excesso de plantas, deixando-se apenas uma planta por cova, para alcançar a população almejada.

A adubação na semeadura foi realizada com nitrogênio, fósforo e potássio. As doses utilizadas foram baseadas na análise do solo da área experimental e nas recomendações para a cultura do milho, de acordo com as especificações feitas pelo Manual de Adubação e Calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS-RS/SC, 2004). A expectativa de rendimento de grãos do ensaio foi de  $12 \text{ t ha}^{-1}$ . Superfosfato triplo (46% de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) e cloreto de potássio (60% de  $\text{K}_2\text{O}$ ) foram as fontes de P e K. Utilizou-se para estes nutrientes doses de  $245 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $110 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ . Para o N foi utilizado como fertilizante a uréia (45% de N) na dose de  $30 \text{ kg ha}^{-1}$  de N. Os fertilizantes foram distribuídos superficialmente próximos às linhas de semeadura, simultaneamente a esta operação. Quando as plantas estavam no estágio V5, realizou-se uma adubação nitrogenada em cobertura utilizando-se uréia na dose equivalente a  $50 \text{ kg ha}^{-1}$  de N para todos os tratamentos. A reaplicação da cobertura nitrogenada ocorreu de acordo com as épocas e doses determinadas pelos tratamentos do ensaio. Tanto na primeira cobertura quanto na reaplicação, o fertilizante foi distribuído superficialmente a 20 cm das linhas do milho. O suprimento de N foi superior à  $30 \text{ kg ha}^{-1}$  oriundo da mineralização da MO,  $30 \text{ kg ha}^{-1}$  na semeadura,  $50 \text{ kg ha}^{-1}$  na cobertura entre V4-V5, totalizando  $110 \text{ kg ha}^{-1}$ . Além disso, foram feitas as reaplicações das quatro doses de N nos estádios fixados pelos tratamentos.

O controle de plantas daninhas foi efetuado com duas aplicações de herbicida. A primeira foi feita em pré-emergência, no dia da semeadura, com uma mistura de atrazina e smetolaclo (1.480 + 1.160 g de i.a.  $\text{ha}^{-1}$ ). A segunda aplicação foi realizada em pós-emergência quando as plantas estavam no estágio V4, utilizando o produto tembotrione (100 g de i.a.  $\text{ha}^{-1}$ ). O controle de plantas daninhas que surgiram posteriormente, foi feito com capinas manuais nas entrelinhas do milho.

O controle de *Spodoptera frugiperda* foi feito com duas aplicações em pós-emergência de inseticidas. O critério adotado foi a observação dos primeiros sintomas de raspagens de folhas e deposição de excrementos. A primeira aplicação foi feita com triflumuron (24 g de i.a.  $\text{ha}^{-1}$ ) e a segunda com lufenuron (15 g de i.a.  $\text{ha}^{-1}$ ).

A percentagem de desfolha das plantas de milho foi estimada pela mensuração da área foliar por planta de todas as folhas fotossinteticamente ativas remanescentes no florescimento das unidades experimentais em que houve remoção das folhas, em relação ao tratamento sem desfolha. As comparações foram feitas para cada dose de N reaplicada. Para esta avaliação foram utilizadas cinco plantas por unidade experimental. As plantas utilizadas foram selecionadas no estágio V4 procurando-se manter homogeneidade morfológica e fenológica. As plantas foram identificadas com tinta preta lavável, marcando-se as extremidades da quarta, oitava, décima segunda e décima sexta folhas de cada planta, as quais serviram como referenciais na contagem de folhas e na determinação dos estádios fenológicos. A área foliar foi obtida de acordo com a metodologia proposta por Tollenaar (1992). Mediu-se com uma trena o comprimento (C) e a maior largura (L) de todas as folhas fotossinteticamente ativas, com pelo menos 50% de área foliar verde, de acordo com critério proposto por Borrás et al. (2003). A área foliar (A), expressa em cm<sup>2</sup>, foi estimada utilizando-se a expressão:  $A = C \times L \times 0,75$ , onde o valor 0,75 é um coeficiente de correção utilizado por que as folhas não apresentam área retangular. O somatório das áreas de todas as folhas determinou a área foliar por planta. Este procedimento também foi adotado para as folhas removidas nos três estádios de desenvolvimento.

Para avaliação da área foliar no florescimento foram utilizadas as mesmas plantas. A metodologia para avaliação foi a mesma, medindo-se comprimento e maior largura de todas as folhas remanescentes à desfolha. A área remanescente no florescimento por planta foi expressa em cm<sup>2</sup>.

A fenologia do milho foi avaliada determinando-se a duração dos subperíodos emergência-antese, emergência-espigamento, antese-espigamento e espigamento-maturação fisiológica. A duração do subperíodo emergência-antese foi determinada pelo número de dias existentes entre a emissão do coleóptilo e a exteriorização do pendão floral acima da folha bandeira com deiscência de pólen em pelo menos 50% das plantas. O subperíodo emergência-espigamento foi obtido computando-se o número de dias entre o aparecimento do coleóptilo e a visualização de estigmas com mais de um cm acima da pálea em mais de 80% das plantas. O número de dias compreendidos entre estes dois subperíodos equivaleu ao subperíodo antese- espigamento. A duração do subperíodo espigamento-maturação fisiológica foi obtida quantificando-se o número de dias existentes entre a visualização dos estigmas e o aparecimento da camada preta no ponto de inserção dos grãos com o sabugo em, pelo menos, 80% das plantas amostradas.

A estatura de plantas e a altura de inserção da espiga superior foram determinadas quando as plantas estavam entre R2 e R3. Para determinação destas variáveis foram utilizadas seis plantas com homogeneidade morfológica e fenológica na área útil. A estatura de planta correspondeu à medida da distância do colo da planta à extremidade do pendão. A altura de inserção de espiga correspondeu à distância entre o colo da planta e o nó em que estava inserida a espiga superior.

Antes da colheita determinaram-se as percentagens de plantas acamadas, quebradas, sem espigas e o número de espigas produtivas por planta (índice de espiga). A percentagem de acamamento foi calculada dividindo-se o número de plantas acamadas pelo número total de plantas da área útil multiplicado por cem. Consideraram-se acamadas as plantas cujo colmo formava um ângulo com a superfície do solo inferior a 45°. Consideraram-se quebradas as plantas que apresentavam ruptura do colmo abaixo da espiga. Para avaliação da esterilidade feminina, consideraram-se como espigas produtivas aquelas que tinham mais de 10 grãos formados. O índice de espigas foi obtido dividindo-se o número de espigas colhidas pelo número de plantas existentes na área útil das unidades experimentais.

Quando todas as folhas das plantas estavam senescidas e a umidade dos grãos encontrava-se na faixa entre 18 e 22%, procedeu-se a colheita manual das espigas. Esta operação foi realizada na primeira semana de maio. Para avaliação do rendimento de grãos e seus componentes (número de grãos espiga-1, número de grãos m-2 e massa de mil grãos) foram consideradas todas as plantas da área útil. As espigas foram colhidas e trilhadas em uma trilhadora estacionária. Os grãos foram acondicionados em estufa, sob ventilação e temperatura de aproximadamente 65°C, até atingirem massa constante. Os pesos obtidos da massa seca de grãos colhidos na área útil das subparcelas foram convertidos para um hectare, na umidade padrão de 130 g kg<sup>-1</sup>, determinando-se assim o rendimento de grãos. Uma subamostra de 400 grãos inteiros por tratamento foi separada e pesada. Esta subamostra foi submetida à secagem em estufa regulada para 105°C por 72 horas. Depois de ser determinada a massa seca, esta foi então multiplicada pelo fator 2,5, convertida para 130 g kg<sup>-1</sup>, e utilizada para expressar o peso de mil grãos. O número de grãos por espiga foi obtido através de relações entre o peso de mil grãos, peso total de grãos e o número de espigas colhidas na área útil de cada unidade experimental. O número de grãos produzidos por área (m<sup>2</sup>) foi obtido através das relações entre o número de espigas por área, número de grãos nas espigas e densidade de plantas do ensaio.

A eficiência agronômica do N (EAN) foi definida como a relação entre as diferenças no rendimento de grãos entre as subparcelas que receberam a reaplicação de N e aquelas que não as receberam, dividida pela dose de N reaplicada (HAVLIN et al., 2005). A diferença entre o rendimento de grãos nas unidades experimentais em que foi reaplicado N e naquelas que não houve reaplicação foi obtida dentro de cada estágio que foi procedida a desfolha.

O teor de N nos grãos foi determinado utilizando-se uma amostra representativa de 200 gramas de grãos da área útil. Os grãos foram moídos em moinho do tipo centrífugo. Para determinação do N total utilizou-se digestão sulfúrica e destilação para arraste de  $\text{NH}_3$ , conforme descrito em Tedesco et al. (1995). Para determinação do N recuperado, multiplicou-se o teor de N pela produtividade média obtida em cada tratamento. A eficiência de recuperação nos grãos foi determinada percentualmente pela relação entre a diferença do N recuperado nas subparcelas que receberam reaplicação de N e naquelas que não o receberam e a dose de N reaplicada.

Os dados obtidos foram analisados estatisticamente pela análise de variância. A magnitude dos efeitos dos tratamentos frente ao erro experimental foi testada utilizando-se o teste F. Os valores de F para efeitos simples e interações foram considerados significativos ao nível de significância de 5% ( $P < 0,05$ ). Quando a significância foi observada, as médias dos fatores qualitativos foram comparadas entre si pelo teste de Tukey, ao nível de significância de 5% ( $P < 0,05$ ). No caso da detecção de significância para o fator quantitativo, efetuou-se a análise de regressão polinomial. Selecionou-se o modelo que apresentou o maior coeficiente de determinação e que melhor explicou biologicamente as informações obtidas no ensaio.

### 3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.4.1 Área foliar, número de folhas verdes e senescência foliar no florescimento

A área foliar remanescente no florescimento foi afetada pela interação entre o estágio do milho em que ocorreu a desfolha e a dose de N reaplicada em cobertura. Na Tabela 6 podem ser visualizados os efeitos dos estágios de desfolha sobre a variável avaliada. A desfolha realizada em V8 não reduziu a área foliar em relação às subparcelas não desfolhadas, independentemente da dose de N aplicada. A área foliar removida pela desfolha em V8 foi de, aproximadamente, 675  $\text{cm}^2$  por planta. Na média do tratamento não desfolhado, das subparcelas desfolhadas em V8 e das quatro doses de N, a área foliar do milho no

florescimento foi de  $8.940 \text{ cm}^2 \text{ planta}^{-1}$ , equivalente a um IAF superior a 4,9. Fancelli e Dourado Netto (2000) citam que o rendimento de grãos e o número de grãos do milho aumentam proporcionalmente aos incrementos do IAF até valores variando entre 3 a 5, conforme resultados obtidos no cinturão do milho americano. O IAF que possibilita alcançar as taxas de crescimento máximas, se denomina IAF crítico. Para as condições do sudeste bonaerense, Argentina, os materiais habitualmente cultivados na região têm um IAF crítico entre 4 e 5 (Andrade et al., 1996). Os valores de área foliar e IAF obtidos na floração nas subparcelas não desfolhadas ou desfolhadas em V8 estão dentro da faixa ótima para rendimentos elevados relatada pelos autores citados.

Tabela 6 - Área foliar remanescente e percentagem de área foliar remanescente no florescimento do milho em relação às subparcelas sem desfolha, em função da época de desfolha e da reaplicação de doses de N. Lages, SC, 2008/09.

Dose de N (kg ha <sup>-1</sup> )	Estádios de desfolha <sup>2/</sup>			
	Sem desfolha	V8	V15	VT
Área foliar no florescimento (cm <sup>2</sup> planta <sup>-1</sup> ) <sup>3/</sup>				
0	7.369 a <sup>1/</sup>	8.309 a	5.060 b	0,0 c
50	8.626 a	9.337 a	5.919 b	0,0 c
100	9.431 a	9.696 a	5.173 b	0,0 c
200	9.520 a	9.236 a	5.128 b	0,0 c
Área foliar planta <sup>-1</sup> (%) <sup>4/</sup>				
0	100,0 a <sup>1/</sup>	112,6 a	68,8 b	0,0 c
50	100,0 a	108,8 a	69,0 b	0,0 c
100	100,0 a	103,8 a	55,1 b	0,0 c
200	100,0 a	98,7 a	54,3 b	0,0 c

<sup>1/</sup>Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

<sup>2/</sup>V8 – oito folhas expandidas; V15 – quinze folhas expandidas; VT – pendoamento, segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993).

<sup>3/</sup>CV = 10,7%.

<sup>4/</sup>CV = 10,9%.

A ausência de diferença entre a área foliar nas subparcelas desfolhadas em V8 e naquelas não desfolhadas deveu-se à senescência natural que ocorre nas folhas inferiores do milho com o avanço do desenvolvimento, além da boa capacidade de produção de folhas do híbrido utilizado (24 folhas). Observou-se que, no florescimento do milho as subparcelas que não foram desfolhadas tinham um número similar de folhas verdes ao das subparcelas desfolhadas em V8. Isto indica que as oito primeiras folhas da planta senesceram naturalmente até o florescimento das subparcelas não desfolhadas.

Depois de um período produtivo fotossinteticamente, a contribuição de fotossintatos das folhas à planta diminui e a folha entra no estágio final de desenvolvimento. A senescência

é um processo degenerativo que ocorre ao final do desenvolvimento de qualquer órgão vegetal, incluindo folhas, caules, flores e frutos (DANGL et al., 2000). A senescência das folhas de milho inicia antes da cultura atingir a sua máxima área foliar, próxima ao florescimento, progredindo a taxas crescentes durante a fase reprodutiva (SADRAS et al., 2000; LAFARGE e HAMMER, 2002).

A remoção das folhas expandidas quando o milho estava em V15 reduziu a área foliar no florescimento em 38%, na média de quatro doses de N, em relação ao tratamento sem desfolha. No momento da desfolha foi removida uma área foliar de 5.180 cm<sup>2</sup> planta<sup>-1</sup>, excluindo-se as folhas naturalmente já senescidas. A área foliar remanescente equivaliu a 5.320 cm<sup>2</sup> planta<sup>-1</sup>. A desfolha em VT eliminou todas as folhas verdes do milho, sendo removida uma área foliar de 9.686 cm<sup>2</sup> planta<sup>-1</sup>, sem incluir aquelas folhas que já haviam senescido naturalmente. Nessa fase, o milho é muito suscetível à perda completa de área foliar (RITCHIE et al., 1997). Isto se deve ao seu hábito de crescimento determinado. Depois de emitidos os pendões, as plantas completam seu crescimento vegetativo e não diferenciam e expandem novas folhas. Desta forma, a perda de área foliar antes do enchimento de grãos reduz a quantidade de radiação solar interceptada e assimilada em fotossintatos, necessários ao enchimento de grãos.

Analisando-se a percentagem de área foliar remanescente no florescimento das subparcelas desfolhadas em relação às não desfolhadas, verificou-se que apenas as desfolhas em V15 e VT reduziram significativamente a área foliar. Observou-se que com a remoção das folhas em V8, a área foliar do milho no florescimento foi estatisticamente semelhante à das subparcelas sem desfolha, em todas as doses de N aplicadas.

O número de folhas verdes no espigamento oscilou entre 12 e 14 para os tratamentos sem desfolha e remoção das folhas em V8, dependendo da dose de N reaplicada em cobertura. O número de folhas verdes nos tratamentos sem desfolha e desfolha em V8 foi influenciado de forma quadrática pela quantidade de N reaplicada em cobertura. As doses que maximizam esta variável foram de 188 e 150 kg de N ha<sup>-1</sup>, respectivamente, para os tratamentos sem desfolha e para desfolha em V8. O incremento do número de folhas verdes em função da dose deveu-se à redução do número de folhas senescidas. Quando o milho foi desfolhado em V15 e VT não houve alteração dos números de folhas verdes e senescidas em função da dose de N reaplicada em cobertura. A senescência natural foi significativa nas folhas abaixo da 12<sup>a</sup> folha em relação à folha bandeira, uma vez que o número máximo de folhas senescidas observadas nas subparcelas sem desfolha foi de 12 folhas quando não se reaplicou N.

Tabela 7 - Número de folhas verdes e senescidas no milho, em função do estágio de desfolha e da reaplicação de doses de nitrogênio. Lages, SC, 2008/09.

Dose de N (kg ha <sup>-1</sup> )	Estádios de desfolha <sup>2/</sup>			
	Sem desfolha	V8	V15	VT
Folhas verdes (n°) <sup>3/</sup>				
0	12 a <sup>1/</sup>	12 a	9 b	0 c
50	13 a	13 a	9 b	0 c
100	14 a	14 a	9 b	0 c
200	14 a	13 a	9 b	0 c
Folhas senescidas(n°) <sup>4/</sup>				
0	12 c	12 c	15 b	24 a
50	11 c	11 c	15 b	24 a
100	10 c	10 c	15 b	24 a
200	11 c	10 d	15 b	24 a

<sup>1/</sup> Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

<sup>2/</sup> V8 – oito folhas expandidas; V15 – quinze folhas expandidas; VT – pendoamento, segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993).

<sup>3/</sup> CV = 6,5%

<sup>4/</sup> CV = 3,4%.

A área foliar remanescente foi influenciada pela dose de N reaplicada quando a desfolha foi realizada em V8 e quando as folhas não foram removidas (Figura 10). Observou-se um comportamento quadrático em função da dose. As doses que maximizam a área foliar foram de 119 e 152 kg de N ha<sup>-1</sup>, em adição aos 80 kg ha<sup>-1</sup> de N proveniente do uso de uréia e aos kg do suprimento natural por conta da mineralização da matéria orgânica do solo, para a desfolha em V8 e sem a desfolha, respectivamente. Na mesma ordem, estas doses equivaleram às áreas foliares de 9.736 e 9.945 cm<sup>2</sup>. O incremento da dose de N diminui o número de folhas senescidas, permitindo que as mesmas se mantenham fotossinteticamente ativas por maior período de tempo. A nutrição adequada, especialmente a nitrogenada, propicia às plantas melhores condições de crescimento e desenvolvimento de tecido foliar, bem como reduz os efeitos da deficiência deste nutriente sobre a senescência foliar. A ausência de adubação nitrogenada acelera a senescência foliar após as plantas terem atingido seu máximo índice de área foliar (WOLSCHICK et al., 2003). Rajcan e Tollenaar (1999b) encontraram que a longevidade foliar foi incrementada pelo aumento no suprimento de N no solo, sendo o efeito maior nos tratamentos que tinham alta relação fonte-dreno. Horn (2004), avaliando diferentes níveis de manejo empregados na cultura do milho, constatou que o alto manejo, com doses altas de N e irrigação suplementar, propiciou as maiores áreas foliares.



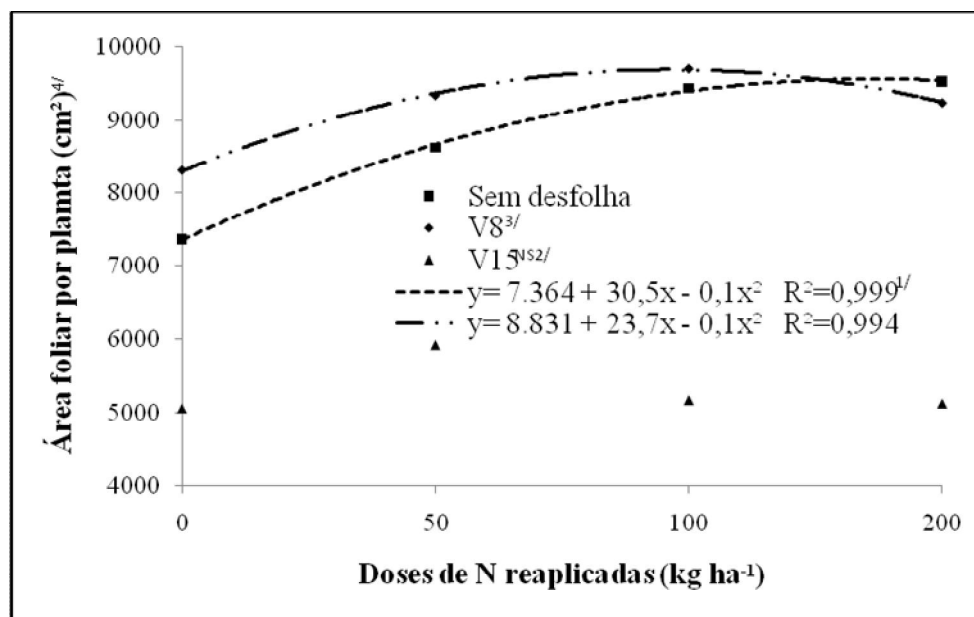


Figura 10 - Área foliar por planta remanescente no florescimento do milho, em função da época de desfolha e da dose de nitrogênio (N) reaplicada em cobertura. Lages, SC, 2008/09.

<sup>1/</sup>Equações significativas ( $P < 0,05$ ).

<sup>2/</sup>Não significativo ( $P < 0,05$ ).

<sup>3/</sup>V8 – oito folhas expandidas; V15 – quinze folhas expandidas, segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993). No tratamento desfolha em VT (pendoamento) a área foliar foi igual a zero para todas as doses de N reaplicadas. No tratamento sem desfolhas, as folhas não foram removidas.

<sup>4/</sup>CV= 10,7%.

Quando a desfolha foi realizada em V15, não se verificou efeito do N reaplicado sobre a área foliar remanescente. Entretanto, utilizando-se da proporção obtida entre a área foliar verde no florescimento desse tratamento e daquele sem desfolha, observou-se decréscimo linear em função da dose de N utilizada (Figura 11). Essa resposta também foi observada quando o milho foi desfolhado em V8. Isto ocorreu porque essa proporção é obtida em relação à área foliar das subparcelas não desfolhadas, que aumentou com o incremento da dose de N, enquanto a dose de N não afetou a área foliar e nem tampouco a senescência em V15. Em V8, a aplicação de N, assim como no tratamento sem desfolha, reduziu a senescência e aumentou a área foliar verde no florescimento. Contudo, houve decréscimo da razão entre as áreas foliares, pois o incremento de área verde foi maior no tratamento sem desfolha.

A reaplicação de doses crescentes de N não afetou a área foliar remanescente no florescimento, uma vez que, na média das quatro doses de N, a mesma foi igual a zero.

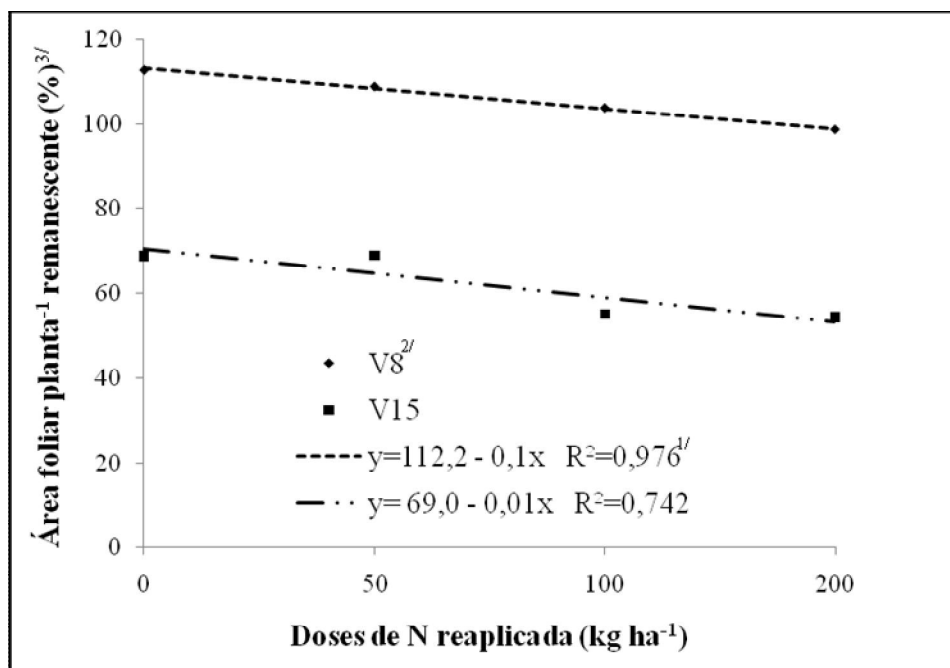


Figura 11 - Percentagem de área foliar remanescente em relação às subparcelas não desfolhadas, em função dose de nitrogênio e da época de desfolha, em milho. Lages, SC, 2008/09.

<sup>1</sup>/Equações significativas ( $P < 0,05$ ).

<sup>2</sup>/V8 – oito folhas expandidas; V15 – quinze folhas expandidas, segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993).

<sup>3</sup>/CV= 10,9%.

### 3.4.2 Fenologia da cultura

A época de desfolha não influenciou a duração do subperíodo emergência-pendoamento. Contudo, a desfolha em VT atrasou o espigamento do milho, aumentando o intervalo entre a antese (pendoamento com deiscência de pólen) e a exteriorização dos estigmas (Tabela 8). Este atraso comprometeu a polinização e a fertilização de óvulos, pois o período de liberação de pólen pelo pendão é curto e o pólen permanece viável por pequeno espaço de tempo. A maturidade das flores femininas é altamente dependente das condições ambientais. Sob condições prejudiciais ao desenvolvimento normal das plantas, o desenvolvimento das flores femininas é retardado, em relação ao das flores masculinas, resultando num incremento no intervalo entre pendoamento e espigamento (BORRÁS et al., 2007). A emissão da espiga e o intervalo entre antese e espigamento dos tratamentos sem desfolha, desfolha em V8 e desfolha em V15 não foram afetados. Johnson (1978) relatou que desfolhas precoces em V5 atrasaram o pendoamento e o espigamento, porém não afetaram o intervalo entre a antese e o espigamento. Provavelmente esta resposta está associada ao tipo

de híbrido utilizado. O híbrido utilizado no ensaio tem estatura superior a 2,80 metros e área foliar exuberante pelo grande número de folhas. Mesmo na desfolha em V15, as folhas índice e abaixo da espiga permaneceram, contribuindo ao suprimento de fotoassimilados às estruturas reprodutivas. A deficiência de fotoassimilados inibe a diferenciação da espiga e acentua a dominância apical.

A duração do período de enchimento de grãos foi, aproximadamente, a metade da registrada nos tratamentos sem desfolha, desfolha em V8 e desfolha em V15, quando a desfolha ocorreu no pendoamento (Tabela 8). A menor duração do subperíodo de enchimento de grãos quando a desfolha ocorreu em VT reduziu a duração total do ciclo. A curta duração do período efetivo de enchimento pode limitar a taxa de crescimento e a massa dos grãos produzidos. A desfolha pode afetar a maturação da cultura do milho. Hicks (1977) reportou que a desfolha antes do pendoamento aumentou a umidade da espiga na colheita e atrasou a maturidade, enquanto desfolhas depois do pendoamento anteciparam a maturação da espiga.

Tabela 8 - Duração dos subperíodos fenológicos do milho em função da época de desfolha, na média de quatro doses de nitrogênio reaplicadas na cobertura. Lages, SC, 2008/09.

Subperíodo	Estádios de desfolha <sup>3/</sup>				CV (%)
	Sem desfolha	V8	V15	VT	
	Duração (dias)				
Emergência- pendoamento <sup>4/</sup>	77 <sup> NS1/</sup>	77	78	79	2,6
Emergência-espigamento	83 b	82 b	82 b	91 a <sup>2/</sup>	4,5
Pendoamento- espigamento	6 b	5 b	4 b	12 a	65,3
Espigamento-mat. fisiológica	71 a	71 a	71 a	38 b	6,4
Ciclo total	154 a	154 a	154 a	129 b	1,6

<sup>1/NS</sup> Diferenças não significativas.

<sup>2/</sup> Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

<sup>3/</sup> V8 – oito folhas expandidas; V15 – quinze folhas expandidas; VT – pendoamento, segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993).

<sup>4/</sup> Emergência= 16/11/08; Pendoamento= 50% das plantas com deiscência de pólen; espigamento= 80% das plantas com estigmas visíveis e maiores de 1 cm; Maturação fisiológica= 80% das plantas com a camada preta dos grãos visível.

### 3.4.3 Rendimento de grãos, componentes do rendimento e eficiência agronômica do nitrogênio

O rendimento de grãos de milho foi alterado pela interação entre época de realização da desfolha e dose de nitrogênio reaplicada em cobertura (Tabela 9). O efeito da desfolha

sobre o rendimento de grãos depende da quantidade de folhas removidas e do estágio de desenvolvimento da planta onde ocorreu a desfolha.

Não foram detectadas diferenças entre o rendimento de grãos das unidades experimentais não desfolhadas e daquelas em que as oito primeiras folhas expandidas do milho foram removidas, independentemente da dose de N utilizada. Na média destes dois tratamentos, a produtividade foi de 9.722 kg ha<sup>-1</sup>. Isto indica que a boa capacidade de produção de folhas do híbrido permitiu a regeneração da área foliar quando o estresse ocorreu em V8. Aliado a isso, as subparcelas não desfolhadas apresentaram alta senescência natural das folhas verdes, o que levou os dois tratamentos a terem área foliar e longevidade foliar similares (Tabelas 6 e 7), minimizando a restrição de fonte imposta em V8. A maioria dos trabalhos tem demonstrado pequena influência das primeiras folhas expandidas do milho sobre o rendimento de grãos, pois estas folhas contribuem pouco para a produtividade do de grãos (Lauer, 2009). Tsukahara e Kochinski (2008) não verificaram reduções significativas no rendimento de grãos quando as desfolhas ocorreram na fase inicial do desenvolvimento do milho, entre V2 e V6. A Associação Nacional de Seguros Agrícolas dos Estados Unidos (NCIA, 1984) estabelece uma perda no rendimento de 10% quando 100% da área foliar é perdida no estágio de sete folhas expandidas para pagamento de seguros. Entretanto, alguns estudos têm relatado reduções de até 26% (JOHNSON, 1978) a incrementos de 48% no rendimento de grãos (HICKS et al., 1977) para tratamentos com desfolha similar à realizada em V8. As respostas dependem do genótipo utilizado (HANWAY, 1969; SANGOI et al., 2001) e das condições ambientais ocorridas após a desfolha (LAUER et al., 2004; MANGEN et al., 2005). Vasilas e Seif (1985) verificaram que a resposta das linhagens à desfolha foi diferente da dos híbridos. Shapiro et al. (1986) reportaram que os efeitos da desfolha sobre o rendimento de grãos variaram com o ambiente. Isto provavelmente decorreu da tolerância a estresse do híbrido e do nível de estresse seguinte à desfolha. A similaridade de área foliar no florescimento atenuou perdas no rendimento de grãos quando a desfolha ocorreu em V8 para o híbrido AS 1570 (Tabela 9).

Quando o milho foi desfolhado em V15, observou-se decréscimo no rendimento de grãos em três das quatro doses de N reaplicadas. Em relação às produtividades obtidas nos tratamentos sem restrição de fonte (testemunha e desfolha em V8), verificou-se, na média das quatro doses de N, uma diminuição de 13,8%, apesar da redução na área foliar no florescimento para o tratamento desfolhado em V15 ter sido, na média das quatro doses de N, de 38,2%. Portanto, a redução de área foliar foi percentualmente maior do que a do rendimento de grãos. Isto provavelmente está relacionado ao colmo do milho atuar como

órgão modulador da restrição imposta às folhas quando elas sofrem algum tipo de prejuízo (ALLISON e WATSON, 1966; RAJCAN e TOLLENAAR, 1999a; SANGOI et al., 2001), promovendo a remobilização de carboidratos de reserva armazenados neste órgão durante o enchimento de grãos (UHART e ANDRADE, 1995).

Tabela 9 - Rendimento de grãos de milho em função do estágio de desfolha e da dose de nitrogênio (N) reaplicada em cobertura. Lages, SC, 2008/09.

Dose de N (kg ha <sup>-1</sup> )	Estádios de desfolha <sup>2/</sup>			
	Sem desfolha	V8	V15	VT
	Rendimento de grãos (kg ha <sup>-1</sup> ) <sup>3/</sup>			
0	8.891 ab <sup>1/</sup>	9.750 a	7.821 b	193 c
50	9.805 ab	10.546 a	9.019 b	230 c
100	9.704 a	9.859 a	9.219 a	240 c
200	9.470 a	9.753 a	8.097 b	300 c

<sup>1/</sup> Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

<sup>2/</sup> V8 – oito folhas expandidas; V15 – quinze folhas expandidas; VT – pendoamento. Segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993).

<sup>3/</sup> CV = 8,8%.

Comparando-se a perda no rendimento oriunda da desfolha em V15 neste trabalho com o reportado por outros autores, observa-se que os valores percentuais foram menores. Mangen et al. (2005) detectaram perdas no rendimento superiores a 44% ao procederem a desfolha do milho quando a planta estava com 13 folhas expandidas. A remoção de 50% das folhas nesta época reduziu as perdas para um valor inferior a 15%, o qual é utilizado como referência pela NCIA (1984) para pagamento de seguros aos agricultores na ocorrência de eventos que danifiquem a área foliar. A NCIA utiliza como estimativa quando 100% das folhas são removidas em V15, uma perda de 50% no rendimento. Vasilas e Seif (1985b) apresentaram que a desfolha completa entre V12 e V13 resultou em reduções no rendimento de, aproximadamente, 90% para linhagens endogâmicas e 40% para híbridos. Acredita-se que a área foliar por planta remanescente no florescimento, na média das quatro doses de N igual a 5.320 cm<sup>2</sup>, mitigou as perdas no rendimento de grãos. A remoção de 15 folhas, sendo que até 12 delas senesceriam naturalmente, contribui pouco para decréscimo no rendimento de grãos. O híbrido AS 1570 apresentou, na média das doses de N reaplicadas 9 folhas remanescentes, que permitiram bom aproveitamento da RFA. Alguns autores, também, relatam que desfolhas no período vegetativo, especialmente na fase inicial, podem reduzir as perdas no rendimento de grãos em anos de alta demanda evaporativa e baixa precipitação, pois a remoção de folhas diminui a superfície de transpiração (VASILAS e SEIF, 1985b; COOKSTON e HICKS et al., 1988), principalmente quando são esperados baixos rendimentos. O período de máxima área

foliar dos tratamentos coincidiu com diminuição na precipitação natural e a remoção de folhas pode ter diminuído a transpiração das plantas e atenuado as perdas.

As menores produtividades foram obtidas nas subparcelas onde o milho foi totalmente desfolhado no pendoamento. O rendimento de grãos neste tratamento foi de 241 kg ha<sup>-1</sup> de grãos, equivalente a 2,5 e 4,9% do rendimento obtido nas subparcelas sem restrição de fonte (tratamentos sem desfolha e desfolha e V8) e desfolha em V15, respectivamente. O milho é mais suscetível à perda de área foliar fotossinteticamente ativa entre os estádios do pendoamento e espigamento do que em qualquer outra fase do seu ciclo. Neste caso, a planta ficou desprovida de seu aparato fotossintético e não apresentou capacidade de regeneração, independente da dose de N reaplicada. Por apresentar hábito de crescimento determinado, o milho não expande novas folhas após a floração, comprometendo o enchimento de grãos, caso as folhas expostas sejam danificadas. Com a eliminação total da área foliar, a radiação fotossinteticamente ativa não será interceptada, prejudicando a fotossíntese. Isto demonstra a fragilidade desse cultivo ao ser atingido por estresses dessa natureza na floração. Além da deficiência de fonte, os estigmas com alto conteúdo de água ficam desprotegidos após a desfolha nesse estágio, ocorrendo intensa desidratação destas estruturas reprodutivas. A produtividade observada provavelmente deveu-se à remobilização de carboidratos do colmo para a espiga. Barnett e Pearce (1983) verificaram que a desfolha reduz a concentração de carboidratos não estruturais totais no colmo da maioria dos genótipos avaliados. Esta remobilização de açúcares promove redução da massa do colmo (ALLISON e WATSON, 1966; SANGOI et al., 2001).

O N não influenciou o rendimento de grãos quando a dose foi reaplicada após as desfolhas feitas em V8 e VT, bem como na testemunha não desfolhada. O suprimento natural do solo e os 80 kg ha<sup>-1</sup> de N adicionados como uréia foram suficientes para alcançar as maiores produtividades. A falta de resposta às desfolhas precoces, ou quando o milho não foi desfolhado, provavelmente foi ocasionada pelo alto suprimento de N do sistema. O alto suprimento de N do sistema deveu-se à contribuição de N proveniente da mineralização da matéria orgânica. O teor médio de matéria orgânica do solo onde foi conduzido este ensaio, num sistema plantio direto consolidado, é de 51,0 g kg<sup>-1</sup>. A contribuição da matéria orgânica pode ser estimada através da concentração de N na mesma e da taxa de mineralização da matéria orgânica. Utilizando-se uma concentração de 5% de N e uma taxa de mineralização de 2,5% ao ano (ERNANI, 2003), obtém-se que a contribuição da matéria orgânica ao suprimento de N foi superior a 125 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de N. No entanto, o milho fica apenas 4 meses do ano no campo e essa quantidade não é disponibilizada integralmente à cultura. Além

disso, foram supridos  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, sendo  $30 \text{ kg}$  por ocasião da semeadura e os demais  $50 \text{ kg}$  na cobertura entre V4-V5. Outro fator que provavelmente, influenciou foi o baixo potencial produtivo do híbrido AS 1570. As adubações na semeadura e de cobertura nas maiores doses foram planejadas para obtenção de tetos produtivos de  $12.000 \text{ kg ha}^{-1}$ . Contudo, as maiores produtividades registradas no ensaio foram de, aproximadamente,  $10.500 \text{ kg ha}^{-1}$ . Provavelmente, o AS 1570 necessita de menor quantidade de N para atingir as produtividades máximas, ao contrário de híbridos mais responsivos.

A dose de N aplicadas após a desfolha também não afetou o rendimento de grãos quando as desfolhas foram realizadas por ocasião do pendoamento, visto que nesta situação a maior limitação são as folhas. Como o hábito do milho é determinado, o uso do nutriente não permitiu a emissão de novas folhas. Além disso, não havendo folhas, não ocorreu incremento na atividade fotossintética das mesmas. Desta forma, na floração o nitrogênio não conseguiu auxiliar na recuperação do estresse ocasionado pela desfolha e o rendimento de grãos foi comprometido.

Por outro lado, o N interferiu na produtividade do milho quando as plantas foram desfolhadas em V15. Observou-se uma resposta quadrática do rendimento de grãos à dose de N reaplicada neste estágio (Figura 12). A dose que maximizou a resposta foi de  $106 \text{ kg}$  de N  $\text{ha}^{-1}$ , além dos  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  de N aplicados como uréia, sendo o rendimento máximo em V15 equivalente a  $9.326 \text{ kg ha}^{-1}$ . Não houve diferença significativa de rendimento entre as subparcelas desfolhadas em V15 e aquelas onde as folhas foram preservadas, quando se reaplicou a dose de  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de N. Nesse caso, o N auxiliou na recuperação do milho submetido ao estresse por desfolha. O N provavelmente aumentou a eficiência fotossintética das folhas que se expandiram após a desfolha, visto que a área foliar remanescente no florescimento, quando a remoção foi feita neste estágio, não foi afetada pela quantidade de N reaplicada (Figura 10). A taxa fotossintética é influenciada pelo estado nutricional do milho, sendo que maiores taxas fotossintéticas líquidas estão diretamente relacionadas à concentração de N no tecido foliar (AITA et al., 2001; CRUZ et al., 2007). O suprimento adequado de N aumenta a concentração de pigmentos fotossintéticos (CIOPI et al., 1996; CRUZ et al., 2007; VARGAS et al., 2009), a atividade de enzimas do ciclo reutivo do carbono (SUGIHARTO et al., 1990) e do nitrogênio (DELÚ-FILHO, 1994), a quantidade de tecido paliçádico (KOZLOWSKI e PALLARDY, 1997) e a condutância estomática ao vapor d'água (GUIDI et al., 1998).

Tsukahara e Kochinski (2008) detectaram que a reaplicação de N após uma desfolha de 25% durante vários estádios de desenvolvimento do milho proporcionou rendimentos

similares aos tratamentos sem reaplicação de N. Os mesmos autores verificaram um comportamento aleatório do efeito da reaplicação de N sobre o rendimento de grãos, dependendo de aspectos fisiológicos que envolviam cada combinação de época, percentagem de desfolha e reaplicação de N. Eles observaram que, em 57,1% dos casos, a reaplicação de N proporcionou incrementos na produtividade, em situações de redução de área foliar.

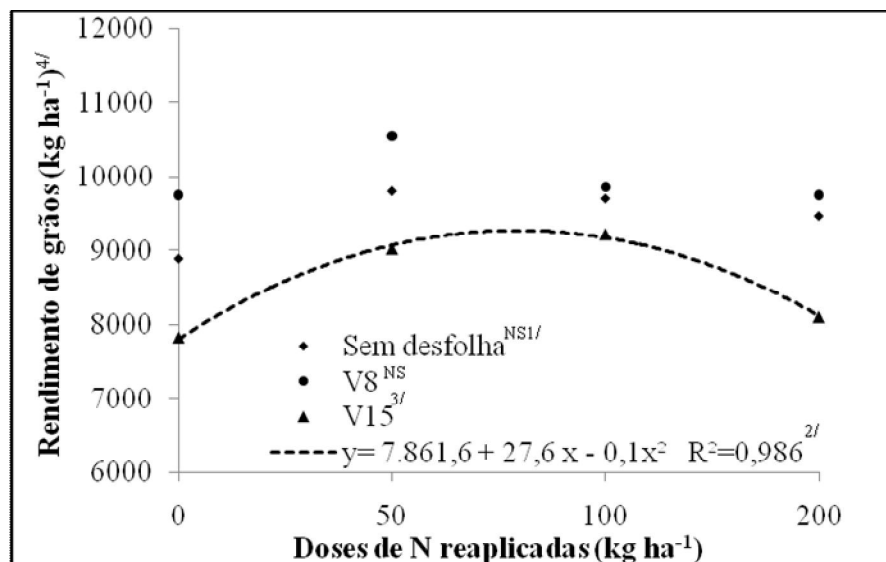


Figura 12 - Rendimento de grãos de milho em função da dose de nitrogênio reaplicada após a desfolha das plantas. Lages, SC, 2008/09.

<sup>1/NS</sup> Equações não significativas

<sup>2/</sup> Equação significativa ( $P < 0,05$ ).

<sup>3/</sup> V8 – oito folhas expandidas; V15 – quinze folhas expandidas, segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993).

<sup>4/</sup> CV = 8,8%.

A redução de 97,5% na produtividade ocasionada pela desfolha em VT, em relação aos tratamentos sem restrição de fonte significativa, deveu-se a maior esterilidade feminina, aos menores números de grãos espiga<sup>-1</sup> e massa de mil grãos (Tabela 10). Quando a desfolha ocorreu na floração, aproximadamente 70% das plantas não produziram espigas com mais de 10 grãos. Silva (2001) verificou que a desfolha total no florescimento do milho reduziu a massa seca da espiga e aumentou a esterilidade feminina. Hanway (1969) detectou que a esterilidade feminina foi um componente relevante da redução no rendimento de grãos quando a desfolha ocorreu em VT. A eliminação da produção de fotoassimilados inibe o desenvolvimento da inflorescência feminina. A desfolha em VT reduziu 79% do número de grãos espiga<sup>-1</sup> em relação aos demais tratamentos. O alto índice de abortamento de grãos está relacionado ao baixo suprimento de fotoassimilados e à exposição dos estigmas ao sol após a remoção das folhas. Estas estruturas são ricas em água e a sua exposição leva à desidratação e



ao abortamento. O menor número de grãos espiga<sup>-1</sup> e a maior esterilidade feminina contribuíram para o menor número de grãos m<sup>-2</sup> quando o milho foi desfolhado no pendoamento. Egharevba et al. (1976) também relataram que o número de grãos foi reduzido em 62%, quando todas as folhas foram retiradas 10 dias após o espigamento. A remoção das folhas em V15 reduziu o número de grãos m<sup>-2</sup>, em relação aos tratamentos sem desfolha e desfolha em V8, em 1,9 e 9,5%, respectivamente. Entretanto, a desfolha em V15 propiciou um número de grãos m<sup>-2</sup> 94% superior ao valor observado quando a desfolha ocorreu no florescimento.

Tabela 10 - Características agrônômicas do milho em função do estágio de desfolha, na média de quatro doses de nitrogênio utilizadas na cobertura. Lages, SC, 2008/09.

Característica	Estádios de desfolha <sup>3/</sup>				CV (%)
	Sem desfolha	V8	V15	VT	
Índice de espiga	0,9 a <sup>1/</sup>	0,9 a	0,9 a	0,3 b	9,0
Espigas m <sup>-2</sup>	5,5 a	5,4 a	5,4 a	1,7 b	9,3
Grãos espiga <sup>-1</sup>	518 a	567 a	522 a	114 b	10,3
Grãos m <sup>-2</sup>	2.872 b	3.079 a	2.818 b	189 c	9,9
Esterilidade feminina (%)	6,3 b	5,2 b	6,9 b	69,8 a	31,6
Plantas quebradas (%)	0,5 b	0,3 b	0,3 b	11,8 a	123,0
Estatura de plantas (m) <sup>3/</sup>	2,84 <sup>NS1/</sup>	2,85	2,79	2,81	4,4
Inserção da espiga (m) <sup>3/</sup>	1,47 <sup>NS1/</sup>	1,48	1,41	1,46	4,9

<sup>1/NS</sup> Diferenças não significativas pelo teste de Tukey (P<0,05).

<sup>2/</sup> Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

<sup>3/</sup> V8 – oito folhas expandidas; V15 – quinze folhas expandidas; VT – pendoamento. Segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993).

A massa de mil grãos foi afetada pela interação entre a época de desfolha e a dose de nitrogênio reaplicada. A desfolha em VT propiciou as menores massas, independentemente da dose de N. Na média das quatro doses, a massa de mil grãos quando o milho foi desfolhado em VT foi de 125 gramas, o que equivale a uma redução de 60 e 59%, em relação aos tratamentos não desfolhado e desfolhado em V15 (Tabela 11). As desfolhas na floração reduzem tanto a taxa de crescimento dos grãos como o período efetivo de enchimento de grãos, resultando em menor massa dos grãos. Este efeito ocorreu mesmo com a redução do número de grãos espiga<sup>-1</sup>, o qual é um mecanismo compensatório utilizado pelo milho. Estas informações corroboram às obtidas por Jones e Simons (1983). Egharevba et al. (1976), avaliando níveis de desfolha após o florescimento, relataram que o componente mais afetado pela perda completa das folhas foi a massa dos grãos (12,7 a 53% de redução). Eles atribuíram as perdas no rendimento ocasionadas pela redução de área foliar depois de 20 dias do florescimento ao declínio no peso dos grãos. Entretanto, Gambín et al. (2006) encontraram

alta relação entre a taxa de crescimento da planta no início da floração e o desenvolvimento do grão, demonstrando que restrições à fonte antes do período efetivo de enchimento de grãos já comprometem o peso dos mesmos. As desfolhas em V15 reduziram a massa dos grãos em relação às subparcelas sem desfolha ou com desfolha realizada em V8. Contudo, o efeito foi de menor magnitude que quando o estresse ocorreu no florescimento. Decréscimos na relação fonte-dreno depois do florescimento promovem grandes reduções no peso final dos grãos (BORRÁS et al., 2004).

Tabela 11 - Massa de mil grãos em função do estágio de desfolha e da reaplicação de doses de nitrogênio (N). Lages, SC, 2008/09.

Dose de N (kg ha <sup>-1</sup> )	Estádios de desfolha <sup>2/</sup>			
	Sem desfolha	V8	V15	VT
	Massa de mil grãos (g) <sup>3/</sup>			
0	308,5 ab <sup>1/</sup>	314,2 a	295,3 b	124,6 c
50	326,6 a	319,2 a	313,9 a	128,9 b
100	338,0 a	333,3 a	303,9 b	125,5 c
200	348,9 a	330,7 a	297,8 b	121,8 c

<sup>1/</sup> Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

<sup>2/</sup> V8 – oito folhas expandidas; V15 – quinze folhas expandidas; VT – pendoamento. Segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993).

<sup>3/</sup> CV = 3,6%.

A massa de mil grãos aumentou com o incremento na dose de N reaplicada nos tratamentos sem desfolha e desfolha em V8 (Figura 13). Observou-se resposta linear da massa de mil grãos com o incremento da dose de N, sendo que a taxa de incremento para cada 10 kg de N aplicados foi de 1,0 e 2,0 gramas, para o milho desfolhado em V8 e sem desfolha, respectivamente. Apesar do aumento linear com a reaplicação do N não se refletiu no rendimento, visto que taxas de incremento na massa de grãos são muito pequenas, e este componente explica pouco o rendimento de grãos do milho. As desfolhas realizadas quando o milho tinha 15 folhas expandidas e no pendoamento não permitiu que houvesse resposta da massa de grãos ao N reaplicado. A deficiência de fotoassimilados foi mais importante.

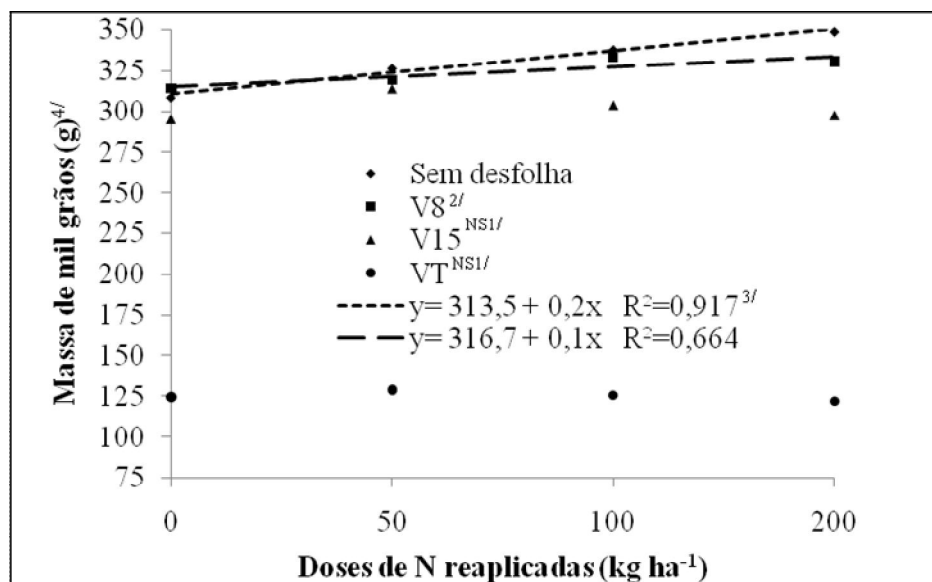


Figura 13 - Massa de mil grãos de milho em função do estágio de desfolha e da reaplicação de doses de nitrogênio (N). Lages, SC, 2008/09.

<sup>1/NS</sup> Equações não significativas.

<sup>2/V8</sup> – oito folhas expandidas; V15 – quinze folhas expandidas; VT – pendoamento, segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993).

<sup>3/</sup>Equações significativas ( $P < 0,05$ ).

<sup>4/</sup>CV=3,6%.

A eficiência agrônômica do nitrogênio foi afetada pela interação entre as épocas de desfolha e as doses de N reaplicadas em cobertura (Tabela 12). O uso de 50 kg ha<sup>-1</sup> de N assegurou maior EAN que a dose mais alta, nas subparcelas sem desfolha e naquelas que a desfolha ocorreu nos estádios V8 e V15. Na desfolha que ocorreu em V8, o uso da menor dose reaplicada garantiu maior EAN que a dose de 100 kg ha<sup>-1</sup>. Quando a desfolha foi realizada no pendoamento do milho não se observou diferença entre as doses testadas. Isto mostra a ausência de efeito do N sobre o rendimento do milho nesta fase, quando a planta sofre desfolhas de grande magnitude. Contudo, verificou-se que a desfolha em VT reduziu a EAN, em relação às demais épocas de desfolha e ao tratamento testemunha, apenas quando se utilizou 50 kg ha<sup>-1</sup>. O uso de 200 kg ha<sup>-1</sup> proporcionou baixa EAN, com valores próximos a nulidade. Isto ocorreu porque o suprimento excedeu as exigências do híbrido de menor potencial genético.

Ao se comparar a EAN obtida com 50 kg ha<sup>-1</sup> nas subparcelas sem desfolha (Tabela 12) com aquela registrada com a mesma dose no ensaio do perfilhamento (Tabela 4), detectou-se 56% de redução. A menor eficiência neste ensaio é atribuída a diferenças entre os genótipos avaliados e ao uso de 50 kg ha<sup>-1</sup> entre V4 e V5 em todos os tratamentos deste trabalho, inclusive nos tratamentos com ausência de reaplicação do N. O alto valor do

coeficiente de variação para esta variável é atribuído ao fato de que a variável é um produto de outras variáveis. Assim, o CV da EAN também acaba sendo produto do coeficiente de variação do rendimento.

Tabela 12 - Eficiência agrônômica do nitrogênio reaplicado (EAN)<sup>1/</sup> em função dos estádios de desfolha e de doses de nitrogênio (N) reaplicadas em cobertura, em milho. Lages, SC, 2008/09.

Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	EAN (kg kg <sup>-1</sup> ) <sup>5/</sup>			
	Estádios de desfolha <sup>3/</sup>			
	Sem desfolha	V8	V15	VT
0 <sup>4/</sup>	-	-	-	-
50	A 18,3a <sup>2/</sup>	A 15,9 a	A 24,0 a	A 0,7 b
100	AB 8,1	B 1,1 a	A 14,0 a	A 0,5 a
200	B 2,9	B 0,0 a	B 1,4 a	A 0,5 a

<sup>1/</sup> EAN= (rendimento tratamento com N – rendimento tratamento sem N)/dose de N.

<sup>2/</sup> Médias antecedidas de mesma letra maiúscula nas colunas e seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

<sup>3/</sup> V8 – oito folhas expandidas; V15 – quinze folhas expandidas; VT – pendoamento, segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993).

<sup>4/</sup> Rendimento médio tratamento sem desfolha (0 kg ha<sup>-1</sup> de N): 8.891,0 kg ha<sup>-1</sup>; rendimento médio desfolha em V8 (0 kg ha<sup>-1</sup> de N): 9750,3 kg ha<sup>-1</sup>; rendimento médio desfolha em V15 (0 kg ha<sup>-1</sup> de N): 7.821,4 kg ha<sup>-1</sup>; rendimento médio desfolha em VT (0 kg ha<sup>-1</sup> de N): 193,0 kg ha<sup>-1</sup>.

<sup>5/</sup> CV= 94,5%.

#### 3.4.4 Nitrogênio recuperado nos grãos e eficiência de recuperação do N fertilizante nos grãos

O nitrogênio recuperado nos grãos foi influenciado pela interação entre época de desfolha e dose de N reaplicada em cobertura (Tabela 13). A menor recuperação do nutriente foi observada quando a desfolha foi realizada em VT, independentemente da dose de N, apesar dos maiores teores de N nos grãos terem sido detectados neste tratamento (dados não mostrados). Isto decorre das menores produtividades obtidas nas subparcelas desfolhadas. Assim, a desfolha no pendoamento do milho limita a recuperação do N nos grãos, deixando o nutriente mais suscetível a perdas. Na dose de 50 kg ha<sup>-1</sup>, a desfolha em V15 também reduziu a recuperação do N em relação às subparcelas sem desfolha, em virtude da menor produtividade e do menor teor de N nos grãos.

A recuperação do N em resposta à dose de N reaplicada foi quadrática no tratamento sem desfolha e naquele que a desfolha foi realizada quando o milho apresentava 15 folhas expandidas. Quando a desfolha foi realizada em V8, a recuperação foi linear. As doses que maximizaram a recuperação do N nos tratamentos sem desfolha e desfolha em V15 foram 50 e 100 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Já no tratamento em que a desfolha foi realizada em V8 verificou-se incremento de 2 kg ha<sup>-1</sup> na recuperação de N pelos grãos para cada 10 kg de N

reaplicados. Cabe ressaltar a alta recuperação de N quando não se reaplicou o nutriente nos tratamentos que não comprometeram seriamente a área foliar. Nestes casos, registrou-se uma recuperação média de  $91,8 \text{ kg ha}^{-1}$ . Isto se deveu à contribuição da matéria orgânica do solo e aos  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  adicionais de N, aplicados parceladamente na semeadura ( $30 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e em V4-V5 ( $50 \text{ kg ha}^{-1}$ ).

Tabela 13 – Nitrogênio (N) recuperado<sup>1/</sup> nos grãos de milho em função dos estádios de desfolha e da dose de N reaplicada em cobertura. Lages, SC, 2008/09.

Dose ( $\text{kg ha}^{-1}$ de N)	N recuperado ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) <sup>4/</sup>			
	Estádios de desfolha <sup>3/</sup>			
	Sem desfolha	V8	V15	VT
0	89,2 a <sup>2/</sup>	104,9 a	81,4 a	3,6 b
50	135,1 a	123,0 ab	96,1 b	4,4 c
100	123,2 a	127,1 a	108,5 a	4,2 b
200	132,1 a	140,0 a	96,0 b	5,5 c

<sup>1/</sup>N recuperado= (%N no grão\*rendimento de grãos)/100.

<sup>2/</sup>Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

<sup>3/</sup>V8 – oito folhas expandidas; V15 – quinze folhas expandidas; VT – pendoamento, segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993).

<sup>4/</sup>CV= 16,5%.

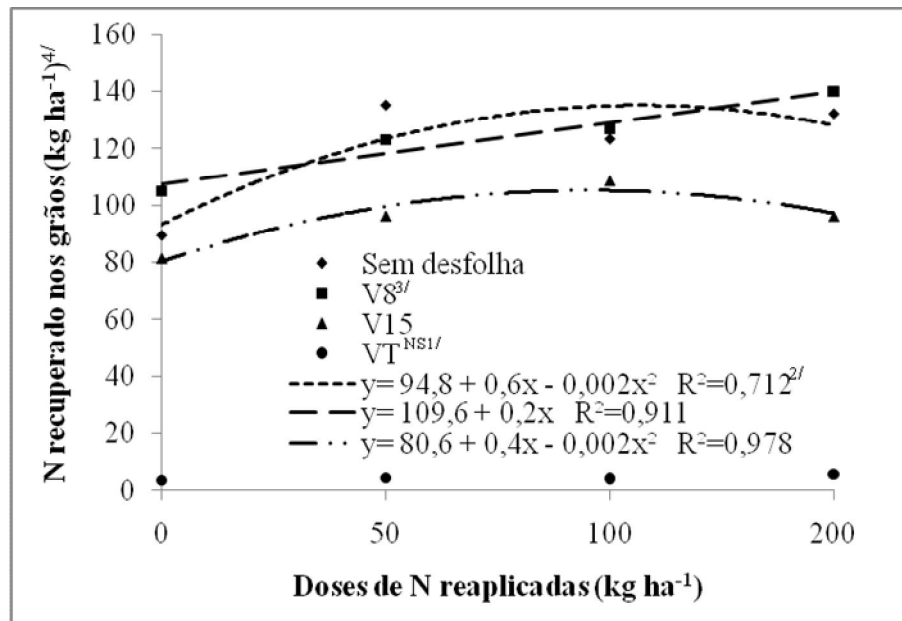


Figura 14 - Nitrogênio (N) recuperado nos grãos de milho em função dos estádios de desfolha e da dose de N reaplicada em cobertura. Lages, SC, 2008/09.

<sup>1/</sup> Equações não significativas ( $P < 0,05$ ).

<sup>2/</sup> Equações significativas ( $P < 0,05$ ).

<sup>3/</sup>V8 – oito folhas expandidas; V15 – quinze folhas expandidas; VT – pendoamento, segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993); SD – sem desfolha.

<sup>4/</sup>CV= 16,5%.

A desfolha em VT reduziu significativamente a ERNFG, em relação às subparcelas sem desfolha e com desfolha em V8 (Tabela 14). Isto decorreu da baixa recuperação do N, que aumentou o potencial de perdas. Praticamente todo o N aplicado quando a desfolha ocorreu no pendoamento não foi recuperado. Nos demais tratamentos, a ERNFG média foi de 29,7%. Os valores numéricos de ERNFG diminuíram com o incremento da dose de N reaplicada. Contudo, as diferenças observadas não foram estatisticamente significativas. O coeficiente de variação alto para ERNFG deveu-se ao produto entre os CVs do rendimento de grãos e do teor de N nos grãos.

Tabela 14 - Eficiência de recuperação do nitrogênio (N) proveniente do fertilizante nos grãos (ERNFG)<sup>1/</sup>, em função da dose de N aplicada em cobertura e dos estádios de desfolha em milho. Lages, SC, 2008/09.

Dose de N (kg ha <sup>-1</sup> )	ERNFG (kg kg <sup>-1</sup> ) <sup>5/</sup>
0 <sup>4/</sup>	-
50	30,0 <sup>NS2/</sup>
100	24,0
200	14,0
<hr/>	
Estádio	ERNFG (kg kg <sup>-1</sup> ) <sup>5/</sup>
Sem desfolha	43,0 a <sup>3/</sup>
V8	26,0 a
V15	20,0 ab
VT	1,0 b

<sup>1/</sup>ERNFG= ((N recuperado do tratamento com N – N recuperado do tratamento sem N)/ Dose de N)\*100.

<sup>2NS/</sup>Diferenças não significativas pelo teste Tukey (P<0,05).

<sup>3/</sup>Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

<sup>4/</sup>N recuperado nas subparcelas sem cobertura nitrogenada: Sem desfolha: 89,2 kg ha<sup>-1</sup>; desfolha em V8: 104,9 kg ha<sup>-1</sup>; desfolha em V15: 81,4 kg ha<sup>-1</sup>; desfolha em VT: 3,6 kg ha<sup>-1</sup>.

<sup>5/</sup>CV= 101,2%.

### 3.5 CONCLUSÕES

A reaplicação de N após desfolhas realizadas no início do desenvolvimento do milho é desnecessária.

A reaplicação de até 100 kg ha<sup>-1</sup> atenua os prejuízos ocasionados pela desfolha realizada quando a planta tem 15 folhas expandidas.

Desfolhas realizadas no pendoamento eliminam a regeneração de área foliar pelas plantas e impossibilitando que a reaplicação de N os prejuízos ocasionados ao rendimento de grãos.

O sucesso da reaplicação de N como estratégia para atenuar os prejuízos ocasionados pela desfolha depende do estágio fenológico do milho, da área foliar pedida, da dose de N utilizada e da disponibilidade de N no solo.

#### **4 FITOTOXICIDADE FOLIAR E EFICIÊNCIA DE FONTES E MÉTODOS DE APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO EM COBERTURA EM MILHO (*FOLIAR PHYTOTOXICITY AND EFFICIENCY OF SOURCES AND METHODS OF SIDE-DRESS NITROGEN IN MAIZE*)**

##### **4.1 RESUMO**

O contato físico entre os fertilizantes nitrogenados utilizados na adubação de cobertura e a superfície foliar do milho pode provocar sintomas de fitotoxicidade e reduzir o rendimento de grãos. Este trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar os efeitos de fontes e métodos de realização da adubação nitrogenada em cobertura sobre a ocorrência de fitotoxicidade e sua influência no rendimento de grãos do milho. O ensaio foi desenvolvido a campo, no município de Lages, Planalto Sul de Santa Catarina. O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, dispostos em parcelas sub-subdivididas. Nas parcelas principais foram avaliadas duas fontes de N: nitrato de amônio e uréia. Nas subparcelas avaliaram-se dois estádios de aplicação de N: cinco (V5) e 10 folhas expandidas (V10). Nas sub-subparcelas foram avaliados quatro métodos de aplicação da cobertura nitrogenada: na linha de semeadura via sólida, na linha de semeadura via fluída, a lanço, em grânulos, sem e com umidade sobre as folhas. Adicionalmente, avaliou-se um tratamento sem adubação nitrogenada em cobertura. Foram realizadas avaliações da área foliar verde e necrosada aos dois, 10 e 30 dias após a cobertura nitrogenada. No florescimento, avaliou-se a área foliar verde. Depois da colheita, avaliaram-se o rendimento de grãos, a eficiência agrônômica do N e a recuperação do N nos grãos. Os dois fertilizantes nitrogenados aplicados a lanço provocaram sintomas fitotóxicos. As maiores reduções de área foliar foram verificadas com o uso do nitrato de amônio a lanço, independentemente da presença de umidade sobre as folhas. A aplicação de nitrato de amônio a lanço reduziu mais o rendimento de grãos do que a da uréia. A fitotoxicidade oriunda de aplicações de fertilizantes nitrogenados a lanço foi mais persistente quando realizadas em V10. Contudo, o estágio de aplicação de N não afetou o rendimento de grãos. A presença de umidade sobre as folhas não aumentou os prejuízos ao rendimento de grãos ocasionados nos tratamentos em que houve contato físico entre adubo e



folhas. As aplicações próximas à linha de semeadura não ocasionaram morte de tecido e proporcionaram os maiores rendimentos de grãos, independentemente da fonte e da época de aplicação de N. A magnitude do efeito da fitotoxicidade sobre o rendimento de grãos depende do fertilizante nitrogenado, da área foliar submetida ao contato físico com o adubo e do método de aplicação da cobertura nitrogenada.

**Palavras – chave:** *Zea mays*. Rendimento de grãos. Necrose foliar. Estresse.

#### 4.1.1 Summary

The physical contact between nitrogen fertilizers used in side-dress and leaf surface can cause phytotoxicity symptoms and reduce grain yield. This study was conducted to evaluate the effects of sources and methods of nitrogen side-dress on the occurrence of phytotoxicity and its influence on maize grain yield. The trial was set in Lages, Southern Plateau of Santa Catarina, Brazil. The experimental design was a randomized block arranged in split-split plots. Two nitrogen sources were evaluated in the main plots: ammonium nitrate and urea. Two growth stages of application were tested in the split-plots: five (V5) and ten expanded leaves (V10). Four methods of nitrogen side-dressing were assessed in the split-split plots: solid fertilizer in the row, fluid fertilizer in the row, fertilizer broadcasted on wet and dry leaves. A plot without nitrogen side-dress was also included in the experiment. Green and necrotic leaf surface were measured two, 10 and 30 days after nitrogen application. Green leaf area at flowering was also determined. Grain yield, agronomic efficiency of nitrogen and nitrogen recovery in the grains were estimated after harvest. The broadcast of nitrogen fertilizers caused phytotoxic symptoms. The largest reductions in leaf area were observed with the broadcast of ammonium nitrate, regardless of moisture presence on the leaves. The broadcast of ammonium nitrate reduced more grain yield than the broadcast of urea. The phytotoxicity was more persistent when nitrogen fertilizers were broadcasted in V10. However, the growth stage of nitrogen application did not affect grain yield. The moisture presence on leaf surface did not increase the damage to grain yield caused by treatments where there was physical contact between the fertilizer and leaf tissue. Nitrogen side-dresses performed at the sowing rows did not cause tissue death. They promoted the highest grain yield, regardless of source and application time. The phytotoxicity magnitude and its effect on

grain yield depend on the source of nitrogen fertilizer, leaf surface subjected to physical contact with the fertilizer and the method of nitrogen application.

**Keywords:** *Zea mays*. Grain yields. Leaf Necrosis. Stress.

## 4.2 INTRODUÇÃO

O milho é uma das culturas mais exigentes em fertilizantes, especialmente os nitrogenados. O suprimento inadequado de nitrogênio (N) é um dos principais fatores limitantes à obtenção de altas produtividades (COBUCCI, 1991), uma vez que existe grande demanda e esse nutriente apresenta uma dinâmica complexa no solo (CERETTA e FRIES, 1998). Assim, o manejo da adubação nitrogenada deve ser capaz de atender à demanda da planta nos períodos críticos, maximizar a eficiência de utilização de N e minimizar o impacto nocivo ao ambiente pela redução de perdas.

O N é o elemento mineral exigido em maiores quantidades pelas plantas porque serve como constituinte de muitos componentes da célula vegetal, incluindo aminoácidos, proteínas e ácidos nucléicos (TAIZ e ZEIGER, 2009). A sua assimilação é um processo vital à cultura do milho, pois controla o crescimento e o desenvolvimento das plantas e tem efeitos marcantes sobre a fitomassa e a produtividade final. Vários trabalhos mostram os efeitos positivos deste nutriente no rendimento de grãos de milho (JOKELA e RANDAL, 1997; AMADO et al., 2002; GOMES et al., 2007). A deficiência de N reduz a produtividade entre 14 e 80%, porque esse elemento, além de afetar a determinação do número de células endospermáticas e de grânulos de amido, pode reduzir a fonte de fotoassimilados, devido à diminuição do índice de área foliar. O N é extraído em grandes quantidades pelo milho. Bull (1993) e Fancelli (2000) relatam extrações superiores a 20 kg de N para cada tonelada de grãos produzidos. Além disso, é uma cultura que retira grande quantidade de N da lavoura, exportando mais de 75% do N absorvido nos grãos. Este é um dos critérios utilizados na avaliação das quantidades de N a serem fornecidas ao milho (AMADO et al., 2002), visto que a capacidade de suprimento da maioria dos solos brasileiros não é suficiente para sustentar altas produtividades. Geralmente a aplicação de N garante altas respostas em produtividade. Isto atrai o produtor a utilizar altas doses de fertilizantes nitrogenados, especialmente quando os mesmos são economicamente viáveis, uma vez que o uso de N implica em altos custos (BUCHANAN, 2000; SILVA et al., 2001).

Desta forma, produtores com bom nível tecnológico e grande capacidade de investimento frequentemente utilizam doses de N superiores a  $100 \text{ kg ha}^{-1}$ , na busca de maiores tetos produtivos. A resposta às doses de N, contudo, depende de uma série de fatores, pois a eficiência de seu uso depende da sua complexa dinâmica no solo. Vários fenômenos químicos, físicos e biológicos condicionam a disponibilidade de N ao milho. O N está sujeito à imobilização pela biomassa microbiana, especialmente em condições de semeadura direta, volatilização de  $\text{NH}_3$ , desnitrificação em ambientes anóxicos do solo e nitrificação. Neste caso, o produto final é o ânion  $\text{NO}_3^-$ , que pode ser facilmente lixiviado na ocorrência de precipitações e ser perdido através do perfil do solo. Estas perdas, além de reduzirem a eficiência de uso do N, podem gerar impactos ambientais nocivos, principalmente quando ocorre acúmulo do  $\text{NO}_3^-$  em lençóis freáticos (HOWARTH e MARINO, 2006; HOWARTH et al., 2006) e emissão de gases de efeito estufa à atmosfera (LAGREID et al., 1999). A desnitrificação e a lixiviação são os principais processos de perdas de N do solo, contribuindo com 72% da perda total (MOREIRA e SIQUEIRA, 2002). A complexa dinâmica do N faz com que a quantidade de nutriente disponível no solo sofra grandes flutuações, em função das alterações dos processos de adição e perda (KIEHL, 1987).

Para atenuar estas perdas e aumentar a eficiência de uso do N pelo milho, recomenda-se aplicar a maior parte do fertilizante nitrogenado no início do período de maior demanda da cultura pelo nutriente. Este período está compreendido entre os estádios V5 e V10 da escala de Ritchie et al. (1993), quando a planta possui cinco e 10 folhas totalmente expandidas, respectivamente. Entre V5 e V10, o milho inicia a definição de seu potencial de rendimento e a deficiência de N reduz o número de óvulos nos primórdios de espiga (SCHRÖDER et al., 2000). A demanda por N na fase inicial de desenvolvimento da cultura é baixa, uma vez que a densidade radicular e o acúmulo de matéria seca são pequenos. Além disso, o uso de doses altas de fertilizantes nitrogenados por na semeadura pode reduzir a população inicial de plantas, devido à salinização da rizosfera e à toxidez de amônia (ZUBLENA e ANDERSON, 1994; SANGOI et al., 2009), e aumentar as chances de perdas de N. Nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, recomenda-se aplicar de  $20$  a  $30 \text{ kg ha}^{-1}$  de N na semeadura, para cultivo sobre resíduos de gramíneas, e de  $10$  a  $15 \text{ kg ha}^{-1}$  para cultivos sobre resíduos de leguminosas (CQFS-RS/SC, 2004). O restante da dose deve ser aplicado em cobertura, podendo a mesma ser parcelada em duas ou três vezes (FANCELLI, 2000). O parcelamento pode ser necessário quando a dose de N aplicada for superior a  $100 \text{ kg ha}^{-1}$ .

A aplicação de corretivos, fertilizantes e sementes à lanço é uma prática comum na agricultura brasileira. A cobertura nitrogenada geralmente é realizada desta forma, com distribuidores tratorizados. A aplicação a lanço é preferida pela maior facilidade de aplicação, rendimento operacional e pela disponibilidade de maquinário agrícola. Entretanto, a falta de observação de algumas condições faz desta prática uma forma de grandes perdas de N e de redução da eficiência de seu uso. Vários autores vêm demonstrando maiores riscos da aplicação de N na forma de uréia, especialmente sobre a palhada do sistema de semeadura direta, já que ocorrem altas perdas por volatilização de  $\text{NH}_3$  (CANTARELLA, 1993; LARA CABEZAS et al., 1997; DA ROS et al., 2005). A hidrólise da uréia é rápida e potencializada pela presença de urease nos resíduos. Assim, a incorporação da uréia (SANGOI et al., 2003, SILVA et al., 2005), a aplicação desta fonte depois de uma precipitação entre 10 e 20 mm, ou o uso de fontes de N menos suscetíveis à volatilização (LARA CABEZAS et al., 2001) são as formas mais recomendadas para realização da cobertura nitrogenada a lanço.

Em áreas extensas de lavouras de milho, é pouco comum o agricultor considerar as melhores condições ambientais para aplicação do fertilizante, em relação à planta e ao adubo. Isto ocorre porque o produtor procura maximizar o rendimento da propriedade e atenta apenas às melhores condições para entrada nas áreas de lavoura. Entretanto, muitas vezes estas condições climáticas não coincidem com aquelas necessárias ao manejo de fertilizantes aplicados a lanço. Essa falta de sintonia pode levar a perdas no rendimento de grãos e reduzir a eficiência agrônômica do N. Assim, a distribuição de fertilizantes nitrogenados em cobertura pode ocorrer em condições de altas temperaturas, o que favorece a volatilização, ou sobre plantas orvalhadas, o que acelera a hidrólise deste adubo e incrementa a toxidez de  $\text{NH}_3$  e a salinização pelo contato físico do adubo com a planta. Dessa forma, as aplicações a lanço podem reduzir a produtividade pela saída de N do sistema ou pelo efeito fitotóxico dos fertilizantes nitrogenados aplicados sobre a área foliar da planta de milho.

A fitotoxicidade foliar pode ocorrer com todos os fertilizantes nitrogenados aplicados a lanço. Ela decorre do contato físico destes fertilizantes com as folhas. Os fertilizantes nitrogenados são produzidos na forma de sais. A formulação salina é essencial para melhorar a estabilidade do elemento nitrogênio. O uso destes fertilizantes em altas doses na aplicação a lanço provoca injúrias nas folhas, levando à necrose e perda de área foliar, diminuindo o metabolismo e trazendo prejuízos ao rendimento da lavoura de milho. A magnitude da fitotoxicidade ocasionada pelo uso de sais nitrogenados dependerá da quantidade de fertilizante acumulada sobre as folhas, da presença de umidade sobre a superfície foliar e das condições climáticas prevalentes durante e após a aplicação. A quantidade acumulada de

sais sobre as folhas depende da largura efetiva da distribuição do fertilizante nitrogenado com o distribuidor tratorizado. Assim, a ocorrência de doses irregulares e/ou sobreposição de faixas permitem que algumas áreas ou plantas da lavoura recebam maior quantidade de fertilizante sobre as folhas, incrementando as chances de fitotoxidez pelo contato físico do adubo com a área foliar. É recomendável fazer a aplicação dos fertilizantes quando não houver deposição de orvalho sobre as folhas, pois para a uréia ocorre aceleração da hidrólise e aumenta-se a probabilidade de ocorrência de toxidez por  $\text{NH}_3$ . Além disso, a umidade sobre as folhas funciona como veículo para solubilização dos sais. O nitrato de amônio, além do maior índice salino, possui mais pó em relação à uréia. Na presença de umidade, ele apresenta maiores chances de ocasionar necrose foliar, pois fixa mais nas folhas.

Os sintomas de fitotoxidez dos fertilizantes podem ser o bronzeamento das folhas ou o esbranquiçamento de folhas e axilas foliares, comprometendo a sua atividade fotossintética. Estes sintomas podem evoluir para queimaduras foliares, necrose, especialmente dos bordos foliares, queda de folhas e morte de plantas. Dependendo da severidade do dano, o crescimento reduzido da planta pode ser observado por várias semanas após a aplicação. Estes sintomas são mais comuns com a adubação foliar, especialmente quando se utilizam concentrações altas de N. Gray (1977) revisou os resultados de 214 estudos nos Estados Unidos e concluiu que a adubação foliar de lavouras de soja geralmente decresceu o rendimento e ocasionou queimaduras foliares. Voss e Killorn (1996) relatam os efeitos fitotóxicos da solução de uran (urea-ammonium nitrate) sobre o crescimento do milho e afirmam os problemas do uso de doses altas (maiores que  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de N) sobre a área foliar do milho no estágio de três a cinco folhas expandidas ou até mesmo doses menores (maiores que  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  de N) sobre o rendimento de grãos no estágio de sete a oito folhas expandidas. Os danos aumentaram com o aumento da dose de uran, porém foram menos persistentes na aplicação mais precoce, onde o milho conseguiu se recuperar. O efeito tóxico de altas concentrações de N pode ser atribuído ao acúmulo de  $\text{NH}_4^+$  nos tecidos foliares. O  $\text{NH}_4^+$  é uma forma tóxica de N no tecido vegetal, uma vez que ao se mudar para compartimentos celulares com diferentes concentrações hidrogênio-iônicas pode transformar-se em  $\text{NH}_3$  e ocorrer quebra do gradiente eletroquímico e desacoplar a fotofosforilação oxidativa (TAIZ e ZEIGER, 2009). Outro aspecto a considerar é o horário de aplicação. Aplicações no final da manhã e sob baixa temperatura aumentam a eficiência da adubação foliar (ALMEIDA et al., 2000).

O potencial fitotóxico do N é aumentado quando o intervalo da aplicação de herbicidas e da adubação nitrogenada não é respeitado (LOPEZ OVEJERO et al., 2003). Nicolai et al.

(2006) verificaram que a aplicação de uréia no mesmo dia que a aplicação de herbicidas seletivos recomendados à cultura do milho foi mais fitotóxica

Muitos autores relacionam a importância da escolha da fonte de N e a severidade da fitotoxicidade ocasionada pela adubação foliar (GARCIA e HANWAY, 1983; POOLE et al., 1983; KROGMEIER et al., 1989; ROSOLEM e BOARETTO, 1989), sendo unânimes na escolha da uréia como a fonte de menor potencial fitotóxico. Apesar disto, Krogmeier et al., (1989) relatam a ocorrência da fitotoxicidade em folhas de soja tratadas com uréia com inibidor de urease. Estes autores apontam que a baixa taxa de hidrólise da uréia tratada com o inibidor aumentou o potencial fitotóxico deste fertilizante, já que a planta absorveu maiores quantidades de uréia que, em altas concentrações dentro da folha, também é tóxica. Voss e Killorn (1996) também levantam a hipótese de que a uréia pode ser absorvida em quantidades tóxicas, quando a adubação nitrogenada é feita a lanço em granulas na cultura do milho. Outra possível fonte de fitotoxidez ocasionada pela uréia deve-se à presença de biureto em concentrações superiores a 1,5%. O biureto ( $C_2H_5N_3O_2$ ) é considerado um contaminante da uréia (MIKKELSEN, 1990). É formado da combinação de duas moléculas de  $CO(NH_2)_2$  com uma de  $NH_3$  liberada durante a peletização da uréia cristalina quando ela é aquecida próxima ao seu ponto de fusão ( $132^\circ C$ ). Na agricultura, altas concentrações de biureto puro ou biureto na uréia podem ser tóxicas às culturas quando aplicadas no solo ou sobre a superfície foliar (JONES, 1954; MITHYABTHA et al., 1977; ABDEL-HAIDE et al., 1983; XUE et al., 2004).

Os prejuízos no rendimento de grãos da cultura do milho ocasionados pela ocorrência da fitotoxicidade de fertilizantes nitrogenados nas folhas dependem da capacidade de regeneração da área foliar. Esta capacidade depende da área foliar remanescente e da área foliar diferenciada depois dos danos oriundos da cobertura nitrogenada. Espera-se que os danos oriundos de aplicações mais precoces sejam menos nocivos, uma vez que a planta terá mais tempo para produzir novas folhas com maior área após o dano. Aplicações mais tardias provavelmente reduzirão mais a área foliar fotossinteticamente ativa e, assim, afetarão mais o rendimento de grãos, devido à maior restrição de fonte. A capacidade de regeneração das folhas provavelmente será influenciada pela magnitude do dano, que depende da fonte de N utilizada em cobertura.

De posse destas informações e sabendo-se que há poucos estudos relatados pela literatura do efeito fitotóxico de fertilizantes nitrogenados aplicados a lanço, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos de fontes e métodos de realização de adubação nitrogenada em cobertura, em duas épocas de fertilização, sobre a fitotoxicidade foliar, a capacidade de

regeneração da área foliar, o rendimento de grãos da cultura do milho e a eficiência de utilização do N.

#### 4.3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido a campo, durante o ano agrícola de 2008/09, no distrito de Santa Terezinha do Salto, localizado a 20 km da cidade de Lages, no Planalto Sul de Santa Catarina. As coordenadas geográficas da área experimental são 27°50'35" de latitude Sul e 50°29'45" de longitude Oeste e altitude de 849 metros. De acordo com a classificação de Koppen, o clima da região é do tipo Cfb, mesotérmico, com verões brandos, temperaturas médias do mês mais quente inferiores a 22°C e precipitações pluviais bem distribuídas.

O solo da área experimental é classificado como NITOSSOLO VERMELHO Distrófico típico (EMBRAPA, 2006). Segundo análise da fertilidade do solo realizada em setembro de 2008, ele apresentava 420 g kg<sup>-1</sup> de argila; 51,0 g kg<sup>-1</sup> de matéria orgânica; pH H<sub>2</sub>O 5,5; índice SMP 5,7; 5 mg dm<sup>-3</sup> de P; 0,50 cmolc kg<sup>-1</sup> de K; 5,9 cmolc kg<sup>-1</sup> de Ca; 2,8 cmolc kg<sup>-1</sup> de Mg; 0,3 cmolc kg<sup>-1</sup> de Al e 15,3 cmolc kg<sup>-1</sup> de CTC. A área experimental vem sendo utilizada à dez anos no sistema de semeadura direta e durante a entressafra faz-se o cultivo de espécies de cobertura, consorciando aveia e ervilhaca.

No período de entressafra, em meados de maio de 2008, procedeu-se a semeadura de aveia preta (*Avena strigosa*), utilizando-se 170 kg ha<sup>-1</sup> de sementes para cobertura verde. A cobertura resultou em 5.600 kg ha<sup>-1</sup> de massa seca por ocasião da dessecação, ocorrida no final de setembro de 2008.

Foram testadas duas fontes de N para aplicação em cobertura: uréia [(CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>; 45% de N) e nitrato de amônio (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>; 35% de N)]. A dose usada em cobertura foi 200 kg ha<sup>-1</sup> de N, seguindo as recomendações da Comissão de Química e Fertilidade do Solo para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, para obter-se um teto produtivo de 12.000 kg ha<sup>-1</sup> (CQFS-RS/SC, 2004). Os fertilizantes nitrogenados foram aplicados em cobertura em duas épocas do ciclo da cultura: quando as plantas apresentavam cinco e dez folhas totalmente expandidas, correspondendo aos estádios V5 e V10 da escala proposta por Ritchie et al (1993). Para cada uma das épocas, o N foi aplicado de quatro modos distintos: aplicação do fertilizante líquido na linha de semeadura, aplicação do fertilizante granulado na linha de semeadura, aplicação do fertilizante granulado a lanço sem umidade sobre a área foliar e aplicação do fertilizante granulado a lanço com umidade sobre a superfície foliar. A umidade

sobre as folhas simulou a presença de orvalho. Ela equivaleu a uma precipitação de 3 mm e foi aplicada com um pulverizador costal, observando-se a faixa de aplicação de 20 cm.

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, dispostos em parcelas sub-subdivididas, com quatro repetições. As fontes de N foram testadas nas parcelas principais, as épocas de aplicação foram analisadas nas subparcelas e os métodos de aplicação da adubação nitrogenada em cobertura foram avaliados nas sub-subparcelas. Cada sub-subparcela foi composta por quatro linhas de seis metros de comprimento, espaçadas entre si por 0,7 m, tendo como área útil as duas linhas centrais, perfazendo 8,4 m<sup>2</sup>.

O genótipo utilizado foi o híbrido simples AS 1570, da empresa Agroeste Sementes, que apresenta com principais características o ciclo precoce, o médio potencial produtivo, a estabilidade de produção e alto rendimento biológico (AGROESTE, 2009).

A semeadura foi realizada no dia 31 de outubro de 2008, no sistema de semeadura direta. Ela foi feita com semeadoras manuais reguladas para distribuir três a quatro sementes por cova igualmente espaçadas. A população de plantas utilizada no experimento foi de 55.000 ha<sup>-1</sup>. No momento da semeadura, o arranjo de plantas na linha para a densidade desejada foi obtido utilizando-se barbantes marcados a distância de 26 cm entre covas. As sementes foram previamente tratadas com os inseticidas imidacloprido+tiodicarbe (45+186 g de i.a. ha<sup>-1</sup>), para controle de pragas de solo na emergência do milho. A emergência ocorreu no dia 8 de novembro de 2009, nove dias após a semeadura. Quando as plantas estavam no estágio V3, procedeu-se desbaste para eliminar o excesso de plantas, deixando-se apenas uma planta por cova, condicionando cada unidade experimental à densidade desejada.

A adubação na semeadura foi realizada com nitrogênio, fósforo e potássio. As doses aplicadas foram baseadas na fertilidade do solo e nas recomendações para a cultura do milho de acordo com o Manual de Adubação e Calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS-RS/SC, 2004), visando uma produtividade de 12.000 kg ha<sup>-1</sup>. As fontes de P e K foram o superfosfato triplo (46% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e o cloreto de potássio (60% K<sub>2</sub>O), nas quantidades equivalentes a 245 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 110 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Para o N foi utilizado como fertilizante a uréia (45% N), na dose equivalente a 30 kg ha<sup>-1</sup>. Os fertilizantes foram distribuídos superficialmente nas linhas de cultivo, paralelamente à operação de semeadura. A adubação de cobertura foi realizada conforme os tratamentos, aplicando-se os fertilizantes nitrogenados em cada uma das épocas desejadas, de acordo com o método determinado pelo tratamento. As coberturas foram realizadas nos dias 7 de dezembro (estádio V5) e 27 de dezembro de 2008 (estádio V10).



As aplicações da cobertura foram realizadas em dias sem nebulosidade. As temperaturas médias dos dias de aplicação da cobertura foram 20,5°C e 20,2°C, respectivamente nos dias 7 e 27 de dezembro. O horário de aplicação, próximo ao meio dia, foi escolhido para que não coincidissem com a existência de orvalho natural.

O controle de plantas daninhas foi efetuado com duas aplicações de herbicida. A primeira foi feita em pré-emergência, no dia da semeadura, com uma mistura de atrazina e s-metolaclor (1.480 + 1.160 g de i.a. ha<sup>-1</sup>). A segunda aplicação foi realizada em pós-emergência quando as plantas estavam com quatro folhas expandidas (estádio V4, segundo escala proposta por Ritchie et al., 1993), utilizando o produto tembotrione (100 g de i.a. ha<sup>-1</sup>).

O controle de *Spodoptera frugiperda* foi feito com duas aplicações em pós-emergência de inseticidas. O critério adotado foi a observação dos primeiros sintomas de raspagem das folhas e deposição de excrementos. A primeira aplicação foi feita com triflumuron (24 g de i.a. ha<sup>-1</sup>) e a segunda aplicação foi feita com o princípio ativo lufenuron (15 g de i.a. ha<sup>-1</sup>).

Para determinar o efeito fitotóxico dos fertilizantes nitrogenados aplicados de diferentes modos, quantificaram-se a área foliar necrosada e a área foliar verde dos tratamentos aos dois, 10 e 30 dias após a aplicação da cobertura nitrogenada, em cada um dos dois estádios de aplicação. Para estimar a área foliar necrosada mensuraram-se aquelas folhas que tinham mais de 50% de sua área morta. Estimou-se a área foliar verde e a necrosada de cinco plantas da segunda fileira de cada unidade experimental. As plantas utilizadas foram selecionadas ao acaso dentro da sub-subparcela, em função de sua uniformidade morfológica e fenológica. Para identificação destas plantas utilizou-se a marcação da extremidade da quarta, oitava, décima segunda e décima sexta folhas da planta com tinta preta lavável, para se ter maior precisão, já que estas folhas serviram como referenciais. A área foliar foi obtida de acordo com metodologia descrita por Tollenaar (1992). Foram medidos o comprimento (C) e a maior largura (L) de todas as folhas fotossinteticamente ativas, com pelo menos 50% de sua área foliar verde, de acordo com critério proposto por Borrás et al., (2003) e daquelas que sofreram efeito fitotóxico dos fertilizantes. A área foliar por planta (A), expressa em cm<sup>2</sup>, foi estimada aplicando-se a seguinte expressão:  $A = C \times L \times 0,75$ , onde o valor 0,75 é um coeficiente de correção, uma vez que as folhas não têm área retangular. O somatório das áreas de todas as folhas necrosadas e de todas as folhas verdes correspondeu, respectivamente, a área foliar necrosada e a área foliar verde do indivíduo, em cada época de aplicação. Determinaram-se a proporção entre área foliar necrosada e verde nos mesmos períodos de tempo, a recuperação da área foliar pela quantidade de área foliar necrosada e a área foliar

emitida desde a emergência do milho até aos dois, 10 e 30 dias após aplicação do N em cobertura.

Quantificou-se a área foliar remanescente no florescimento, de acordo com o método previamente descrito, utilizando-se as medições anteriores somadas à área foliar que surgiu após 30 dias após a aplicação de N em cobertura para as duas épocas. Contou-se neste estágio também o número de folhas necrosadas por senescência natural, para que se obtivesse por diferença a área foliar verde remanescente no florescimento. A mesma foi expressa como área foliar verde por planta em cm<sup>2</sup>.

A fenologia da cultura foi avaliada determinando-se a duração dos subperíodos emergência-antese, emergência-espigamento, antese-espigamento e espigamento-maturação fisiológica. O subperíodo emergência-antese foi determinado computando-se o número de dias existentes entre a exteriorização do coleóptilo e a emissão do pendão floral com deiscência de grãos de pólen em mais de 50% das plantas. O subperíodo emergência-espigamento compreendeu a exteriorização do coleóptilo e a visualização de estigmas visíveis com, pelo menos, 1 cm acima da pálea da espiga em mais de 80% das plantas. O número de dias do subperíodo antese-espigamento foi obtido a partir da subtração do subperíodo emergência-antese do subperíodo emergência-espigamento. O subperíodo espigamento-maturação fisiológica compreendeu o número de dias existentes entre a visualização de estigmas e o aparecimento da camada preta nos grãos em seu ponto de inserção na espiga.

A estatura de planta e a altura de inserção da espiga foram determinadas entre os estádios R2 e R3, segundo escala proposta por Ritchie et al., (1993). Foram utilizadas seis plantas com homogeneidade morfológica e fenológica para estas determinações. A estatura de planta correspondeu à medida da distância do colo da planta à extremidade do pendão. A distância entre o colo da planta e o nó em que a espiga superior estava inserida correspondeu à altura de inserção da espiga.

A colheita foi realizada na primeira semana de maio quando todas as folhas se encontravam senescidas e a umidade dos grãos situava-se entre 18 e 22%. Anteriormente à colheita, contou-se o número total de plantas, o número de plantas acamadas, o número de plantas quebradas, o número de plantas sem espigas e o número de espigas produtivas por planta (índice de espiga). A percentagem de acamamento foi obtida dividindo-se o número de plantas que apresentavam o colmo inclinado com menos de 45° em relação ao solo pelo número total de plantas na unidade experimental e multiplicando por 100. Da mesma forma procedeu-se para porcentagem de plantas quebradas, sendo que se considerou como plantas quebradas todas aquelas que estivessem com ruptura do colmo abaixo da espiga. Para

avaliação da esterilidade feminina e do índice de espiga considerou-se como espigas produtivas apenas aquelas que tinham mais de 10 grãos formados. Ambos os índices foram determinados dividindo-se, respectivamente, o número de plantas sem espiga e o número de espigas da unidade experimental pelo número total de plantas que compunham a área útil.

As espigas foram colhidas e trilhadas em trilhadora estacionária. Posteriormente, os grãos foram secos em estufa, à temperatura de aproximadamente 65°C, sob ventilação, até atingirem massa constante. Os pesos obtidos de massa seca dos grãos foram convertidos para 1,0 ha, na unidade padrão de 130 g kg<sup>-1</sup>, determinando-se assim o rendimento de grãos. Uma sub-amostra de 400 grãos foi separada e pesada para todas as unidades experimentais. Esta sub-amostra foi submetida à secagem em estufa regulada para 105°C por 72 horas. Depois de ser determinada a massa, após a secagem, esta foi então multiplicada pelo fator 2,5, convertida para 130 g kg<sup>-1</sup>, e utilizada para expressar a massa de mil grãos. O número de grãos espiga<sup>-1</sup> foi determinado indiretamente, pela relação do peso de mil grãos, peso total de grãos e número de espigas colhidas nas unidades experimentais. O número de grãos produzidos por área (m<sup>2</sup>) foi estimado com base no número de espigas planta<sup>-1</sup>, no número de grãos espiga<sup>-1</sup> e na população de plantas do ensaio (55.000 plantas ha<sup>-1</sup>).

A eficiência agrônômica do nitrogênio (EAN) foi calculada com base no rendimento de grãos. Foi determinada como o produto da relação entre a diferença no rendimento de grãos produzido nas sub-subparcelas com aplicação de N e naquelas sem N, dividido pela dose de 200 kg de N ha<sup>-1</sup> utilizada no ensaio. A EAN foi expressa em quilogramas de grãos produzidos por quilogramas de N aplicado em cobertura

O teor de N nos grãos foi determinado de acordo com a metodologia proposta por Tedesco et al. (1996), através de digestão sulfúrica e destilação por arraste de NH<sub>3</sub>, utilizando o método semi-micro Kjeldahl. O teor de N nos grãos foi multiplicado pelo rendimento de grãos por hectare para se obter o N recuperado nos grãos em um hectare. A eficiência de recuperação de N proveniente do fertilizante nos grãos (ERNFG) foi obtida pelo método da diferença, dividindo-se a diferença do N recuperado nas sub-subparcelas com N e naquelas sem N pela dose de N aplicada em cobertura e multiplicou-se o valor obtido por 100.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância. Os valores de F para efeitos principais e interações foram considerados significativos ao nível de significância de 5% (P<0,05). Quando os valores de F foram significativos (P<0,05), as médias de cada tratamento foram comparadas entre si utilizando-se o teste de Tukey, ao nível de significância de 5%.

## 4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.4.1 Recuperação da área foliar e área foliar no florescimento

A área foliar verde medida aos dois dias após a aplicação da cobertura nitrogenada não foi influenciada pelas fontes e pelos métodos de aplicação (Tabela 15). A área foliar verde medida quando o milho estava com cinco e 10 folhas totalmente expandidas foi, respectivamente, de 439 e 2.264 cm<sup>2</sup> planta<sup>-1</sup>. De V5 para V10 houve um incremento de cinco vezes na área foliar, pois apesar de expandir apenas o dobro do número de folhas, estas são mais compridas e mais largas, aumentando a superfície foliar. A proporção de área foliar necrosada em relação à área foliar total, medida nesta mesma data, não foi influenciada pelos fatores testados. Na média dos tratamentos, apenas 0,2% da área foliar morreu devido à fitotoxicidade foliar ocasionada pelos fertilizantes nitrogenados (Tabela 15). As aplicações a lanço, na média de fontes e épocas, reduziram em aproximadamente 0,4% a área foliar por planta. A ausência de diferença significativa entre os tratamentos deveu-se à baixa capacidade de expansão das folhas entre o dia da aplicação do fertilizante em cobertura e a data da medição da área foliar. Os maiores danos dos fertilizantes ocorrem no cartucho do milho, pois é nesta região que há maior acúmulo de adubo. Como as folhas medidas são apenas aquelas que já estão totalmente expandidas, com o colar visível, a medição aos dois dias depois da aplicação mensura apenas a magnitude da fitotoxicidade sobre as folhas que já estavam totalmente abertas na aplicação. Os sintomas de queima de folhas são visíveis com 24 a 48 horas após a aplicação. O aparecimento destes sintomas pode ser antecipado para poucas horas, quando as plantas estão submetidas à condição de ambiente quente e seco (Sawyer, 2001). Os principais sintomas visualizados nesta medição para as aplicações feitas a lanço são o bronzeamento e o esbranquiçamento de folhas, principalmente nos bordos foliares. Estes sintomas reduzem a atividade fotossintética das folhas e podem trazer prejuízos ao rendimento de grãos, uma vez que a ocorrência da fitotoxicidade se dá durante o início do período de diferenciação do potencial produtivo da cultura do milho.

Tabela 15 - Área foliar verde planta<sup>-1</sup> e percentagem de área foliar necrosada em relação à área foliar total aos dois dias após a cobertura com nitrogênio (N), em função da fonte, da época e do método de aplicação de N, em milho. Lages, SC, 2008/09.

		Área foliar verde (cm <sup>2</sup> planta <sup>-1</sup> ) <sup>5/</sup>	Área foliar necrosada planta <sup>-1</sup> (%)
Fertilizante			
Uréia		1580 <sup>NS1/</sup>	0,3 <sup>NS1/</sup>
Nitrato de amônio		1522	0,1
Estádio de aplicação <sup>3/</sup>			
V5		439 b <sup>2/</sup>	0,3
V10		2264 a	0,1
Método de aplicação			
Na linha	Via sólida	1512 <sup>NS1/</sup>	0,0
	Via fluída	1601	0,1
A lanço	Sem umidade	1623	0,3
	Com umidade <sup>4/</sup>	1468	0,4

<sup>1/NS</sup> Diferenças não significativas pelo teste de Tukey (P<0,05).

<sup>2/</sup> Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

<sup>3/</sup> V5 – cinco folhas expandidas; V10 – dez folhas expandidas, segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993).

<sup>4/</sup> Folhas umedecidas com água, simulando a presença de orvalho, e posterior aplicação do fertilizante.

<sup>5/</sup> CV= 18,6%.

A área foliar total medida aos 10 dias depois da aplicação da adubação nitrogenada não foi afetada por nenhum dos fatores estudados. A área foliar quando as aplicações foram realizadas nos estádios V5 e V10 foram, respectivamente, 946 e 4.636 cm<sup>2</sup> planta<sup>-1</sup>. Estes valores incluem a soma da área foliar verde e da área foliar necrosada naqueles tratamentos em que foi detectado o efeito fitotóxico dos fertilizantes sobre a superfície foliar. A área foliar verde do milho mensurada aos 10 dias após a aplicação do N foi influenciada pelo estágio de aplicação e pela interação entre as fontes e os métodos de aplicação de N em cobertura. Na média das duas épocas de aplicação, verificou-se que o uso de nitrato de amônio em aplicações a lanço reduziu a área foliar verde, em comparação às aplicações de uréia (Tabela 16). Os maiores valores de área foliar verde para a cobertura com nitrato de amônio foram verificados quando este adubo foi aplicado no solo próximo às linhas de semeadura, pois este tratamento não gerou sintomas de fitotoxidez às folhas. A aplicação de nitrato de amônio a lanço, sem umidade sobre as folhas, aumentou o efeito fitotóxico. Esta forma de aplicação do nitrato de amônio reduziu em mais de 46% a área foliar verde, em relação ao tratamento em que ele foi aplicado granulado em faixa próximo à linha. A área foliar verde expandida dos dois até os 10 dias depois da aplicação do nitrato de amônio a lanço com umidade não diferiu

daquela obtida para o tratamento que não havia presença de umidade sobre as folhas. Isto indica que o nitrato de amônio apresenta potencial fitotóxico em ambas as situações, estando as plantas com as folhas umedecidas ou secas. A área foliar verde expandida dos dois até aos 10 dias depois da cobertura não foi influenciada pelo método de aplicação da uréia. Isto ocorreu porque o uso de uréia produziu menores danos à área foliar.

Tabela 16 - Área foliar verde planta<sup>-1</sup> de milho aos 10 dias após a aplicação de fertilizantes nitrogenados em cobertura em função da fonte e do método de aplicação de nitrogênio (N), na média de dois estádios fenológicos de aplicação. Lages, SC, 2008/09.

Método de aplicação		Área foliar verde (cm <sup>2</sup> planta <sup>-1</sup> ) <sup>3/</sup>	
		Nitrato de amônio	Uréia
Na linha	Via sólida	A 1242 a <sup>1/</sup>	A 1291 a
	Via fluída	AB 1100 a	A 1267 a
A lanço	Sem umidade	C 683 b	A 1293 a
	Com umidade <sup>2/</sup>	BC 940 b	A 1181 a

<sup>1/</sup>Médias antecedidas de mesma letra maiúscula na coluna e seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

<sup>2/</sup>Folhas umedecidas com água, simulando a presença de orvalho, e posterior aplicação do fertilizante.

<sup>3/</sup>CV= 18,4%.

O nitrato de amônio e a uréia ocasionaram necrose foliar quando aplicados a lanço em V5 (Tabela 17). A magnitude dos danos mensurados 10 dias após a aplicação neste estágio foi maior com o uso de nitrato de amônio do que da uréia. As aplicações a lanço de nitrato de amônio aumentaram a necrose foliar em V5 em aproximadamente 85%, em relação ao uso de uréia a lanço. Na cobertura nitrogenada realizada em V10, apenas a aplicação a lanço de nitrato de amônio provocou sintomas de queima e posterior morte de folhas. Os sintomas da fitotoxicidade ocasionada pela uréia aplicada a lanço restringiram-se ao esbranquiçamento e à necrose dos bordos foliares. A metodologia utilizada para definir uma folha necrosada restringiu-se às folhas com mais de 50% da área foliar morta, excluindo folhas que apresentassem apenas os sintomas supracitados, as quais compuseram a área foliar verde. Os sintomas de fitotoxicidade ocasionados pela uréia foram pouco persistentes e a área foliar pôde ser restabelecida nos estádios subseqüentes.

A presença de água na superfície foliar não aumentou os danos ocasionados às folhas pelas aplicações a lanço, independentemente da fonte ou do estágio de realização da cobertura nitrogenada. Isto contrariou a hipótese de que os efeitos fitotóxicos dos fertilizantes

ocorreriam apenas em condições de umidade sobre as folhas, ou de plantas com folhas umedecidas. Observou-se, especialmente para o nitrato de amônio, que a fitotoxicidade não está condicionada à presença de umidade sobre as folhas.

A aplicação de uréia e de nitrato de amônio próxima à linha de semeadura não provocou sintomas de queima e morte das folhas, tanto na forma líquida quanto na forma granulada. A fitotoxicidade depende do contato físico do fertilizante com a planta. Nicolai et al., (2006) relataram a ocorrência de injúrias provenientes do contato físico de sulfato de amônio com a superfície foliar do milho, em ensaio cujo objetivo foi avaliar o efeito da adubação nitrogenada em cobertura sobre a seletividade de herbicidas à cultura. Assim, naqueles tratamentos em que o contato não ocorreu, não houve redução de área foliar verde. Neste caso, possíveis perdas em produtividade e redução da eficiência de utilização do N estarão condicionadas apenas à saída de N do sistema de produção agrícola.

Tabela 17 - Área foliar necrosada planta<sup>-1</sup> de milho aos 10 dias após a aplicação do nitrogênio (N) em cobertura em função da fonte, do estágio fenológico e do método de aplicação. Lages, SC, 2008/09.

Método de aplicação		Área foliar necrosada (cm <sup>2</sup> planta <sup>-1</sup> ) <sup>4/</sup>			
		V5 <sup>2/</sup>		V10	
		Nitrato de amônio	Uréia	Nitrato de amônio	Uréia
Na linha	Via sólida	B 0 a <sup>1/</sup>	A 0 a	C 0 a	A 0 a
	Via fluída	B 0 a	A 0 a	C 10 a	A 0 a
A lanço	Sem umidade	A 216 a	A 47 b	A 833 a	A 0 b
	Com umidade <sup>3/</sup>	A 202 a	A 17 b	B 531 a	A 0 b

<sup>1/</sup>Médias antecedidas de mesma letra maiúscula na coluna e seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05), para cada estágio fenológico.

<sup>2/</sup>V5 – cinco folhas expandidas; V10 – dez folhas expandidas, segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993).

<sup>3/</sup>Folhas umedecidas com água, simulando a presença de orvalho, e posterior aplicação do fertilizante.

<sup>4/</sup>CV=58,6%.

A proporção de área foliar necrosada em relação à área foliar emitida dos dois aos 10 dias após a aplicação dos fertilizantes em cobertura foi afetada pela interação entre métodos e fontes de N (Tabela 18). Na média das duas épocas de aplicação, o uso de nitrato de amônio a lanço reduziu, em média, 39% a área foliar verde em relação à área foliar expandida dos dois aos 10 dias após a cobertura com N. Já as aplicações de uréia a lanço reduziram no máximo 3,8% da área foliar verde emitida neste período. As folhas afetadas foram aquelas que

compunham a parte mais externa do cartucho foliar e que acumularam maiores quantidades dos fertilizantes.

Tabela 18 - Percentagem da área foliar necrosada por planta em relação à área foliar emitida dos dois aos 10 dias após aplicação do N em cobertura, em função da fonte e do método de aplicação, na média de dois estádios fenológicos do milho. Lages, SC, 2008/09.

Método de Aplicação		Área foliar necrosada planta <sup>-1</sup> (%) <sup>3/</sup>	
		Nitrato de amônio	Uréia
Na linha	Via sólida	B 0 a <sup>1/</sup>	A 0 a
	Via fluída	B 0 a	A 0 a
A lanço	Sem umidade	A 44 a	A 3 b
	Com umidade <sup>2/</sup>	A 33 a	A 2 b

<sup>1/</sup>Médias antecedidas de mesma letra maiúscula nas colunas e seguidas de mesma letra minúscula nas linhas não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

<sup>2/</sup>Folhas umedecidas com água, simulando a presença de orvalho, e posterior aplicação do fertilizante.

<sup>3/</sup>CV= 92,5%.

Utilizando-se a proporção da área foliar necrosada em relação à área total que a planta emitiu desde a emergência, não se detectou efeito significativo da época de aplicação do fertilizante (Tabela 19). Considerando-se os valores médios das coberturas realizadas em V5 e V10, o efeito tóxico do nitrato de amônio aplicado a lanço reduziu a área foliar em mais de 15%, aos 10 dias após a aplicação. No caso da uréia, a percentagem de área foliar necrosada foi, no máximo, de 2,2% nas aplicações a lanço.

Tabela 19 - Percentagem de área foliar necrosada planta<sup>-1</sup> de milho em relação à área foliar total emitida desde a emergência, em função da fonte e do método de aplicação de nitrogênio (N), na média de dois estádios fenológicos. Lages, SC, 2008/2009.

Método de aplicação		Área foliar necrosada planta <sup>-1</sup> (%) <sup>3/</sup>	
		Nitrato de Amônio	Uréia
Na linha	Via sólida	B 0 a <sup>1/</sup>	A 0 a
	Via fluída	B 0 a	A 0 a
A lanço	Sem umidade	A 20 a	A 2 b
	Com umidade <sup>2/</sup>	A 17 a	A 1 b

<sup>1/</sup>Médias antecedidas de mesma letra maiúscula na coluna e seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

<sup>2/</sup>Folhas umedecidas com água, simulando a presença de orvalho, e posterior aplicação do fertilizante.

<sup>3/</sup>CV=94,9.



A área foliar acumulada 30 dias após a aplicação dos fertilizantes nitrogenados em V5 e V10 foi de 4.266 e 9.418 cm<sup>2</sup>, respectivamente, na média de fontes e métodos de aplicação. A área foliar verde emitida dos 10 aos 30 dias demonstrou, que na aplicação realizada em V5, não houve mais efeitos de fitotoxidez nas folhas novas ocasionados pelas aplicações a lanço, especialmente de nitrato de amônio (Tabela 20). Já, na aplicação realizada em V10 ainda detectou-se efeito fitotóxico do nitrato de amônio, reduzindo a área foliar verde em relação ao uso de uréia a lanço (Tabela 20). Isto provavelmente ocorreu porque em V10 o cartucho do milho está mais desenvolvido, permitindo que haja maior acúmulo de fertilizante com a aplicação a lanço sobre o dossel, acarretando em maior área foliar necrosada nestes tratamentos (Tabela 20). A medição realizada nesta data demonstrou que mais de 500 cm<sup>2</sup> de folhas estavam necrosadas devido ao uso de nitrato de amônio a lanço. Isto evidencia que a capacidade de regeneração da área foliar foi menor quando se utilizou nitrato de amônio a lanço em V10.

Tabela 20 - Área foliar verde e necrosada por planta de milho aos 30 dias após a aplicação dos fertilizantes nitrogenados em cobertura, em dois estádios fenológicos, em função da fonte e do método de aplicação de nitrogênio (N) em cobertura. Lages, SC, 2008/09.

Método de aplicação		Área foliar verde (cm <sup>2</sup> planta <sup>-1</sup> ) <sup>5/</sup>			
		V5 <sup>3/</sup>		V10	
		Nitrato de amônio	Uréia	Nitrato de amônio	Uréia
Na linha	Via sólida	3236 <sup>NS1/</sup>	3338 <sup>NS</sup>	4745 a <sup>2/</sup>	5040 a
	Via fluída	3483	3493	5180 a	4775 a
A lanço	Sem umidade	3106	3221	4004 b	4660 a
	Com umidade <sup>4/</sup>	3350	3275	3811 b	4949 a
Método de aplicação		Área foliar necrosada (cm <sup>2</sup> planta <sup>-1</sup> ) <sup>6/</sup>			
		V5 <sup>2/</sup>		V10	
		Nitrato de amônio	Uréia	Nitrato de amônio	Uréia
Na linha	Via sólida	0 <sup>NS1/</sup>	0 <sup>NS</sup>	0 a <sup>2/</sup>	0 a
	Via fluída	0	0	0 a	0 a
A lanço	Sem umidade	60	0	468 a	78 b
	Com umidade <sup>4/</sup>	0	0	547 a	0 b

<sup>1/NS</sup> Diferenças não significativas pelo teste de Tukey (P<0,05).

<sup>2/</sup> Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem significativamente, para cada estágio fenológico, pelo teste de Tukey. (P<0,05).

<sup>3/</sup> V5 – cinco folhas expandidas; V10 – dez folhas expandidas, segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993).

<sup>4/</sup> Folhas umedecidas com água, simulando a presença de orvalho, e posterior aplicação do fertilizante.

<sup>5/</sup> CV= 9,9%.

<sup>6/</sup> CV= 120,1%.

Utilizando-se a percentagem da área foliar necrosada em relação à área foliar emitida entre a cobertura até os 30 dias após verificou-se que as aplicações a lanço de nitrato de amônio necrosaram mais de 10% da área foliar emitida (Tabela 21). Já a aplicação de uréia a lanço reduziu menos de 2% da área foliar, nas aplicações feitas quando o milho se apresentava em V10.

Tabela 21 - Percentagem de área foliar necrosada planta<sup>-1</sup> em milho em relação à área foliar emitida entre a cobertura nitrogenada até os 30 dias após a aplicação, em função da fonte e do método de aplicação de nitrogênio (N), nos dois estádios fenológicos. Lages, SC, 2008/09.

Método de aplicação		Área foliar necrosada planta <sup>-1</sup> (%) <sup>5/</sup>			
		V5 <sup>3/</sup>		V10	
		Nitrato de amônio	Uréia	Nitrato de amônio	Uréia
Na linha	Via sólida	0 <sup>NS1/</sup>	0 <sup>NS</sup>	0 a <sup>2/</sup>	0 a
	Via fluída	0	0	0 a	0 a
A lanço	Sem umidade	2	0	10 a	2 b
	Com umidade <sup>4/</sup>	0	0	13 a	0 b

<sup>1/NS</sup> Diferenças não significativas pelo teste de Tukey (P<0,05).

<sup>2/</sup> Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05), para cada estágio fenológico.

<sup>3/</sup> V5 – cinco folhas expandidas; V10 – dez folhas expandidas, segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993).

<sup>4/</sup> Folhas umedecidas com água, simulando a presença de orvalho, e posterior aplicação do fertilizante.

<sup>5/</sup> CV= 123,1%.

A partir da proporção da área foliar necrosada em relação à área foliar emitida desde a emergência verificou-se que, em ambas as épocas de aplicação, o uso de nitrato de amônio a lanço, na presença ou ausência de umidade sobre as folhas, foi mais fitotóxico que o de uréia (Tabela 22). Entretanto, a aplicação de nitrato de amônio a lanço, independentemente da presença de umidade sobre as folhas, foi mais prejudicial à área foliar quando aplicada em V10. Neste estágio, a proporção de área foliar morta em relação ao total emitido nos tratamentos em que o nitrato de amônio foi utilizado a lanço, foi cerca de 2,2 vezes maior do que em V5 (Tabela 22).

O maior efeito fitotóxico do nitrato de amônio em aplicações a lanço foi corroborado pela área foliar necrosada acumulada 30 dias depois da aplicação da cobertura nitrogenada (Tabela 23). Na aplicação realizada no estágio V5, os efeitos tóxicos do nitrato de amônio a lanço sobre a área foliar do milho foram sete vezes maiores do que os efeitos da uréia. Já em V10, os efeitos fitotóxicos do nitrato de amônio aplicado em V10 foram 30 vezes superiores aos efeitos da uréia a lanço. A menor capacidade de regeneração da área foliar observada em

V10 está provavelmente relacionada ao maior acúmulo de fertilizante sobre o cartucho foliar. Além disto, em V10, as folhas do cartucho estão mais expostas, recebendo maiores quantidades de adubo. Elas são maiores, em tamanho e largura, do que aquelas que recebem o acúmulo de fertilizante quando a planta está com cinco folhas expandidas

Tabela 22 - Proporção entre área foliar necrosada planta<sup>-1</sup> e área foliar total emitida planta<sup>-1</sup> desde a emergência do milho até os 30 dias após a aplicação da cobertura nitrogenada em função da fonte e do método de aplicação de nitrogênio (N) em dois estádios fenológicos. Lages, SC, 2008/09.

Método de aplicação		Área foliar necrosada planta <sup>-1</sup> (%) <sup>5/</sup>			
		V5 <sup>3/</sup>		V10	
		Nitrato de amônio	Uréia	Nitrato de amônio	Uréia
Na linha	Via sólida	0 a <sup>1/</sup>	0 a	0 a	0 a
	Via fluída	0 a	0 a	0 a	0 b
A lanço	Sem umidade	7 a	1 b	14 a	1 b
	Com umidade <sup>4/</sup>	5 a	1 b	12 a	0 b
Método de aplicação		Nitrato de amônio		Uréia	
		V5	V10	V5	V10
Na linha	Via sólida	B 0 a <sup>2/</sup>	B 0 a	A 0 a	A 0 a
	Via fluída	B 0 a	B 0 a	A 0 a	A 0 a
A lanço	Sem umidade	A 7 b	A 14 a	A 1 a	A 1 a
	Com umidade <sup>4/</sup>	A 5 b	A 12 a	A 1 a	A 0 a

<sup>1/</sup>Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05), para cada estágio fenológico.

<sup>2/</sup>Médias antecedidas de mesma letra maiúscula na coluna e seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

<sup>3/</sup>V5 – cinco folhas expandidas; V10 – dez folhas expandidas, segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993).

<sup>4/</sup>Folhas umedecidas com água, simulando a presença de orvalho, e posterior aplicação do fertilizante.

<sup>5/</sup>CV= 66,4%.

A área foliar verde no florescimento feminino foi influenciada pelas interações de fonte de N e método de aplicação, época de aplicação e método e época de aplicação e fonte de N. Neste estágio fenológico também se observou a maior toxicidade do nitrato de amônio à área foliar do milho. A aplicação de nitrato de amônio sem a presença de umidade sobre as folhas reduziu em mais de 15% a área foliar no florescimento em relação ao uso desta fonte aplicada via sólida próximo às linhas de semeadura, na média de dois estádios fenológicos de aplicação (Tabela 24). A menor área foliar no florescimento para este tratamento deveu-se à fitotoxicidade foliar. A uréia aplicada a lanço mostrou-se menos fitotóxica do que o nitrato de amônio, independentemente da presença de umidade sobre as folhas. Não se detectou diferença entre os métodos testados em relação à área foliar verde no florescimento para esta fonte, independentemente do estágio fenológico de aplicação da cobertura nitrogenada. Contudo, deve-se ressaltar que o híbrido simples utilizado (AS 1570) apresentou folhagem

exuberante. Assim, mesmo em condições que propiciaram redução da área foliar, ele chegou ao florescimento com mais de 8.700 cm<sup>2</sup> de folhas verdes por planta em todos os tratamentos.

Tabela 23 - Área foliar necrosada acumulada planta<sup>-1</sup> em milho aos 30 dias após a aplicação da cobertura nitrogenada em função da fonte, do estágio fenológico e do método de aplicação de nitrogênio (N). Lages, SC, 2008/09.

Método de aplicação		Área foliar necrosada (cm <sup>2</sup> planta <sup>-1</sup> ) <sup>5/</sup>			
		V5 <sup>3/</sup>		V10	
		Nitrato de amônio	Uréia	Nitrato de amônio	Uréia
Na linha	Via sólida	0 a <sup>1/</sup>	0 a	0 a	0 a
	Via fluída	0 a	0 a	10 a	0 a
A lanço	Sem umidade	276 a	47 b	1301 a	78 b
	Com umidade <sup>4/</sup>	202 a	17 b	1078 a	0 b
Método de aplicação		Nitrato de amônio		Uréia	
		V5	V10	V5	V10
Na linha	Via sólida	B 0 a <sup>2/</sup>	C 0 a	A 0 a	A 0 a
	Via fluída	B 0 a	C 9,5 a	A 0 a	A 0 a
A lanço	Sem umidade	A 276 b	A 1301 a	A 47 a	A 78 a
	Com umidade <sup>4/</sup>	A 202 b	B 1078 b	A 17 a	A 0 a

<sup>1/</sup>Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05), para cada estágio fenológico.

<sup>2/</sup>Médias antecedidas de mesma letra maiúscula e seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05), para cada fonte de N.

<sup>3/</sup>V5 – cinco folhas expandidas; V10 – dez folhas expandidas, segundo escala proposta por Ritchie et al (1993)

<sup>4/</sup>Folhas umedecidas com água, simulando a presença de orvalho, e posterior aplicação do fertilizante.

<sup>5/</sup>CV= 58,4%.

A aplicação da cobertura nitrogenada em V5 propiciou maior área foliar verde no florescimento que a em V10, independentemente do método e da fonte de N utilizada (Tabela 24). Além da menor capacidade de regeneração da área foliar para aqueles tratamentos que foram adubados com nitrato de amônio a lanço, as aplicações de N em V10 já não auxiliam mais na diferenciação de novas folhas e podem ser tardias para aumentar o crescimento foliar. A diferenciação do primórdio floral masculino ocorre quando a planta está com cinco a seis folhas totalmente expandidas (RITCHIE et al., 1993) e, a partir deste momento, todas as folhas já estão diferenciadas. Aplicações de N depois após estágio não influenciam mais o número de folhas. Além disso, o processo de senescência natural decorrente de aplicações tardias de N é acelerado e reduz a área foliar fotossinteticamente ativa no florescimento.

Tabela 24 - Área foliar verde planta<sup>-1</sup> no florescimento em função da fonte de nitrogênio (N), do estágio fenológico e do método de aplicação de cobertura nitrogenada. Lages, SC, 2008/09.

Método de aplicação		Área foliar verde (cm <sup>2</sup> planta <sup>-1</sup> ) <sup>4/</sup>	
		Fertilizante	
		Nitrato de amônio	Uréia
Na linha	Via sólida	A 10.409 a <sup>1/</sup>	A 10.403 a
	Via fluída	A 10.339 a	A 10.627 a
A lanço	Sem umidade	B 8.744 b	A 10.342 a
	Com umidade <sup>3/</sup>	AB 9.662 b	A 10.579 a
Método de aplicação		Estádio de aplicação <sup>2/</sup>	
		V5	V10
Na linha	Via sólida	A 10.854 a <sup>1/</sup>	AB 9.960 b
	Via fluída	A 10.921 a	A 10.005 b
A lanço	Sem umidade	A 10.491 a	C 8.594 b
	Com umidade <sup>3/</sup>	A 11.288 a	BC 8.953 b
Época de Aplicação		Fertilizante	
		Nitrato de amônio	Uréia
V5		A 10.802 a <sup>1/</sup>	A 10.975a
V10		B 8.775 b	B 10.001a

<sup>1/</sup>Médias antecedidas de mesma letra maiúscula na coluna e seguidas de mesma minúscula na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

<sup>2/</sup>V5 – cinco folhas expandidas, V10 – dez folhas expandidas, segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993).

<sup>3/</sup>Folhas umedecidas com água, simulando a presença de orvalho, e posterior aplicação do fertilizante.

<sup>4/</sup>CV=7,9%.

O método de aplicação de N em cobertura não influenciou a área foliar verde no florescimento quando a cobertura nitrogenada foi realizada em V5, independentemente da fonte de N (Tabela 24). Este fato provavelmente está relacionado às folhas que estavam expostas nas aplicações nesse estágio. O contato físico e o dano do fertilizante aplicado a lanço ocorrem nas primeiras folhas da planta, incluindo aquelas do cartucho que ainda não estavam expostas. É provável que, no florescimento, estas folhas já tivessem senescido naturalmente, independentemente do manejo da cobertura nitrogenada. Por outro lado, nas aplicações realizadas em V10, provavelmente as folhas que senesceram naturalmente não foram as mesmas afetadas pelo dano fitotóxico. Isto fez com que as aplicações a lanço, sem presença de umidade nas folhas, maximizassem a redução na área foliar verde no florescimento (Tabela 24). Apenas na aplicação feita em V10, o nitrato de amônio propiciou menor área foliar verde do que a uréia, na média dos métodos de aplicação (Tabela 24).

Em todas as avaliações de área foliar realizadas, o nitrato de amônio foi mais fitotóxico, quando utilizado em aplicações a lanço (Figura 15). Esta informação corrobora as de outros autores que verificaram que a uréia é a fonte de N de menor potencial causador de fitotoxidez (POOLE et al., 1983; ROSOLEM e BOARETTO, 1989). O maior potencial

fitotóxico de nitrato de amônio é atribuído ao fato de que este fertilizante é mais salino e com partículas mais finas que a uréia. O índice salino do nitrato de amônio é igual a 105%, ao passo que o da uréia é 75,4% (MALAVOLTA, 1981). Quando se faz a relação entre o índice salino do fertilizante e a concentração de N, obtém-se um valor igual a 3,2 para o nitrato de amônio, o qual é o dobro do valor da uréia (FERTILIZER TECHNOLOGY, 2005). Assim, para uma determinada dose de N, dobra-se a quantidade de sais solúveis aplicados.

O índice salino mensura tanto a concentração de sais no solo quanto o aumento do potencial osmótico da solução. É usado para computar as solubilidades dos componentes químicos utilizados nos fertilizantes. Os valores deste índice são calculados em relação ao nitrato de sódio, cujo índice salino é igual a 100%. Estes sais quando solubilizados, dentro ou fora das células, podem danificar a planta, pois matam o tecido foliar. Quando em excessiva quantidade no solo (SANGOI et al., 2009) ou muito próximos do sistema radicular (SCHRÖDER et al., 1996; SOUZA et al., 2007), podem matar as raízes. Fertilizantes com alto índice salino causam murcha ou morte de plantas porque a alta afinidade dos componentes pela água leva à desidratação do tecido da planta. Os solutos dissolvidos sobre as folhas reduzem o potencial osmótico e o potencial hídrico na interface atmosférica entre folha e adubo. Assim, o excesso de solutos dissolvidos leva à perda de turgescência das células da folhas. Além disso, ocorre ruptura da integridade de membranas, produção de moléculas tóxicas como espécies de oxigênio reativo e morte celular (TAIZ e ZEIGER, 2009). Os menores índices salinos oferecem menor risco de injúrias às plantas (SWIFT, 2004). Este índice tem sido utilizado para avaliar o potencial de queima em várias culturas. Ele também classifica os fertilizantes, caracterizando aqueles que provavelmente causarão maior injúria foliar (FERTILIZER TECHNOLOGY, 2005).

A característica do nitrato de amônio de ser mais finamente moído que a uréia provavelmente potencializa o maior efeito salino deste fertilizante, já que aumenta a solubilidade do mesmo e permite que a desidratação do tecido seja mais rápida. Além disso, as partículas menores de nitrato de amônio ficam mais aderidas à superfície foliar. Além disso, a solubilização do nitrato de amônio é mais rápida por ser apenas de natureza química, enquanto a solubilização da uréia depende da atividade de ureases presentes no tecido foliar, ou seja, a solubilização da uréia é de natureza química e biológica. As ureases são enzimas necessárias para a realização da hidrólise da uréia.



Figura 15 - Sintomas de fitotoxicidade ocasionados pelas aplicações a lanço de uréia (a direita) e nitrato de amônio (a esquerda).  
Fotos de propriedade do autor.

Assim, verifica-se que os efeitos tóxicos ocasionados pela uréia, tais como toxidez por  $\text{NH}_3$  (ERNANI et al., 2005; OUYANG et al., 1998) e quebra do gradiente eletroquímico (TAIZ e ZEIGER, 2009), absorção excessiva de uréia (KROGMEIER et al., 1989; VOSS e KILLORN, 1996) ou absorção excessiva de biureto (MITHYANTHA et al., 1977; ABDEL-HAIDI et al., 1983; XUE et al., 2004) foram menores que os efeitos ocasionados pela alta salinidade sobre os tecidos que estiveram em contato físico com o nitrato de amônio. Apesar da uréia ser um sal com menor índice salino e seus danos à área foliar terem sido menores que os do nitrato de amônio, deve-se destacar que as aplicações a lanço deste fertilizante produziram sintomas de fitotoxicidade, tais como bronzeamento de folhas e queimaduras de bordas foliares.

#### 4.4.2 Estatura de planta e altura de inserção da espiga

A estatura de planta foi influenciada pela interação tripla entre fontes de N, estádios e métodos de aplicação (Tabela 25). As aplicações de N em V10 reduziram a estatura de planta em mais de 15 cm quando o nitrato de amônio foi aplicado a lanço, independentemente da presença de umidade sobre as folhas. O método de aplicação do nitrato de amônio não influenciou a estatura das plantas na cobertura em V5. Nas aplicações feitas com uréia, não houve efeito do método de aplicação sobre a estatura de planta, tanto em V5 quanto em V10.

As aplicações feitas em V5 propiciaram maior estatura de planta do que as feitas em V10, quando uréia e nitrato de amônio foram aplicados de forma líquida na linha ou a lanço sem água. As aplicações em V10 permitem acumular maior quantidade de fertilizante no cartucho foliar, pois o mesmo tem maior área. Assim, o efeito tóxico do nitrato de amônio provavelmente é potencializado. Além disso, as plantas são mais suscetíveis a efeitos tóxicos em estádios de desenvolvimento mais avançados, nos quais os entrenós da planta estão em fase de grande expansão. Com duas a três folhas, expandidas, o milho mostrou-se mais tolerante à fitotoxicidade ocasionada pelo nicossulfuron, um herbicida amplamente utilizado no manejo de invasoras, do que nos estádios V6-V8 (SIEGELIN, 1993; McMILLAN e BLACKSHAW, 1995; SPADER e VIDAL, 2001). Damião Filho et al. (1996) verificaram redução na estatura de alguns híbridos de milho submetidos a tratamentos com nicossulfuron nos estádios V5 a V7.

Comparando-se as fontes utilizadas, observou-se que quando a cobertura foi feita em V5, a uréia, aplicada a lanço com a presença de umidade sobre as folhas, reduziu a estatura da planta em relação ao uso do nitrato de amônio. Por outro lado, nas coberturas realizadas em V10, as aplicações a lanço de nitrato de amônio proporcionaram menor crescimento, em comparação ao uso da uréia. Voss e Killorn (1996) verificaram que o uso de UAN (urea-ammonium nitrate) em doses superiores a 90 lb de N/acre, em V3-V4, ou 60 lb de N/acre, em V6-V8, reduziu a estatura das plantas por várias semanas após a aplicação. O acúmulo de um fertilizante com alto índice salino no cartucho proporciona maiores possibilidades de contato físico com o meristema apical da planta, deixando esta região mais suscetível a danos. O efeito tóxico do fertilizante pode estar relacionado à inibição da divisão celular no ponto de crescimento ou à redução na elongação celular abaixo dele. Não é conhecido como esses efeitos pelo estresse do sal perturbam a divisão e a expansão celular, mas esses processos são modulados em condições salinas subletais (TAIZ e ZEIGER, 2009).

A altura de inserção da espiga foi afetada pelas interações entre fertilizantes e métodos de aplicação e estádios e métodos de aplicação (Tabela 25). O uso de nitrato de amônio diluído em água estimulou maior altura de inserção da espiga que a uréia, na média de duas épocas de aplicação. Os métodos de aplicação de nitrato de amônio afetaram a altura de inserção da espiga. A aplicação deste fertilizante liquefeito aumentou a altura de inserção da espigas em relação às aplicações a lanço. Quando o fertilizante utilizado foi a uréia, o método de aplicação não interferiu na resposta da variável, na média das duas épocas de aplicação.



Tabela 25 - Estatura de planta e altura de inserção de espiga do milho em função da fonte, do estágio e do método de aplicação da cobertura nitrogenada. Lages, SC, 2008/09.

Método de aplicação		Estatura de planta (cm) <sup>5/</sup>			
		Nitrato de amônio		Uréia	
		V5 <sup>3/</sup>	V10	V5	V10
Na linha	Via sólida	A 302 a <sup>2/</sup>	A 296 a	A 299 a	A 298 a
	Via fluída	A 308 a	A 296 b	A 306 a	A 288 b
A lanço	Com umidade <sup>4/</sup>	A 306 a	B 280 b	A 294 a	A 293 a
	Sem umidade	A 309 a	B 272 b	A 303 a	A 287 b
		V5		V10	
Método de aplicação		Nitrato de amônio	Uréia	Nitrato de amônio	Uréia
Na linha	Via sólida	302 a <sup>1/</sup>	299 a	296 a	298 a
	Via fluída	308 a	306 a	296 a	288 a
A lanço	Com umidade <sup>4/</sup>	306 a	294 b	280 b	293 a
	Sem umidade	309 a	303 a	272 b	287 a
		Altura de inserção da espiga (cm) <sup>6/</sup>			
Método de aplicação		Nitrato de amônio		Uréia	
Na linha	Via sólida	AB 150 a		A 145 a	
	Via fluída	A 152 a		A 143 b	
A lanço	Com umidade <sup>4/</sup>	BC 142 a		A 145 a	
	Sem umidade	C 139 a		A 143 a	
		V5		V10	
Na linha	Via sólida	A 148 a		A 146 a	
	Via fluída	A 154 a		AB 141 b	
A lanço	Com umidade <sup>4/</sup>	A 149 a		AB 139 b	
	Sem umidade	A 149 a		B 134 b	

<sup>1/</sup>Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05), para a mesma fonte de N.

<sup>2/</sup>Médias antecedidas de mesma letra maiúscula na coluna e seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

<sup>3/</sup>V5 – cinco folhas expandidas; V10 – dez folhas expandidas, segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993).

<sup>4/</sup>Folhas umedecidas com água, simulando a presença de orvalho, e posterior aplicação do fertilizante.

<sup>5/</sup>CV= 2,8%

<sup>6/</sup>CV= 4,3%

A aplicação dos fertilizantes nitrogenados a lanço em V5 propiciou maiores alturas de inserção da espiga do que em V10 em todos os métodos de aplicação, com exceção do fertilizante na linha (Tabela 25). O método não interferiu na resposta da variável no estágio de cinco folhas expandidas, independentemente da fonte de N. Já em V10, a aplicação do fertilizante nitrogenado na linha de semeadura aumentou a altura de inserção da espiga em, aproximadamente, 9% em relação às aplicações a lanço, sem umidade, na média das duas fontes de N.

#### 4.4.3 Fenologia da cultura

O ciclo total do milho foi de 160 dias e não foi afetado pelos fatores testados. Já, o subperíodo emergência-pendoamento oscilou de acordo com a interação entre estágio e método de aplicação da cobertura nitrogenada. A aplicação do fertilizante nitrogenado na linha de semeadura em V5 reduziu a duração deste subperíodo em relação à aplicação das fontes de N a lanço na presença de água sobre as folhas (Tabela 26). Os danos oriundos do contato físico dos fertilizantes e o ponto de crescimento podem ter retardado a diferenciação do primórdio floral masculino, que ocorre quando o milho está com cinco a sete folhas expandidas (RITCHIE et al., 1993). A presença de umidade sobre as folhas pode ter sido um facilitador do contato dos sais com o ponto de crescimento do milho. Os métodos de aplicação não interferiram na duração do subperíodo emergência-antese quando a cobertura nitrogenada foi realizada em V10. Neste estágio, a diferenciação do primórdio floral masculino já ocorreu e os danos da aplicação inadequada de fertilizantes sobre o desenvolvimento do pendão são menos prováveis. Observou-se redução de dois dias na duração deste subperíodo quando a adubação foi feita em V10, em relação à feita em V5, para a aplicação do N a lanço com umidade sobre as folhas. O dano proporcionado em V5 ao ponto de crescimento pode ser o principal responsável por esta defasagem em função das épocas de aplicação.

O subperíodo emergência-espigamento foi alterado pelo método de aplicação do N (Tabela 26). A aplicação dos fertilizantes sólidos na linha reduziu a duração deste subperíodo, em relação à aplicação a lanço na presença de umidade sobre as folhas. O aumento da concentração de sais sobre as folhas e o seu contato com as gemas axilares, facilitado pela presença de umidade, pode ter retardado o desenvolvimento das mesmas, independentemente da época de aplicação do fertilizante. Entretanto, nenhum dos fatores testados afetou significativamente a sincronia entre os florescimentos masculino e feminino, que oscilou entre quatro a cinco dias (dados não mostrados).

Tabela 26 - Duração de subperíodos fenológicos em milho, em função dos estádios e dos métodos de aplicação da cobertura nitrogenada. Lages, SC, 2008/09.

Método de aplicação		Emergência – pendoamento (dias) <sup>4/</sup>	
		V5 <sup>2/</sup>	V10
Na linha	Via sólida	B 81 a <sup>1/</sup>	A 82 a
	Via fluída	AB 82 a	A 82 a
A lanço	Com umidade <sup>3/</sup>	A 83 a	A 81 b
	Sem umidade	AB 82 a	A 81 a
Método de aplicação		Emergência – espigamento (dias) <sup>5/</sup>	
Na linha	Via sólida	B 84	
	Via fluída	AB 85	
A lanço	Com umidade <sup>3/</sup>	A 87	
	Sem umidade	AB 86	

<sup>1/</sup>Médias antecedidas de mesma letra maiúscula na coluna e seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

<sup>2/</sup>V5 – cinco folhas expandidas; V10 – dez folhas expandidas, segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993).

<sup>3/</sup>Folhas umedecidas com água, simulando a presença de orvalho, e posterior aplicação do fertilizante.

<sup>4/</sup>CV= 1,2%.

<sup>5/</sup>CV= 2,7%.

#### 4.4.4 Rendimento de grãos, componentes do rendimento e eficiência agrônômica do nitrogênio

O rendimento de grãos foi afetado pela interação entre fonte de N e método de aplicação. Nas aplicações realizadas na linha de semeadura, tanto na forma sólida quanto na forma diluída em água, as duas fontes se equivaleram em termos de rendimento, independentemente da época de aplicação (Tabela 27). Apesar das condições climáticas, no momento da aplicação, favorecerem a volatilização de NH<sub>3</sub> produzida após a hidrólise da uréia no tratamento em que esta fonte foi aplicada na forma sólida, o nitrato de amônio não foi mais eficiente. É provável que a precipitação que ocorreu nos dias subsequentes à aplicação da cobertura e a umidade adequada do solo tenham reduzido as perdas por volatilização da uréia. A média dos tratamentos aplicados na linha foi superior a 11.800 kg ha<sup>-1</sup>.

O rendimento de grãos na testemunha sem N na cobertura foi igual a 8.230 kg ha<sup>-1</sup>, 31% menor do que nos tratamentos aplicados próximos à linha de semeadura, via sólida e via fluída, na média das duas fontes de N e duas épocas de aplicação. Este valor é corroborado por outros autores que determinaram uma faixa de redução entre 14,5 e 55,4% no rendimento de grãos (PRESTERL et al., 2003; FERRO et al., 2007; LIU et al., 2008) do milho pela supressão da cobertura nitrogenada. Borges et al. (2006), avaliando duas fontes de N (sulfato de amônio e uréia), numa dose de 140 kg ha<sup>-1</sup> de N aplicadas em filetes a 20 cm da linha, não

detectaram diferenças entre as fontes, tanto no sistema de semeadura direta quanto no sistema convencional. A aplicação dos fertilizantes nitrogenados próximos às linhas de semeadura do milho não ocasionam fitotoxicidade foliar e, por isso não interferiram na produtividade de grãos.

Tabela 27 - Rendimento de grãos de milho em função da fonte e do método de aplicação de nitrogênio em cobertura, na média de dois estádios fenológicos de aplicação. Lages, SC, 2008/2009.

Fonte de N	Método de aplicação			
	Na linha		A lanço	
	Via sólida	Via fluída	Sem umidade	Com umidade <sup>2/</sup>
Rendimento de grãos (kg ha <sup>-1</sup> ) <sup>3/</sup>				
Uréia	A 12.030 a <sup>1/</sup>	A 11.699 ab	A 11.410 ab	A 11.067 b
Nitrato	A 11.785 a	A 11.863 a	B 10.298 b	B 10.116 b

<sup>1/</sup> Médias seguidas por mesma letra minúscula na linha e antecedidas por mesma letra maiúscula na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P < 0,05).

<sup>2/</sup> Folhas umedecidas com água, simulando a presença de orvalho, e posterior aplicação do fertilizante.

<sup>3/</sup> CV=5,5%.

Nas aplicações a lanço, o rendimento de grãos obtido com o uso da uréia foi maior do que o registrado com a aplicação de nitrato de amônio, tanto na presença quanto na ausência de umidade sobre as folhas. Na média das épocas de aplicação e dos dois métodos de fertilização a lanço, a produtividade obtida quando o fertilizante utilizado foi a uréia foi 10,1% superior àquela obtida com a utilização do nitrato de amônio. Apesar da maior possibilidade de perda de N da uréia por volatilização, o rendimento foi mais afetado pela fitotoxicidade ocasionada pelo nitrato de amônio. O nitrato de amônio tem maior índice salino que a uréia, o que ocasionou maior efeito fitotóxico às folhas do milho, mesmo quando não se tinha umidade sobre as folhas. A redução de área foliar provocada pela desidratação e morte do tecido observada nos tratamentos em que o nitrato de amônio foi utilizado a lanço, favoreceu o decréscimo no rendimento de grãos. Com menor área foliar, há menor interceptação da radiação fotossinteticamente ativa. Isto reduz o metabolismo e a produção de fotoassimilados, visto que a fonte de produção e remobilização de açúcares está prejudicada. Além disso, o fertilizante tende a acumular-se principalmente na região central da folha e necrosa principalmente a nervura central, comprometendo a remobilização de açúcares, mesmo em folhas que tenham menor área foliar necrosada.

A aplicação da uréia a lanço quando as folhas foram umedecidas, simulando a presença de orvalho, reduziu o rendimento de grãos, quando comparada ao uso desta fonte de N aplicada em filetes na linha, sem diluí-la em água. A aplicação de uréia sobre a superfície foliar úmida não é recomendada, apesar de alguns sistemas de produção a utilizarem para maximizar a operacionalização da lavoura. A uréia pode ocasionar sintomas fitotóxicos já que também é um sal e a solubilização mais rápida deste, devido a presença de umidade sobre a superfície foliar, provoca desidratação do tecido pelo aumento da pressão osmótica extracelular, influenciando a saída de água das células, o rompimento de membranas, a produção de moléculas tóxicas como espécies de oxigênio reativo e a morte celular (TAIZ e ZEIGER, 2009). A presença de umidade sobre as folhas permite que os grânulos de uréia fiquem mais aderidos às folhas em comparação à ausência de umidade sobre as folhas. Apesar de não ter ocorrido diferenças nas mensurações de área foliar para nenhum dos métodos de aplicação de uréia em cobertura, visto que o método utilizado quantificava a área foliar apenas quando os danos eram superiores a 50% da superfície da folha, é provável que os danos pela aplicação de uréia na presença de umidade tenham interferido na superfície foliar necrosada, sem ter necrosado por completo as folhas. Além disso, Voss e Killorn (1996) inferem que o acúmulo de uréia sobre as folhas de milho pode levar a absorção de quantidades excessivas de uréia, sendo também tóxico. Volk e McAuliffe (1954) mostraram que a absorção de uréia pelas folhas é mais rápida na presença de umidade sobre a superfície foliar. Tem-se também demonstrado que as queimaduras foliares observadas após a fertilização foliar com uréia em soja, que freqüentemente estão acompanhadas de redução no rendimento de grãos, resultam do acúmulo de quantidades tóxicas de uréia nas folhas, antes que se dê a hidrólise da uréia pelas ureases do tecido vegetal (KROGMEIER et al., 1989; BREMNER, 1995). Soma-se a estas informações, que a aceleração da hidrólise da uréia sobre o tecido foliar, provocada pela presença de umidade, provavelmente aumenta as possibilidades por toxidez de  $\text{NH}_3$ . Após a hidrólise da uréia, intermediada por ureases, a amônia é absorvida. Quando em altas concentrações no tecido foliar, ela pode provocar a quebra do gradiente eletroquímico e eliminar a fotofosforilação oxidativa.

Outro fato que pode ter contribuído ao menor rendimento para a aplicação de uréia a lanço com umidade sobre as folhas, é a maior volatilização de  $\text{NH}_3$ . A uréia sobre as folhas fica mais exposta a perdas. Além disso, a presença de umidade acelera a hidrólise e as altas temperaturas subsequentes à aplicação dos tratamentos são fatores que predis põem a maiores perdas de N (BREMNER e MULVANEY, 1978).

A aplicação da uréia diluída em água na linha de semeadura não propiciou maior rendimento de grãos do que a uréia sólida. Esperava-se que a água carresse todo o N para dentro do perfil, o incorporasse ao solo e diminuísse o efeito do pH ao redor dos grânulos do adubo. O contato do fertilizante com o solo pode reduzir a velocidade da hidrólise e favorecer a adsorção do  $\text{NH}_4^+$  aos colóides do solo, minimizando as perdas de  $\text{NH}_3$ . A ausência de diferença na resposta no rendimento de grãos às formas de aplicação de uréia na linha pode estar relacionada à ocorrência de precipitações naturais nos dias subsequentes à aplicação dos tratamentos (Figura 1), que incorporaram a uréia dos tratamentos aplicados sobre a superfície, e ao uso de uma alta dose de N em cobertura ( $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de N). Além disso, perdas por volatilização também ocorrem com aplicação via líquida de uréia. Tasca (2009) encontrou, em ensaio de laboratório, que as maiores perdas de N por volatilização ocorreram quando a uréia foi aplicada via líquida na superfície do solo. A adição de água tem influência direta sobre a hidrólise e promove o aumento da difusão da uréia no solo. Consequentemente, ela propicia maior contato com a urease no solo (SAVANT et al., 1987).

Apesar da suscetibilidade da uréia à volatilização, infere-se que as diferenças obtidas no rendimento de grãos devam-se provavelmente aos maiores efeitos fitotóxicos à área foliar das aplicações a lanço, visto que não se observaram diferenças entre as fontes de N nas aplicações feitas na linha, em relação ao rendimento de grãos. As perdas também são reduzidas quando fontes nitrogenadas com formas de N menos susceptíveis à volatilização são usadas. Fontes de N como o nitrato de amônio não estão sujeitas a este tipo de perda em solos ácidos (CANTARELLA et al., 1999). Estes autores constataram que não houve perdas por volatilização mediante com o uso de nitrato de amônio. Costa et al. (2003) verificaram que a mistura de uréia + nitrato de amônio (uran) reduziu as perdas de N por volatilização e aumentou as produtividades de cana-de-açúcar em relação ao uso isolado de uréia, num Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arenoso.

As aplicações de nitrato de amônio na linha propiciaram maior rendimento de grãos do que aquelas em que ele foi aplicado a lanço, independentemente da presença de umidade sobre as folhas (Tabela 27). As aplicações deste fertilizante no solo, sem contato físico com a superfície foliar, não ocasionaram sintomas de fitotoxicidade, e aumentaram o rendimento de grãos em 10,3% em relação às aplicações a lanço. O contato físico do nitrato de amônio com as folhas do milho proporcionado pelas aplicações a lanço, independentemente da presença ou ausência de umidade, reduziu a área foliar (Tabela 24) e, provavelmente, a interceptação da radiação fotossinteticamente ativa pelas plantas. A menor contribuição de fotoassimilados reduziu o rendimento de grãos.

As produtividades obtidas nas aplicações a lanço de nitrato de amônio não diferiram significativamente, apesar do rendimento obtido no tratamento que havia presença de umidade sobre as folhas ser numericamente menor. Isso demonstra que o potencial fitotóxico do nitrato de amônio independe da presença de umidade sobre as folhas e traz prejuízos ao rendimento de grãos do milho. Isto contrariou a hipótese de que a maior solubilização do sal no tratamento que o fertilizante foi aplicado a lanço com umidade sobre as folhas causaria maiores danos. A ausência de resposta pode estar vinculada a rápida evaporação da umidade das folhas, já que as aplicações foram feitas próximas ao meio dia, em dias com temperaturas médias acima de 20°C. A assistência técnica recomenda evitar as aplicações a lanço desta fonte de N sobre as folhas orvalhadas. Esta recomendação se deve a alta concentração de sais do nitrato de amônio e também por ser mais finamente moído, o que aumenta as chances de retenção sobre as folhas e o potencial de dano. Quando em contato com a umidade sobre as folhas a dissolução química é mais rápida. Os dados obtidos no trabalho demonstram que a menor granulometria e a maior concentração de sais do nitrato de amônio são características que potencializam seu efeito tóxico, mesmo na ausência de água sobre as folhas.

Deve-se destacar que os tetos produtivos registrados no experimento foram elevados. A média geral foi de 11.283 kg ha<sup>-1</sup>, sendo superior em 327 e 217% à média nacional e estadual, respectivamente. Isto demonstra que apesar da fitotoxicidade registrada em alguns tratamentos, as condições edafoclimáticas, de manejo e da arquitetura de planta do híbrido utilizado propiciaram boa capacidade de regeneração da área foliar nos estádios subseqüentes (Tabela 24), o que redundou em rendimentos de grãos superiores a 10.000 kg ha<sup>-1</sup>.

A capacidade de regeneração da área foliar observada no florescimento pode ter limitado o efeito do estádio de aplicação do fertilizante sobre o rendimento de grãos. Apesar das aplicações em V5 terem propiciado maior capacidade de regeneração da área foliar e maior área foliar no florescimento do milho, em relação à aplicação de N em V10, não se detectou efeito significativo da época de aplicação do fertilizante no rendimento de grãos da cultura. A dimensão do aparato fotossintético do genótipo utilizado alcançou 10.138 cm<sup>2</sup> de folhas fisiologicamente ativas na floração por planta, na média de todos os tratamentos, sendo que as maiores e menores superfícies foliares foram 10.627 e 8.743 cm<sup>2</sup> planta<sup>-1</sup>. Além disso, vários trabalhos têm constatado falta de resposta do rendimento de grãos à época de aplicação de N, quando o milho é cultivado sobre solos com alto teor de matéria orgânica e disponibilidade de N (SANGOI e ALMEIDA, 1994; BAYER e MIELNICZUK, 1997; GIANELLO et al., 2000; GOMES et al., 2007) como o Nitossolo Vermelho distrófico utilizado no ensaio que apresenta teor de matéria orgânica superior a 50 g kg<sup>-1</sup>. Soma-se a

isto o efeito do uso do sistema plantio direto consolidado há 10 anos na área experimental. Este sistema eleva a quantidade de N potencialmente mineralizável do solo (SOUZA e MELO, 2000), proporcionando aumento nos seus teores totais nas camadas superficiais do solo (VARGAS e SCHOLLES, 1998) e redução da imobilização. Utilizando-se de uma concentração de N na matéria orgânica igual a 5% e uma taxa de mineralização de 2,5% (ERNANI, 2003) obtém-se que a disponibilidade anual de N ultrapassa 125 kg ha<sup>-1</sup>.

A percentagem de plantas sem espigas foi influenciada pelas interações entre fonte de N e método de aplicação e época e método de aplicação. Não houve diferença entre os fertilizantes nitrogenados quanto à percentagem de plantas sem espigas quando a aplicação foi feita na linha (Tabela 28). As aplicações de nitrato de amônio a lanço incrementaram o número de plantas sem espigas, em relação ao uso de uréia. A utilização de nitrato de amônio a lanço fez com que 12,7% das plantas do estande não apresentassem espigas na colheita, enquanto para a uréia este valor foi de 4,5%. O acúmulo de nitrato de amônio sobre as gemas axilares provavelmente afetou sua diferenciação e incrementou a esterilidade feminina das plantas. As gemas ficam posicionadas numa região da folha que garante maior acúmulo de fertilizantes. Com isso há maiores chances das mesmas não se desenvolverem. A presença de umidade sobre as folhas, quando a fonte de N foi o nitrato de amônio, aumentou o número de plantas sem espigas em relação à aplicação sem água. A água sobre as folhas facilita a descida do fertilizante acumulado, potencializando o efeito fitotóxico sobre as gemas. O método de aplicação não afetou a esterilidade feminina quando o fertilizante utilizado foi a uréia.

A cobertura com N em V10, na aplicação a lanço com umidade sobre as folhas, incrementou o número de plantas sem espigas, em comparação à aplicação realizada com este método quando o milho estava com cinco folhas expandidas. Ela reduziu em 12,9% o número de plantas com espigas, sendo que quando a aplicação foi feita em V5 a redução foi de 7,1%. Em V10, as gemas com maior possibilidade de diferenciar espigas estão mais expostas que quando a cobertura foi feita em V5. Por isto, elas foram mais afetadas pela fitotoxicidade dos fertilizantes nitrogenados, independentemente da fonte de N. A gema lateral que originará a espiga superior, transforma-se num primórdio floral entre V8 e V10 (SANGOI et al., 2007). A aplicação a lanço com umidade sobre as folhas em V10 aumentou a esterilidade feminina em comparação aos outros métodos, porque coincidiu com a diferenciação da gema axilar superior, localizada seis nós abaixo do meristema apical, num primórdio de espiga. Por outro lado, em V5 não se detectou efeito do método de aplicação do N sobre a esterilidade feminina.



Tabela 28 - Percentagem de plantas de milho sem espiga em função da fonte de N, do estágio e do método de aplicação da cobertura nitrogenada. Lages, SC, 2008/09.

Método de Aplicação		Plantas sem espiga (%) <sup>4/</sup>	
		Fertilizante	
		Nitrato de amônio	Uréia
Na linha	Via sólida	C 4,6 a <sup>1/</sup>	A 3,6 a
	Via fluída	C 4,3 a	A 5,3 a
A lanço	Sem umidade	B 9,8 a	A 4,5 b
	Com umidade <sup>2/</sup>	A 15,6 a	A 4,4 b
Método de Aplicação		Estádio de aplicação <sup>3/</sup>	
		V5	V10
Na linha	Via sólida	A 2,8 a <sup>1/</sup>	B 5,4 a
	Via fluída	A 5,8 a	B 3,9 a
A lanço	Sem umidade	A 6,7 a	B 7,6 a
	Com umidade <sup>2/</sup>	A 7,1 b	A 12,9 a

<sup>1/</sup> Médias antecedidas de mesma letra maiúscula na coluna e seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

<sup>2/</sup> Folhas umedecidas com água, simulando a presença de orvalho, e posterior aplicação do fertilizante.

<sup>3/</sup> V5 – cinco folhas expandidas; V10 – dez folhas expandidas, segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993).

<sup>4/</sup> CV= 53,1%.

O número de espigas produzidas por área foi afetado pelas interações entre fonte de N e método de aplicação e época e método de aplicação (Tabela 29). As aplicações a lanço de nitrato de amônio reduziram o número de espigas m<sup>-2</sup>, em relação à uréia utilizada desta forma. Esta redução deveu-se provavelmente à maior esterilidade feminina observada nos tratamentos que o nitrato de amônio foi aplicado a lanço (Tabela 28). O uso de uréia não alterou o número de espigas m<sup>-2</sup>, independentemente do método de aplicação.

A aplicação de N em cobertura a lanço com umidade sobre as folhas, quando a planta estava com 10 folhas expandidas, reduziu o número de espigas m<sup>-2</sup>, em relação à fertilização em V5 (Tabela 29). Quando o fertilizante foi adicionado em V5, detectou-se que a aplicação a lanço sem água nas folhas diminuiu este componente, em relação à adubação via sólida na linha. Já em V10, as aplicações a lanço com umidade sobre as folhas foram responsáveis pela maior redução do número de espigas por área, em comparação à fertilização na linha.

O número de grãos espiga<sup>-1</sup> foi influenciado pelo método de aplicação da cobertura nitrogenada. As aplicações a lanço, independentemente da presença de umidade sobre as folhas, reduziram este componente do rendimento, em comparação às aplicações na linha via sólida (Tabela 30).

Tabela 29 - Número de espigas por área de milho em função da fonte de N, do estágio e método de aplicação da cobertura nitrogenada. Lages, SC, 2008/09.

Método de Aplicação		Espigas m <sup>-2</sup> (nº) <sup>4/</sup>	
		Fertilizante	
		Nitrato de amônio	Uréia
Na linha	Via sólida	A 5,6 a <sup>1/</sup>	A 5,6 a
	Via fluída	A 5,6 a	A 5,6 a
A lanço	Sem umidade	B 5,2 b	A 5,6 a
	Com umidade <sup>2/</sup>	B 5,1 b	A 5,6 a
Método de Aplicação		Estádio de aplicação <sup>3/</sup>	
		V5	V10
Na linha	Via sólida	A 5,7 a <sup>1/</sup>	A 5,5 a
	Via fluída	A 5,6 ab	A 5,6 a
A lanço	Sem umidade	A 5,3 b	A 5,4 ab
	Com umidade <sup>2/</sup>	A 5,5 ab	B 5,2 b

<sup>1/</sup>Médias antecedidas de mesma letra maiúscula na coluna e seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

<sup>2/</sup>Folhas umedecidas com água, simulando a presença de orvalho, e posterior aplicação do fertilizante.

<sup>3/</sup>V5 – cinco folhas expandidas; V10 – dez folhas expandidas, segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993).

<sup>4/</sup>CV= 3,8%.

Tabela 30 - Número de grãos espiga<sup>-1</sup> de milho em função do método de aplicação da cobertura nitrogenada, na média de duas fontes de N e dois estádios fenológicos de aplicação. Lages, SC, 2008/2009.

Método de Aplicação		Grãos espiga <sup>-1</sup> (nº) <sup>3/</sup>
Na linha	Via sólida	667 a <sup>1/</sup>
	Via fluída	657 ab
A lanço	Sem umidade	627 b
	Com umidade <sup>2/</sup>	625 b

<sup>1/</sup> Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05), na média de duas fontes de N e dois estádios fenológicos de aplicação da cobertura nitrogenada.

<sup>2/</sup>Folhas umedecidas com água, simulando a presença de orvalho, e posterior aplicação do fertilizante.

<sup>3/</sup>CV=5,1%.

O número de grãos m<sup>-2</sup> é o componente que melhor explica as variações do rendimento de grãos do milho (ANDRADE et al., 1996). Esta variável comportou-se semelhantemente ao rendimento de grãos e foi influenciada pela interação entre fonte de N e métodos de aplicação (Tabela 31). Os valores observados oscilaram entre 3.177 a 3.797 grãos m<sup>-2</sup>. Nas aplicações próximas a linha, via sólida ou fluída, não houve diferenças entre os fertilizantes. Quando as aplicações foram realizadas a lanço, observou-se menor produção de grãos por área com uso do nitrato de amônio, independentemente da condição de umidade sobre as folhas. Na média dos tratamentos feitos a lanço, o número de grãos m<sup>-2</sup> obtido quando se utilizou a uréia foi 10% superior ao registrado quando se utilizou o nitrato de

amônio. O uso das duas fontes de N via sólida na linha proporcionou maior número de grãos  $m^{-2}$ , em relação às aplicações a lanço.

Tabela 31 - Número de grãos de milho produzidos por área ( $m^2$ ) em função da fonte de nitrogênio e do método de aplicação, na média de dois estádios fenológicos. Lages, SC, 2008/09.

Método de Aplicação		Grãos $m^{-2}$ ( $n^2$ ) <sup>3/</sup>	
		Fertilizante	
		Nitrato de amônio	Uréia
Na linha	Via sólida	A 3660 a <sup>1/</sup>	A 3797 a
	Via fluída	A 3659 a	AB 3652 a
A lanço	Sem umidade	B 3191 b	B 3545 a
	Com umidade <sup>2/</sup>	B 3177 b	B 3478 a

<sup>1/</sup>Médias antecedidas de mesma letra maiúscula na coluna e seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

<sup>2/</sup>Folhas umedecidas com água, simulando a presença de orvalho, e posterior aplicação do fertilizante.

<sup>3/</sup>CV= 5,2%.

A massa de mil grãos sofreu influência apenas do estágio de aplicação do N. Observou-se, na média das duas fontes e quatro métodos de aplicação de N, que a massa de mil grãos foi de 324 e 319 gramas para V5 e V10, respectivamente. A aplicação em V10 reduziu o peso médio dos grãos em aproximadamente 2%. Embora as diferenças numéricas tenham sido pequenas entre as épocas de aplicação do N, detectou-se diferença significativa em função do baixo coeficiente de variação (2,9%) denotado por esta variável.

A eficiência agrônômica do N (EAN) foi alterada pela interação entre fontes de N e métodos de aplicação e variou de 9,4 a 18,9 kg de grãos produzidos por kg de N proveniente dos fertilizantes. Não houve diferenças entre os fertilizantes nitrogenados quando os mesmos foram aplicados na linha (Tabela 32). Nas aplicações a lanço, a eficiência agrônômica do N proporcionada pelo uso de uréia foi maior que a do nitrato. A aplicação de uréia com umidade sobre as folhas reduziu a EAN em relação à aplicação via sólida na linha. Por outro lado, a fitotoxicidade oriunda das aplicações de nitrato de amônio a lanço, independentemente da umidade sobre as folhas, diminuiu a EAN, em relação à aplicação deste fertilizante na linha de semeadura. Muchow (1999) observou que a ocorrência de estresses na pós-emergência do milho e sorgo reduzem a EAN. A baixa EAN também se deveu à alta dose de N utilizada na cobertura. Geralmente, o aproveitamento pelo milho de N de fertilizantes minerais decresce com o aumento da dose aplicada. Isto se deve ao suprimento exceder as necessidades da cultura e às possíveis perdas de N, principalmente por lixiviação, volatilização e desnitrificação (LARA CABEZAS et al., 2000; CANTARELLA e DUARTE, 2004; SILVA

et al., 2006). Além disso, a eficiência de utilização de N é influenciada pelo sistema de cultivo, tipo de fertilizante, formas de manejo e condições edafoclimáticas (AMADO et al., 2002; FIGUEIREDO et al., 2005). Silva et al. (2006) verificaram que o aproveitamento do N proveniente do fertilizante, em estudo utilizando  $^{15}\text{N}$ , decresceu com o incremento das doses de N aplicadas, em três sistemas de cobertura de solo utilizados. Souza et al. (2008), avaliando híbridos e combinações de genótipos de milho, também verificaram que a eficiência de uso do nitrogênio (EUN), como produto da eficiência de absorção e de utilização de N, foi menor em ambientes de alto suprimento de N, em relação aos de baixo suprimento. Estes estudos corroboram os valores da EAN.

Diante da menor eficiência agronômica de utilização do nitrato de amônio em relação à uréia, ambos fertilizantes em aplicações a lanço, pode-se restringir a utilização do nitrato de amônio neste tipo de aplicação. O nitrato de amônio apresenta grande potencial fitotóxico quando distribuído a lanço, diminuindo o rendimento de grãos e a EAN, e apresenta maior preço por unidade de N que a uréia. Atualmente a unidade de N oriunda do nitrato de amônio custa 20% mais cara que aquela proveniente da uréia (MACROFERTIL, 2010). Assim, a utilização deste fertilizante sobre o dossel, preferida em situações de maior risco de perdas por volatilização, traz prejuízos diretos ao desempenho agronômico do milho e, diante dos resultados do presente trabalho, a sua utilização a fim de controlar perdas por volatilização de N em regiões mais frias e com precipitações bem distribuídas é ser desnecessária.

Tabela 32 - Eficiência agronômica do nitrogênio em função da fonte e do método de aplicação da cobertura nitrogenada, na média de dois estádios fenológicos, em milho. Lages, SC, 2008/09.

Método		EAN ( $\text{kg kg}^{-1}$ ) <sup>3/</sup>	
		Nitrato de amônio	Uréia
Na linha	Via sólida	A 17,8 a <sup>1/</sup>	A 18,9 a
	Via fluída	A 18,2 a	AB 17,4 a
A lanço	Sem umidade	B 10,3 b	AB 15,9 a
	Com umidade <sup>2/</sup>	B 9,4 b	B 14,2 a

<sup>1/</sup>Médias antecedidas de mesma letra maiúscula na coluna e seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P,0,05).

<sup>2/</sup>Folhas umedecidas com água, simulando a presença de orvalho, e posterior aplicação do fertilizante.

<sup>3/</sup>CV= 20,4%.

#### 4.4.5 Nitrogênio recuperado nos grãos e eficiência de recuperação do nitrogênio fertilizante nos grãos

A quantidade de N proveniente do fertilizante nitrogenado recuperado nos grãos e a eficiência de recuperação do N fertilizante nos grãos (ERNFG) foram afetadas pela interação tripla entre fontes de N, épocas e métodos de aplicação da cobertura nitrogenada (Tabelas 33 e 34). A quantidade recuperada nos grãos oscilou entre 34,1 e 83,4 kg ha<sup>-1</sup> de N, descontando-se a quantidade de N acumulada no tratamento testemunha, que não recebeu N em cobertura, que foi de 81,4 kg ha<sup>-1</sup>. A aplicação de nitrato de amônio a lanço, quando o milho estava com 10 folhas expandidas, reduziu em mais de 50% a quantidade recuperada deste nutriente nos grãos em relação à aplicação fluída do fertilizante no solo próxima às linhas de semeadura (Tabela 33). A baixa recuperação de N é indicativa de baixa absorção e assimilação desse nutriente. Isto pode explicar as menores produtividades de grãos obtidas nos tratamentos em que o nitrato de amônio foi aplicado a lanço. A fitotoxicidade nas folhas provavelmente reduziu a quantidade de N assimilada e sua translocação aos grãos na aplicação realizada em V10. Quando o fertilizante foi aplicado em V5 não se observou esta resposta, não havendo diferenças significativas entre métodos de aplicação do nitrato de amônio. A fertilização com nitrato de amônio a lanço com umidade sobre as folhas foi mais prejudicial à recuperação do N nos grãos em V10 que em V5, provavelmente por ter reduzido mais a área foliar do milho neste estágio, reduzindo a produtividade.

Comparando-se o efeito dos fertilizantes, observou-se que o uso de nitrato de amônio a lanço com umidade sobre as folhas reduziu em, aproximadamente, 53% a quantidade de N recuperada nos grãos, em relação à uréia, quando ambas as fontes foram aplicadas em V10 (Tabela 33). Esta resposta provavelmente deve-se ao maior efeito fitotóxico desta fonte sobre a área foliar do milho. Nas aplicações sem umidade sobre as folhas, também detectou-se menores valores para a quantidade recuperada quando se utilizou nitrato de amônio em V10. Contudo, as diferenças numéricas não foram estatisticamente significativas.

A ERNFG apresentou resposta semelhante à mostrada pela quantidade de N recuperada nos grãos. A ERNFG média foi de 30%, com valores que oscilaram de 17 a 42% (Tabela 34). As aplicações de nitrato de amônio a lanço com a umidade sobre as folhas, quando o milho estava em V10, apresentaram a menor eficiência, pois reduziram mais a área foliar necessária para assimilação de N. Os valores obtidos são corroborados por vários trabalhos da literatura, sendo que, em média, a recuperação de N na cultura do milho pela planta inteira é de 50% (LARA CABEZAS et al., 2004, 2005; GAVA et al., 2006). Coelho et

al. (1991) estudaram o balanço de N utilizando meios isotópicos, em um Latossolo Vermelho Escuro, sob vegetação de Cerrado, cultivado com milho, e encontraram que a ERNF foi de 42% nos grãos e 57% na planta toda. Os dados de Lange et al. (2008), comparando duas fontes de N, demonstraram que a recuperação de N nos grãos foi de 40% para o nitrato de amônio e 31% para o sulfato de amônio, na média de quatro estádios de aplicação. A recuperação obtida para a fertilização com nitrato de amônio equipara-se à obtida no presente estudo, quando esta fonte de N foi utilizada próxima às linhas de semeadura, independentemente de ser via fluída ou via sólida.

Tabela 33 - Nitrogênio do fertilizante recuperado nos grãos de milho<sup>1/</sup>, em função da fonte, do estágio e do método de aplicação da cobertura nitrogenada. Lages, SC, 2008/09.

Método de aplicação		Nitrogênio recuperado (kg ha <sup>-1</sup> ) <sup>6/</sup>			
		Nitrato de amônio		Uréia	
		V5 <sup>4/</sup>	V10	V5	V10
Na linha	Via sólida	A 83,4 a <sup>2/</sup>	AB 60,0 a	73,0 <sup>NS3/</sup>	59,6
	Via fluída	A 66,9 a	A 76,1 a	80,0	59,7
A lanço	Sem umidade	A 59,8 a	B 41,0 a	60,0	62,4
	Com umidade <sup>5/</sup>	A 67,3 a	B 34,1 b	63,2	71,9
		V5		V10	
Método de aplicação		Nitrato de amônio	Uréia	Nitrato de amônio	Uréia
Na linha	Via sólida	83,4 <sup>3/</sup>	73,0	60,0 a	59,6 a
	Via fluída	66,9	80,0	76,1 a	59,7 a
A lanço	Sem umidade	59,8	60,0	41,0 a	62,4 a
	Com umidade <sup>5/</sup>	67,3	63,2	34,1 b	71,9 a

<sup>1/</sup>N do fertilizante recuperado nos grãos= (N recuperado tratamento com N – N recuperado tratamento sem N)

<sup>2/</sup>Médias antecedidas de mesma letra maiúscula na coluna e seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

<sup>3/NS</sup> Diferenças não significativas pelo teste de Tukey (P<0,05).

<sup>4/</sup>V5 – cinco folhas expandidas; V10 – dez folhas expandidas, segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993).

<sup>5/</sup>Folhas umedecidas com água, simulando a presença de orvalho, e posterior aplicação do fertilizante.

<sup>6/</sup>CV= 25%.

Os menores valores observados, em relação aos reportados por Coelho et al. (1991) e outros autores, devem-se provavelmente ao uso de uma dose elevada de N. Fernandes et al. (1999) encontraram que a eficiência de recuperação do N fertilizante variou de 12 a 52%, em função de diferentes doses de N aplicadas. Jokela e Randall (1997) verificaram valores baixos de 13 a 32%, até valores de 60%, dependendo das doses de fertilizantes aplicados. Fernandes et al. (2005), avaliando seis cultivares de milho e quatro doses de N, verificaram que com o aumento da dose de N aplicada, a eficiência de uso do N (EUN) de todas as cultivares diminuiu. Isto ocorre porque o suprimento de N excede as necessidades da cultura. Liang e

Mackenzie (1994) observaram que a eficiência de utilização do nitrato de amônio, na dose de 170 kg ha<sup>-1</sup>, foi de 22 a 30% em dois locais de cultivo. Quando utilizaram dose maior que 400 kg ha<sup>-1</sup> de N, a eficiência de utilização variou entre 9 e 22% para os dois locais. Os autores concluíram que a EUN avaliada pelo uso de <sup>15</sup>N variou com o ano, com o local e com a dose aplicada, sendo altamente dependente da produtividade da cultura. Esta afirmação corrobora a observação feita no presente ensaio, já que as menores eficiências de recuperação do N foram observadas naqueles tratamentos mais influenciados pela ocorrência de fitotoxicidade, com maior redução no rendimento de grãos.

Tabela 34 - Eficiência de recuperação do N proveniente do fertilizante nos grãos de milho (ERNFG)<sup>1/</sup> em função da fonte de nitrogênio, do estágio e do método de aplicação da cobertura nitrogenada. Lages, SC, 2008/09.

Método de aplicação		ERNFG (%) <sup>6/</sup>			
		Nitrato de amônio		Uréia	
		V5 <sup>4/</sup>	V10	V5	V10
Na linha	Via sólida	A 41 a <sup>2/</sup>	AB 30 a	A 37 a	A 30 a
	Via fluída	A 34 a	A 38 a	A 40 a	A 30 a
A lanço	Sem umidade	A 30 a	B 21 a	A 30 a	A 31 a
	Com umidade <sup>5/</sup>	A 34 a	B 17 b	A 32 a	A 36 a
		V5		V10	
Método de aplicação		Nitrato de amônio	Uréia	Nitrato de amônio	Uréia
Na linha	Via sólida	42 a <sup>3/</sup>	37 a	30 a	30 a
	Via fluída	40 a	34 a	38 a	30 a
A lanço	Sem umidade	30 a	30 a	21 a	31 a
	Com umidade <sup>5/</sup>	33 a	32 a	17 b	36 a

<sup>1/</sup>ERNFG=[(N recuperado nos grãos sub-subparcelas com N-N recuperado nos grãos sub-subparcelas sem N)/200 kg ha<sup>-1</sup> de N]\*100.

<sup>2/</sup>Médias antecedidas de mesma letra maiúscula na coluna e seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05), para cada fertilizante

<sup>3/</sup>Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05), para cada estágio fenológico.

<sup>4/</sup>V5 – cinco folhas expandidas; V10 – dez folhas expandidas, segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993).

<sup>5/</sup>Folhas umedecidas com água, simulando a presença de orvalho, e posterior aplicação do fertilizante.

<sup>6/</sup>CV= 25%.

Pode-se atribuir à observação de valores menores aos relatados à alta produtividade na parcela testemunha que serviu de referencial ao cálculo da eficiência de recuperação de N. A produtividade no tratamento sem aplicação adicional de N na cobertura foi de 8.200 kg ha<sup>-1</sup>. Esta alta produtividade demonstra a contribuição de outras fontes de N. Lange et al. (2008) estimaram que dos 185 kg ha<sup>-1</sup> acumulados na planta inteira do milho, 126 kg ha<sup>-1</sup> foram provenientes de outras fontes. É provável que a mineralização da matéria orgânica e a aplicação de 30 kg ha<sup>-1</sup> de N na base contribuíram para a testemunha alcançar elevados tetos

produtivos. A cultura acumulou  $141 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, incluindo todos os tratamentos. A quantidade que não foi suprida pelo fertilizante na cobertura ( $81,4 \text{ kg ha}^{-1}$ ) foi suprida por estas fontes adicionais.

#### 4.5 CONCLUSÕES

Os fertilizantes nitrogenados ocasionam fitotoxicidade foliar quando aplicados a lanço. A magnitude dos danos depende da fonte de N utilizada e do estágio de realização da cobertura nitrogenada.

O nitrato de amônio é mais fitotóxico ao milho que a uréia quando aplicado a lanço. A recomendação desta fonte de N em relação ao uso da uréia deve ser feita, apenas, em situações de grandes possibilidades de perdas de N por volatilização.

A presença de umidade sobre as folhas não aumenta os prejuízos ao rendimento de grãos ocasionados pela aplicação a lanço de nitrato de amônio.

As aplicações dos fertilizantes nitrogenados próximos à linha de semeadura, via sólida ou via fluída, proporcionam maiores rendimentos de grãos do que as aplicações a lanço, independentemente da fonte de N e da época de aplicação.

O estresse oriundo da fitotoxicidade do nitrato de amônio aplicado reduz a eficiência de recuperação de N, aumentando as possibilidades de perda do nutriente.



## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cultura do milho é eficiente na interceptação e na conversão da energia luminosa em energia química. Isto lhe garante altas taxas de crescimento e assegura elevados rendimentos de grãos. Por outro lado, o milho é suscetível a estresses bióticos e abióticos que ocorrem em pós-emergência da cultura. Estes eventos desfavoráveis reduzem as produtividades da lavoura, especialmente quando atingem estádios mais avançados de desenvolvimento.

A competição entre colmos ocasionada pelo perfilhamento do milho, a desfolha oriunda de ataques de lagartas ou precipitações de granizo e a fitotoxicidade dos fertilizantes nitrogenados utilizados na adubação de cobertura constituem exemplos de estresses que podem prejudicar o desenvolvimento e a produtividade do milho.

Os estresses são menos prejudiciais quando as plantas estão adequadamente reguladas nutricionalmente. O uso da adubação nitrogenada em cobertura pode ser uma estratégia importante para mitigar estresses na cultura do milho. A busca por manejos adequados deste nutriente assegura alta eficiência de uso e propicia menos efeitos nocivos do estresse. Este trabalho teve como objetivo avaliar formas de manejo do nitrogênio (doses, fontes, épocas e métodos de aplicação) que minimizem estresses bióticos e abióticos em pós-emergência do milho.

O perfilhamento no milho sempre foi visto como uma característica negativa pelos agricultores, principalmente em condições ambientais limitantes. Isto porque estas estruturas podem competir por água, luz e nutrientes e agir como drenos, consumindo fotoassimilados. Contudo, os perfilhos são importantes no incremento do rendimento das demais espécies da família das poáceas de importância agrícola como arroz, trigo, sorgo e pastagens. Em híbridos perfilhadores de milho, as aplicações de N no início do ciclo podem fomentar a diferenciação destas estruturas. A disponibilidade de N durante o ciclo pode aumentar a sobrevivência de perfilhos, permitindo que os mesmos cheguem ao período reprodutivo com condições de diferenciar espigas e contribuir diretamente ao rendimento de grãos. Os resultados do primeiro experimento mostram que a aplicação de N no início do ciclo fomentou a diferenciação destas estruturas. Contudo, a maior disponibilidade de N não foi suficiente para garantir a sobrevivência de perfilhos até a colheita. Assim, o aumento da dose e a antecipação

da cobertura nitrogenada não foram estratégias suficientes para aumentar a contribuição dos perfilhos ao rendimento de grãos, em anos que a exigência hídrica da cultura não é atendida.

As desfolhas ocasionadas por lagartas ou chuvas de granizo destroem a área fotossinteticamente ativa e reduzem o rendimento de grãos. Este tipo de estresse é mais prejudicial em estádios mais avançados de desenvolvimento. A aplicação de N após desfolhas pode reduzir o seu efeito nocivo. Os efeitos do N sobre o rendimento de grãos dependerão do estádio que a desfolha ocorreu e da dose de N aplicada. Os resultados do segundo experimento evidenciam que desfolhas em V8 não comprometeram a área foliar do híbrido AS 1570. Isto colaborou para que não se observasse interferência da desfolha e da disponibilidade de N sobre a produtividade do milho. Por outro lado, desfolhas no florescimento do milho comprometem totalmente a sua área foliar. Nestas situações, a aplicação de N não é estratégia suficiente para recuperar os prejuízos impostos à planta e o rendimento de grãos é seriamente comprometido. As desfolhas impostas por ocasião da expansão da 15ª folha podem ser recuperadas pela reaplicação de N em cobertura, imediatamente após o evento. O N é importante para aumentar a atividade fotossintética das folhas, pois existe alta correlação entre o teor de nitrogênio e a atividade fotossintética das folhas. Em V15, a aplicação de 100 kg ha<sup>-1</sup> de N reduz magnitude do estresse ocasionado pela desfolha.

A aplicação a lanço de doses altas de fertilizantes nitrogenados produzidos como sais pode danificar a área foliar do milho e reduzir o rendimento de grãos. Assim, a escolha das fontes de N, de acordo com seu potencial salino, e das formas de aplicação, são estratégias para atenuar as perdas ocasionadas pela fitotoxicidade. Os resultados do terceiro experimento mostraram que as aplicações sem contato físico do adubo com a superfície foliar não geram estresse às plantas, independentemente da fonte de N, e devem ser preferidas quando for possível adotar este método de aplicação. A uréia, entre as fontes testadas, foi a menos fitotóxica e deve ser escolhida em aplicações a lanço, principalmente quando as condições edafoclimáticas não forem favoráveis a perdas por volatilização. A fitotoxicidade ocasionada pela aplicação a lanço de uréia e nitrato de amônio em V5 é menos persistente. Contudo, não houve influência do estádio de realização da cobertura nitrogenada no rendimento de grãos.

Sumarizando os resultados obtidos, verificou-se que o adequado manejo da adubação nitrogenada é uma estratégia importante para mitigar estresses. O N diminui a competição entre colmos, incrementa a área e a longevidade foliar, assegura maiores rendimentos quando reaplicado após desfolhas em V15, principalmente quando é aplicado sem contato físico com

as folhas do milho. Para aplicações a lanço, especialmente em ambientes com baixo potencial de volatilização, deve-se dar preferência a utilização de uréia. Entretanto, as respostas dependerão das condições climáticas, do genótipo utilizado, da disponibilidade de N no solo, entre outros fatores. Assim, é importante ressaltar que estes ensaios devem ser repetidos para obtenção de resultados mais conclusivos, pois os mesmos são para apenas um ano.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDEL-HADI, A.H.; KHADR, M.S.; BAKR, M.N. Effect of biuret content in urea on the growth and nitrogen uptake of some grain crops in Egyptian soils. **Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde**, v.146, p.379-384, 1983.

AITA, C. et al. Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.25, p.157-165, 2001.

ALLISON, J.C.S.; WATSON, D.J. The production and distribution of dry matter in maize after flowering. **Annals of Botany**, v.30, p.365-381, 1966.

ALLISON, J.C.S.; WILSON, J.H.; WILLIAMS, J.H. Effect of partial defoliation during the vegetative phase on subsequent growth and grain yield of maize. **Annals of Applied Biology**, v.81, p.367-375, 1975.

ALMEIDA, C.de. et al. Uréia em cobertura e via foliar em feijoeiro. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.57, p.293-298, 2000.

ALMEIDA, M.L.de.; MUNDSTOCK, C.M. O afilhamento da aveia é afetado pela qualidade da luz em plantas sob competição. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, p.393-400, 2001.

ALVES, A.C.; MUNDSTOCK, C.M.; MEDEIROS, J.D. Iniciação e emergência de filhotes em cereais de estação fria. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, p.39-45, 2005.

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

ANDRADE, F.H. Analysis of growth and yield of maize, sunflower and soybean grown at Balcarce, Argentina. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.41, p.1-12, 1995.

ANDRADE, F.H. et al. **Ecofisiologia del cultivo de maíz**. Balcarce: La Barrosa, 1996. 292 p.

ARAÚJO, E.S. et al. Quantificação do N do solo derivado das raízes de soja utilizando o isótopo  $^{15}\text{N}$ . **Revista Universidade Rural**, Rio de Janeiro, v.24, p.7-12, 2004.

ARTILIP, T.S.; WIESIEUSKI, M.E. Induction of proteins in response to biotic and abiotic stresses. In: PESSARAKLI, M (Org.). **Handbook of plant and crop physiology**. New York: Marcel Dekker, 2002. p.657-679.

BALDRIGE, D.E. **The effects of simulated hail injury on the yield of corn grown for silage**. Bull. B687. Montana Agricultural Experimental Station (Bulletin), 1976.

BALKO, L.G.; RUSSEL, W.A. Response of maize inbred lines to N fertilizer. **Agronomy Journal**, Madison, v.72, p.723-732, 1980.

BARNETT, K.H.; PEARCE, R.B. Source-sink ratio alteration and its effect on physiological parameters in maize. **Crop Science**, Madison, v.23, p.294-299, 1983.

BASSETTI, P.; WESTGATE, M.E. Water deficit affects receptivity of maize of silks. **Crop Science**, Madison, v.33, p.279-282, 1993.

BAYER, C.; MIELNIICZUK, J. Nitrogênio total de um solo submetido a diferentes métodos de preparo do solo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.21, p.235-239, 1997.

BEGON, M.; HARPER, J.L.; TOWNSEND, C.R. **Ecology, individuals, populations and communities**. Oxford: Blackwell, 1986.

BOELT, B. The effect of tiller size in autumn on the percentage of reproductive tillers in amenity types of *Poa pratensis* L., *Festuca rubra* L., and *Lolium perenne* L. In: INTERNATIONAL HERBAGE SEED CONFERENCE. 4., 1999, Perugia, Italy. **Proceedings...** Perugia, Italy: University of Perugia, 1999. p.53-57.

BORGES, I.D. et al. Efeito das épocas de aplicação da cobertura nitrogenada, das fontes de nitrogênio e dos espaçamentos entre fileiras na cultura do milho. **Revista Ceres**, Lavras, v.53, p.75-81, 2006.

BORRÁS, L.; MADDONI, G.; OTEGUI, M. E. Leaf senescence in maize hybrids: plant

population, row spacing and kernel set effects. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 82, p. 13-26, 2003.

BORRÁS, L.; SLAFER, G.A.; OTEGUI, M.E. Seed dry weight response to source-sink manipulations in wheat, maize and soybean: a quantitative reappraisal. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.86, p.131-146, 2004.

BORRÁS, L. et al. Coupling time to silking with plant growth rate in maize. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.102, p.73-85, 2007.

BRAY, E.A.; BAILEY-SERRES, J.; WERELTILNYK, E. Responses to abiotic stresses. In: BUCHANAN, E.; GRUISSEM, W.; JONES, R (Org.). **Biochemical and molecular biology of plants**. Rockville: American Society of Plant Physiologists , 2000. P.1158-1249.

BREMNER, J.M.; MULVANEY, R.L. Urease activity in soils. In: BURNS, R.G. (Org.). **Soil enzymes**. Londres:Academic Press, 1978. p.149-196.

BREMNER, J.M. Recent research on problems in the use of urea as a nitrogen fertilizer. **Fertilizer Research**, v.42, p.321-329, 1995.

BULL, L.T. Nutrição mineral do milho. In: BULL, L.T.; CANTARELLA, H (Org.). **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Potafos, 1993. p.63-145.

CANTARELLA, H. Calagem e adubação do milho. In: BULL, L.T.; CANTARELLA, H. (Org.). **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Potafós, 1993. p.147-169.

CANTARELLA, H. et al. Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia e resposta da cana-de-açúcar à adubação nitrogenada, em sistema de colheita de cana sem queima prévia. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 7., 1999, Londrina. **Anais...**Londrina:Alcool Subpr, 1999. P.82-87.

CANTARELLA, H. et al. Antecipação de N em milho em sistema de plantio direto usando <sup>15</sup>N-uréia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Resumos...**Ribeirão Preto: SBCS, 2003. CD-ROM.

CANTARELLA, H.; DUARTE, A.P. Manejo da fertilidade do solo para a cultura do milho. In: GALVÃO, J.C.C.; MIRANDA, G.V. **Tecnologias de produção do milho**. Viçosa: UFV, 2004. p.139-182.

CARVALHO, R.P.L. **Danos, flutuação da população, controle e comportamento de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) e suscetibilidade de diferentes genótipos de milho, em condições de campo.** 1970. 170 p. Tese de Doutorado – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1970.

Tabelas de produção 2008/09. In: CENTRO DE SOCIOECONOMIA E PLANEJAMENTO AGRÍCOLA. **Tabelas de produção.** 2009. Disponível em:<<http://cepa.epagri.sc.gov.br/>>. Acesso em: 20 setembro 2009.

CERETTA, C.A.; FRIES, M.R. Adubação nitrogenada no sistema plantio direto. In: NUERNBERG, N.J (Org.). **Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto.** Lages: SBCS, 1998. p.111-120.

CHATURVEDI, G.S. et al. Effect of irrigation on tillering in wheat, triticale and barley in a water-limited environment. **Irrigation Science**, v.2, p.225-235, 1981.

CIOMPI, S. et al. The effect of nitrogen deficiency on leaf gas exchange and chlorophyll fluorescence parameters in sunflower. **Plant Science**, v.118, p.177-184, 1996.

CLAASSEN, M.M.; SHAW, R.H. Water deficit effects on corn. II: Grain components. **Agronomy Journal**, Madison, v.62, p.652-655, 1970.

CLONINGER, F.D.; ZUBER, M.S.; HORROCKS, R.D. Synchronization of flowering in corn (*Zea mays* L.) by clipping young plants. **Agronomy Journal**, Madison, v.66, p.270-272, 1974.

COBUCCI, T. **Efeitos de doses e épocas de aplicação em cobertura do adubo nitrogenado no consórcio milho-feijão.** 1991. 94 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1991.

COELHO, A.M. et al. Balanço de nitrogênio ( $^{15}\text{N}$ ) em um Latossolo Vermelho-Escuro sob vegetação de Cerrado, cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.15, p.187-193, 1991.

COLOZZA, M.T. **Rendimento e diagnose foliar dos capins Aruana e Mombaça cultivados em Latossolo Vermelho-Amarelo.** 1998. 127 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO-RS/SC – CQFS-RS/SC. **Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10 ed. Porto Alegre: SBCS-Núcleo Regional Sul, 2004. 400 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Indicadores da agropecuária. Brasília: Conab, 2009. 72p.

CORREIA, C.M.; et al. Ultraviolet-B radiation and nitrogen affect the photosynthesis of maize: a Mediterranean field study. **European Journal of Agronomy**, v.22, p.333-347, 2005.

COSTA, M.C.G.; VITTI, G.C.; CANTARELLA, H. Volatilização de N-NH<sub>3</sub> de fontes nitrogenadas em cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.27, p.631-637, 2003.

CROOKSTON, R.K.; HICKS, D.R. Effect of early defoliation on maize growth and yield: an eleven-year perspective. **Crop Science**, Madison, v. 28, p. 371-373, 1988.

CRUZ, I.; TURPIN, F.T. Efeito da *Spodoptera frugiperda* em diferentes estádios de crescimento da cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.17, n.3, p.355-359, 1982.

CRUZ, I. **A lagarta-do-cartucho na cultura do milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA/CNPMS, 1995, 45 p.

CRUZ, I. et al. Efeito do nível de saturação de alumínio em solo ácido sobre os danos de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) em milho. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v.25, p.293-297, 1996.

CRUZ, J.L. et al. Níveis de nitrogênio e a taxa fotossintética do mamoeiro “golden”. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, p.64-71, 2007.

DAMATTA, F.M.; RAMALHO, J.D.C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. **Brazilian Journal Plant Physiology**, Campos dos Goytacazes, v.18, p.55-81, 2006.

DAMIÃO FILHO, C.F.; MÔRO, F.V.; TAVEIRA, L.R. Resposta de híbridos de milho ao nicossulfuron. I – Aspectos biológico e da produção. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v.14, p.3-13, 1996.



DANGL, J. L.; DIETRICH, R. A.; THOMAS, H. Senescence and programmed cell death. In: BUCHANAN, B. B.; GRUISSSEN, W.; JONES, R. L (Ed.). **Biochemistry and molecular biology of plants**. Rockville: American Society of Plant Physiologists, 2000. p. 1044-1100.

DA ROS, C.O.; AITA, C.; GIACOMINI, S.J. Volatilização de amônia com aplicação de uréia na superfície do solo, no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, p.799-805, 2005.

DAVIDSON, D.J.; CHEVALIER, P.M. Preanthesis tiller mortality in spring wheat. **Crop Science**, Madison, v.30, p.832-836, 1990.

DELÚ-FILHO, N. **Efeito no NO<sub>3</sub> sobre o crescimento e a atividade das enzimas de assimilação do nitrogênio em plantas jovens de seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.)**. 1985. 87p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1985.

DENMEAD, O.T.; SHAW, R.H. The effects of soil moisture stress at different stages of growth on the development and yield of corn. **Agronomy Journal**, Madison, v.52, p.272-274, 1960.

DUBEY, R.S.; PESSARAKLI, M. Physiological mechanisms of nitrogen absorption and assimilation in plants under stressful conditions. In: PESSARAKLI, M (Org.). **Handbook of plant and crop physiology**. 2. ed. New York: Marcel Dekker, 2002. p.637-655.

DUETE, R.R.C et al. Manejo da adubação nitrogenada e utilização do nitrogênio (<sup>15</sup>N) pelo milho em Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.32, p.161-171, 2008.

DUNGAN, G.H.; GAUSMAN, H.W. Clipping corn plants to delay their development. **Agronomy Journal**, Madison, v.43, p. 90-93, 1951.

EGHAREVBA, P.N.; HORROCKS, R.D.; ZUBER, M.S. Dry matter accumulation in maize in response to defoliation. **Agronomy Journal**, Madison, v.68, p.40-43, 1976.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed.. Brasília, 2006. 306p.

ERNANI, P.R. **Disponibilidade de nitrogênio e adubação nitrogenada para a macieira**. Lages: Graphel, 2003. 76p.

ERNANI, P.R. et al. A forma de aplicação da uréia e dos resíduos vegetais afeta a disponibilidade de nitrogênio. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, p.360-365, 2005.

ESCOSTEGUY, P.A.V.; RIZZARDI, M.A.; ARGENTA, G. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura na cultura do milho em duas épocas de semeadura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.21, p.71-77, 1997.

EVANS, J.R. Photosynthesis and nitrogen relationship in leaves of  $C_3$  plants. **Oecologia**, v.78, p.1-9, 1989.

FANCELLI, A.L.; DOURADO-NETO, D. **Tecnologia da produção de milho**. Piracicaba: ESALQ/USP, Departamento de Agricultura, 174p. 1997.

FANCELLI, A.L.; DOURADO-NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Ed. Agropecuária, 360p. 2000.

FERNANDES, L.A. et al. Preparo do solo e adubação nitrogenada na produção de grãos e matéria seca e acúmulo de nutrientes pelo milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, p.1691-1698, 1999.

FERNANDES, F.C.S. et al. Doses, eficiência e uso de nitrogênio por seis cultivares de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.4, p.195-204, 2005.

FERRO, R.A. et al. Variability in European maize (*Zea mays* L.) landraces under high and low nitrogen inputs. **Genetic Resources and Crop evolution**, v.54, p.295-308, 2007.

FERTILIZER TECHNOLOGY. **An analysis of salt indices of comparative liquid fertilizer solutions and their relative percent (%) of slow release nitrogen**. Growth Products Research Division for Agricultural Fertilizers (Bulletin), 2005. 2p.

FIGUEIREDO, C.C. et al. Sistemas de manejo na absorção de nitrogênio pelo milho em um Latossolo Vermelho do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, p.279-287, 2005.

FREIRE, F.M.; VASCONCELLOS, C.A.; FRANÇA, G.E. Manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, v.22, p.49-62, 2001.

GALLO, D. et al **Entomologia Agrícola**. v.10. Piracicaba: Fealq, 2002. 920p.

GARCIA DEL MORAL, L.F.; RAMOS, J.M.; RECALDE, L. Tillering dynamics of winter barley as influenced by cultivar and nitrogen fertilizer: a field study. **Crop Science**, Madison, v.24, p.179:181, 1984.

GAMBÍN, B.L.; BORRÁS, L.; OTEGUI, M.E. Source – sink relations and kernel weight differences in maize temperate hybrids. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.95, p.316-326, 2006.

GARCIA, L.R.; HANWAY, J.J. Foliar fertilization of soybeans during the seed-filling period. **Agronomy Journal**, Madison, v.68, p.653-657, 1976.

GAVA, G.J.C. et al. Balanço do Nitrogênio da uréia ( $^{15}\text{N}$ ) no sistema solo-planta na implantação da semeadura direta na cultura do milho. **Bragantia**, Campinas, v.65, p.477-486, 2006.

GIANELLO, C. et al. Avaliação da disponibilidade do nitrogênio do solo estimada por métodos químicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.24, p.93-101, 2000.

GODOY JUNIOR, C; GRANER, E.A. Milho: adubação mineral nitrogenada. IV – Parcelamento do calnitro. **Revista da Agricultura**, v.39, p.185-189, 1964.

GOLDSWORTHY, P.R.; COLEGROVE, M. Growth and yield of highland maize in Mexico. **Journal of Agricultural Science**, v.83, p.223-30, 1974.

GOMES, R.F. et al. Efeitos de doses e épocas de aplicação de nitrogênio nos caracteres agronômicos da cultura do milho sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.31, p.931-938, 2007.

GONDIM, T.C.O. **Efeito da Desfolha nas Características Agronômicas e na Qualidade Fisiológica das Sementes de Trigo**. 2006. 71p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Curso de Pós Graduação em Fitotecnia. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2006.

GRAY, R.C.; AKIN, G.W. Foliar fertilization. In: HAUCK, R.D (Org). **Nitrogen in crop production**. Madison: American Society Agronomy, 1977. p.579-584.

GROVE, L.T.; RICHET, K.D.; MADERMAN, G.C. Nitrogen fertilization of maize on oxisol of the cerrado of Brazil. **Agronomy Journal**, Madison, v.27, p.261-265, 1980.

GUIDI, L. et al. Growth and photosynthesis of *Lycopersicum sculentum* (L.) plants as affected by nitrogen deficiency. **Biologia Plantarum**, v.40, p.235-244, 1998.

HALVORSON, A.D.; NIELSEN, D.C.; REULE, C.A. Nitrogen fertilization and rotation effects on no-till dryland wheat production. **Agronomy Journal**, Madison, v.96, p.1196-1201, 2004.

HANWAY, J.J. Defoliation effects on different corn (*Zea mays* L.) hybrids as influenced by plant population and stage of development. **Agronomy Journal**, Madison, v.61, p. 534-538, 1969.

HARRIS, S.L.; THOM, E.R.; CLARK, D.A. Effect of high rates of nitrogen fertilizer on perennial ryegrass growth and morphology in grazed dairy pasture in northern New Zealand. **New Zealand Journal Agriculture Research**, v.39, p.159-169, 1996.

HAVLIN, J.L. et al. **Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management**. 7.ed. New Jersey: Pearson, 2005, 515p.

HICKS, D.R.; PETERSON, R.H. Defoliation and fertilizer nitrogen effects on nitrate-nitrogen profiles in maize. **Agronomy Journal**, Madison, v.68, p.476-478, 1976.

HICKS, D.R.; NELSON, W.W.; FORD, J.H. Defoliation Effects on corn hybrids adapted to the northern Corn Belt. **Agronomy Journal**, Madison, v.69, p.387-390, 1977.

HORN, D. **Cinética da absorção de nutrientes em cultivares de milho com diferentes bases genéticas e seus desempenhos agrônomo e econômico em quatro níveis de manejo**. 2004. 111p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2004.

HOWARTH, R.W. et al. The influence of climate on average nitrogen export from watersheds in the Northeastern United States. **Biogeochemical**, v.79, p.163-186, 2006.

HOWARTH, R.W.; MARINO, R. Nitrogen as the limiting nutrient for eutrophication in coastal marine ecosystems: evolving views over three decades. **Limnology and Oceanography**, v.51, p.364-376, 2006.

HSIAO, T.C. Plant response to water stress. **Annual Review of Plant Physiology**, v.24, p.519-570, 1973.

IVANKO, S. Recent Progress in the use of  $^{15}\text{N}$  in research on nitrogen balance studies sin soil plant relationship. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Isotope and radiation in soil-plant relationships includid forestry, 1972, Vienna. **Proceedings...**Vienna: IAEA, 1972, p.483-487.

JONES, H.G.; JONES, M.B. Introduction: some terminology and common mechanisms. In JONES,H.G.; FLOWERS, M; JONES, M.B (Org.). **Plants under stress**. New York: Cambridge press. 1991. p.1-11.

JOHNSON, R.R. Growth and yield of maize as affected by early-season defoliation. **Agronomy Journal**, Madison, v.70, p.995-998, 1978.

JOKELA, W.E.; RANDALL, G.W. Fate of fertilizer nitrogen as affected by time and rate of application on corn. **Soil Science Society of American Journal**, v.61, p.1695-1703, 1997.

JENES, W.W. Biuret toxicity of urea foliage sprays on citrus. **Science**, v.120, p.499-500, 1954.

JENKINSON, D.S.; FOX, R.H; RAINER, J.H. Interactions between fertilizer nitrogen and soil nitrogen – the so-called “priming”effect. **Journal Soil Science**, v.36, p.425-444, 1985.

JONES, R.J.; SIMMONS, S,R. Effect of altered source-sink ratio on growth of maize kernels. **Crop Science**, Madison, v.23, p.129-134, 1983.

KIEHL, J.C. Nitrogênio: Dinâmica e disponibilidade no Solo. In: Curso de Atualização em Fertilidade do Solo. Campinas: Fundação Cargill, 1987, p.139-157.

KOBATA, T.; PALTA, J.A. TURNER, N.C. Rate of development of postanthesis water deficit and grain filling. **Crop Science**, Madison, v.33, p.1238-1242, 1992.

KOZLOWSKI, T.T.; PALLARDY, G.S. **Physiology of woody plants**. California: Academic, 1997. 411p.

KROGMEIER, M.J.; McCARTY, G.W.; BREMNER, J.M. Phytotoxicity of foliar-applied urea. **Proceedings of National Academy Science**, v.86, p.8189-8191, 1989.

LAFARGE, T. H.; HAMMER, G. L. Predicting plant leaf area production: shoot assimilate accumulation and partitioning and leaf area ratio are stable for a wide range of sorghum population densities. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 77, n. 1, 137-151, 2002.

LAGREID, M.; BOCKMAN, O.C.; KAARSTAD, O. **Agriculture fertilizers and the environment**. Wallingford: CABI Publishing, 1999. 294 p.

LANGE, A.; LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O. Recuperação de  $^{15}\text{N}$ -amônio do sulfato de amônio e do nitrato de amônio e produtividade do milho em sistema de semeadura direta no Cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MILHO E SORGO, 24., 2002, Florianópolis. **Trabalhos...**, Sete Lagoas: ABMS/EMBRAPA milho e sorgo/EPAGRI, 2002. 1 CD-ROM.

LANGE, A.; LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O. Recuperação das fontes sulfato e nitrato de amônio pelo milho em sistema de semeadura direta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, p.123-130, 2008.

LARA CABEZAS, W.A.R.; KORNDORFER, G.H.; MOTTA, S.A. Volatilização de  $\text{N-NH}_3$  na cultura do milho: I. Efeito da irrigação e substituição parcial da uréia por sulfato de amônio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.21, p.481-487, 1997.

LARA CABEZAS, W.A.R. et al. Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluída na cobertura da cultura do milho, em sistema plantio direto no triângulo mineiro (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.24, p.363-376, 2000.

LARA CABEZAS, W.A.R. et al. Influência da cultura antecessora e da adubação nitrogenada na produtividade do milho em sistema plantio direto e solo preparado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, p.1005-1013, 2004.

LARA CABEZAS, W.A.R. et al. Imobilização do nitrogênio da uréia e do sulfato de amônio aplicado em pré-semeadura ou cobertura na cultura do milho, no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.29, p.215-226, 2005.

LAUER, J.G.; ROTH, G.W.; BERTRAM, M.G. Impact of defoliation on corn forage yield. **Agronomy Journal**, Madison, v.96, p.1459-1463, 2004.

LAUER, J. **Late-season hail effects on corn**. Agronomy Advice, University of Wisconsin, Wisconsin, 2009 (Bulletin).

LAVRES JUNIOR, J.; MONTEIRO, F.A. Perfilhamento, área foliar e sistema radicular do capim-Mombaça submetido a combinações de doses de nitrogênio e potássio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v.32, p.1068-1075, 2004.

LEAVITT, J. **Response of plants to environmental stress**. II: Water, radiation, salt and other stress. New York: Academic Press, 1980. 606 p.

LEMARE, G.; GASTAL, F.N. N uptake and distribution in plant canopies. In: LEMAIRE, G (Org.). **Diagnosis of the nitrogen status in crops**. Berlin: Springer, 1997. p.3-43.

LIANG, B.C.; McKENZIE, A.F. Corn yield, nitrogen uptake, and nitrogen use efficiency as influenced by nitrogen fertilization. **Canadian Journal Soil Science**, v.74, p.235-240, 1994.

LIU, Z.H. et al. QTL mapping of nutrient components in maize kernels under low nitrogen conditions. **Plant Breeding**, v.127, p.279-285, 2008.

LONGNECKER, N.; KIRBY, E.J.M.; ROBSON, A. Leaf emergence, tiller growth and apical development of nitrogen deficient spring wheat. **Crop Science**, Madison, v.33, p.154-160, 1993.

LOPEZ-OVEJERO, R.F. et al. Manejo de plantas daninhas na cultura do milho. In: FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D (Org.). **Milho: estratégias de manejo para alta produtividade**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”, 2003. p.47-79.

MAAS, E.V. et al. Tiller development in salt-stressed wheat. **Crop Science**, Madison, v.34, p.1594-1603, 1994.

MACROFERTIL. **Fertilizantes**. Disponível em <[www.macrofertil.com.br](http://www.macrofertil.com.br)> Acesso em 02 de março de 2010.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: adubos e adubação**. 3. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 569p.

MALAVOLTA, E.; DANTAS, J.P. Nutrição e adubação do milho. In: PATERNIANI, E.; VIEGAS, J.P (Org.). **Melhoramento e produção de milho no Brasil**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p.541-590.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: Princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba: Potafós, 1997. 201p.

MANGEN, T.F.; THOMISON, P.R.; STRACHAN, S.D. Early-season defoliation effects on topcross high-oil corn production. **Agronomy Journal**, Madison, v. 97, p.823-831, 2005.

MASLE, J. Competition among tillers in winter wheat consequences for growth and development of the crops. In: NATO ADVANCED RESEARCH WORKSHOP ON WHEAT GROWTH AND MODELLING, 1984, Bristol. **Proceedings**.... New York: Plenum, 1985. p.33-54.

MASLE-MEYNARD, J. Elaboration du nombre d'épis d'un peuplement de blé d'hiver in situation de compétition pour l'azote. I. Mise in évidence d'un stade critique pour la montée d'un talle. **Agronomie**, Versailles, v.1, p.623-632, 1981.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. London: Academic Press, 1995. 889p.

McKENZIE, F.R. Influence of applied nitrogen on vegetative, reproductive, and aerial tiller densities in *Lolium perenne* L. during the establishment year. **Australian Journal of Agriculture Research**, vol.49, p.707-711, 1998.

McMILLAN, P.M.; BLACKSHAW, R.E. Postemergence green foxtail (*Setaria viridis*) control in corn (*Zea mays*) in Western Canada. **Weed Technology**, v.9, p.37-43, 1995.

MELGAR, R.J. et al. Doses e épocas de aplicação do fertilizante nitrogenado para milho em Latossolo da Amazônia Central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.15, p.289-296, 1991.

MENGEL, D.B.; BARBER, S.A. Rate of nutrient uptake per unit of corn root under field conditions. **Agronomy Journal**, Madison, v.66, p.399-402, 1974.

MEROTTO JUNIOR, A. **Processo de afilhamento e crescimento de raízes de trigo afetados pela resistência do solo**. 1995. 114 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995.

MIKKELSEN, R.L. Biuret in urea fertilizer. **Fertilizer Research**, v.26, p.311-318, 1990.

MITHYANTHA, M.S. et al. Biuret and crop production. **Fertilizer News**, v.20, p.13-18, 1977.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. Lavras: UFLA, 2002, 625 p.



MUCHOW, R.C.; SINCLAIR, T.R. Water deficit effects on maize yields modeled under current and “greenhouse” climates. **Agronomy Journal**, Madison, v.83, p.1052-1059, 1991.

MUNDSTOCK, C.M.; BREDEMEIER, C. Disponibilidade de nitrogênio e sua relação com o afilhamento e o rendimento de grãos de aveia. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, p.205-211, 2001.

MURO, J.; IRIGOYEN, I.; LAMFUS, C. Effect of defoliation on onion crop yield. **Scientia Horticulturae**, v.77, p.1-10, 1998.

MURO, J. et al. Effect of defoliation on garlic yield. **Scientia Horticulturae**, v.83, p.161-167, 2000.

NAFZINGER, E. Effect of tiller removal on corn yield, University of Illinois. Disponível em: < <http://www.cropsci.uiuc.edu/research/rdc/report98/rpt98-12.html> >. Acesso em: 15 agosto 2006.

NATIONAL CROP INSURANCE ASSOCIATION – NCIA. **Corn loss instructions**. Colorado Springs: NCIA, 1984.

NICOLAI, M. et al. Efeitos da adubação nitrogenada em cobertura sobre a seletividade de herbicidas à cultura do milho. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v.24, p.279-286, 2006.

OLIVEIRA, E.F. Eficiência do modo de aplicação do sulfato de amônio e uréia nas culturas do milho e algodão. In: Organização das Cooperativas do Estado do Paraná. **Resultados de pesquisa 1/95**. Cascavel, 1995. p.40-46.

OUYANG, D. et al. Phytotoxicity of banded urea amended with triple superphosphate and potassium chloride. **Agronomy Journal**, Madison, v.90, p.734-739, 1998.

PEREIRA, W.L.M. **Doses de potássio e de magnésio em solução nutritiva para o capim Mombaça**. 2001. 128 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

PALMER, A.F.E.; HEICHEL, G.H.; MUSGRAVE, R.B. Patterns of translocation respiratory loss, and redistribution of  $^{14}\text{C}$  in maize labeled after flowering. **Crop Science**, Madison, v.13, p.371-376, 1973.

PEREIRA FILHO, I.A. **Comportamento dos cultivares de milho (*Zea mays* L.) ‘Pirañao’ e ‘Centralmex’ em diferentes condições de ambientes, espaçamentos e níveis de nitrogênio.** 1977. 84 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1977.

PETR, J; CERNY, V.; HRUSKA, L. Yield formation in cereals. In: PETR, J; CERNY, V.; HRUSKA, L. (Org.). **Yield formation in the main field crops.** Amsterdã: Elsevier, 1988. p.72-153.

POLETO, N. et al. Desenvolvimento foliar e sincronismo dos afilhos na cultivar de arroz “IRGA 417”. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, p. 2327-2333, 2009.

POOLE, W.D.; RANDALL, G.W.; HAM, G.E. Foliar fertilizations of soybeans. II. Effect of biuret and application time of day. **Agronomy Journal**, Madison, v.75, p.201-203, 1983.

PREMAZZI, L.M.; MONTEIRO, F.A.; CORRENTE, J.E. Tillering of Tifton 85 bermudagrass in response to nitrogen rates and time of application after cutting. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.60, p.565-571, 2003.

PRESTERL, T. et al. Improving nitrogen use-efficiency in European maize: estimation of quantitative genetic parameters. **Crop Science**, Madison, v.43, p.1259-1265, 2003.

RAJCAN, I.; TOLLENAAR, M. Source: sink ratio and leaf senescence in maize. I. Dry matter accumulation and partitioning during grain filling. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.60, p.245-253, 1999a.

RAJCAN, I.; TOLLENAAR, M. Source: sink ratio and leaf senescence in maize. II. Nitrogen metabolism during grain filling. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.60, p. 255-265, 1999b.

RAO, A.C.S. et al. Considerations in estimating nitrogen recovery efficiency by the difference and isotopic dilution methods. **Fertilizer Research**, v.33, p.209-217, 1992.

RAUN, W.R.; JOHNSON, G.V. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. **Agronomy Journal**, Madison, v.91, p.357-363, 1999.

REDDY, A.R.; CHAITANYA, K.V.; VIVEKANANDAN, M. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. **Journal of Plant Physiology**, v.161, p.1189-1202, 2004.

REIS, E.M.; CASA, R.T.; BRESOLIN, A.C.R. 2.ed.rev.atual. **Manual de diagnose e controle de doenças do milho.** Lages: Graphel, 2004. 144p.

RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J.; BENSON, G.O. **How a corn plant develops**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1993. 26p. (Special Report, 48).

ROSOLEM, C.A.; BOARETTO, A.E. Avaliação do estado nutricional das plantas cultivadas. In: BOARETTO, A.E.; ROSOLEM, C.A (Org.). **Adubação foliar**. Campinas: Fundação Cargill, 1989. p.117-144.

ROTH, G.W.; LAUER, G. Impact of defoliation on corn forage quality. **Agronomy Journal**, Madison, v.100, p.651-657, 2008.

SAVANT, N.K.; JAMES, A.F.; McCLEAN, G.H. Effect of amounts and sequence of additions of urea and water on hydrolysis of surface-applied granular urea in unsaturated soils. **Fertilizer Research**, v.11, p.231-234, 1987.

SADRAS, V. O.; ECHARTE, L.; ANDRADE, F. Profiles of leaf senescence during reproductive growth of sunflower and maize. **Annals of Botany**, v. 85, n. 1, p. 187-195, 2000.

SANGOI, L.; ALMEIDA, M.L. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio para a cultura do milho num solo com alto teor de matéria orgânica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, p.13-24, 1994.

SANGOI, L.; SALVADOR, R.J. Maize susceptibility to drought at flowering: a new approach to overcome the problem. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.28, p.699-706, 1998.

SANGOI, L. Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, p. 159-168, 2001.

SANGOI, L. et al. Desempenho de híbridos de milho com ciclos contrastantes em função da desfolha e da população de plantas. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.58, p.271-276, 2001.

SANGOI, L. et al. Volatilização de N-NH<sub>3</sub> em decorrência da forma de aplicação de uréia, manejo de resíduos e tipo de solo, em laboratório. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, p.687-692, 2003.

SANGOI, L. et al. Desenvolvimento e exigências climáticas da planta de milho para altos rendimentos. Lages: Graphel, 2007. 95 p.

SANGOI, L. et al. Características agronômicas de cultivares de trigo em resposta a época de adubação nitrogenada em cobertura. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, p.1564-1570, 2007.

SANGOI, L.; SCHMITT, A.; ZANIN, C.G. Área foliar e rendimento de grãos de híbridos de milho em diferentes populações de plantas. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.6, p.263-271, 2007.

SANGOI, L. et al. Aplicação precoce de nitrogênio em cobertura não aumenta o rendimento de grãos de trigo cultivado em presença do alumínio. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, p. 912-920, 2008.

SANGOI, L.; ERNANI, P.R.; BIANCHET, P. Desenvolvimento inicial do milho em função de doses e fontes de nitrogênio aplicadas na semeadura. **Biotemas**, Florianópolis, v.22, p.53-58, 2009.

SANGOI, L. et al. Rendimento de grãos de híbridos de milho em duas densidades de plantas com e sem a retirada dos perfilhos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, p.325-331, 2009.

SAINZ ROSAS, H.R.; ECHEVERRIA, H.E.; BARBIERI, P.A. Nitrogen Balance as Affected by Application Time and Nitrogen Rate in Irrigated No-Tillage Maize. **Agronomy Journal**, Madison, v.96, p.1622-1631, 2004.

SAWYER, J.E. Watch for damage from broadcast postemerge UAN applications. **Integrated Crop Management**, may, 2001. Disponível em:  
<<http://www.ipm.iastate.edu/ipm/icm/2001/5-27-2001/watchuan.html>> Acesso em: 15 março 2008.

SCANDALIOS, J.G. Oxygen stress and superoxide desmutases. **Plant Physiology**, v.101, p.7-12, 1993.

SCHMITT, A. **Perfilhamento em milho: processo benéfico ou prejudicial ao desenvolvimento da planta e ao rendimento de grãos?** 2008. 98 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2008.

SCHREIBER, H.A.; STANBERRY, C.O.; TUCKER, H. Irrigation and nitrogen effects on sweet corn row number at various growth stages. **Science**, Washington, v.135, 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 the art. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.66, p.151-154, 2000.

SCHUSSLER, J.R.; WESTGATE, M.E. Maize kernel set at a low water potential. II: Sensitivity to reduced assimilates at pollination. **Crop Science**, Madison, v.31, p.1196-1203, 1991.

SCHUSSLER, J.R.; WESTGATE, M.E. Increasing assimilate reserve does not prevent kernel abortion at low water potential in maize. **Crop Science**, Madison, v.34, p.1569-1576, 1994.

SCIVITARRO, W.B. et al. Transformações do nitrogênio proveniente de mucuna-preta e uréia utilizados como adubo na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, p.1427-1433, 2003.

SHAPIRO, C.A.; PETERSON, T.A.; FLOWERDAY, A.D. Yield loss due to simulated hail damage on corn: a comparison of actual and predicted values. **Agronomy Journal**, Madison, v.78, p.585-589, 1986.

SIEGELIN, S.D. **Timing of nicosulfuron and primisulfuron applications on corn (*Zea mays* L.) ear malformation**. 1993. 61 p. Thesis (Master of Science in Weed Science) – Purdue University, 1993.

SILOTO, R.C. **Danos e Biologia de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) em Genótipos de Milho**. 2002. 93p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Curso de Pós Graduação em Fitotecnia. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

SILVA, P.S.L. Desfolha e supressão da frutificação em milho. **Ceres**, Lavras, v.48, p.55-70, 2001.

SILVA, E.C. et al. Análise econômica do estudo de níveis e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho no sistema plantio direto em solo de cerrados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO RURAL, 5, 2001, Goiânia. **Anais...** Goiânia: ABAR, 2001. CD-ROM.

SILVA, E.C. et al. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho em plantio direto sobre Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.29, p.353-362, 2005.

SILVA, E.C. et al. Épocas e formas de aplicação de nitrogênio no milho sob plantio direto em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.29, p.725-733, 2005.

SILVA, E.C. et al. Manejo do nitrogênio no milho em Latossolo Vermelho sob plantio direto com diferentes plantas de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, p.477-486, 2006.

SILVA, E.C. et al. Acúmulo de nutrientes em plantas de cobertura e no milho cultivado em sucessão sob diferentes doses de nitrogênio em plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 5, p.202-217, 2006.

SILVA, M.M; LIBARDI, P.L.; FERNANDES, F.C.S. Nitrogen doses and water balance components at phenological stages of corn. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.66, p.515-521, 2009.

SIMMONS, S.R. et al. Tillering in barley: genotype, row spacing, and seedling rate effects. **Crop Science**, Madison, v.22, p.801-805, 1982.

SINGH, R.P.; NAIR, K.P.P. Defoliation studies in hybrid maize : I. Grain yield, quality and leaf chemical composition. **Journal of Agricultural Science**, v.85, p.241-245, 1975.

SOUZA, F.S.; FARINELLI, R.; ROSOLEM, C.A. Desenvolvimento radicular do algodoeiro em resposta à localização do fertilizante. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.31, p.387-392, 2007.

SOUZA, W.J.O.; MELO, W.J. Teores de nitrogênio no solo e nas frações da matéria orgânica sob diferentes sistemas de produção de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.24, p.885-896, 2000.

SOUZA, L.V. et al. Genetic control of grain yield and nitrogen use efficiency in tropical maize. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, p.1517-1523, 2008.

SPADER, V.; VIDAL, R.A.; Seletividade e dose de injúria econômica de nicosulfuron aplicado em diferentes estádios de desenvolvimento na cultura do milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, p.929-934, 2001.

SUBEDI, K.D.; MA, B.L. Ear position, leaf area, and contribution of individual leaves to grain yield in conventional and leafy maize hybrids. **Agronomy Journal**, Madison, v.45, p.2246-2257, 2005.

SUGIHARTO, B. et al. Regulation of expression of carbon-assimilating enzymes by nitrogen in maize leaf. **Plant Physiology**, v.92, p.963-969, 1990.

SWIFT, C.E. **Characteristics of nitrogen fertilizers**. Colorado State University Cooperative Extension (Bulletin), 2004. 4p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4 ed. Tradução Eliane Romanato Santarém, et al. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848 p.

TARTACHNYK, I.; BLANKE, M.M. Effect of mechanically-simulated hail on photosynthesis, dark respiration and transpiration of apple leaves. **Environmental and Experimental Botany**, v.48, p.169-175, 2002.

TASCA, F.A. **Volatilização de amônia a partir da aplicação de duas fontes de nitrogênio, em laboratório**. 2009. 53 p. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2009.

TAYLOR, D.K. et al. Modelling temperature effects on growth-respiration relations of maize. **Plant Cell Environment**, v.21, p.1143-1151, 1998.

TEDESCO, M.J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS, Faculdade de Agronomia, 1995. 174p. (Boletim Técnico de Solos, 5).

TOLLENAAR, M. Sink-source relationships during reproductive development in maize. A review. **Maydica**, Bergamo, v.22, p.49-85, 1977.

TOLLENAAR, M. Is low plant density a stress in maize? **Maydica**, Bergamo, v. 37, p. 305-311, 1992.

THOMISON, P.R. Corn growth and development – Does tillering affect hybrid performance? Disponível em: < <http://ohioline.osu.edu/agf-fact/0121.html> >. Acesso em: 10 agosto 2009.

THOMPSON, D.J.; CLARKE, K.W. Effects of clipping and nitrogen fertilization on tiller development and flowering in Kentucky bluegrass. **Canadian Journal Plant Science**, v.73, p. 569-575, 1993.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. The water balance. Publication in climatology. **Laboratory of Climatology**, New Jersey, v.8, 1955. 104 p.

TSUKAHARA, R.Y.; KOCHINSKI, E.G. Efeito da redução da área foliar a reaplicação de nitrogênio sobre os componentes de produção em milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MILHO E SORGO, 27., 2008, Londrina. **Resumos...** Sete Lagoas: ABMS/EMBRAPA milho e sorgo/IAPAR, 2008. CD-ROM.

UHART, S.A.; ANDRADE, F.H. Nitrogen and carbon accumulation and remobilization during grain filling in maize under different source/sink ratios. **Crop Science**, Madison, v.35, p.183-190, 1995.

World corn supply and use . In: UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA. World agricultural supply and demand estimates. Disponível em: <<http://usda.gov/oce/commodity/wasde/latest.pdf>> Acesso em: 25 janeiro 2010.

VARGAS, L.K.; SCHOLLES, D. Nitrogênio da biomassa microbiana, em solo sob diferentes sistemas de manejo, estimado por métodos de fumigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.22, p.411-417, 1998.

VARGAS, V.P. et al. Índice de Clorofila e teores de nitrogênio no solo como parâmetros auxiliares na recomendação da adubação nitrogenada em cobertura do milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., 2009, Fortaleza. **Resumos...**Fortaleza:SBCS, 2009. CD-ROOM.

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

VASILAS, B.L.; SEIF, R.D. Effect of defoliation on the timing of anthesis and silking of maize inbred lines. **Maydica**, Bergamo, v.30, p.427-435, 1985a.

VASILAS, B.L.; SEIF, R.D. Defoliation effects on two corn inbreds and their single-cross hybrid. **Agronomy Journal**, Madison, v.77, p.816-820, 1985b.

VELOSO, M.E.C. et al. Teor de Nitrogênio, índices de área foliar e de colheita, no milho, em função da adubação nitrogenada, em solo de várzea. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.8, p.13-25, 2009.

VILLAS BÔAS, R.L. et al. Parcelamento e largura da faixa de aplicação da uréia na recuperação do nitrogênio pela planta de milho. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.56, p.1177-1184, 1999.



VOLK, R.; McAULIFFE, C. Factors affecting the foliar absorption of N<sup>15</sup> labeled urea by tobacco. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.18, p.308-312, 1954.

VORST, J.J. **Assessing hail damage to corn**. Historical Materials from University of Nebraska-Lincon Extension. Lincon (Bulletin), 1986.

VOSS, R.; KILLORN, R. Effects of UAN or urea on growing corn. **Integrated Crop Management**, may, 1996. Disponível em: <<http://www.ipm.iastate.edu/ipm/icm/1996/5-27-1996/ureuan.html>> Acesso em:15 março 2008.

WAMSER, A.F.; MUNDSTOCK, C.M. Adubação nitrogenada em estádios fenológicos em cevada, cultivar “MN 698”. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, p.942-948, 2007.

WESTGATE, M.E.; BOYER, J.S. Carboidrate reserves and reproductive development at low leaf water potentials in maize. **Crop Science**, Madison, v.80, p.859-864, 1988.

WILLIAMS, W. P.; DAVIS, F. M. Response of corn to artificial infestation with fall armyworm and southwestern corn borer larvae. **Southwestern Entomologist**, v. 15, p. 163-166, 1990.

WILMAN, D.; WRIGHT, P.T. Some effects of applied nitrogen on the growth and chemical compositions of temperate grasses. **Herbal Abstracts**, v.53, p.387-393, 1983.

WOBETO, C. **Padrão de afilhamento, sobrevivência de afilhos e suas relações com o rendimento de grãos em trigo**. 1994. 102 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.

WOLSCHICK, D. et al. Adubação nitrogenada na cultura do milho no sistema plantio direto em ano com precipitação pluvial normal e com “El Niño”. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.27, p.461-468, 2003.

XUE, J.; SANDS, R.; CLINTON, P.W. Effect of biuret on growth and nutrition of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco) seedlings. **Forestry Ecology and Management**, v.192, p.335-348, 2004.

YAMADA, T. **Adubação nitrogenada do milho: quanto, como e quando aplicar**. Informações Agronômicas Potafós. Piracicaba: Potafós, n.74, p.1-5, 1996.

ZAMPIERI, S. L.; SILVA, V. P. Modelo para o cálculo do déficit anual de milho usando séries históricas de produção em Santa Catarina. In: REUNIÃO TÉCNICA CATARINENSE

DE MILHO E FEIJÃO, 5, 2005, Chapecó. **Resumos...** Chapecó: Newsprint, 2005. p. 169-172.

ZUBLENA, J.P.; ANDERSON, J.R. Soil facts: starter fertilizers for corn production. North Caroline Cooperative Extension Service (Bulletin), 1994. 8p.