

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**DOSES E ÉPOCAS DE APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO  
NA SUSCETIBILIDADE DO ARROZ A  
TEMPERATURA BAIXA NA FASE REPRODUTIVA**

**TESE DE DOUTORADO**

**Ramón Felipe Méndez Larrosa**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2008**

**DOSES E ÉPOCAS DE APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO NA  
SUSCETIBILIDADE DO ARROZ A TEMPERATURA BAIXA  
NA FASE REPRODUTIVA**

**por**

**Ramón Felipe Méndez Larrosa**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área  
de Concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal de  
Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau  
de  
**Doutor em Agronomia**

Orientador:  
Prof. Dr. Enio Marchesan

Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil

2008

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Rurais  
Programa de Pós-Graduação em Agronomia**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Tese de  
Doutorado**

**DOSES E ÉPOCAS DE APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO NA  
SUSCETIBILIDADE DO ARROZ A TEMPERATURA BAIXA  
NA FASE REPRODUTIVA**

**elaborada por  
Ramón Felipe Méndez Larrosa**

**como requisito parcial para obtenção do grau de  
Doutor em Agronomia**

**Comissão Examinadora:**

---

**Enio Marchesan, Dr.  
(Presidente/Orientador)**

---

**Luis Antonio de Avila, Ph.D., (Co-Orientador)(UFSM)**

---

**Leandro Souza da Silva, Dr., (Co-Orientador)(UFSM)**

---

**Walkyria Bueno Scivittaro, Dra. (EMBRAPA)**

---

**Alvaro Roel Dellazzopa, Ph.D. (INIA)**

**Santa Maria, 12 de junho 2008**

## DEDICATÓRIA

A minha família  
Minha esposa Belky,  
e meus filhos, Martín e Maria.  
A meus Pais Martha (*in memoriam*) e Angelino(*in memoriam*),  
A meus irmãos, Hugo, Juan (*in memoriam*), Ruben, Teresa, Elsa e  
Mabel.  
A meus sogros Albérico (*in memoriam*) e Blanca  
A meus amigos Alvear e Teresa

## **AGRADECIMENTOS**

A minha família pelo apoio e tempo que foi suprimido, especialmente a minha esposa por ter que fazer de pai em minha ausência e sua constante incentivo.

Ao PEC/PG pelo apoio financeiro.

Ao Prof.. Orientador Enio Marchesan e aos Profs. do Comitê de orientação, Luis Antonio de Avila e Leandro Souza da Silva pela orientação e ensinamentos recebidos.

A INIA Treinta y Trés por ter colaborado na realização dos experimentos nos seus locais.

Aos Eng. Agr. Enrique Deambrosi, Jose Terra e Sidinei José Lopes pelas sugestões do delineamento experimental executado.

Ao Eng. Agr. Enrique Deambrosi pela ajuda e sugestões recebidas na execução dos experimentos.

Aos Funcionários de INIA Treinta y Trés, da Seção Manejo e Melhoramento de arroz, Servicios Auxiliares, Semillas, Operaciones, Agroclimatologia, e Secretaria: Washington Duplat, Gustavo Crossa, Beto Sosa, Ruben Jara, Fernando Lauz, Alexandra Ferreira, Jorge Obispo, Adan Rodriguez, Luis Casales, Fernando Escalante, Fernando Cabrera, Robert Larrosa, Dardo Mesa, Miguel Dominguez, Rafael Bas, Mauro Figueroa, Carlos Segovia, Bruno Sosa, Fernando Reymundez, Domingo Gadea, Mabel Oxley, Julio Gorosito, Daniel Ramirez, Gerardo Ituarte, Raul Bauzil, Jorge Alonso e Olga Alvarez pela ajuda recebida e responsabilidade na condução dos experimentos de Campo e Casa de Vegetação.

Aos colegas do “Grupo de Pesquisa em Arroz Irrigado de Várzeas da UFSM”: Silvio Cazarotto Villa, Fernando Machado dos Santos, Jacqueline Golombieski, Edinaldo Rabaioli Camargo, Alejandro Kramer, Melissa Walter, Mara Grohs, Tiago Luis Rosato, Gustavo Mack Teló, Paulo Fabricio Massoni, Diego Rost Arocemena, Diogo Machado Cezimbra, Rafael Messomo pela ajuda recebida durante meus estudos, troca de experiência e convivência.

À Universidade Federal de Santa Maria por ter me acolhido durante meus estudos.

A todos aqueles que de uma ou de outra me ajudaram durante minha estada na UFSM.

## **RESUMO GERAL**

Tese de Doutorado em Agronomia  
Programa de Pós-Graduação em Agronomia  
Universidade Federal de Santa Maria

### **DOSES E ÉPOCAS DE APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO NA SUSCETIBILIDADE DO ARROZ A TEMPERATURA BAIXA NA FASE REPRODUTIVA**

Autor: Ramón Felipe Méndez Larrosa  
Orientador: Enio Marchesan  
Santa Maria, 12 de junho de 2008

A liberação de novas cultivares e a melhoria nas práticas de manejo fazem necessário estudar as épocas e doses de N a serem aplicadas para obter altas produtividades. Também existem poucas informações a respeito do efeito das aplicações de doses de nitrogênio (N) em diferentes estádios (vegetativos ou reprodutivos) sobre a sensibilidade das plantas de arroz quando submetidas ao frio na fase reprodutiva. Em vista disto, foram instalados quatro experimentos dois em campo e dois em casa de vegetação com o objetivo de determinar o efeito da época e a dose de aplicação de N sobre a produtividade e sobre a susceptibilidade de plantas de arroz irrigado à temperatura baixa na fase reprodutiva. Os experimentos foram conduzidos no ano agrícola 2006/2007 e 2007/2008 na estação experimental do INIA Treinta y Três, Uruguai. O delineamento experimental utilizado em casa de vegetação foi o inteiramente casualizado em esquema bifatorial (fator A: estádios ou doses de aplicação de N e fator B: tratamento de temperatura), com quatro repetições. Para estudar o efeito da época de aplicação de N, os tratamentos do fator A foram aplicação de N ( $30 \text{ kg ha}^{-1}$ ) nos estádios V4, V5, V6, V7, V8, R0, R1 e a testemunha sem N em cobertura. Para estudar o efeito de doses foram aplicados para o fator A 0, 23, 46 e  $69 \text{ kg ha}^{-1}$  de N no estádio V4 e as mesmas doses no estádio R0 e uma testemunha sem N em cobertura nos dois estádios. No fator B dos dois experimentos realizou-se dois tratamentos: com e sem frio (com frio as plantas foram submetidas com  $12,5^\circ\text{C}$  durante 7 horas em 4 noites seguidas quando o colar da folha bandeira ficou à mesma altura que o colar da folha anterior). O delineamento em campo foi de blocos ao acaso com quatro repetições. Os tratamentos foram de estádios ou doses de aplicação de N iguais aos dos

experimentos em casa de vegetação Em casa de vegetação a esterilidade de espiguetas não é afetada pela aplicação de N em estádios diferentes, nem pelas doses aplicadas, em função dos tratamentos de frio a que as plantas foram submetidas. O tratamento de frio provoca um efeito temporário no índice SPAD atrasando a emergência de panículas e reduzindo o tamanho da panícula, mas não afeta a produtividade. Em campo o arroz cultivado em área após três anos de pecuária há baixa resposta às doses e épocas de aplicação de N em cobertura sobre a produtividade de grãos e seus componentes.

**Palavras-chave:** Arroz irrigado, estádios e doses de aplicação de N, baixa temperatura, índice SPAD.



## **GENERAL ABSTRACT**

Ph D. Dissertation in Agronomy  
Agronomy Graduate Program  
Federal University of Santa Maria

### **RATES AND STAGES OF NITROGEN APPLICATION IN RICE SUSCETIBILITY TO LOW TEMPERATURE IN REPRODUCTIVE STAGE**

Author: Ramón Felipe Méndez Larrosa  
Adviser: Enio Marchesan  
Autor: Ramón Felipe Méndez Larrosa  
Santa Maria, Junho 12, 2008

The release of new cultivars and improvement in management practices is necessary to examine the time and nitrogen (N) rates to be applied to obtain high yields. Also there is little information about the effect of the N rate and stage (vegetative or reproductive) on the sensitivity of plants of rice to cold in the reproductive stage. For these reasons four experiments were installed two in field and two in a greenhouse with the objective of determining the effect of N rates and application timing on yield and on the susceptibility of rice plants to low temperature in the reproductive stage. The experiments were conducted in the 2006/2007 and 2007/2008 growing season at INIA Treinta y tres, Uruguay. The experimental design in greenhouse was completely randomized in a factorial experimental design (factor A: stages or rates of N application and B factor: treatment of temperature), with four replications. To study the effect of the time of application of N, The treatments were application of N (30 kg ha<sup>-1</sup>) in the stages V4, V5, V6, V7, V8, R0, R1 and control without N in topdress. To study the effect of rates were applied to the factor A 0, 23, 46 and 69 kg ha<sup>-1</sup>, in V4 stage and the same rates in R0 stage. For the factor B of the two experiments were carried out two treatments: with and without cold (cold with the plants were treated with 12.5°C for 7 hours in 4 nights when the collar of the flag leaf was at the same height as the collar of the leaf below). Treatments from the field experiments were the same for the factor A of the experiments in greenhouse later explained, in a randomized block design with four replications. In a greenhouse the spikelets sterility was not affected by the application of N in different stages or the rates applied when the plants were subjected to cold. The cold treatment caused a

temporary effect on the SPAD index retarding panicle emergency and reducing the size of the panicle, but did not affect yield. In the rice grown in the area after three years of livestock the plants respond to low rates and times of application of N in yield and its components

**Keywords:** Flooded rice, N application stages, rates of N application, low temperature, SPAD index.

## LISTA DE TABELAS

### Capítulo II

TABELA 1	Produtividade de grãos, número de panículas por metro quadrado, número de grãos/panícula, massa de mil grãos e esterilidade de espiguetas em função da época de aplicação de N na cultivar INIA Olimar, INIA Treinta y Três, Treinta y Três, Uruguai, 2007.....	35
TABELA 2	Índice SPAD, matéria seca da parte aérea de plantas, teor de N total e N absorvido, registrados no estágio R3-R4, em função da época de aplicação de N na cultivar INIA Olimar, INIA Treinta y Três, Treinta y Tres, Uruguai, 2007.....	37
TABELA 3	Produtividade de grãos, panículas por metro quadrado, grãos por panícula, massa de mil grãos e esterilidade de espiguetas em função de doses de N aplicados nas fases vegetativa e reprodutiva na cultivar INIA Olimar, Treinta y Três, Uruguai, 2007.....	38
TABELA 4	Índice SPAD, matéria seca da parte aérea de plantas, teor de nitrogênio (N) total e N absorvido, registrados no estágio R3-R4 em função das doses de N aplicadas nas fases vegetativa e reprodutiva na cultivar INIA Olimar, INIA Treinta y Três, Treinta y Três, Uruguai, 2007.....	39

### Capítulo

### III

TABELA 1	Tratamentos de épocas de aplicação de nitrogênio para a cultivar INIA Olimar. INIA Treinta y Três, Treinta y Três, Uruguai, 2008.....	45
----------	---	----

TABELA 2	Efeito da época de aplicação de nitrogênio na resposta a frio da cultivar Olimar, medida pela esterilidade de espiguetas, produtividade de grãos por balde, número de grãos por panícula e massa de mil grãos, INIA Treinta y Três, Treinta y Três, Uruguai, 2008.....	48
TABELA 3	Efeito da época de aplicação de nitrogênio na resposta a frio da cultivar Olimar, medida pelo índice SPAD aos 3 e 10 dias após o tratamento (DAT) de frio e do número de panículas por balde aos 87 e 92 dias após a emergência (DAE), INIA Treinta y Três, Treinta y Três, Uruguai, 2008.....	49
Capítulo IV		
TABELA 1	Doses de nitrogênio, em kg há <sup>-1</sup> , aplicados na cultivar INIA Olimar nos estádios V4 e R0, Treinta y Três, Uruguai, 2008.....	55
TABELA 2	Efeito da aplicação de temperaturas baixas em plantas de arroz da cultivar INIA Olimar, na esterilidade de espiguetas, produtividade de grãos, número de grãos por panícula e massa de mil grãos . INIA Treinta y Três, Treinta y Três, Uruguai, 2008.....	57
TABELA 3	Efeito da aplicação de temperaturas baixas em plantas de arroz da cultivar INIA Olimar, na medida indireta do teor de clorofila (Índice SPAD) realizados aos 3 e 10 dias após o tratamento (DAT) de frio e número de panículas/balde aos 87 e 92 dias depois da emergência (DAE) de plântulas. INIA Treinta y Três, Treinta y Três, Uruguai, 2008.....	60

## LISTA DE FIGURAS

### Capítulo II

- FIGURA 1 Diagrama apresentando a ocorrência dos estádios de Counce et al. (2000) dos experimentos 1 e 2 em campo. E: emergência de plântulas..... 34

### Capítulo III

- FIGURA 1 Diagrama apresentando a ocorrência dos estádios de Counce et al. (2000) do experimento 1 em casa de vegetação. E: emergência de plântulas, IF: início frio, FF: final frio..... 46

### Capítulo IV

- FIGURA 1 Diagrama apresentando a ocorrência dos estádios de Counce et al. (2000) no experimento de doses de aplicação de N em casa de vegetação. E: emergência de plântulas, IF: início frio, FF: final frio..... 56
- FIGURA 2 Efeitos da dose N nos estádios V4 e R0 na produtividade de grãos por balde. INIA Treinta y Trés, Treinta y Trés Uruguai, 2008..... 58
- FIGURA 3 Efeitos das doses de nitrogênio no estádio V4 e R0 no teor de clorofila medida indireta pelo índice SPAD aos 10 dias do tratamento de frio, INIA Treinta y Trés, Treinta y Trés, Uruguai, 2008..... 60
- FIGURA 4 Efeito das doses de nitrogênio no estádio V4 e R0 no teor de clorofila medida indireta pelo índice SPAD aos 16 dias do tratamento de frio, INIA Treinta y Tres, Treinta y Trés, Uruguai, 2008..... 61
- FIGURA 5 Efeito das doses de nitrogênio no estádio V4 e R0 no número de panículas por balde aos 87 dias após a emergência, INIA Treinta y Trés, Treinta y Trés, Uruguai, 2008..... 62
- FIGURA 6 Efeito das doses de nitrogênio no estádio V4 e R0 no número final de panículas por balde aos 92 dias após a emergência, INIA Treinta y Trés, Treinta y Trés, Uruguai, 2008..... 63

## LISTA DE APÊNDICES

Apêndice 1	Insolação mensal normal e ocorrida de outubro a março nas safras 2006/07 e 2007/08. INIA Treinta y Três, Treinta y Três, Uruguai, 2008.....	74
Apêndice 2	Precipitação pluvial mensal normal e ocorrida entre outubro e março nas safras 2006/07 e 2007/08. INIA Treinta y Três, Treinta y Três, Uruguai, 2008.....	74
Apêndice 3	Temperaturas máximas e mínimas ocorridas durante os meses de janeiro a março de 2007 INIA Treinta y Três, Treinta y Três, Uruguai, 2008.....	75
Apêndice 4	Temperaturas máximas e mínimas ocorridas durante os meses de janeiro a março de 2008 INIA Treinta y Três, Treinta y Três, Uruguai, 2008.....	75
Apêndice 5	Foto amostrando o estádio de tratamento com frio. INIA Treinta y Três, Treinta y Três, Uruguai, 2008.....	76
Apêndice 6	Foto amostrando o estádio de tratamento com frio. INIA Treinta y Três, Treinta y Três, Uruguai, 2008.....	76
Apêndice 7	Foto amostrando o estádio de tratamento com frio. INIA Treinta y Três, Treinta y Três, Uruguai, 2008.....	77

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>CAPÍTULO I. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA: EFEITOS DAS BAIXAS TEMPERATURAS NA RESPOSTA A NITROGÊNIO.....</b>	<b>18</b>
Resumo.....	18
Abstract.....	18
Introdução.....	19
Efeitos do frio na cultura de arroz.....	22
Interação do nitrogênio com baixa temperatura.....	25
Medidas para minimizar o efeito do frio sobre o arroz irrigado.....	26
<b>CAPÍTULO II. MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA EM COBERTURA DO ARROZ IRRIGADO.....</b>	<b>29</b>
Resumo.....	29
Abstract.....	29
Introdução.....	30
Material e métodos.....	32
Resultados e discussão.....	34
Conclusões.....	40
<b>CAPÍTULO III. ÉPOCA DE APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO E A SUSCETIBILIDADE DO ARROZ IRRIGADO A TEMPERATURA BAIXA NA FASE REPRODUTIVA.....</b>	<b>41</b>
Resumo.....	41
Abstract.....	41
Introdução.....	42
Material e métodos.....	44
Resultados e discussão.....	46
Conclusões.....	50
<b>CAPÍTULO IV. DOSES DE NITROGÊNIO E A SUSCETIBILIDADE DO ARROZ IRRIGADO A BAIXA TEMPERATURA NA FASE REPRODUTIVA.....</b>	<b>51</b>
Resumo.....	51
Abstract.....	52
Introdução.....	52
Material e métodos.....	54
Resultados e discussão.....	56
Conclusões.....	63
<b>Conclusões gerais.....</b>	<b>64</b>
<b>Sugestões para trabalhos futuros.....</b>	<b>65</b>
<b>Referências.....</b>	<b>66</b>

## INTRODUÇÃO

### Caracterização do problema

A eficiência da adubação nitrogenada para o arroz irrigado depende de fatores ambientais e do manejo da lavoura. Nos últimos anos, tem ocorrido uma melhora no manejo da lavoura e também a liberação de novas cultivares proporcionando maior potencial de produtividade (Deambrosi & Mendez, 2002). Dentro de uma mesma espécie, as diferentes cultivares podem ter exigências nutricionais diferenciadas (Freitas et al, 2001). Na lavoura de arroz, a adubação nitrogenada tem grandes requerimentos e necessita maiores cuidados quanto a época e doses aplicadas. Isto faz necessária a realização continuada através dos anos de experimentos com o objetivo de determinar a época ideal e a dose a ser aplicada de modo de obter a maior produtividade (Walker, 2006a).

No Rio Grande do Sul, atualmente, as doses de nitrogênio (N) recomendadas para o arroz irrigado dependem do teor de matéria orgânica do solo e ao incremento de produtividade da cultura pretendido, mas podem ser ajustadas em função das condições climáticas ocorridas com relação à temperatura e luminosidade (SOSBAI, 2007). Isso porque o clima na região produtora de arroz do sul do RS existe probabilidade de ocorrência de frio na fase reprodutiva do arroz (Steinmetz et al., 1997), o qual provoca esterilidade de espiguetas com conseqüente diminuição na produtividade de grãos. Neste sentido, trabalhos feitos no Japão e na Austrália determinam um aumento na sensibilidade ao frio com um aumento da disponibilidade de N aplicado tanto na fase vegetativa como na fase reprodutiva do arroz irrigado. As altas doses de N nos estádios vegetativos estão associadas a um rápido crescimento vegetativo antes da floração o qual pode promover um desequilíbrio fotossíntese-respiração, reduzindo as espiguetas cheias e diminuindo a produtividade final (Heenan, 1984). Este autor também encontrou diferenças entre cultivares na sensibilidade ao frio com aumento na dose de N. As aplicações de N nos estádios vegetativos também incrementam o perfilhamento e o número de espiguetas por planta, provocando redução de grãos de pólen cheios por antera tornando-os mais propensos a uma maior esterilidade de espiguetas sob baixa temperatura (Gunawardena et al., 2003a). Estes autores relatam que, removendo perfilhos das plantas de arroz, ocorre maior número de grãos maduros de pólen por



antera e uma menor esterilidade de espiguetas sob baixa temperatura. Segundo Gunawardena & Fukai (2005), as plantas de arroz devem ter suficiente quantidade de assimilados sintetizados no momento da formação do grão de pólen e não de reservas para obter um número ideal deles cheios totalmente de assimilados e ter uma boa fertilidade de espiguetas. Os trabalhos de Satake et al. (1987), mostraram que aplicando N na fase reprodutiva (no período entre diferenciação de espiguetas até o estágio de jovem micróspora) obtiveram a mais alta esterilidade de espiguetas sob baixa temperatura na fase reprodutiva (12°C por 3 dias). Hayashi et al. (2000) demonstraram que altas aplicações de N na fase reprodutiva, no período compreendido entre a diferenciação de espiguetas até micróspora jovem, diminuíram o número de micrósporas e grãos de pólen sendo isto intensificado pelo tratamento de frio (12°C/12°C por 4 dias).

Outro aspecto a ser considerado é que com a liberação de novas cultivares há necessidade de conhecer o efeito das épocas e doses de aplicação de N. Também, há poucas informações no sul do Rio Grande do Sul e leste de Uruguai a respeito das doses de N que podem provocar efeitos sobre a sensibilidade do arroz a baixa temperatura na fase reprodutiva, bem como aquelas relacionadas ao momento da aplicação de N, especialmente devido ao efeito de aplicações de N na fase vegetativa e reprodutiva.

## **Objetivos**

O presente trabalho tem como objetivo estudar a relação entre os efeitos da baixa temperatura e época e dose de aplicação do N.

## **Hipóteses**

- Aplicando o N cedo na fase vegetativa pode reduzir a sensibilidade das plantas de arroz à temperatura baixa na fase reprodutiva.
- A aplicação de dose moderada de N pode diminuir a sensibilidade das plantas de arroz a temperatura baixa na fase reprodutiva.

## CAPÍTULO I

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA: EFEITOS DAS BAIXAS TEMPERATURAS NA RESPOSTA A NITROGÊNIO

#### Resumo

Em regiões de clima temperado há a possibilidade de ocorrência de temperatura igual ou menor do que 15°C durante os estádios reprodutivos do arroz. Nestes estádios, o conteúdo de nitrogênio (N) é comumente alto na planta, devido principalmente às aplicações realizadas no estágio vegetativo. O N é o nutriente utilizado em maior quantidade na cultura de arroz irrigado e, atualmente, as doses utilizadas são cada vez maiores, visando o incremento da produtividade. Pesquisas demonstram que o aumento da esterilidade de espiguetas devido à ocorrência de baixas temperaturas nos estádios mais sensíveis da planta são agravadas com a aplicação de doses elevadas de N. Diferentes características agronômicas, como perfilhamento, número de espiguetas por panícula e estatura de plantas (onde a panícula fica exposta ao frio), que aumentam devido ao acréscimo da aplicação de N, aumentam a esterilidade de espiguetas sob baixa temperatura na fase reprodutiva. A lâmina de água mais profunda é a única prática de manejo citada para atenuar os efeitos da baixa temperatura com alta aplicação de N, enquanto o melhoramento genético objetiva a busca de cultivares com maior tolerância ao frio.

**Palavras-chave:** baixa temperatura, esterilidade de espiguetas, adubação nitrogenada, arroz irrigado.

#### Abstract

In temperate climate regions, temperatures equal or smaller than 15°C are common during the reproductive rice stage. At this stage, plant nitrogen content (N) is usually high mainly due to nitrogen applications in the vegetative stage. Nitrogen is the nutrient applied in largest amount and the amount of N applied has been increased recently to achieve higher grain yield. Some researches report increase in spikelet sterility due to low temperatures occurrence in the most sensitive rice stages. Several characteristics, such as tillering, number of grains per panicle and culms length, which increase due to increment in N application, also increase the spikelet sterility under low temperature in the reproductive stage. Deeper water layer is the

only strategy used to mitigate the effects of low temperatures when high N amounts are used, while breeders try to develop new cultivars with low temperatures tolerance in sensible stages.

**Key-words:** low temperature, spikelet sterility, nitrogen, flooded rice.

## Introdução

A planta de arroz, de origem tropical, requer como temperatura ótima para o crescimento e desenvolvimento entre 25 °C e 30°C, sendo prejudiciais temperaturas inferiores a 20°C, dependendo do estágio de crescimento e desenvolvimento em que se encontra a cultura. Os maiores problemas causados pelas baixas temperaturas são os danos na germinação, crescimento lento e descoloração de plântulas, perfilhamento e crescimento reduzido, atraso da floração, exerceção incompleta da panícula, esterilidade de espiguetas, descoloração das panículas na maturação e grãos imaturos (Nishiyama, 1995).

A área de arroz atingida pelo frio no mundo chega a sete milhões de hectares anuais (Kariya, 2003) Nas regiões Sul do Brasil e Leste do Uruguai, onde o arroz é produzido no sistema de irrigação por alagamento, existe probabilidade de ocorrência de frio na fase reprodutiva da lavoura, nos meses de janeiro e fevereiro (Deambrosi et al., 1997; Steinmetz et al., 1997). Os outros países que reportam danos causados por frio são: Austrália, Bangladesh, China, Colômbia, Cuba, Índia, Indonésia, Irã, Japão, Coreia, Nepal, Paquistão, Peru, Sri Lanka, Estados Unidos e Rússia (Kwak, 2005). Dados da literatura evidenciam que no Japão os danos por frio ocorrem um em a cada quatro anos (Kariya, 2003). Nos Estados Unidos, o local mais afetado por esta condição climática é a região da Califórnia.

Além dos efeitos do frio na fase reprodutiva, na região Sul do Brasil e no Leste do Uruguai também é comum a presença de temperatura baixa na fase vegetativa. Entretanto, na maioria das vezes, nesta última fase, seus efeitos são reversíveis provocando somente um atraso no ciclo da cultura. Notadamente, o efeito mais importante acontece quando o dano por frio ocorre no estágio reprodutivo, já que o mesmo é, na maioria das vezes, irreversível, diminuindo a produtividade de grãos. Porém, a intensidade e a duração do período de frio, bem como o diferente estágio de crescimento e desenvolvimento das plantas, fazem com que estas condições e o dano provocado pelo frio sejam diferentes de país para país

e mesmo de região para região (Cruz & Milach, 2000). O dano por frio ocorre principalmente nas variedades do tipo “Índica”, as quais são semeadas na região Sul do Brasil e no leste do Uruguai, embora estas variedades tenham sido adaptadas a esses ambientes.

Outro fator a ser considerado na sensibilidade das plantas ao frio é o conteúdo de N na planta, que pode ser alterado de acordo com o manejo da adubação nitrogenada. A eficiência da utilização de N na cultura do arroz irrigado depende, principalmente, das características do solo, do manejo da água, das condições climáticas, do sistema produtivo e de cultivares. No Rio Grande do Sul atualmente, as doses de N recomendadas para o arroz irrigado dependem do teor de matéria orgânica do solo e da expectativa de produtividade da cultura. Simultaneamente, tem-se registrado um incremento na quantidade de N aplicado no arroz, na tentativa de se obter maiores produtividades.

Até a década de 60, quando predominavam cultivares de arroz de porte alto, como Caloro, EEA 404 e 406, entre outros, com baixo potencial de rendimento, muito susceptíveis ao acamamento e à brusone, as recomendações de adubação eram na ordem de até 30 kg ha<sup>-1</sup> de N (Recomendações, 1967). Nos anos 70, com a introdução de cultivares de porte intermediário, como Bluebelle e Labelle, de maior potencial de rendimento, houve também aumento nas recomendações máximas até 40 kg ha<sup>-1</sup> de N (Mielniczuck et al., 1969). Posteriormente, o lançamento de cultivares modernos, como BR-IRGA 409, em 1979, e BR-IRGA 410, em 1980, com alto potencial de produtividade, foi novamente acompanhado por novas alterações nas recomendações, aumentando a dose até 70 kg ha<sup>-1</sup> de N (Siqueira et al., 1987). No período de 1985 a 1995, novos cultivares, como BR-IRGA 412 e 413, BRS 6 e 7, IRGA 416 e El Paso L144 que, além da alta produtividade de grãos, apresentavam também outras características desejáveis, como alto vigor inicial, ou tolerância à toxidez de ferro e a brusone, tolerância ao frio e com melhor qualidade de grão, resultaram em alteração nas recomendações de adubação de até 90 kg ha<sup>-1</sup> de N (COMISSÃO, 1995). Atualmente, novos cultivares continuaram a ser produzidos pela pesquisa, alguns como o IRGA 417 e 420, BRS Pelota, Avaxi (híbrido) e IRGA 422CL (mutagênico), com alto potencial de produtividade de grãos e outras características desejáveis, possibilitaram um aumento na dose até 120 kg ha<sup>-1</sup> de N com a flexibilidade em até 30% para mais ou para menos nas recomendações, em função especialmente do histórico de produtividade, ocorrência de acamamento ou

doenças e da situação econômica do produtor (CQFS, 2004; SOSBAI, 2005).

Entretanto, a aplicação isolada de N não conduz a alta produtividade de grãos. Esta depende de inúmeros fatores como preparo do solo com nivelção e drenagem, manejo da água, época de semeadura e controle de plantas daninhas. Também devem ser considerados os diferentes tipos de solos e seu conteúdo de matéria orgânica, conjuntamente com a variedade a ser utilizada. Tendo em consideração todos estes fatores de solo e de cultivo, as condições climáticas determinam a resposta das plantas à adubação nitrogenada. Os ambientes estressantes (baixa temperatura, radiação solar baixa, etc...) determinam que a planta diminua seu metabolismo, não utilizando o N aplicado ou aquele disponível no solo. A obtenção de altas produtividades de grãos com altas aplicações de N se faz sob presença de alta radiação solar. Porém, as condições climáticas são diferentes de região para região e de ano para ano, mudando, portanto, a resposta das plantas ao N.

Além da dose de N, o momento em que se faz sua aplicação pode ser fator importante na resposta da cultura. Na maioria das lavouras de arroz da região Sul dos Estados Unidos, a totalidade de N aplicado é dividida em três aplicações: de 50 a 60% da dose total aplicada no solo seco pouco antes da inundação, de 20 a 25% é aplicada ao início da fase reprodutiva e o restante, de 20 a 25%, é distribuído 10 dias mais tarde (Bollich et al., 1994). No Brasil, as recomendações da pesquisa para aplicações de N nos Estados da região Sul (SOSBAI, 2007) indicam que a dose a ser aplicada depende da quantidade de matéria orgânica do solo e do incremento de produtividade pretendido. O momento de aplicação, por sua vez, depende da quantidade de N a ser aplicada. Caso a dose de N for menor que  $50 \text{ kg ha}^{-1}$ , deve-se realizar uma única aplicação em cobertura, no início da diferenciação da panícula. Para os demais casos, é mais eficiente aplicar em torno de 50% da dose em cobertura no início do perfilhamento e o restante no início de desenvolvimento da panícula. Na Austrália, a maior parte do N é aplicada antes da inundação e, se necessário, mais N é aplicado em cobertura, na iniciação da panícula. A dose média é de 80 a  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, sendo que alguns produtores aplicam até  $250 \text{ kg ha}^{-1}$  de N (Farrell et al., 2003). O produtor na Austrália dispõe de condições climáticas (radiação solar) favoráveis a resposta das plantas ao N (Boerema, 1974). No Uruguai, os trabalhos de pesquisa a campo demonstram as vantagens de aplicar o N em uma, duas ou três vezes, de acordo com o tipo de solo, sistema de rotação,

preparo do solo, sistema de plantio, data de semeadura, histórico de doenças e condições climáticas, podendo limitar a resposta ao nitrogênio. Essas pesquisas recomendam aplicações de N de até 70 kg ha<sup>-1</sup> (Deambrosi & Mendez, 2002).

A época e a dose onde se aplica N podem afetar a sensibilidade do arroz ao frio, portanto, para manejar eficientemente o N é necessário conhecer as relações entre aplicações de N e a ocorrência de temperatura baixa no estágio reprodutivo do arroz.

### **Efeitos do frio na cultura do arroz**

A planta de arroz, de origem tropical, quando semeada em regiões de clima temperado, está submetida a estresse por efeito da temperatura baixa. Os danos podem ser reversíveis, dependendo da fase de desenvolvimento que as plantas se encontram quando ocorre o frio e da duração do mesmo. A obtenção de rendimentos estáveis através dos anos é de extremo interesse, sendo importante conhecer os efeitos das condições ambientais, especialmente com relação à temperatura nos momentos de maior sensibilidade da planta de arroz.

Neste contexto, Buriol et al. (1991) concluem que, na época de floração do arroz em Santa Maria (RS, Brasil), existe risco de ocorrência de temperaturas mínimas do ar prejudiciais à fecundação das flores. No Uruguai, Deambrosi et al. (1997) afirmam que há uma probabilidade de 20% (um em cada cinco anos) de ocorrerem médias decêndias de temperaturas do ar inferiores a 15°C, para todo o mês de janeiro e os dois primeiros decêndios de fevereiro. Steinmetz et al. (1997) estudaram os riscos de ocorrência de temperaturas baixas na fase reprodutiva em oito localidades do Sul do Rio Grande do Sul (Brasil) e duas localidades do Uruguai e encontraram diferenças de riscos entre as regiões, sendo Treinta y Três, localizada no Uruguai, a que apresentou os maiores riscos.

Quando há ocorrência de frio na fase reprodutiva do arroz, há uma redução na taxa fotossintética de 14% a 20%, devido à indução ao fechamento dos estômatos (Shimono et al., 2004). Efeitos similares na capacidade fotossintética foram relatados no Japão por Ohashi et al. (2000). Estes autores estudaram a incidência de baixa temperatura combinada com baixa radiação, já que no norte deste país o arroz irrigado é exposto a estas condições.

Quando há situações de estresse, a planta desenvolve uma série de processos que determinam um sinal para ativar aqueles genes responsivos ao

estresse, gerando então a resposta da planta. Na atualidade, os mecanismos pelos quais os sinais de baixa temperatura são percebidos e traduzidos em resposta bioquímica são pouco conhecidos (Martin & Busconi, 2001). Neste sentido, Rabbani et al. (2003), trabalhando com genes de arroz, encontraram 36 deles associados ao dano por frio atuando ao mesmo tempo; alguns deles envolvidos também na resposta ao estresse provocado por salinidade ou seca.

A temperatura baixa promove uma mudança na fluidez dos lipídeos das membranas celulares, causando perda de suas funções normais (Lyons, 1973). Quando a temperatura diminui até um determinado limite, ocorre uma solidificação dos lipídeos das membranas celulares originando canais com um concorrente incremento da permeabilidade e perdas de metabólitos. As enzimas ligadas à membrana diminuem sua atividade, com acúmulo de metabólitos tóxicos e redução da corrente citoplasmática. Devido ao dano nas membranas, as mitocôndrias e os cloroplastos diminuem sua atividade (Lyons, 1973). O frio também origina aumento nos níveis de espécies de oxigênio ativo que causam dano às membranas das células e organelas, sendo maior nos cloroplastos, diminuindo, portanto a atividade fotossintética (Kuk, 2003). Segundo Imin et al. (2006), o padrão de síntese de proteínas é mudado quando as plantas de arroz são expostas ao frio. Esses autores detectaram e identificaram proteínas responsivas ao dano por frio, que estão associadas à biossíntese de proteínas, resposta ao estresse, biogênese de lipídeos, formação da parede celular, desarranjo de proteínas e metabolismo da energia. Todas essas proteínas afetam o funcionamento das mitocôndrias, retículo endoplasmático, ribossomas e parede celular. A abundância de 37 proteínas da antera foi mudada mais de duas vezes após 1, 2 e 4 dias de tratamento com frio no cultivar Doongara da Austrália.

A literatura relata papel muito importante do cálcio (Ca) na transdução de sinais nas situações de estresse provocando a expressão de genes que respondem ao frio (Smallwood & Bowles, 1982). Assim, Harper et al. (1991) estabelecem que o Ca atua nas plantas como segundo mensageiro através da estimulação de enzimas dependentes do nutriente. Em um trabalho de Abo–El–Saad & Wu (1995), estas enzimas, localizadas nas membranas celulares, foram induzidas pelas giberelinas na germinação de sementes de arroz. Quando as plantas experimentam o frio, as membranas mudam de fluidez e há influxo de Ca, seguido resposta pela aparição das enzimas ligadas ao Ca. Martin & Busconi (2001), na Argentina,

determinaram que as enzimas ligadas ao Ca foram ativadas em resposta ao frio no cultivar de arroz Don Juan. A resposta foi obtida depois de 12 a 18 horas do tratamento térmico, concluindo que as enzimas não participam na parte inicial da resposta. Estas enzimas são encontradas no citoplasma e nas membranas celulares.

Existem dois estádios de maior sensibilidade à temperatura baixa na planta de arroz: no desenvolvimento dos grãos de pólen (emborrachamento) e na antese (Nishiyama, 1995). No primeiro caso, há dois momentos de maior sensibilidade ao frio: no início da meiose e na fase de tétrade do micrósporo jovem após a meiose (Nishiyama, 1984). Isto corresponde no estádio de emborrachamento da planta de arroz quando as aurículas das folhas bandeira e anterior ficam a mesma altura na planta.

Os efeitos da baixa temperatura no estádio reprodutivo são irreversíveis, diminuindo a produtividade de grãos. Neste estádio, a quantidade de grãos de pólen completamente maduros é o parâmetro mais importante na determinação da fertilidade das espiguetas (Satake, 1991; Gunawardena et al., 2002). Os resultados das pesquisas indicam que a principal causa de esterilidade é a indeiscência das anteras no momento da fertilização. O frio provoca inibição no desenvolvimento do grão de pólen, resultando finalmente em esterilidade, principalmente através de indeiscência parcial ou total das anteras. Ocorre um acúmulo de açúcares e amido nas células do tapete, causando uma hipertrofia, o que origina uma interrupção da nutrição dos micrósporos, deixando o grão de pólen incompletamente maduro (Satake, 1976; Satake, 1991; Nishiyama, 1993). O tapete é uma capa de tecido que envolve o lado externo das células mães do pólen ou micrósporos. Esses tecidos desenvolvem um importante papel no processo de desenvolvimento do grão de pólen, aportando os nutrientes necessários.

A quantidade de grãos de pólen necessários para a fecundação estabelecida na literatura é variável. Nishiyama (1995) considera a quantidade ideal como 640 grãos; já Satake (1976) cita a quantidade de 10 grãos e Gunawardena (2002) de 20. Muitas vezes, apesar do número de grãos de pólen aparentemente normais serem suficientes para provocar a fertilização no estigma, ainda assim ocorre esterilidade (Hayashi et al., 2004). Segundo estes autores, isto é devido à ocorrência de mudanças em algumas enzimas responsáveis por processos bioquímicos do metabolismo do carbono, nitrogênio e de resposta ao estresse, devido aos efeitos



combinados da disponibilidade de N e frio.

### **Interação do nitrogênio com baixas temperaturas**

No Rio Grande do Sul e no Leste do Uruguai, para a obtenção de alta produtividade de arroz, é necessária a aplicação de N, já que, em geral, os solos não podem suprir as necessidades desse nutriente às plantas. Comumente, as aplicações em cobertura são realizadas em dois momentos: no início do perfilhamento e no começo da fase reprodutiva. A cobertura nitrogenada, antes da inundação pode aumentar a eficiência de uso do N aplicado na fase reprodutiva, incrementando a matéria seca total, o uso de N e a produtividade de grãos (Wilson et al., 1998). Fisiologicamente existe translocação do N de outras partes da planta para a panícula em crescimento. Os estudos mostram que o consumo do N aplicado é mais rápido na fase reprodutiva do que quando aplicado na fase vegetativa (Bacon, 1985). Portanto, as plantas de arroz encontram-se com um nível alto de N durante a fase reprodutiva, seja pela fisiologia da planta ou pelas aplicações em cobertura.

Na Austrália, em experimento conduzido com as variedades Calrose e Inga, Heenan (1984) concluiu que sob temperatura de 12°C durante 4 dias, no momento quando a aurícula da folha bandeira e da folha anterior ficaram à mesma distância, a esterilidade aumentava com o acréscimo da dose de N aplicado antes da inundação. Por efeito somente do frio, a cultivar Calrose diminuiu a fertilidade de espiguetas em 43%. Entretanto, com a aplicação de 150 kg ha<sup>-1</sup> de N, antes da inundação, a diminuição foi de 65%. Para a cultivar Inga, os tratamentos de baixa temperatura diminuiram a fertilidade de espiguetas em 58%, sem aplicação de N, e 70% com aplicação de 150 kg ha<sup>-1</sup>, antes da inundação.

Posteriormente, Haque (1988), no IRRI, trabalhando com condições controladas e solução nutritiva quando a distancia entre a folha bandeira e a da folha anterior ficou entre -7,5 cm e + 5,0 cm, relatam que a esterilidade de espiguetas induzida por baixas temperaturas (15°C durante 5 dias) foi incrementada com o aumento do N aplicado. No Japão, Hayashi et al. (2000), sob condições controladas em câmara de crescimento, avaliaram o efeito de altas aplicações de N, da temperatura baixa (12/12°C, dia/noite por 4 dias) e do sombreamento na fase reprodutiva, concluindo que a alta quantidade de N aplicado, desde a diferenciação das espiguetas até a fase de início da micróspora do grão de pólen, diminuía a

quantidade de micrósporas e grãos maduros de pólen. Em outro experimento conduzido com a variedade Amaroo, na Austrália, Gunawardena et al. (2003a) observaram que a indução à esterilidade de espiguetas por baixa temperatura (18°C /13°C, dia/noite, por 5 dias) na fase de microesporogenêse do grão de pólen aumentou com a aplicação de N, sendo maior nos tratamentos com 150 kg ha<sup>-1</sup> antes da inundação. O aumento na esterilidade de espiguetas foi devido à redução nos grãos de pólen maduros por antera. Este efeito foi atenuado com a remoção de perfilhos das plantas de arroz. Assim, Gunawardena et al. (2002) citam uma correlação negativa entre o número de perfilhos e o número de grãos maduros de pólen.

Portanto, as aplicações de altas doses de N, que determinam um maior número de perfilhos, causam também o aumento da esterilidade. O nutriente aumentou o crescimento do colmo em comprimento, localizando a panícula fora da proteção da água (Gunawardena et al., 2001). Além disso, a maior quantidade de perfilhos, provocada pela alta aplicação de N, diminui a disponibilidade imediata de assimilados no momento de produção de grãos maduros de pólen (Gunawardena & Fukai, 2004). O aumento de N também incrementou o número de grãos por panícula, reduzindo a quantidade de assimilados no momento da formação de grãos de pólen maduros e ocasionando um aumento de esterilidade de espiguetas (Gunawardena & Fukai, 2005). Trabalhos de Heenan (1984) e Gunawardena (2003a) relatam que a maior esterilidade de espiguetas ocorre com altas aplicações de N, principalmente antes da inundação. Experimentos posteriores demonstraram também alta esterilidade de espiguetas com aplicações de N realizadas na iniciação da panícula (Gunawardena & Fukai, 2005). O período de frio dos tratamentos nos experimentos anteriormente citados foi prolongado: Heenan (1984), 12°C durante 4 dias; Haque (1988), 15°C durante 5 dias; Hayashi et al (2000), 12°C durante 4 dias no estágio de jovem microspora e Gunawardena et al. (2003 a), 18/13°C, dia/noite durante 5 dias durante o desenvolvimento da panícula.

### **Medidas para minimizar o efeito do frio sobre o arroz irrigado**

Os fatores de estresse abióticos como a estiagem, salinidade e temperaturas extremas são conhecidas há muito tempo como os maiores limitantes à produtividade (Boyer, 1982). As plantas estão constantemente expostas ao estresse. Alguns tipos de estresse, como a temperatura, podem ser estressantes em minutos,

entanto outros podem experimentar-se por semanas (falta de água), ou ainda, em meses (carência de nutrientes) (Taiz & Zeiger, 2004). Segundo Smallwood & Bowles (2002), as temperaturas baixas provocam um estresse de desidratação pela diminuição de absorção de água pela raiz e o transporte no colmo. O frio pode gerar estresse osmótico pela incidência no consumo e perda de água ficando uma maior concentração de solutos nas células. Para superar este estresse certas plantas tem evoluído para uma alta capacidade de sintetizar e acumular solutos não tóxicos (osmoprotetores ou solutos compatíveis) no citoplasma. É um mecanismo geral para aumentar a pressão osmótica e manter a turgescência e a gradiente na condução de água (Nuccio et al, 1999). Os osmoprotetores são compostos altamente solúveis que não provocam mudanças no pH fisiológico e não são tóxicos a altas concentrações e podem estabilizar proteínas e membranas quando níveis salinos ou temperaturas extremas são desfavoráveis (Mc Neil et al., 1999). Segundo Bodapati et al. (2006), a aplicação foliar de osmoprotetores (glycinebetaine) aumentou ao dobro o número de grãos de pólen da planta de arroz comparado com a testemunha. Estes pesquisadores relatam que em experimento de campo a aplicação destes compostos na safra 2000/2001 incrementou a produtividade de arroz em 11%.

Quando ocorrem condições de alta temperatura existe a produção de proteínas derivadas do choque de calor (heat shock protein) as quais protegem as plantas do estresse de alta temperatura (Vierling, 1991). Segundo Sabehat et al. (1996), as proteínas sintetizadas em um ambiente de alta temperatura podem permanecer por muito tempo (21 dias) dando proteção às plantas quando submetidas a baixa temperatura. Em plântulas de arroz submetidas a 45°C durante 10 minutos não foram observados os sintomas de dano por frio quando foram submetidas depois a baixa temperatura (Salveit, 2001).

Diversos pesquisadores tentaram atenuar o problema das baixas temperaturas no estágio reprodutivo do arroz através de práticas de manejo. Nesse contexto, Williams & Angus (1994) pesquisaram a resposta em produtividade de grãos das aplicações de N em duas profundidades da lâmina d'água (5 e 20 cm) no estágio mais sensível para o desenvolvimento do grão de pólen à baixa temperatura. Os autores obtiveram resposta de até 125 kg ha<sup>-1</sup> de N na maior profundidade d'água (20 cm). Isto está relacionado com a proteção da panícula à baixa temperatura promovida pela lâmina de água, o que ocasiona um aumento na quantidade de grãos maduros de pólen (Gunawardena et al., 2001).

A temperatura da água é mais alta quando a temperatura do ar chega a valores abaixo de 15°C (Roel, 2004). A mesma, também, pode variar de acordo com a profundidade da lâmina. Assim, Roel (2004) determinou que a temperatura de uma lâmina da água mais estreita foi mais baixa do que uma maior. Neste sentido, Gunawardena et al. (2003b) estabeleceram que, para as condições da Austrália, a baixa temperatura da raiz, sob condições de lâmina da água superficial, pode contribuir negativamente para maior esterilidade de espiguetas. Este resultado foi confirmado em pesquisas posteriores realizadas também na Austrália por Gunawardena (2005).

Em relação ao melhoramento de plantas visando a tolerância ao frio, existem dificuldades na seleção a campo já que a semeadura tardia de genótipos para fazer coincidir o estágio mais sensível com o frio é difícil, em função de diferenças no ciclo entre genótipos. Esta dificuldade de trabalhar a campo levou a condução de pesquisas com temperatura controlada (Cruz & Milach, 2000). Segundo estes autores, a herança da tolerância ao frio em arroz parece ser oligogênica e em alguns estudos de herdabilidade pode ser moderada a alta. Os autores também afirmam que a tolerância ao frio nos estádios vegetativos e reprodutivos é governada por fatores genéticos diferentes, sendo necessário realizar seleção em cada fase. De forma resumida, estabelecem que o mecanismo fisiológico primário envolvido na tolerância ao frio é a conservação da atividade e funcionamento das membranas celulares a baixa temperatura. Estes autores mencionam as técnicas modernas utilizadas, que são a fluorescência da clorofila e o uso de marcadores isoenzimáticos. Segundo Farrell et al. (2003), vários procedimentos no melhoramento de plantas, na Austrália, como introdução de genótipos tolerantes ao frio, aumento do tamanho das anteras e incremento da sensibilidade ao fotoperíodo, deveriam ser levados em consideração para atenuar os efeitos do frio. No Uruguai, trabalhos de pesquisa em melhoramento de plantas, conduziram à criação do cultivar INIA Tacuarí, tolerante ao frio para semeaduras tardias com obtenção de bons níveis de rendimento. Neste país, a pesquisa na busca de cultivares tolerantes ao frio é um programa permanente de trabalho.

## CAPÍTULO II

### MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA EM COBERTURA DO ARROZ IRRIGADO

#### NITROGEN TOPDRESS APPLICATION MANAGEMENT FOR FLOODED RICE

##### **Resumo**

Com a liberação de novos cultivares de arroz irrigado, de maior produtividade potencial e qualidade de grãos, há a necessidade de se conhecer o comportamento desses materiais com relação ao manejo da adubação, especialmente a adubação nitrogenada em cobertura. Com este objetivo foram conduzidos dois experimentos em campo com a nova cultivar uruguaia INIA Olimar, para estabelecer, doses e épocas de aplicação de nitrogênio (N). Os experimentos foram conduzidos no ano agrícola 2006/07 na estação experimental do INIA Treinta y Trés, Uruguai. Para avaliar o efeito do estágio de desenvolvimento na aplicação de N, em um experimento, os tratamentos foram compostos pela aplicação 30 kg de N ha<sup>-1</sup> nos estádios V4, V5, V6, V7, V8, R0 e R1 e para determinar o efeito de doses, em outro experimento, os tratamentos foram compostos pela aplicação de 23, 46 e 69 kg de N ha<sup>-1</sup> no estágio V4 e as mesmas doses no estágio R0, além de uma testemunha sem nitrogênio nos estádios V4 e R0 em ambos os experimentos. Para o arroz INIA Olimar cultivado no Uruguai em área após três anos de pecuária há baixa resposta às épocas e não há influencia das doses de aplicação de N em cobertura sobre a produtividade de grãos e seus componentes.

**Palavras-chave:** Nitrogênio, época e dose de aplicação de nitrogênio, manejo do nitrogênio, *Oryza sativa*.

##### **Abstract**

With the release of new rice cultivars, it is necessary to know the best nitrogen management to achieve maximum yield. For this reason, it were conducted two field experiments with the new cultivar INIA Olimar, with the objectives of to determine the best stage and rates of nitrogen application, for the experiment one and two,

respectively. The experiments were conducted in 2006/2007 growing season at INIA Treinta y Tres, Uruguay. The experimental design for both experiments was a randomized complete block with four replications. To study the effect of the growth stage in response to N, the treatments were applied of the same rate of N ( $30 \text{ kg ha}^{-1}$ ) at V4, V5, V6, V7, V8, R0, R1 growth stages and including a check plot without nitrogen application. To study the effect of rates were applied 23, 46 and  $69 \text{ kg ha}^{-1}$  of N in the stage V4 and the same rates at the R0, including a check without N in V4 and R0 stages. For the new rice cultivar INIA, grown in Uruguay in area after three years of livestock production, does not respond to nitrogen rates and timing of application.

**Keywords:** growth stage, nitrogen management, *Oryza sativa*.

## Introdução

A eficiência da adubação nitrogenada para o arroz irrigado depende de fatores ambientais e do manejo da lavoura. Nos últimos anos, o surgimento de novos cultivares e a adoção de práticas de manejo mais apropriadas têm proporcionado maior potencial de produtividade (Deambrosi & Mendez, 2002). Entretanto, segundo Freitas et al. (2001), diferentes genótipos de uma mesma espécie podem mostrar exigências nutricionais diferenciadas. Entre os nutrientes essenciais, o N é o elemento que requer as maiores quantidades e maiores cuidados em relação à época e ao modo de aplicação, sendo necessário a realização continuada de experimentos sobre doses e épocas de aplicação de N para determinar as recomendações mais apropriadas para o cultivo de arroz (Walker, 2006a, 2006b).

Como apenas parte do N aplicado é utilizada pelas plantas, devido às perdas físicas ou químicas, imobilização por microorganismos ou sorção ao solo (Norman et al., 2003), as quantidades devem ser as adequadas para obter alta produtividade de grãos e não poluir o ambiente. Também as condições climáticas, principalmente temperatura e radiação solar, afetam a utilização de N pelas plantas sendo necessário avaliar em cada região e entre anos as necessidades totais de N pelas plantas. A recomendação de adubação de N depende da dose e da época adequada de aplicação, pois segundo Norman et al. (2003), os componentes tidos em conta

em uma apropriada nutrição com N são: fonte correta de adubo nitrogenado, dose e momento adequado de aplicação de N.

Com relação à época de aplicação, são poucos os trabalhos na literatura tendo como objetivo determinar o momento ótimo de aplicação de N na fase vegetativa. A adubação nitrogenada no início da fase reprodutiva, mais especificamente na alongação dos entrenós, tem sido a mais estudada. Assim, Hall et al. (1967) e Wells & Johnston (1970), avaliando três cultivares, encontraram que a maior produtividade foi obtida com a aplicação de nitrogênio quando os entrenós tinham determinado comprimento, sendo variável para cada cultivar. No Uruguai, avaliando aplicações sucessivas de N na fase reprodutiva, Santos & Jacques (1999) encontraram diferenças em produtividade entre os momentos fisiológicos, sendo o início de alongação dos entrenós o mais apropriado para aplicação de N para a cultivar INIA Tacuarí. Para a cultivar El Paso 144, Deambrosi & Mendez (2002) encontraram o momento ótimo de aplicação de N aos 10 dias após o início da alongação dos entrenós.

Para aplicação na fase vegetativa, Santos & Jacques (1999) obtiveram um incremento do número de perfilhos para a cultivar INIA Tacuarí, sendo o momento ótimo de aplicação de N aos 10 dias após o início do perfilhamento. Também, Deambrosi & Mendez (2002) encontraram incrementos em matéria seca e N absorvido com aplicações sucessivas de N a partir do início do perfilhamento, sendo os máximos para estas características aos 10 dias para INIA Tacuarí e 13 dias para El Paso 144.

Em relação à dose de N aplicada, Scivittaro & Machado (2004) relatam vários aspectos a serem considerados na resposta do arroz irrigado, os quais interagem entre si, podendo-se destacar o suprimento do N do solo e outros nutrientes (P, K), tipo de solo, época e densidade de semeadura, controle de plantas daninhas, doenças, rotação de culturas, fontes e épocas de aplicação de N, e condições climáticas (particularmente temperatura e radiação solar). Segundo esses autores, é importante que a definição da dose de N a aplicar não seja só definida através do teor de matéria orgânica do solo, mas também baseando-se em resultados locais de pesquisas. No Uruguai, os trabalhos de pesquisa em campo demonstram as vantagens de aplicar o N em uma, duas ou três vezes, de acordo com o tipo de solo, sistema de rotação, preparo do solo, sistema de plantio, data de semeadura,

presença de doenças e condições climáticas; recomendando-se aplicações de até 70 kg de N ha<sup>-1</sup> (Deambrosi & Mendez, 2002).

Assim, o objetivo desse trabalho foi determinar a melhor época de aplicação de N (Experimento 1) e a melhor dose de N em cobertura (Experimento 2) para a obtenção da maior produtividade de grãos do novo cultivar INIA Olimar.

## Material e Métodos

Foram instalados dois experimentos em campo experimental de Paso de la Laguna do INIA Treinta y Trés (latitude: 33° 14”S, longitude: 54°22” e altitude: 25 m). Antes da semeadura coletaram-se amostras de solo nos quatro blocos do experimento para realizar análise química, onde os resultados, em média para o experimento 1 foram: pH (H<sub>2</sub>O): 5,3, M.O. (%): 2,66 (adequado), P (Bray 1 μ P g<sup>-1</sup>): 3,4 (baixo); P (Ac. Cítrico μ P g<sup>-1</sup>): 3,8 (baixo) e K (meq 100g<sup>-1</sup>): 0,30 (adequado). Para o experimento 2 os valores médios foram: pH (H<sub>2</sub>O): 5,4, M.O. (%): 2,42 (adequado), P (Bray 1 μ P g<sup>-1</sup>): 3,0 (baixo). P (Ac. Cítrico μ P g<sup>-1</sup>): 3,5 (baixo) e K (meq 100 g<sup>-1</sup>): 0,32 (adequado). As interpretações entre parênteses estão de acordo ao recomendado pelo INIA Treinta y Tres Estação Experimental del Este , Uruguai.

No Experimento 1, foi aplicada uma dose total em cobertura de 60 kg de N por ha<sup>-1</sup>, sendo 30 kg ha<sup>-1</sup> aplicados em diferentes estádios de desenvolvimento da fase vegetativa (V4, V5, V6, V7 e V8) e outros 30 kg ha<sup>-1</sup> na fase reprodutiva em R0, além de dois tratamentos que receberam 30 kg ha<sup>-1</sup> em V4 e outros 30 kg ha<sup>-1</sup> em R1 e R2, mais uma testemunha sem N em cobertura. No experimento 2 variou-se a dose de N, aplicando-se 0, 23, 46 e 69 kg de N ha<sup>-1</sup> em V4 e outros 23 kg de N ha<sup>-1</sup> no estádio R0, além de outros três tratamentos que receberam 23 kg de N ha<sup>-1</sup> em V4 e 0, 46 e 69 kg de N ha<sup>-1</sup> em R0, mais uma testemunha sem N em cobertura. O estádio R0 foi definido quando o início de alongamento dos entrenós e R1 quando se observou o primórdio floral. Os dois experimentos tiveram uma adubação de N na semeadura na linha de 27 kg há<sup>-1</sup>. Todos os tratamentos de aplicação de N foram realizados com as parcelas alagadas. Os dois experimentos foram inundados aos 22 dias da emergência de plântulas. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com 4 repetições. Utilizou-se a escala de Counce et al. (2000) para a determinação dos estádios de crescimento e desenvolvimento, marcando com anéis de arame colorido 10 plantas em todas as parcelas de um bloco.



Utilizou-se a cultivar INIA Olimar semeando-se em 19 de novembro de 2006 na densidade de  $148 \text{ kg ha}^{-1}$  de semente e aplicando  $27 \text{ kg ha}^{-1}$  de N e  $70 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  na semeadura. O potássio foi aplicado a lanço nas parcelas quatro dias depois da semeadura usando cloreto de potássio na quantidade de  $20 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ . INIA Olimar é uma cultivar semi-anã, e tem um ciclo total até maturação de 123 dias enquanto que para El Paso 144 o ciclo é de 134 dias. O solo do experimento foi preparado com quatro gradagens e finalizado com um rolo compactador para semeadura em linha. Depois destas operações foram construídas as taipas e os canais de água para irrigação, sendo que cada parcela foi delimitada por taipas. No experimento 1 o número médio de plântulas emergidas por metro quadrado foi de 213 com um coeficiente de variação de 22,1 enquanto no experimento 2 o número médio foi de 206 com um coeficiente de variação de 19,1.

O controle de plantas daninhas nos dois experimentos foi realizado aos 9 dias da emergência de plântulas de arroz, com uma mistura de herbicidas, quinclorac ( $0,325 \text{ g ha}^{-1}$  i.a.) + clomazone ( $0,38 \text{ g ha}^{-1}$  i.a.) + propanil ( $1,68 \text{ g ha}^{-1}$  i.a.) + pirazosulfuron-etil ( $25 \text{ g ha}^{-1}$  i.a.). No estágio V7- V8 os experimentos foram drenados para controle de “bicheira da raiz” (*Oryzophagus oryzae*). Utilizou-se este método por ser menos tóxico. A água se manteve em um nível baixo e o solo ficou seco por dois dias alagando-se em seguida.

Nos dois experimentos, no estágio R3-R4 foi realizada coleta de plantas de uma área de  $0,25\text{m} \times 0,17\text{m}$  ( $0,085 \text{ m}^2$ ), cortando-as no nível do solo, as quais foram usadas para determinar a quantidade de matéria seca e de nitrogênio total. A partir do teor de N total e da matéria seca determinou-se a quantidade de N absorvido. No momento de emergência das panículas (R3-R4) realizou-se a leitura com o clorofilômetro (SPAD 502) no terço superior de 10 folhas bandeira por parcela nos dois experimentos.

No momento da colheita, coletaram-se amostras de plantas de área de  $0,30\text{m} \times 0,17\text{m}$  ( $0,102\text{m}^2$ ) para a determinação dos componentes da produtividade de grãos. Nestas amostras registraram-se o número de panículas  $\text{m}^{-2}$ , sendo coletadas 15 panículas para determinação da esterilidade de espiguetas e grãos por panícula. A produtividade de grãos foi avaliada em uma área de  $1,36 \text{ m} \times 6 \text{ m}$  ( $8,16 \text{ m}^2$ ), sendo ajustada à umidade dos grãos para 13%, para determinar a massa de mil grãos e produtividade de grãos.

A análise estatística dos resultados foi realizada utilizando-se o pacote estatístico MSTAT 4 (da Universidade de Michigan, USA).

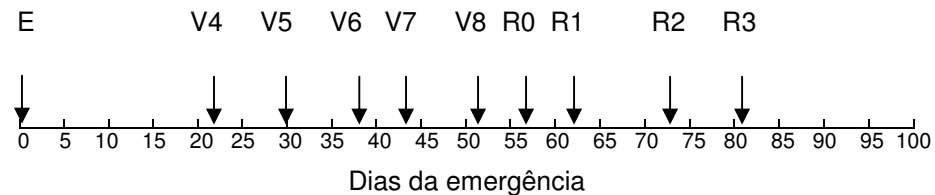


Figura 1 Diagrama apresentando a ocorrência dos estádios de Counce et al. (2000) dos experimentos 1 e 2 em campo. E: emergência de plântulas.

### Resultados e discussão

Com relação à época de aplicação do nitrogênio (Tabela 1), houve resposta significativa à aplicação de N na produtividade de grãos de arroz, comparado com a testemunha sem N, destacando-se quando a aplicação de N foi realizada no estádio V7. Entretanto, a aplicação de N neste estádio não foi significativamente diferente dos demais tratamentos que receberam N em cobertura. Os componentes da produtividade não foram influenciados pela época de aplicação de N, exceto para massa de mil grãos, cuja diferença apresentada entre os tratamentos é pequena e de pouco significado agrônômico e só foi evidenciada pelo baixo coeficiente de variação. Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Santos & Jacques (1999), que trabalhando com os cultivares INIA Tacuari e El Paso 144, não encontraram diferenças para a produtividade de grãos entre os estádios de aplicação de N no perfilhamento. No entanto, Walker et al. (2006b) encontraram que as aplicações de N para cultivares semi-anãs tiveram maior produtividade quando o N foi aplicado antes da inundação definitiva comparado com aplicações na fase reprodutiva.

Tabela 1. Produtividade de grãos, número de panículas por metro quadrado, número de grãos/panícula, massa de mil grãos e esterilidade de espiguetas em função da época de aplicação de N na cultivar INIA Olimar, INIA Treinta y Trés, Treinta y Trés, Uruguai, 2007.

Tratamentos	Produtividade de grãos	Panículas m <sup>-2</sup>	Grãos panícula <sup>-1</sup>	Massa de mil grãos	Esterilidade de espiguetas
	T ha <sup>-1</sup> ...			.....g.....	.....%.....
Testemunha	8,61 b <sup>(1)</sup>	635 <sup>ns(2)</sup>	86 <sup>ns</sup>	27,1 bc	16,6 <sup>ns</sup>
V4/R0 <sup>(3)</sup>	9,38 ab	622	86	27,7 a	14,2
V5/R0	9,80 ab	662	97	27,2 bc	21,6
V6/R0	9,95 ab	557	93	27,4 ab	17,2
V7/R0	10,49 a	689	94	27,1 bc	24,2
V8/R0	9,51 ab	625	94	26,9 bc	20,4
V4/R1	9,67 ab	622	95	27,3 abc	19,2
V4/R2	9,12 ab	578	91	26,9 c	13,6
Média	9,57	624	92	27,2	18,4
C.V.(%)	7,0	15,3	8,6	0,8	39,9

<sup>(1)</sup> Médias nas colunas não ligadas pela mesma letra diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro;

<sup>(2)</sup> Teste F não significativo.

<sup>(3)</sup> Estádios de desenvolvimento segundo escala de Counce et al. (2000) nos quais foram aplicados 30 kg ha<sup>-1</sup> de N.

A pouca influência da época de adubação nitrogenada neste experimento pode estar relacionada a três aspectos principais. Um deles é o manejo do solo antes da semeadura, o qual foi realizado preparo de verão com aplicação de glifosato um mês antes da semeadura. Esta aplicação de herbicida promoveu a morte da vegetação que, pela decomposição, liberou N para o solo, sendo aproveitado pelas plantas de arroz. Outro aspecto a considerar é que no campo experimental realiza-se uma rotação de um ano de arroz e três anos de pousio do solo, o que possibilita a regeneração da vegetação. A disponibilidade de N pelo solo parece ter sido próximo do suficiente para as plantas, já que o N do solo é a principal fonte de N para as plantas de arroz e, segundo Kealey (1994), o solo pode aportar até 90% do N total consumido pelas plantas. Assim, em função da pequena quantidade adicional de nitrogênio que a planta precisou, a época de fornecimento pode não ter sido um fator decisivo. Um terceiro aspecto foi a aplicação de N na semeadura o qual pode ter sido suficiente para as plantas.

Embora pouco efeito sobre o rendimento de grãos e seus componentes, a aplicação de N nos diferentes estádios promoveu efeito significativo no teor de clorofila medido pelo índice SPAD, sem ter uma relação aparente com o rendimento de grãos, a semelhança do que foi observado para a massa de mil grãos. A análise de comparação de médias apresentou diferenças entre as aplicações entre os estádios V4/R0 (maior) e V4/R1 (menor) (Tabela 2). Para os parâmetros de matéria seca da parte aérea de plantas, teor de N nas plantas e N absorvido não foram encontradas diferenças significativas, evidenciando que as diferenças no índice SPAD não foram suficientes para provocar efeitos sobre o potencial produtivo das plantas. A drenagem do solo para controle da bicheira não deve ter interferido nestas variáveis, já que os valores encontrados são maiores aos relatados por Méndez (2000) utilizando a cultivar El Paso 144 no estádio R0. Assim, pode-se inferir que o solo teve um bom fornecimento de N para as plantas devido ao teor de N absorvido tanto na testemunha como nos demais tratamentos com aplicação de N.

Tabela 2. Índice SPAD, matéria seca da parte aérea de plantas, teor de N total e N absorvido, registrados no estágio R3-R4, em função da época de aplicação de N na cultivar INIA Olimar, INIA Treinta y Trés, Treinta y Trés, Uruguai, 2007.

Tratamentos	Índice SPAD	Matéria Seca ....T ha <sup>-1</sup> ....	N total .....%.....	N absorvido .....kg ha <sup>-1</sup> .....
Testemunha	32,2 ab <sup>(1)</sup>	15,95 <sup>ns (2)</sup>	0,87 <sup>ns</sup>	138,7 <sup>ns</sup>
V4/R0 <sup>(3)</sup>	34,8 a	17,30	0,85	147,5
V5/R0	34,2 ab	15,88	0,90	140,4
V6/R0	33,8 ab	14,58	0,90	132,6
V7/R0	33,8 ab	16,48	0,90	146,9
V8/R0	34,5 ab	14,22	0,90	128,9
V4/R1	31,7 b	15,46	0,86	132,6
V4/R2	33,6 ab	14,78	0,84	123,5
Média	33,6	15,58	0,88	136,4
C.V.(%)	3,6	12,8	7,4	12,9

<sup>(1)</sup> Médias nas colunas não ligadas pela mesma letra diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro;

<sup>(2)</sup> Teste F não significativo.

<sup>(3)</sup> Estádios de desenvolvimento segundo escala de Counce et al. (2000) nos quais foram aplicados 30 kg ha<sup>-1</sup> de N.

Apesar dos valores absolutos evidenciarem uma tendência de aumento, não houve efeito significativo das doses de N aplicadas no rendimento de grãos e seus componentes (Tabela 3). É provável que a aplicação de N no estágio V4, estágio de desenvolvimento que não evidenciou resposta à aplicação de N no experimento 1 por uma provável maior disponibilidade de N no solo, tenha restringido os efeitos da adubação de cobertura. Além disso, a falta de resposta ao N aplicado pode ter ocorrido pelas condições climáticas ideais, sem ocorrência de condições adversas durante o ciclo da cultura pelo registro de alta produtividade da testemunha.

Tabela 3. Produtividade de grãos, panículas por metro quadrado, grãos por panícula, massa de mil grãos e esterilidade de espiguetas em função de doses de N aplicados nas fases vegetativa e reprodutiva na cultivar INIA Olimar, Treinta y Três, Uruguai, 2007.

Tratamentos	Produtividade de grãos	Panículas m <sup>-2</sup>	Grãos panícula <sup>-1</sup>	Massa de mil grãos	Esterilidade de espiguetas
	...T ha <sup>-1</sup> ...			.....g.....	.....%.....
Testemunha	8,78 <sup>ns(1)</sup>	532 <sup>ns</sup>	105 <sup>ns</sup>	26,9 <sup>ns</sup>	19,9 <sup>ns</sup>
0N V4 – 23N RO <sup>(2)</sup>	8,70	598	100	27,1	16,2
23N V4 - 23N RO	9,84	600	90	27,1	12,6
46N V4 - 23N RO	10,10	625	97	27,4	11,6
69N V4 - 23N RO	10,39	586	99	27,2	10,7
23N V4 – 0N RO	9,52	500	99	26,8	20,0
23N V4 - 46N RO	9,20	618	88	27,3	29,5
23N V4 - 69N RO	9,80	567	103	27,4	16,0
Média	9,54	578	98	27,2	17,1
C.V. (%)	8,9	14,1	12,7	1,5	61,8

<sup>(1)</sup> ns: não significativo

<sup>(2)</sup> Tratamentos referem-se a estádios de desenvolvimento segundo escala de Counce et al. (2000) e a dose de N aplicada.

Em cinco experimentos realizados em INIA Treinta y Três nos últimos anos com a cultivar INIA Olimar, tendo como objetivo determinar a dose ótima de aplicação de N, foi encontrada resposta significativa em três deles (Blanco et al., 2004; Deambrosi et al., 2006, 2007). Nos experimentos em que não houve resposta, os autores sugerem que foi devido a um bom fornecimento de N pelo solo e às condições meteorológicas favoráveis. Cabe ressaltar novamente a rotação de culturas realizada nas fazendas do Uruguai, onde o arroz é cultivado em 25%-30% da área e o restante é utilizado com pecuária. Esta rotação permite recuperar os solos dos anos com cultura de arroz e possivelmente esta seja uma causa da falta de resposta a N nos experimentos. Também, no Uruguai estão sendo conduzidos estudos sobre a presença de microorganismos fixadores de N atmosférico associados à cultura de

arroz (Canzani et al., 1998, Labandera et al., 2004, Irisarri, 2003), o que pode ter contribuído para a falta de resposta ao N.

As doses de N aplicadas influenciaram o índice SPAD, mas esta variável não ajudou a explicar os efeitos sobre a produtividade com a aplicação de N (Tabela 4). O objetivo da leitura SPAD foi correlacionar os valores com o teor de N no tecido das plantas, mas foi obtido um baixo e significativo coeficiente de correlação entre esses parâmetros ( $r= 0,341$ ,  $n=32$ ) provavelmente devido a pequena variação. Nesse sentido, a matéria seca da parte aérea de plantas, o teor de N total e o N absorvido também não foram afetados pelos tratamentos.

Tabela 4. Índice SPAD, matéria seca da parte aérea de plantas, teor de nitrogênio (N) total e N absorvido, registrados no estádio R3-R4 em função das doses de N aplicadas nas fases vegetativa e reprodutiva na cultivar INIA Olimar, INIA Treinta y Trés, Treinta y Trés, Uruguai, 2007.

Tratamentos	Índice SPAD	Matéria Seca ....T ha <sup>-1</sup> ....	N total ....%....	N absorvido ....kg ha <sup>-1</sup> ....
Testemunha	32,4 ab <sup>(1)</sup>	15,48 <sup>ns(2)</sup>	0,84 <sup>ns</sup>	130,2 <sup>ns</sup>
0N V4 – 23N RO	33,7 ab	14,56	0,77	112,4
23N V4 – 23N RO	33,7 ab	15,83	0,84	134,3
46N V4 – 23N RO	34,2 ab	14,96	0,88	132,6
69N V4 – 23N RO	32,4 ab	15,76	0,84	132,9
23N V4 – 0N RO	31,1 b	14,09	0,83	116,8
23N V4 – 46N RO	34,2 a	15,32	0,94	144,3
23N V4 – 69N RO	34,9 a	14,71	0,91	132,4
Média	33,3	15,09	0,86	129,5
C.V.(%)	3,4	13,3	8,6	16,6

<sup>(1)</sup> Médias nas colunas não ligadas pela mesma letra diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro;

<sup>(2)</sup> Teste F não significativo.

A rotação de um ano com arroz e três com pecuária permite uma recuperação de N no solo para ter um adequado fornecimento deste nutriente, mesmo para as novas cultivares liberadas pela pesquisa e, portanto não há necessidade de mudar o manejo da adubação nitrogenada para este cultivar já que para as cultivares com

maior área de plantio como El Paso 144 ou INIA Tacuarí o recomendado é aplicar até 70 kg ha<sup>-1</sup>. Em situações onde a lavoura de arroz é semeada sucessivamente através dos anos devem-se pesquisar qual é o manejo adequado da adubação nitrogenada em cobertura.

### **Conclusões**

Para o arroz INIA Olimar cultivado no Uruguai em área após três anos de pecuária há baixa resposta às doses e pouco efeito das épocas de aplicação de N em cobertura sobre o nível de N na planta, a produtividade de grãos e seus componentes.



**CAPÍTULO III**  
**ÉPOCA DE APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO E A SUSCETIBILIDADE DO ARROZ**  
**IRRIGADO A TEMPERATURA BAIXA NA FASE REPRODUTIVA**

**NITROGEN APPLICATION TIMING AND SUSCEPTIBILITY OF RICE PLANT TO**  
**LOW TEMPERATURE IN THE REPRODUCTIVE PHASE**

**Resumo**

Espera-se que a aplicação de N deve afetar a sensibilidade das plantas de arroz quando submetidas ao frio na fase reprodutiva. Em vista disto, foi instalado um experimento em casa de vegetação, com o objetivo de determinar o efeito da época de aplicação de N sobre a suscetibilidade de plantas de arroz irrigado à temperatura baixa na fase reprodutiva. O experimento foi conduzido no ano agrícola 2007/08 na estação experimental do INIA Treinta y Três, Uruguai. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema bi-fatorial (fator A: estádios de aplicação de N e fator B: aplicação de frio ou não, com quatro repetições. Os tratamentos do fator A foram aplicação de N (30 kg ha<sup>-1</sup>) nos estádios V4, V5, V6, V7, V8, R0, R1 e a testemunha sem N em cobertura. No fator B, realizaram-se dois tratamentos: com e sem frio. No tratamento com frio as plantas foram submetidas a 12,5°C durante 7 horas em 4 noites quando o colar da folha bandeira ficou à mesma altura que o colar da folha anterior. A esterilidade de espiguetas não foi influenciada pela época de aplicação de N em diferentes estádios, pelo tratamento de frio, mas encontrou-se efeito temporário do frio no índice SPAD.

**Palavras-chave:** Arroz irrigado, épocas de aplicação de N, frio, índice SPAD.

**Abstract**

There is a lack of information about the effect of nitrogen applications (N) in different stages (vegetative or reproductive) on the sensitivity of rice plants to cold temperature in booting stage. The objective of the experiment was to determine the effect of the stages of application of N on the susceptibility of rice plants to low temperature in the reproductive phase. The experiment was sowed in 2007/08

growing season in greenhouse in the experimental area of INIA Treinta y Tres, Uruguay, with INIA Olimar cultivar. In the controlled experiment, a completely randomized design was used, with four replications in a factorial scheme (factor A: stages of application of N and factor B: temperature treatment). The treatments of the factor A were N application in V4, V5, V6, V7, V8, R0, R1 and a untreated check. In cold treatment the plants were treated with 12.5°C during 7 hours for 4 nights when the collar of the flag leaf was at the same height of the previous leaf. Spikelet sterility was not affected by the application of N in different stages, by cold treatment or their interaction, but the cold treatment affected temporally the SPAD index.

**Keywords:** Flooded rice, N application stages, low temperature, spikelet sterility, SPAD index.

## Introdução

O nitrogênio (N) é um dos macronutrientes essenciais para a obtenção de alta produtividade de grãos de arroz, sendo um dos nutrientes mais estudados. Entretanto, ainda existem aspectos desconhecidos na sua interação com o ambiente e utilização pela planta. A eficiência de utilização do N pela planta de arroz depende de inúmeros fatores, já que é um nutriente com uma dinâmica especial, sendo influenciado por fatores do ambiente e por práticas de manejo da lavoura. Geralmente, no arroz irrigado, o N é aplicado em três momentos: na semeadura, início do perfilhamento e da fase reprodutiva, com o objetivo de obter maior eficiência de sua utilização. Entretanto, apesar do controle da maioria das variáveis de manejo da lavoura, as condições climáticas, principalmente temperatura e radiação solar, são essenciais para obtenção de resposta ao nutriente e elevada produtividade de grãos.

São poucos os trabalhos encontrados na literatura tendo como objetivo determinar o momento ótimo de aplicação de N dentro dos estádios da fase vegetativa ou reprodutiva e os efeitos na suscetibilidade a baixa temperatura na fase reprodutiva. Satake et al (1987), estudando o efeito do N na suscetibilidade ao frio na fase reprodutiva, dividiram a fase mais sensível ao frio (emborrachamento entre R0 e R2 segundo a escala de Counce) em três estádios: período inicial, entre o estádio de diferenciação dos nós até a diferenciação de espiguetas; período médio, entre a diferenciação das espiguetas até o estádio de jovem micróspora; e, período

tardio entre a jovem micróspora até o final da floração. O estágio mais sensível onde a aplicação de N provocou mais esterilidade de espiguetas foi o período médio, ou seja, entre a diferenciação das espiguetas até o estágio de jovem micróspora. Resultados similares foram obtidos por Hayashi et al. (2000), que encontraram que no período de diferenciação das espiguetas até o início da micróspora a aplicação de N conjuntamente com a ocorrência de frio provocaram maior esterilidade de espiguetas. Experimentos de Gunawardena et al. (2001) na Austrália mostraram maior esterilidade de espiguetas por indução de frio e com aplicações de N na fase vegetativa, pouco antes da inundação, o que, segundo os autores, esteve associado ao incremento da estatura de plantas ficando a panícula em desenvolvimento mais exposta à temperatura baixa do ar. Em outro trabalho, Gunawardena et al. (2003a) trabalharam tanto na fase vegetativa quanto na fase reprodutiva e encontraram que, independentemente da fase, doses únicas originam alta esterilidade de espiguetas, concluindo também que a aplicação de N na fase vegetativa pouco antes da inundação provocou maior esterilidade. As aplicações de altas doses de N, que determinam um maior número de perfilhos, causam também o aumento da esterilidade. O nutriente aumentou o crescimento do colmo em comprimento, localizando a panícula fora da proteção da água (Gunawardena et al., 2001). Além disso, a maior quantidade de perfilhos, provocada pela alta aplicação de N, diminui a disponibilidade imediata de assimilados no momento de produção de grãos maduros de pólen (Gunawardena & Fukai, 2004). O aumento de N também incrementou o número de grãos por panícula, reduzindo a quantidade de assimilados no momento da formação de grãos de pólen maduros e ocasionando um aumento de esterilidade de espiguetas (Gunawardena & Fukai, 2005).

Na região Sul das Américas existe grande probabilidade de ocorrência de temperatura do ar abaixo de 15°C na fase reprodutiva da planta de arroz, temperatura considerada prejudicial à cultura (Deambrosi et al., 1997 e Steinmetz et al., 1997). No Uruguai, em Treinta y Tres, segundo um estudo de 36 anos, existe uma probabilidade de 0,75% de ter um ou mais períodos de 3 ou mais dias com temperaturas menores a 15°C na primeira quinzena de janeiro. Esta probabilidade é maior que a segunda quinzena de janeiro (0,55), que no mês de fevereiro (0,69 e 0,59) e que a primeira quinzena de março (0,69) (Deambrosi & Mendez, 2007).

Em vista do exposto e da falta de resultados locais com aplicações de N dentro dos estádios de cada fase, faz-se necessário a realização de experimentos

com esse intuito. Portanto, o objetivo do experimento foi determinar o efeito da aplicação de N em estádios da fase vegetativa e da fase reprodutiva sobre a suscetibilidade da planta de arroz a temperatura baixa na fase reprodutiva.

### **Material e Métodos**

O experimento foi instalado no ano agrícola 2007/08 com a cultivar INIA Olimar em casa de vegetação do INIA Treinta y Trés, Treinta y Trés, Uruguai. O solo para o experimento foi retirado do campo experimental de arroz do INIA Treinta y Trés. Os resultados da análise química de solos foram, em média, os seguintes: pH (H<sub>2</sub>O), 6,1; M.O.(%), 2,79 (adequada); P (Ac. Cítrico  $\mu$  P g<sup>-1</sup>), 4,40 (baixo); K (meq 100g<sup>-1</sup>), 0,22 (adequado); areia 27%; silte 47%; e argila 26%. O solo foi caracterizado como Solod melânico da Unidade de Solos “La Charqueada” segundo Altamirano (1979), utilizando a Classificação de solos do Uruguai.

As sementes da cultivar Olimar foram embebidas por 24 horas em água e semeadas no dia 6 de novembro de 2007, em baldes de 10 L com 10 kg de solo ficando 8 plântulas por balde. Como fontes de N, fósforo (P) e potássio (K) foram utilizados uréia, fosfato de amônio e cloreto de potássio, respectivamente, aplicando-se a seguinte quantidade como nutriente na semeadura: 8 mg kg<sup>-1</sup> de solo de N, 20,4 mg kg<sup>-1</sup> de solo de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> com a aplicação de fosfato de amônio e 9,6 mg kg<sup>-1</sup> de solo de K<sub>2</sub>O colocando cloreto de potássio. O solo do balde foi mantido úmido colocando-se água quando necessário até a quarta folha quando foi alagado deixando uma pequena lâmina de água a qual foi aumentada na medida que as plantas foram crescendo até atingir 5cm. A quantidade de uréia aplicada nos diferentes tratamentos foi calculada com base na área dos baldes. Os 30 kg há<sup>-1</sup> de N aplicados correspondem a 31 mg de N kg<sup>-1</sup> de solo.

O delineamento utilizado para o experimento foi o inteiramente casualizado em esquema bifatorial (Fator A: estádios de aplicação de N e Fator B: tratamentos de temperatura: com e sem frio), com quatro repetições (Tabela 1).

Tabela 1. Tratamentos de épocas de aplicação de nitrogênio para a cultivar INIA Olimar. INIA Treinta y Trés, Treinta y Trés, Uruguai, 2007.

Tratamentos	Fase vegetativa		Fase reprodutiva	
	Estádio	N (kg ha <sup>-1</sup> )	Estádio	N (kg ha <sup>-1</sup> )
Testemunha sem nitrogênio		0		0
V4/R0 <sup>(1)</sup>	V4	30	R0	30
V5/R0	V5	30	R0	30
V6/R0	V6	30	R0	30
V7/R0	V7	30	R0	30
V8/R0	V8	30	R0	30
V4/R1	V4	30	R1	30
V4/R2	V4	30	R1+ 4 dias	30

<sup>(1)</sup> Estádios de desenvolvimento segundo escala de Counce et al. (2000).

Para a determinação dos estádios de desenvolvimento utilizou-se a escala de Counce et al. (2000), marcando a folha com anéis de arame colorido no colmo principal de 1 planta em 16 baldes.

Os baldes com as plantas foram mantidos todo o tempo na casa de vegetação. Quando o colar da folha bandeira ficou próximo ao colar da folha anterior, entre os estádios R1 e R2 segundo Counce et al (2000), aplicou-se o tratamento de frio. O tratamento foi de 12,5°C por 7 horas durante 4 noites seguidas na câmara de frio. Para a determinação do tratamento de frio fez-se um estudo da base de dados da estação agrometeorológica do INIA Treinta y Trés com registros a partir de 1972. Estudou-se o período de 1° de janeiro a 15 de fevereiro. Selecionaram-se os dias com temperatura menor ou igual a 15°C nesse período, fazendo leitura das bandas do termohidrógrafo para determinar a média de temperatura e o número de horas. A média dessas temperaturas foi de 12,5°C e o número de horas foram de 7. Em todas as situações o evento de frio ocorria nas noites.

A manutenção da temperatura dentro da casa de vegetação foi feita automaticamente, mantendo-se temperaturas entre 20°C e 35°C. Quando a temperatura baixava de 20°C, o sistema automaticamente ligava a calefação e quando a temperatura aumentava acima de 35°C ligava aspersores, que nem sempre foi eficiente para reduzir a temperatura. Durante o período de condução do experimento, registrou-se a temperatura do solo e do dossel de plantas através de um registrador automático de temperatura.

Os parâmetros avaliados foram: determinação do índice SPAD (determinação indireta do teor de clorofila), através de um clorofilômetro, medida aos 3 e 10 dias após do tratamento do frio no terço superior da folha bandeira de 10 plantas no colmo principal; produtividade de grãos por balde; número de panículas por balde; número de grãos por panícula; massa de mil grãos; e esterilidade de espiguetas. A determinação dos componentes do rendimento foi realizada em 10 panículas por balde.

Os dados foram submetidos a análise de variância e as médias separadas pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). Para o análise da percentagem de esterilidade de espiguetas foi utilizada a transformação arco seno (Gomez & Gomez, 1984).

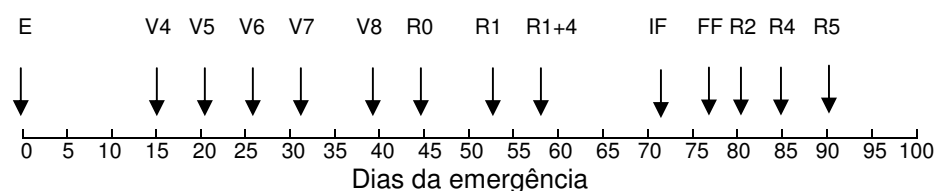


Figura 1 Diagrama apresentando a ocorrência dos estádios de Counce et al. (2000) do experimento 1 em casa de vegetação. E: emergência de plântulas, IF: início frio, FF: final frio.

## Resultados e discussão

Para esterilidade de espiguetas, não foi encontrado efeito significativo dos tratamentos (Tabela 2). Estes resultados são diferentes de resultados encontrados na literatura já que é reportado que as aplicações de N tanto na fase vegetativa quanto na reprodutiva provocam maior esterilidade de espiguetas quando as plantas são submetidas a frio na fase reprodutiva (Heenan, 1984; Haque, 1988; Hayashi et al., 2000 e Gunawardena, 2003a).

Um aspecto importante é a duração do período de frio, sendo que, se o período for prolongado, incluindo aplicação de frio de dia e à noite, ocorre maior esterilidade, como nos trabalhos de Heenan (1984), 12°C durante 4 dias; Haque (1988), 15°C durante 5 dias; Hayashi et al (2000), 12°C durante 4 dias e Gunawardena et al. (2003 a), 18/13°C, dia/noite durante 5 dias. A combinação de temperatura e duração do período de frio relatados, possivelmente estejam relacionados às condições meteorológicas das regiões estudadas, uma vez que no Uruguai o frio geralmente ocorre durante as noites.

Outro aspecto é que os pesquisadores citados anteriormente usaram doses altas de N: Heenan (1984) (75 e 150 kg ha<sup>-1</sup> de N), Haque (1988) (10, 40 e 80 mg kg<sup>-1</sup> de N), Hayashi et al (2000) (80 mg kg<sup>-1</sup> de N) e Gunawardena (2003) (150 kg ha<sup>-1</sup>). No presente experimento utilizou-se 30 kg ha<sup>-1</sup> de N em cada estágio o que é uma dose muito baixa se comparada com as citadas, o que pode explicar, em parte, a não ocorrência de danos pelos tratamentos aplicados. Outro aspecto que pode explicar a falta de respostas às doses de N e de temperatura na esterilidade de espiguetas são as temperaturas elevadas após a aplicação dos tratamentos de frio, pois de acordo com Satake (1969) elevadas temperaturas antes ou depois do tratamento de frio, minimizam o efeito do mesmo na esterilidade de espiguetas.

Ainda podem-se considerar os diferentes momentos em que os genótipos utilizados nos trabalhos por diferentes pesquisadores têm mais sensibilidade ao frio. Assim, Heenan (1984), trabalhando com as variedades Calrose e Inga, encontraram que o momento onde o dano por frio para Calrose foi maior quando a distância entre as aurículas das folhas bandeira e penúltima folha estava entre -1 e +3 cm enquanto que para Inga a maior sensibilidade ocorreu quando a distância entre as duas estruturas botânicas situava-se em +6 cm. A cultivar INIA Olimar utilizada no experimento é nova e, portanto, não se conhece o momento de maior sensibilidade ao frio e pode ter ocorrido que a aplicação dos tratamentos de frio não tivessem ocorrido em momento de maior sensibilidade pela planta. Além disso, a variabilidade encontrada entre as unidades experimentais, para esterilidade de espiguetas foi muito alta (C.V: = 54,7%) , dificultando encontrar diferenças entre os tratamentos. Verificou-se efeito simples da época de aplicação de N na produtividade de grãos por balde, o número de grãos por panícula e massa de 1000 grãos não foram influenciados pelo tratamento de temperatura. A aplicação de N no estágio V4 proporcionou a produtividade mais alta e superior à testemunha, mas não foi registrado diferenças entre os outros tratamentos (Tabela 2). O efeito do N provocando maior número de panículas ao final da floração (92 DAE) (Tabela 3) no estágio V4 explica a maior produtividade de grãos encontrados neste tratamento. A aplicação de N na época V4 seguramente provocou maior perfilhamento

Tabela 2. Efeito da época de aplicação de nitrogênio na resposta a frio da cultivar Olimar, medida pela esterilidade de espiguetas, produtividade de grãos por balde, número de grãos por panícula e massa de mil grãos, INIA Treinta y Trés, Treinta y Trés, Uruguai, 2008.

Tratamentos	Esterilidade De espiguetas	Produtividade de grãos	Grãos por Panícula	Massa de mil grãos
	%	G balde <sup>-1</sup>	Número	g
Testemunha sem nitrogênio	23,4 (ns)	33,7 b <sup>(1)</sup>	76 a	24,9 a
V4/R0 <sup>(2)</sup>	13,8	60,5 a	93 a	25,4 a
V5/R0	13,5	56,5 ab	92 a	26,1 a
V6/R0	15,9	57,5 ab	93 a	26,1 a
V7/R0	19,5	53,5 ab	83 a	25,2 a
V8/R0	16,8	53,5 ab	85 a	26,0 a
V4/R1	13,6	51,8 ab	85 a	26,1 a
V4/R2	13,2	45,7 ab	83 a	25,8 a
Sem frio	17,6 <sup>(ns)</sup>	51,0 <sup>(ns)</sup>	86 <sup>(ns)</sup>	25,8 <sup>(ns)</sup>
Com frio	14,8	52,2	87	25,6
Média	16,2	51,6	86	25,7
C.V.(%)	54,7	21,1	13,3	2,3

<sup>(1)</sup> Médias nas colunas não ligadas pela mesma letra diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ );

<sup>(2)</sup> Estádios de desenvolvimento segundo escala de Counce et al. (2000) nos quais foram aplicados 30 kg ha<sup>-1</sup> de N.

<sup>(ns)</sup> Médias não diferem pelo Teste F ( $p \leq 0,05$ ).

As leituras feitas com o clorofilômetro (índice SPAD) na folha bandeira, três dias após da exposição das plantas ao frio, apresentaram efeitos simples significativos tanto da época de aplicação de N, como do tratamento de temperatura (Tabela 3). Entretanto, a leitura aos 10 dias após o tratamento com temperatura não apresentou resultados significativos, recuperando-se do estresse do frio. O efeito simples do tratamento de temperatura no índice SPAD onde o tratamento com frio provocou diminuição de 30,3 e 29,4 para os tratamentos sem e com frio, respectivamente. Na Tabela 3 apresenta-se a comparação de médias pelo teste de Tukey, tanto aos 3 como aos 10 dias onde o tratamento de aplicação de N no estágio R1+4 dias apresentou maior valor seguramente devido a que a leitura foi realizada pouco depois da aplicação de N. Observa-se também o aumento no índice SPAD entre os registros aos 3 dias (30,3) e aos 10 dias (31,4) de aplicado o frio (R2-R3 e R5, respectivamente). Isto possivelmente seja devido à translocação de N para a folha bandeira. Os registros foram maiores tanto aos 3 como aos 10 dias de tratados nos estádios reprodutivos (R1 e R1+4) possivelmente porque estão próximos das aplicações de N.



Tabela 3. Efeito da época de aplicação de nitrogênio na resposta a frio da cultivar Olimar, medida pelo índice SPAD aos 3 e 10 dias após o tratamento (DAT) de frio e do número de panículas por balde aos 87 e 92 dias após a emergência (DAE), INIA Treinta y Trés, Treinta y Trés, Uruguai, 2008 .

Tratamentos	Índice SPAD	Índice SPAD	Número de panículas por balde	Número de panículas por balde
	3 DAT	10 DAT	87 DAE	92 DAE
Testemunha sem nitrogênio	29,3 bc <sup>(1)</sup>	31,3 abc	7ab	20 ab
V4/R0 <sup>(2)</sup>	28,5 c	31,0 abc	11 ab	27 a
V5/R0	27,7 c	30,8 abc	8 ab	25 ab
V6/R0	28,3 c	32,7 ab	11 ab	26 ab
V7/R0	29,0 bc	29,2 bc	4 ab	18 ab
V8/R0	29,1 bc	27,5 c	1 b	16 b
V4/R1	32,8ab	33,5 a	14 a	26 ab
V4/R1+4	34,2 <sup>a</sup>	34,3 a	13 ab	22 ab
Sem frio	30,3 *	31,4 <sup>(ns)</sup>	10*	22 <sup>(ns)</sup>
Com frio	29,4	31,2	7	23
Média	29,8	31,3	9	22
C.V.(%)	6,1	5,7	65,1	19,8

<sup>(1)</sup> Médias nas colunas não ligadas pela mesma letra diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ );

<sup>(2)</sup> Estádios de desenvolvimento segundo escala de Counce et al. (2000) nos quais foram aplicados 30 kg ha<sup>-1</sup> de N;

\* Média de tratamento por frio diferem pelo Teste F ( $p \leq 0,05$ );

<sup>(ns)</sup> Médias não diferem pelo Teste F ( $p \leq 0,05$ ).

A medida indireta do teor de clorofila (índice SPAD) apresenta um registro relativo da cor verde das folhas. O uso do aparelho está baseado no fato de que a cor na folha está positivamente correlacionada com o teor de N no tecido, e o N na folha deve afetar a produtividade de grãos (Turner & Jund, 1994). Argenta et al. (2001) citando vários autores estabelece que essa relação é atribuída ao fato de que 50% a 70 % do N total das folhas é integrante de enzimas que estão associadas aos cloroplastos. Segundo Lyons (1973), o frio provoca mudanças na fluidez das membranas plasmáticas modificando as funções desta. As proteínas do centro de reação da fotossíntese e transporte de elétrons estão localizados nas membranas dos cloroplastos e também a síntese de ribossomas e proteínas (Berry & Bjorkman, 1980). Portanto, o tratamento de frio provocou uma redução da atividade fotossintética nos primeiros 3 dias, inferido através do índice SPAD diminuindo a produção de assimilados. Depois de 10 dias do tratamento não se observaram diferenças nos registros.

O tratamento de temperatura também afetou o número de panículas por balde aos 87 dias da emergência, onde os registros foram 10 e 7 panículas por balde para o tratamento sem e com frio, respectivamente. Segundo estes resultados um aspecto a considerar foi a diminuição do índice SPAD pelo tratamento de frio o que possivelmente provocou uma diminuição de produção de assimilados originando um atraso na emergência de panículas diminuindo o número aos 87 DAE e recuperando-se aos 92 DAE.

Para alguns autores o frio provocou uma diminuição no número de perfilhos inibindo sua emergência (Kakizaki, 1978) que utilizou uma temperatura média de 18,5°C no estádio de 8 folhas. Shimono et al. (2002) relatam experimentos conduzidos por vários pesquisadores onde concluem que o crescimento do arroz é mais limitado pela temperatura da água que a do ar antes da metade da fase reprodutiva. Estes autores encontraram uma redução de 9% a 14% no número de panículas devido a tratamentos de baixa temperatura (16,9°C±1,2°C em 1996, 17,9°C±1,5°C em 1997 e 16,5°C±1,1°C em 1998) e de 19,5°C±1,6. Shimono et al. (2007) obtiveram redução do perfilhamento com temperatura da água de 19,5°C durante o desenvolvimento da panícula, mas com temperatura baixa na fase vegetativa. No presente experimento a temperatura média do solo e da água foi 15,2°C durante o período de tratamento com frio na câmara.

## **Conclusões**

A esterilidade de espiguetas não é afetada pela aplicação de N em diferentes estádios (0 a 60 kg ha<sup>-1</sup> aplicados de V4 a R1+4) ou pelo frio aplicados na fase reprodutiva, mas este afeta temporariamente o teor de clorofila medido pelo índice SPAD.

## CAPÍTULO IV

### DOSES DE NITROGÊNIO E A SUSCETIBILIDADE DO ARROZ IRRIGADO A BAIXA TEMPERATURA NA FASE REPRODUTIVA

#### NITROGEN RATES AND THE SUSCEPTIBILITY OF THE RICE PLANT TO LOW TEMPERATURE IN THE REPRODUCTIVE PHASE

##### Resumo

A literatura recente do Japão, Austrália e do IRRI relata os efeitos de elevadas aplicações de nitrogênio (N) provocando maior sensibilidade à temperatura baixa nas plantas de arroz. O objetivo do experimento em casa de vegetação foi avaliar os efeitos das doses de N sobre a suscetibilidade das plantas de arroz a temperatura baixa na fase reprodutiva. O experimento foi conduzido no ano agrícola 2007/2008 no INIA Treinta y Trés, Uruguai, utilizando a cultivar INIA Olimar. O delineamento experimental utilizado em condições controladas foi o inteiramente casualizado em esquema bi-fatorial com quatro repetições (fator A: doses de N em estádios vegetativos e reprodutivos e fator B: tratamento de temperatura). Os níveis do fator A foram doses de N de 23, 46 e 69 kg ha<sup>-1</sup> de N no estágio V4 e as mesmas doses no estágio R0 e uma testemunha sem aplicação de N nos dois estádios. No fator B os tratamentos de temperatura foram com e sem frio. O tratamento de frio foi de 12,5°C por quatro noites durante 7 horas sendo realizado quando o colar da folha bandeira estava à mesma altura do colar da folha anterior. A esterilidade de espiguetas não foi influenciada pelo aumento das doses de N, efeito do frio nem sua interação, mas o tratamento de frio teve incidência temporária no índice SPAD.

**Palavras-chave:** Arroz irrigado, nitrogênio, doses de aplicação de N, baixa temperatura, esterilidade de espiguetas, índice SPAD.

## Abstract

The current literature of Japan, Australia and IRRI shows the effect of high rates of nitrogen applications (N) resulting in higher sensitivity to low temperature in rice plants. The objective of the experiment was to evaluate the effect of the levels of N application on the susceptibility of the rice plants to low temperature in reproductive phase. The experiment was conducted in 2007/2008 growing season in controlled conditions in INIA Treinta y Trés, Uruguay, with INIA Olimar cultivar. A completely randomized design was used in controlled experiment with factorial scheme with 4 replications. Factor A was the levels of N application in vegetative and reproductive stages, and factor B the treatment of temperature. The treatments of the factor A were: 23, 46 and 69 kg ha<sup>-1</sup> in V4 stage and the same levels of N in R0 stage plus a check without N in topdress. The temperature treatments were two: with and without cold. The cold treatment of this factor was of 12.5°C during four nights for 7 hours when the collar of the flag leaf was at the same height of the collar of the previous leaf. It was not found incidence of level of N, cold treatment or interaction in spikelet sterility but was found temporally effects in SPAD index.

**Keywords:** Flooded rice, N application stages, low temperature, spikelet sterility

## Introdução

Na região produtora de arroz do Sul do RS e leste do Uruguai é necessário aplicar nitrogênio (N), já que o nitrogênio aportado pelo solo não é suficiente para suprir as necessidades das plantas. As doses são determinadas em experimentos de campo. Estes trabalhos são contínuos de ano para ano devido à liberação de novas cultivares de maior produtividade e qualidade de grãos. A recomendação de aplicação de N deve considerar a dose adequada e, também, a época de aplicação, já que o N é um nutriente que se perde facilmente do sistema de produção por diversos mecanismos (Fageria et al., 2003). Segundo Scivittaro & Machado (2004), no Sul do RS, as recomendações devem situar-se, em média, entre 30 e 90 kg ha<sup>-1</sup> de N para o sistema de semeadura em solo seco e entre 60 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de N para o sistema pré-germinado. No Uruguai, realizam-se aplicações integral ou parcelada para obter maior eficiência, sendo as doses aplicadas de até 70 kg de N ha<sup>-1</sup>.

No leste do Uruguai, Deambrosi et al. (1997) determinaram uma probabilidade de 20% (1 em cada 5 anos) de ocorrerem médias decêndais de temperaturas médias do ar inferiores a 15°C para todo o mês de janeiro e nos dois primeiros decêndios de fevereiro, período coincidente com a fase reprodutiva das plantas de arroz. Steinmetz et al (1997) estudaram os riscos de ocorrência de temperaturas baixas na fase reprodutiva em oito localidades do Sul do Brasil e duas de Uruguai e encontraram diferenças de riscos entre elas, sendo Treinta y Três, no Uruguai, a que apresentou os maiores riscos. Em um estudo recente de uma série histórica de 36 anos, Deambrosi & Mendez (2007) determinaram, para a região leste do Uruguai, maior probabilidade (0,75) de períodos com três ou mais dias com temperaturas menores do que 15°C na primeira quinzena de janeiro, sendo superior à segunda quinzena de janeiro (0,55), às duas quinzenas de fevereiro (0,69 e 0,59) e a primeira quinzena de março (0,69).

Trabalhos realizados no Japão e na Austrália determinaram que a esterilidade de espiguetas ocasionadas por temperatura baixa é aumentada por doses elevadas de N aplicadas (Heenan, 1984; Haque, 1988 Hayashi et al., 2000; Gunawardena et al., 2003a). Alta dose aplicada de N no estágio de diferenciação de espiguetas até o início da formação da micróspora provoca diminuição na fertilidade de espiguetas (Satake et al., 1987). Resultados similares são relatados por Hayashi et al. (2000), devido segundo os autores, à redução no número de micrósporas e grãos de pólen. As aplicações de N tanto na fase vegetativa, pouco antes do início da irrigação, como na iniciação da panícula, ocasionam diminuição no número de grãos maduros de pólen (Gunawardena & Fukai, 2005). As aplicações de doses altas de N nos estádios vegetativos estão associadas a um rápido crescimento vegetativo antes da floração o qual pode promover um desequilíbrio fotossíntese-respiração, reduzindo as espiguetas cheias e a produtividade final (Heenan, 1984). Nos mesmos estádios também pode incrementar o perfilhamento e o número de espiguetas por planta provocando redução no suprimento de assimilados para os grãos de pólen cheios por antera, originando maior esterilidade de espiguetas (Gunawardena et al., 2003a). Gunawardena & Fukai (2005) estabelecem que, para obter um número ideal de grãos de pólen por antera cheios de assimilados, a planta deve ter um fornecimento suficiente de assimilados de forma imediata, ou seja, aqueles produzidos no momento de formação do grão de pólen e não os de reservas da bainha e colmos.

As condições climáticas mudam de região para região, sendo necessário estudar localmente os efeitos das doses de N tanto na fase vegetativa como na reprodutiva na suscetibilidade à baixa temperatura aplicada na fase reprodutiva.

Na região leste uruguaia, há poucas informações a respeito do efeito de doses de N que podem provocar efeitos sobre a sensibilidade do arroz a temperatura baixa. Portanto, o objetivo do experimento foi avaliar a dose de aplicação de N sobre a suscetibilidade das plantas de arroz a temperatura baixa durante a fase reprodutiva.

### **Material e métodos**

O experimento foi instalado no ano agrícola 2007/08 com a cultivar INIA Olimar em casa de vegetação do INIA Treinta y Tres, Treinta y Tres, Uruguai. O solo para o experimento foi retirado do campo experimental de arroz do INIA Treinta y Três. Os resultados da análise química de solos foram, em média, os seguintes: pH (H<sub>2</sub>O), 6,1; M.O.(%), 2,79 (adequada); P (Ac. Cítrico  $\mu$  P g<sup>-1</sup>), 4,40 (baixo); K (meq 100g<sup>-1</sup>), 0,22 (adequado), areia 27%, silte 47% e argila 26%. O solo foi caracterizado como Solod melânico da Unidade de Solos “La Charqueada” segundo Altamirano (1979) da Classificação de solos de Uruguai.

As sementes da cultivar INIA Olimar foram embebidas 24 horas em água e semeadas no dia 6 de novembro de 2007, em baldes de 10 L, com 10 kg de solo ficando 8 plântulas de arroz. Como fontes de N, fósforo (P) e potássio (K) foram utilizados uréia, fosfato de amônio e cloreto de potássio, respectivamente, aplicando-se a seguinte quantidade como nutriente na semeadura: 8 mg kg<sup>-1</sup> de solo de N, 20,4 mg kg<sup>-1</sup> de solo de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como fosfato de amônio e 9,6 mg kg<sup>-1</sup> de solo de K<sub>2</sub>O aplicado como cloreto de potássio. O solo do balde foi mantido úmido colocando água quando for necessário até a quarta folha quando foi alagado deixando uma lâmina de água de 5 mm a qual foi aumentada na medida que as plantas foram crescendo até atingir 5 cm. A quantidade de uréia aplicada nos diferentes tratamentos foi calculada de acordo com a superfície dos baldes.

O delineamento utilizado para o experimento foi o inteiramente casualizado em esquema bifatorial (fator A: doses de aplicação de N e fator B: tratamentos de temperatura: com e sem frio), com quatro repetições (Tabela 1).

Tabela 1. Doses de nitrogênio, em  $\text{kg ha}^{-1}$ , aplicados na cultivar INIA Olimar nos estádios V4 e R0. INIA Treinta y Trés, Treinta y Trés, Uruguai, 2008.

Tratamentos	Estádio V4	Estádio R0
T1	0	0
T2	0	23
T3	23	23
T4	46	23
T5	69	23
T6	23	0
T7	23	46
T8	23	69

Para a determinação dos estádios de desenvolvimento do arroz utilizou-se a escala de Counce et al. (2000), marcando a planta com anéis de arame colorido no colmo principal em 16 baldes.

Os baldes com as plantas foram mantidos todo o tempo na casa de vegetação. No colmo principal quando chegou o estádio onde o colar da folha bandeira ficou próximo ao colar da folha anterior entre os estádios R1 e R2 segundo Counce et al (2000), aplicou-se o tratamento de frio aos baldes correspondentes. O tratamento foi de  $12,5^{\circ}\text{C}$  por 7 horas durante quatro noites na câmara de frio.

Para a determinação do tratamento de frio, fez-se um estudo da base de dados da estação agrometeorológica do INIA Treinta y Trés com registros a partir de 1972. Estudou-se o período de 1° de janeiro a 15 de fevereiro. Selecionaram-se os dias com temperatura menor ou igual a  $15^{\circ}\text{C}$  nesse período fazendo leitura das bandas do termohidrógrafo para determinar a média de temperatura e o número de horas. A média foi  $12,5^{\circ}\text{C}$  para temperatura e o número de horas, sete. Em todas as situações o evento de frio ocorria nas noites.

A manutenção da temperatura dentro da casa de vegetação foi feita automaticamente, mantendo-se temperaturas entre  $20^{\circ}\text{C}$  e  $35^{\circ}\text{C}$ . Quando a temperatura baixava de  $20^{\circ}\text{C}$ , o sistema automaticamente ligava a calefação e quando a temperatura aumentava acima de  $35^{\circ}\text{C}$  ligava aspersores, que nem sempre foi eficiente para reduzir a temperatura. Durante o período de condução do experimento, registrou-se a temperatura do solo e do dossel de plantas através de um registrador automático de temperatura.

Os parâmetros avaliados foram: índice SPAD, medida indireta do teor de clorofila, medidas aos 3, 10 e 16 dias após do tratamento do frio no estádio R2-R3 no terço superior da folha bandeira de 10 plantas no colmo principal, produtividade de grãos por balde, número de panículas por balde, massa de mil grãos e percentagem de esterilidade de espiguetas. A determinação dos componentes do rendimento foi realizada em 10 panículas por balde.

Para a análise estatística foi utilizando o pacote estatístico MSTAT 4 da Universidade de Michigan (E.U.A), aplicando-se o teste F para as variáveis em estudo e, quando significativo, foi feita a análise de regressão polinomial. Para o análise da percentagem de esterilidade de espiguetas foi utilizada a transformação arcoseno (Gomez & Gomez, 1984).

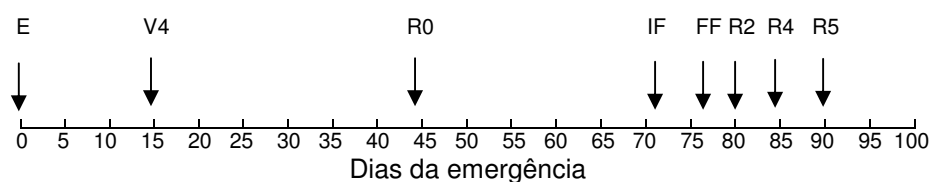


Figura 1 Diagrama apresentando a ocorrência dos estádios de Counce et al. (2000) no experimento de doses de aplicação de N em casa de vegetação. E: emergência de plântulas, IF: início frio, FF: final frio.

## Resultados e discussão

O principal parâmetro em estudo do efeito das doses na suscetibilidade das plantas de arroz ao frio na fase reprodutiva, a esterilidade de espiguetas, não foi influenciada pelos efeitos simples das doses de N, tratamento de temperatura nem foi encontrado interação entre eles. (Tabela 2). Isto difere da maioria dos artigos publicados na literatura principalmente do Japão e Austrália (Heenan, 1984, Haque, 1988, Hayashi et al., 2000, Satake et al., 1987, e Gunawardena et al., 2003a, 2005) onde a esterilidade de espiguetas incrementou em seus trabalhos com o aumento da dose de aplicação de N.

Três aspectos importantes podem ser considerados para explicar os resultados obtidos neste trabalho. Um deles é que o período de tratamento com frio aplicados na maioria dos trabalhos relatados na literatura foi durante as 24 horas do dia com uma duração similar a nosso experimento onde o tratamento de frio foi de 7 horas durante a noite por 4 dias. O período de frio foi selecionado de um estudo da



base de dados das condições locais com uma ocorrência do evento “frio” moderada na região. Também o aumento da temperatura durante o dia é comum depois de noites frias em janeiro.

Outro aspecto é que na maioria dos experimentos citados na literatura a dose de N utilizada foi alta: Heenan (1984) (75 e 150 kg ha<sup>-1</sup> de N), Haque (1988) (10, 40 e 80 ppm de N), Hayashi et al (2000) (80 ppm de N) e Gunawardena et al. (2003a) (150 kg há<sup>-1</sup>). Com estas doses as plantas ficam mais suscetíveis ao frio, mas deve ser a realidade destes países onde a resposta a N é alta devido às condições climáticas adequadas. Neste experimento, a maior dose aplicada foi de 69 kg há<sup>-1</sup>. Há ainda o genótipo reagente. INIA Olimar, genótipo utilizado no experimento de qual se tem pouco conhecimento da suscetibilidade ao frio, principalmente o momento de maior sensibilidade à temperatura fria. Pode ter ocorrido que os tratamentos tenham sido aplicados em momentos em que este genótipo não apresentasse a maior sensibilidade a temperatura baixa. Assim Heenan (1984) trabalhando com as variedades Calrose e Inga encontraram que o momento onde o dano por frio para Calrose foi maior quando a distância entre as aurículas das folhas bandeira e penúltima folha estava entre -1 e +3 cm enquanto que para Inga a maior sensibilidade ocorreu quando a distância entre as duas estruturas botânicas situava-se em +6 cm.

Tabela 2 Efeito da aplicação de temperaturas baixas em plantas de arroz da cultivar INIA Olimar, na esterilidade de espiguetas, produtividade de grãos, número de grãos por panícula e massa de mil grãos . INIA Treinta y Três, Treinta y Três, Uruguai, 2008.

Tratamentos	Esterilidade de espiguetas (%)	Produtividade de grãos (kg balde <sup>-1</sup> )	Número de grãos por panícula	Massa de mil grãos (g)
Sem frio	19,1 <sup>(ns)</sup>	58,3 <sup>(ns)</sup>	90*	26,7 <sup>(ns)</sup>
Com frio	23,2	55,5	80	26,5
Média	21,2	56,9	85	26,6
C.V.(%)	66,4	17,8	21,3	2,2

\* Médias diferem pelo teste F (p≤0,05).

<sup>(ns)</sup> Médias não diferem pelo Teste F (p≤0,05).

O frio provocou diminuição dos grãos por panícula (Tabela 2). Isto pode ter ocorrido ao considerar o colmo principal no balde para determinar o momento de tratamento do frio. Talvez, a maioria dos perfilhos neste momento estivessem mais

atrasados, podendo ter provocado efeito na determinação do número de grãos por panícula.

A produtividade por balde e a massa de mil grãos não foram afetadas pelo frio nem ocorreu interação entre os dois fatores. Apesar do maior número de grãos obtido no tratamento sem aplicação de frio, isto não se refletiu na produtividade. O elevado coeficiente de variação obtido para esterilidade de espiguetas (66,4%) e também para o número de grãos por panícula, explicam, em parte, este resultado. Com relação às doses de N, observou-se incremento da produtividade com o aumento das doses de N, sendo maior a resposta no estágio R0 com aplicação de 69 kg há<sup>-1</sup>. (Figura 1). O incremento em produtividade pode ser explicado por maior número de grãos por panícula neste tratamento.

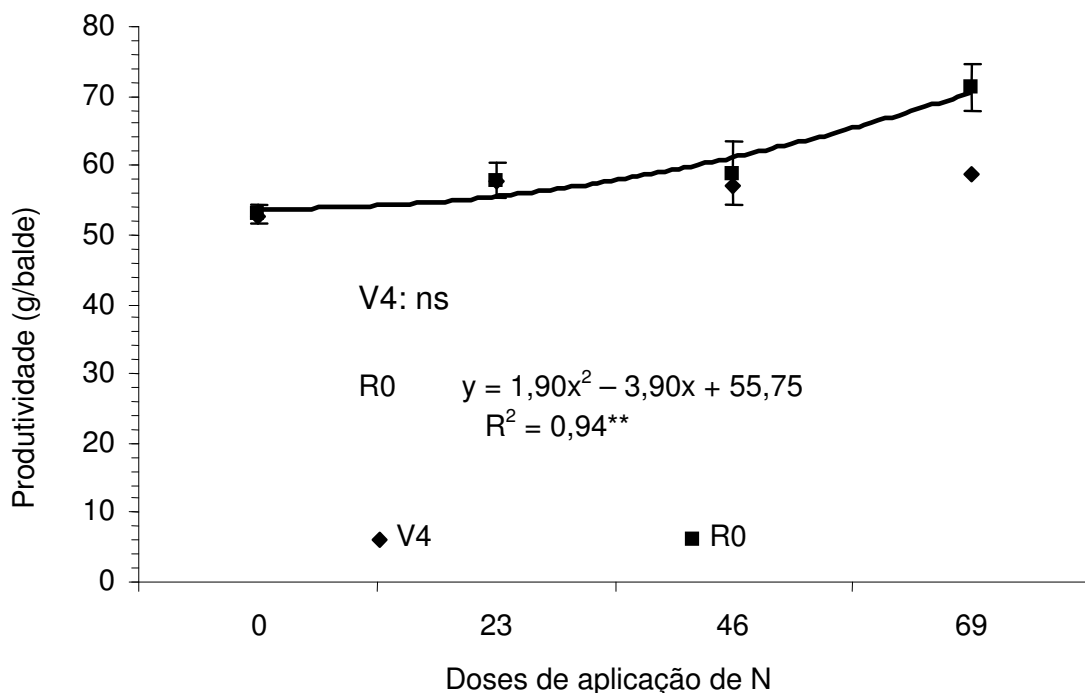


Figura 2 Efeitos da dose N nos estádios V4 e R0 na produtividade de grãos por balde. INIA Treinta y Três, Treinta y Três Uruguai, 2008.

A medida indireta do teor de clorofila (índice SPAD) foi afetada pelo tratamento de frio tanto aos três quanto aos 10 dias de tratamento com frio. Já aos 16 dias não foi encontrado efeito do frio (33,9 vs. 33,6) (Tabela 3). Observa-se também, um incremento na média do Índice SPAD aos 3 dias de tratado com frio (28,9) com o

registro aos 10 dias após o tratamento (32,4). Isto pode ser devido à translocação de N das folhas velhas para a folha bandeira. Na mesma tabela se observa também um atraso na emergência de panículas aos 87 dias da emergência de plantas provocados pela temperatura baixa recuperando-se aos 92 ao final da emergência de panículas. O frio possivelmente provocou uma diminuição na atividade fotossintética inferida através do clorofilômetro. Segundo estes resultados um aspecto a considerar foi a diminuição do índice SPAD pelo tratamento de frio o que possivelmente provocou uma diminuição de produção de assimilados. Ao acontecer diminuição da atividade fotossintética pelo efeito do frio há também redução na produção de assimilados o que originou atraso na emergência de panículas explicando deste modo a redução das mesmas aos 87 dias da emergência de plântulas, mas houve recuperação aos 92 DAE. Segundo Lyons (1973), o frio provoca perda na fluidez das membranas tanto das células como das organelas (cloroplastos, ribossomas, etc...), mudando a funcionalidade das mesmas. As proteínas do centro de reação da fotossíntese e transporte de elétrons estão localizadas nas membranas dos tilacóides dos cloroplastos (Berry & Bjorkman, 1980). Os mecanismos fotoquímicos da fotossíntese não são afetados por mudanças na temperatura. Entretanto, os processos enzimáticos como a cadeia de transportadores de elétrons nos tilacóides, a fotofosforilação e as enzimas do ciclo de Calvin são afetadas pelo frio (Oquist, 1983). Segundo Shimono et al. (2004) há uma redução na taxa fotossintética de 10% a 14% quando há ocorrência de frio provocado por um fechamento dos estômatos. Como já foi estabelecido o frio provoca dano nas membranas das células e organelas sendo maior nos cloroplastos, diminuindo a atividade fotossintética (Kuk, 2003). Alguns autores relatam inibição na emergência de perfilhos (Kakizaki, 1978), no estágio de 8 folhas. Também, Shimono et al. (2007), encontrou redução no número de perfilhos devido a tratamento de baixa temperatura da água (19,5°C) no estágio de desenvolvimento das panículas, mas estes pesquisadores realizaram tratamentos de frio na fase vegetativa. A temperatura nos balde quando se estava aplicando o frio foi de 15,2°C.

Tabela 3. Efeito da aplicação de temperaturas baixas em plantas de arroz da cultivar INIA Olimar, na medida indireta do teor de clorofila (Índice SPAD) realizados aos 3 e 10 dias após o tratamento (DAT) de frio e número de panículas/balde aos 87 e 92 dias depois da emergência (DAE) de plântulas. INIA Treinta y Três, Treinta y Três, Uruguai, 2008.

Tratamentos	Índice SPAD 3 DAT	Índice SPAD 10 DAT	Número de panículas por balde aos 87 DAE	Número de panículas por balde aos 92 DAE
Sem frio	29,7*	32,8*	18*	29 <sup>(ns)</sup>
Com frio	28,0	32,0	15	28
Média	28,9	32,4	16	28
C.V.(%)	5,3	3,2	24,7	10,0

\* Médias diferem pelo teste F ( $p \leq 0,05$ ).

<sup>(ns)</sup> Médias não diferem pelo Teste F ( $p \leq 0,05$ ).

O N afetou o índice SPAD nas leituras feitas aos 10 e 16 dias após a aplicação dos tratamentos de frio, tendo sido encontrando ajuste para a aplicação de N no estágio V4 (Figura 2 e 3). Neste estágio há uma diminuição dos valores, na medida em que aumenta a dose de aplicação de N. Isto pode ser devido a que com o aumento do N também incrementa a massa seca das plantas e possivelmente tenha ocorrido um efeito de diluição do N com diminuição das leituras com o clorofilômetro.

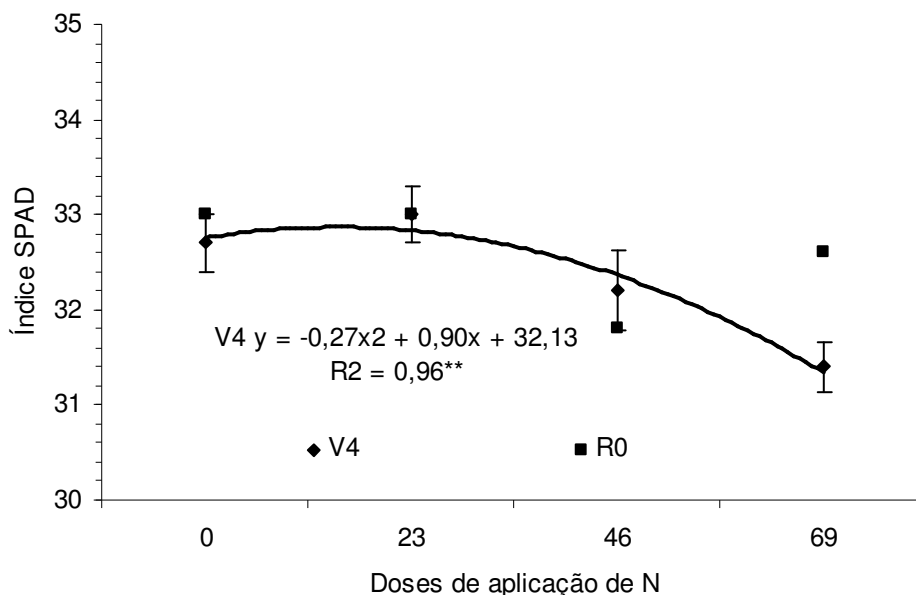


Figura 3 Efeitos das doses de nitrogênio no estágio V4 e R0 no teor de clorofila medida indireta pelo índice SPAD aos 10 dias do tratamento de frio, INIA Treinta y Três, Treinta y Três, Uruguai, 2008.

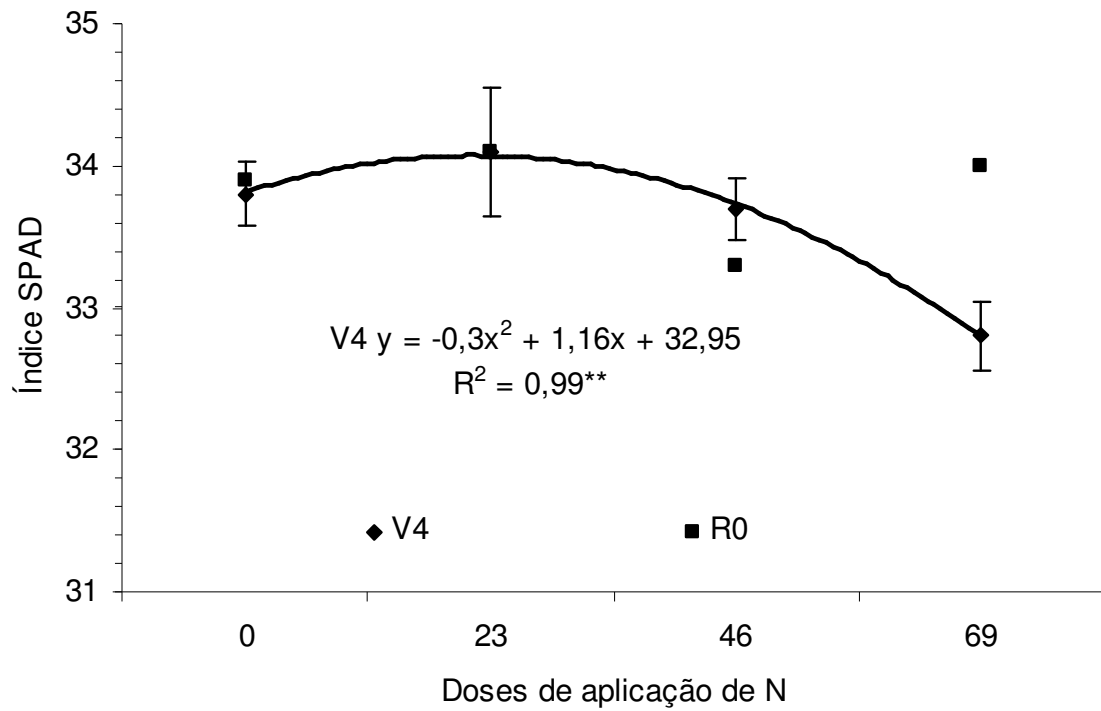


Figura 4. Efeito das doses de nitrogênio no estádio V4 e R0 no teor de clorofila medida indireta pelo índice SPAD aos 16 dias do tratamento de frio, INIA Treinta y Três, Treinta y Três, Uruguai, 2008.

O N incrementou o número de panículas aos 87 e 92 dias da emergência de plântulas (DDE) onde foi encontrado ajuste significativo para o estágio V4 unicamente (Figuras 4 e 5). O incremento de N possivelmente aumentou o perfilhamento neste estágio sendo a taxa maior no estágio V4, mas este aumento não teve incidência na produtividade final por balde já que a maior produtividade de grãos foi mais alta no estágio R0 com a aplicação de 69 kg há<sup>-1</sup> de N (Figura 1).

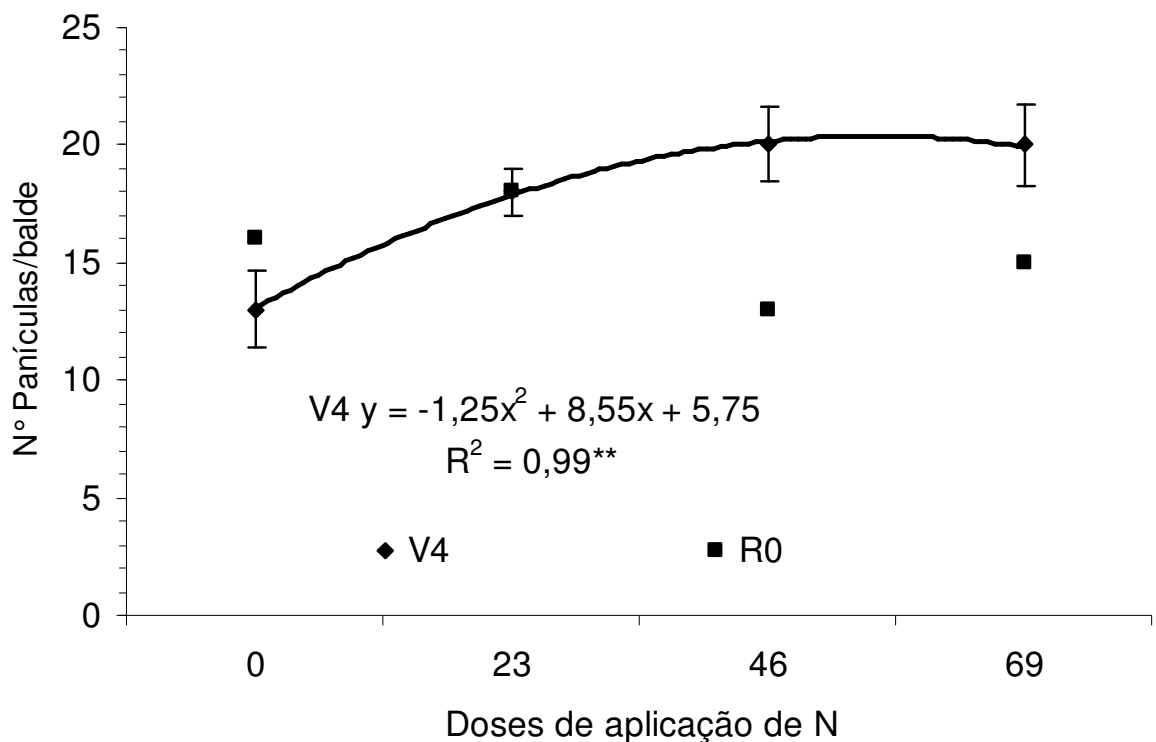


Figura 5. Efeito das doses de nitrogênio no estágio V4 e R0 no número de panículas por balde aos 87 dias após a emergência, INIA Treinta y Três, Treinta y Três, Uruguai, 2008.

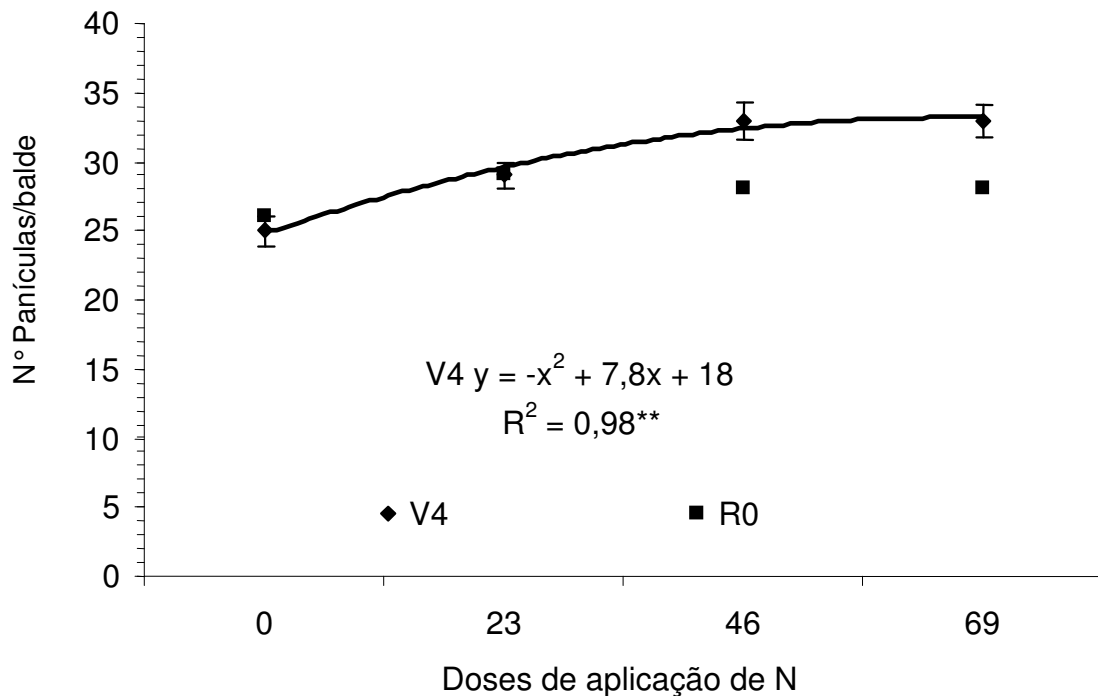


Figura 6. Efeito das doses de nitrogênio no estágio V4 e R0 no número final de panículas por balde aos 92 dias após a emergência, INIA Treinta y Trés, Treinta y Trés, Uruguai, 2008.

### Conclusões

A esterilidade de espiguetas, da cultivar INIA Olimar, não é afetada pelo incremento das doses de N e nem pela temperatura. As plantas são afetadas temporariamente pela medida indireta do teor de clorofila (índice SPAD) até 10 dias após os tratamentos de frio o que provoca atraso na emergência de panículas.

## **Considerações gerais**

Os resultados dos experimentos de campo com a nova cultivar INIA Olimar não provocam uma mudança na informação existente para as cultivares que se utilizam atualmente na maioria da região Leste do Uruguai. A hipótese de que a nova cultivar poderia ter um manejo diferente enquanto a época e dose de N aplicado devido a maior produtividade não foram confirmadas e, portanto, o manejo da adubação nitrogenada realizada atualmente na lavoura seriam as mesmas para a nova cultivar, se fosse semeada em solos em rotação ou pousio com pecuária. Em solos com lavoura intensa de arroz irrigado através dos anos deveria estudar-se o manejo da adubação com N já que é um nutriente utilizado em maior quantidade pelas plantas de arroz depois do potássio.

A informação obtida dos experimentos em casa de vegetação indica que nas condições em que foram realizados os experimentos não há efeito da época e a dose de aplicação de N nem interações na suscetibilidade das plantas de arroz ao frio. Isto é diferente aos resultados encontrados na literatura e a explicação está na metodologia aplicada nos experimentos. Assim, a dose utilizada de N, a duração do período de aplicação de frio e o desconhecimento das características de suscetibilidade ao frio da nova cultivar (como por exemplo, o momento crítico de sensibilidade ao frio) foram as principais diferenças com o relatado na literatura. Nos relatos encontrados na bibliografia, as doses utilizadas são muito maiores e a duração do período de frio aplicado é mais prolongado ao utilizado nos presentes experimentos.

Observou-se diminuição da medida indireta do teor de clorofila (Índice SPAD) pelo efeito da aplicação de frio com incidência de até 10 dias em um experimento. Isto ocasiona atraso na emergência de panículas comparado com os tratamentos sem frio.

Resumindo, não houve incremento da esterilidade de espiguetas pelo efeito do estádio e ao aumento na dose de aplicação de N. Os tratamentos aplicados foram realizados de acordo com as condições que ocorrem na realidade das lavouras. A aplicação dos tratamentos só provocou atraso na emergência de panículas o que pode ser explicado pela menor produção de assimilados por efeito do frio na fase reprodutiva.



## **Sugestões para trabalhos futuros**

Os experimentos controlados necessitam ser continuados para obter informação da resposta ao frio do arroz irrigado em função da aplicação de nitrogênio. Pois há a necessidade de comprovar em condições regionais o que foi verificado em outras regiões sobre o efeito das aplicações de nitrogênio sobre a susceptibilidade ao frio das plantas de arroz. Também, seria necessário corroborar as informações dos momentos mais suscetíveis da planta de arroz ao frio nas cultivares mais utilizadas no Uruguai já que pesquisadores australianos verificaram a existência de diferenças entre cultivares. Os mesmos experimentos em casa de vegetação dever-se-iam fazer com os outros dois cultivares mais semeados (El Paso 144 e INIA Tacuarí) que ocupam mais dos 90% da área semeada de arroz irrigado no Uruguai.

Um aspecto logístico é como uniformizar o mesmo estádio nos baldes já que nos dois anos de pesquisa um mesmo balde tinha muita variabilidade nos estádios sendo difícil que as plantas recebam o tratamento no mesmo estádio.

Outro ponto a se estudar é realizar os tratamentos de frio com as temperaturas que ocorrem no dia após a noite fria. Para isto há a necessidade de estudar qual a magnitude tem a temperatura do dia no banco de dados nos períodos de 4 ou 5 noites consecutivos com temperatura abaixo de 15°C. Isto porque no Japão ocorre frio durante o dia.

Outro aspecto a considerar são as doses utilizadas. Nos experimentos da presente tese as doses foram de acordo às utilizadas no Uruguai e, portanto, seria necessário aplicar doses altas como nos experimentos realizados no Japão e Austrália.

## Referências

ABO–EL–SAAD; WU, R. A rice membrane calcium – dependent protein kinase is induced by gibberellin. **Plant Physiology**. v. 108, p. 187 – 793, 1995.

ALTAMIRANO, A. Carta detallada de suelos. Campo experimental Paso de la Laguna. Montevideo: Ministerio de Agricultura y Pesca. Dirección de Suelos y Fertilizantes, 1979. 1 Mapa, Escala 1:2500.

ARGENTA, G.; FERREIRA DA SILVA, P. R.; BORTOLINI, C.G. et al. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e de nitrogênio na folha de milho. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.13, n.2, pp. 158-167, 2001.

BACON, P. E. The effect of nitrogen application time on Calrose rice growth and yield in South – eastern Australia. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Melbourne, v.25, n.1, p.183-190, 1985.

BERRY, J.; BJORKMAN, O. Photosynthetic response and adaptations to temperature in higher plants. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 31, p. 491-543, 1980.

BLANCO, P. et al. INIA Olimar. Características y comportamientos en la zafra 2003/04. **Revista de la Asociación de Cultivadores de Arroz**, Montevideo, Uruguay, Año X, n. 38, p.40-48, 2004.

BODAPATI, N. et al. Agronomic and molecular aspects of osmoprotectant application and cold tolerance in rice. **Rural Industries Research and Development Corporation**, N° 05-197, 20 p., 2006.

BOEREMA, E. B. Climatic effects on growth and yield of rice in the Murrumbidgee Valley of New South Wales – Australia. **Il Riso**, v. 23, p.385-397, 1974.

BOLLICH, P. K. et al.. Management of fertilizer nitrogen in dry-seeded, delayed-flood rice. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Melbourne, v.34, p. 1007-1012, 1994.

BOYER, J. S. Plant productivity and environment. **Science**, v. 218, p. 443-448, 1982.

BURIOL, G. A. et al. Ocorrência e duração das temperaturas mínimas diária do ar prejudiciais à fecundação das flores do arroz em Santa Maria, RS. 1- Probabilidades de ocorrência. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.21, n1, p.23-24, 1991.

CANZANI, F. et al. Cuantificación y aislamiento de microorganismos fijadores de nitrógeno en arroz. In: Arroz. Resultados experimentales 1997-98. INIA Treinta y Tres. Uruguay. Actividades de difusión N° 165:5:7-10, 1998.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – CFS RS/SC. **Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 3 ed. Passo Fundo: SBCS Núcleo Regional Sul/Embrapa-CNPT, 1995. 223p.

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

COUNCE, P.A. et al. A uniform, objective and adaptative system for expressing rice development. **Crop Science**, n.40, p.436-443, 2000.

CRUZ, R. P. da; MILACH, S. C. K. Melhoramento genético para tolerância ao frio em arroz irrigado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n. 5, p.909-917, 2000.

DEAMBROSI, E.; MÉNDEZ, R.; ROEL, A. **Estrategia en la producción de arroz para un mejor aprovechamiento de las principales variables climáticas**. INIA Treinta y Tres, 1997. Serie Técnica 89, Agosto de 1997, 16p.

DEAMBROSI, E.; MÉNDEZ, R. Response of rice to midseason nitrogen applications in Uruguay. In: HILL, J. E.; HARDY, B. (Eds.) **Proceedings of the Second Temperate Rice Conference**, p.147-154. 13 – 14 June 1999, Sacramento, California, USA. Los Banos (Philippines): International Rice Research Institute, 2002.

DEAMBROSI, E. et al. Respuesta de INIA Olimar a la aplicación de nitrógeno y a su fraccionamiento. In: INIA URUGUAY. **Arroz, resultados experimentales 2005-2006**. INIA Treinta y Tres, Edición de emergencia, 2006.

DEAMBROSI, E.; MENDEZ, R. Respuesta de cultivares de arroz tipo indica a densidades de siembra y aplicaciones de nitrógeno en la zona este de Uruguay. Serie Técnica N° 167, INIA Treinta y Tres, 2007, 36p.

DE LOS SANTOS, J. F.; JACQUES, M. Determinación de las épocas más adecuadas para realizar las coberturas nitrogenadas en el cultivo de arroz. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad de la Republica, Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía, 1999, 167p.

FAGERIA, N. K.; STONE, L. F. Manejo do nitrogênio. In: FAGERIA, N. K.; STONE, L. F. & DOS SANTOS, A. B. (Eds.) **Manejo da fertilidade do solo para o arroz**

**irrigado.** Santo Antonio de Goiás, GO: EMBRAPA Arroz e Feijão, 2003. p. 51-94.

FARRELL, T. C.; FOX, K. M.; WILLIAMS, R. L. et al. Reducing cold damage in Australia. In: 3<sup>era</sup> Conferencia Internacional de Arroz de clima templado. Punta del Este, Uruguay, 2003. CD-ROM.

FREITAS, J. G. D. et al. Resposta de cultivares de arroz irrigado ao nitrogênio. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, São Paulo, v. 58, n.3, p.573-579, 2001.

GOMEZ, K. A. & GOMEZ, A. A. Statistical procedures for agricultural research. 2nd ed. Singapore: John Wiley & Sons, 1984. 680 p.

GUNAWARDENA, T. A. et al. Research on cold tolerance in Australia: focusing on nitrogen-cold interactions and genotypic variation. In: HILL, J. E.; HARDY, B. (Eds.) **Proceedings of the Second Temperate Rice Conference**, p.195-200. 13 – 14 June 1999, Sacramento, California, USA. Los Banos (Philippines): International Rice Research Institute, 2002.

GUNAWARDENA, T. A., FUKAI, S. **The effects of nitrogen application and assimilate availability on engorged pollen production and spikelet sterility in rice.** Disponível em:<[http://www.regional.org.au/au/cs/2004/poster/2/7/1/313\\_gunawardena.htm#print=1&P...](http://www.regional.org.au/au/cs/2004/poster/2/7/1/313_gunawardena.htm#print=1&P...)> Acesso em: 19 de maio de 2005

GUNAWARDENA, T. A.; FUKAI, S. The interaction of nitrogen application and temperature during reproductive stage on spikelet sterility in field-grown rice. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v.56, p.625-636, 2005.

GUNAWARDENA, T. A.; FUKAI, S.; BLAMEY, F. P. C. Low temperature induced spikelet sterility in rice. I. Nitrogen fertilization and sensitive reproductive period. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v.54, p.937-946, 2003a.

GUNAWARDENA, T. A.; FUKAI, S.; BLAMEY, F. P. C. Low temperature induced spikelet sterility in rice. II. Effects of panicle and root temperature. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v.54, p.947-956, 2003b.

GUNAWARDENA, T. A.; FUKAI, S.; BLAMEY, F. P. C. **Nitrogen decreases deep irrigation efficacy in reducing low temperature damage in rice.** Disponível em:<<http://www.regional.org.au/au/asa/2001/3/a/gunawardena.htm>>. Acesso em: 18 de abril de 2005.

HALL, V. L.; SIMS, J. L.; JOHNSTON, T. H.. Timing of nitrogen fertilization of rice. II. Culm elongation as a guide to optimum timing of applications near midseason.

**Agronomy Journal**, Madison, v. 60. pp. 450-453, 1967.

HAQUE, M. Z. Effect of nitrogen, phosphorus and potassium on spikelet sterility induced by low temperature at the reproductive stage of rice. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.109, p.31-36; 1988.

HARPER, J. F. et al. A calcium – dependent protein kinase with a regulatory domain similar to calmodulin. **Science**, v. 252, p. 951 – 954, 1991.

HAYASHI, T.; YAMAGUCHI, T.; NAKAYAMA, K. et al. High nitrogen conditions enhance the cooling damage to pollen in rice plants: proteome analysis of mature anthers. Disponível em: <[http://www.regional.org.au/au/cs/2004/poster/3/2/1/1303\\_hayashi.htm?print=1&PHPSE...](http://www.regional.org.au/au/cs/2004/poster/3/2/1/1303_hayashi.htm?print=1&PHPSE...)>. Acesso em: 20 maio de 2005.

HAYASHI, T.; KASHIWABARA, K.; YAMAGUCHI, T. et al. Effects of high nitrogen supply on the susceptibility to coolness at the young microspore stage in rice (*Oryza Sativa L.*). **Plant Production Science**, Tokyo, v.3, n. 3, p.323-327, 2000.

HEENAN, D. P. Low-temperature induced floret sterility in the rice cultivars Calrose and Inga as influenced by nitrogen supply. **Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry**, Melbourne, v.24, p.255-259, 1984.

IMIN, N. et al. Low temperature treatment at the young microspore stage induces protein changes in rice anthers. **Molecular & Celular Proteomics**, v. 5.2, p. 274-292, 2006.

IRISARRI, P et al. Nitrogen fixation by heterocystous cyanobacteria in Uruguayan rice fields. Proc. 3rd International Temperate Rice Conference. Punta del Este, Uruguay, 2003.

KAKIZAKI, Y. Studies on tillering of rice plant: influence of the alternating transfers of temperature on tillering. Disponível em <<http://www.iici.nii.ac.jp/naid/110001721409/en/1978>>. Acesso em : 15 de Agosto de 2007.

KARIYA, K. Chilling injuries in reproductive phase of rice plants. In: 3<sup>era</sup> Conferencia Internacional de Arroz de clima templado. Punta del Este, Uruguay, 2003. CD-ROM.

KEALEY, J. C.; HUMPHREYS, E.; BLACK, A. S. et al. Presowing nitrogen fertilizer management for aerial sown rice on puddle soil. In: Proceedings...Yanco, New South Wales: Yanco Agricultural Institute, v. 2, 1994. 724 p. p. 553-562.

KWAK, K. The growth and development of the rice plant at reproductive growing stage. In: NICS RDA KOICA Eds. Rice breeding and physiology training course on the project for development of rice research capabilities at the National Institute of Agricultural Research in Uruguay. NICS RBA KOICA: Suwon, Korea, 2005, p. 181-210.

KUK, I. Y.; SHIN, J. S.; BURGOS, N. R. et al. Antioxidative enzymes offer protection from chilling damage in rice plants. **Crop Science**, Madison, v. 43, p. 2109-2117, 2003.

LABANDERA et al. Desarrollo de inoculantes a base de bacterias fijadoras de nitrógeno em arroz. In: Arroz. Resultados experimentales 2003-04. INIA Treinta y Três, Uruguay. Actividades de difusión N° 373 3: 43-46, 2004.

LYONS, J. M. Chilling injury in plants. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 24, p. 445-466, 1973.

MARTIN, M. L. & BUSCONI, L. A rice membrane-bound calcium – dependent protein kinase is activated in response to low temperature. **Plant Physiology**, v. 125, p. 1442-1449, 2001.

Mc NEIL, M. L. et al. Betaines and relates osmoprotectants. Target for metabolic engineering of stress resistance. **Plant Physiology**, v. 120, p. 945-949, 1999.

MENDEZ, R. **Eficiência da aplicação de nitrogênio no perfilhamento do arroz em três manejos de irrigação**. 2000. 74f. Tese (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

MIELNICZUK, J.; LUDWICK, A.; BOHNEN, H. **Recomendações de adubo e calcário para solos e culturas do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS-Faculdade de Agronomia e Veterinária, 1969. 29 p. (UFRGS, Boletim Técnico, 2)

NISHIYAMA, I. Climatic influence on pollen formation and fertilization. In: Shigesaburo Tsunoda and Norindo Takahashi, Eds. **Biology of rice**. Developments in Crop Science No 7. Tokyo: Elsevier, p.153-171, 1984.

NISHIYAMA, I. 4. Morphological damages caused by the cool weather. In Matsuo, T.; Hoshikawa, K. Eds.: **Science of the rice plant**, v. 1. Morphology. Tokyo: Food and Agricultural Policy Research Center, p.580-587,1993.

NISHIYAMA, I. Damage due to extreme temperatures. In Matsuo, T et al. Eds.: **Science of the rice plant**, v. 2. Physiology. Tokyo: Food and Agricultural Policy Research Center, p.769-812,1995.

NORMAN, R.; WILSON, C.; SLATON, N. Soil fertilization and mineral nutrition in US mechanized rice culture. In C. W. Smith and R. H. Dilday (eds.): Rice. Origin, History, Technology, and Production. John Wiley and Sons, Inc. Hoboken, NJ. U.S.A., 3.4, pp.331-411, 2003.

NUCCIO, M. L. et al. Metabolic engineering of plants for osmótica stress resistance. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 2, p. 128-134, 1999.

OHASHI, K. MAKINO, A. & MAE, T. Growth and carbon utilization in rice plant under conditions of physiologically low temperature and irradiance. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 27, p. 99-107, 2000.

OQUIST, G. Effects of low temperature on photosynthesis. **Plant, Cell and Environment**, v. 6, p.281-300, 1993.

RABBANI, M. A. et al. Monitoring expression profiles of rice genes under cold, drought, and high-salinity stresses and abscisic acid application using cDNA microarray and RNA gel-blot analyses. **Plant Physiology**, v.133, p. 1755-1767, 2003.

**RECOMENDAÇÕES de adubação: adubos e corretivos para fósforo e potássio.** Porto Alegre: UFRGS/Faculdade de Agronomia e Veterinária, 1967. 4 p.

ROEL, A. Comportamiento de la temperatura del agua y del canopio con diferentes Alturas de láminas de riego. In: INIA URUGUAY. **Arroz, Resultados Experimentales 2003-2004**. Treinta y Tres: INIA, 2004. Cap. 3, p.9-15. (Actividades de Difusión, V.373), 2004.

SABEHAT, A. et al. The correlation between heat-shock protein accumulation and persistence and chilling tolerance in tomato fruit. **Plant Physiology**, v. 110, p. 531-537, 1996.

SALTVEIT, M. E. Chilling injury is reduced in cucumber and rice seedlings and in tomato pericarp discs by heat-shock applied after chilling. **Postharvest Biology and Technology**, v. 21, p. 169-177, 2001.

SMALLWOOD, M. & BOWLES, D.J. Plants in a cold climate. **Phil. Trans. R. Soc. Lond. B.**, v. 357, p. 831-847, 2002.

SATAKE, T. Research on cool injury of paddy rice plants in Japan. **Japan Agricultural Research Quarterly**, V 4, n. 4, p.5-10, 1969.

SATAKE, T. et al. Male sterility caused by cooling treatment at young microspore stage in rice plants. XXVI. Effect of water temperature and nitrogen application before the critical stage on sterility induced by cooling at the critical stage. **Jpn. J. Crop Sci.** V. 56, p. 404-410, 1987.

SATAKE, T. Male sterility caused by cooling treatment at the Young microspore stage in rice plants. XXX. Relation between fertilization and the number of engorged pollen grains among spikelet cooled at different pollen development stages. **Japanese Journal of Crop Science**, V LX, n. 4, p.523-528, 1991.

SATAKE, T. Sterile type cold injury in paddy rice plants. In: International Rice Research Institute, Eds. **Climate and Rice**. IRRI: Los Banos, The Phillippines, p.281-300, 1976.

SCIVITTARO, W. B.; MACHADO, O. M. Adubação e calagem para a cultura do arroz irrigado. In: GOMES, A. da S. & MAGALHAES Jr., A. M. (Eds.). **Arroz irrigado no sul do Brasil**. Brasília, DF: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2004. p 259-303.

SHIMONO, H.; HASEGAWA, T.; IWAMA, K. et al. Responses of growth and grain yield in paddy rice to cool water at different growth stages. **Field Crop Research**, v.73, p. 67-79, 2002.

SHIMONO, H.; HASEGAWA, T.; FUJIMURA, S. et al. Responses of leaf photosynthesis and plant water status in rice to low water temperature at different growth stages. **Field Crop Research**, v.89, p. 71-83, 2004.

SHIMONO, H.; OKADA, M.; KANDA, E. et al. Low temperature-induced sterility in rice: Evidence for the effects of temperature before panicle initiation. **Field Crop Research**, v.101, p. 221-231, 2007.

SIQUEIRA, O.J.F.; SCHERER, E. E.; TASSINARI, G.; et al.. **Recomendação de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Passo Fundo-EMBRAPA-CNPT, 1987. 100 p.

SOSBAI, Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. Arroz Irrigado: Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil. In: **IV Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado e XXVI Reunião da Cultura do Arroz Irrigado**. Santa Maria, RS, 2005. 159p.

SOSBAI, Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. Arroz Irrigado: Recomendações



Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil. In: **V Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado e XXVII Reunião da Cultura do Arroz Irrigado**. Pelotas, RS, 2007. 164p.

STEINMETZ, S.; ROEL, A.; ASSIS, F. N. de. Risco de ocorrência de frio durante o período reprodutivo do arroz irrigado em regiões produtoras do Rio Grande do Sul e do Uruguai. In: XXII Reunião da Cultura do Arroz Irrigado, 1997, Camburiu. **Anais...** Camboriu: EPAGRI-IRGA-EMBRAPA/CPTACT-CNPq, 1997, p.114-117.

TAIZ, L. & ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2004

TURNER, F.T.; JUND, M.F. Assessing the nitrogen requirement of rice crops with a chlorophyll meter. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Melbourne, n.34, pp.1001-1005, 1994.

VIERLING, E. The roles of heat shock proteins in plan. *Ann. Rev. Plant Physiology Plant Mol. Biol.*, v. 42, p. 579-620, 1991.

WALKER, T. Rice grain yield response to nitrogen fertilization for newly released cultivars and hybrids. **Research Report**. Mississippi State University, Mississippi, v. 23, n.20, 6p., 2006a.

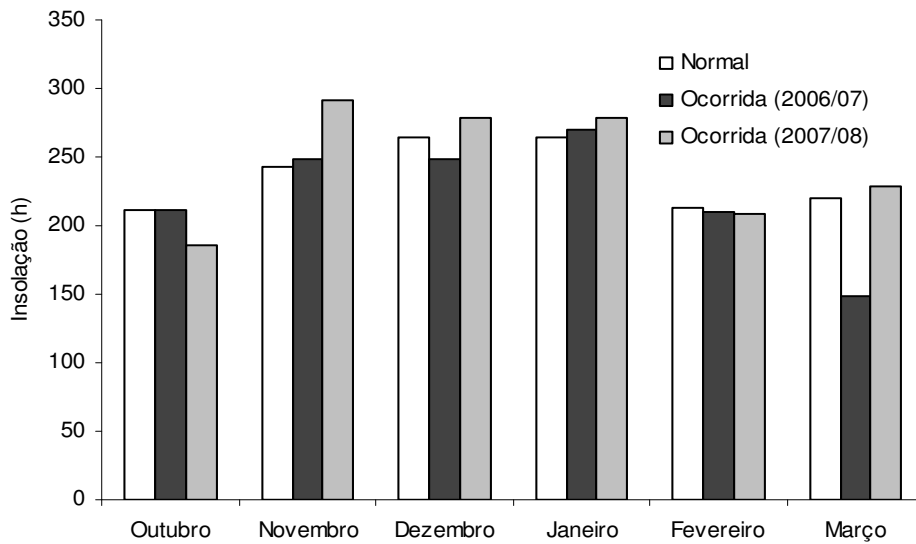
WALKER et al. Grain yield and milling quality response of two rice cultivars to top-dress nitrogen application timings. **Agronomy Journal**, Madison, v. 98, p. 1495 – 1500, 2006b.

WELLS, B. R. & JOHNSTON, T. H. Differential response of rice varieties to timing of mid-season nitrogen applications. **Agronomy Journal**, Madison, v. 62, pp. 608-612, 1970.

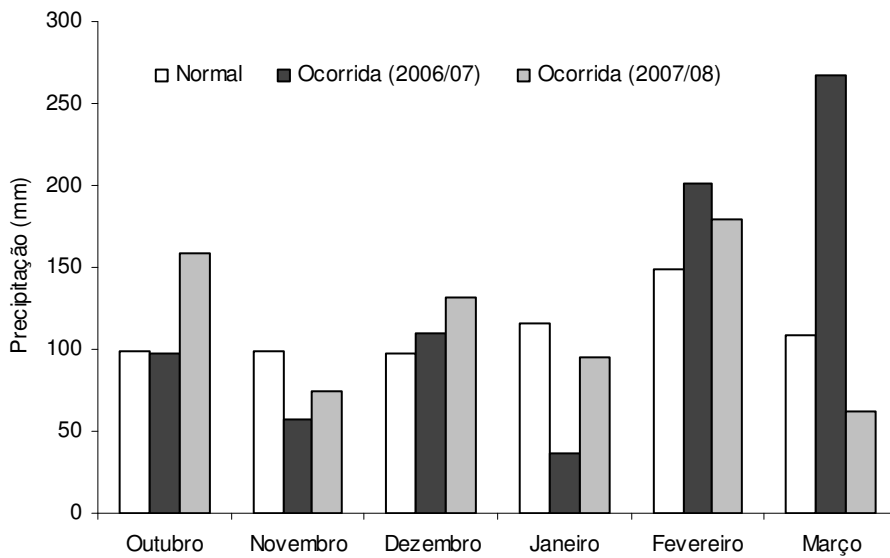
WILLIAMS, R. L.; ANGUS, J. F. Deep floodwater protects high-nitrogen rice crops from low-temperature damage. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Melbourne, v.34, p.927-932, 1994.

WILSON, C. E. Jr.; BOLLICH, P. K.; NORMAN, R. J. Nitrogen application timing effects on nitrogen efficiency of dry-seeded rice. **Soil Science Society of American Journal**, Melbourne, v.62, p.959-964, 1998

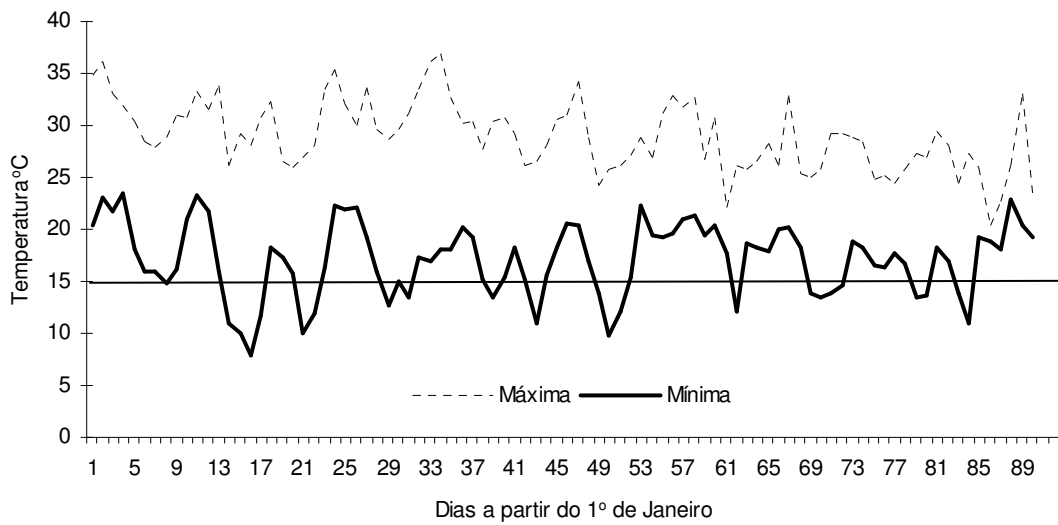
## APÊNDICES



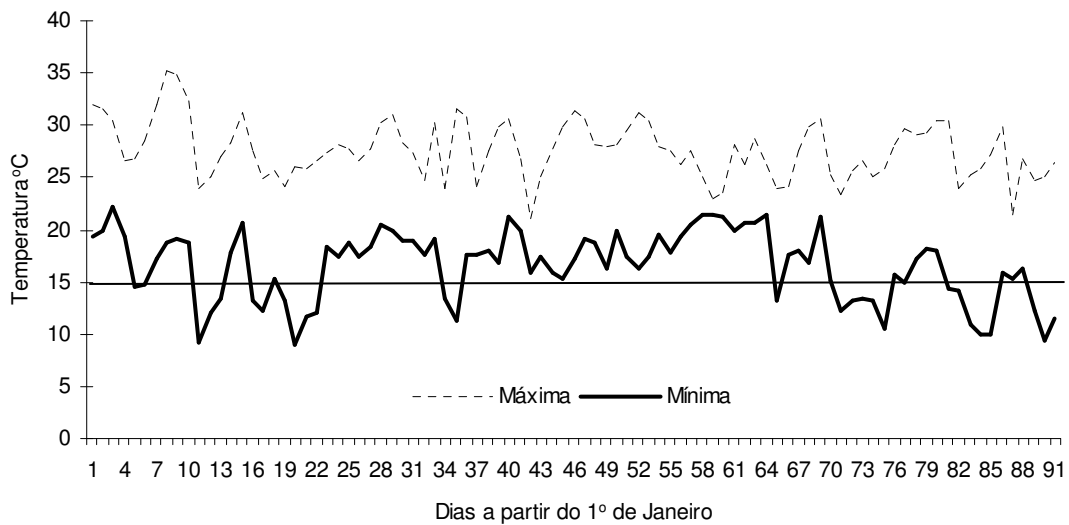
Apêndice 1 Insolação mensal normal e ocorrida de Outubro a Março nas safras 2006/07 e 2007/08. INIA Treinta y Trés, Treinta y Trés, Uruguai, 2008.



Apêndice 2 Precipitação pluvial mensal normal e ocorrida entre Outubro e Março nas safras 2006/07 e 2007/08. INIA Treinta y Trés, Treinta y Trés, Uruguai, 2008.



Apêndice 3 Temperaturas máximas e mínimas ocorridas durante os meses de Janeiro a Março de 2007 INIA Treinta y Trés, Treinta y Trés, Uruguai, 2008.



Apêndice 4 Temperaturas máximas e mínimas ocorridas durante os meses de Janeiro a Março de 2008 INIA Treinta y Trés, Treinta y Trés, Uruguai, 2008.



Apêndice 5 Foto amostrando o estágio de tratamento com frio. INIA Treinta y Trés, Treinta y Trés, Uruguai, 2008.



Apêndice 6. Foto amostrando o estágio de tratamento com frio. INIA Treinta y Trés, Treinta y Trés, Uruguai, 2008.



Apêndice 7. Foto amostrando o estágio de tratamento com frio. INIA Treinta y Trés, Treinta y Trés, Uruguai, 2008.