

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

**REDUÇÃO DO USO DE ÁGUA, RENDIMENTO E
QUALIDADE DE GRÃOS DE DOIS CULTIVARES DE
ARROZ IRRIGADO EM FUNÇÃO DE ÉPOCAS DE
SUPRESSÃO DA IRRIGAÇÃO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Guilherme Pilar Londero

**Santa Maria, RS, Brasil
2014**

**REDUÇÃO DO USO DE ÁGUA, RENDIMENTO E
QUALIDADE DE GRÃOS DE DOIS CULTIVARES DE ARROZ
IRRIGADO EM FUNÇÃO DE ÉPOCAS DE SUPRESSÃO DA
IRRIGAÇÃO**

por

Guilherme Pilar Londero

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do 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
Mestre em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Enio Marchesan

Santa Maria, RS, Brasil

2014

© 2014

Todos os direitos autorais reservados a Guilherme Pilar Londero. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita com autorização escrita do autor.

Endereço: Rua Maurício Cardoso, nº 55 apto.: 305, Bairro Cidade Alta, Alegrete, RS, 97545-000.

Fone (0XX)55 96273277; (0XX)55 81194344; E-mail: guilhermelondero@msn.com

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**REDUÇÃO DO USO DE ÁGUA, RENDIMENTO E QUALIDADE DE
GRÃOS DE DOIS CULTIVARES DE ARROZ IRRIGADO EM FUNÇÃO
DE ÉPOCAS DE SUPRESSÃO DA IRRIGAÇÃO**

elaborado por
Guilherme Pilar Londero

Com requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Agronomia

Comissão examinadora:

Enio Marchesan, Dr.
(Presidente/Orientador)

Ubirajara Russi Nunes, Dr.
(UFSM)

Melissa Walter, Dra.
(IFFarroupilha)

Santa Maria, 24 de fevereiro de 2014.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Vilnei Natalino Londero e Sandra Simone Pilar Londero, por todo amor, compreensão, confiança, incentivo e esforço que fizeram para que isto fosse possível.

Ao meu irmão, Rodolfo Pilar Londero, pelo apoio, amizade e incentivo.

Aos meus avós, Leandro Rios Pilar (*in memoriam*), Dorilda Petroceli Pilar, Bruno José Londero e Eli Ana Segabinazzi Londero, pela educação, apoio e incentivo.

Dedico e ofereço

AGRADECIMENTOS

À Deus pela vida e pelas valiosas oportunidades concedidas, obrigado.

À toda a minha FAMÍLIA, por estar sempre presente, apoiando, incentivando em todos os momentos, obrigado.

Ao meu orientador, professor Enio Marchesan, pelas oportunidades e que muito me ensinou para a vida profissional e pessoal, e em quem encontrei não somente confiança e motivação, mas amizade, obrigado.

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia pela minha formação de qualidade, oportunidade de realização do curso e disponibilização da sua estrutura para a condução de meu trabalho, obrigado.

Aos meus colegas de Pós-Graduação do Grupo de Pesquisa em Arroz Irrigado, Alana Cristina Dorneles Wandscheer, Dâmaris Sulzbach Santos Hansel, Gerson Meneghetti Sarzi Sartori, Gustavo Mack Teló e Robson Giacomeli, pelos ensinamentos, apoio, e amizade, obrigado.

Aos meus colegas do Grupo de Pesquisas em Arroz Irrigado, Lucas Coelho, Mauricio Limberger de Oliveira, Isac Castro Alves, Anderson André Hatchesbach, Anelise Lencina da Silva, Camille Flores Soares, Bruno Behenck Aramburu, Felipe Tonetto e os demais pela ajuda e amizade, obrigado.

À todos os professores e colegas e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Agronomia que contribuíram para a realização deste trabalho, obrigado.

Aos colegas e amigos Glauber Monçon Fipke e Robson Giacomeli pelo convívio, amizade e parceria, obrigado.

A minha comissão examinadora, Enio Marchesan, Ubirajara Russi Nunes e Melissa Walter, por aceitar estar contribuindo para a avaliação deste trabalho, obrigado.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Agronomia
Universidade Federal de Santa Maria

REDUÇÃO DO USO DE ÁGUA, RENDIMENTO E QUALIDADE DE GRÃOS DE DOIS CULTIVARES DE ARROZ IRRIGADO EM FUNÇÃO DE ÉPOCAS DE SUPRESSÃO DA IRRIGAÇÃO

AUTOR: GUILHERME PILAR LONDERO
ORIENTADOR: ENIO MARCHESAN
Santa Maria, RS, 24 de fevereiro de 2014.

A irrigação da lavoura de arroz é fator imprescindível para o bom desenvolvimento da planta, auxiliando na obtenção de elevados níveis de rendimento de grãos. Entretanto resulta em grande volume de água utilizado, sendo a eficiência de uso de água um dos grandes desafios para a sustentabilidade da cultura. Neste sentido, a supressão antecipada da irrigação pode se constituir num aspecto de economia no uso de água. No entanto, essa prática pode comprometer a qualidade da lavoura no que se refere ao rendimento e à qualidade dos grãos. Em cultivares de arroz com características de panícula grande, como no caso do arroz híbrido, a supressão antecipada pode se refletir na qualidade dos grãos da parte inferior da panícula, em função da dificuldade do enchimento dos grãos nesta região. As ações de pesquisa foram conduzidas a campo durante as safras de cultivo de 2011/12 e 2012/13, com objetivo de verificar o efeito de momentos de supressão antecipada da irrigação no rendimento e na eficiência de uso da água (Capítulo II), e na qualidade dos grãos (Capítulo III) de dois cultivares de arroz irrigado. Os experimentos foram conduzidos a campo na área de várzea do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), utilizando o delineamento experimental de blocos ao acaso com quatro repetições. Cada experimento foi constituído pelo delineamento fatorial adequado aos fatores em análise. A supressão antecipada da irrigação reduz o volume de água utilizado na lavoura, mas dependendo da época e do cultivar utilizado, pode reduzir a produtividade. Para a supressão da irrigação realizada antes da época recomendada deve-se levar em consideração o cultivar, tipo de solo e a possível precipitação pluvial após o término da irrigação. Colheitas realizadas com grau de umidade abaixo do preconizado pela pesquisa apresentam redução no rendimento de grãos inteiros. A supressão antecipada não interfere na qualidade de grãos inteiros, vítreos, opacos e gessados, no entanto, há diferença de qualidade entre os cultivares pesquisados.

Palavras-chave: *Oryza sativa* L., produtividade, supressão antecipada da irrigação, eficiência de uso de água, grão inteiro, grão gessado, grão vítreo, grão opaco.

ABSTRACT

Master Dissertation
Graduate Program in Agronomy
Universidade Federal de Santa Maria

WATER USE REDUCTION, YIELD AND GRAIN QUALITY OF TWO RICE VARIETIES UNIDER DIFFERENT TIMES OF IRRIGATION WITHHOLDING

AUTHOR: GUILHERME PILAR LONDERO
ADVISOR: ENIO MARCHESAN
Santa Maria, RS, February 24th, 2014.

The irrigation of the rice crop is essential for good plant growth, assisting in achieving high grain yield levels. However, it results in large water volume used, thus the efficiency of water use is a major challenge to the sustainability of the crop. In this matter, early irrigation withholding can be considered an option for saving water. However, this practice can prejudice the quality of the crop, in yield and grain quality. In rice cultivars with large panicles, as in the case of hybrid rice, early withholding may be reflected in the quality of the grains from the bottom of the panicle, due to the difficulty of kernel filling in this region. Research was conducted during the growing seasons 2011/12 and 2012/13, in order to verify the effect of anticipated moments of withholding irrigation on yield and water use efficiency (Chapter II), and grain quality (Chapter III) of two rice cultivars. The experiments were conducted in the floodplains of the Departamento de Fitotecnia of the Federal University of Santa Maria (UFSM), using the experimental design of randomized blocks with four replications. Each experiment was composed of the factorial design appropriate to the factors considered. Early withholding irrigation reduces the volume of water used in the rice crop, but depending on the moment and the cultivar, it can reduce productivity. For withholding irrigation performed before the recommended time it should be taken into account the cultivar, soil type and possible rainfall after the end of irrigation. Harvests with lower humidity than that recommended by research show a reduction in milling quality. Early withholding does not affect the milling quality, translucency, opaque and chalky grains; however, there was no difference in quality between the studied cultivars.

Keywords: *Oryza sativa* L., productivity, early irrigation withholding, water use efficiency, whole rice, chalky, glassy grain, opaque grain.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO II

Figura 1 - Volume de água utilizado (A), contribuição das chuvas (B), produtividade (C e D) e eficiência do uso de água (EUA) (E e F) de acordo com a supressão de irrigação em dias após a antes (DAA) para as safras 2011/12 e 2012/13. Santa Maria, RS. 2013. 42

Figura 2 - Temperatura do ar máxima e mínima (A), radiação solar global (B), precipitação pluvial (C) e evaporação (D) durante os meses de outubro a fevereiro nas safras 2011/12 e 2012/13. Na figura 1A, os números 1 e 2 indicam as datas em que ocorreu a floração plena: 1 = floração ocorrida em 23/01/12; 2 = floração ocorrida em 16/01/13, para as safras 2011/12 e 2012/13 respectivamente. Santa Maria, RS. 2013..... 44

Figura 3 - Precipitação pluvial em dias durante o período após a realização da primeira época de supressão antecipada de irrigação, nas safras 2011/12 e 2012/13. Santa Maria, RS. 2013..... 47

CAPÍTULO III

Figura 1 - Porcentagem de grãos inteiros (%) e grãos vítreos para INOV CL (A e C) e Puitá INTA CL (B e D) de acordo com diferentes umidades de colheita (%) para a safra 2011/12. Santa Maria, RS. 2013. 56

Figura 2 - Porcentagem de grão inteiro (%) e grãos vítreos para INOV CL (A e C) e Puitá INTA CL (B e D) de acordo com diferente umidades de colheita (%) para a safra 2012/13. Santa Maria, RS. 2013. 57

Figura 3 - Temperatura máxima e mínima do ar, precipitação pluvial durante os meses de outubro a fevereiro nas safras 2011/12 e 2012/13. Na 1ª figura, os números 1 e 2 indicam as datas em que ocorreu a floração plena: 1 = floração ocorrida em 23/01/12; 2 = floração ocorrida em 16/01/13, para as safras 2011/12 e 2012/13, respectivamente. Santa Maria, RS. 2013..... 58

Figura 4 - Precipitação pluvial em dias durante o período após a realização da primeira época de supressão antecipada de irrigação, nas safras 2011/12 e 2012/13. Santa Maria, RS. 2013..... 59

Figura 5 - Porcentagem de grãos opacos (%) e grãos gessados para INOV CL (A e C) e Puitá INTA CL (B e D) de acordo com diferente umidades de colheita (%) para a safra 2011/12. Santa Maria, RS. 2013. 60

Figura 6 - Porcentagem de grãos opacos (%) e grãos gessados para INOV CL (A e C) e Puitá INTA CL (B e D) de acordo com diferente umidades de colheita (%) para a safra 2012/13. Santa Maria, RS. 2013. 61

SUMÁRIO

CAPÍTULO I	11
1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
1.1 A eficiência do uso de água.....	11
1.2 A supressão antecipada da irrigação e seus possíveis efeitos.....	16
1.3 Arroz híbrido e suas características.....	18
1.4 Qualidade dos grãos	22
2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25
CAPÍTULO II - SUPRESSÃO DA IRRIGAÇÃO: REDUÇÃO DO USO DE ÁGUA E PRODUTIVIDADE DO ARROZ IRRIGADO	36
RESUMO	36
ABSTRACT	37
1 INTRODUÇÃO	37
2 MATERIAL E MÉTODOS	38
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4 CONCLUSÃO	48
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
CAPÍTULO III - MOMENTOS DE SUPRESSÃO DA IRRIGAÇÃO, UMIDADE DE COLHEITA E ASPECTOS DE QUALIDADE INDUSTRIAL DE ARROZ	51
RESUMO	51
ABSTRACT	52
1 INTRODUÇÃO	52
2 MATERIAL E MÉTODOS	53
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
4 CONCLUSÃO	62
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
CONSIDERAÇÕES FINAIS	66
ANEXOS	67
1. ANEXO A – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO CAPÍTULO II	67
2. ANEXO B – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO CAPÍTULO III	70

-CAPÍTULO I-

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta revisão aborda sobre o uso de água na cultura do arroz irrigado e a busca pela redução do uso deste recurso. São apontadas diferentes maneiras de melhorar a eficiência do uso de água na lavoura do arroz, como diferentes sistemas de cultivo, coberturas de solo, épocas de semeadura, métodos de irrigação e supressão da irrigação. A supressão da irrigação é abordada em relação ao momento a ser realizada em relação aos estádios de desenvolvimento do arroz e em diferentes cultivares. Pode-se dizer que o principal risco deste manejo é o efeito que o déficit hídrico pode causar na produtividade e qualidade de grãos. Plantas com período maior de enchimento de grãos, devido ao alto potencial de perfilhamento ou ao tamanho da panícula, como os híbridos, podem sofrer mais com o possível efeito da supressão antecipada da irrigação. Por fim são abordadas características positivas e negativas do arroz híbrido, como sua deficiência no enchimento de grãos acarretando em desuniformidade de maturação fisiológica e baixa qualidade de grãos. E a importância da qualidade de grãos no momento de comercialização e as possíveis causas de redução de qualidade de grãos.

1.1 A eficiência do uso de água

A irrigação da lavoura de arroz é fator imprescindível para o bom desenvolvimento da planta, auxiliando na obtenção de elevados níveis de rendimento de grãos. No entanto, o arroz irrigado se destaca como uma das culturas mais exigentes em água durante seu ciclo, em razão do sistema de irrigação empregado (SMITH et al., 2007). A lavoura de arroz irrigado necessita em torno de 1,4 m³ de água para produzir 1 kg de grãos com casca (MACHADO et al., 2006).

O elevado uso de água implica que sejam identificados meios alternativos para a redução da utilização desse recurso (MACHADO et al., 2003), refletindo na melhoria da eficiência de uso da água (NGUYEN et al., 2009). Em agricultura, a eficiência no uso de água é definida como a relação entre a produção de biomassa ou de produto comercial e o volume de água utilizada na lavoura (STONE, 2005; YANG & ZHANG, 2010a).

A eficiência do uso de água está ligada diretamente à redução de concentração de CO₂ no interior da planta. Esta redução pode acontecer através da queda da taxa de transpiração e fechamento estomático ou manutenção da taxa fotossintética, variando de acordo com o cultivar (PIETERS & NÚÑEZ, 2008). Ao nível de planta, a eficiência do uso de água eleva-se com o estresse hídrico até a fase de perfilhamento. A partir desta fase até a maturação, a eficiência do uso de água reduz com o estresse hídrico e o carbono absorvido decresce, tornando o efeito da água significativamente menor com a idade da planta (ZHAO et al., 2004).

A eficiência do uso de água tornou-se um critério de seleção para tolerância ao déficit hídrico e altas produtividades sob escassez de água (CODON et al., 2004). Cultivares com resistência ao déficit hídrico e com potencial de recuperação aos períodos de seca vem sendo estudadas visando a eficiência do uso de água (KAMOSHITA et al., 2004; LUO, 2010).

A eficiência do uso de água pode ser incrementada pela redução da água que entra na lavoura e que não contribui para a produção, ou pelo aumento do rendimento do arroz. A primeira estratégia implica principalmente na redução de água no momento do preparo do solo e a redução pela perda por infiltração e percolação, enquanto que a segunda estratégia baseia-se em melhorias agrônômicas (TUONG & BHUIYAN, 1999).

Algumas tecnologias podem reduzir o volume de água na lavoura e melhorar a eficiência do uso de água, mas a maioria delas causa redução no rendimento. A redução de água na irrigação pode afetar alguns cultivares de acordo com sua adaptação (MATSUO & OZAWA, 2010). As tecnologias que reduzem o volume de água utilizado na lavoura podem apresentar impactos negativos sobre a infestação de plantas daninhas e disponibilidade de nutrientes (TUONG et al., 2004). Dessa forma, em diversos países vem-se estudando recursos e sistemas visando a melhoria da eficiência do uso de água no cultivo do arroz.

O “arroz aeróbico” é um novo sistema que vem sendo desenvolvido para terras baixas com escassez de água, que implica na utilização de cultivares altamente responsivas à adubação em solos não saturados, e podem alcançar rendimento de 70-80 % em relação ao rendimento do arroz irrigado (BOUMAM, 2001). O uso de água de irrigação no sistema aeróbico é em torno de 38 % menor em comparação à lâmina de água, porém o rendimento de grãos também é reduzido (BELDER et al., 2005).

Quando utilizados cultivares de alto rendimento, o arroz aeróbico apresenta produtividades semelhantes em comparação com arroz irrigado, com o uso de água reduzido (0,8 a 1,0 kg m⁻³), mostrando ser uma tecnologia promissora para a conservação de água (KATO et al., 2009).

Outro sistema que vem sendo estudado é o Sistema de Intensificação de Arroz (SRI), relatado como um sistema que pode contribuir para a redução do uso da água para a cultura de arroz e, possivelmente, outras culturas (UPHOFF et al., 2011). O SRI foi desenvolvido em Madagascar na década de 80 e foi estendido para muitos outros países através de colaboração com o Instituto Internacional de Cornell para Alimentação, Agricultura e Desenvolvimento (CIIFAD). O sistema baseia-se em princípios de cultivo com a redução na população de plantas à fim de melhorar as condições do solo, e métodos de irrigação para o desenvolvimento da raiz e do estabelecimento da planta. Com o SRI a irrigação é intermitente e moderadamente aplicada, mantendo o solo saturado (KASSAM et al., 2011). A economia de água utilizando o SRI pode chegar a 40 % em relação ao volume de água utilizado no sistema convencional, sendo que se o cultivar for de ciclo curto esta economia pode ser de 50 % (HAMEED et al., 2011).

Outro sistema visando a economia de água nos arrozais é o Sistema de Produção de Arroz com Cobertura de Solo (GCRPS) e foi testado na China em 2001 e 2002. Este sistema consiste em cultivar o arroz de terras baixas sem uma lâmina de água durante todo o período de crescimento, sendo irrigado somente quando a tensão de água do solo for inferior a 15 kPa. Comparado com o sistema comum de produção de arroz (sob lâmina de água), o GCRPS reduz o uso de água em torno de 40 %, porém tem sua produtividade reduzida. O GCRPS tem potencial para economizar grandes quantidades de água, mas este sistema é penalizado pelos fatores de estresse, como baixa temperatura do solo, déficit hídrico e deficiência de nutrientes durante o desenvolvimento vegetativo (TAO et al., 2006).

Outras práticas de manejo vêm sendo estudadas com intuito de melhorar a eficiência do uso de água, como a época de semeadura, cobertura de solo e tipo de irrigação aplicada.

A realização da semeadura no início da época recomendada melhora a eficiência do uso de água e o rendimento de grãos devido à cultura se desenvolver em condições meteorológicas ideais, como temperatura, radiação solar e precipitação pluvial (JALOTA et al., 2009; MAHAJAN et al., 2009; SARTORI et al., 2013).

Sistemas de cultivo também foram estudados e os resultados mostram que os diferentes sistemas: sistemas convencional, cultivo mínimo, pré-germinado, mix de pré-germinado, e transplante de muda apresentam consumo de água similares durante o ciclo do arroz quando estabelecidos em áreas niveladas em sua superfície, e não contribuem significativamente com a redução do uso de água, podendo utilizar um volume variável de 5.374 a 6.422 m³ ha⁻¹ (MACHADO et al., 2006). No entanto, estes resultados podem variar conforme as características da própria lavoura, como classe de solo, nivelamento superficial, cultivar

empregada, entre outros fatores (LORENSI, 2011). Hernandez et al. (1997) nos mostram que a utilização do sistema convencional somado a um início de irrigação tardio, pode diminuir a eficiência do uso da água no arroz irrigado.

O cultivo de arroz sem lâmina de água com cobertura de palha apresenta melhor eficiência no uso de água em relação ao sistema com lâmina de água (XU et al., 2007; ZHANG et al., 2008), pois é capaz de manter o alto rendimento e a qualidade do grão e ainda antecipar a senescência da planta. O aumento da taxa fotossintética e da atividade radicular e enzimática envolvidas na formação do grão contribuem para que este sistema com cobertura tenha um elevado rendimento e melhor qualidade de grãos (ZHANG et al. 2008). O cultivo de arroz sem lâmina de água e com cobertura de palha é indicado para regiões mais áridas com escassez de água, onde não há problemas com baixas temperaturas. Em regiões onde há riscos de baixa temperatura, o sistema de irrigação por inundação segue sendo o recomendado devido à manutenção da temperatura (XU et al., 2007; ZHANG et al., 2008).

Os diferentes sistemas de irrigação são os mais estudados visando a melhoria da eficiência do uso de água. O sistema de irrigação chamado de “Pin-Point”, utilizado principalmente em sistema pré-germinado, é capaz de reduzir o uso de água na lavoura. Este manejo consiste em drenar a área 24 horas após a semeadura das sementes pré-germinadas e voltar a inundar a área 5 a 7 dias após, até a colheita. Além disso, este manejo é eficiente no controle de plantas daninhas, principalmente o arroz vermelho, e é capaz de antecipar o enchimento de grãos entre 5 a 7 dias, e consequentemente, antecipar a colheita (ROEL et al., 1999).

Já o sistema de irrigação “dry-foot” é um modelo de irrigação onde não é mantida lâmina de água na lavoura, mas irrigações oportunas são feitas conforme a necessidade, de acordo com o controle de umidade do solo em todas as fases de crescimento. Essa tecnologia tem capacidade de melhorar a eficiência do uso de água em relação ao sistema sob inundação. Além disso, proporciona que o arroz desenvolva resistência ao acamamento (XIAOPING et al., 2004).

Outros sistemas de irrigação prezam o monitoramento do potencial hídrico do solo para saber a hora exata de irrigar. A irrigação controlada pelo monitoramento do potencial hídrico do solo não só tem capacidade de reduzir a entrada de água, mas também incrementa a produtividade. Além disso, a redução no uso de água pode aumentar o índice de colheita e a qualidade dos grãos, e melhorar a atividade fisiológica das raízes (YANG et al., 2007).

O monitoramento do potencial hídrico do solo dos 15 aos 30 cm de profundidade melhoraram a eficiência do uso de água em até 20 % (NGUYEN et al., 2009). No entanto, o arroz parece ser sensível a pequenos déficits hídricos tanto que os rendimentos são, muitas

vezes, inferiores nas tecnologias de redução de água (TUONG et al., 2004). Nguyen et al. (2009) descrevem que os parâmetros fisiológicos não são afetados enquanto existe água disponível para a planta até 10 cm de profundidade.

Outra alternativa é o sistema de irrigação por sulco que reduz em torno de 45 % o uso de água em relação à irrigação contínua. O aumento da eficiência do uso de água está ligado à redução da taxa de transpiração e evapotranspiração, à redução de ferro reduzido (Fe^{2+}) e, por conseguinte, ao melhor desenvolvimento radicular. Além disso, a irrigação por sulcos melhora a difusão de gases no solo e reduz a incidência de doenças (HE, 2010).

Entre os diferentes sistemas de irrigação existentes, o sistema de irrigação intermitente é o mais estudado. Neste sistema a lâmina de água somente é reposta após um intervalo de tempo desde seu desaparecimento (STONE, 2005). A água é aplicada na lavoura dependendo da condição climática, ou até algumas rachaduras finas aparecerem na superfície do solo (ZHANG et al. 2012).

De acordo com Stone (2005), manter o solo saturado durante todo o ciclo do arroz ou parte dele é opção promissora para economizar água sem decrescer muito a produtividade. A irrigação intermitente possibilita a economia de água na produção de arroz irrigado e mantém os níveis de rendimento, podendo economizar de 6-14 % de água em relação ao sistema de irrigação contínua (BELDER et al., 2004), mas outros relatos mostram uma redução de até 30 %, embora por vezes associada com a perda de rendimento (BOUMAN & TUONG, 2001; TABBAL et al, 2002). A real quantidade de água economizada desta maneira dependerá das condições hidrológicas do local e da regularidade de chuvas.

Outros autores observaram a economia de água de 24 e 38 % nas safras de 2009 e 2010, utilizando o sistema de irrigação intermitente e comparando com a irrigação contínua (YAO et al. 2012; ZHANG et al. 2012), pois este sistema permite armazenar grande parte da água advinda das precipitações pluviais. Estes resultados corroboram com Toescher et al. (1997) onde a irrigação intermitente utilizou 22 % menos água que a irrigação contínua.

A irrigação intermitente juntamente com o manejo adequado do nitrogênio (N) pode ser um meio eficaz para economizar água, promover a produção de arroz, e melhorar a eficiência do uso de água e a eficiência do uso de N para o arroz (YE et al., 2013), mostrando que a aplicação de N combinado com um manejo adequado da irrigação proporciona melhoria na eficiência do uso de água (LIU & SHAO, 2011).

A utilização de lâmina de irrigação intermitente (intervalo de 2 dias) juntamente com a alta taxa de nitrogênio (112-152 kg ha⁻¹) mostra-se eficiente no uso de água comparado com irrigação de lâmina contínua e por aspersores (PIRMORADIAN et al., 2004).

Em estudo na China durante três anos, a produtividade aumentou em torno de 35 % com uma gestão de N eficaz combinando irrigação intermitente após a antese. O parcelamento do N em combinação com a irrigação intermitente permite melhor absorção de N, aumentando sua eficiência, biomassa e rendimento de grãos (QIN et al., 2013).

O sistema de irrigação intermitente possibilita a aceleração no enchimento de grãos, redução no período de enchimento e maior senescência da planta. Em ano de menor precipitação, o sistema intermitente pode acelerar a senescência foliar, causando queda de produtividade (ZHANG et al. 2012).

A eficiência do uso de água pode ser melhorada através de várias práticas, tais como a drenagem controlada do solo após a antese, regimes de drenagem e irrigação controlada durante todo o período de crescimento, e cultivo sob camada de palha. Todos tem potencial para melhorar a eficiência do uso de água e manter ou até mesmo melhorar o rendimento de grãos (YANG & ZANGH, 2010).

1.2 A supressão antecipada da irrigação e seus possíveis efeitos

Entre os diversos manejos existentes visando melhorar a eficiência do uso de água cita-se a supressão antecipada da irrigação, que pode tornar-se uma alternativa para a economia de água na lavoura. O término ou supressão antecipada da irrigação na lavoura de arroz pode contribuir para a redução do período de irrigação, além de facilitar a colheita, reduzir seus efeitos sobre a degradação da superfície do solo e facilitar a retirada do produto da lavoura (GOMES et al., 2008). No entanto, dependendo da época que esta supressão é realizada e o tempo que essa lavoura permanecerá em déficit hídrico, os componentes de rendimento da cultura podem ser afetados (MOLINA et al., 2007). Por exemplo, um período de 30 dias de drenagem pode ocasionar redução na produtividade quando o déficit hídrico coincide com a diferenciação do primórdio floral da planta (no estágio R₀, segundo a escala de Counce et al., 2000).

A antecipação da supressão da água de irrigação da lavoura de arroz irrigado em função da colheita é um método de manejo que pode corresponder a uma melhor eficiência do uso da água pela lavoura de arroz. De acordo com recomendações técnicas da pesquisa para o arroz irrigado no Rio Grande do Sul e Santa Catarina, Brasil (SOSBAI, 2012), a supressão da irrigação pode ser iniciada quando a maioria dos grãos da panícula estão no estágio de grão

pastoso (estádio R₇), porém pode variar bastante, dependendo principalmente da textura do solo, onde em solos mais argilosos a irrigação pode ser suspensa antecipadamente, e em solos mais arenosos necessita-se de maior tempo de irrigação. Estudos mostram que a antecipação da supressão durante o estágio de grão leitoso (estádio R₆) e o sistema de irrigação intermitente promoveram incremento na eficiência do uso da água pela cultura, não causando prejuízo para seu desenvolvimento produtivo (SCIVITTARO et al., 2010).

Para se fazer supressão antecipada deve-se levar em consideração o cultivar utilizado, e sua eficiência no uso da água. A retirada da água em diferentes momentos após a floração pode afetar a produtividade de alguns cultivares e, em outros pode não haver mudanças significativas na produção (CAPURRO et al., 2012).

A supressão da irrigação realizada aos 10 dias após 50 % da floração reduz o uso de água e mantém a produtividade do arroz irrigado (COUNCE et al., 1993; GOMES et al., 2008; ABOU-KHALIFA, 2010). Já a drenagem da lavoura pode ser realizada uma semana mais tarde (duas semanas após a floração), sem causar prejuízos à produtividade e à qualidade dos grãos de cultivares de arroz irrigado (COUNCE et al., 1993). No entanto, para que essas estratégias sejam adotadas, têm que ser levados em consideração os atributos físicos do solo, as condições climáticas e a propensão do cultivar às fissuras de grãos. Normalmente, solos mais argilosos retêm a água por períodos mais prolongados (GOMES et al., 2008). A drenagem em torno de 25 dias após 50 % da floração (R₆-R₈) não afeta o rendimento e qualidade de grãos e ainda reduz o custo de irrigação (COUNCE et al., 2005).

Em estudo com a supressão de irrigação uma, duas e três semanas após a floração em quatro cultivares mostra que há diferença na resistência ao estresse hídrico entre cultivares. O momento de supressão não altera o potencial produtivo de alguns cultivares, mostrando que pode ser reduzido o uso de água desta maneira. No entanto, para outros cultivares a supressão antecipada reduz seu potencial produtivo (ROSHAN et al., 2013).

Em outro estudo a supressão antecipada da irrigação realizada na fase de grão pastoso possibilitou maior rendimento de grãos para quatro cultivares, e supressões realizadas antes do final da inserção da panícula e antes do florescimento proporcionaram queda de rendimento nos cultivares testados (SADEGHI & DANESH 2011).

Sarvestani et al. (2008) ao realizarem supressões na fase vegetativa, florescimento e de enchimento de grãos encontraram reduções no rendimento de até 21, 50 e 21 %, respectivamente, em relação à irrigação contínua até o final do ciclo. Essa queda de rendimento está ligada à fertilidade da panícula e à porcentagem de enchimento de grãos, que são afetados

com o déficit hídrico. Isso mostra que a fase de florescimento é a mais sensível ao déficit hídrico.

O estresse hídrico no período reprodutivo pode causar queda no rendimento, afetando principalmente a esterilidade e o número de grãos por panícula. No entanto o efeito do estresse neste período varia de acordo com as características genotípicas do cultivar (PRABA et al., 2009).

A resistência ao déficit hídrico pode ser estimada através da mensuração tanto do vigor como do enraizamento e rendimento de grãos (INGRAM et al., 1990), sendo que o aumento da profundidade da raiz é uma estratégia importante para evitar a desidratação e adaptação do arroz ao estresse hídrico (VENUPRASAD et al., 2011).

O déficit hídrico realizado de forma controlada durante o enchimento de grãos (por volta de 8 dias após floração) pode acelerar a taxa de divisão de células do endosperma, de enchimento de grãos e aumentar o peso de grãos das espiguetas inferiores. Em contrapartida, no déficit hídrico realizado de forma brusca durante o enchimento, ocorre aumento de etileno e redução da taxa de enchimento e peso dos grãos (CHEN et al., 2013).

O estresse hídrico durante o período de enchimento de grãos induz a planta a iniciar antecipadamente a senescência, reduzir a fotossíntese e encurtar o período de enchimento de grãos, aumentando a remobilização de carboidratos não estruturais dos tecidos vegetativos para os grãos (YANG & ZHANG, 2010b). Nos casos em que a senescência da planta é desfavorável, atrasada pelo uso de doses elevadas de nitrogênio ou pelo uso de híbridos com elevada heterose, o ganho com a remobilização melhora e acelera a taxa de enchimento de grãos, podendo compensar a perda de fotossíntese e o reduzido período de enchimento de grãos, levando a um aumento de produção e melhor índice de colheita (YANG & ZHANG, 2006). No entanto, há relatos que a aceleração da senescência foliar pode causar queda de produtividade em alguns cultivares convencionais (ZHANG et al., 2012).

1.3 Arroz híbrido e suas características

Desde que foi lançado, o arroz híbrido ganhou popularidade por sua excelente produtividade e ampla adaptabilidade (NI et al., 2011). O vigor híbrido em arroz é resultante de heterose. Este vigor híbrido explorado comercialmente é uma das mais importantes aplicações técnicas do melhoramento genético na agricultura (COIMBRA et al., 2006).

As variedades híbridas de arroz em geral são superiores às variedades convencionais na produção de espiguetas por panícula, panículas por m², índice de área foliar, duração de folha verde, taxa fotossintética, resistência ao acamamento, acúmulo de matéria seca na fase vegetativa, remobilização de carboidratos pré-armazenados nos caules e folhas para os grãos durante o período de enchimento de grãos, e sistema radicular (FU & YANG, 2012).

Estudo desenvolvido por Laza et al. (2004) mostrou que é possível melhorar o rendimento máximo atingível com a criação de cultivares de panículas maiores. As variedades híbridas tem aumentado seu potencial produtivo em 12 % em comparação às variedades convencionais, rendimento esse atribuído ao melhor aproveitamento de radiação, produção de biomassa e ao tamanho de panícula.

Estudos comparando oito cultivares híbridos com um cultivar convencional de alto rendimento mostrou que o potencial produtivo dos híbridos foi 11,4 % superior, atribuído ao tamanho da panícula e ao número de panículas por m² (HUANG et al., 2011). Outros estudos comprovam que o rendimento de grãos de certos híbridos é devido ao seu grande acúmulo de biomassa antes do enchimento, resultando em maior duração da área foliar ao invés de sua eficiência de utilização da radiação (KATSURA et al., 2007). Ainda, o potencial genético dos híbridos de arroz pode ser melhor explorado com a integração de nutrientes e outros manejos (QIN et al., 2013).

Plantas de arroz híbrido se destacam quanto à eficiência do uso de água em situações favoráveis de desenvolvimento ou sob alta intensidade competitiva em relação a outras plantas e arroz convencional (CONCENÇO et al., 2009), pois possuem o crescimento mais rápido e vigoroso, ocupando a área primeiro que muitas plantas daninhas, e reduzindo sua interferência sobre as plantas da cultura (BALBINOT JR. et al., 2003).

Em estudo onde se avaliou a capacidade de competição de plantas híbridas com plantas convencionais de arroz, observou-se que as híbridas têm maior capacidade fotossintética que os cultivares convencionais quando sob competição com até três vezes sua própria densidade. Em condições de campo as variedades híbridas são consideradas menos hábeis competitivamente devido a sua menor densidade de semeadura (CONCENÇO et al., 2011).

Verificando o desempenho de arroz híbrido em comparação com um arroz resistente à seca, os resultados mostraram que o arroz híbrido manteve sua alta produção mesmo em condições onde se economiza água como no sistema de irrigação intermitente. Isso mostra que as variedades híbridas não necessariamente exigem maiores volumes de água para manter seu rendimento de grãos (YAO et al., 2012). O arroz híbrido também responde bem ao método SRI

de manejo da irrigação e fertilização, se tornando uma atraente alternativa para utilização (LIN et al., 2011).

Entretanto os cultivares de arroz híbrido podem mostrar-se muito sensíveis ao déficit hídrico, que pode ocorrer devido à supressão da irrigação (LIU et al., 2011; CHEN et al., 2004). Os períodos de início do desenvolvimento reprodutivo e de enchimento de grãos mostram-se os mais sensíveis ao déficit hídrico em arroz híbrido (SARVESTANI et al., 2008; QIN et al., 2013), sendo que no início do período reprodutivo a esterilidade de grãos pode chegar a até 59 % com uma irrigação deficiente (SINGH et al., 2010), comprometendo a produtividade da cultura e sua qualidade de grãos. Ainda pode apresentar uma maior esterilidade quando há uma combinação de condições de clima quente, úmido e sem vento com uma pequena deiscência das anteras basais (TIAN et al., 2010).

O estresse hídrico em híbrido causa mudanças no teor de ácidos graxos das membranas celulares, em especial da membrana do cloroplasto. Por outro lado, há autores que relatam que o arroz híbrido é tolerante ao estresse hídrico e citam que isso está relacionado com a colaboração geral do sistema antioxidante (LIU et al., 2011). A resistência do arroz híbrido à seca está diretamente ligada às concentrações de radicais livres como superóxidos, peróxido de hidrogênio, ácido ascórbico, malondialdeído e glutathione reduzida produzidos pela planta, sendo que os híbridos mais resistentes possuem alta capacidade de oxidação destes radicais (WANG et al., 2010).

No entanto variedades híbridas, por possuírem panícula grande, apresentam dois principais problemas: pobre em enchimento de grãos na parte inferior da panícula e baixa taxa de fixação dos grãos (FU & YANG, 2012). Na parte inferior da panícula o enchimento pode ser 20 % menor em comparação com a parte superior (YANG & ZHANG, 2010b). Isto ocorre devido uma série de fatores, como a concentração hormonal (YANG et al., 2006) e síntese de sacarose (TANG et al., 2009).

Os carboidratos não estruturais armazenados nos colmos e nas folhas são importantes no período de enchimento de grãos para a produção de cultivares de alto rendimento (NAKANO & TSUCHIYA, 2012) pois eles podem ser remobilizados para o grão em formação, sendo responsáveis por 30 % do rendimento final da planta (YANG & ZHANG, 2010b). Os híbridos possuem maior capacidade de remobilização de carboidratos armazenados nas folhas e colmos para os grãos, questão que deve ser levada em consideração para o desenvolvimento de novas linhagens (LAFARGE & BUENO, 2009). No entanto, esse mecanismo de remobilização de carboidratos se dá somente quando a planta inicia o processo de senescência (YANG & ZHANG, 2006), o que geralmente ocorre de maneira atrasada em híbridos devido ao seu vigor

e, juntamente com a dificuldade de enchimento de grãos na parte basal graças ao tamanho da panícula. Isso causa queda de qualidade de grãos pois não há uniformidade entre grãos em uma mesma panícula (NI et al., 2011). Autores colocam que a indução de uma senescência antecipada contribuiria para o melhor enchimento dos grãos na parte basal da panícula (DONG et al 2011). A senescência pode ser estimulada através de um déficit hídrico induzido com a retirada de água três semanas antes da colheita. No entanto, esta contribuição varia de acordo com o cultivar e a época a ser induzida, sendo que, se realizada de forma equivocada pode prejudicar o rendimento da cultura (YANG & ZHANG, 2010a; YANG & ZHANG, 2006).

Outros trabalhos colocam a senescência como um efeito prejudicial ao rendimento do arroz e propõem aplicações de paclobutrazol ou 6-benzilaminopurina para aliviar parcialmente os efeitos prejudiciais da senescência do arroz. Isso modularia a atividade de antioxidantes enzimáticos e melhoria do sistema antioxidante, o que auxilia na sustentação do crescimento da planta. Além disso, a aplicação no estágio de enchimento pode aumentar o rendimento e melhorar a qualidade de grãos em arroz híbrido (PAN et al., 2013). Também, uma irrigação intermitente promove a funcionalidade da raiz, aumentando a atividade de superóxido dismutase e diminuindo a concentração de malondialdeído na folha bandeira após o florescimento, o que promove o atraso no processo de senescência, prolongando a atividade funcional da folha o que leva a um melhor enchimento de grãos (ZHU et al., 2012).

Além de problemas no enchimento, fatores ambientais como umidade e temperatura do ar influenciam significativamente sobre a fertilidade das espiguetas do arroz (YAN et al., 2008). Estudos têm mostrado que a temperatura elevada ($>35\text{ }^{\circ}\text{C}$) durante a fase de enchimento de grãos pode causar aumento na respiração, diminuição na fotossíntese e redução nas espiguetas férteis e produtividade (ZHENG et al., 2005).

Temperaturas mais amenas na região dos órgãos da planta do arroz (folhas, colmos, panículas) durante a fase de enchimento são positivamente correlacionadas com a fertilidade de espiguetas. A umidade do ar é diretamente proporcional à temperatura dos órgãos da planta do arroz, uma vez que diminuindo a umidade, a planta aumenta a transpiração e, conseqüentemente, a temperatura de seus órgãos é reduzida (YAN et al., 2008). Então, a supressão da irrigação após a floração pode vir a interferir na temperatura e umidade do ar, na remobilização de fotoassimilados armazenados em folhas e colmos, vindo a influenciar no enchimento e qualidade de grãos de híbridos.

Embora os benefícios do elevado rendimento sejam altamente reconhecido, é a qualidade industrial e de cocção o maior problema. A porcentagem de grãos inteiros assim como a produtividade em híbridos melhora em resposta às doses de nitrogênio aplicadas.

Porcentagem de gesso, consistência e transparência não são afetados pelo uso de nitrogênio, mas sim pela deficiência no enchimento de grãos (WANG et al. 2012).

Temperaturas altas na fase inicial de enchimento também causam danos à qualidade de grãos, devido à redução e desequilíbrio da atividade enzimática e hormonal. Com isso, a velocidade de enchimento de grãos é acelerada dando origem a grãos pobres em qualidade e nutrição (DONG et al., 2011). Além disso, outras características também afetam a qualidade de grãos, como o posicionamento das espiguetas. A capacidade que uma única espiguetas tem para acumular produto da assimilação varia muito entre as posições das espiguetas (YANG et al., 2006; LIANG et al., 2001). Como resultado, a qualidade de grãos de arroz em posições diferentes é assimétrica, conduzindo a uma degradação da qualidade global de grãos de arroz em muitas variedades (WANG & CHENG, 2004). Espiguetas que se desenvolvem tardiamente em uma panícula geralmente apresentam grãos inferiores em condições normais, pois apresentam níveis relativamente baixos de síntese de amido e hormônios (DONG et al., 2008).

As novas variedades de arroz podem ser desenvolvidas com várias características desejáveis, incluindo alto rendimento, porte de planta ideal, alto vigor de raiz e resistência múltipla (LIANG et al., 2011), maior índice de colheita e melhor eficiência de produção de espiguetas (YANG et al., 2007). No entanto, a qualidade deve ser um dos principais objetivos do melhoramento de arroz híbrido (NI et al., 2011).

1.4 Qualidade dos grãos

A qualidade dos grãos é fator fundamental no momento da comercialização do arroz, já que grãos inteiros e sem defeitos obtêm os melhores valores no mercado (CANELLAS et al., 1997).

O rendimento de grãos inteiros é influenciado por fatores como a genética do cultivar, as condições ambientais em que a planta é cultivada, momento de colheita e processos mecânicos de beneficiamento (JONGKAEWWATTANA & GENG, 2001). Diante desse fato, a definição da época de colheita torna-se prática indispensável, sendo que sua antecipação ou seu adiamento podem trazer diferentes consequências para a qualidade dos grãos. A colheita antecipada pode acarretar em elevada ocorrência de grãos verdes, gessados e mal formados, sendo mais suscetíveis à quebra (CAPURRO et al., 2012); já a colheita tardia ocasiona degrane

natural, além de perdas por acamamento, ataque de pragas e consequentemente, redução no rendimento de grãos inteiros (RIBEIRO et al., 2004).

A colheita da lavoura de arroz é realizada em função da umidade dos grãos, de modo que sua realização fora dos valores de umidade adequados pode depreciar a qualidade do produto e a rentabilidade da atividade. Recomendações da pesquisa para a cultura preconizam a colheita entre 20 e 24 % de umidade (SOSBAI, 2012). Estudo realizado por Teló et al. (2011) evidenciou redução no percentual de grãos inteiros quando o arroz foi colhido com umidade dos grãos inferior a 20 %. Grãos com baixo teor de umidade podem sofrer fissuras no campo, acarretando na quebra no momento do beneficiamento (SMIDERLE et al., 2008).

Além das condições de colheita, diferentes manejos incluindo época de semeadura, irrigação, fertilidade e seleção de cultivares podem afetar a qualidade dos grãos de arroz no momento do beneficiamento. Pesquisas recentes sugerem que a temperatura ambiente do ar, mais especificamente a temperatura noturna do ar durante o enchimento de grãos, afeta a qualidade de engenho do arroz em termos de rendimento e grãos inteiros (SIEBENMORGEN et al., 2013).

Cultivares de grão longo possuem taxas de gesso superiores de acordo com elevada temperatura do ar noturna durante os estágios de R5 a R8 e percentagem de grãos inteiros reduzida nos mesmos estágios (LANNING et al., 2011). Este resultados corroboram com o trabalho de Ambardekar et al. (2011) onde a elevada temperatura noturna do ar proporciona formação de gesso nos grãos durante R8 e reduz a formação de grãos inteiros. O aumento de 1°C na temperatura reduz o rendimento em 6,2 %, rendimento total de engenho em 8,0 % e grão inteiro em 13,8 % (LYMAN et al., 2013).

O gesso é a parte opaca do endosperma do arroz, onde há um distúrbio no arranjo de moléculas de amido e proteínas, ficando frouxamente organizadas e apresentando espaço entre moléculas preenchido com ar (SHEN, 2000). Isto faz com que o grão gessado seja facilmente quebrado quando beneficiado (LIU et al., 2009).

A redução na qualidade do grão, em virtude de anomalias na morfologia e coloração, ocorre com frequência em arroz, devido às temperaturas elevadas durante o período de maturação (YOSHIOKA et al., 2007). Temperaturas altas na fase de enchimento de grãos são desfavoráveis pois resultam na redução da atividade enzimática relacionada com o enchimento do grão, reduz o peso dos grãos, o acúmulo de amilose e o consumo respiratório de fotoassimilados produzidos, interferindo no balanço hídrico e na redução da atividade floral (LI et al., 2011; DONG et al. 2011). Estes distúrbios fisiológicos são os principais fatores que impedem o progresso de enchimento normal de grão. Entre as características de qualidade de

grãos afetadas por estas desordens fisiológicas, o gesso é uma grande preocupação no cultivo de arroz, pois é um dos principais fatores na determinação da qualidade do arroz e preço (ZHOU et al., 2009).

Zhong & Huang (2005) citam que a formação do gesso é inversamente proporcional à atividade radicular durante o enchimento de grãos, mostrando que uma planta com raízes bem desenvolvidas e nutridas podem contribuir na qualidade de grãos.

Embora a transparência final e a área gessada sejam determinadas principalmente pelos fotoassimilados acumulados durante todo o período de desenvolvimento, isto depende da expressão gênica atuante no período de enchimento de grãos para que os fotoassimilados sejam acumulados até então (SHI et al., 2002.).

O manejo pode influenciar na qualidade e taxa de gesso do grão. Uma irrigação contínua ou intermitente mantém ou provoca aumento de peso de 1000 grãos, porcentagem de grãos inteiros, produtividade e redução no teor de gesso nos grãos. Já uma irrigação deficiente (com irrigações em solo com potencial de -40 kPa) reduz todos estes componentes citados e ainda aumenta o teor de gesso no grão (HUANG et al., 2008).

Para alcançar maior qualidade de grãos deve-se dar melhor enfoque no melhoramento genético, uma vez que plantas com desuniformidade de perfilhamento e enchimento de grãos apresentam menor potencial para grãos com alta qualidade (WANG et al., 2007). O melhoramento deve dar atenção às plantas cujos grãos na panícula são altamente uniformes. Plantas com sementes maiores e mais pesadas podem aumentar a produção, com potencial aumento na qualidade e rendimento de grãos (JONGKAEWWATTANA & GENG, 2001). O comprimento da panícula está estreitamente relacionado com a uniformidade de enchimento de grãos e a uniformidade das características de qualidade de grãos em uma panícula (WANG & CHENG, 2004; DONG et al. 2008). Panículas maiores tendem a apresentar desuniformidade na qualidade de grãos. Consequentemente o comprimento da panícula poderia fornecer um índice de seleção útil para o melhoramento visando um aumento de rendimento de grãos (JONGKAEWWATTANA & GENG, 2002).

Uma planta ideal em qualidade de grãos deve possuir um curto período de florescimento e/ou um curto período de enchimento, o que proporcionaria uma maior taxa de grãos inteiros juntamente com alta produtividade (TABIEN et al., 2009).

A supressão da irrigação, seja mais precoce ou mais tardia, pode ter contribuição significativa sobre o rendimento e a qualidade dos grãos de arroz. Devido à falta de referências relacionando esses dois fatores, uma das propostas desse trabalho é avaliar se a supressão da irrigação influencia no aspecto do rendimento e qualidade de grãos.

2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABOU-KHALIFA, A. A. B. Response of some rice varieties to irrigation withholding under different sowing dates. **Agriculture and Biology Journal of North America**. Milford, v.1, n.1, p.56-64, 2010.

AMBARDEKAR, A. et al. Impact of field-scale nighttime air temperatures during kernel development on rice milling quality. **Field Crops Research**. Amsterdam, v.122, n.3, p.179-185, 2011.

BALBINOT Jr., A.A. et al. Competitividade de cultivares de arroz irrigado com cultivar simuladora de arroz-vermelho. **Pesq. Agropec. Bras.** Brasília, v.38, n.1, p.53-59, 2003.

BELDER, P. et al. Crop performance, nitrogen and water use in flooded and aerobic rice. **Plant and Soil**. The Hague, v.273, n.1-2, p.167-182, 2005.

BELDER, P. et al. Effect of water-saving irrigation on rice yield and water use in typical lowland conditions in Asia. **Agricultural Water Management**. Amsterdam, v.65, n.3, p.193-210, 2004.

BOUMAN, B.A.M. Water-efficient management strategies in rice production. **International Rice Research Notes**. Los Baños, v.26, n.2, p.17-22, 2001.

BOUMAN, B. A. M. TUONG, T. P. Field water management to save water and increase its productivity in irrigated lowland rice. **Agricultural Water Management**. Amsterdam, v.49, n.1, p.11-30, 2001.

CANELLAS, L. P. et al. Efeito de práticas de manejo sobre o rendimento de grãos e a qualidade industrial dos grãos em arroz irrigado. **Ciência Rural**. Santa Maria, v. 27, n. 3, p. 375-379, 1997.

CAPURRO, M. C. et al. Efecto del momento de retiro del agua y cosecha en las variedades Parao y El Paso 144. In: _____. **INIA Treinta y Tres: Arroz - Resultados Experimentales 2011-12**. Montevideo, 2012. Cap.2, p.11-24.

CHEN, G. X. et al. Effects of drought on photosynthetic characteristics of flag leaves of a newly-developed super-high-yield rice hybrid. **Photosynthetica**, Prague, v.42, n.4, p.573-578, 2004.

CHEN, T. et al. Polyamines and ethylene interact in rice grains in response to soil drying grain filling. **Journal of Experimental Botany**. Oxford, v.64, n.8, p.2523-2538, 2013.

CODON, A. G., et al. Breeding for high water-use efficiency. **Journal of Experimental Botany**. Oxford, v.55, n. 407, p.2447-2460, 2004.

COIMBRA, J. L. et al. Heterose em arroz híbrido. **Revista Brasileira de Agrociência**. Pelotas, v.12, n.3, p.257-264, 2006.

CONCENÇO, G. et al. Uso da água por plantas híbridas ou convencionais de arroz irrigado. **Planta Daninha**. Viçosa, v.27, n.3, p.447-453, 2009.

CONCENÇO, G. et al. Photosynthetic characteristics of hybrid and conventional rice plants as a function of plant competition. **Planta Daninha**. Viçosa, v.29, n.4, p.803-809, 2011.

COUNCE, P. A. et al. Postheading irrigation management effects on rice grain yield and milling quality. Arkansas: **Arkansas Agricultural Experiment Station**, 1993. 12 p.

COUNCE, P. A. et al. A uniform, objective and andaptive system for expressing rice development. **Crop Science**. Madison, n. 40, n.2, p. 436-443, 2000.

COUNCE, P. A. et al. Water savings for rice producers using a model to predict safe growth stages for rice-field draining. **Research Series 540 - Rice Research Studies 2005**. Arkansas, p.263-269, 2005.

DALEN, G. V. Determination of the size distribution and percentage of broken kernels of rice using flatbed scanning and image analysis. **Food Research International**. Barking, v.37, n.1, p.51-58, 2004.

DONG, M H. et al. Difference in hormonal content and activities of key enzymes in the grains at different positions on a rice panicle during grain filling and their correlations with rice qualities. **Scientia Agricultura Sinica**., Beijing, v.41, n.2, p.370-380, 2008.

DONG, M. H. et al. Quality response of grains in different spikelet positions to temperature stress during grain filling of rice. **Acta Agronomia Sinica**, Beijing, v.37, n.3, p.506-513, 2011.

FU, J. YANG, J. Research advantages in high-yielding cultivation and physiology of super rice. **Rice Science**. Beijing, v.19, n.3, p.177-184, 2012.

GOMES, A. S. et al. A água: distribuição, regulamentação e uso na agricultura, com ênfase ao arroz irrigado. **Boletim de pesquisa e desenvolvimento**, n. 250. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2008, 44.p.

HAMEED, K.A. et al. Irrigation water reduction using System of Rice Intensification compared with conventional cultivation methods in Iraq. **Paddy and Water Environment**. Tokyo, v.9, n.1, p.121-127, 2011.

HE, C. Effects of furrow irrigation on the growth, production, and water use efficiency of direct sowing rice. **The Scientific World Journal**. New York, v.10, n.1 p.1483-1497, 2010.

HERNANDEZ, M. G. et al. Consumo e eficiência do uso de água e componentes do rendimento do arroz irrigado. **Ciência Rural**. Santa Maria, v.27, n.3, p.413-418, 1997.

HUANG, D. F. et al. Effects of irrigation patterns during grain filling on grain quality and concentration and distribution of cadmium in different organs of rice. **Acta Agronomia Sinica**, Beijing, v.34, n.3, p.456-464, 2008.

HUANG, M. et al. Relationship between grain yield and yield components in super hybrid rice. **Agricultural Sciences in China**. Beijing, v.10, n.10, p.1537-1544 2011.

INGRAM, K. T. et al. Comparison of selection indices to screen lowland rice for drought resistance. **Euphytica**. Wageningen, v.48, n.3, p.253-260, 1990.

JALOTA, S. K. et al. Integrated effect of transplanting date, cultivar and irrigation on yield, water saving and water productivity of rice (*Oryza sativa* L.) in Indian Punjab: field and simulation study. **Agricultural Water Management**. Amsterdam, v.96, n.7, p.1096-1104, 2009.

JONGKAEWWATTANA, S. GENG, S. Inter-relationships amongst grain characteristics, grain-filling parameters and rice (*Oryza sativa* L.) milling quality. **Journal of Agronomy & Crop Science**. Berlin, v.187, n.4, p.223-229, 2001.

JONGKAEWWATTANA, S. GENG, S. Non-uniformity of grain characteristics and milling quality of California rice (*Oryza sativa* L.) of different maturities. **Journal of Agronomy & Crop Science**. Berlin, v.188, n.3, p.161-167, 2002.

KAMOSHITA, A. et al. Genotypic variation in response of rainfed lowland rice to prolonged drought and rewatering. **Plant Production Science**. Tokyo, v.7, n.4, p.406-420, 2004.

KASSAM, A. et al. Review of SRI modifications in rice crop and water management and research issues for making further improvements in agricultural and water productivity. **Paddy and Water Environment**. Tokyo, v.9, n.1, p.163-180, 2011.

KATO, Y. et al. Yield potential and water use efficiency of aerobic rice (*Oryza sativa* L.) in Japan. **Field Crops Research**. Amsterdam, v.113, n.3, p.328-334, 2009.

KATSURA, K. et al. Analysis of yield attributes and crop physiological traits of Liangyoupeijiu, a hybrid rice recently bred in China. **Field Crops Research**. Amsterdam, v.103, n.3, p.170-177, 2007.

LAFARGE, T. BUENO, C. S. Higher crop performance of rice hybrids than of elite inbreds in the tropics: 2. Does sink regulation, rather than sink size, play a major role? **Field Crops Research**. Amsterdam, v.114, n.2, p.434-440, 2009.

LANNING, S. B. et al. Extreme nighttime air temperatures in 2010 impact rice chalkiness and milling quality. **Field Crops Research**. Amsterdam, v.124, n.1, p.132-136, 2011.

LAZA, M. R. et al. Effect of panicle size on grain yield of IRRI-Released indica rice cultivars in the wet season. **Plant Production Science**. Tokyo, v.7, n.3, p.271-276, 2004.

LI, H. et al. Different effects of night versus day high temperature on rice quality and accumulation profiling of rice grain proteins during grain filling. **Plant Cell Reports**. Berlin, v.30, n.9, p.1641-1659, 2011.

LIANG, J. S. et al. Grain sink strength may be related to the poor grain filling of indica-japonica rice (*Oryza sativa* L.) hybrids. **Physiologia Plantarum**. Copenhagen, v.112, n.4, p.470-477, 2001.

LIANG, Y. S. et al. Phenotypic correlation among root and shoot traits in an elite Chinese hybrid rice combination and its three derived populations. **Acta Agronomica Sinica**. Beijing, v.37, n.10, p.1711-1723, 2011.

LIN, X. et al. Effect of water management and organic fertilization with SRI crop practices on hybrid rice performance and rhizosphere dynamics. **Paddy and Water Environment**. Tokyo, v.9, n.1, p.33-39, 2011.

LIN, X.Q. et al. Effects of plant density and nitrogen application rate on grain yield and nitrogen uptake of super hybrid rice. **Rice Science**. Beijing, v.16, n.2, p.138-142, 2009.

LIU, H. SHAO, D. Coupling effect of water saving irrigation and nitrogen application with different treatment in paddy fields. **Water Resource and Environmental Protection**, v.4, p.3111-3115, 2011.

LIU, Q. et al. Effects of chalkiness on cooking, eating and nutritional qualities of rice in two indica varieties. **Rice Science**. Beijing, v.16, n.2, p.161-164, 2009.

LIU, S. H. et al. Response of the flag leaves of super-hybrid rice variety to drought stress during grain filling period. **Journal of Agronomy & Crop Science**. Berlin, v.197, n.1, p.322-328, 2011.

LORENSI, R. P. **Relações entre atributos do solo e uso de água em arroz irrigado**. 2011, 127f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria.

LUO, J.L. Breeding for water-saving and drought-resistance rice (WDR) in China. **Journal of Experimental Botany**. Oxford, v.61, n. 13, p. 3509-3517, 2010.

LYMAN, N. et al. Neglecting rice milling yield and quality underestimates economic losses from high-temperatures stress. **PLOS ONE**. San Francisco, v.8, n.8, p.1-9, 2013.

MACHADO, S. L. O. et al. Os recursos hídricos e a lavoura arrozeira. **Revista Ciência Ambiente**, Santa Maria, v.27, p.97-106, 2003.

MACHADO, S. L. O. et al. Consumo de água e perdas de nutrientes e de sedimentos na água de drenagem inicial do arroz irrigado. **Ciência Rural**. Santa Maria, v. 36, n. 1, p. 65-71, 2006.

MAHAJAN, G. et al. Yield and water productivity of rice as affected by time of transplanting in Punjab, India. **Agricultural Water Management**. Amsterdam, v.26, n.3, p.525-532, 2009.

MATSUO, N., OZAWA, K. Physiological and morphological traits related to water use by three rice (*Oryza sativa* L.) genotypes grown under aerobic rice systems. **Plant and Soil**. The Hague, v. 335, n.1-2, p.335-349, 2010.

MOLINA, F. et al. Efecto del momento de retiro del agua y cosecha en inia olimar. In: _____. **INIA Treinta y Tres: Arroz - Resultados Experimentales 2006-07**. Montevideo, 2007. Cap.2, p.11-21.

NAKANO, H. TSUCHIYA, S. Yield response to cultivar and sowing pattern in high-yielding rice. **Crop Science**. Madison, v.52, n.6, p.2800-2806, 2012.

NGUYEN, H. T. et al. Physiological responses to various water saving systems in rice. **Field Crops Research**. Amsterdam, v.112, n.2-3, p.189-198, 2009.

NI, D. et al. Improving cooking and eating quality of Xieyou57, and elite indica hybrid rice, by marker-assisted selection of the Wx locus. **Euphytica**. Wageningen, v.179, n.2, p.355-362, 2011.

PAN, S. et al. Roles of plant growth regulators on yield, grain qualities and antioxidant enzyme activities in super hybrid rice (*Oryza sativa* L.). **Rice**. Heidelberg, v.6, n.9, p. 1-10, 2013.

PETRINI, J. A. et al. Sistema de cultivo de arroz pré-germinado e transplante de mudas. In: GOMES, A. da S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A.M. de (Ed.). **Arroz irrigado no Sul do Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p.387-416.

PIETERS, A. J. NÚÑEZ, M. Photosynthesis, water use efficiency, and $\delta^{13}\text{C}$ in two rice genotypes with contrasting response to water deficit. **Photosynthetica**. Prague, v.46, n.4, p.574-580, 2008.

PIRMORADIAN, N. et al. Effects of water-saving irrigation and nitrogen fertilization on yield and yield components of rice (*Oryza sativa* L.). **Plant Production Science**. Tokyo, v.7, n.3, p.337-346, 2004.

PRABA, M. L. et al. Identification of physiological traits underlying cultivar differences in drought tolerance in rice and wheat. **Journal of Agronomy & Crop Science**. Berlin, v.195, n.1, p.30-46, 2009.

QIN, J. et al. Integrated nutrient, water and other agronomic options to enhance rice grain yield and N use efficiency in double-season rice crop. **Field Crops Research**. Amsterdam, v.148, p.15-23, 2013.

RIBEIRO, G. J. T. et al. Efeitos do atraso da colheita e do período de armazenamento sobre o rendimento de grãos inteiros de arroz de terras altas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 5, p. 1021-1030, 2004.

ROEL, A. et al. Water use and plant response in two rice irrigation methods. **Agricultural Water Management**. Amsterdam, v.39, n.1, p.35-46, 1999.

ROSHAN, N. M. et al. Irrigation withholding timemanagement in four rice varieties at Guilan paddy fields (North Iran). **African Journal of Agricultural Research**. Nigeria, v.8, n.20, p.2371-2375, 2013.

SADEGHI, S. M. DANESH, R. K. Effects of water deficit role at different stages of reproductive growth on yield components of rice. **World Applied Sciences Journal**. [S.I.], v.13, n.9, p.2021-2026, 2011.

SARTORI, G. M. S. et al. Rendimento de grãos e eficiência no uso de água de arroz irrigado em função da época de semeadura. **Ciência Rural**. Santa Maria, v.43, n.3, p.397-403, 2013.

SARVESTANI, Z. et al. Study of water effects in different growth stages on yield and yield components of different rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. **Pakistan Journal of Biological Sciences**. Pakistan, v.11, n.10, p.1303-1309, 2008.

SCIVITTARO, W. B. et al. Demanda hídrica e eficiência de uso da água pelo arroz: influência do período de supressão da irrigação. **Boletim de pesquisa e desenvolvimento**, n. 132. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2010.

SHEN B. Observation on the starch grain development in endosperm of early indica rice during chalkiness formation with scanning electronic microscope. **Chinese Journal of Rice Science**. Beijing, v.14, n.4, p.225–228, 2000.

SHI, C. H. et al. Genetic analysis of transparency and chalkiness area at different filling stages of rice (*Oryza sativa* L.). **Field Crops Research**. Amsteden, v.76, n.1, p.1-9, 2002.

SIEBENMORGEN, T. J. et al. Impacts of preharvest factors during kernel development on rice quality and functionality. **Annual Review of Food Science and Technology**. Palo Alto, v.4, p.101-115, 2013.

SINGH, S. et al. Productivity of hybrid rice: i. vulnerability to water stress of reproductive development and inhibition of rubisco enzyme in upper leaves as major constraints to yield. **Journal of New Seeds**. Londres, n. 11, n.4, p. 328-355. 2010.

SMIDERLE, O. J. et al. Épocas de colheita e qualidade fisiológica das sementes de arroz irrigado cultivar BRS 7 Taim, em Roraima. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 30, n. 1, p. 74-80, 2008.

SMITH, M. C. et al. Water use estimates for various rice production systems in Mississippi an Arkansas. **Irrigation Science**. Berlin v. 25, n.2, p. 141-147, 2007.

SOSBAI - SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO. **Arroz Irrigado: Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil**. Itajaí, SC: SOSBAI, 179 p., 2012.

STONE, L. F. **Eficiência do Uso da Água na Cultura do Arroz Irrigado**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 48 p., 2005.

TABBAL, D. F. On-farm strategies for reducing water input in irrigated rice: case studies in the Philippines. **Agricultural Water Management**. Amsterdam, v.56, n.2, p.93-112, 2002.

TABIEN, R. E. et al. Relationship of milled grain percentages and flowering-related traits in rice. **Journal of Cereal Science**. London, v.49, n.1, p.122-127, 2009.

TANG, T. et al. The effect of sucrose and abscisic acid interation on sucrose synthase and its relationship to grain filling of rice (*Oryza sativa* L.). **Journal of Experimental Botany**. Oxford, v.60, n.9, p.2641-2652, 2009

TAO, H. et al. Growth and yield formation of rice (*Oryza sativa* L.) in the water-saving ground cover rice production system (GCRPS). **Field Crops Research**. Amsterdam, v.95, n.1, p.1-12, 2006.

TELÓ, G. M. et al. Qualidade de grãos de arroz irrigado colhidos com diferentes graus de umidade em função da aplicação de fungicida. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 6, 2011.

TIAN, X. et al. Heat-induced floret sterility of hybrid rice (*Oryza sativa* L.) cultivars under humid and low wind conditions in the field of Jiangnan Basin, China. **Plant Production Science**. Tokyo, v.13, n.3, p.243-251, 2010.

TOESCHER, C. F. et al. Volume de água aplicada e produtividade do arroz sob diferentes métodos de irrigação. **Revista da FZVA**. Uruguaiana, v.4, n.1, p.49-57, 1997.

TUONG, T. P. et al. More rice, less water – irrigated approaches for increasing water productivity in irrigated rice-based systems in Asia. In: 4th International Crop Science Congress, 26 Sep. – 1 Oct. 2004, Brisbane. **Anais...** Brisbane: Australia, 2004.

TUONG, T. P. BHUIYAN, S. I. Increasing water-use efficiency in rice production: farm-level perspectives. **Agricultural Water Management**. Amsteram, v.40, n.1, p.117-122, 1999.

UPHOFF, N. et al. SRI as a methodology for raising crop and water productivity: productive adaptations in rice agronomy and irrigation water management. **Paddy and Water Environment**. Tokyo, v.9, n.1, p.3-11, 2011.

VENUPRASAD, R. et al. Rice near-isogenic-lines (NILs) contrasting for grain yield under lowland drought stress. **Field Crops Research**. Amsterdam, v.123, n.1, p.38-46, 2011.

WANG, F. et al. Difference in grain yield and quality among tillers in rice genotypes differing in tillering capacity. **Rice Science**. Beijing, v. 14, n. 2, p. 135-140, 2007.

WANG, F. CHENG, F. M. Research advances in the relationships between ABA and rice grain filling. **Seed**. New York, v.23, n.1, p.31-35, 2004.

WANG, H. Z. et al. Effects of water stress on reactive oxygen species generation and protection system in rice during grain-filling stage. **Agricultural Sciences in China**. Beijing, v.9, n.5, p.633-641 2010.

WANG, Q. et al. Head rice yield of “super” hybrid rice Liangyoupeijiu grown under different nitrogen rates. **Field Crops Research**. Amsterdam, v.134, p.71-79, 2012.

XIAOPING, Z. et al. Water saving technology for paddy rice irrigation and its popularization in China. **Irrigation and Drainage Systems**. Dordrecht, v.18, n.4, p.347-356, 2004.

XU, G. W. et al. Much improved water use efficiency of rice under non-flooded mulching cultivation. **Journal of Integrative Plant Biology**. Beijing v. 49, n.10, p. 1527-1534, 2007.

YAN, C. et al. Temperature difference between the air and organs of rice plant and its relation to spikelet fertility. **Agricultural Sciences in China**. Beijing, v.7, n.6, p.678-685, 2008.

YANG, J. et al. Post-anthesis development of inferior and superior spikelets in rice in relation to abscisic acid and ethylene. **Journal of Experimental Botany**. Oxford, v.57, n.1, p.149-160, 2006.

YANG, J. et al. Water-saving and high-yielding irrigation for lowland rice by controlling limiting values of soil water potential. **Journal of Integrative Plant Biology**. Beijing, v.49, n.10, p.1445-1454, 2007.

YANG, J. ZHANG, J. Grain-filling of cereals under soil drying. **New Phytologist**. Cambridge, v.169, n.2, p.223-236, 2006.

YANG, J. ZHANG, J. Crop management techniques to enhance harvest index in rice. **Journal of Experimental Botany**. Oxford, v.61, n.12, p.3177-3189, 2010a.

YANG, L. ZHANG, J. Grain filling problem in “super” rice. **Journal of Experimental Botany**. Oxford, v. 61, n.1, p. 1-5, 2010b.

YAO, F. et al. Agronomic performance of high-yielding rice variety grown under alternate wetting and drying irrigation. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 126, p. 16-22, 2012.

YE, Y. et al. Alternate wetting and drying irrigation and controlled-release nitrogen fertilizer in late-season rice. Effects on dry matter accumulation, yield, water and nitrogen use. **Field Crops Research**. Amsterdam, v.144, p.212-224, 2013.

YOSHIOKA, Y. et al. Chalkiness in rice: potential for evaluation with image analysis. **Crop Science**. Madison, v. 47, n.5, p.2113-2120, 2007.

ZHANG, Y. et al. Water use efficiency and physiological response of rice cultivars under alternate wetting and drying conditions. **The Scientific World Journal**. New York, v.2012, n.2012, p.1-10., 2012.

ZHANG, Z. et al. Yield, grain quality and water use efficiency of rice under non-flooded mulching cultivation. **Field Crops Research**. Amsterdam, v.108, n.1, p.71-81, 2008.

ZHAO, B. et al. Water-use efficiency and carbon isotope discrimination in two cultivars of upland rice during different developmental stages under three water regimes. **Plant and Soil**. The Hague, v.261, n.1-2, p.61-75, 2004.

ZHENG, J. C. et al. Genotypic differences in effects of high airtemperature in field on rice yield components and grainquality during heading stage. **Journal of Agricultural Science**. Jiangsu, v.21, n.1, p.249-254, 2005.

ZHONG, X. H. HUANG, N. R. Rice grain chalkiness is negatively correlated with root activity during grain filling. **Rice Science**. Beijing, v.12, n.3, p.192-196, 2005.

ZHOU, L. et al. Fine mapping of the grain chalkiness QTL *pPGWC-7* in rice (*Oryza sativa* L.). **Theoretical and Applied Genetics**. Berlin, v.118, n.3, p.581-590, 2009.

ZHU, L. F. et al. Effects of aerated irrigation on leaf senescence at late growth stage and grain yield of rice. **Rice Science**. Beijing, v.19, n.1, p.44-48, 2012.

-CAPÍTULO II-

SUPRESSÃO DA IRRIGAÇÃO: REDUÇÃO DO USO DE ÁGUA E PRODUTIVIDADE DO ARROZ IRRIGADO

Withholding irrigation: reduction of water use and grain yield of irrigated rice

RESUMO

Um dos desafios da lavoura de arroz irrigado é reduzir o uso de água para irrigação e manter elevado nível de produtividade. Neste sentido, este trabalho objetivou avaliar a produtividade de grãos e a eficiência do uso de água de dois cultivares de arroz irrigado submetidos a diferentes épocas de supressão da irrigação. O experimento foi realizado nas safras 2011/12 e 2012/13 na área didático experimental da Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul. Foram utilizados dois cultivares: o híbrido INOV CL e o cultivar Puitá INTA CL; e quatro épocas de supressão antecipada da irrigação: 5, 15, 25 e 35 dias após a antese (DAA). O delineamento utilizado foi em blocos ao acaso com quatro repetições. A época de supressão de irrigação não afetou a produtividade do híbrido INOV CL nas duas safras. Para o cultivar Puitá INTA CL, na safra 2011/12 houve redução da produtividade de grãos apenas quando a supressão da irrigação foi realizada aos 5 DAA e para a safra 2012/13 houve redução da produtividade quando a supressão foi realizada aos 5 e 15 DAA. Na safra 2011/12 a maior eficiência de uso de água foi observada para o híbrido INOV CL, para todos os momentos de supressão da irrigação avaliados. Já na safra 2012/13, o híbrido INOV CL apresentou maior eficiência somente com supressões aos 5 e 15 DAA, não havendo diferença comparado ao cultivar Puitá INTA CL para 25 e 35 DAA. É possível manter a produtividade realizando supressão antecipada de irrigação e reduzir o volume de água aplicado, de acordo com cada cultivar, no entanto, fatores como o tipo de solo e a ocorrência de precipitação após a antese devem ser levados em conta na decisão da época de supressão da irrigação.

Palavras-chave: *Oryza sativa* L., eficiência do uso de água, suspensão da irrigação, volume de água utilizado

ABSTRACT

One of the challenges of irrigated rice is to reduce the use of water for irrigation and maintain high level of productivity. Thus, this study aimed to evaluate grain yield and water use efficiency of two rice cultivars subjected to different moments of withholding irrigation. The experiment was conducted during the crop seasons 2011/12 and 2012/13 in the experimental area of the Federal University of Santa Maria, Rio Grande do Sul. Two cultivars were used: the hybrid cultivar INOV CL and Puita INTA CL with four moments of early irrigation withhold: 5, 15, 25 and 35 days after anthesis (DAA). The design was randomized block with four replications. The moment of irrigation withhold did not affect the productivity of hybrid INOV CL in both seasons. The cultivar Puita INTA CL in 2011/12 season decreased the grain yield only when the withholding irrigation was performed at 5 DAA and in 2012/13 season, crop productivity was reduced when the withholding was performed at 5 and 15 DAA. In the season 2011/12, the highest water use efficiency was observed for hybrid INOV CL, for all the moments of withholding irrigation evaluated. However in the 2012/13 crop, the hybrid INOV CL had highest efficiency only with the withhold at 5 and 15 DAA, with no difference compared to the cultivar Puita INTA CL for 25 and 35 DAA. Productivity can be maintained by performing early irrigation withholding and reduce the amount of water applied, according to the cultivar, however, factors such as soil type and the occurrence of rainfall after flowering should be taken into account when deciding the moment of irrigation withholding.

Key words: *Oryza sativa* L, efficiency of water use, grain yield, volume of water used

1 INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa*) é um dos cereais mais produzidos e consumidos no mundo, sendo a base alimentar de mais de três bilhões de pessoas. No entanto, a cultura do arroz irrigado se destaca como uma das mais exigentes em água durante seu ciclo, em razão do seu sistema de irrigação por inundação (SMITH, 2007), necessitando em torno de 1,4 m³ de água para produzir 1 kg de grãos em casca (MACHADO et al., 2006).

O volume elevado de água utilizado pela lavoura de arroz irrigado induz à necessidade de identificar alternativas para sua redução (MACHADO et al., 2003), aumentando a eficiência no uso de água. Em agricultura, a eficiência no uso de água é definida como a relação entre a produção de biomassa e/ou produto comercial e a quantidade de água utilizada (STONE, 2005). Neste sentido, alternativas visando minimizar o uso de água na lavoura de arroz irrigado podem estar associadas a diferentes práticas de manejo empregadas na lavoura de arroz, como: a utilização de cultivares de menor ciclo, a realização da semeadura no início da época recomendada visando o maior aproveitamento das chuvas (SARTORI et al., 2013), o tipo de sistema de irrigação empregado (YAO et al. 2012; ZHANG et al. 2012), e a antecipação da época de supressão de irrigação (ABOU-KHALIFA, 2010).

O término ou supressão antecipada da irrigação na lavoura de arroz pode contribuir para a redução do período de irrigação, além de facilitar a colheita, reduzir seus efeitos sobre a degradação da superfície do solo e facilitar a retirada do produto da lavoura (GOMES et al., 2008). No entanto, dependendo da época que esta supressão é realizada e o tempo que essa lavoura permanecerá em déficit hídrico, a produtividade da cultura pode ser afetada (MOLINA et al., 2007).

Neste contexto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a produtividade de grãos e a eficiência do uso de água de dois cultivares de arroz irrigado submetidos a diferentes épocas de supressão da irrigação.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido nas safras agrícolas de 2011/12 e 2012/13, na área didático experimental de várzea do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (latitude: 29°43'S, longitude: 53°48'W e altitude: 95m), em um solo classificado como Planossolo Háplico eutrófico arênico pertencente à unidade de mapeamento Vacacaí (EMBRAPA, 2006), com as seguintes características: pH água (1:1) = 4,8; P = 9,3 mg dm⁻³; K = 68 mg dm⁻³; argila = 25 %; M.O. = 2,5 %; Ca = 5,0 cmolc dm⁻³; Mg = 2,2 cmolc dm⁻³; Al = 0,9 cmolc dm⁻³; saturação de Al = 10,8 %; saturação de base = 49,1 % e índice SMP = 5,5.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, em esquema bifatorial (2x4) com quatro repetições. O primeiro fator foi composto por dois cultivares de arroz irrigado: Puitá INTA CL, por ser o cultivar mais semeado no estado do RS, e o híbrido INOV CL, por

apresentar melhor qualidade entre os híbridos existentes. O segundo fator foi composto por quatro épocas de supressão de irrigação: 5, 15, 25 e 35 dias após a antese (DAA). Para a identificação dos estádios de desenvolvimento das plantas de arroz foi utilizada a escala fenológica proposta por Counce et al. (2000).

O sistema de implantação utilizado foi o cultivo convencional, com semeadura realizada no dia 15 de outubro para as duas safras, com densidade de 85 kg ha⁻¹ para o cultivar Puitá INTA CL e 45 kg ha⁻¹ para o híbrido INOV CL, sendo ambos semeados em linhas espaçadas em 0,17 m cada. Os demais tratos culturais foram realizados de acordo com as recomendações técnicas para o arroz irrigado (SOSBAI, 2012).

O volume de água utilizado em cada tratamento foi registrado através de um medidor de vazão woltmann com diâmetro de 4", somado à precipitação ocorrida no período, para as duas safras. As parcelas continham 32 m cada, com entrada e saída de água individual, cercadas por taipas de aproximadamente 0,6 m de altura e circundadas por taipas rondas para manter a carga hidráulica entre as parcelas. O sistema de irrigação utilizado foi o intermitente, as parcelas foram irrigadas até formar uma lâmina de água de 9 cm de altura e posteriormente eram deixadas evapotranspirar até aproximadamente 2 cm de lâmina de água, sendo repetida a irrigação durante o ciclo da cultura conforme a demanda. Os valores de radiação solar global, precipitação pluvial e temperatura do ar foram obtidos da estação meteorológica automática e os valores de evaporação foram obtidos pelo tanque Classe A da estação meteorológica convencional do 8º DISME/INMET, localizado no Departamento de Fitotecnia da UFSM, a aproximadamente 500 m do experimento. Após realizada a primeira supressão da irrigação aquelas parcelas não acumulavam mais água de precipitação de maneira que elevasse a lâmina de água existente. Conforme a lâmina de água reduzia, foram realizados drenos na taipa, que ficassem na altura da lâmina para que, se houvesse chuva, não acumulasse dentro da parcela.

A produtividade de grãos foi avaliada através da colheita de 3,57 m de área útil em cada parcela quando os grãos se encontravam com grau de umidade médio de 22 %. Após a trilha, limpeza e pesagem dos grãos com casca, os dados foram corrigidos para 13 % de umidade e convertidos em kg ha⁻¹. O número de panículas m⁻² foi determinado através da contagem das panículas em um metro de linha demarcado logo após a emergência, sendo nesta mesma área realizada a coleta de quinze panículas por ocasião da colheita para a estimativa do número de grãos por panícula, massa de mil grãos e esterilidade de espiguetas. A eficiência do uso de água foi obtida pela divisão da produtividade pelo volume de água utilizado em cada tratamento.

Os parâmetros avaliados foram submetidos ao teste das pressuposições do modelo matemático. A análise da variância dos dados do experimento foi realizada através do teste F.

Para as médias do fator qualitativo foi utilizado o teste de Tukey em nível de 5 % de probabilidade de erro. Para as figuras foi representado o intervalo de confiança $P > 0,05$.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram registrados os volumes de água utilizados em cada tratamento (Figura 1A) para as safras 2011/12 e 2012/13. O volume de água médio foi de $9.379 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ para a primeira safra e $8.160 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ para a segunda. Esses resultados estão próximos aos obtidos por Toescher et al. (1997), onde encontraram volume de água aplicado de 8.764 e $8.579 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, respectivamente, para os cultivares BR-IRGA 409 e IAC-47, na mesma condição de clima e solo, utilizando irrigação intermitente. Machado et al. (2006) quantificaram volumes de água aplicados de 5.998 e $5.487 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, respectivamente, para as safras 2000/01 e 2001/02, utilizando o cultivar ELPASO 144 no sistema de cultivo convencional. Cabe ressaltar que o volume de água utilizado varia de acordo com a capacidade de retenção de água do solo, sua drenagem interna e condições climáticas (GOMES et al., 2004).

O volume médio de água utilizado na primeira safra foi superior ao volume médio da segunda safra, que foi 14 % menor. Essa diferença pode estar associada principalmente à contribuição das chuvas ocorridas. Para a safra de 2011/12 a contribuição da chuva representou 12 % do volume total médio utilizado em cada tratamento. O restante foi volume de água aplicado. Já na safra 2012/13, houve uma contribuição da chuva de 45% do volume total utilizado em média (Figura 1B).

Na safra 2011/12, a precipitação pluvial foi acima das normais para os meses de outubro e fevereiro, com 36 % e 57 %, respectivamente. E durante os meses de novembro, dezembro e janeiro, a precipitação foi abaixo das normais com 65 %, 90 % e 52 % respectivamente. Já na safra 2012/13 a precipitação foi superior às normais principalmente para os meses de outubro e dezembro, com 198 % e 181 %, respectivamente. No mês de novembro a precipitação ficou 24 % aquém do normal (Figura 2 C). Em decorrência do comportamento pluviométrico, o volume de água utilizado por irrigação na safra 2011/12 superou o volume de água utilizado na safra seguinte, visto que a evaporação nos meses de dezembro e janeiro excedeu a observada em 2012/13 (Figura 2 D). A baixa precipitação nestes meses juntamente com a alta evaporação proporcionaram um maior volume de água utilizado em 2011/12.

Com relação ao volume total de água utilizado, a partir da supressão realizada aos 05 DAA há um acréscimo médio de 900 m ha^{-1} a cada dez dias até os 35° DAA para as duas safras. Já em relação ao volume de água aplicado, esse acréscimo é em média de 640 m ha^{-1} a cada dez dias contando a partir do 5° DAA até o 35° DAA.

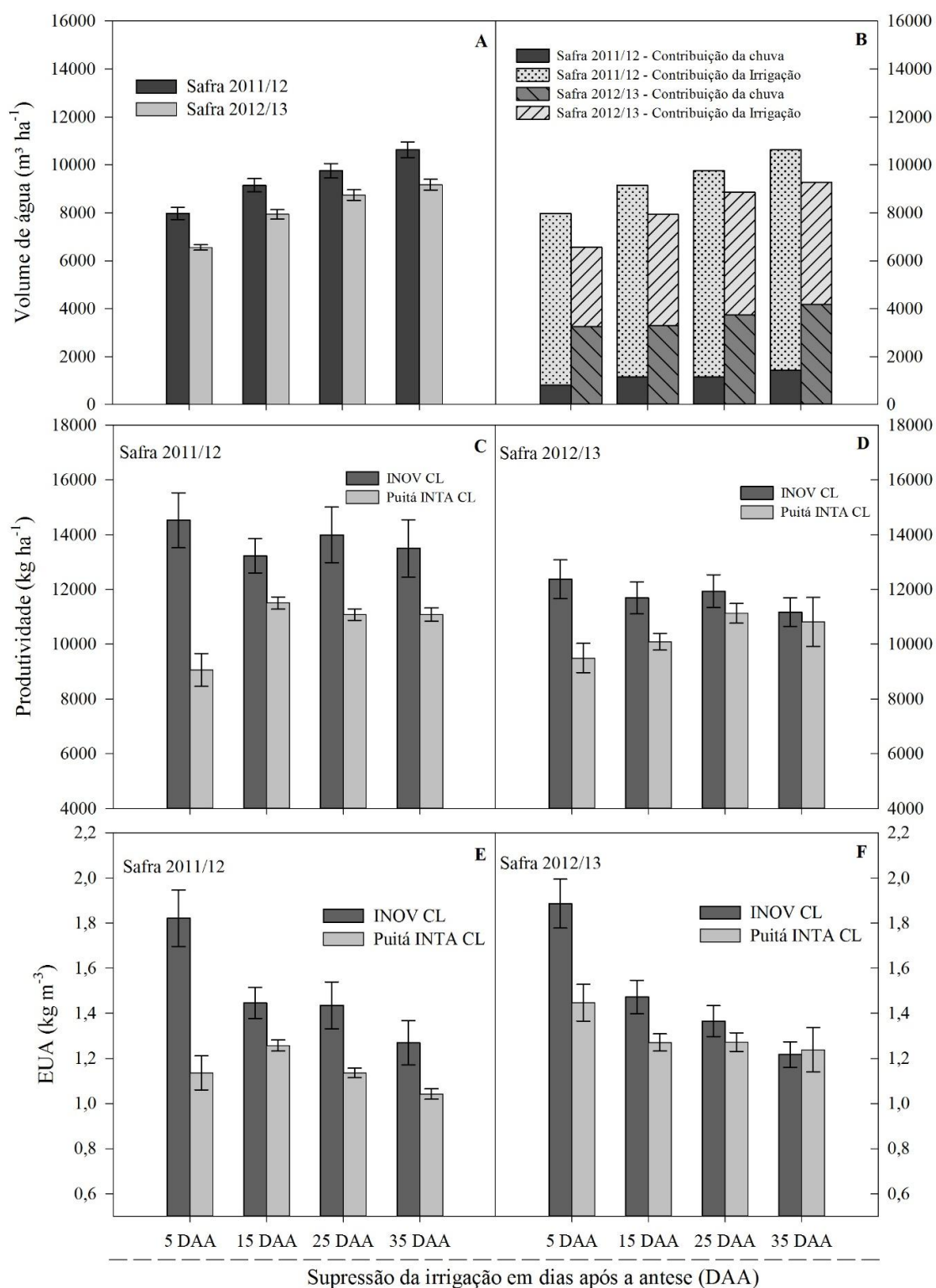


Figura 1 - Volume de água utilizado (A), contribuição das chuvas (B), produtividade (C e D) e eficiência do uso de água (EUA) (E e F) de acordo com a supressão de irrigação em dias após a antese (DAA) para as safras 2011/12 e 2012/13. Santa Maria, RS. 2013.

Durante as duas safras, a produtividade do Puitá INTA CL foi semelhante. No entanto, a produtividade do INOV CL foi 14 % inferior na safra 2012/13 em relação à safra anterior. Essa redução de produtividade está relacionada à menor disponibilidade de radiação solar no mês de dezembro, período em que as plantas encontravam-se na fase de diferenciação da panícula (R_0), o que coincide com o período mais crítico da planta de arroz em exigência de radiação solar (DE DATTA, 1981). Neste mês, a radiação solar foi 12 % inferior em relação ao mesmo mês da safra anterior (Figura 2 B).

Comparando os dois cultivares, o híbrido INOV CL apresentou produtividade média superior ao cultivar Puitá INTA CL, sendo de 31,6 % e 13 % respectivamente, para as safras 2011/12 e 2012/13 (Figura 1 C e 1 D). Esta diferença está relacionada principalmente ao número de grãos por panícula (FU & YANG, 2012), onde o híbrido apresenta em média 40 % mais grãos do que o cultivar convencional (Tabela 1), e o tamanho da panícula (HUANG et al., 2011).

O híbrido INOV CL não apresentou diferença de produtividade em relação às épocas de supressão de irrigação, no entanto o cultivar Puitá INTA CL apresentou redução de produtividade quando realizada supressão aos 5 DAA, durante as duas safras mostrando que há diferença entre cultivares em resposta à épocas de supressão da irrigação. O estresse hídrico no período reprodutivo pode causar redução na produtividade, no entanto o efeito do estresse neste período varia com as características genóticas de cada cultivar (PRABA et al., 2009; ROSHAN et al., 2013).

De acordo com a SOSBAI (2012) é possível suprimir a irrigação entre 10 e 15 dias após a floração plena. Trabalhos mostram que a supressão realizada aos 10 DAA para um arroz híbrido H1 e a cultivar convencional Giza 177 reduz o uso de água e mantém a produtividade em torno de 10.700 e 9.450 kg ha⁻¹, respectivamente (ABOU-KHALIFA, 2010). Isto pode ser observado com o cultivar Puitá INTA CL nas duas safras onde a partir dos 15 DAA sua produtividade foi semelhante.

O cultivar híbrido INOV CL mostrou-se mais resistente aos efeitos de supressão de irrigação em comparação ao Puitá INTA CL durante as duas safras. Isso pode estar relacionado à eficiência que cada cultivar possui para utilizar a água. A eficiência do uso de água está ligado diretamente à redução de concentração de CO₂ na planta. Esta redução pode acontecer através da diminuição da taxa de transpiração e fechamento estomático ou manutenção da taxa fotossintética, variando de acordo com o cultivar (PIETERS & NÚÑEZ, 2008).

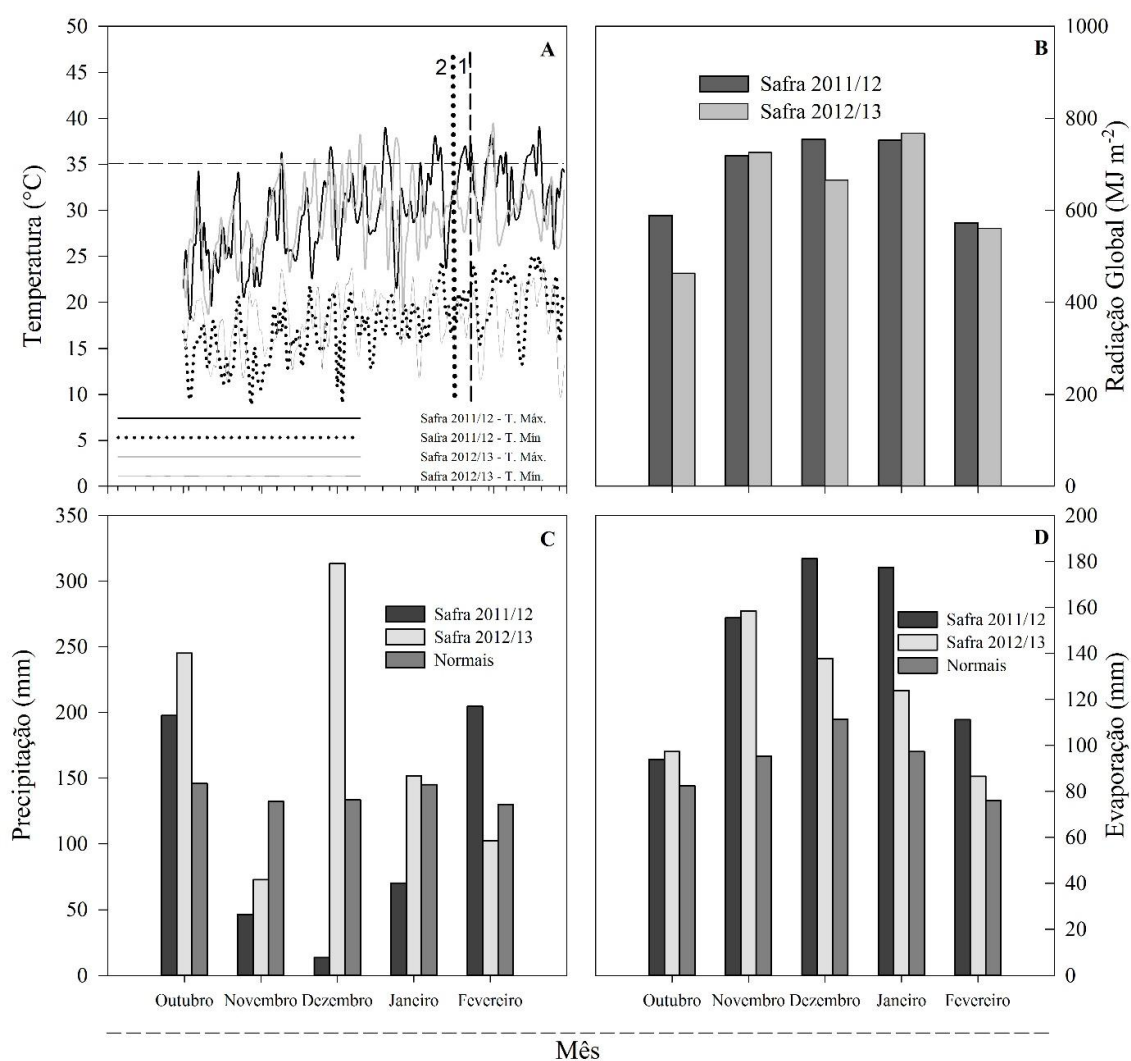


Figura 2 - Temperatura do ar máxima e mínima (A), radiação solar global (B), precipitação pluvial (C) e evaporação (D) durante os meses de outubro a fevereiro nas safras 2011/12 e 2012/13. Na figura 1A, os números 1 e 2 indicam as datas em que ocorreu a floração plena: 1 = floração ocorrida em 23/01/12; 2 = floração ocorrida em 16/01/13, para as safras 2011/12 e 2012/13 respectivamente. Santa Maria, RS. 2013.

Tabela 1 - Peso de mil grãos (PMG), número de panículas por metro quadrado (NPM), número de grãos por panícula (NGP) e esterilidade de espiguetas (EE) para os cultivares INOV CL e Puitá INTA CL em quatro épocas de supressão de irrigação na safra 2011/12 e 2012/13. Santa Maria, RS. 2013.

Supressão da Irrigação	Safra 2011/12					
	PMG (g)	NPM (n)	NGP (n)		EE (%)	
			INOV CL	Puitá INTA CL	INOV CL	Puitá INTA CL
5 DAA*	26,77 ^{ns}	400,73 ^{ns}	128,62 Ab	92,08 Bb	13,5 Aa	8,59 Ba
15 DAA	25,87	393,14	149,36 Aa	95,82 Bab	10,78 Ab	8,46 Ba
25 DAA	26,53	418,38	135,44 Aab	108,23 Ba	11,73 Aab	5,79 Bb
35 DAA	27,03	393,38	144,82 Aa	98,25 Bab	11,39 Ab	4,95 Bb
INOV CL	26,26 ^{ns}	390,44 ^{ns}	139,6 a		11,86 a	
Puitá INTA CL	26,83	412,37	98,6 b		6,95 b	
CV (%)	4,06	9,45	6,42		10,2	
Supressão da irrigação	Safra 2012/13					
	PMG (g)	NPM (n)	NGP (n)		EE (%)	
5 DAA*	26,2 ^{ns}	440 ^{ns}	107 ^{ns}		7,6 ^{ns}	
15 DAA	27	465	109		9,1	
25 DAA	26,5	485	119		8	
35 DAA	26,6	449	111		8,1	
INOV CL	28,4 a	461 ^{ns}	124 a		10,5 a	
Puitá INTA CL	24,7 b	458	99 b		6,0 b	
CV (%)	4,8	11,5	18,4		17,1	

*Dias após a antese do arroz. ^{ns} Teste não significativo. Média seguidas de letras minúsculas distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. Médias seguidas de letras maiúsculas distintas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Plantas de arroz híbrido são mais eficientes no uso da água em situações favoráveis ou sob competição em relação aos cultivares convencionais (CONCENÇO et al. 2009). Elas são afetadas pela competição, mas devido ao vigor e rápido desenvolvimento elas se sobrepõem mesmo assim tendo produção elevada (CHAUHAN & OPEÑA, 2009). Esta eficiência pode estar ligada à maior capacidade fotossintética em relação aos cultivares convencionais (CONCENÇO et al., 2011) e está relacionado com o sistema antioxidante da planta (LIU et al., 2011).

O cultivar Puitá INTA CL apresentou diferença de produtividade em função dos tratamentos de época de supressão da irrigação. Quando realizou-se a supressão aos 5 DAA sua produtividade foi reduzida em relação aos demais tratamentos nas duas safras. Este tratamento fez com que a lâmina de água desaparecesse antecipadamente, e a saturação do solo pelas chuvas posteriores ao tratamento não foi suficiente para o cultivar expressar seu potencial produtivo, podendo as plantas ter sido expostas ao déficit hídrico.

Trabalhos evidenciam que um déficit hídrico no momento de enchimento de grãos aumenta a esterilidade de espiguetas (SINGH et al., 2010) consequentemente reduz o número de grãos por panícula (Tabela 1) e, por fim, reflete negativamente na produtividade (SARVESTANI et al., 2008; QIN et al., 2013). A esterilidade de espiguetas foi maior na safra 2011/12 (Tabela 1). Isto pode ser efeito da temperatura no período de floração e enchimento, uma vez que ocorreram temperaturas acima de 35 °C em sete dias após a floração (23/01/2012) na safra 2011/12, contra a ocorrência em apenas três dias após a floração (16/01/2013) na safra 2012/13, até 25 DAA (Figura 1 A). Wang et al. (2012) citam que os problemas na fertilidade de espiguetas de arroz está ligado a umidade e temperatura do ar. Estudos evidenciam que temperaturas acima de 35 °C durante a fase de enchimento de grãos pode causar aumento na respiração, diminuição na fotossíntese e, portanto, uma redução no número de grãos cheios (ZHENG et al., 2005).

A supressão realizada aos 15 DAA foi capaz de economizar 1.205 m³ ha⁻¹ comparado com a supressão aos 35 DAA na safra 2011/12. Na safra seguinte essa economia foi de 455 m³ ha⁻¹. Em média, houve uma economia de 830 m³ ha⁻¹. Já supressão realizada aos 5 DAA proporcionou uma economia de água aplicada de 2.039 m³ ha⁻¹ comparado ao volume de água aplicado até a supressão aos 35 DAA na safra 2011/12. Na safra seguinte essa economia foi de 1.807 m³ ha⁻¹. Em média, uma economia de 1.923 m³ ha⁻¹. Mas cabe ressaltar que ocorreram chuvas nas duas safras após as supressões, como mostra a Figura 3. Estas chuvas podem ter proporcionado uma condição ideal para que INOV CL expressasse seu potencial produtivo, e assim, não sendo possível observar os efeitos de supressão antecipada da irrigação neste cultivar. As chuvas permitiram que o solo permanecesse saturado, mas sem a lâmina de água que existia anterior às épocas de supressão. Yao et al. (2012) salientam que o arroz híbrido não necessariamente exige a presença de lâmina de água para manter sua produtividade.

Mesmo que os dados mostrem que não há redução na produtividade do híbrido com supressão realizada aos 5 DAA a recomendação para este manejo depende de alguns fatores, como tipo de solo e ocorrência de chuvas logo após realizada a supressão, para manter esse solo saturado.

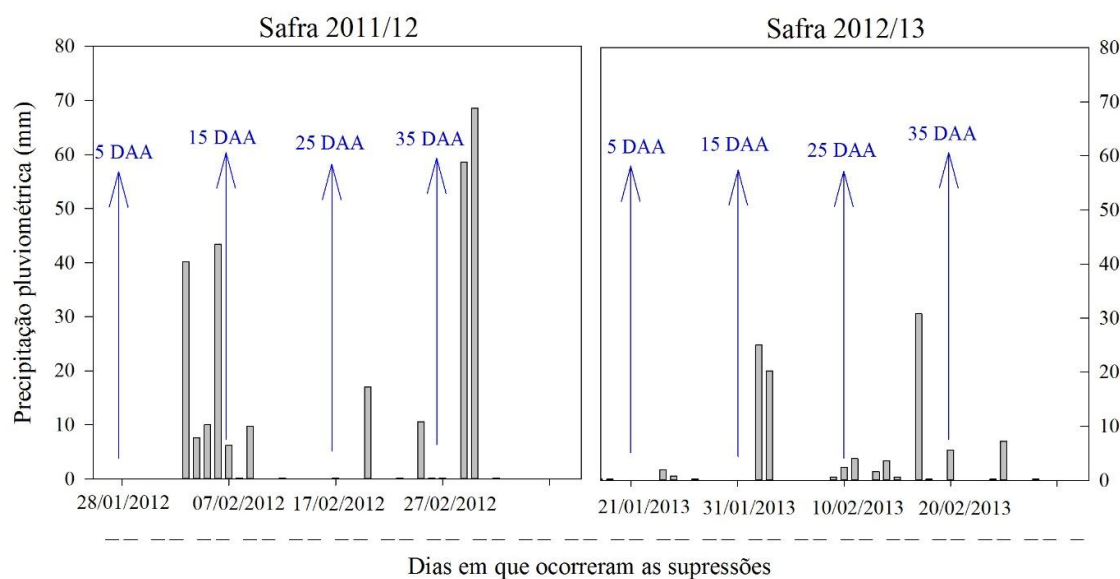


Figura 3 - Precipitação pluvial em dias durante o período após a realização da primeira época de supressão antecipada de irrigação, nas safras 2011/12 e 2012/13. Santa Maria, RS, 2013.

A eficiência do uso de água (EUA) para os dois cultivares foi calculada de acordo com a produtividade e volume de água de cada tratamento (Figuras 2 E e 2 F). A maior eficiência no uso de água foi obtida ao realizar a supressão da irrigação aos 5 DAA para o cultivar híbrido INOV CL em ambas as safras, devido ao menor volume de água utilizado neste tratamento. O cultivar Puitá INTA CL apresentou maior eficiência aos 15 DAA na safra 2011/12 (Figura 2 E) e aos 5 DAA na safra 2012/13 (Figura 2 F). Na primeira safra a produtividade do Puitá foi reduzida com supressão aos 5 DAA e nos demais tratamentos apresentou uma produtividade semelhante. Com isto, a melhor EUA em 2011/12 aos 15 DAA está relacionado ao menor volume de água utilizado neste período. Na safra seguinte, a produtividade do Puitá foi reduzida em relação aos demais tratamentos, mas em proporções menores que a safra anterior. Isto somado a um menor volume de água utilizado proporcionou que este tratamento fosse o mais eficiente no uso de água nesta safra.

Na safra 2011/12 o INOV CL apresentou EUA superior ao Puitá em todos os tratamentos. Já na safra 2012/13 o híbrido apresentou EUA superior ao Puitá somente aos 5 e 15 DAA. Nos demais tratamentos a EUA se equiparou com a do cultivar convencional, podendo caracterizar o cultivar INOV CL como mais eficiente no uso de água ao realizar a supressão até os 15 DAA.

4 CONCLUSÃO

A supressão de irrigação realizada a partir de 5 dias após a antese não afeta o potencial produtivo do híbrido INOV CL, no entanto sua recomendação depende de fatores como tipo de solo e dependência de chuvas após a supressão. Para Puitá INTA CL, supressão com 5 dias após a antese reduz a produtividade. O híbrido INOV CL apresenta maior eficiência no uso de água que Puitá INTA CL. É possível manter a produtividade realizando supressão antecipada de irrigação e reduzir o volume de água aplicado. No entanto, devem-se realizar mais estudos focando o momento de supressão e a eficiência do uso de água nos híbridos em relação aos cultivares convencionais.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABOU-KHALIFA, A. A. B. Response of some rice varieties to irrigation withholding under different sowing dates. **Agriculture and Biology Journal of North America**. Milford, v. 1, n. 1, p. 56-64, 2010.

CHAUHAN, B. S. OPEÑA, J. Weed management and grain yield of rice sown at low seeding rates in mechanized dry-seeded systems. **Field Crops Research**. Amsterdam, v. 141, p. 9-15, 2013.

CONCENÇO, G. et al. Uso da água por plantas híbridas ou convencionais de arroz irrigado. **Planta Daninha**. Viçosa, v. 27, n. 3, p. 447-453, 2009.

COUNCE, P. A. et al. A uniform, objective and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**. Madison, n. 40, n.2, p. 436-443, 2000.

DE DATTA, S. K. **Principles and practices of rice production**. Los Baños, Philippines, 619 p, 1981.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Statistical database**. Disponível em: <<http://www.fao.org>>. Acesso em: 05 out. 2013.

FU, J. YANG, J. Research advantages in high-yielding cultivation and physiology of super rice. **Rice Science**. Beijing, v. 19, n. 3, p. 177-184, 2012.

GOMES, A. S. et al. A água: distribuição, regulamentação e uso na agricultura, com ênfase ao arroz irrigado. **Boletim de pesquisa e desenvolvimento**, n. 250. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2008, 44.p.

HUANG, M. et al. Relationship between grain yield and yield components in super hybrid rice. **Agricultural Sciences in China**. Beijing, v. 10, n. 10, p. 1537-1544 2011.

LIU, S. H. et al. Response of the flag leaves of super-hybrid rice variety to drought stress during grain filling period. **Journal of Agronomy & Crop Science**. Berlin, v. 197, n. 1, p. 322-328, 2011.

MACHADO, S. L. O. et al. Consumo de água e perdas de nutrientes e de sedimentos na água de drenagem inicial do arroz irrigado. **Ciência Rural**. Santa Maria, v. 36, n. 1, p. 65-71, 2006.

MACHADO, S. L. O. et al. Os recursos hídricos e a lavoura arrozeira. **Revista Ciência Ambiente**, Santa Maria, v. 27, p. 97-106, 2003.

MOLINA, F. et al. Efecto del momento de retiro del agua y cosecha en inia olimar. In: _____. **INIA Treinta y Tres: Arroz - Resultados Experimentales 2006-07**. Montevideo, 2007. Cap.2, p.11-21.

PIETERS, A. J. NÚÑEZ, M. Photosynthesis, water use efficiency, and $\delta^{13}\text{C}$ in two rice genotypes with contrasting response to water deficit. **Photosynthetica**. Prague, v.46, n.4, p.574-580, 2008.

PRABA, M. L. et al. Identification of physiological traits underlying cultivar differences in drought tolerance in rice and wheat. **Journal of Agronomy & Crop Science**. Berlin, v. 195, n. 1, p.30-46, 2009.

QIN, J. et al. Integrated nutrient, water and other agronomic options to enhance rice grain yield and N use efficiency in double-season rice crop. **Field Crops Research**. Amsterdam, v. 148, p. 15-23, 2013.

ROSHAN, N. M. et al. Irrigation withholding timemanagement in four rice varieties at Guilan paddy fields (North Iran). **African Journal of Agricultural Research**. Nigeria, v. 8, n. 20, p. 2371-2375, 2013.

SANO, N. et al. Proteomic analysis of stress-related proteins in rice seeds during the desiccation phase of grain filling. **Plant Biotechnology**. Sheffield, v. 30, p. 147-156, 2013.

SARTORI, G. M. S. et al. Rendimento de grãos e eficiência no uso de água de arroz irrigado em função da época de semeadura. **Ciência Rural**. Santa Maria, v. 43, n. 3, p.397-403, 2013.

SARVESTANI, Z. et al. Study of water effects in different growth stages on yield and yield components of different rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. **Pakistan Journal of Biological Sciences**. Pakistan, v. 11, n. 10, p. 1303-1309, 2008.

SINGH, S. et al. Productivity of hybrid rice: i. vulnerability to water stress of reproductive development and inhibition of rubisco enzyme in upper leaves as major constraints to yield. **Journal of New Seeds**. Londres, n. 11, n. 4, p. 328-355. 2010.

SMITH, M. C. et al. Water use estimates for various rice production systems in Mississippi an Arkansas. **Irrigation Science**. Berlin v. 25, n. 2, p. 141-147, 2007.

SOSBAI - SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO. **Arroz Irrigado: Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil**. Itajaí, SC: SOSBAI, 179 p., 2012.

STONE, L. F. **Eficiência do Uso da Água na Cultura do Arroz Irrigado**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 48 p., 2005.

TOESCHER, C. F. et al. Volume de água aplicada e produtividade do arroz sob diferentes métodos de irrigação. **Revista da FZVA**. Uruguaiana, v. 4, n. 1, p. 49-57, 1997.

WANG, Y. et al. Investigations on spikelet formation in hybrid rice as affected by elevated tropospheric ozone concentration in China. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. Amsterdam, v. 150, p. 63-71, 2012.

YAO, F. et al. Agronomic performance of high-yielding rice variety grown under alternate wetting and drying irrigation. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 126, p. 16-22, 2012.

ZHANG, Y. et al. Water use efficiency and physiological response of rice cultivars under alternate wetting and drying conditions. **The Scientific World Journal**. New York, v. 2012, n. 2012, p.1-10., 2012.

ZHENG, J. C, et al. Genotypic differences in effects of high airtemperature in field on rice yield components and grainquality during heading stage. **Journal of Agricultural Science**. Jiangsu, v. 21, n. 1, p. 249-254, 2005.

-CAPÍTULO III-

MOMENTOS DE SUPRESSÃO DA IRRIGAÇÃO, UMIDADE DE COLHEITA E ASPECTOS DE QUALIDADE INDUSTRIAL DE ARROZ

Moments of withholding irrigation, harvest moisture and industrial aspects of rice quality

RESUMO

A qualidade do grão do arroz irrigado é fator fundamental para sua comercialização. Neste sentido, objetivou-se avaliar a qualidade industrial de grãos de dois cultivares de arroz irrigado em função de épocas de supressão da irrigação e graus de umidade de colheita. O experimento foi realizado nas safras 2011/12 e 2012/13 na área didático experimental de várzea da Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul. Os tratamentos foram compostos de: dois cultivares: o híbrido INOV CL e o cultivar Puitá INTA CL; quatro épocas de supressão da irrigação: 5, 15, 25 e 35 dias após a antese (DAA); e cinco graus de umidade média dos grãos na colheita: 24, 22, 20, 18 e 16 %. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com quatro repetições por tratamento. O cultivar Puitá INTA CL apresenta qualidade em relação a grãos inteiros, vítreos, gessados e opacos superior ao híbrido INOV CL. A umidade de colheita adequada para ambos os cultivares ocorre no intervalo de 24 a 20 %. A supressão de irrigação não interfere na qualidade de grãos inteiros, vítreos, opacos e gessados.

Palavras-Chave: beneficiamento; grão inteiro; grão gessado; grão opaco; *Oryza sativa*.

ABSTRACT

The rice grain quality is critical for marketing. In this sense, we aimed to evaluate the grain quality of two irrigated rice cultivars due to times of irrigation withholding and rice moisture content at harvest. The experiment was conducted during the 2011/12 and 2012/13 seasons in the experimental floodplain area of the Federal University of Santa Maria, Rio Grande do Sul. The treatments were composed by: two cultivars: the hybrid cultivar INOV CL and Puita INTA CL; four irrigation withhold moments: 5, 15, 25 and 35 days after anthesis (DAA); and five degrees of average grain moisture at harvest: 24, 22, 20, 18 and 16%. The experimental design was randomized blocks with four replicates per treatment. The cultivar Puita INTA CL presents higher quality in relation to milling, translucency, opaque and chalky grains than the hybrid INOV CL. The moisture content for both cultivars to be suitable for harvest occurs in the range of 24-20 %. The irrigation withholding does not interfere on the milling quality, translucency, opaque and chalky grains.

Key words: processing, milling quality, chalky; opaque grain; *Oryza sativa*.

1 INTRODUÇÃO

A qualidade do grão do arroz irrigado é fator fundamental para sua comercialização, visto que grãos inteiros e sem defeito possuem maior valor de mercado (CANELLAS et al., 1997). O rendimento de grãos inteiros é influenciado por fatores como a genética do cultivar, as condições ambientais em que a planta é cultivada, momento de colheita e processos mecânicos de beneficiamento (JONGKAEWWATTANA & GENG, 2001).

A colheita da lavoura de arroz é realizada em função da umidade dos grãos, sendo que valores de umidade inadequados podem depreciar a qualidade do produto. A definição da época de colheita torna-se prática indispensável, sendo que sua antecipação ou seu adiamento podem acarretar em diferentes consequências para a qualidade dos grãos.

Recomendações da pesquisa para a cultura preconizam a colheita dos grãos de arroz com umidade entre 24 e 20 % (SOSBAI, 2012). A colheita tardia ocasiona degrane natural, além de perdas por acamamento, ataque de pragas e redução no rendimento de grãos inteiros

(RIBEIRO et al., 2004). Já a colheita antecipada pode acarretar em elevada ocorrência de grãos verdes, gessados e mal formados, sendo mais suscetíveis à quebra (CAPURRO et al., 2012).

O gesso é a parte opaca do endosperma do arroz. Estudos mostraram que isso ocorre devido a um distúrbio no arranjo de moléculas de amido e proteínas, ficando frouxamente organizadas e tendo o espaço entre moléculas preenchido com ar (SHEN, 2000). Isto faz com que o grão gessado seja facilmente quebrado quando beneficiado (LIU et al., 2009). A degradação de qualidade do grão, como anomalias na morfologia e coloração, ocorre com frequência em arroz, devido às temperaturas elevadas durante o período de maturação (YOSHIOKA et al., 2007). Embora a transparência final e a área gessada sejam determinadas principalmente pelos fotoassimilados acumuladas durante todo o período de desenvolvimento, depende de efeitos genéticos atuantes no período de enchimento de grão para que os fotoassimilados sejam acumulados até então.

Em muitas circunstâncias, a disponibilidade de água para o cultivo do arroz é limitante, principalmente no terço final do ciclo da cultura. A época de supressão da irrigação da lavoura pode se tornar uma alternativa para amenizar esse problema, porém, pode prejudicar a qualidade industrial dos grãos de arroz, visto que uma supressão antecipada pode gerar déficit hídrico e reduzir rapidamente o teor de água nos grãos que, aliada a uma colheita tardia, pode ocasionar problemas de quebra do grão. O objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade industrial de grãos de dois cultivares de arroz irrigado em função de épocas de supressão da irrigação e graus de umidade de colheita.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido nas safras agrícolas de 2011/12 e 2012/13, em área didático experimental de várzea do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (latitude: 29°43'S, longitude: 53°48'W e altitude: 95m), em um solo classificado como Planossolo Háplico eutrófico arênico pertencente à unidade de mapeamento Vacacaí (EMBRAPA, 2006), com as seguintes características: pH água (1:1) = 4,8; P = 9,3 mg dm⁻³; K = 68 mg dm⁻³; argila = 25 %; M.O. = 2,5 %; Ca = 5,0 cmolc dm⁻³; Mg = 2,2 cmolc dm⁻³; Al = 0,9 cmolc dm⁻³; saturação de Al = 10,8 %; saturação de base = 49,1 % e índice SMP = 5,5.

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, em esquema trifatorial com quatro repetições. Na safra 2011/12, o primeiro fator foi composto por dois cultivares de arroz irrigado:

Puitá INTA CL e o cultivar híbrido INOV CL; o segundo fator foi composto por quatro épocas de supressão de irrigação: 5, 15, 25 e 35 dias após a antese (DAA); o terceiro fator foi composto por diferentes graus de umidade de colheita: 24, 22, 20 e 16 %. Para a safra 2012/13 houve uma modificação no terceiro fator, onde incluiu-se o grau de umidade de 18 %. Para a identificação dos estádios de desenvolvimento das plantas de arroz utilizou-se a escala fenológica proposta por Counce et al. (2000).

O sistema de cultivo utilizado foi o convencional. A semeadura foi realizada no dia 15 de outubro para as duas safras, com densidade de 85 kg ha⁻¹ para o cultivar Puitá INTA CL e 45 kg ha⁻¹ para INOV CL. Os demais tratamentos foram realizados de acordo com as recomendações técnicas para o arroz irrigado (SOSBAI, 2012). O sistema de irrigação utilizado foi o intermitente, as parcelas foram irrigadas até formar uma lâmina de água de 9 cm de altura e posteriormente eram deixadas evapotranspirar até aproximadamente 2 cm de lâmina de água, sendo repetida a irrigação durante o ciclo da cultura conforme a demanda. Os valores de radiação solar global, precipitação pluvial e temperatura do ar foram obtidos da estação meteorológica automática e os valores de evaporação foram obtidos pelo tanque Classe A da estação meteorológica convencional do 8º DISME/INMET, localizado no Departamento de Fitotecnia da UFSM, a aproximadamente 500 m do experimento. Após realizada a primeira supressão da irrigação aquelas parcelas não acumulavam mais água de precipitação de maneira que elevasse a lâmina de água existente. Conforme a lâmina de água reduzia, foram realizados drenos na taipa, que ficassem na altura da lâmina para que, se houvesse chuva, não acumulasse dentro da parcela.

Avaliou-se a porcentagem de grãos inteiros, vítreos, opacos e gessados, através do analisador estatístico de arroz (S-21). O S-21 é um scanner de grãos com um computador acoplado a um sistema digital de captura de imagens. As imagens dos grãos são enviadas ao software, que os analisa individualmente. Após este processo, o programa calcula resultados estatísticos e dá ao operador diversos dados de toda amostra. Foram considerados grãos inteiros aqueles que apresentaram comprimento igual ou superior a 3/4 do comprimento mínimo da classe à qual predomina, que é de 6 mm; grãos vítreos aqueles que apresentaram menos de 25 % de área gessada; grãos opacos aqueles que apresentaram mais de 25 % de área gessada e grãos gessados aqueles que apresentaram de 50 a 100 % de área gessada.

Os parâmetros avaliados foram submetidos ao teste das pressuposições do modelo matemático. A análise da variância foi realizada através do teste F e as médias dos fatores quantitativos submetidas à análise de regressão polinomial, testando-se os modelos linear e quadrático. Para as figuras foi representado o intervalo de confiança $p > 0,05$.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O cultivar Puitá INTA CL apresentou médias superiores de grãos inteiros em relação ao cultivar híbrido INOV CL, nas safras 2011/12 (Figura 1A e 1B) e 2012/13 (Figura 2A e 2B), com 21 % e 4 %, respectivamente, corroborando com o trabalho de Blanche et al. (2009) que, ao avaliarem o efeito genotípico e ambiental entre 15 cultivares, entre elas, cultivares convencionais e híbridas, mostram que o rendimento de grãos inteiros de híbridos é inferior em relação aos cultivares convencionais. Isto pode estar ligado ao tamanho da panícula de cada cultivar, uma vez que cultivares híbridos possuem uma panícula maior, o que causa maiores dificuldades no momento do enchimento de grãos e na uniformidade das características de qualidade como grãos inteiros e grãos gessados em uma panícula (YANG & ZHANG, 2010b; WANG & CHENG, 2004; DONG et al. 2008). Consequentemente, o comprimento da panícula poderia fornecer um índice de seleção útil para o melhoramento visando um aumento de rendimento de grãos inteiros (JONGKAEWWATTANA & GENG, 2002).

Para a safra 2011/12, umidades de colheita de 24 e 22 % proporcionaram melhores rendimentos de grãos inteiros para o Puitá (Figura 1B) e somente a umidade de 24 % para o INOV (Figura 1A). Já na safra 2012/13 (Figuras 2A e 2B), a umidade de colheita de 20 % proporcionou melhor rendimento de grãos inteiros para ambos os cultivares, estando de acordo com os resultados obtidos por Teló et al. (2011), que mostram decréscimo de grãos inteiros quando realizada a colheita abaixo de 20 % de umidade para os cultivares BR-IRGA 409, IRGA 417, IRGA 422CL e IRGA 423, sendo que as recomendações da pesquisa para a cultura preconizam a colheita dos grãos de arroz entre 24 e 20 % de umidade (SOSBAI, 2012). Isso mostra que o rendimento de grãos inteiros é influenciado por diferentes fatores como a genética do cultivar, as condições ambientais em que a planta é cultivada e o momento de colheita (JONGKAEWWATTANA & GENG, 2001). A qualidade é influenciada principalmente pelo comportamento higroscópico dos grãos (MARCHEZAN et al, 1993) que, ao passarem mais tempo na lavoura estão sujeitos a variações de perda e absorção de água, o que faz com que se formem fissuras. Grãos colhidos com baixo teor de umidade podem sofrer fissuras no campo, acarretando na quebra no momento do beneficiamento (SMIDERLE et al., 2008). Tal fato foi evidenciado no presente trabalho, onde menores valores de rendimento de grãos foram observados quando realizou-se a colheita com 16 % de umidade, para ambas as safras agrícolas.

Na segunda safra ocorreu aumento de 13 % do total de grãos inteiros em relação à primeira safra, para INOV CL. Já para Puitá INTA CL não se observou diferença entre safras.

Além das condições de colheita, diferentes manejos incluindo época de semeadura, irrigação, fertilidade e seleção de cultivares podem afetar a qualidade e rendimento de grãos inteiros do arroz. No entanto, pesquisas recentes sugerem que a temperatura ambiente do ar, especificamente a temperatura noturna do ar durante o enchimento de grãos afeta drasticamente a qualidade e rendimento de grãos inteiros (SIEBENMORGEN et al., 2013). Observou-se que a temperatura média do ar durante o enchimento de grãos foi maior na safra 2011/12 (Figura 3). Estudos de Lyman et al. (2013) mostram que o aumento de 1°C na temperatura na fase de enchimento podem reduzir até 13,8 % os grãos inteiros.

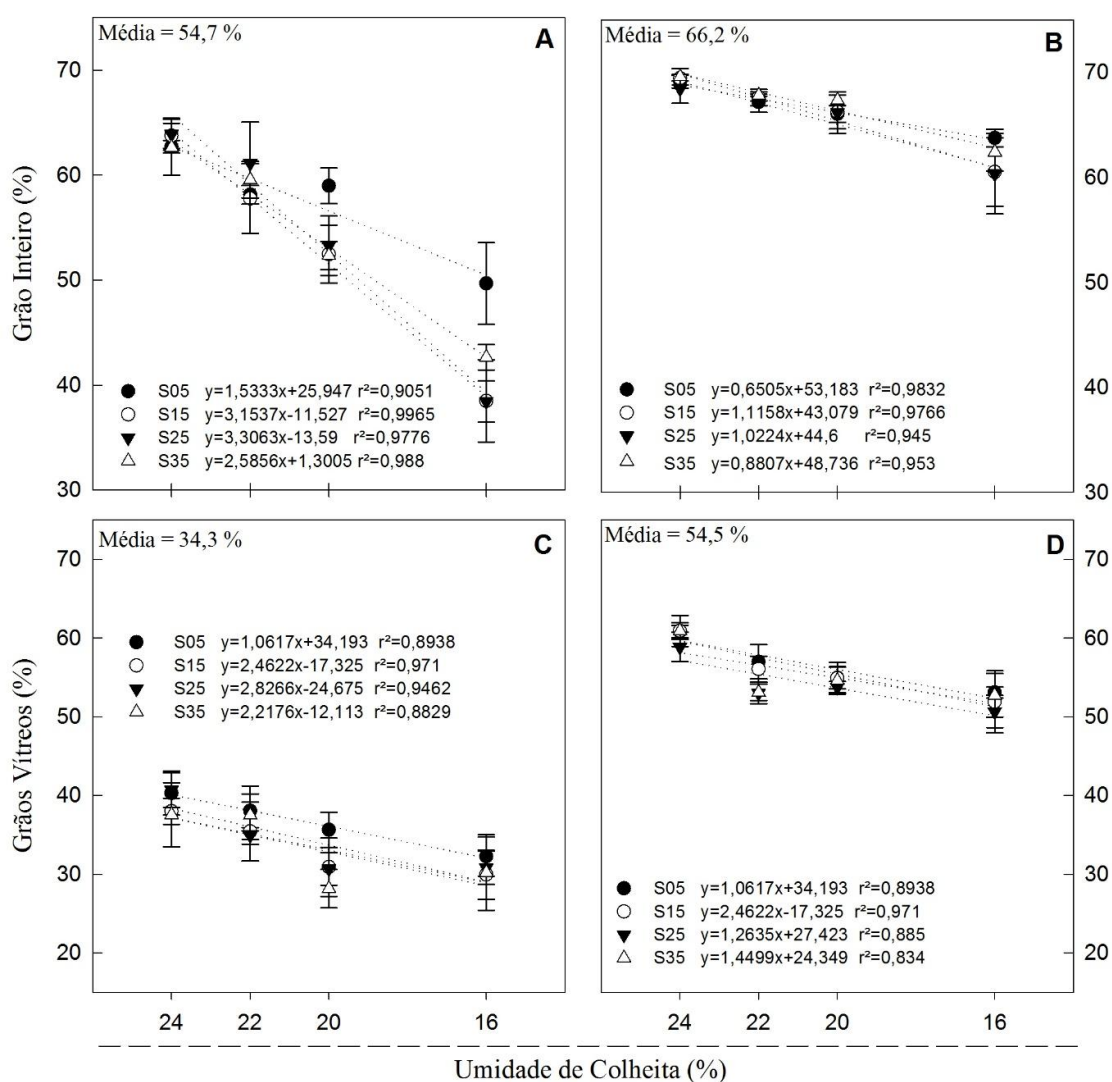


Figura 1- Porcentagem de grãos inteiros (%) e grãos vítreos para INOV CL (A e C) e Puitá INTA CL (B e D) de acordo com diferentes umidades de colheita (%) para a safra 2011/12. Santa Maria, RS. 2013.

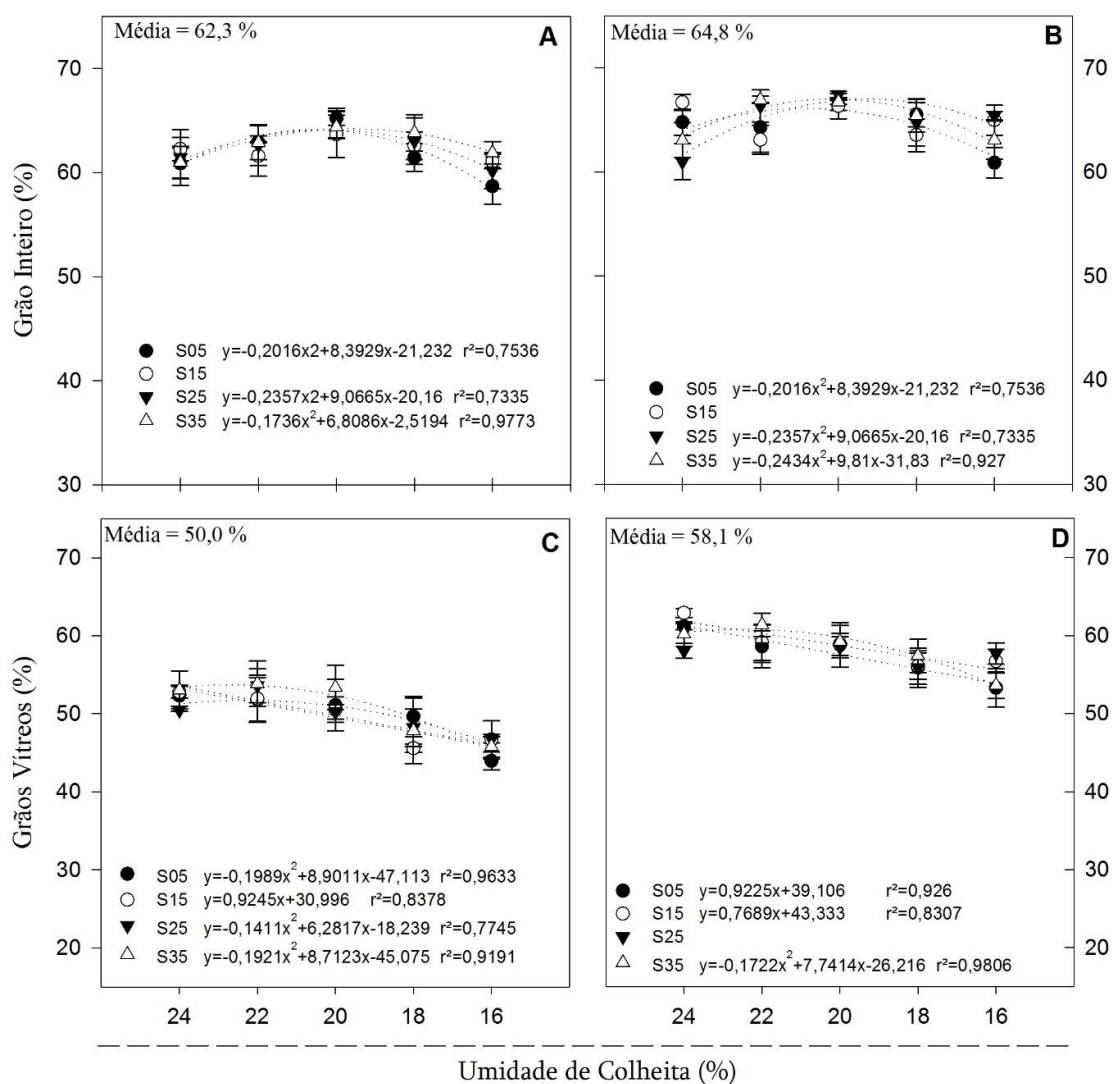


Figura 2- Porcentagem de grão inteiro (%) e grãos vítreos para INOV CL (A e C) e Puitá INTA CL (B e D) de acordo com diferentes umidades de colheita (%) para a safra 2012/13. Santa Maria, RS. 2013.

Durante a fase de enchimento e maturação dos grãos, a temperatura média máxima diária (T. máx.) foi de 32,97°C e a temperatura média mínima diária (T. mín.) foi de 21,11°C para a safra 2011/12 (Figura 3). Para a safra seguinte, a T. máx. no mesmo período foi de 29,87°C e a T. mín. foi de 19,08°C. A primeira safra apresentou temperaturas mais elevadas durante a fase de enchimento e também uma amplitude térmica média maior, podendo ser a causa das menores médias de grãos inteiros para INOV CL. Para Siebernmorgen et al. (2013),

o excesso de precipitação durante a fase de enchimento e maturação de grãos pode contribuir para a redução de grãos inteiros. Durante a fase de enchimento e maturação na safra 2011/12 a precipitação foi de aproximadamente 204,6 mm, sendo 102,2 mm na safra seguinte no mesmo período (Figura 3). Chuvas na fase de maturação fazem com que os grãos absorvam água bruscamente, acarretando na formação de fissuras.

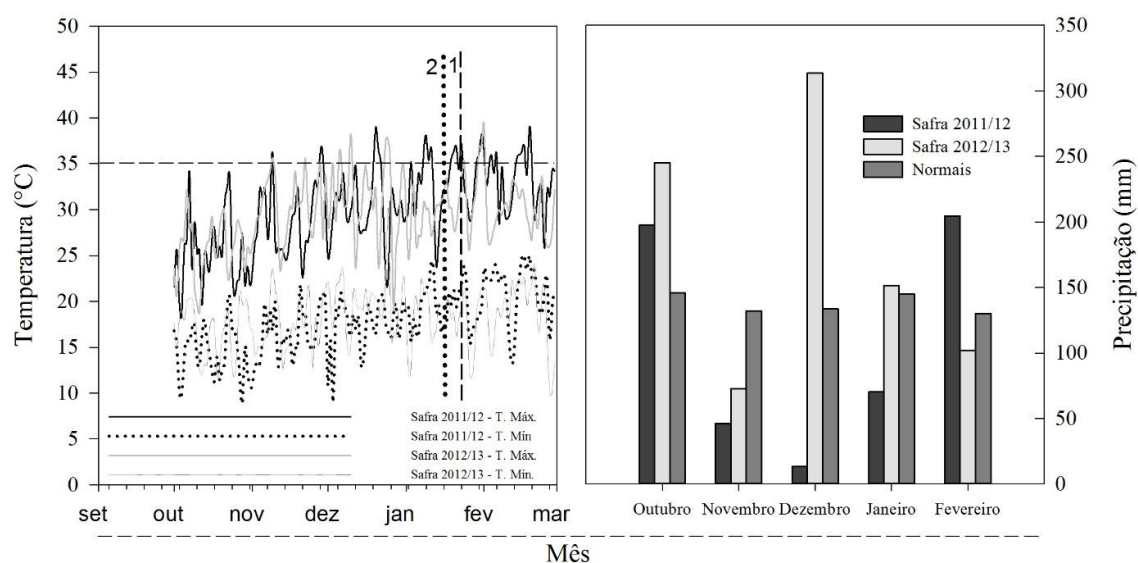


Figura 3 - Temperatura máxima e mínima do ar, precipitação pluvial durante os meses de outubro a fevereiro nas safras 2011/12 e 2012/13. Na 1ª figura, os números 1 e 2 indicam as datas em que ocorreu a floração plena: 1 = floração ocorrida em 23/01/12; 2 = floração ocorrida em 16/01/13, para as safras 2011/12 e 2012/13, respectivamente. Santa Maria, RS. 2013.

A precipitação pluvial da primeira safra após a supressão aos 5 DAA foi distribuída em 17 dias, sendo que, ao final da fase de maturação ocorreram precipitações acima de 50 mm em dois dias (Figura 4 A). Na segunda safra a precipitação foi distribuída em 11 dias após o início da supressão aos 5 DAA, com dois dias de precipitação ao final da fase de maturação com menos de 10 mm cada dia (Figura 4 B). A perda e absorção de água pelos grãos de arroz foi superior na primeira safra devido ao número de dias em que ocorreu precipitação, levando a maior redução na quantidade de grãos inteiros em relação à safra seguinte.

Com relação à supressão antecipada da irrigação, foi possível observar redução no rendimento de grãos inteiros para o cultivar Puitá INTA CL quando colhido com 16 % de umidade e realizado a supressão aos 5 DAA na safra 2012/13 (Figura 2B), mostrando que para uma colheita mais tardia há a necessidade de se manter a água por mais tempo na lavoura para que não ocorra perda na qualidade de grãos. Isso está de acordo com Huang et al. (2008) que mostra que uma irrigação contínua ou intermitente mantém ou provoca aumento na

porcentagem de grãos inteiros ao contrário de uma irrigação deficiente, realizada quando o solo apresenta potencial de -40 kPa, o que causa redução de grãos inteiros.

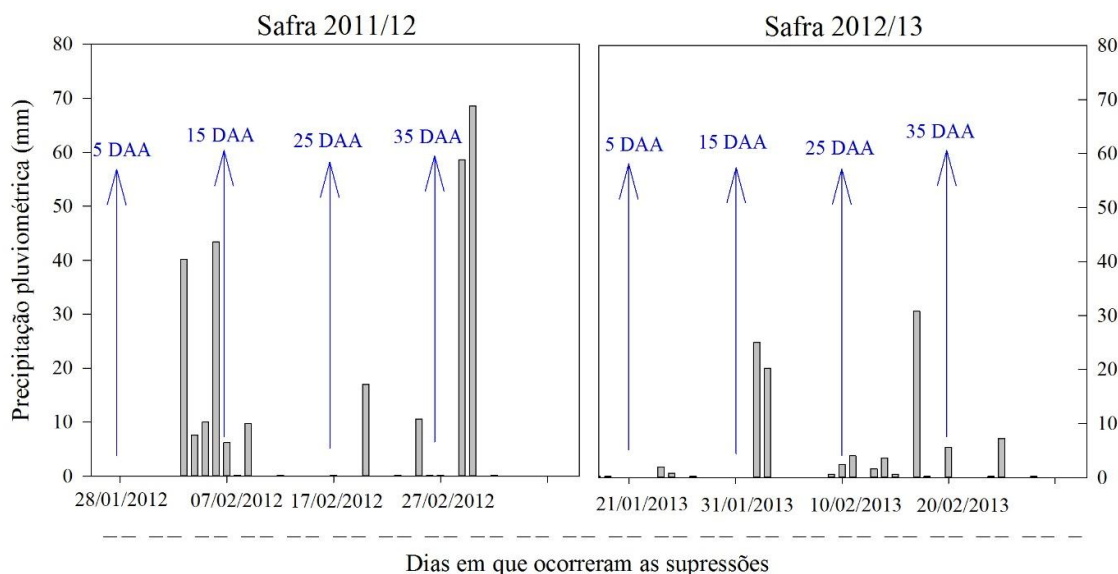


Figura 4 - Precipitação pluvial em dias durante o período após a realização da primeira época de supressão antecipada de irrigação, nas safras 2011/12 e 2012/13. Santa Maria, RS. 2013.

O estresse hídrico no período reprodutivo pode causar redução na produtividade, no entanto o efeito do estresse neste período varia com as características genotípicas de cada cultivar (PRABA et al., 2009; ROSHAN et al., 2013). A redução de grãos inteiros observado no Puitá INTA CL citado acima pode estar relacionado com a falta de chuva observado na safra 2012/13 logo após realizada a supressão aos 5 DAA (Figura 4 B). As demais épocas de supressão de irrigação não mostraram diferença possivelmente devido às chuvas que aconteceram após cada supressão (Figura 4).

Os resultados obtidos para grãos vítreos encontram-se nas figuras 1(C e D) e 2 (C e D). Para grãos opacos e gessados, encontram-se nas figuras 5 e 6. Da safra 2011/12 para a safra 2012/13 houve aumento de grãos vítreos para os dois cultivares: 6,6 % para Puitá INTA CL e, 45,5 % para INOV CL. Em contrapartida, os grãos opacos e gessados reduziram da primeira para a segunda safra. Os grãos opacos reduziram 22 % para Puitá INTA CL e 38 % para INOV CL e, os grãos gessados apresentaram queda em torno de 49 % para INOV CL e manteve-se médias parecidas para Puitá INTA CL. A formação do gesso no grão do arroz está diretamente

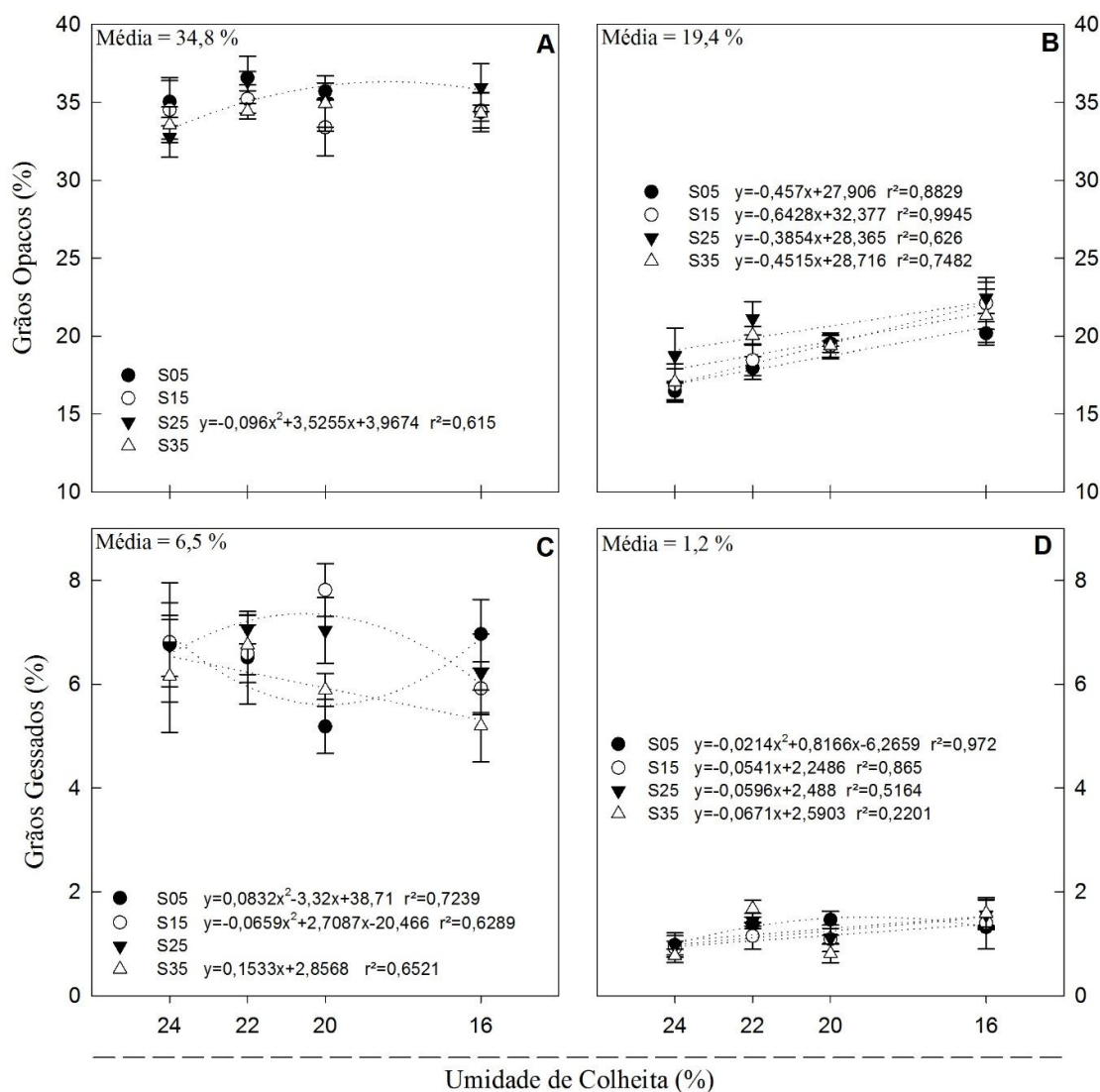


Figura 5 - Porcentagem de grãos opacos (%) e grãos gessados para INOV CL (A e C) e Puitá INTA CL (B e D) de acordo com diferente umidades de colheita (%) para a safra 2011/12. Santa Maria, RS. 2013.

ligada às altas temperaturas durante o enchimento de grãos (YOSHIOKA et al., 2007), ou a uma colheita realizada de forma antecipada, quando os grãos encontram-se em formação, com umidade acima de 26 % (SOFIATTI et al. 2006). Um estresse por alta temperatura durante a fase de enchimento resulta na redução da atividade enzimática relacionada com o enchimento do grão, reduz o peso dos grãos, o acúmulo de amilose, o consumo de fotoassimilados produzidos e interfere no balanço hídrico (LI et al., 2011; DONG et al. 2011). Dentre essas desordens fisiológicas, o gesso é um dos maiores problemas do cultivo do arroz, pois é um dos principais fatores na determinação da qualidade e preço do arroz (ZHOU et al., 2009). Como foi possível observar, a T.máx. e amplitude na safra 2011/12 foi maior que na safra seguinte

(Figura 3), sendo que a redução da temperatura na fase de enchimento na segunda safra pode ter colaborado para a redução de grãos opacos e gessados e para o aumento de grãos vítreos.

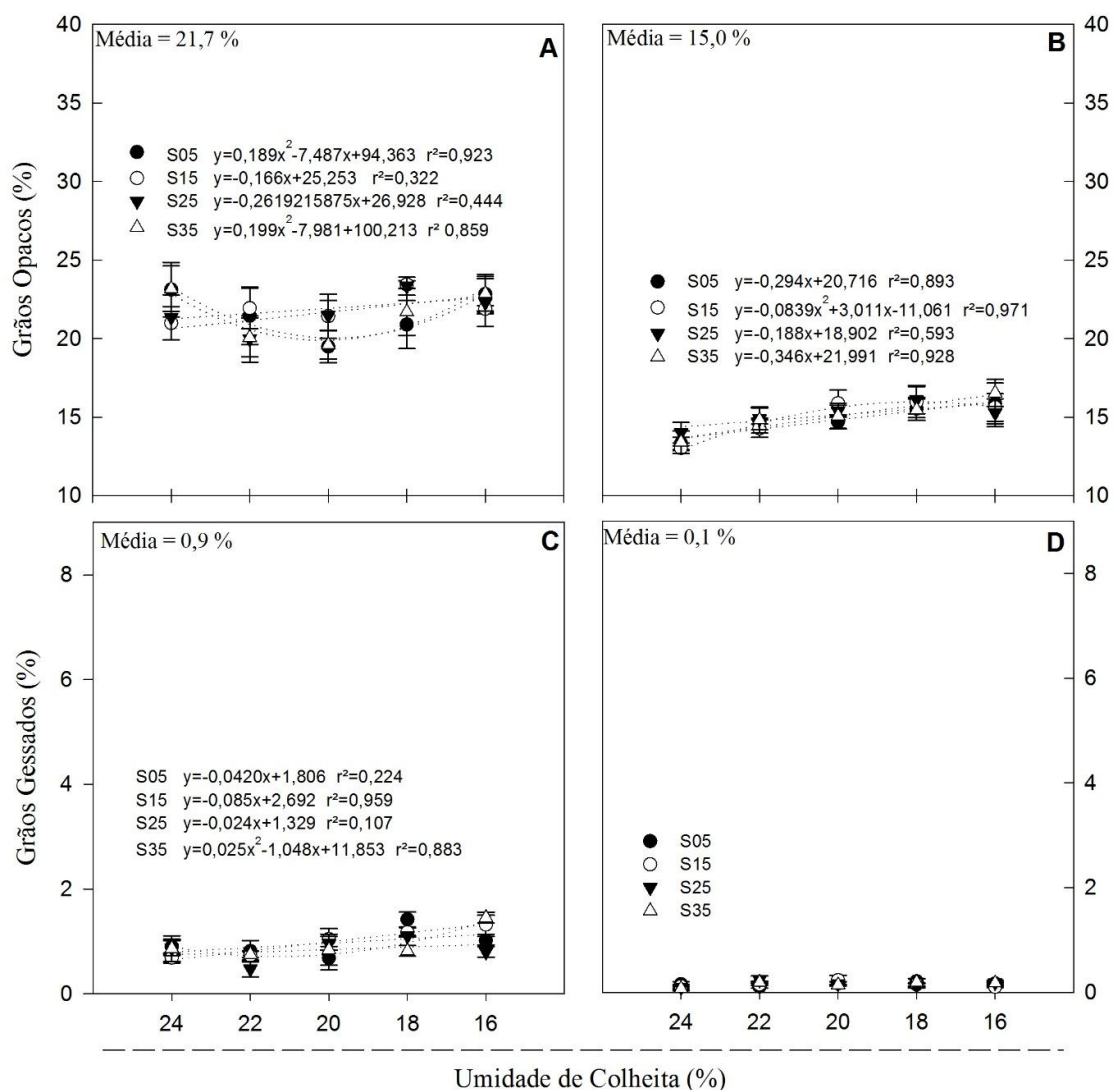


Figura 6 - Porcentagem de grãos opacos (%) e grãos gessados para INOV CL (A e C) e Puitá INTA CL (B e D) de acordo com diferentes umidades de colheita (%) para a safra 2012/13. Santa Maria, RS. 2013.

A transparência final e a área gessada são determinadas principalmente pelos fotoassimilados acumulados durante todo o período de desenvolvimento. No entanto, existe a dependência de efeitos genéticos para que os fotoassimilados sejam acumulados na fase de enchimento (SHI et al., 2002.). Esta questão genética pode ser observada quando compara-se os resultados de um cultivar com o outro. Puitá INTA CL apresentou médias superiores de grãos vítreos que o INOV CL nas duas safras, e o cultivar híbrido apresentou maiores médias

de grãos opacos (diferença de 79 % para safra 2011/12 e de 44 % para a safra 2012/13) e gessados (média 11 vezes maior em 2011/12 e 6 vezes na safra seguinte) que o cultivar convencional nas duas safras. Os resultados corroboraram com You-Zhong et al. (2012), onde observaram que as porcentagens de grãos opacos e gessados para o híbrido Liangyoupeijiu foram 58 % e 45 % maiores que os valores encontrados para um cultivar convencional CY-6, na China.

A umidade de colheita não afetou significativamente o número de grãos vítreos (Figuras 1C, 1D, 2C e 2D), opacos e gessados para os dois cultivares, nas duas safras (Figuras 5 e 6). Também não foi observado efeito da supressão antecipada da irrigação para grãos vítreos e opacos e gessados para os dois cultivares e nos dois anos agrícolas. Praba et al. (2009) destacam que a supressão de irrigação na fase de enchimento pode prejudicar o arroz em formação, mas o efeito do estresse neste período varia de acordo com as características genotípicas de cada cultivar. Isso não foi observado nas duas safras, possivelmente porque o estresse que a planta sofreu não foi o suficiente para promover alterações nos percentuais de grãos vítreos, opacos e gessados.

4 CONCLUSÃO

O cultivar Puitá INTA CL apresenta melhor qualidade em relação à grãos inteiros, vítreos, gessados e opacos que o híbrido INOV CL. A melhor umidade de colheita é de 24 a 20 % de umidade para ambos cultivares. A supressão de irrigação não interfere na qualidade de grãos inteiros, vítreos, opacos e gessados, sendo uma alternativa de redução de uso de água sem desvalorizar o arroz no momento de comercialização.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BLANCHE, S. B. et al. Genotype x environment interactions of hybrid and varietal rice cultivars for grain yield and milling quality. **Crop Science**, Madison, v.49, n.6, p. 2011-2018, 2009.

CANELLAS, L. P. et al. Efeito de práticas de manejo sobre o rendimento de grãos e a qualidade industrial dos grãos em arroz irrigado. **Ciência Rural**. Santa Maria, v. 27, n. 3, p. 375-379, 1997.

CAPURRO, M.C. et al. Efecto del momento de retiro del agua y cosecha en las variedades Parao y El Paso 144. In: . **INIA Treinta y Tres: Arroz - Resultados Experimentales 2011-12**. Montevideo, 2012. Cap.2, p.11-24.

COUNCE, P. A. et al. A uniform, objective and andaptive system for expressing rice development. **Crop Science**. Madison, n. 40, n.2, p. 436-443, 2000.

DONG, M H. et al. Difference in hormonal content and activities of key enzymes in the grains at different positions on a rice panicle during grain filling and their correlations with rice qualities. **Scientia Agricultura Sinica**., Beijing, v.41, n.2, p.370-380, 2008.

DONG, M. H. et al. Quality response of grains in different spikelet positions to temperature stress during grain filling of rice. **Acta Agronomia Sinica**, Beijing, v.37, n.3, p.506-513, 2011.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Rio de Janeiro, 2006. 306p.

HUANG, D. F. et al. Effects of irrigation patterns during grain filling on grain quality and concentration and distribution of cadmium in different organs of rice. **Acta Agronomia Sinica**, Beijing, v.34, n.3, p.456-464, 2008.

JONGKAEWWATTANA, S. GENG, S. Inter-relationships amongst grain characteristics, grain-filling parameters and rice (*Oryza sativa* L.) milling quality. **Journal of Agronomy & Crop Science**. Berlin, v.187, n.4, p.223-229, 2001.

JONGKAEWWATTANA, S. GENG, S. Non-uniformity of grain characteristics and milling quality of California rice (*Oryza sativa* L.) of different maturities. **Journal of Agronomy & Crop Science**. Berlin, v.188, n.3, p.161-167, 2002.

LI, H. et al. Different effects of night versus day high temperature on rice quality and accumulation profiling of rice grain proteins during grain filling. **Plant Cell Reports**. Berlim, v.30, n.9, p.1641-1659, 2011.

LIU, Q. et al. Effects of chalkiness on cooking, eating and nutritional qualities of rice in two indica varieties. **Rice Science**. Beijng, v.16, n.2, p.161-164, 2009.

LYMAN, N. et al. Neglecting rice milling yield and quality underestimates economic losses from high-temperatures stress. **PLOS ONE**. San Francisco, v.8, n.8, p.1-9, 2013.

MARCHEZAN, E. et al. Relações entre época de semeadura, de colheita e rendimento de grãos inteiros de cultivares de arroz irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 7, p. 843-848, 1993.

PRABA, M. L. et al. Identification of physiological traits underlying cultivar differences in drought tolerance in rice and wheat. **Journal of Agronomy & Crop Science**. Berlin, v.195, n.1, p.30-46, 2009.

RIBEIRO, G. J. T. et al. Efeitos do atraso da colheita e do período de armazenamento sobre o rendimento de grãos inteiros de arroz de terras altas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 5, p. 1021-1030, 2004.

ROSHAN, N. M. et al. Irrigation withholding timemanagement in four rice varieties at Guilan paddy fields (North Iran). **African Journal of Agricultural Research**. Nigeria, v.8, n.20, p.2371-2375, 2013.

SHEN, B. Observation on the starch grain development in endosperm of early indica rice during chalkiness formation with scanning electronic microscope. **Chinese Journal of Rice Science**. Beijing, v.14, n.4, p.225–228, 2000.

SHI, C. H. et al. Genetic analysis of transparency and chalkiness area at different filling stages of rice (*Oryza sativa* L.). **Field Crops Research**. Amsteden, v.76, n.1, p.1-9, 2002.

SIEBENMORGEN, T. J. et al. Impacts of preharvest factors during kernel development on rice quality and functionality. **Annual Review of Food Science and Technology**. Palo Alto, v.4, p.101-115, 2013.

SMIDERLE, O. J. et al. Épocas de colheita e qualidade fisiológica das sementes de arroz irrigado cultivar BRS 7 Taim, em Roraima. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 30, n. 1, p. 74-80, 2008.

SOFIATTI, V. et al. Efeitos de regulador de crescimento, controle de doenças e densidade de semeadura na qualidade industrial de grãos de arroz. **Ciência Rural**. Santa Maria, v.36, n.2, p.418-423, 2006.

SOSBAI - SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO. **Arroz Irrigado: Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil**. Itajaí, SC: SOSBAI, 179 p., 2012.

TELÓ, G. M. et al. Qualidade de grãos de arroz irrigado colhidos com diferentes graus de umidade em função da aplicação de fungicida. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 6, 2011.

WANG, F. CHENG, F. M. Research advances in the relationships between ABA and rice grain filling. **Seed**. New York, v.23, n.1, p.31-35, 2004.

YANG, L. ZHANG, J. Grain filling problem in “super” rice. **Journal of Experimental Botany**. Oxford, v. 61, n.1, p. 1-5, 2010.

YOSHIOKA, Y. et al. Chalkiness in rice: potential for evaluation with image analysis. **Crop Science**. Madison, v. 47, n.5, p.2113-2120, 2007.

YOU-ZHONG, L. et al. Effects of lodging at different filling stage on rice yield and grain quality. **Rice Science**. Hangzhou, v.19, n.4, p. 315-319, 2012.

ZHOU, L. et al. Fine mapping of the grain chalkiness QTL *pPGWC-7* in rice (*Oryza sativa* L.). **Theoretical and Applied Genetics**. Berlin, v.118, n.3, p.581-590, 2009.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

- A supressão antecipada da irrigação aumenta a eficiência do uso de água do híbrido INOV CL e do Puitá INTA CL.
- O híbrido INOV CL manteve seu potencial produtivo independente das épocas de supressão de irrigação. O cultivar Puitá INTA CL sofreu redução de produtividade com a supressão antecipada da irrigação.
- A supressão antecipada da irrigação não interfere na qualidade dos grãos inteiros, vítreos, gessados e opacos de ambos os cultivares.
- Umidades de 24 a 20% proporcionam melhor qualidade de grãos inteiros, independente do cultivar.

ANEXOS

1. ANEXO A – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO CAPÍTULO II

Variável analisada: PRODUTIVIDADE 2011/12

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	2545244.401762	848414.800587	1.707	0.1962
CULTIVAR	1	88073522.880800	88073522.880800	177.155	0.0000
N_TRATAMEN	3	3038130.370463	1012710.123488	2.037	0.1395
CULTIVAR*N_TRATAMEN	3	14722628.477675	4907542.825892	9.871	0.0003
erro	21	10440275.045987	497155.954571		
Total corrigido	31	118819801.176687			
CV (%) =	5.80				
Média geral:	12155.3818750	Número de observações:	32		

Variável analisada: PESO DE MIL GRÃOS 2011/12

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	2.710209	0.903403	0.777	0.5201
CULTIVAR	1	2.627778	2.627778	2.259	0.1477
TRATAMENTO	3	5.892084	1.964028	1.689	0.1999
CULTIVAR*TRATAMENTO	3	7.416459	2.472153	2.125	0.1274
erro	21	24.425216	1.163106		
Total corrigido	31	43.071747			
CV (%) =	4.06				
Média geral:	26.5521875	Número de observações:	32		

Variável analisada: ESTERILIDADE de ESPIGUETAS 2011/12

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	0.304763	0.101588	0.110	0.9531
CULTIVAR	1	192.864800	192.864800	209.778	0.0000
TRATAMENTO	3	37.401712	12.467237	13.561	0.0000
CULTIVAR*TRATAMENTO	3	20.172925	6.724308	7.314	0.0015
erro	21	19.306888	0.919376		
Total corrigido	31	270.051087			

 CV (%) = 10.20
 Média geral: 9.4018750 Número de observações: 32

Variável analisada: NÚMERO DE GRÃOS/PANÍCULA 2011/12

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	86.771184	28.923728	0.495	0.6897
CULTIVAR	1	13423.001628	13423.001628	229.674	0.0000
TRATAMENTO	3	817.500184	272.500061	4.663	0.0119
CULTIVAR*TRATAMENTO	3	796.985809	265.661936	4.546	0.0132
erro	21	1227.317341	58.443683		
Total corrigido	31	16351.576147			
CV (%) =	6.42				
Média geral:	119.0778125		Número de observações:	32	

Variável analisada: NÚMERO DE PANÍCULAS / M² 2011/12

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	3552.662212	1184.220737	0.823	0.4958
CULTIVAR	1	3849.592512	3849.592512	2.676	0.1168
TRATAMENTO	3	3371.176062	1123.725354	0.781	0.5178
CULTIVAR*TRATAMENTO	3	8593.298013	2864.432671	1.991	0.1462
erro	21	30214.948188	1438.807057		
Total corrigido	31	49581.676988			
CV (%) =	9.45				
Média geral:	401.4093750		Número de observações:	32	

Variável analisada: PRODUTIVIDADE 2012/13

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	730780.951034	243593.650345	0.639	0.5983
CULTIVAR	1	15985568.380753	15985568.380753	41.936	0.0000
TRATAMENTO	3	2171488.249209	723829.416403	1.899	0.1607
CULTIVAR*TRATAMENTO	3	7325572.775109	2441857.591703	6.406	0.0030
erro	21	8004987.415141	381189.876911		
Total corrigido	31	34218397.771247			
CV (%) =	5.57				
Média geral:	11087.0628125		Número de observações:	32	

Variável analisada: PESO DE MIL GRÃOS 2012/13

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	8.427734	2.809245	1.732	0.1911
CULTIVAR	1	109.705078	109.705078	67.646	0.0000
TRATAMENTO	3	2.724609	0.908203	0.560	0.6473
CULTIVAR*TRATAMENTO	3	2.177734	0.725911	0.448	0.7216
erro	21	34.056641	1.621745		
Total corrigido	31	157.091797			
CV (%) =	4.80				
Média geral:	26.5546875	Número de observações:	32		

Variável analisada: ESTERILIDADE de ESPIGUETAS 2012/13

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	25.350084	8.450028	3.802	0.0254
CULTIVAR	1	207.112128	207.112128	93.185	0.0000
TRATAMENTO	3	1.598359	0.532786	0.240	0.8677
CULTIVAR*TRATAMENTO	3	1.067859	0.355953	0.160	0.9220
erro	21	46.674641	2.222602		
Total corrigido	31	281.803072			
CV (%) =	18.45				
Média geral:	8.0809375	Número de observações:	32		

Variável analisada: NÚMERO DE GRÃOS / PANÍCULA 2012/13

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	2081.868359	693.956120	1.630	0.2125
CULTIVAR	1	4841.526003	4841.526003	11.373	0.0029
TRATAMENTO	3	732.660159	244.220053	0.574	0.6386
CULTIVAR*TRATAMENTO	3	194.330184	64.776728	0.152	0.9272
erro	21	8939.754666	425.702603		
Total corrigido	31	16790.139372			
CV (%) =	18.49				
Média geral:	111.6140625	Número de observações:	32		

Variável analisada: NÚMERO DE PANÍCULAS / M² 2012/13

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	1006.692925	335.564308	0.120	0.9477
CULTIVAR	1	87.450313	87.450313	0.031	0.8616
TRATAMENTO	3	9509.968025	3169.989342	1.129	0.3599
CULTIVAR*TRATAMENTO	3	556.777262	185.592421	0.066	0.9774
erro	21	58950.177475	2807.151308		
Total corrigido	31	70111.066000			
CV (%) =	11.52				
Média geral:	459.7425000	Número de observações:	32		

2. ANEXO B – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO CAPÍTULO III**Legenda:**

- B** = Bloco
A = Cultivar
C = Época de Supressão
D = Umidade de Colheita

Variável analisada: GRÃOS INTEIROS 2011/12

Quadro de análise de variância

Variável Dependente : y

Fonte de variação	gl	Soma de quadrados Sequencial	Quadrado médio	Valor F	PR > F
B	3	55.63937109	18.54645703	2.9211	0.058
A	1	4199.51756953	4199.51756953	661.4350	0.000
C	3	109.24483984	36.41494661	5.7354	0.005
A*C	3	66.60211484	22.20070495	3.4967	0.034
B(A C)	21	133.33111016	6.34910048	2.1353	0.011
D	3	3587.35817109	1195.78605703	194.0934	0.000
A*D	3	840.08423359	280.02807786	94.1769	0.000
C*D	9	241.74168203	26.86018689	9.0334	0.000
A*C*D	9	112.88054453	12.54228273	4.2181	0.000
B*D	9	55.44792578	6.16088064	2.0720	0.046
Residuo	63	187.32586797	2.97342648		
Total	127	9589.17343047			
Media	:	60.47710937			
Raiz Quad. QMres.	:	1.72436263			
Coef. Variação	:	2.85126496			

Variável analisada: GRÃOS VÍTREOS 2011/12

Quadro de análise de variância

Variável Dependente : y

Fonte de variação	gl	Soma de quadrados Sequencial	Quadrado médio	Valor F	PR > F
B	3	94.95085937	31.65028646	3.0001	0.054
A	1	13029.01531250	13029.01531250	1234.9872	0.000
C	3	239.37193437	79.79064479	7.5632	0.001
A*C	3	42.41971250	14.13990417	1.3403	0.288
B(A C)	21	221.54830313	10.54991920	2.4823	0.003
D	3	3906.48942813	1302.16314271	563.5922	0.000
A*D	3	296.26425625	98.75475208	23.2360	0.000
C*D	9	122.55873438	13.61763715	3.2041	0.003
A*C*D	9	113.18099375	12.57566597	2.9589	0.005
B*D	9	20.79423437	2.31047049	0.5436	0.837
Resíduo	63	267.75520312	4.25008259		
Total	127	18354.34897187			

Media : 44.42046875
 Raiz Quad. QMres. : 2.06157284
 Coef. Variação : 4.64104252

Variável analisada: GRÃOS OPACOS 2011/12

Quadro de análise de variância

Variável Dependente : y

Fonte de variação	gl	Soma de quadrados Sequencial	Quadrado médio	Valor F	PR > F
B	3	9.67957109	3.22652370	2.4038	0.096
A	1	7568.95940703	7568.95940703	5638.8816	0.000
C	3	18.42140234	6.14046745	4.5747	0.013
A*C	3	26.55175234	8.85058411	6.5937	0.003
B(A C)	21	28.18788516	1.34228025	0.9140	0.575
D	3	110.24546484	36.74848828	34.3423	0.000
A*D	3	55.59902734	18.53300911	12.6200	0.000
C*D	9	21.31591328	2.36843481	1.6128	0.131
A*C*D	9	27.15775078	3.01752786	2.0548	0.047
B*D	9	9.63059453	1.07006606	0.7287	0.681
Resíduo	63	92.51802422	1.46854007		
Total	127	7968.26679297			

Media : 27.10523438
 Raiz Quad. QMres. : 1.21183335
 Coef. Variação : 4.47084623

Variável analisada: GRÃOS GESSADOS 2011/12

Quadro de análise de variância

Variável Dependente : y2

Fonte de variação	gl	Soma de quadrados Sequencial	Quadrado médio	Valor F	PR > F
B	3	0.41728153	0.13909384	5.2020	0.008
A	1	91.85945830	91.85945830	3435.4899	0.000
C	3	0.19969540	0.06656513	2.4895	0.088
A*C	3	0.17173962	0.05724654	2.1410	0.125
B(A C)	21	0.56150613	0.02673839	1.7173	0.052
D	3	1.09862974	0.36620991	10.6930	0.003
A*D	3	1.46639547	0.48879849	31.3943	0.000
C*D	9	0.59849954	0.06649995	4.2711	0.000
A*C*D	9	0.92637302	0.10293034	6.6110	0.000

B*D	9	0.30822975	0.03424775	2.1996	0.034
Resíduo	63	0.98088869	0.01556966		
Total	127	98.58869717			

Media	:	1.01045699
Raiz Quad. QMres.	:	0.12477845
Coef. Variacao	:	12.34871468

Variável analisada: GRÃOS INTEIROS 2012/13

Quadro de análise de variância

Variável Dependente : y2

Fonte de variação	gl	Soma de quadrados Sequencial	Quadrado médio	Valor F	PR > F
B	3	11.35600187	3.78533396	1.0579	0.388
A	1	252.53137562	252.53137562	70.5787	0.000
C	3	14.60805188	4.86935063	1.3609	0.282
A*C	3	1.06029687	0.35343229	0.0988	0.960
B(A C)	21	75.13825313	3.57801205	2.2345	0.005
D	4	243.86169125	60.96542281	11.7542	0.000
A*D	4	5.37133375	1.34283344	0.8386	0.505
C*D	12	133.43366375	11.11947198	6.9443	0.000
A*C*D	12	74.07713125	6.17309427	3.8552	0.000
B*D	12	62.24046375	5.18670531	3.2392	0.001
Resíduo	84	134.50375625	1.60123519		
Total	159	1008.18201938			

Media	:	63.57793750
Raiz Quad. QMres.	:	1.26539922
Coef. Variação	:	1.99031185

Variável analisada: GRÃOS VÍTREOS 2012/13

Quadro de análise de variância

Variável Dependente : y2

Fonte de variação	gl	Soma de quadrados Sequencial	Quadrado médio	Valor F	PR > F
B	3	15.94522543	5.31507514	1.1606	0.348
A	1	2637.83403855	2637.83403855	575.9972	0.000
C	3	19.59846078	6.53282026	1.4265	0.263
A*C	3	16.80660982	5.60220327	1.2233	0.326
B(A C)	21	96.17150356	4.57959541	1.1749	0.294
D	4	855.30891757	213.82722939	26.7122	0.000
A*D	4	38.50481269	9.62620317	2.4696	0.051
C*D	12	166.51500309	13.87625026	3.5599	0.000
A*C*D	12	41.85399929	3.48783327	0.8948	0.555
B*D	12	96.05821181	8.00485098	2.0536	0.029
Resíduo	84	327.42628065	3.89793191		
Total	159	4312.02306324			

Media	:	54.03104545
Raiz Quad. QMres.	:	1.97431809
Coef. Variação	:	3.65404384

Variável analisada: GRÃOS OPACOS 2012/13

Quadro de análise de variância

Variável Dependente : y2

Fonte de variação	gl	Soma de quadrados Sequencial	Quadrado médio	Valor F	PR > F
B	3	3.14687500	1.04895833	0.5271	0.668
A	1	1777.02230250	1777.02230250	893.0078	0.000
C	3	1.58831500	0.52943833	0.2661	0.849
A*C	3	1.77379250	0.59126417	0.2971	0.827
B(A C)	21	41.78851500	1.98992929	2.6038	0.001
D	4	63.87901250	15.96975312	7.5692	0.003
A*D	4	51.90374750	12.97593687	16.9792	0.000
C*D	12	44.12369750	3.67697479	4.8114	0.000
A*C*D	12	26.31678250	2.19306521	2.8697	0.002
B*D	12	25.31798750	2.10983229	2.7607	0.003
Resíduo	84	64.19497250	0.76422586		
Total	159	2101.05600000			

Media	:	18.33500000
Raiz Quad. QMres.	:	0.87420013
Coef. Variação	:	4.76793088

Variável analisada: GRÃOS GESSADOS 2012/13

Quadro de análise de variância

Variável Dependente : y2

Fonte de variação	gl	Soma de quadrados Sequencial	Quadrado médio	Valor F	PR > F
B	3	0.00761187	0.00253729	0.1771	0.911
A	1	24.29701562	24.29701562	1695.5737	0.000
C	3	0.11253688	0.03751229	2.6178	0.078
A*C	3	0.14721687	0.04907229	3.4245	0.036
B(A C)	21	0.30092313	0.01432967	0.9937	0.480
D	4	1.30717875	0.32679469	34.9462	0.000
A*D	4	1.21171875	0.30292969	21.0068	0.000
C*D	12	1.07239125	0.08936594	6.1971	0.000
A*C*D	12	1.22141125	0.10178427	7.0583	0.000
B*D	12	0.11221625	0.00935135	0.6485	0.795
Resíduo	84	1.21132375	0.01442052		
Total	159	31.00154438			

Media	:	0.54668750
Raiz Quad. QMres.	:	0.12008547
Coef. Variação	:	21.96601770