

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA
CAMPUS ITAQUI
CURSO DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**MANEJO DA PALHA RESIDUAL DE ARROZ
IRRIGADO POR INUNDAÇÃO, CRESCIMENTO E
PRODUTIVIDADE DE GRÃOS NO ANO SEGUINTE**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Matheus Martins Ferreira

**Itaqui, RS, Brasil
2014**

MATHEUS MARTINS FERREIRA

**MANEJO DA PALHA RESIDUAL DE ARROZ IRRIGADO POR
INUNDAÇÃO, CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE GRÃOS NO
ANO SEGUINTE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), como requisito parcial para obtenção do grau de **Engenheiro Agrônomo**.

Orientador: Amauri Nelson Beutler

Itaqui, RS, Brasil
2014

F383m Ferreira, Matheus Martins

Manejo da palha residual de arroz irrigado por inundação, crescimento e produtividade de grãos no ano seguinte / Matheus Martins Ferreira.

26 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) --
Universidade Federal do Pampa, BACHARELADO EM AGRONOMIA,
2014.

"Orientação: Amauri Nelson Beutler".

1. Oryza sativa. 2. Restos culturais. 3. Matéria orgânica. I. Título.

MATHEUS MARTINS FERREIRA

**MANEJO DA PALHA RESIDUAL DE ARROZ IRRIGADO POR
INUNDAÇÃO, CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE GRÃOS NO
ANO SEGUINTE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), como requisito parcial para obtenção do grau de **Engenheiro Agrônomo**.

Trabalho de conclusão de curso defendido e aprovado em: 10 de Outubro de 2014.
Banca examinadora:

Prof. Dr. Amauri Nelson Beutler
Orientador
Curso de Agronomia - UNIPAMPA

Prof. Dr. Marcos Toebe
Curso de Agronomia - UNIPAMPA

Prof. Dr. Cleber Maus Alberto
Curso de Agronomia - UNIPAMPA

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus amados pais, José Caetano Soares Ferreira e Maria das Graças Martins Ferreira, maiores incentivadores e fontes inesgotáveis de apoio, amor e compreensão, e aos meus irmãos Marcelo Martins Ferreira e Maycon Martins Ferreira.

Dedico a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste curso.

AGRADECIMENTO

Ao Prof. Dr. Amauri Nelson Beutler pela orientação, pelo apoio para que eu realizasse o curso de graduação e pela orientação no trabalho de conclusão de curso.

Ao Prof. Dr. Gibran da Silva Alves pela orientação e pelo apoio para que eu realizasse o curso de graduação.

Aos demais professores, minha gratidão a todos que estão contribuindo na minha formação profissional.

A Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, pela oportunidade de realização deste curso.

Aos colegas do grupo de pesquisa Fernando Sintra Fulaneti, Giovane Matias Burg, Marcelo Raul Schmith, Maicon Zambeli e Evandro Ademir Deak.

A todos os colegas de curso pelo convívio e pelos momentos de amizade.

A todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

A UNIPAMPA e FAPERGS pelo apoio financeiro para a realização desta pesquisa.

RESUMO

MANEJO DA PALHA RESIDUAL DE ARROZ IRRIGADO POR INUNDAÇÃO, CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE GRÃOS NO ANO SEGUINTE

Autor: Matheus Martins Ferreira

Orientador: Amauri Nelson Beutler

Local e data: Itaquí, 10 de Outubro de 2014.

O arroz é uma cultura de importância econômica e alimentar que atinge elevado rendimento de grãos em condições de cultivos irrigados. No entanto, a quantidade de palha remanescente do cultivo anterior pode influenciar na produtividade de grãos da cultura. Este trabalho teve o objetivo de avaliar a influência da palha residual de arroz irrigado por inundação, crescimento e produtividade de grãos de arroz no ano seguinte. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5 x 4 x 2, com 4 repetições. Cinco doses de palha (0, 5, 10, 20 e 40 t ha⁻¹), quatro épocas de aplicação (3, 2, 1 e 0 meses antes da semeadura) e duas formas de manejo (superficial e incorporado). Foi utilizada a cultivar de arroz irrigado Irga 424 e na colheita foram determinados o número de panículas, a massa seca da parte aérea, a massa de 100 grãos e produção de grãos por vaso. As doses de palha remanescente do arroz, épocas de aplicação e manejo superficial ou incorporado no solo influencia a produtividade do arroz irrigado por inundação. Apenas quando há elevada dose de palha de arroz remanescente (40 t ha⁻¹) ocorre uma maior massa seca da parte aérea, quando a palha é aplicada na semeadura. A produtividade de grãos é maior quando se aplica a maior dose de palha, e adicionada três meses antes da semeadura sendo que nas doses inferiores a época de aplicação da palha não altera a produtividade. A máxima produtividade de grãos de arroz é obtida na dose de 37,3 t ha⁻¹ de palha remanescente no manejo incorporado e na dose de 32,7 t ha⁻¹ no manejo em que a palha permanece na superfície do solo, em solo com 1,6% de matéria orgânica.

Palavras-chave: *Oryza sativa*, restos culturais, manejo do solo, matéria orgânica.

ABSTRACT

MANAGEMENT OF RESIDUAL FLOODED RICE STRAW, GROWTH AND GRAIN YIELD IN THE FOLLOWING YEAR

Author: Matheus Martins Ferreira

Advisor: Amauri Nelson Beutler

Data: Itaqui, October 10, 2014.

Rice is a crop of economic and food significance that reaches higher grain yield under irrigated conditions. However, the amount of rice straw remaining can influence the rice grain yield. This work evaluates the influence of residual flooded rice straw on rice growth and grain yield in the following year. The experimental design was completely randomized, with factorial scheme 5 x 4 x 2, with 4 replications. Five doses of straw (0, 5, 10, 20 and 40 t ha⁻¹), four application times (3, 2, 1 and 0 months before sowing) and two management forms (surface and incorporated). Irrigated rice cultivar Irga 424 was used and at harvest were determined the number of panicles, shoot dry mass, 100 grain mass and grain yield per pot. Doses of rice straw remaining, application times and surface or incorporated into the soil management influences rice grain yield. Only when there is a high dose of remaining rice straw (40 t ha⁻¹) greater dry mass of shoots occurs when the straw is applied at sowing. Grain yield is higher when applying the higher dose of straw, with the lower doses the time of application of straw does not alter yield. The maximum rice grain yield is obtained at a dose of 37.3 t ha⁻¹ of straw remaining in the incorporate management and at 32.7 t ha⁻¹ in surface straw, in soil with 1.6% organic matter.

Keywords: *Oryza sativa*, crop residues, soil management, organic matter.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Número de panículas/vaso (A), massa de 100 grãos (B) e massa seca da parte aérea do arroz Irga 424 (C, D) em função das doses palha, épocas de aplicação da palha e da forma de aplicação em superfície ou incorporada..... 16
- Figura 2: Produtividade de grãos de arroz cultivar Irga 424 em função das doses de palha de arroz remanescente e época de aplicação da palha (A) em função do manejo (B)..... 17
- Figura 3: Foto das plantas de arroz aos 60 dias após a semeadura..... 20

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Análise de variância (ANOVA) para verificação da significância dos fatores isolados e suas interações, das doses (0, 5, 10, 20 e 40 t ha ⁻¹), época de aplicação (3, 2, 1 e 0 meses antes da semeadura) e manejo da palha do arroz (superficial e incorporada no solo) sobre as variáveis número de panículas, massa seca da parte aérea, massa de 100 grãos e produtividade de grãos de arroz cultivar Irga 424.....	15
---	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	9
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	13
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	15
4 CONCLUSÕES	22
5 REFERÊNCIAS.....	23
6 APÊNDICE.....	26

1 INTRODUÇÃO

O arroz é o segundo cereal com maior produção mundial e é um dos mais consumidos e importantes na alimentação humana, sendo mais de 75% cultivado no sistema irrigado por inundação. O Brasil é o nono maior produtor mundial de arroz e o maior fora do continente asiático (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2014). O Estado do Rio Grande do Sul é responsável por 61% da produção nacional de arroz, o qual é cultivado no sistema irrigado por inundação e, apresenta elevada produtividade comparada ao arroz de sequeiro (Sosbai, 2012). No RS, a região da Fronteira Oeste, com destaque para os municípios de Itaqui e Uruguaiana, é a maior produtora nacional desta commodity e responsável pelas maiores produtividades no estado, cuja área cultivada e a produtividade aumentam anualmente, evidenciando o potencial dessa região. No Estado do RS a área cultivada com arroz irrigado por inundação é superior a 1 milhão de hectares, cuja produtividade média é de 7.439 kg ha⁻¹ (Sosbai, 2012). Porém, produtividades superiores a 11.500 kg ha⁻¹ são obtidas quando são utilizadas tecnologias preconizadas para a cultura na Fronteira Oeste do RS (Beutler et al., 2014).

O Brasil é um dos países com maior área agrícola cultivada em sistema conservacionista denominado sistema plantio direto (PD), sendo cultivados no país 31,8 milhões de hectares em PD (Febrapdp, 2014), correspondente a mais da metade da área agrícola. No Estado do RS, mais de 80% da área agrícola é cultivada em PD (Febrapdp, 2014), com destaque às culturas em áreas de terras altas, como soja e milho, pela maior facilidade de adaptação e manejo do PD. No entanto, em áreas de arroz irrigado por inundação, em solos alagados e na presença de resíduos culturais na superfície do solo, pode ocorrer alta produção de ácidos orgânicos, limitando o crescimento e a produtividade do arroz (Johnson et al., 2006). Por esta razão, para o arroz irrigado, o sistema de preparo convencional é utilizado predominantemente no seu cultivo, em que é realizado o revolvimento do solo com arados e grades para preparar o solo, triturar, incorporar e acelerar a decomposição da palha remanescente do arroz do ano anterior, considerada prejudicial, quando em excesso. Para solos de várzea, 2 a 3 t ha⁻¹ de massa seca são suficientes para que se tenha uma adequada cobertura para implantação do PD, pois quantidades maiores, além de dificultarem a evaporação da água do solo, podem produzir ácidos orgânicos em níveis tóxicos ao arroz (Embrapa, 2005), resultando em menor germinação, crescimento radicular, menor peso e

altura de plântulas, com efeitos mais pronunciados nas fases iniciais de desenvolvimento da cultura (Sousa & Bortolon, 2002).

A redução da produtividade de arroz irrigado no PD pode ser consequência do efeito da palha de arroz que permanece na superfície do solo, e que em condições anaeróbicas, sua decomposição resulta em concentrações elevadas de ácidos orgânicos de cadeia curta, tóxicos, produzidos por microorganismos anaeróbicos, em maior concentração no PD e na região onde ocorre a maior concentração de raízes, conforme verificado por Bohnen et al. (2005) e Johnson et al. (2006). Durante a decomposição anaeróbica da palha, em solos alagados, os principais ácidos orgânicos produzidos são o fórmico, o acético, o propiônico e o butírico, que ocorrem geralmente na concentração de 0,1 a 14 mM (Angeles et al., 2006), sendo as maiores concentrações quando há maior quantidade de palha.

Em quantidades elevadas de ácidos orgânicos, a toxidez pode causar menor absorção de nutrientes pelas plantas (Camargo et al., 2001; Schmidt et al., 2007), entre estes, N, P, K Ca e Mg (Sousa & Bortolon, 2002), menor crescimento de raízes, peso e altura de plantas (Köpp et al., 2008). Além disso, foi constatada redução da produtividade de arroz irrigado, em quantidades de palha de arroz acima de 6,5 t ha⁻¹ (Camargo et al., 1995). Estes autores verificaram redução de 7% da produtividade de arroz com 20 t ha⁻¹ de palha de arroz moída e incorporada em Gleissolo, cujo fracionamento acelera a decomposição pelo maior contato dos microorganismos com a palha, em vasos com água estagnada. No entanto, os efeitos mais acentuados ocorreram com 40 t ha⁻¹ de palha, que reduziu 45,8% a produtividade de arroz.

No cultivo de arroz no campo, geralmente, ocorre um fluxo superficial de água que dilui o efeito dos ácidos orgânicos produzidos pela palha do arroz em decomposição anaeróbica, devido ao alagamento do solo, em função do carreamento e dispersão desses, diluindo o efeito prejudicial que pode causar redução da produtividade de grãos (Swarowsky et al., 2006). Em experimento de arroz, no campo, com circulação lenta de água na superfície do solo, a quantidade de até 24,5 t ha⁻¹ de palha remanescente de arroz não reduziu significativamente a produtividade de arroz irrigado (Beutler et al., 2012).

Além do efeito da circulação de água, segundo Köpp et al. (2006, 2012), os efeitos dos ácidos orgânicos estão estreitamente relacionados com o genótipo de arroz, sendo que alguns genótipos se desenvolvem em altas quantidades de ácidos orgânicos, indicando tolerância. Köpp et al. (2012) verificaram que alguns genótipos de arroz irrigado por inundação são mais tolerantes aos ácidos orgânicos e que há necessidade da seleção de genótipos mais tolerantes para obter altas produtividades em condições de alta concentração de ácidos orgânicos

resultantes da decomposição anaeróbica dos restos culturais.

Além de deixar o solo em pousio com a palha remanescente do arroz, na entressafra, outra opção é o cultivo de azevém no período de abril a setembro para pastagem, o qual também adiciona palha na superfície e pode produzir ácidos orgânicos e reduzir a produtividade de arroz. Bohnen et al. (2005), estudando concentração de ácidos orgânicos produzidos pela palha de azevém, após o alagamento, verificaram maior concentração do ácido acético, com pico de produção no quinto dia após o alagamento e, as diferenças entre o sistema plantio direto e convencional perduraram apenas até o décimo primeiro dia após o alagamento, quando a produção dos três ácidos orgânicos já estava reduzida, próximo a 10% dos valores máximos atingidos no quinto dia após alagamento. Swarowsky et al. (2004), verificaram redução de 12% na produtividade de arroz irrigado, cultivar Irga 419, em decorrência da palha remanescente de azevém ($2,8 \text{ t ha}^{-1}$) na superfície do solo, em condição de água estagnada e azevém dessecado apenas 10 dias antes do alagamento. Por outro lado, quando ocorreu à circulação de água no solo não houve redução da produtividade de arroz.

Diante deste cenário agrícola, na Fronteira Oeste do RS, os produtores de arroz realizam o preparo convencional com arações e gradagens preferencialmente após a colheita do arroz e em período superior a um mês antes da semeadura do arroz, visando acelerar a decomposição da palha remanescente da safra anterior e seus efeitos prejudiciais, que podem reduzir a produtividade da cultura. Muitas vezes é realizado o preparo convencional após a colheita do arroz e a área permanece em pousio até outubro, quando é realizado o controle de plantas daninhas com herbicidas e a semeadura da cultura. Entretanto, essas operações diminuem a rentabilidade da cultura em razão do custo dessas operações de preparo, nivelamento do solo e construção de taipas para o cultivo de arroz, sem resultados comprovados da necessidade e viabilidade de realização dessas operações, visto que, no PD é necessário apenas reconstruir algumas taipas, sem preparo prévio do solo.

Em relação à influência do manejo da palha na fertilidade do solo, Massoni et al. (2013) estudaram 7 manejos de palha de arroz irrigado de 7.098 e 7.477 kg ha^{-1} , em dois anos, respectivamente. Estes verificaram que independentemente do manejo pós colheita da palha de arroz remanescente não houve diferença nos teores de nitrogênio, fósforo e potássio disponíveis ao final do período da entressafra. Esses resultados corroboram a premissa de que o manejo da palha de arroz após a colheita é em função das condições operacionais de preparo da área, que visam adequar a área para a semeadura e reduzir possíveis efeitos fitotóxicos dos ácidos orgânicos do solo e não em razão do aumento da disponibilidade de nutrientes no solo

para a cultura. Estudando a disponibilidade de N e época de incorporação da palha remanescente do arroz, Knoblauch et al. (2014) verificaram que aos 91 dias de alagamento, a concentração de NH_4^+ no solo foi de 56 mg kg^{-1} na testemunha, 72 mg kg^{-1} e 73 mg kg^{-1} no tratamento com 60 e 30 dias de incorporação da palha, respectivamente. Quando a palha foi incorporada no dia do alagamento ou 15 dias antes, a concentração de NH_4^+ foi de 28 e 54 mg kg^{-1} , respectivamente.

Ainda, durante o alagamento pode ocorrer toxidez de ferro que é influenciada pela palha. A concentração de Fe^{2+} na solução do solo aumenta até atingir um máximo, diminuindo em seguida e é aumentada pelo acréscimo na matéria orgânica do solo (Doran et al., 2006; Sousa et al., 2009; Kögel-Knabner et al., 2010). Esse comportamento varia em razão do pH, da temperatura, do teor e da degradabilidade da matéria orgânica, do tamanho e diversidade microbiana e da composição do solo, principalmente da concentração e reatividade dos óxidos de Fe (Kögel-Knabner et al., 2010).

Na literatura, são escassos os estudos conclusivos, do efeito de quantidades remanescentes de palha de arroz na produtividade de arroz irrigado, o que leva os produtores a realizarem inúmeras operações de preparo para acelerar a decomposição e redução da palha com vistas à mitigação dos possíveis efeitos nocivos na produtividade, relatados pelos produtores e ainda pouco quantificados. Assim, há necessidade de maiores estudos para cultivares utilizadas na região da Fronteira Oeste do RS, maior produtora de arroz do país. A cultivar de arroz irrigado Irga 424 é indicado às regiões onde é comum a ocorrência de temperaturas baixas durante as fases de desenvolvimento e floração do grão, como ocorre na região sudeste do RS e, possui tolerância à toxidez de Fe e alto potencial produtivo, chegando a $14.000 \text{ kg ha}^{-1}$.

O objetivo deste estudo foi avaliar a influência da palha residual de arroz irrigado por inundação, crescimento e produtividade de grãos de arroz no ano seguinte.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em viveiro agrícola revestido com sombrite transparente, na safra 2013/14, nas coordenadas geográficas 29° 12' 28" S e 56° 18' 28" W e 64 m de altitude, em um Plintossolo Háptico (EMBRAPA, 2013). O clima é do tipo Cfa, subtropical úmido sem estação seca definida, com verões quentes (Peel et al., 2007).

O solo foi coletado na camada de 0-20 cm e passado em peneira de 4 mm, cujas características químicas foram: pH H₂O= 5,1; P= 12,6 mg dm⁻³ K= 0,153; Ca= 2,7; Mg= 0,7; Al= 0,6 cmol_c dm⁻³ V= 50%; MO= 1,6%. O teor de matéria orgânica (MO) foi determinado pelo método Walkley-Black e os cátions trocáveis (Ca, Mg e Al), o P e K extraíveis (método Mehlich-1) e o pH em água foram determinados, conforme descrito por Tedesco et al. (1995).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial, 5 x 4 x 2, com 4 repetições constituídas de vasos de 7,5 L (6 L solo vaso⁻¹), totalizando 160 vasos. Os tratamentos foram obtidos pela combinação de cinco doses de massa seca de palha de arroz: 0, 5, 10, 20 e 40 t ha⁻¹; quatro épocas de aplicação: 3, 2, 1 e 0 meses antes da semeadura do arroz; e 2 formas de aplicação: na superfície do solo e incorporado e homogeneizado com todo o solo do vaso. A palha de arroz foi coletada na superfície do solo, logo após a colheita na safra 2012/2013, secada em estufa a 65 °C até peso constante, triturada em frações menores que 10 cm de comprimento e armazenada em local seco até a data da sua utilização no experimento. Todos os vasos foram preenchidos com solo três meses antes da semeadura e permaneceram nas mesmas condições ambientais, expostas a sol e chuva em viveiro, até a data de semeadura. No tratamento com aplicação das quantidades de palha, no manejo de palha incorporada, o solo foi retirado dos vasos e secado ao sol durante um dia para permitir misturar a palha com o solo, visto que os vasos não eram perfurados.

A adubação foi realizada três meses antes da semeadura com 25 mg kg⁻¹ de N, na forma de uréia; adubação com 175 mg kg⁻¹ de P, na forma de superfosfato triplo; e, 150 mg kg⁻¹ de K na forma de cloreto de potássio. A adubação foi triturada em moinho tipo willey e homogeneizada em todo solo do vaso. Dia 11/10/2013 oito sementes arroz cultivar Irga 424 foram semeadas por vaso, em uma linha central e transversal, na profundidade de 3 cm e 20 dias após foi realizado o desbaste, deixando duas plantas equidistantes por vaso. Nesta data, no estádio V3/V4, foi aplicado 50% do restante do N (175 mg kg⁻¹), na forma de uréia, em cobertura, e no dia seguinte foi aplicada a lâmina de água de 4 cm, mantida constante até a colheita do arroz. Aos 40 dias após a semeadura, no estádio de diferenciação da panícula

(R0), foram aplicados os outros 50% de N, na forma de uréia. Durante o cultivo do arroz foram realizados dois rodízios semanais dos vasos.

A colheita foi realizada em 03/2014 e foram avaliados o número de panículas, a massa seca da parte aérea, massa de 100 grãos e produtividade de grãos de arroz/vaso.

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) para verificação da significância dos fatores isolados e suas interações, das doses (0, 5, 10, 20 e 40 t ha⁻¹), época de aplicação (3, 2, 1 e 0 meses antes da semeadura) e manejos da palha do arroz (superficial e incorporada no solo), para cada uma das variáveis: número de panículas, massa seca da parte aérea, massa de 100 grãos e produtividade de grãos de arroz da cultivar Irga 424 a 5% de probabilidade de erro. Para essas análises seguiu-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial, 5 x 4 x 2, com 4 repetições. Quando significativo foram ajustadas equações de regressão para os fatores quantitativos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A quantidade de palha de arroz remanescente antes do cultivo, a época de aplicação da palha e o manejo coma palha superficial ou incorporada influenciaram os componentes e o rendimento de grãos de arroz irrigado por inundação (Tabela 1 e Figuras 1 e 2).

O número de panículas e a massa seca da parte aérea não foram influenciados pelas doses e épocas de aplicação, quando a palha remanescente de arroz permaneceu na superfície do solo. No entanto, quanto à palha remanescente foi incorporada ao solo no dia da semeadura, o número de panículas e a massa seca aumentaram linearmente 20 e 14%, respectivamente, quando a palha foi aplicada na semeadura, comparado à aplicação três meses antes da semeadura que resultou em menor crescimento do arroz (Figura 1A e C). Por outro lado, a massa de 100 grãos teve comportamento inverso com valor 5% superior quando a palha foi incorporada 3 meses antes da semeadura, comparado a incorporação na data da semeadura (Figura 1B). Assim, o menor número de panículas foi parcialmente compensado por uma maior massa de 100 grãos de arroz.

Tabela 1. Análise de variância (ANOVA) para verificação da significância dos fatores isolados e suas interações, das doses (0, 5, 10, 20 e 40 t ha⁻¹), época de aplicação (3, 2, 1 e 0 meses antes da semeadura) e manejo da palha do arroz (superficial e incorporada no solo) sobre as variáveis número de panículas, massa seca da parte aérea, massa de 100 grãos e produtividade de grãos de arroz cultivar Irga 424.

Causas da variação	Graus de liberdade	Quadrado médio			
		Número de panículas	Massa seca da parte aérea	Massa de 100 grãos	Produtividade de grãos
Doses (A)	4	47,13 ^{ns}	872,74**	0,019 ^{ns}	5338,10**
Épocas (B)	3	310,12**	774,20**	0,050**	109,35 ^{ns}
Manejo (C)	1	5,62 ^{ns}	2728,28**	0,072**	4,39 ^{ns}
AXB	12	52,93 ^{ns}	54,47 ^{ns}	0,008 ^{ns}	480,90**
AXC	4	85,14 ^{ns}	1226,93**	0,011 ^{ns}	527,81**
BXC	3	264,69**	529,31**	0,025*	261,58 ^{ns}
AXBXC	12	65,93 ^{ns}	81,58 ^{ns}	0,011 ^{ns}	148,96 ^{ns}
Resíduo	120	37,87	127,63	0,0083	146,05
CV (%)		10,11	8,47	4,08	10,23

**,* e ^{ns} Significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente.

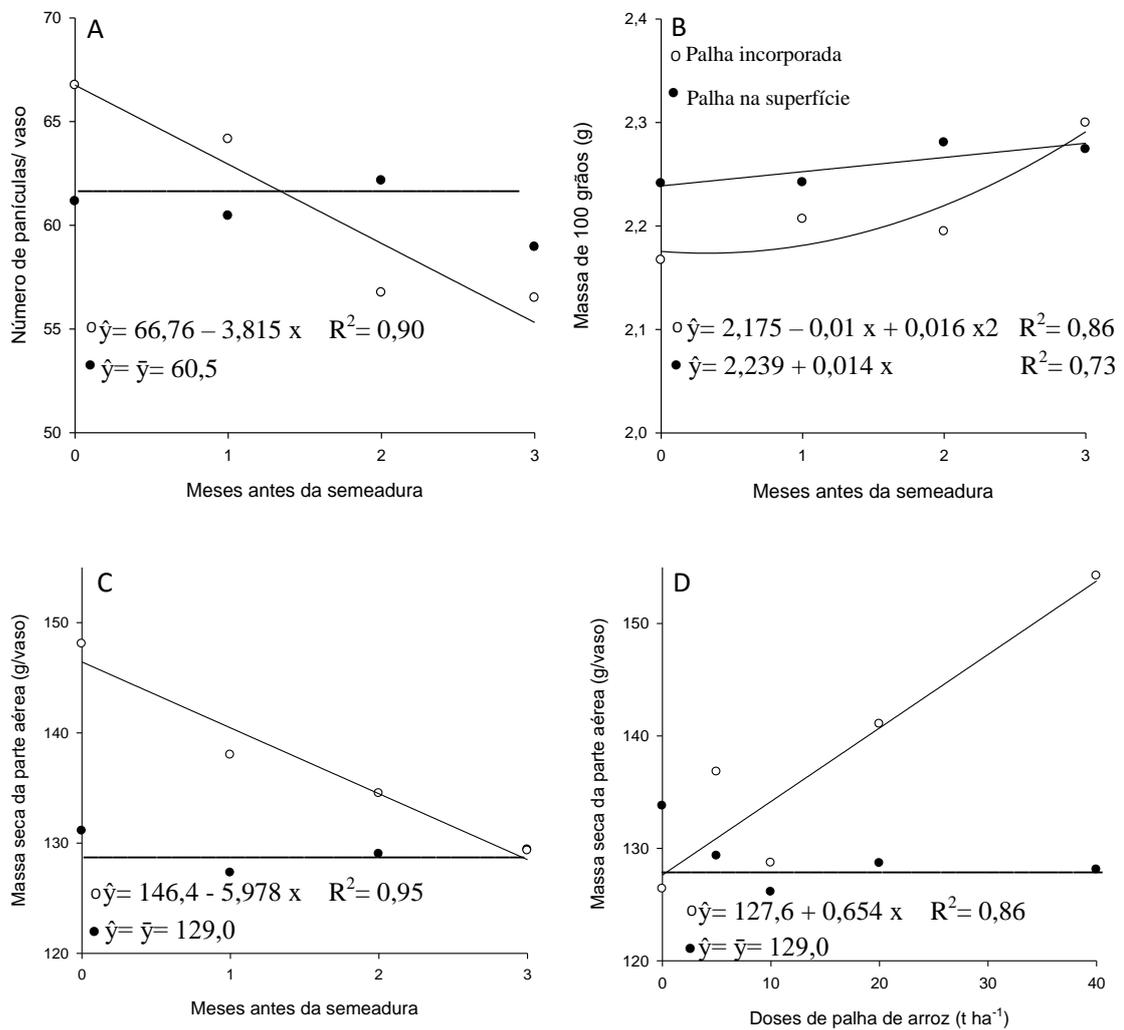


Figura 1. Número de panículas/vaso (A), massa de 100 grãos (B) e massa seca da parte aérea do arroz Irga 424 (C, D) em função das doses palha, épocas de aplicação da palha e da forma de aplicação em superfície ou incorporada.

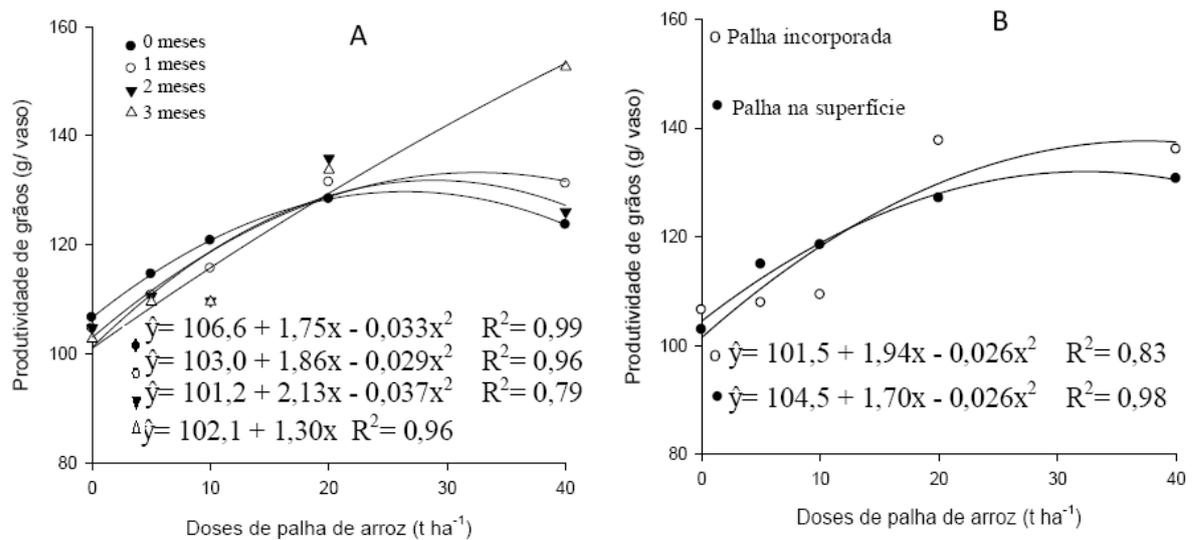


Figura 2. Produtividade de grãos de arroz cultivar Irga 424 em função das doses de palha de arroz remanescente e época de aplicação da palha (A) em função do manejo (B).

O maior número de panículas, massa seca da parte aérea e peso de 100 grãos quando a palha foi incorporada ao solo possivelmente deve-se à decomposição mais rápida da palha quando incorporada, alterando a dinâmica do nitrogênio (N) e liberando mais N mineral na solução do solo para as plantas, comparado a condição em que palha permanece na superfície do solo (Linguist et al., 2006) ou na ausência de palha (Linguist et al., 2006; Knoblauch et al., 2014). Em razão disso, Linguist et al. (2006) inclusive recomendam a aplicação de menos N para o arroz irrigado quando a palha é incorporada ao solo.

Em relação à época de semeadura, alguns trabalhos verificaram que ocorre a imobilização de N quando a aplicação/incorporação da palha é realizada menos de 30 dias antes do alagamento (Knoblauch et al., 2014), fato que possivelmente não ocorreu nesse trabalho visto que o número de panículas e massa seca foi superior quando a palha foi incorporada na data da semeadura e que maiores doses de palha resultaram em maior produção de massa seca (Figura 1 D). Esses resultados obtidos nesse estudo possivelmente devem-se ao baixo teor de MO no solo (1,6%) que diminui a imobilização e a aplicação de N por meio da uréia, 20 dias após a emergência, que aumenta a disponibilidade de N para o arroz. Linguist et al. (2006) também verificaram que não houve imobilização de N com aplicação de 7 t ha⁻¹ de palha de arroz em solo com 3,4% de MO e que aplicação do N fertilizante reduz a imobilização e estimula a mineralização e absorção de N pelo arroz e foi superior quando foi adicionada palha no solo.

Outro fator que pode ter contribuído para o menor número de panículas e massa seca da parte aérea quando a palha foi incorporada meses antes da semeadura é a exposição do solo às condições ambientais, secando e umedecendo/alagando o solo, visto que os vasos não eram perfurados embaixo. Isto favoreceu perdas de N por volatilização da amônia (NH_3) ou, no alagamento temporário, utilização de NO_3^- pelos microrganismos como acceptor de elétrons durante a decomposição da MO e perdas de N principalmente como N_2O e N_2 , conforme destacado por (Ponnamperua, 1984). Isso possivelmente resultou em perdas de N mineralizado da palha do arroz incorporada ao solo meses antes da semeadura. Linqvist et al. (2006) verificaram que a incorporação de 7 t ha^{-1} de palha resultou em decomposição mais rápida da palha comparada a palha superficial e, a quantidade de N mineral foi maior nos tratamentos com palha na entressafra do arroz irrigado por inundação, comparado ao solo sem palha. Já Massoni et al. (2013) estudaram sistemas de manejo da palha de arroz após a colheita e verificaram incremento na quantidade de N mineral no início da entressafra dos cultivos de arroz, porém, ao final do período de 164 dias (entressafra) a quantidade de N foi equivalente a quantidade inicial.

Quando a palha permaneceu na superfície do solo não houve influência da época de aplicação no número de panículas e massa seca da parte aérea, pois as perdas de N possivelmente foram maiores que no sistema incorporado minimizando o efeito da palha. Segundo Sangoi et al. (2003) a aplicação da palha na superfície do solo aumenta a quantidade de amônia volatilizada, em relação aos tratamentos sem palha ou com palha incorporada, provavelmente em função da decomposição dos resíduos na superfície do solo, que ao liberar N, parte se transforma em amônia e se perde para a atmosfera.

A massa seca da parte aérea não foi alterada pelas doses de palha quando a palha remanescente permaneceu na superfície do solo. Porém, quando a palha remanescente foi incorporada ao solo, a massa seca aumentou linearmente 20%, quando foi aplicada até 40 t ha^{-1} de palha, comparado a testemunha sem palha (Figura 1D).

A produtividade de grãos aumentou com o acréscimo na quantidade de palha remanescente de arroz até a dose de $37,3$ e $32,7 \text{ t ha}^{-1}$, resultado em acréscimo de produtividade de 35 e 26% no manejo da palha incorporada e superficial, respectivamente, comparado ao tratamento sem palha. Já na dose de 5 t ha^{-1} , quantidade de palha remanescente normalmente presente na superfície do solo antes da semeadura do arroz (Beutler et al., 2014), a produtividade do arroz foi 8 e 7% superior no manejo da palha incorporada e superficial, respectivamente, comparado ao tratamento sem palha. Esses resultados são contraditórios aos

encontrados na literatura. Camargo et al. (1995) verificaram aumento de 2% na produtividade de arroz até a dose de 6,5 t ha⁻¹ de palha de arroz incorporada ao solo e posterior decréscimo de 7% da produtividade até 20 t ha⁻¹, porém com alto teor inicial de MO (10,5%). No campo, Beutler et al. (2014) não observaram alteração da produtividade de arroz em função da quantidade de palha remanescente. Linqvist et al. (2006) verificaram maior produtividade de arroz quando a palha permaneceu no solo, comparado ao solo com palha removida. Esse resultado diferenciado e benéfico da palha de arroz, neste estudo, deve-se possivelmente ao baixo teor inicial de MO do solo (1,6%), valor inferior ao encontrado nas lavouras orizícolas (Linqvist et al., 2006; Beutler et al., 2012, Beutler et al., 2014). Isto resultou em efeitos benéficos e máximos da palha do arroz na produtividade de grãos até as quantidades de palha de 37,3 e 32,7 t ha⁻¹, no manejo da palha incorporada e superficial, respectivamente, comparado ao tratamento sem palha.

A produtividade de grãos de arroz não diminuiu com até 20 t ha⁻¹ de palha remanescente de arroz, em razão da época de manejo da palha antes da semeadura. No entanto, em condições de campo, a quantidade de palha remanescente na época da semeadura é inferior a 10 t ha⁻¹ (Beutler et al., 2014). Porém, no cultivo do arroz em condições de campo os teores de matéria orgânica no solo são bastante superiores ao encontrado nesse estudo (MO= 1,6%) e quantidades menores de palha podem ter efeito prejudicial visto que já tem teor elevado de matéria orgânica no solo e assim potencializa o efeito nocivo em função da maior quantidade total de MO. Isto explica a resposta do arroz às doses crescentes de palha remanescente até 37,3 e 32,7 t ha⁻¹ no manejo incorporado e palha superficial, respectivamente, e na dose de 40 t ha⁻¹ a melhor resposta do arroz foi quando a aplicação da palha foi três meses antes da semeadura (Figura 2 B e C). O excesso de palha de arroz remanescente causa vários efeitos prejudiciais para o arroz irrigado por inundação, descritos em vários estudos e em Camargo et al. (2001), e que são amenizados quando a palha é aplicada três meses antes da semeadura, pois permite a decomposição e redução da quantidade de palha e dos efeitos nocivos até a semeadura do arroz.

Assim, verifica-se que aportado nesses resultados e nos encontrados na literatura não é apenas a quantidade de palha que influencia no crescimento e produtividade do arroz, mas também o manejo e o teor inicial de MO do solo.

Poucos sintomas de toxidez de Fe foram observados visualmente nas plantas de arroz (Figura 3), mesmo nas maiores quantidades de palha de arroz, visto que a palha aumenta a disponibilidade de Fe^{2+} na solução do solo e sua toxidez ao arroz, pela oxidação da matéria orgânica que fornece energia para os processos vitais dos microrganismos e é fonte de elétrons para a redução e diminuição dos valores de potencial redox (Eh) (Sousa et al., 2004). Segundo Schmidt et al. (2013) o alagamento do solo diminui rapidamente os valores de Eh e na segunda semana já está com condição de oxirredução propícias à redução do Fe e liberação desse para a solução do solo na forma reduzida e tóxica de Fe^{2+} , atingindo o pico de máxima liberação de Fe aos 11 dias após o alagamento.

A reduzida toxidez de Fe nas plantas, caracterizada por poucos sintomas visuais nas folhas (Figura 3), possivelmente deve-se em decorrência da cultivar Irga 424 ser tolerante e foi a razão da sua utilização neste estudo, visando mitigar o efeito do Fe^{2+} tóxico, cuja disponibilidade é aumentada pela matéria orgânica do solo, que foi adicionada em diferentes quantidades ao solo. Neste trabalho, as doses crescentes de palha tiveram efeito benéfico e aumentaram a produtividade de grãos de arroz. Outro aspecto que contribuiu para a reduzida toxidez de ferro nas plantas foi a baixa acidez do solo ($\text{pH}= 5,1$) e baixos teores de matéria orgânica ($\text{MO}= 1,6\%$) no solo utilizado no estudo. Segundo Sousa et al. (2009), em solos ácidos com altos teores de MO e óxidos de Fe, as concentrações Fe^{2+} na solução do solo podem atingir o pico de 300 mg L^{-1} após quatro semanas de alagamento e solos levemente ácidos apresentam concentrações máximas de 50 a 100 mg L^{-1} de Fe^{2+} .



Figura 3. Foto das plantas de arroz aos 60 dias após a semeadura.

O efeito tóxico dos ácidos orgânicos foi pouco expressivo nesse estudo, visto que, doses crescentes de palha resultaram em maior produtividade de grãos de arroz e que o número de panículas do arroz foi maior quando a palha foi aplicada na data da semeadura do arroz. Isto visto que, altas quantidades de palha liberam ácidos orgânicos tóxicos a cultura do arroz (Camargo et al., 1995; Johnson et al., 2006; Knoblauch et al., 2014) e que esperava-se redução do crescimento e produtividade do arroz nas doses mais elevadas de palha de até 40 t ha⁻¹, comparado a ausência ou menores doses de palha. Isso ocorreu possivelmente em razão do baixo teor de MO no solo (1,6%) comparado aos estudos de (Camargo et al., 1995) e a condições de campo em que as quantidades de MO são pelo menos 2 vezes superior (Beutler et al., 2014) e desta forma potencializa o efeito prejudicial da palha remanescente de arroz no solo.

4 CONCLUSÕES

As doses de palha remanescente do arroz, épocas de aplicação e manejo superficial ou incorporado no solo influenciam no crescimento e produtividade do arroz irrigado por inundação.

Elevada dose de palha de arroz remanescente no solo resulta em maior produtividade de grãos quando a palha é incorporada 3 meses antes da semeadura, sendo que nas doses inferiores a época de aplicação da palha não altera a produtividade.

A máxima produtividade de grãos de arroz é obtida na dose de $37,3 \text{ t ha}^{-1}$ de palha remanescente no manejo incorporado e na dose de $32,7 \text{ t ha}^{-1}$ no manejo em que a palha permanece na superfície do solo, em solo com 1,6% de matéria orgânica.

Em baixo teor de matéria orgânica do solo não há necessidade de manejo para a redução da quantidade de palha, nas quantidades encontradas a campo.

5 REFERÊNCIAS

- ANGELES, O.R.; JOHNSON, S.E. AND BURESH, R.J. Soil solution sampling for organic acids in rice paddy soils. **Soil Science Society of American Journal**, v.70, p. 48-70, 2006.
- BEUTLER, A.N.; MUNARETO, J.D.; GRECO, A.M.F.; POZZEBON, B.C.; GALON, L.; GUIMARÃES, S.; BURG, G.; SCHMIDT, M.R.; DEAK, E.A.; GIACOMELI, R.; ALVES, G.S. Manejo do solo, palha residual e produtividade de arroz irrigado por inundação. **Semina: Ciências Agrárias**, v.35, p.1153-1162, 2014.
- BEUTLER, A.N.; MUNARETO, J.D.; RAMÃO, C.J.; GALON, L.; DIAS, N.P.; POZZEBON, B.C.; RODRIGUES, L.A.T.; MUNARETO, G.S.; GIACOMELI, R.; RAMOS, P.V. Propriedades físicas do solo e produtividade de arroz irrigado em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.1601-1607, 2012.
- BOHNEN, H.; SILVA, L.S. da; MACEDO, V.R.M.; MARCOLIN, E. Ácidos orgânicos na solução de um Gleissolo sob diferentes sistemas de cultivo com arroz irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.475-480, 2005.
- CAMARGO, F.A. de O.; ZONTA, E.; SANTOS, G. de A.; ROSSIELLO, R.O.P. Aspectos fisiológicos e caracterização da toxidez de ácidos orgânicos voláteis em plantas. **Ciência Rural**, v.31, p.523-529, 2001.
- CAMARGO, F.A. de O.; SANTOS, G. de A.; ROSSIELLO, R.O.P.; ZONTA, E. Incorporação de palha de arroz em um Gleissolo e efeitos no rendimento da cultura do arroz irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.30, p.983-987, 1995.
- DORAN, G.; EBERBACH, P.; HELLIWELL, S. The impact of rice plant roots on the reducing conditions in flooded rice soils. **Chemosphere**, v.63, p.1892-1902, 2006.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Cultivo do arroz irrigado no Brasil**. 2005. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozIrigadoBrasil>>. Aces. 10 de jun. 2013.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 2013. 353p.
- FEBRAPDP – Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha. 2012. **Evolução da área de plantio direto no Brasil**. Disponível em: <http://www.febrapdp.org.br/download/PD_Brasil_2013.I.pdf>. Aces. 29 de ago. 2014.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. **FaoStat**. Available at: <<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>>. Acces. 13 out. 2014.
- JOHNSON, S.E.; ANGELES, O.R.; BRAR, D.S.; BURESH, R.J. Faster anaerobic decomposition of a brittle straw rice mutant: implications for residue management. **Soil Biology & Biochemistry**, v.38, p.1880-1892, 2006.

KNOBLAUCH, R.; ERNANI, P.R.; DESCHAMPS, F.C.; GATIBONI, L.C.; WLAKER, T.C.; LOURENÇO, K.S.; MARTINS, A.A.; PEGORARO, A. Rice straw incorporated just before soil flooding increases acetic acid formation and decreases available nitrogen. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.117-184, 2014.

KÖGEL-KNABNER, I.; AMELUNG, W.; CAO, Z.; FIEDLER, S.; FRENZEL, P.; JAHN, R.; KALBITZ, K.; KÖLBL, A.; SCHLOTTER, M. Biogeochemistry of paddy soils. **Geoderma**, v.157, p.1-14, 2010.

KÖPP, M.M.; LUZ, V.K.; COIMBRA, J.L.M.; MAIA, L.C.; SOUSA, R.O.; CARVALHO, F.I.F.; OLIVEIRA, A.C. Evaluation of rice genotypes under propionate stress. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.39, p.1375-1384, 2008.

KÖPP, M.M.; LUZ, V.K.; COIMBRA, J.L.M.; SOUSA, R.O.; CARVALHO, F.I.F.; OLIVEIRA, A.C. Níveis críticos dos ácidos acético, propiônico e butírico para estudos de toxicidade em arroz em solução nutritiva. **Acta Botanica Brasilica**, v.21, p.147-154, 2006.

KÖPP, M.M.; LUZ, V.K.; COIMBRA, J.L.M.; SOUSA, R.O.; CARVALHO, F.I.F.; OLIVEIRA, A.C. Avaliação de genótipos de arroz sob o efeito fitotóxico interativo dos ácidos acético, propiônico e butírico. **Semina: Ciências Agrárias**, v.33, p.519-532, 2012.

LINQUIST, B.A.; BROUDER, S.M.; HILL, J.R. Winter straw and water management effects on soil nitrogen dynamics in California rice systems. **Agronomy Journal**, v.98, p.1050-1059, 2006.

MASSONI, P.F.S.; MARCHESAN, E.; GROHS, M.; SILVA, L.S da; ROSO, R. Nutrientes do solo influenciados por diferentes manejos da palha após a colheita do arroz irrigado. **Revista Ciência Agronômica**, v.44, p.205-214, 2013.

PEEL, M.C.; FINLAYSON, B.L.; MCMAHON, T.A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology Earth System Sciences**, v.11, p.1633-1644, 2007.

PONNAMPERUMA, F.N. **Straw as a source of nutrients for wetland rice**. In: Organic matter and rice. Manila: International Rice Research Institute, 1984, p.117-136.

SANGOI, L.; ERNANI, P.R.; LECH, V.A.; RAMPAZZO, C. Volatilização de N-NH₃ em decorrência da forma de aplicação de uréia, manejo de resíduos e tipo de solo, em laboratório em decorrência da forma de aplicação de uréia, manejo de resíduos e tipo de solo, em laboratório. **Ciência Rural**, v.33, p.687-692, 2003.

SCHMIDT, F.; BORTOLON, L.; SOUZA, R. O. de. Toxidez pelos ácidos propiônico e butírico em plântulas de arroz. **Ciência Rural**, v.37, p.720-726, 2007.

SCHMIDT, F.; FORTES, M. de A.; WESZ, J.; BUSS, G. L.; SOUSA, R. O. de. Impacto do manejo da água na toxidez por fero no arroz irrigado por alagamento. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.1226-1235, 2013.

SOSBAI: Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. **Arroz irrigado: Recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Itajaí: SOSBAI, 2012. 179p.

SOUSA, R.O. de; BORTOLON, L. Crescimento radicular e da parte aérea do arroz (*Oryza sativa* L.) e absorção de nutrientes, em solução nutritiva com diferentes concentrações de ácido acético. **Revista Brasileira Agrociência**, v.8, p.231-235, 2002.

SOUSA, R.O.; CAMARGO, F.A.O.; VAHL, L.C. **Solos alagados (Reações de redox)**. In: MEURER, E.J. Fundamentos de química do solo. 2. Ed. Porto Alegre: Genesis, 2004. p.207-236.

SOUSA, R.O.; VAHL, L.C.; OTERO, X.L. **Química de solos alagados**. In: MELO, V.F.; ALLEONI, L.R.F. Química e mineralogia do solo. Parte II - Aplicações. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p.485-528.

SWAROWSKY, A.; RIGHES, A.A.; MARCHEZAN, E.; RHODEN, A.C.; GUBIANI, E.I. Manejo da palha de azevém, da adubação de base e da água de drenagem na produção de arroz irrigado. **Ciência Rural**, v.34, p.393-397, 2004.

SWAROWSKY, A.; RIGHES, A.A.; MARCHEZAN, E.; RHODEN, A.C.; GUBIANI, E.I. Concentração de nutrientes na solução do solo sob diferentes manejos do arroz irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.344-351, 2006.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2. Ed. Porto Alegre: Departamento de Solos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim técnico, 5).

APÊNDICE A

Fotos dos vasos utilizados no experimento na data da semeadura, aos 20 dias (entrada da água), aos 60 dias e na colheita.

