

Universidade Federal de Santa Catarina
Centro de Ciências Agrárias
Curso de Agronomia

ARROZ IRRIGADO NO RIO GRANDE DO SUL: UM ENFOQUE SOBRE
FERTILIDADE DO SOLO

Célito Pescador Mezzari

Florianópolis/SC
2012

Universidade Federal de Santa Catarina
Centro de Ciências Agrárias
Curso de Agronomia

ARROZ IRRIGADO NO RIO GRANDE DO SUL: UM ENFOQUE SOBRE
FERTILIDADE DO SOLO

Relatório de estágio de conclusão do Curso de Agronomia

Célito Pescador Mezzari

Orientador: Prof. Gustavo Brunetto

Supervisor: Sergio Iraçu Gindri Lopes

Empresa: Instituto Rio Grandense do Arroz

Florianópolis/SC

2012/2

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) pela oportunidade concedida e por disponibilizar um ensino de alta qualidade.

Ao IRGA, pela oportunidade e acolhimento.

Ao professor Gustavo Brunetto, pela orientação, amizade, ensinamentos, e dedicação.

A todos os professores pelos ensinamentos e amizades.

A professora Rosete Pescador, pelo incentivo, amizade e sugestões.

Aos professores do Departamento de Engenharia Rural (ENR), em especial, ao Prof. Jucinei José Comin, Paulo Emílio Lovato e Antônio Augusto Alves Pereira, pelos ensinamentos e amizades.

A todos os pesquisadores do IRGA, em especial ao pesquisador Felipe Carmona, pela orientação, amizade, ensinamentos e sugestões.

Aos meus colegas e amigos do Centro de Ciências Agrárias (CCA-UFSC), pelas amizades e estudos.

Aos colegas do Laboratório de Análise de Solo, Água e Tecidos Vegetais do CCA/UFSC, pelas amizades, discussões, estudos e companheirismo.

Aos meus pais, Arino Mezzari (*in memoriam*) e Maria Pescador Mezzari, pelo incentivo e apoio incondicional durante toda a minha vida.

E a todos que me apoiaram nestes cinco anos de dedicação, muito obrigado!!!

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Experimento com diferentes sistemas de cultivo de arroz irrigado, evidenciando o sistema de plantio direto de arroz irrigado.....	11
Figura 2.	Aplicação de ureia em solo seco no sistema convencional (a) e semeadura do arroz no sistema pré-germinado na EEA (b).....	13
Figura 3.	Vista geral do experimento com irrigação intermitente (a) e vista geral da implantação do experimento para mitigação da toxidez por Fe (b).....	14
Figura 4.	Vista geral do experimento com diferentes plantas de cobertura (a) e emergência de plantas de arroz sobre serradela dessecada (b).....	16
Figura 5.	Caixas de metal instaladas para coleta de GEE em experimento com irrigação intermitente (a) e semeadura de arroz no experimento com uso de efluentes como água de irrigação (b).....	18
Figura 6.	Emergência da soja plantada em área de várzea no sistema de microcamalhão (a) e milho plantado no sistema de camalhão, sendo irrigado por sulcos (b).....	20
Figura 7.	Dia do arroz na Expointer (a), roteiro técnico para manejo de alta produtividade de arroz (b), dia de campo internacional de integração lavoura-pecuária (c) e roteiro técnico para plantio do arroz em solo seco (d).....	21
Figura 8.	Ilustração dos coletores de solução do solo.....	28
Figura 9.	Valores de pH da solução em solos, com e sem plantas de arroz, submetidos ao alagamento.....	29
Figura 10.	Valores do potencial de oxirredução (Eh) em solos, com e sem plantas de arroz, submetidos ao alagamento.....	31
Figura 11.	Valores da condutividade elétrica (CE) de diferentes solos, com e sem plantas de arroz, conforme o tempo de alagamento.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Participação em eventos durante o período de estágio.....	21
Tabela 2.	Atributos químicos, na camada de 0-20cm de solos usados no experimento.....	26

RESUMO

O estado do Rio Grande do Sul (RS) se destaca na produção de arroz irrigado no Brasil, sendo o maior produtor do grão no país. A adoção de práticas e tecnologias que visam à manutenção ou aumento da fertilidade do solo é fundamental para se obter altos rendimentos, o que proporciona sustentabilidade econômica à cadeia produtiva. Entretanto, o RS apresenta uma grande diversidade de solos, que quando alagados para o cultivo do arroz modificam a solução do solo e disponibilizam nutrientes em diferentes quantidades e intensidades. O trabalho objetivou acompanhar atividades realizadas no Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA), na Estação Experimental do Arroz (EEA), principalmente com relação a fertilidade do solo, e verificar as modificações na solução de diferentes solos do RS após o alagamento, com e sem o cultivo de plantas de arroz. O estágio de conclusão de curso foi realizado no período de 20 de agosto a 10 de novembro de 2012. O presente trabalho foi dividido em dois capítulos. O primeiro trata da descrição de atividades realizadas no IRGA e segundo aborda as atividades em um experimento realizado em casa de vegetação. Durante o período do estágio participou-se de diversas atividades no IRGA, como em trabalhos e experimentos relacionados às áreas de sistemas de cultivo, manejo da adubação, disponibilidade de nutrientes em solos alagados, plantas de cobertura, integração lavoura pecuária, tecnologias mais limpas e rotação de culturas. Além disso, foram acompanhadas as atividades no Laboratório de Análise de Solo, além de vários eventos relacionados à atividade orizícola. No experimento em casa de vegetação observaram-se modificações na solução de diferentes solos do RS, sendo observado o aumento dos valores de pH, condutividade elétrica e diminuição dos valores de potencial de oxirredução, ao longo do período de alagamento. Alguns solos com presença de plantas apresentaram valores menores de pH e condutividade elétrica, a partir de 45 dias de alagamento.

Palavras chaves: *Oryza sativa*, solos alagados, química do solo, modificações eletroquímicas, várzea.

SUMÁRIO

Agradecimentos.....	i
Lista de Figuras.....	ii
Lista de Tabelas.....	lii
Resumo.....	iv
Sumário.....	v

CAPITULO I - Atividades realizadas no Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA), Estação Experimental do Arroz (EEA)

1. INTRODUÇÃO.....	06
2. OBJETIVOS.....	08
2.1. Objetivo geral.....	08
2.1. Objetivos específicos.....	08
3. DESCRIÇÃO DA INSTITUIÇÃO.....	09
4. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS.....	10
4.1. Execução e apoio em experimentos da EEA.....	10
4.1.1. Sistemas de cultivo.....	10
4.1.2. Manejo da adubação.....	11
4.1.3. Disponibilidade de nutrientes em solos alagados.....	13
4.1.4. Plantas de cobertura.....	14
4.1.5. Integração lavoura pecuária.....	16
4.1.6. Tecnologias mais limpas.....	17
4.1.7. Rotação de culturas.....	18
4.2. Laboratório de análise de solo.....	20
4.3. Participação em eventos.....	21
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	22
6. ANÁLISE CRÍTICA DO ESTÁGIO DE CONCLUSÃO.....	23

CAPITULO II – Modificações eletroquímicas e disponibilidade de nutrientes ao longo do tempo em solos alagados do Rio Grande do Sul cultivados com arroz

1. INTRODUÇÃO.....	24
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
4. CONCLUSÕES.....	33
5. REFERÊNCIAS.....	34

CAPITULO I - Atividades realizadas no Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA).

1. INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa*) é um dos principais cereais produzidos e consumidos no mundo, sendo considerado um dos alimentos mais importantes para a nutrição humana, pois é a base alimentar de três bilhões de pessoas (FAO, 2006). O Brasil é um dos principais produtores mundiais, produzindo na safra 2011/2012, 11,6 milhões de toneladas (CONAB, 2012), sendo o estado do Rio Grande do Sul (RS) o principal produtor no país, contribuindo com 61% da produção nacional.

No RS destaca-se a produção do arroz irrigado por inundação, onde se alcançam produtividades superiores a 14 Mg ha⁻¹ (ICEPA, 2009). A produtividade média no RS na safra 2011/12 foi de 7,4 Mg ha⁻¹ (SOSBAI, 2012), sendo estes altos rendimentos obtidos, próximos aos índices alcançados nos Estados Unidos e nos países asiáticos, onde a cultura teve sua origem.

Os solos cultivados com arroz irrigado no RS são encontrados principalmente nos ecossistemas de várzeas (solos de várzea), formados por sedimentos de partes altas da paisagem e que se acumulam nas planícies de rios, lagoas e lagunas, apresentando uma característica comum: a formação em condições variadas de deficiência de drenagem (EMBRAPA, 2005). Os solos ao serem cultivados com arroz são submersos pela água de irrigação. Esse processo repercute em transformações no solo, passando do ambiente aeróbio para anaeróbio, ocasionando modificações eletroquímicas e favorecendo a disponibilidade de nutrientes no solo, principalmente P, K e Ca (Camargo et al., 1999). Além disso, com o processo de alagamento ocorre a “auto calagem”, alcançando valores de pH próximo de 6,0 a 6,5, favorecendo a precipitação do Al trocável (Ponnamperuma, 1972; Gonçalves & Meurer, 2010).

A área de fertilidade do solo ganha importância cada vez maior, pois os fertilizantes contribuem com um elevado custo de produção. Sua eficiência agrônômica está relacionada a diversas práticas de manejo, especialmente época e densidade de semeadura, assim como o adequado manejo da água de irrigação (Menezes et al., 2012). A não observação dessas premissas resulta em baixa resposta a adubação, tornando o retorno do investimento do insumo

baixo ou nulo. Neste contexto, a manutenção dos teores dos nutrientes em níveis adequados é fundamental para manutenção da fertilidade do solo; e o fomento de práticas conservacionistas de cultivo do solo (cultivo mínimo e plantio direto) aumenta o potencial produtivo, por causa do acréscimo da fertilidade e o controle da erosão (Munareto et al., 2010).

Apesar da melhoria em sua qualidade pela inundação, os solos cultivados com arroz irrigado no RS e em SC apresentam, em geral, fertilidade natural de baixa à moderada, tornando a prática da adubação necessária para que se alcancem rendimentos que viabilizem economicamente a cultura (EMBRAPA, 2005). Os solos de várzea, por serem formados por diferentes tipos sedimentos (orgânicos, argilosos, arenosos, etc.) acabam sendo muito heterogêneos, resultando em comportamento diferente dos demais solos quando submetidos ao processo produtivo. Estes solos, de modo geral são periodicamente inundados, o que desencadeia uma série de mudanças químicas e eletroquímicas que afetam profundamente a disponibilidade de nutrientes e, conseqüentemente, o crescimento da cultura do arroz (Lopes, 1996).

O estágio de conclusão de curso foi realizado no Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA), na Estação Experimental do Arroz (EEA), no período de 20 de agosto à 10 de novembro, totalizando 450 horas. O presente relatório está dividido em dois capítulos. O primeiro apresenta a descrição do instituto e das atividades realizadas. Já o segundo capítulo, apresenta um trabalho realizado durante o período de estágio, objetivando verificar as modificações eletroquímicas e a disponibilidade de nutrientes na solução do solo, conforme o tempo de alagamento de diferentes ordens de solos.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Acompanhar e participar das atividades desenvolvidas na cultura do arroz na Estação Experimental do Arroz (EEA) do Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA), principalmente aquelas relacionadas à fertilidade do solo.

2.2. Objetivos específicos

- Compreender e acompanhar os diferentes sistemas de cultivos de arroz irrigado e a relação com o manejo da adubação utilizados no RS.
- Acompanhar e participar de experimentos e projetos relacionados à fertilidade do solo e química do solo, na cultura do arroz irrigado desenvolvidos na EEA.
- Verificar e participar de experimentos realizados na EEA, com a utilização de plantas de cobertura e integração de lavoura-pecuária na várzea.
- Verificar e participar de experimentos e projetos de tecnologias mais limpas para a cultura do arroz irrigado.
- Acompanhar e participar de experimentos com sistemas de rotação de culturas adotados no RS, principalmente com a utilização da soja e do milho na várzea.
- Acompanhar e participar de eventos realizados pelo IRGA ou por empresas do setor orizícola.
- Verificar a disponibilidade de nutrientes e as modificações na solução de diferentes solos do RS, de acordo com o alagamento e cultivo de plantas.

3. DESCRIÇÃO DA INSTITUIÇÃO

O IRGA teve sua origem pela iniciativa do Sindicato Arrozeiro do RS, que para dinamizar a cultura no estado em 1930 transformou o sindicato em Instituto do Arroz do Rio Grande. Após 10 anos o IRGA foi transformado em entidade pública, através do Decreto-Lei nº 20, tendo como finalidade principal incentivar, coordenar e superintender a defesa da produção, da indústria e do comércio de arroz produzido no estado (IRGA, 2012a).

O IRGA possui a missão de promover o desenvolvimento sustentável do setor orizícola e dos sistemas produtivos de várzea, através da geração e difusão de conhecimentos, informações e tecnologias, propondo práticas e políticas de interesse coletivo.

Atualmente o IRGA possui sede em Porto Alegre e a instituição conta com uma Estação Experimental em Cachoeirinha, além de seis subestações distribuídas nas regiões orizícolas do RS. Por meio da Divisão de Pesquisa e Divisão de Assistência Técnica e Extensão Rural, presta orientação e representa 18,5 mil produtores, em 137 municípios gaúchos.

A estação experimental possui cerca de 30 pesquisadores que estão divididos nas áreas de melhoramento, fitotecnia, pós-colheita, solos e águas, e produção de sementes. Além disso, a estação possui um laboratório de análise de solo e água, que presta serviços aos orizicultores.

O IRGA, na sua história, ajudou a montar toda a infraestrutura de canais de irrigação, barragens e estações de bombeamento em alguns municípios arrozeiros. Na sua parte tecnológica desenvolveu trabalhos para classificar arroz e promover os estoques reguladores do Governo Federal.

Atualmente, o IRGA está mais dedicado a questões de tecnologia, pesquisa e socioeconomia, sempre atualizando informações estatísticas do setor ou participando de ações voltadas ao desenvolvimento da orizicultura.

4. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

4.1. Execução e apoio em experimentos da EEA

Nesta parte do trabalho será descrita todas as atividades realizadas em experimentos na EEA.

4.1.1. Sistemas de cultivo de arroz irrigado e níveis de adubação

Durante o período do estágio acompanhou-se cultivo de arroz nos sistemas de plantio direto, cultivo mínimo, convencional, mix e pré-germinado (Figura 1). Os sistemas de cultivo utilizados na cultura do arroz irrigado no RS diferenciam-se, basicamente, quanto à forma e à época de preparo do solo, aos métodos de semeadura e ao manejo inicial da água. No RS, na safra 2011/12 predominou o cultivo mínimo, com preparo antecipado do solo e semeadura direta (63,7% da área), seguido dos sistemas convencional (25,6% da área) e pré-germinado (10,7% da área) (SOSBAI, 2010; 2012).

Na EEA são conduzidos diversos experimentos com o intuito de comparar os sistemas de cultivo mais utilizados no RS, onde cada sistema apresenta vantagens e desvantagens. O sistema pré-germinado apesar de controlar eficientemente o arroz vermelho e outras plantas daninhas é um sistema de cultivo que demanda mais mão-de-obra e horas máquina em relação aos demais sistemas. Já o sistema de cultivo mínimo e plantio direto, reduzem a quantidade de plantas daninhas aquáticas, comuns no sistema pré-germinado. Entretanto, as produtividades são menores que no sistema pré-germinado. Desta forma, tem-se verificado que muitas vezes a melhor forma é rotacionar os sistemas de cultivo, permitindo que se utilizem melhor as vantagens de cada sistema e se maximize os recursos disponíveis na propriedade.

O manejo do solo ocasiona alterações nas suas propriedades, especialmente na disponibilidade de nutrientes e no condicionamento físico. Em regiões com o uso intensivo do solo, em que predominam pequenas propriedades agrícolas, que não dispõem de área suficiente para praticar a rotação de culturas, o arroz é cultivado anualmente sobre a mesma área. No entanto, são escassas as informações sobre o adequado manejo pós-colheita destas áreas, bem como a caracterização quanto à resposta à adubação nos

diferentes sistemas de cultivo, para melhorar a implantação, estabelecimento e desenvolvimento do arroz em cultivo contínuo (Munareto et al., 2010).

As atividades que foram realizadas foram à marcação dos experimentos com sistemas de cultivo, recomendações de adubação, pesagem de materiais, coleta de amostras de solo, quantificação do banco de sementes de arroz vermelho, plantio e aplicações de adubo.



Figura 1. Experimento com diferentes sistemas de cultivo de arroz irrigado, evidenciando o sistema de plantio direto de arroz irrigado.

4.1.2. Manejo da adubação

Durante o estágio foram realizadas várias atividades com relação ao manejo da adubação, entre elas, aplicações de adubos nitrogenados em experimentos da EEA, sendo a grande maioria em solo seco (Figura 2a) e no estágio V3-V4 (Counce et al., 2000). Na adubação nitrogenada é recomendado o parcelamento da dose, sendo a primeira parcela aplicada em solo seco, antes que seja iniciada a irrigação, nos sistemas de semeadura em solo seco. Após a aplicação do N é que deve ocorrer a irrigação, pois as perdas pela volatilização do N são muito menores, aumentando a eficiência do uso do N (Knoblauch et al., 2012). Devido o plantio de arroz no RS predominar com semeadura em solo seco (cultivo mínimo, convencional e plantio direto), a primeira aplicação de N ocorre em solo seco em grande parte do estado. Isso colabora para que se alcancem altas produtividades, aumentando a eficiência da adubação nitrogenada, e dessa forma diminuindo a poluição ambiental das lavouras de arroz.

No manejo da fertilidade do solo, um dos elementos mais influenciados nos sistemas de produção de arroz irrigado é o nitrogênio (N), que é requerido pela cultura em grandes quantidades e proporciona maior resposta em produção de grãos (Duarte et al., 2007). O correto manejo da adubação é fundamental para uma eficiência dessa prática na cultura do arroz irrigado (SOSBAI, 2012), pois repercute na otimização da adubação realizada, aumentando a resposta das plantas.

No arroz irrigado recomenda-se parcelar a adubação nitrogenada em duas ou três vezes, conforme o ciclo da cultivar. Entretanto, isto ainda não está muito claro, pois conforme a época de semeadura existe uma resposta diferente da cultura. Nesse sentido, vem sendo conduzido na EEA um experimento com parcelamento da adubação nitrogenada, em duas ou três vezes ao longo do ciclo da cultura. Neste experimento são utilizadas quatro cultivares contrastantes em ciclo: muito precoce, precoce, médio e tardio, além de diversas épocas de semeadura, buscando-se otimizar a adubação nitrogenada. Mas, são seguidas as recomendações de adubação nitrogenada, no que tange ao total da dose aplicada.

Outro experimento realizado na EEA utiliza diferentes manejos da adubação de base do arroz no sistema pré-germinado para maior eficiência de uso de nutrientes. O experimento é replicado em mais dois locais, Viamão e Camaquã. No período do estágio foi acompanhado o trabalho constantemente, por causa do interesse do autor pelo sistema de cultivo pré-germinado. As atividades realizadas neste experimento foram auxiliar nas operações de implantação, semeadura, aplicações de adubo e manejo geral da cultura (Figura 2b). Já com relação ao sistema pré-germinado, existem muitas variações de manejo de adubação realizadas pelos orizicultores, principalmente na aplicação dos adubos na base, no momento de plantio. As aplicações são realizadas incorporadas ao lodo ou antes da semeadura, junto com a semeadura, com plantas em estágio V1/V2 e estágio V3/V4.

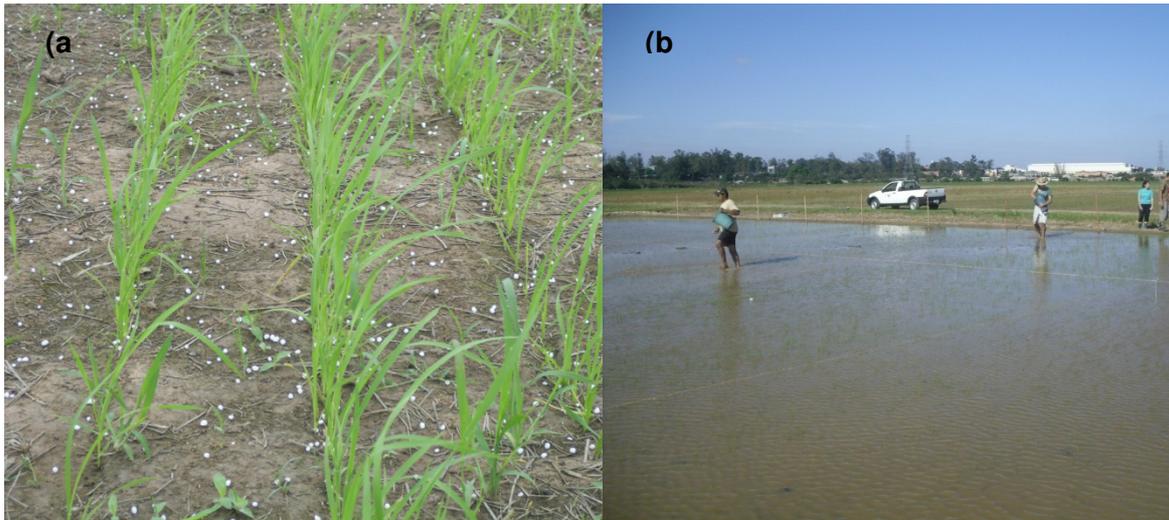


Figura 2. Aplicação de ureia em solo seco no sistema convencional (a) e semeadura do arroz no sistema pré-germinado na EEA (b).

4.1.3. Disponibilidade de nutrientes em solos alagados

Com relação a disponibilidade de nutrientes em solos alagados, na EEA são desenvolvidos alguns trabalhos sobre o início da irrigação nas lavouras e sobre irrigação intermitente. O primeiro trabalho tem como objetivos avaliar a dinâmica de íons na solução do solo e a Eficiência Agronômica do Uso de Nitrogênio (EAUN) pela cultura do arroz, em função da adoção de diferentes métodos de irrigação intermitente. São utilizados cinco métodos de irrigação intermitente em comparação à irrigação contínua (Figura 3a). Espera-se com esse estudo, compreender a influência dos métodos de irrigação sobre a dinâmica de íons no solo e a utilização de nitrogênio pelas plantas de arroz.

Outro trabalho que foi realizado, relacionou-se à toxidez por ferro (Fe). Nesse estudo, objetivou encontrar medidas para mitigar esses sintomas. A utilização da irrigação intermitente pode favorecer o desenvolvimento da planta e preservar o potencial produtivo do arroz em solos com altos teores de Fe, provavelmente em função da entrada de oxigênio no solo e consequente oxidação do Fe^{+2} solúvel, que passa à forma insolúvel Fe^{+3} . Assim, foram implantados experimentos em Camaquã (Figura 3b) e na EEA, em áreas com histórico de toxidez por ferro, aonde as atividades realizadas foram na implantação e condução dos mesmos, realizando supressões de irrigação, aplicações de adubo e outros tratamentos culturais.

Nos cultivos de arroz com semeadura em solo seco (cultivo mínimo, convencional e plantio direto), a entrada da água na lavoura ocorre com as plantas de arroz nos estádios V3-V4. Com isso, se espera adequada disponibilidade de nutrientes, diminuição de elementos tóxicos como o alumínio trocável (Al^{3+}) e controle das plantas espontâneas.

No alagamento do solo, o oxigênio molecular é consumido pelos microrganismos aeróbios, que são substituídos pelos anaeróbios, que utilizam compostos oxidados do solo como receptores de elétrons, ocasionando o acúmulo de compostos reduzidos. Com essas modificações, o pH do solo estabiliza-se próximo a neutralidade e ocorre o aumento da disponibilidade de diversos elementos (Gonçalves & Meurer, 2010; Fraga et al., 2009).

No RS, os solos utilizados para o cultivo do arroz irrigado, por alagamento são oriundos de diferentes materiais de origem (Gonçalves & Meurer, 2009). Cada solo apresenta características específicas e espera-se que a dinâmica de disponibilização dos nutrientes seja diferente.

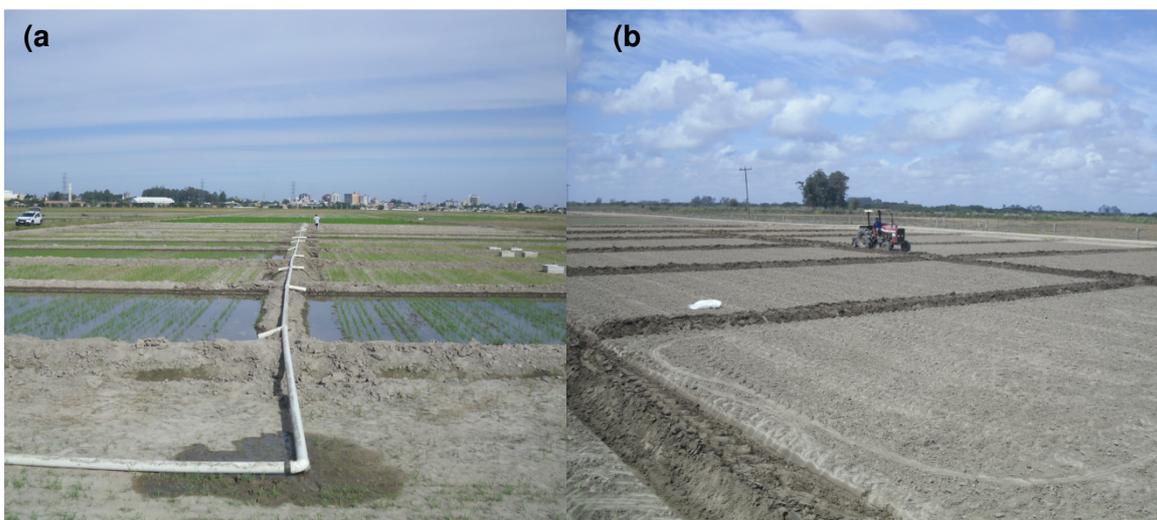


Figura 3. Vista geral do experimento com irrigação intermitente (a) e vista geral da implantação do experimento para mitigação da toxidez por Fe (b).

4.1.4. Plantas de cobertura

Com a crescente utilização dos sistemas de cultivo mínimo e plantio direto, além da utilização do componente animal nas propriedades, vem se observando um aumento no uso de plantas de cobertura em várzeas. As plantas de cobertura mais utilizadas no RS são o azevém (*Lolium multiflorum*),

serradela (*Ornythopus micranthsu*), aveia (*Avena sativa*) e o cornichão (*Lotus corniculatus*).

Concomitante ao período do estágio participou-se de várias atividades relacionadas ao uso de plantas de cobertura, principalmente envolvendo o azevém. As atividades concentraram em medições de matéria seca produzida, conforme diferentes manejos de semeadura, adubação ou até sistema de cultivo do arroz.

Além disso, acompanhou-se integralmente um experimento que avaliou a produção de fitomassa de aveia, azevém, serradela e cornichão na entressafra, simulando-se pastejos e verificando se é possível aplicar antes o adubo de base do arroz, nas plantas de cobertura (Figura 4a). Nesse experimento participou-se ativamente e acompanharam-se todas as atividades realizadas durante o estágio, perfazendo simulações de pastejo, quantificando a produção de fitomassa e realizando o manejo de sacos de decomposição (“litter bags”).

Ainda foi participado de trabalhos para ajustar a recomendação de adubação, realizando o plantio de arroz em áreas com histórico de plantas de cobertura e integração com animais, em fazendas situadas em Mostardas, Rio Grande e Pelotas. As atividades foram desde calcular recomendações de adubação, marcação de experimento, plantio e realização de adubações.

Durante as atividades também se acompanhou um experimento com diferentes tempos de dessecação de serradela. O objetivo do trabalho foi encontrar o tempo ideal de dessecação da serradela antes de plantar o arroz, visto que a serradela é uma planta primaveril e muitos agricultores acabam realizando o plantio do arroz sobre a mesma logo após a dessecação, e isso não tem repercutido em altas produtividades. As atividades realizadas foram a marcação de parcelas, coleta de fitomassa, plantio e tratos culturais como a irrigação e controle de plantas daninhas.

O uso de plantas de cobertura promove principalmente a ciclagem de nutrientes (Anghinoni et al., 2011), diminuição do banco de sementes de arroz vermelho, diminuição de ácidos orgânicos das plantas arroz (Bortolon et al., 2009) e incorporação do N, quando leguminosas (Munareto et al., 2010).

Além disso, têm-se os benefícios de quando se utiliza o gado para pastoreio. Entretanto, as atuais recomendações de adubação para o arroz não

contemplam os sistemas integrados de produção utilizados nas regiões orizícolas.

A utilização de plantas de cobertura está aumentando e torna-se necessário o ajuste das recomendações, pois grande parte das curvas de resposta que deram origem às atuais recomendações foram realizadas em solos com preparo antecipado, sem a utilização de plantas de cobertura.

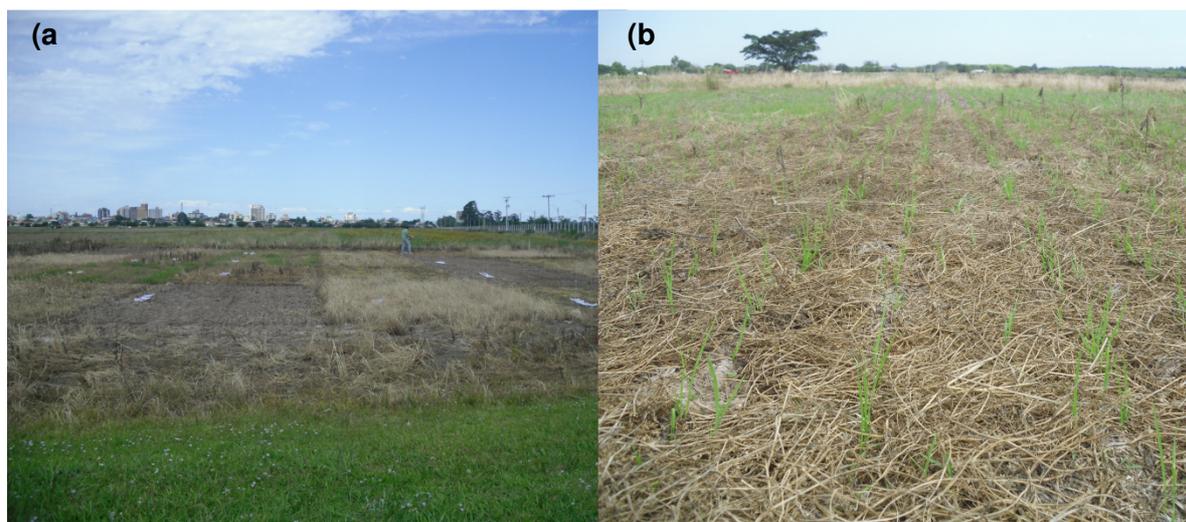


Figura 4. Vista geral do experimento com diferentes plantas de cobertura (a) e emergência de plantas de arroz sobre serradela dessecada (b).

4.1.5. Integração lavoura pecuária

A integração lavoura-pecuária em ambientes de várzea é de grande importância no RS, uma vez que o estado apresenta grande aptidão para os dois sistemas de produção. Dessa forma, iniciou-se um experimento com o objetivo de verificar a influência positiva da integração lavoura pecuária sobre a melhoria da fertilidade do solo, produção do arroz, sustentabilidade ambiental e rendimento econômico do sistema. Este experimento foi instalado em Mostardas (RS) e possui área de 16 ha, mas será implantado também em outras localidades. O experimento visa simular os principais sistemas de integração vigentes na metade Sul do estado, com diferentes composições florísticas no inverno e velocidades de rotação variáveis entre arroz, soja e pecuária.

As atividades realizadas nesse trabalho foram o apoio na implantação, marcação e identificação de parcelas, coleta de amostras de solo para

caracterização e formação de mapas de fertilidade, além de coleta de amostras de solo para quantificação do banco de sementes de arroz vermelho.

A área de integração lavoura-pecuária nos últimos anos tem ganhado maior importância, por causa dos benefícios de se inserir o integrante animal na propriedade. A integração de lavouras com pastagens em sistemas de cultivo mínimo ou plantio direto pode resultar em ganhos ao ambiente, como pelo aumento da biodiversidade e ciclagem de nutrientes (Anghinoni et al., 2011). A presença de animais pode afetar positivamente as características químicas, físicas e biológicas do solo, aumentando a sua qualidade e reorganizando o sistema solo-planta-animal em um patamar mais complexo e sustentável (Carvalho et al., 2011).

4.1.6. Tecnologias mais limpas

O IRGA, em parceria com algumas instituições e empresas, criou o projeto Tecnologias Mais Limpas para divulgação e orientação de produtores, técnicos e estudantes.

As Tecnologias Mais Limpas envolvem ações e atitudes na lavoura e na propriedade, com o objetivo de produzir alimentos com o máximo de eficiência no uso de insumos, dos recursos naturais e energia, com menor impacto ambiental, de acordo com a legislação vigente. Entre as recomendações está a época correta de semeadura e irrigação racional; aplicação de herbicidas nas doses recomendadas e na época correta, e eficiência no uso de energia de máquinas e implementos.

Durante o período do estágio acompanharam-se principalmente três ações do projeto de Tecnologias Mais Limpas que foram: experimentos avaliando a emissão de gases de efeito estufa, com efluentes e o selo ambiental.

Em emissão de gases de efeito estufa (GEE), o IRGA tem feito um grande trabalho em parceria com a UFRGS e os experimentos avaliam a quantidade de GEE que são produzidos, comparando-se sistemas de cultivo, doses de adubação, épocas de adubação, além de época de entrada e saída da água nas lavouras. Para a coleta dos gases é necessário certa infraestrutura sendo instaladas caixas de metal, acopladas com bateria e ventiladores. Nesse projeto, estão envolvidos vários estudantes da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e as coletas de gases foram realizadas semanalmente (Figura 5a).

Já o experimento com a utilização de efluentes para a irrigação é desenvolvido em parceria com a Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN), que é uma empresa de tratamento de esgoto. O objetivo é utilizar o efluente resultante do tratamento de esgoto na irrigação para o arroz. Os tratamentos do experimento são as diferentes fontes da água de irrigação, que é água de barragem própria da EEA (considerada como testemunha), água do rio Gravataí e água resultante do tratamento de esgoto. As atividades realizadas consistiram em marcações de parcelas, ajuste no nivelamento dos quadros, semeadura, e manutenção da lâmina de água (Figura 5b).

Já, quanto ao selo ambiental, este instrumento foi criado pelo IRGA para premiar as propriedades rurais que se adequarem à legislação ambiental e aos preceitos de tecnologias mais limpas. A iniciativa visa ainda reconhecer os esforços dos produtores rurais distinguindo e valorizando o arroz produzido.

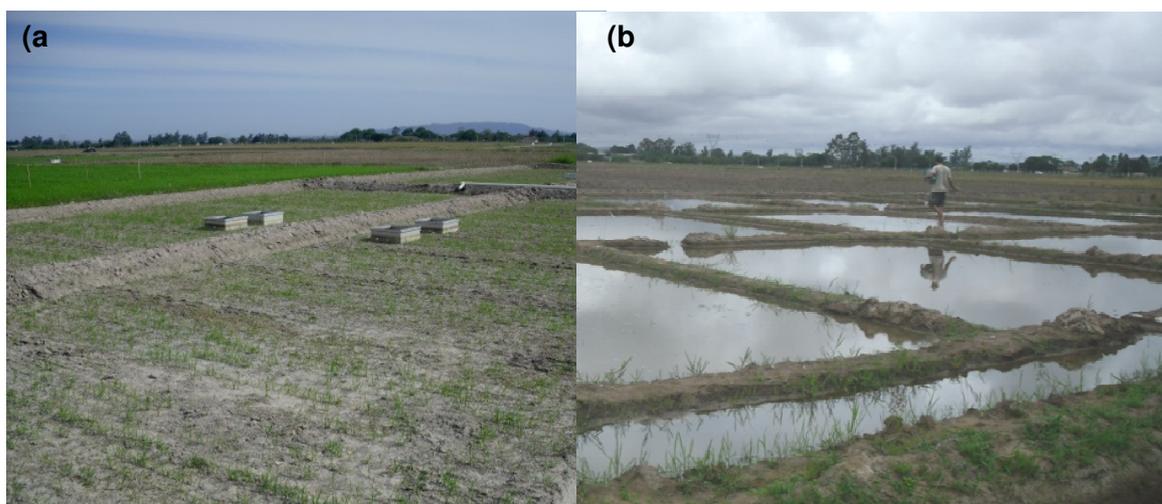


Figura 5. Caixas de metal instaladas para coleta de GEE em experimento com irrigação intermitente (a) e semeadura de arroz no experimento com uso de efluentes como água de irrigação (b).

4.1.7. Rotação de culturas

Na EEA existem vários experimentos e ensaios realizados com soja e milho, buscando-se obter informações para fazer recomendações do plantio na várzea dessas duas espécies. O plantio da soja na várzea já é recomendado pelo IRGA, no sistema de microcamalhões, onde os canais são utilizados para drenar a área nas épocas de precipitações elevadas e também são utilizados para irrigação por sulcos em períodos de estiagem.

As lavouras de arroz historicamente apresentam baixa rotação com outras culturas, dessa forma os cultivos consecutivos acabam depauperando o solo, e obtendo-se rendimentos menores (Schoenfeld, 2010). As principais vantagens da utilização de rotações de cultura no arroz irrigado são o controle do arroz vermelho, aumento da ciclagem de nutrientes, incorporação de N quando se utiliza leguminosas, e diminuição de ácidos orgânicos (do cultivo de arroz) e do banco de sementes de arroz vermelho (Munareto et al., 2010; Bohnen et al., 2005; Anghinoni et al., 2011).

Durante o período do estágio foram acompanhados alguns experimentos com soja e milho cultivados em ambientes de várzea. Na cultura da soja, um dos trabalhos foi com níveis de adubação para a soja, pretendendo-se ajustar a recomendação de adubação quando cultivada na área de várzea, devido à mudança da condição de alagamento e diminuição da disponibilização de nutrientes no solo. O objetivo do experimento foi verificar o nível de resposta à aplicação de P_2O_5 e K_2O na linha de semeadura no cultivo da soja na várzea. As atividades realizadas foram a marcação das parcelas, pesagem de materiais e o auxílio na realização da semeadura (Figura 6a).

O milho é uma planta que pouco tolera o excesso hídrico quando comparada a soja, e ainda não é recomendado o seu plantio nas áreas de várzea, pelo IRGA. Na EEA o milho é plantado em caráter experimental sobre camalhões, e assim como na soja os sulcos funcionam para drenagem e irrigação. Na cultura do milho, acompanhou-se os trabalhos em um experimento com níveis de adubação de base, verificando-se também a curva de resposta a adição de P_2O_5 e K_2O , pois a disponibilidade de nutrientes é muito reduzida em áreas de várzea drenadas para cultivo do milho. As atividades nesse experimento concentraram-se nas operações de plantio, desbaste, irrigação e aplicações de adubação nitrogenada (Figura 6b).

Na EEA também se tem feito um trabalho para selecionar cultivares de soja e híbridos de milho mais tolerantes ao excesso hídrico, com o objetivo de recomendar aos agricultores o plantio de materiais que terão potencial de produção maior em anos com altas precipitações, quando cultivados na área de várzea. As atividades desenvolvidas foram auxiliar no plantio, preparo de materiais, pesagem de sementes e adubos, e marcação de parcelas.

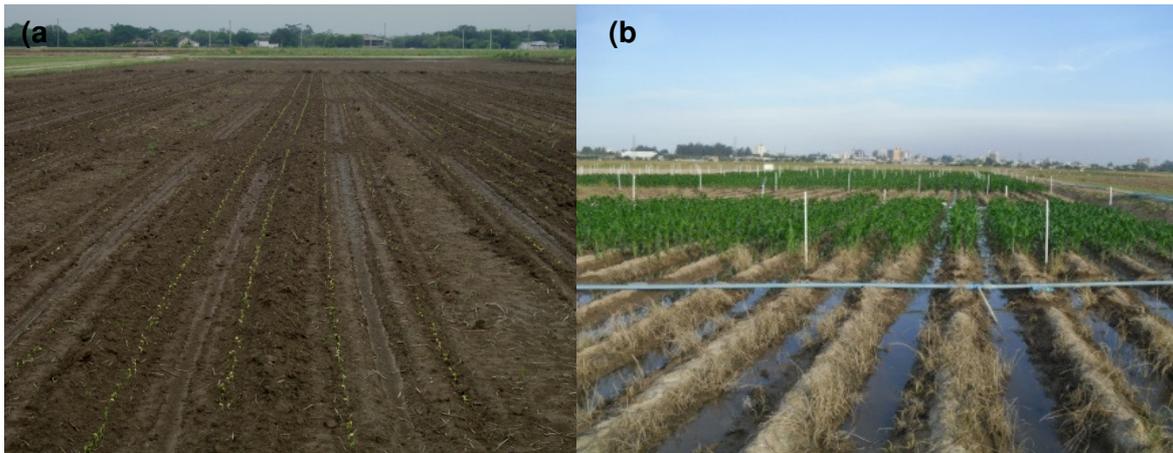


Figura 6. Emergência da soja plantada em área de várzea no sistema de microcamalhão (a) e milho plantado no sistema de camalhão, sendo irrigado por sulcos (b).

4.2. Laboratório de análise de solo

O Instituto Rio Grandense do Arroz possui um laboratório de análise de solo desde 1959, que presta serviços aos orizicultores gratuitamente. O laboratório é de grande valia aos agricultores, possibilitando através das análises do solo, monitorar a fertilidade das lavouras e realizar as recomendações de adubação.

O laboratório chega a realizar a análise de 7.000 amostras por ano. As análises são concentradas entre os meses de abril a outubro, período que coincide com a entressafra.

Durante o período do estágio participou-se nas atividades de rotina do laboratório, tais como secagem de amostras de solo, moagem e preparo das amostras para a análise.

4.3. Participação em eventos

Uma das funções do IRGA é difundir as tecnologias geradas na área de pesquisa. Para promover a divulgação o instituto promove inúmeros encontros em diversas regiões do estado do RS. No período de estágio foi possível participar de alguns eventos sobre diversos temas ligados a produção de arroz irrigado, descritos na Tabela 1 e Figura 7.

Tabela 1: Participação em eventos durante o período de estágio.

Evento	Dia	Local/RS
Dia do Arroz na Expointer: - Promoção do Arroz no mercado internacional. - Rotação de culturas: Soja e milho na várzea	30/08/2012	Esteio
2º Seminário de Iniciação Científica do IRGA	14/09/2012	Cachoeirinha
Roteiro técnico: Manejo do arroz Irrigado para altas produtividades	3 e 4/10/2012	Paraíso do Sul
Dia de campo internacional de Integração Lavoura Pecuária	10/10/2012	Santo Antônio da Patrulha
Roteiro técnico: Plantio do arroz em solo seco	14/11/12	Cachoeirinha



Figura 7. Dia do arroz na Expointer (a), roteiro técnico para manejo de alta produtividade de arroz (b), dia de campo internacional de integração lavoura-pecuária (c), roteiro técnico para plantio do arroz em solo seco (d).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No arroz irrigado as técnicas de cultivo e práticas de manejo que melhoram a fertilidade do solo são fundamentais para o sucesso da lavoura e manutenção da cadeia orizícola. O RS destaca-se nacionalmente, tanto na produção quanto na geração e transferência de tecnologias. O IRGA tem papel fundamental na geração de conteúdo científico e sua difusão aos orizicultores. O resultado de todo esse processo são as altas produtividades alcançadas, mesmo em grandes propriedades.

Muitas das tecnologias geradas estão relacionadas à fertilidade do solo, principalmente ao manejo da adubação. Entre as principais, está a utilização da uréia em solo seco, com a entrada da água posteriormente, repercutindo em menores perdas por volatilização. Outros resultados importantes decorrentes da pesquisa são a alta resposta do arroz a adubação nitrogenada, fracionamento das adubações nitrogenadas e realização das adubações no momento ideal; semeadura dentro da época recomendada e entrada da água de irrigação no momento correto.

Os diferentes sistemas de cultivo do arroz irrigado utilizados no RS possibilitam a utilização conforme o local da lavoura e a realidade do agricultor, mas se bem manejados proporcionam aumento de rendimento e melhoria da fertilidade do solo. Ressalta-se no RS, a grande utilização de sistemas mais conservacionistas do solo tais como o cultivo mínimo e semeadura direta. Também, a utilização de plantas de cobertura, rotação de culturas e integração lavoura pecuária têm proporcionado aumento da fertilidade do solo, além de maior produção de arroz. Além disso, tem-se focado em pesquisas na área ambiental, com o desenvolvimento de tecnologias que visem à sustentabilidade da lavoura arrozeira.

Todos esses avanços têm repercutido em altas produtividades de arroz nas lavouras gaúchas, levando o RS a um salto de produtividade média passando de 5.400 kg ha⁻¹ na safra 2001/02 a 7.700 em 2010/11 (IRGA, 2012b). Entretanto, muitos estudos ainda são necessários para preencher as lacunas que existem da cultura do arroz irrigado, contribuindo para a sustentabilidade da cadeia orizícola.

6. ANÁLISE CRÍTICA DO ESTÁGIO DE CONCLUSÃO

O presente estágio de conclusão de curso foi uma oportunidade ímpar, possibilitando compreender melhor toda a cadeia orizícola e conhecer as atividades desenvolvidas pelo IRGA. A oportunidade de fazer estágio num órgão de referência nacional na cultura do arroz irrigado possibilitou a abertura de novas fronteiras do conhecimento.

Essa vivência possibilitou conhecer melhor a realidade da produção orizícola do RS e presenciar as potencialidades e desafios da cadeia produtiva, principalmente nas áreas relacionadas à fertilidade do solo. O período da realização do estágio coincidiu com a semeadura do arroz e estabelecimento inicial da cultura, possibilitando a realização de uma ótima experiência por parte do autor.

A realização do estágio possibilitou conhecer as principais regiões produtoras de arroz do RS, além de várias propriedades gaúchas e verificar os desafios que os orizicultores têm enfrentado, mas também o que a pesquisa tem feito para contornar essa situação.

O IRGA é destaque na pesquisa e extensão com o arroz irrigado, e é considerado uma vitrine tecnológica. Entretanto, a realização do estágio teve alguns entraves, principalmente pela alta burocracia exigida e um grande tempo requerido para se oficializar contratos.

O sucesso do estágio também se deu em parte pelo interesse do autor na cultura do arroz irrigado, e com o suporte do IRGA, novos conhecimentos foram agregados.

CAPITULO II – Modificações eletroquímicas e disponibilidade de nutrientes ao longo do tempo em solos alagados do Rio Grande do Sul cultivados com arroz

1. INTRODUÇÃO

O arroz irrigado no RS é produzido em seis diferentes regiões arrozeiras, denominadas Fronteira Oeste, Campanha, Planície Costeira Interna, Planície Costeira Externa, Zona Sul e Depressão Central (Oliveira, 2006). O cultivo do cereal se concentra na metade sul do estado, devido às condições ambientais favoráveis como a abundância de mananciais hídricos e o relevo plano, sendo atualmente, encontrado 5,4 milhões de hectares de várzeas com aptidão ao cultivo de arroz (Pinto et al., 2004). Essa área compreende grande diversidade de ordens de solo e materiais de origem (Streck et al., 2008). Genericamente, solos de várzea se desenvolveram sobre sedimentos e apresentam grande heterogeneidade quanto à composição granulométrica e mineralógica (Klamt et al., 1985). Esta diversidade de solos afeta sobremaneira a calibração de recomendações de adubação, já que os tipos de minerais fontes nas frações granulométricas são bastante diversas (Meurer et al., 1996) e afetam sobremaneira o suprimento de nutrientes às plantas, dificultando o entendimento da resposta da cultura à adubação (Castilhos et al., 2002).

O alagamento do solo durante o cultivo do arroz gera transformações químicas e biológicas, comparando-se ao ambiente anteriormente oxidado. Nessa condição, após o consumo do oxigênio molecular, microrganismos anaeróbios passam a utilizar compostos oxidados do solo como receptores de elétrons (Swarowsky et al., 2006). A partir destas reações de oxirredução, que acarretam modificações nos valores do pH, há um aumento da disponibilidade de vários elementos para a solução do solo (Ponnamperuma, 1972; Silva et al., 2003). O Fe^{3+} e Mn^{4+} da superfície dos óxidos passam para forma de Fe^{+2} e Mn^{+2} , respectivamente, aumentando sua concentração na solução do solo (Vahl, 1991; Camargo et al., 1999). O fósforo (P), em função da adsorção específica na superfície dos óxidos, tem sua dinâmica bastante alterada, podendo ser liberado para a solução do solo na medida em que há redução do Fe da sua estrutura (Vahl, 1999; Gonçalves & Meurer, 2010).

Embora sejam as características do solo que determinem a intensidade das alterações químicas do solo e da sua solução, a presença de plantas de arroz determinará alterações no processo, em parte pela absorção de nutrientes e em parte pelas modificações na rizosfera. As plantas de arroz possuem aerênquimas, que levam oxigênio até as raízes. Este fluxo de oxigênio cria na rizosfera um ambiente aeróbico, modificando todo o sistema, que faz com que o Fe^{2+} passe a Fe^{3+} e precipite na superfície das raízes. Além disso, as plantas podem influenciar o pH da rizosfera devido a alta absorção de cátions, e a liberação de H^+ na solução (Oliveira et al., 2007).

Devido a sua heterogeneidade, os solos de várzea do RS apresentam variações na disponibilidade dos nutrientes às plantas de arroz (Gonçalves & Meurer, 2009). Existem vários trabalhos sobre a dinâmica dos nutrientes em ambientes alagados (Ponnamperuma, 1972; Souza et al., 2002; Silva et al., 2003; Mendonça et al., 2005; Fraga et al., 2009; Gonçalves & Meurer, 2010; Knoblauch et al., 2012) . Mas, são escassos os estudos da dinâmica dos nutrientes em diferentes solos, principalmente aqueles do RS. Nesse sentido, faz-se necessário o entendimento da dinâmica de íons em solos cultivados com arroz no RS, especialmente naqueles com maior representatividade de cultivo, como os Planossolos, Chernossolos e Gleissolos. O trabalho objetivou avaliar as modificações eletroquímicas e os teores de nutrientes na solução de quatro tipos de ordem, com e sem o cultivo de arroz.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, com temperatura controlada entre 15°C e 30°C, na Estação Experimental do Arroz (EEA), do Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA), no município de Cachoeirinha (RS), de agosto a dezembro de 2012.

Foram utilizados solos provenientes de quatro regiões orizícolas distintas do RS, que constituíram os tratamentos do experimento: Organossolo (Planície Costeira Externa), Gleissolo (Planície Costeira Interna), Planossolo (Depressão Central) e Chernossolo (Fronteira Oeste). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com três repetições. Na Tabela 2 são descritos os atributos físicos e químicos dos solos utilizados. Os solos foram coletados com auxílio de pá de corte na camada de 0 a 20 cm, sendo posteriormente secos ao

ar livre em ambiente coberto, depois foram moídos e passados em peneira com malha de 4mm.

Foram utilizados recipientes de vidro com capacidade total de 2,5 dm³ para acondicionar o solo, formando a unidade experimental. Previamente foi adicionado um coletor de solução do solo em cada vaso conforme Bohnen et al. (2005) (Figura 8). Esse dispositivo foi inserido na parte central de cada vaso, situando-se a 15 cm da superfície do solo. Os coletores foram compostos por tubos de PVC de 25 mm de diâmetro por 4 cm de comprimento, com as extremidades cobertas com tela de nylon com malha de 0,1 mm. Na parte central do coletor foi afixado um tubo de vidro que se estendeu até à superfície do solo com a abertura da extremidade superior fechada com resina de silicone e mercúrio, para impedir a difusão de oxigênio para o interior do tubo.

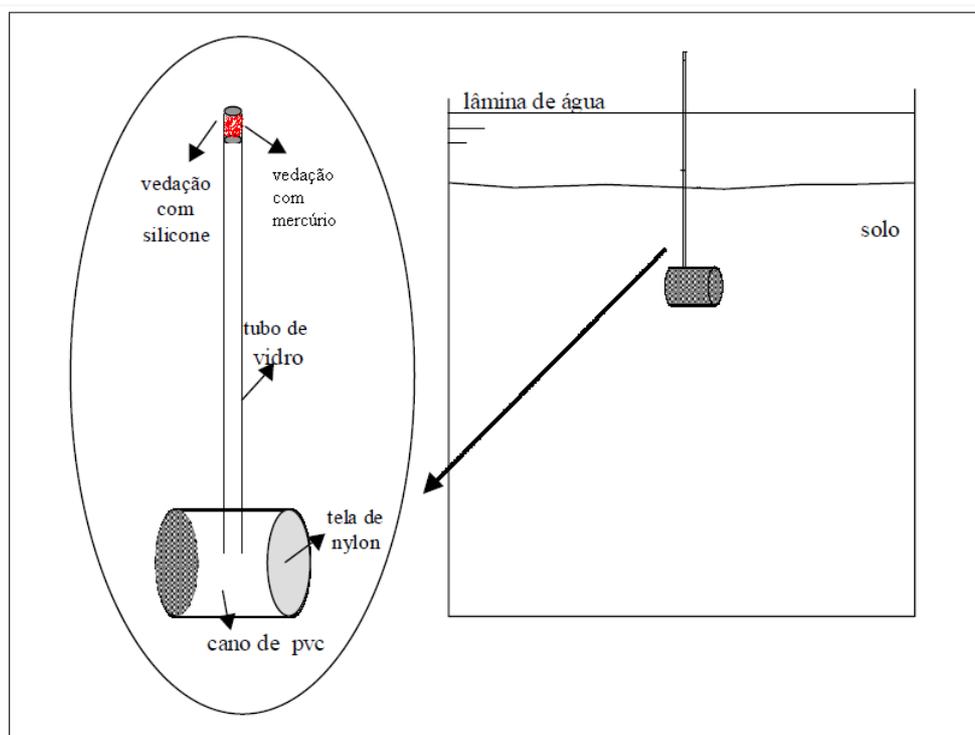


Figura 8. Ilustração dos coletores de solução do solo (Adaptado de Bohnen et al., 2005).

Posteriormente, foi acondicionado 2 dm³ de cada ordem de solo, e no mesmo dia os vasos foram inundados com uma lâmina de água destilada de 5cm acima da superfície do solo, sendo mantida até o final do experimento.

Após quatro dias da implantação do experimento foram colocadas três sementes pré-germinadas da cultivar IRGA 424 dentro de cada vaso, sendo aos

dez dias após a implantação realizado um desbaste, mantendo-se duas plantas por vaso.

Aos 5, 10, 14, 25, 33, 45, 55, 65, 73 dias após o alagamento foi analisado o potencial de oxirredução (Eh) e extraído 10 mL da solução do solo de cada tratamento, por meio de sucção, utilizando uma seringa com agulha inserida na extremidade superior do coletor (Sousa et al., 2002). Depois de cada coleta as amostras foram acondicionadas em frascos de acrílico e imediatamente analisado o pH e condutividade elétrica (CE), conforme Silva et al. (2003). Após, foi adicionado 1 mL de HCl 1 mol L⁻¹ e armazenado em refrigerador (Sousa et al., 2002), para analisar os atributos, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺, Fe²⁺ e Mn²⁺, os quais foram realizadas ao final do experimento.

Tabela 2. Atributos químicos, na camada de 0-20 cm, dos solos usados no experimento.

Atributos	Organossolo	Gleissolo	Planossolo	Chernossolo
Argila ⁽¹⁾ (g Kg ⁻¹)	150	160	220	190
Matéria orgânica ⁽²⁾ (g dm ⁻³)	111	16	08	21
pH – água ⁽³⁾	4,0	4,8	5,0	5,5
Índice SMP ⁽³⁾	4,3	5,5	5,9	6,0
P disponível ⁽⁴⁾ (mg dm ⁻³)	32,2	27,7	6,3	30,9
K trocável ⁽⁵⁾ (mg dm ⁻³)	102	68	102	119
Al trocável ⁽⁶⁾ (cmol _c dm ⁻³)	3,0	0,4	0,4	0
Ca trocável ⁽⁶⁾ (cmol _c dm ⁻³)	4,0	2,0	2,7	7,1
Mg trocável ⁽⁶⁾ (cmol _c dm ⁻³)	2,1	0,8	1,8	1,9
H+Al ⁽⁷⁾ (cmol _c dm ⁻³)	30,7	7,7	4,9	4,4
CTC efetiva ⁽⁸⁾ (cmol _c dm ⁻³)	9,4	3,4	5,2	9,4
CTC pH 7 ⁽⁸⁾ (cmol _c dm ⁻³)	37,1	10,7	9,7	13,7
V ⁽⁹⁾ (%)	17,2	28,0	49,9	68,2
m ⁽¹⁰⁾ (%)	32,0	11,8	7,7	0

⁽¹⁾ Método da pipeta (EMBRAPA, 1997); ⁽²⁾ Determinado conforme Embrapa (1997); ⁽³⁾ Determinado conforme Tedesco et al. (1995); ⁽⁴⁾ P disponível : Extraído por Mehlich 1 (TEDESCO et al., 1995); ⁽⁵⁾ K trocável: Extraído por Mehlich 1 (TEDESCO et al., 1995); ⁽⁶⁾ Ca, Mg, Al trocáveis: Extraído por KCl 1 mol L⁻¹ (TEDESCO et al., 1995); ⁽⁷⁾ $H+Al = e^{10,665 - 1,1483 \cdot \text{pH SMP}/10}$; ⁽⁸⁾ $\text{CTCpH } 7,0 = H + Al + (Ca^2 + Mg^2 + K^+)$; ⁽⁹⁾ Saturação por bases(V) = (Sx100) (CTCpH 7,0)⁻¹; ⁽¹⁰⁾ Saturação por Al (valor m) = (Al x 100) CTCefetiva⁻¹.

A diluição da amostra foi calculada por diferença de pesagem, antes e depois da colocação do ácido e da amostra no frasco de acrílico. Nesta amostra, foram avaliados os cátions por espectroscopia de absorção atômica

(Mn^{2+} , Fe^{2+} , Ca^{2+} e Mg^{2+}) e fotometria de chama (K^+). O P da solução do solo foi analisado conforme metodologia proposta por Murphy & Riley (1962), e na amostra filtrada em filtro 0,45mm.

Os resultados foram plotados no plano cartesiano, sendo apresentados os valores médios de cada atributo conforme o tempo de alagamento, assim como o erro padrão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente trabalho são apresentados somente os dados decorrentes das análises de pH, potencial de oxirredução (Eh) e condutividade elétrica (CE). Os demais dados, P, K, Ca, Mg, Al, Fe e Mn na solução das amostras serão avaliados somente ao final do experimento.

O pH da solução dos solos com e sem plantas de arroz aumentou até os 14 dias de alagamento, alcançando valores próximos da neutralidade (Figura 9). Isso acontece por causa das reações de redução dos compostos oxidados do solo, ocasionando o consumo dos íons H^+ , que repercutiram no aumento do pH do solo. Esse comportamento é característico de quando um solo é inundado e ocorre devido a redução de compostos oxidados pela atividade dos microrganismos anaeróbios, que utilizam essas substâncias como receptores de elétrons nas rotas bioquímicas de produção de energia (Souza et al., 2002).

Após os 14 dias de alagamento, os valores de pH de todos os solos com e sem plantas decresceram, sendo que aos 25 dias nos solos sem plantas os valores de pH entraram em equilíbrio apresentando valores entre 6,5 e 7,0 até 73 dias de alagamento. Exceção do Organossolo onde os valores de pH estabilizaram entre 4,5 e 5,0 (Figura 9). Este fato ocorre devido a estabilização das reações de redução que entram em equilíbrio com as reações de oxidação, as quais ocorrem nos primeiros centímetros do solo (Madruga, 1999; Souza et al., 2002). Essa ação tamponante dos solos submersos acontece por causa dos sistemas reduzidos de Fe, Mn e ácido carbônico, cujas reações de oxirredução envolvem o consumo ou a produção de íons H^+ / OH^- , ocasionando a estabilização do pH após algum tempo de alagamento (Vahl & Sousa, 2004).

A partir dos 45 dias de alagamento os valores de pH diminuíram no Planossolo e no Gleissolo com planta (Figura 9b, c). Essa diminuição nos

valores de pH ocorre por causa da presença das plantas, que liberam prótons na solução para manter-se o equilíbrio interno, em decorrência da grande absorção de cátions (Mendonça et al., 2005); principalmente de NH_4^+ pelas raízes, cujos carreadores iônicos excretam prótons H^+ como compensação à absorção de NH_4^+ (Holzschuh et al., 2011). Essa excreção de prótons pode alterar não apenas o pH da rizosfera, mas toda a camada de solo sob influência do sistema radicular (Nye, 1981).

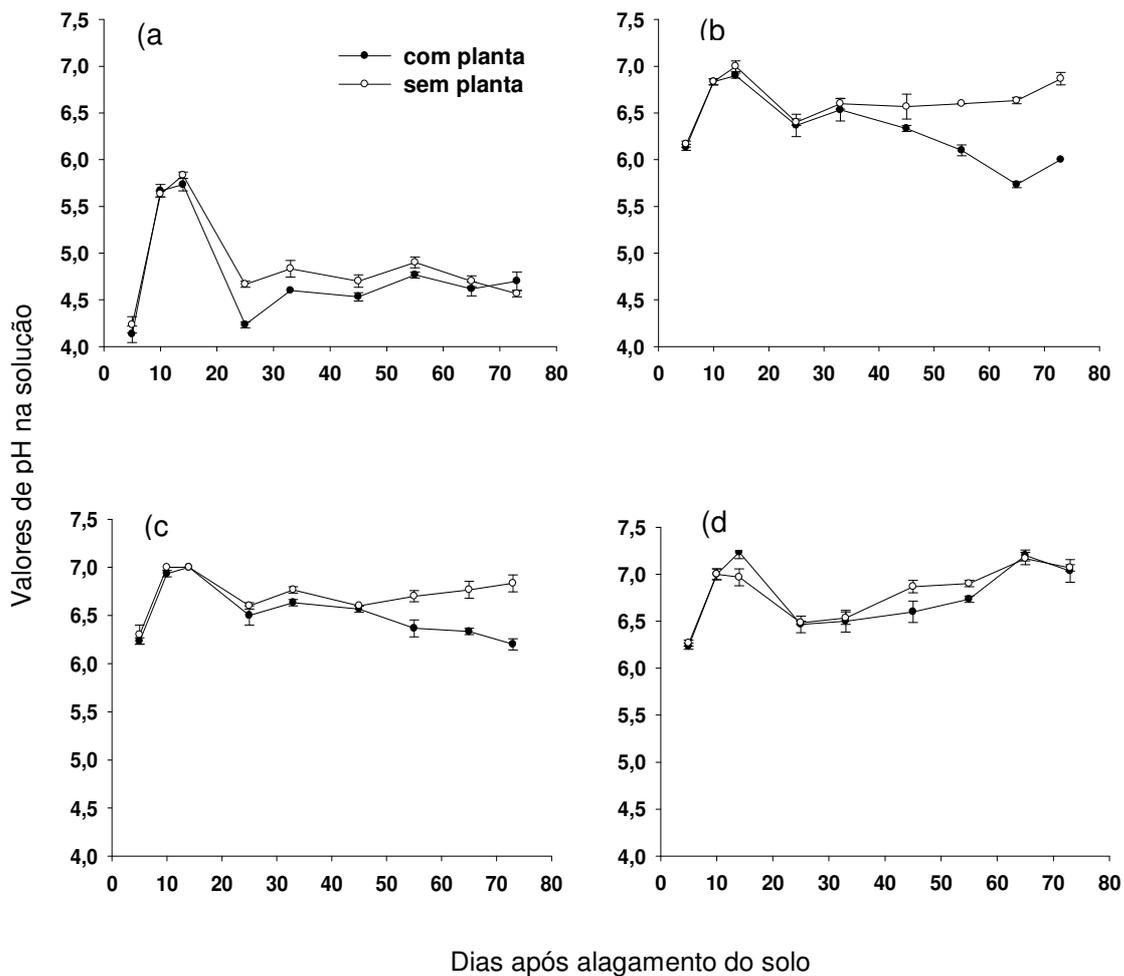


Figura 9. Valores médios de pH da solução em solos, com e sem plantas de arroz, submetidos ao alagamento. As barras verticais indicam o erro padrão. Organossolo (a); Planossolo (b); Gleissolo (c) e Chernossolo (d).

O Organossolo apresentou valores baixos de pH, possivelmente devido ao seu alto teor de matéria orgânica (Figura 9a), que com parte da sua mineralização gera CO_2 , que se acumula no solo alagado por causa da lentidão que se difunde através da água para a atmosfera (Ebeling et al., 2011). O CO_2 dissolve-se na água formando ácido carbônico, bicarbonato, e carbonato, que

coexistem em equilíbrio entre si. O acúmulo de CO₂ tende a decrescer o pH devido ao à sua dissolução na solução com a formação do ácido carbônico (Vahl & Sousa, 2004; Camargo, et al., 1999).

Os valores de pH no Chernossolo foram relativamente elevados, e apresentaram um padrão de distribuição diferente do Planossolo e do Gleissolo (Figura b,c,d). Isso está relacionado a alta saturação de bases do Chernossolo, resultando numa matéria orgânica solúvel (MOS) altamente estabilizada, devido a formação de humatos e fulvatos de Ca, sendo menos decomponível quando comparado ao Planossolo e Gleissolo (Correa et al., 2003).

Os valores do potencial de oxirredução (Eh) oscilaram nos solos durante o período de alagamento. Entretanto foi observado uma tendência de diminuição dos valores de Eh, principalmente no Planossolo e Chernossolo sem planta (Figura 10b,d). Essa diminuição é explicada pelo acúmulo de compostos reduzidos, decorrente das reações químicas que envolvem trocas de elétrons, pois o Eh do solo é um atributo para avaliar o grau de redução do solo. Considera-se que, quando o solo apresenta valores de Eh positivos, encontra-se oxidado, e quando apresenta valores negativos, encontra-se reduzido (Camargo et al., 1993). Já nos tratamentos com o cultivo de plantas de arroz, em vários dias após o alagamento os valores de Eh foram maiores que nos tratamentos sem plantas (Figura 10). Isso é devido a uma maior oxigenação do solo por parte das raízes das plantas de arroz, que repercutiu para o aumento das reações de oxidação, mesmo predominando reações de redução (Oliveira et al., 2007).

Os valores de Eh no Organossolo com e sem plantas começaram mais elevados que nos demais solos e proporcionalmente tiveram uma grande redução nos valores ao longo do tempo (Figura 10a). Isso por ser explicado pela grande quantidade de matéria orgânica, que promove uma intensificação do processo de oxirredução do solo em função da maior disponibilidade de carbono orgânico aos microorganismos anaeróbios (Ebeling et al., 2011). Conforme verificaram Schmidt et al. (2009), adições de material orgânico como azevém provocaram as maiores reduções dos valores do potencial oxirredução.

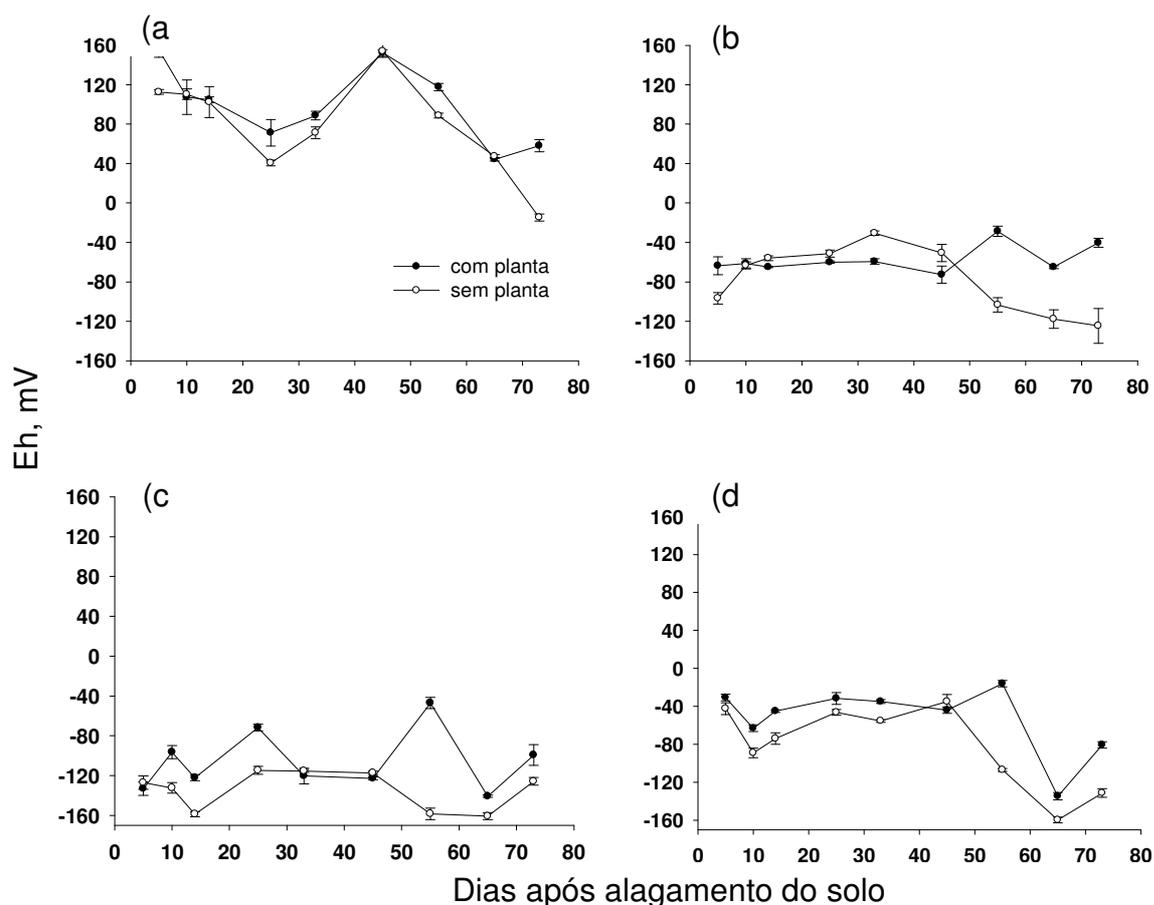


Figura 10. Valores médios do potencial de oxirredução (Eh) em solos, com e sem plantas de arroz, submetidos ao alagamento. As barras verticais indicam o erro padrão. Organossolo (a); Planossolo (b); Gleissolo (c) e Chernossolo (d).

A condutividade elétrica da solução do solo (CE) aumentou no Gleissolo e Chernossolo, com e sem planta, até 33 dias de alagamento, posteriormente decrescendo (Figura 11). Isso acontece por causa da modificação dos valores de pH do solo, que aumentam a disponibilidade de nutrientes. Durante as primeiras semanas após o alagamento do solo, ocorre aumento do pH e mobilização do Fe^{2+} e Mn^{2+} , e acumulação de NH_4^+ , HCO_3^- e RCOO^- e dessa forma substituindo cátions adsorvidos nos colóides por Fe^{++} , Mn^{++} e NH_4^+ (CAMARGO et al, 1999). Neste processo, uma parte do fósforo adsorvido também é liberada, o que pode aumentar sua concentração na solução do solo. Apesar do Ca, Mg e o K não estarem diretamente envolvidos no processo de redução, o maior teor de Fe^{2+} na solução do solo pode deslocar parte desses cátions que estavam adsorvidos na fase sólida, aumentando sua disponibilidade para as plantas (VAHL, 1991; Silva & Ranno, 2005).

Apenas no Organossolo os valores de CE permaneceram estáveis em todas as épocas de coleta, sendo atribuído principalmente à baixa elevação do pH com o alagamento do solo (Figura 11a). Já no Planossolo, Gleissolo e Chernossolo a CE apresentou os maiores valores aos 30 dias de alagamento, ocorrendo uma diminuição ao longo do tempo (Figura 11b,c,d).

A CE no Planossolo, Gleissolo e Chernossolo apresentou valores menores quando foi utilizado plantas de arroz, a partir de 43 dias de alagamento (Figura 11b, c, d). Isso pode ser explicado pelo crescimento das plantas de arroz que absorveram parte dos nutrientes disponíveis na solução do solo, culminando no decréscimo acentuado dos valores da CE, principalmente com o crescimento das plantas de arroz. Em um estudo realizado em um Planossolo e um Gleissolo, a presença de plantas de arroz reduziu a concentração de K, P, Ca, Mg, Fe e Mn na camada de 0-10 cm, devido a sua absorção (Silva et al., 2003).

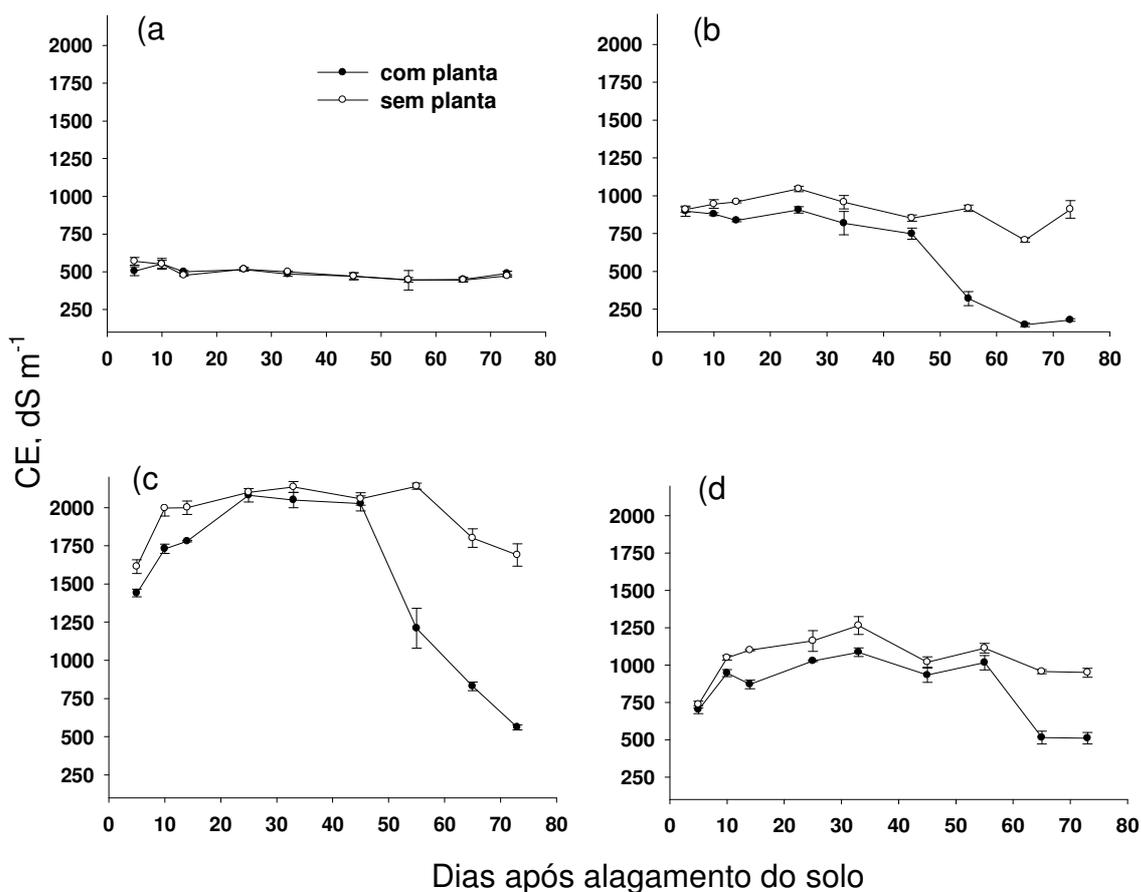


Figura 11. Valores médios da condutividade elétrica (CE) de diferentes solos, com e sem plantas de arroz, conforme o tempo de alagamento. As barras verticais indicam o erro padrão. Organossolo (a); Planossolo (b); Gleissolo (c) e Chernossolo (d).

4. CONCLUSÕES

O alagamento do Planossolo, Gleissolo e Chernossolo proporciona ao longo do tempo aumento nos valores de pH da solução do solo, próximos da neutralidade.

O alagamento do Gleissolo e Chernossolo ocasiona um aumento nos valores de condutividade elétrica, decrescendo posteriormente, quando são utilizados o para o cultivo do arroz.

A dinâmica dos valores de pH, potencial de oxirredução e condutividade elétrica é diferenciada em solos solos orgânicos (Organossolo) em comparação a solos minerais (Planossolo, Gleissolo e Chernossolo) ao serem alagados para o cultivo de arroz.

O cultivo de plantas de arroz proporciona a diminuição do pH e da condutividade elétrica da solução no Planossolo, Gleissolo e Chernossolo, quando comparado com os solos sem plantas de arroz.

5. REFERÊNCIAS

ANGHINONI, I.; MORAES, A.; CARVALHO, P. C. F.; SOUZA, E. D.; CONTE, O. & LANG, C. R. Benefícios da integração lavoura-pecuária sobre a fertilidade do solo em sistema plantio direto. In: Da Fonseca, A.F.; Caires, E.F.; Barth, G. **Fertilidade do solo e nutrição de plantas no sistema plantio direto**. AEACG/Inpag: Ponta Grossa, 2011.

BOHNEN, H.; SILVA, L.S.; 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**, Porto Alegre, v. 29, pg. 475-480, 2005.

BORTOLON, L.; SOUZA, R. O.; BORTOLON, E. S. O.. Toxidez por ácidos orgânicos em genótipos de arroz irrigado. **Scientia agraria**, v. 10, pg. 81-84, 2009.

CAMARGO, F. A. DE O.; SANTOS, G. DE A.; ZONTA, E.; Alterações Eletroquímicas em Solos Inundados; **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 29, n. 1, pg. 171-180, 1999.

CARVALHO, P.C.F.; ANGHINONI, I.; KUNRATH, T. R. ; Martins, A. P. ; COSTA, S.E.V.G.de A. ; SILVA, F. D. ; ASSMAN, J. M. ; TERRA, M. L. L. ; PFEIFER, F. M. ; CONTE, O. ; SOUZA, E. D. **Integração soja-bovinos de corte no Sul do Brasil**. Porto Alegre: Gráfica RJR Ltda, . 60 p. (Boletim Técnico), 2011.

CASTILHOS, R.M.V.; MEURER, E.J.; KÄMPF, N. & PINTO, L.F.S. Mineralogia e fontes de potássio em solos no Rio Grande do Sul cultivados com arroz irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Porto Alegre, v. 26, pg. 579-587, 2002.

COMPANIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Boletim de grãos**. 2012. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_10_17_16_09_58_boletim_graos_-_julho_2012.pdf>. Acesso em 15 de novembro de 2012.

CORREA, M. M.; KER, J. C.; MENDONÇA, E. S.; RUIZ, H. A.; BASTOS, R. S. Atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos da região das Várzeas de Sousa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.27, pg. 211-393, 2003.

COUNCE, P.A.; KEISLING, T.C. & MITCHELL, A. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**., v 40, pg. 436-443, 2000.

DUARTE, F.M.; POCOJESKI, E.; SILVA, L.S.; GRAUPE, F.A. & BRITZKE, D. Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia com aplicação de ureia em solo de várzea com diferentes níveis de umidade. **Ciência Rural**, v. 37, pg. 705-711, 2007.

EBELING, A.G.; ANJOS, L.H.C.; PEREZ, D.V.; PEREIRA, M.G.; GOMES, F.W.F. Atributos químicos, carbono orgânico e substâncias húmicas em organossolos háplicos de várias regiões do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, pg. 325-336, 2011.

EMBRAPA CLIMA TEMPERADO. **Cultivo do arroz irrigado no Brasil**. 2005. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozIrrigadoBrasil/cap05.htm>>. Acesso em 28 de Outubro de 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - CNPS. **Manual de métodos de análise de solos**. Embrapa Solos. Rio de Janeiro, 212 pg., 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, 370 pg. 1999.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Statistics Division**. Disponível em: <<http://www.fao.org/rice2006/es/rice5.htm>> Acesso em: 25 de outubro de 2012.

FRAGA, T. I.; GENRO JUNIOR, S. A.; INDA, A. V.; ANGHINONI, I.. Suprimento de potássio e mineralogia de solos de várzea sob cultivos sucessivos de arroz irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Porto Alegre, RS, v.33, pg. 497-506, 2009.

GONÇALVES, G. K.; MEURER, E. J. . Alterações nas concentrações de fósforo em solos cultivados com arroz irrigado no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Porto Alegre, MG, v. 34, pg. 465-471, 2010.

GONÇALVES, G. K.; MEURER, E. J. Frações de fósforo no solo e sua relação com a absorção pelas plantas de arroz irrigado por alagamento em solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Porto Alegre, v. 33, pg. 357-362, 2009.

HOLZSCHUH, M.J.; BOHNEN, H.; ANGHINONI, I.; PIZZOLATO T.M.; CARMONA, F. C.; CARLOS, F.S. Absorção de nutrientes e crescimento do arroz com suprimento combinado de amônio e nitrato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Porto Alegre, v.35, pg. 1357-1366, 2011.

ICEPA/SC. Instituto de Planejamento e Economia Agrícola de Santa Catarina. **Síntese anual da agricultura de Santa Catarina: 2007-2008**. Florianópolis: Instituto Cepa, 2008. 79p. Disponível em: <http://cepa.epagri.sc.gov.br/Informativos_agropecuarios/arroz/arroz_20.03.09.html> Acesso em 20 de Outubro de 2012.

IRGA. Instituto Rio Grandense do Arroz. Rotação de cultura o futuro da lavoura. **Lavoura arroeira** 2012b. Disponível em <http://www.IRGA.rs.gov.br/uploads/revista/edicoes/1347309321revista_IRGA_FINAL.pdf>. Acesso em 5 de Outubro de 2012.

IRGA. Instituto Rio Grandense do Arroz. **Séries históricas**. 2012a. Disponível em:<<http://www.irga.rs.gov.br/uploads/1318871736PRODARRSseriehistorica.pdf>>. Acesso em 15 de novembro de 2012.

KLAMT, E.; KÄMPF, N. & SCHNEIDER, P. **Solos de várzea do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Departamento de Solos, (Boletim Técnico de Solos, 4)., UFRGS, 43p., 1985.

KNOBLAUCH, R.; ERNANI, P.R.; WALKER, T.W.; KRUTZ, L.J.; VARCO, j.j.; GATIBONI, L.C.; DESCHAMPS, F.C. Volatilização de amônia em solos alagados influenciada pela forma de aplicação de uréia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, 2012.

LOPES, A.S. **Guia das melhores técnicas agrícolas**. São Paulo: ANDA, 28p., 1996.

MADRUGA, E.F. **Efeito da aplicação de resíduo vegetal e nitrato sobre a redução do solo**. Pelotas, Universidade Federal de Pelotas, Dissertação de Mestrado, 47p., 1999.

MENDONÇA, R. J.; CAMBRAIA, J.; OLIVA, M. A.; OLIVEIRA, J. A. Capacidade de cultivares de arroz de modificar o pH de soluções nutritivas na presença de alumínio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 40, pg. 447-452, 2005.

MENEZES, V. G. et al. Semeadura direta de genótipos de arroz irrigado em sucessão a espécies de cobertura de solo no inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, pg. 1107-1115, 2001.

MEURER, E.J.; KAMPF, N. & ANGHINONI, I. Fontes potenciais de potássio em alguns solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Porto Alegre,v. 20, pg. 41-47, 1996.

MUNARETO, J.; BEUTLER, A. N.; RAMÃO, C. J.; DIAS, N. P.; RAMOS, P. V.; POZZEBON, B.; C.; ALBERTO, C. M.; HERNANDES, G. C.;Propriedades físicas do solo e produtividade de arroz irrigado por inundação no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, pg.1499-1506, 2010.

MURPHY, J. & RILEY, J.P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analitica Chimica Acta.**, v. 27, pg. 31-36, 1962.

NYE, P.H. Changes of pH across the rizosphere induced by roots. **Plant and soil**, The Hague, v. 61, pg. 7-26, 1981.

OLIVEIRA, C. F. **Censo da Lavoura de Arroz Irrigado do Rio Grande do Sul - safra 2004/05**. 1. ed.Porto Alegre: Dipapel Indústria Gráfica Ltda, 122 p., 2006.

OLIVEIRA, L.A.; KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, A.C. Acumulação de silício em arroz em diferentes condições de pH da rizosfera. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, pg. 685-690, 2007.

PINTO, L.F.S.; LAUS NETO, J.A. & PAULETTO, E.A. **Solos de várzea no Sul do Brasil cultivados com arroz irrigado**. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, pg. 75-95, 2004.

PONNAMPERUMA, F.N. The chemistry of submerged soils. **Advances in Agronomy**, v.24. pg.29-96, 1972.

SCHMIDT, F. SOUSA, R.O.; FORTES, M.A.; WOLTER, R.C.D.; WESZ, J. Resíduos de azevém na superfície de um planossolo alagado e seus efeitos na concentração de nutrientes na solução do solo e em plantas de arroz. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, pg. 2080-2086, 2009.

SCHOENFELD, R. Sistema de rotação arroz e soja em sucessão a plantas de cobertura em Planossolo Háplico. **Dissertação** (Mestrado), 58 f, 2010.

SILVA, L.S.; RANNO, S.K. Calagem em solos de várzea e a disponibilidade de nutrientes na solução do solo após o alagamento. **Ciência Rural**, v.35, pg. 1054 -1061, 2005.

SILVA, L.S.; SOUSA, R.O. & BOHNEN, H. Alterações no teores de nutrientes em dois solos alagados, com e sem plantas de arroz. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, pg. 487-490, 2003.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO (SOSBAI). **Arroz irrigado: Recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Porto Alegre: SOSBAI, 164p, 2010.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO (SOSBAI). **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Porto Alegre, RS: SOSBAI, 164p, 2012.

SOUSA, R.O.; BOHNEN, H. & MEURER, E.J. Composição da solução de um solo alagado conforme a profundidade e o tempo de alagamento, utilizando novo método de coleta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Porto Alegre, v.26, pg. 343-348, 2002.

STRECK, E. V.; KAMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C. & SCHNEIDER, P. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Emater-RS, 222p, 2008.

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

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Brasil. 1995.

VAHL, L. C.; SOUSA, R. O. Aspectos físico-químicos de solos alagados. In: GOMES, A. da S.; MAGALHÃES JUNIOR, A. M. de (Org). **Arroz irrigado no sul do Brasil**. Embrapa, Brasília, DF, cap. 4, pg. 97-118, 2004.

VAHL, L.C. Fertilidade de solos de várzea. In: GOMES, A.S. & PAULETTO, E.A., eds. **Manejo do solo e da água em áreas de várzea**. Pelotas, Embrapa/CPACT, pg. 119-162, 1999.

VAHL, L.C. **Toxidez de ferro em genótipos de arroz irrigado por alagamento**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, (Dissertação de Mestrado), 173p, 1991.