Boletim Técnico nº 10

SALINIDADE DA ÁGUA E DO SOLO E SEUS EFEITOS SOBRE O ARROZ IRRIGADO NO RIO GRANDE DO SUL

Felipe de Campos Carmona
Ibanor Anghinoni
Eliseu José Weber

IRGA
Instituto Rio Grandense do Arroz

Cachoeirinha
2011

INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ

Tarso Genro
Governador do Estado do Rio Grande do Sul

Luiz Fernando Mainardi
Secretário da Agricultura, Pecuária e Agronegócio

Claudio Fernando Brayer Pereira
Presidente

Boletim Técnico nº 10

INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ
ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DO ARROZ
DIVISÃO DE PESQUISA

SALINIDADE DA ÁGUA E DO SOLO E SEUS EFEITOS SOBRE O ARROZ IRRIGADO NO RIO GRANDE DO SUL

Felipe de Campos Carmona
Ibanor Anghinoni
Eliseu José Weber

Cachoeirinha
2011

INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ

Estação Experimental do Arroz (IRGA/EEA)
Av. Bonifácio Carvalho Bernardes, 1494
Caixa Postal 29
CEP 94930-030, Cachoeirinha - RS
Fone: (051) 3470-0600
Correio eletrônico: eea-pesquisa@irga.rs.gov.br
Endereço eletrônico: www.irga.rs.gov.br

Tiragem: 8.000 exemplares
Diagramação: Gráfica RJR Ltda

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

C287e Carmona, Felipe de Campos
Salinidade da água e do solo e seus efeitos sobre o arroz irrigado no Rio Grande do Sul / Felipe de Campos Carmona, Ibanor Anghinoni, Eliseu José Weber. – Cachoeirinha: IRGA/Estação Experimental, Seção de Agronomia, 2011.

54 p. : color. (Boletim Técnico, 10).

ISBN 1983 – 0858

1. Arroz irrigado 2. Rio Grande do Sul 3. Salinidade I. Anghinoni, Ibanor II. Weber, Eliseu José Título III. Série.

CDU 633.18

Bibliotecária responsável: Tânia Maria Dias Nahra – CRB 10/918.
Seção de Informação e Documentação – IRGA

Todos os direitos reservados.
Permitida a reprodução total ou parcial, desde que citada a fonte.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos produtores Antonio Velho Martins, José Mathias Bins Martins e Leandro Mathias Bins Martins, assim como a todos os funcionários da Fazenda Cavalhada, pelo importante suporte dado na execução de trabalhos que subsidiaram parte dos dados apresentados nesse Boletim. Aos extensionistas do IRGA Hermínio Menezes Gadea, Aldo Olegário Saraiva, Melissa Terra Guimarães, José Gallego Tronchoni, Carlos Felipe Mascarenhas Nassif, Roberto Longaray Jaeger, Carlos Alberto Machado, Cléo Soares, Vera Maria Pereira Borges, José Celso Basanesi e a todos os produtores que se dispuseram a colaborar na identificação de solos afetados pela salinidade. Aos bolsistas de iniciação científica da UFRGS, Marcelo Hoerbe Andrighetti, Eduardo Giacomelli Cao, Amanda Posselt Martins e ao funcionário do Departamento de Solos da UFRGS Adão Luis Ramos dos Santos, pelo auxílio nos trabalhos laboratoriais e de campo.

Sumário

Apresentação 9

1. Origem e abrangência da salinidade do solo 11

2. A salinidade do solo e da água no contexto da lavoura arrozeira 12
2.1. Classificação dos solos quanto à presença de sais 12
2.2. Níveis críticos de salinidade do solo para a cultura do arroz.. 12
2.3. Histórico da salinidade do solo no Rio Grande do Sul 13
2.4. Levantamento da salinidade do solo na lavoura arrozeira do Rio Grande do Sul 14
2.5. Monitoramento da salinidade da solução do solo 19
2.6. Salinidade da água de irrigação 22
2.6.1. Salinidade da água da Lagoa dos Patos 22

3. Possibilidade de uso da água em função da salinidade do solo 26

4. Efeitos da salinidade sobre o arroz irrigado 32

5. Práticas de manejo para mitigar o efeito salino 40
5.1. Com relação ao manejo de solos afetados pela salinidade ... 40
5.2. Com relação ao manejo da cultura e da adubação de base .. 41
5.3 Com relação ao manejo da água de irrigação 42

6. Créditos fotográficos 43

7. Literatura citada 43

Anexos 47

Apresentação

O Boletim intitulado "Salinidade da água e do solo e seus efeitos sobre o arroz irrigado no Rio Grande do Sul" aborda uma temática de interesse dos orizicultores da Zona Sul e das Planícies Costeiras Interna e Externa à Lagoa dos Patos. Nos últimos anos, com o aumento substancial da produtividade da lavoura gaúcha, tem se dado maior atenção a fatores de estresse que possam vir a interferir nos resultados de campo. É nesse contexto que se enquadra a problemática da salinidade, tanto da água, quanto do solo. Embora não seja um problema que ocorra anualmente, os danos pela salinidade ao arroz normalmente coincidem com épocas de estiagem prolongada nas regiões sujeitas a esse tipo de estresse. Buscando contemplar os orizicultores que eventualmente, ou frequentemente são afetados pelo problema, o IRGA elaborou este Boletim Técnico, que tem como objetivos principais diagnosticar quais as áreas das Planícies Costeiras e Zona Sul estão sujeitas a apresentar problemas de excesso de sais; fornecer informações sobre os fatores que governam a salinidade da água e do solo e seus efeitos sobre a cultura do arroz irrigado no Rio Grande do Sul, além de apresentar alternativas de manejo para a mitigação do problema.

1. Origem e abrangência da salinidade do solo

A salinidade é caracterizada pela presença de altas concentrações de sais solúveis no solo. Os principais íons relacionados à salinidade são os cátions Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+ e os ânions Cl^-, SO_4^{2-}, HCO_3^-, CO_3^{2-} e NO_3^-, que formam sais como cloretos, sulfatos, nitratos, carbonatos e bicarbonatos. Os sais mais nocivos às plantas são os cloretos e os sulfatos de sódio e de magnésio, pela maior solubilidade. Os solos afetados pela salinidade são encontrados em mais de 100 países, sendo que boa parte da salinização é induzida pelo manejo inadequado da irrigação. A área total afetada no mundo pode chegar a 932.000.000 de hectares, sendo verificada em todos os continentes, inclusive na América do Sul (RENGASAMY, 2006). No Brasil, a área afetada pela salinidade é de cerca de 4.000.000 de hectares e se concentra na região Nordeste do país (OLIVEIRA, 1997). No Rio Grande do Sul, problemas de salinidade ocorrem nas planícies costeiras cultivadas com arroz irrigado. Segundo Machado & Terres (1995), cerca de 200.000 ha, nessas regiões, estão sujeitas a apresentar problemas de salinidade, em níveis variados.

O impacto da salinidade do solo sobre a produtividade agrícola é um problema principalmente em regiões áridas e semi-áridas. A presença de sais no solo pode ser devida ao material de origem, pelos sais provenientes do intemperismo de minerais e rochas; à água do mar, que provoca a salinização de regiões costeiras pela maresia, ou pela deposição de sedimentos marinhos; à oscilação de lençol freático salinizado, em que a ascensão de água por capilaridade causa a salinização da camada superficial; e à utilização de água com altos teores de sais para a irrigação.

2. A salinidade do solo e da água no contexto da lavoura arrozeira

Os problemas de salinidade na lavoura arrozeira irrigada por inundação no Rio Grande do Sul podem ter origem tanto do solo como da água de irrigação. A resposta da cultura, entretanto, resulta do respectivo equilíbrio entre ambos no ambiente radicular da solução do solo.

2.1. Classificação dos solos quanto à presença de sais

Os solos são classificados, conforme o seu nível de salinidade, em **salinos**, quando apresentam elevadas concentrações de sais na solução do solo; **sódicos**, quando o teor de Na^+ disponível se encontra em concentrações que restringem o crescimento das plantas cultivadas e promovem a dispersão e lixiviação de colóides ao longo do perfil; e **salino-sódicos**, quando apresentam as características de ambos. Os solos são considerados sódicos, quando apresentam percentagem de sódio trocável (PST) acima de 15 %. É a partir desse valor que suas propriedades físicas, em especial a condutividade hidráulica, passa a ser afetada (RICHARDS, 1954). Para efeitos práticos e para facilitar o entendimento, neste Boletim, não se está fazendo a distinção entre as três diferentes classes de solos afetados por sais, generalizando-se a terminologia "salinidade do solo".

2.2. Níveis críticos de salinidade do solo para a cultura do arroz

Considerando-se os efeitos sobre a cultura do arroz, a PST do solo entre 15 e 20 %, assim como a condutividade elétrica do extrato saturado (CEes) a partir de 4,0 dS m^{-1}, passam a ser prejudiciais (Tabela 1). Embora a maioria dos laudos de análise de solo não forneça a PST, esta pode ser calculada (Equação 1), desde que o teor de sódio (Na^+), normalmente expresso em mg dm^{-3}, e a capacidade de troca de cátions ($CTC_{pH\ 7,0}$), expresso $cmol_c/dm^{-3}$, estejam disponíveis.

$$PST\ (\%) = [(Na / 230) / CTC_{pH\ 7,0}] \times 100$$ Equação 1

Tabela 1. Potenciais perdas em rendimento do arroz irrigado em função da percentagem de sódio trocável (PST) e da condutividade elétrica do solo (Adaptado de FAIRHURST et al., 2007; CARMONA, 2011).

PST	CEes	Efeito sobre o rendimento
%	dS m^{-1}	%
< 15	< 2,0	nulo
15 a 40	4,0 a 6,0	perdas de 10 a 15
40 a 80	6,1 a 10	perdas de 20 a 50
> 80	> 10	perdas superiores a 50

2.3. Histórico da salinidade do solo no Rio Grande do Sul

No Rio Grande do Sul, os solos, de uma maneira geral, estão pouco sujeitos à salinização, mesmo os que apresentam deficiências de drenagem sub-superficial. Isto ocorre devido ao volume de chuvas suficiente para lixiviar os sais solúveis acumulados, especialmente o NaCl. No caso das lavouras de arroz irrigado das Planícies Costeiras do RS, entretanto, problemas de salinidade do solo podem ocorrer, devido à irrigação com água salina e à própria formação dos solos, originados de sedimentos marinhos e flúvio-lacustres (VILLWOCK & TOMAZELLI, 1995). A porção sul da costa brasileira é dominada por lagoas costeiras separadas do oceano por uma pequena barreira arenosa que funciona como um obstáculo ao fluxo superficial de água doce (MACHADO et al., 2008). A irrigação de lavouras de arroz com água salina proveniente de rios litorâneos, como o Tramandaí e o Mampituba, e da Lagoa dos Patos é um fator que contribui para a salinidade dos solos da região. O acúmulo no solo, dependendo da quantidade, pode prejudicar o estabelecimento e a produtividade da lavoura nos anos subsequentes, caso o excesso de sódio remanescente não seja removido.

2.4. Levantamento da salinidade do solo na lavoura arrozeira do Rio Grande do Sul

Em trabalho resultante de parceria entre a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e o IRGA, foi conduzido, nos anos de 2008 e 2009, um mapeamento da salinidade do solo nas Planícies Costeiras do Estado (Figura 1). Foram selecionados dois índices para expressar a salinidade do solo: a percentagem de sódio trocável (PST), que é uma medida da saturação por sódio das cargas positivas (CTC) do solo e a condutividade elétrica do extrato saturado (CEes), possível de ser medida a partir da mistura de uma parte de solo para cinco partes de água destilada ou deinonizada (TEDESCO et al., 1995).

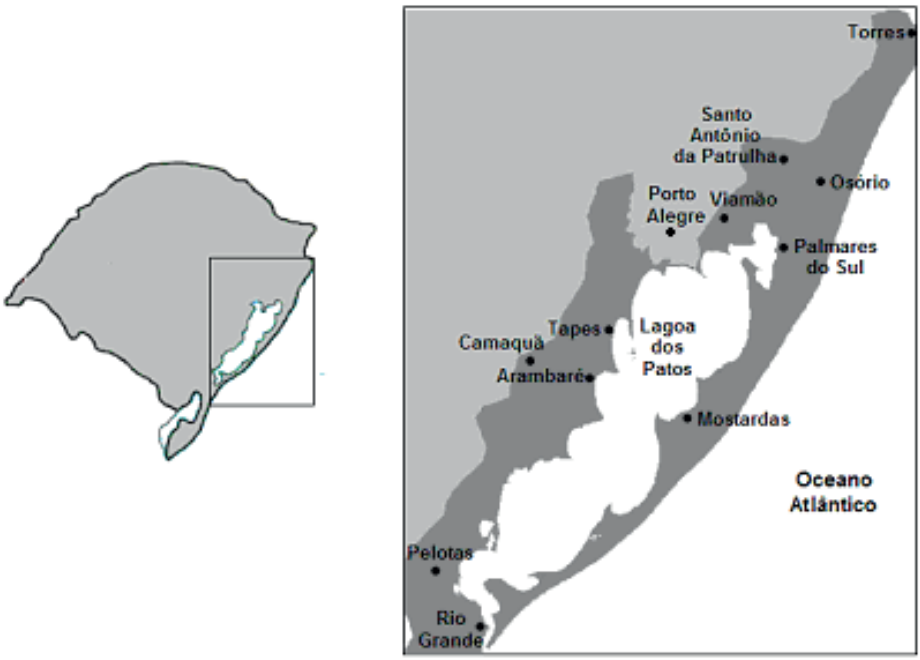


Figura 1. Localização da área de estudo no Estado do Rio Grande do Sul. Fonte: Carmona (2011). Região escurecida representa a abrangência das amostragens de solo nas Planícies Costeiras Interna, Externa e Litoral Norte do Rio Grande do Sul.

Nesse estudo, os maiores índices de PST no solo e da CEes foram observados na Planície Costeira Externa do Rio Grande do Sul (Figuras 2 e 3; Anexos 1 a 5). Nas proximidades da Lagoa do Casamento, entre os municípios de Viamão e Palmares do Sul (Anexo 4), a água utilizada para irrigação é praticamente isenta de sais de sódio, portanto, a causa da salinização desses solos não pode ser atribuída à utilização de água salina para a irrigação das lavouras. Dessa forma, os sais presentes nesse local podem ser devidos à gênese do solo, ou ser provenientes do subsolo, pelo fluxo ascendente de água subterrânea, favorecido pela alta permeabilidade do solo naquela região do Estado. Mais ao sul da Planície Costeira Externa, próximo a Mostardas, foram novamente encontrados altos índices de salinidade do solo (Figuras 2 e 3, Anexo 3). Naquela região, assim como nas cercanias das localidades de Bojurú e Estreito foram encontradas evidências da existência de paleocanais (Figura 4), formados a partir de milhões de anos atrás (Pleistoceno/Holoceno), em função dos aumentos e diminuições do nível do mar (WESCHENFELDER et al., 2008). Esta dinâmica proporcionou a deposição de sedimentos (ABREU & CALLIARI, 2005) sobre os antigos canais de drenagem dos rios Jacuí e Camaquã (MARTINS et al., 1996), que, antes da formação da Lagoa dos Patos, desaguavam diretamente no Oceano Atlântico. Os altos níveis de salinidade encontrados na Planície Costeira Externa estão justamente sobrepostos os paleocanais desses rios (Figuras 2 e 3; Anexos 2 e 3), o que indica que a salinidade do solo na camada arável nas proximidades de Mostardas, Tavares, Bojurú e Estreito pode estar relacionada ao fluxo subterrâneo de água salobra nos paleocanais, preenchidos com sedimentos permeáveis.

No Litoral Norte do Estado, a ocorrência de solos afetados por sais ocorreu em uma pequena faixa (Figuras 2 e 3; Anexo 5), em lavouras próximas à foz do rio Tramandaí, o que não foi verificado nas proximidades do rio Mampituba, embora a salinização desse manancial seja um problema recorrente. Os solos utilizados para o cultivo de arroz em Torres, entretanto, diferem daqueles utilizados em Imbé, pelo maior conteúdo de argila, o que confere àqueles solos uma maior capacidade de troca de cátions ($CTC_{pH\ 7,0}$), e, portanto, um maior poder de "tamponamento" dos íons Na^+ inseridos no sistema, em comparação aos solos arenosos de Imbé, de menor $CTC_{pH\ 7,0}$.

Já na Planície Costeira Interna, a ocorrência de solos com níveis de salinidade potencialmente prejudiciais ao cultivo de arroz, se restringiu à porção sul dessa região, em algumas áreas localizadas nos municípios de Pelotas, Rio Grande (Figuras 2 e 3; Anexos 1, 6, 7 e 8) e Tapes (Figura 3, Anexos 6b e 7b) com maior gravidade; e nas proximidades da Lagoa Pequena, da foz do Rio Camaquã, e ao sul do município de Arambaré (Figura 2, Anexo 7a), em níveis de menor gravidade à cultura. Nestes casos, a salinidade do solo pode ser proveniente exclusivamente do aporte de água salinizada da Lagoa dos Patos.

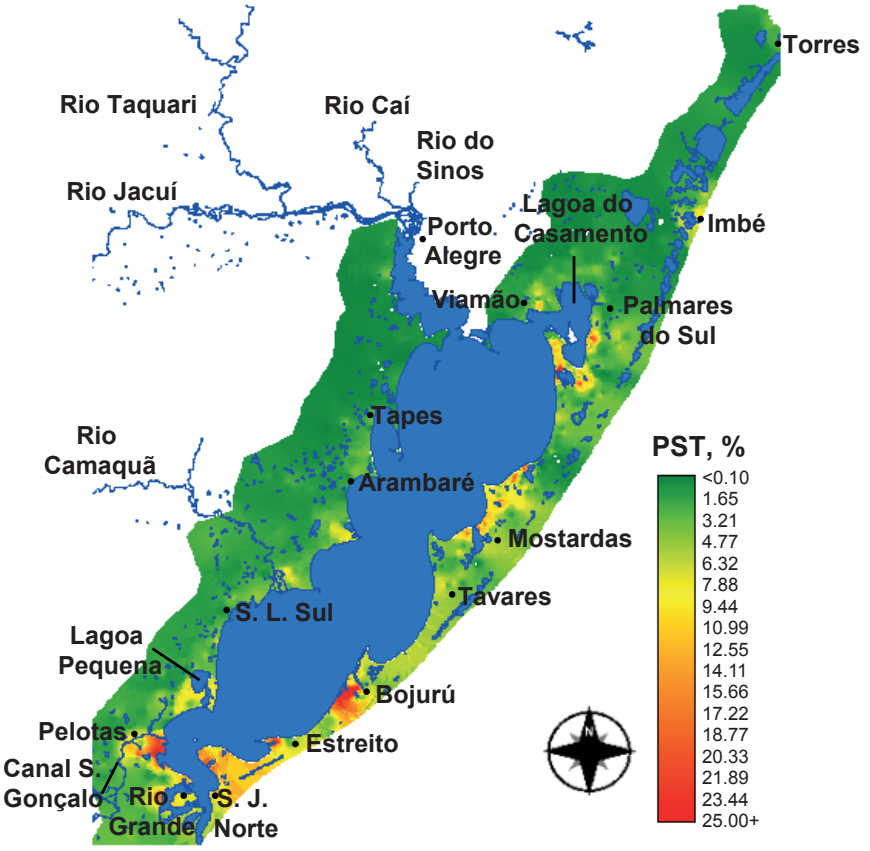


Figura 2. Ocorrência de solos com diferentes níveis de saturação por sódio na troca (PST), nas Planícies Costeiras do Rio Grande do Sul. Fonte: Carmona (2011).

Pela maior proximidade com o Oceano Atlântico, a porção meridional da Lagoa dos Patos está mais sujeita a intrusão de água salina do mar adjacente, estando as áreas irrigadas do entorno sob o risco de deposição de sais de sódio. Estudos prévios já haviam reportado a predominância, naquela região, de Planossolos Háplicos solódicos, além de Planossolos Nátricos ao longo do Canal São Gonçalo (PINTO et al., 2004). Apesar do relevo adequado para o cultivo de arroz, esses solos atualmente são utilizados apenas com pastagens, já que o excesso de sais de sódio inviabiliza a orizicultura. Irrigações de lavouras de arroz com água salina proveniente do arroio Pelotas, da Lagoa Pequena, do Rio Camaquã e da própria Lagoa dos Patos são outros fatores que contribuem para a salinidade dos solos dessa região.

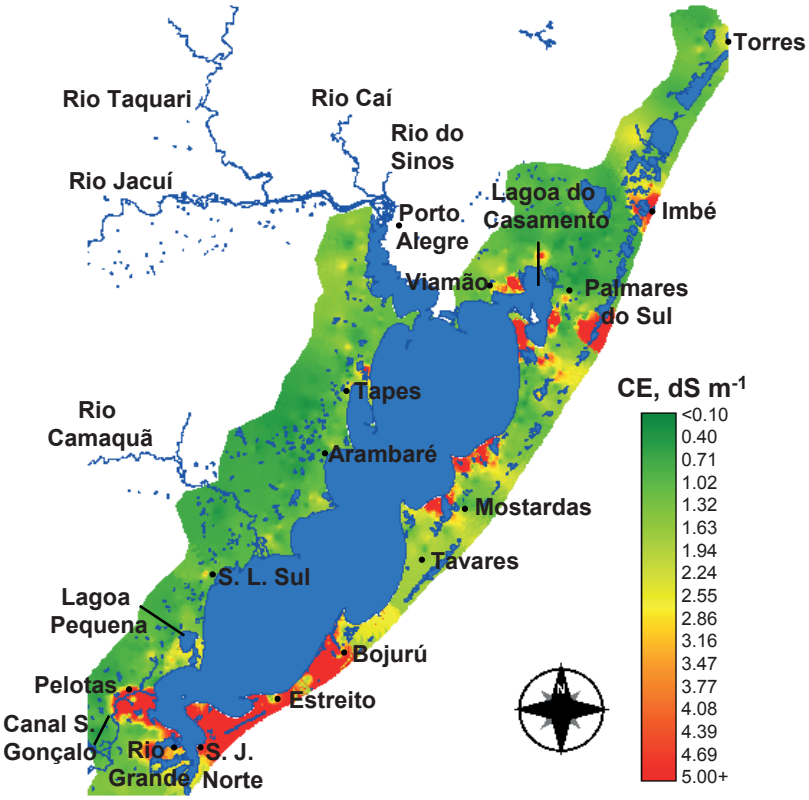


Figura 3. Ocorrência de solos com diferentes níveis de condutividade elétrica (CE) do extrato saturado, nas Planícies Costeiras do Rio Grande do Sul. Fonte: Carmona (2011).

Além das determinações analíticas, as áreas afetadas pela salinidade podem ter outros indicadores de fácil identificação visual. Na Planície Costeira Externa, a planta halófita *Cotula coronopifolia* (Figura 5a) se sobressai entre as plantas nativas da região, pela sua capacidade de sobreviver em solos salinos. O selamento superficial e a ausência de plantas em áreas excessivamente afetadas (Figura 5b) é outro indicativo de elevada salinidade, assim como o ressecamento da pastagem nativa (Figura 5c).

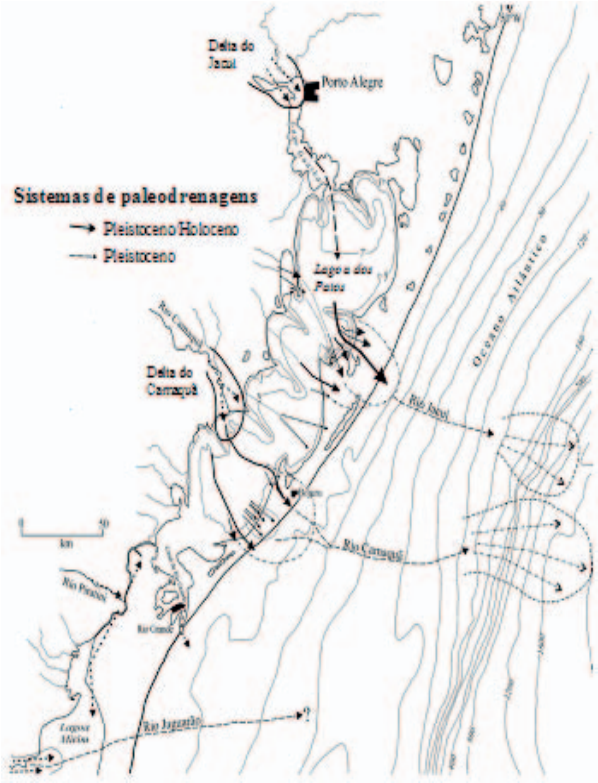


Figura 4. Sistemas de paleocanais ao longo da Planície Costeira Externa do Rio Grande do Sul. Adaptado de Weschenfelder et al. (2008).

Figura 5. Ocorrência da planta halófita *Cotula coronopifolia*, na localidade de Bojurú, com PST de 32% (a); selamento superficial em área com PST de 39 %, em Mostardas (b) e área de arroz com vegetação espontânea "queimada" por efeito da salinidade, em Mostardas (c).

2.5. Monitoramento da salinidade da solução do solo

Além do monitoramento da salinidade do solo cultivado com arroz, pode-se, também, realizar o monitoramento da salinidade da solução do solo ao longo do cultivo, prática bastante eficaz no diagnóstico de possíveis danos à cultura. Esse procedimento é indicado nas regiões de maior risco e na carência de um manancial hídrico alternativo de boa qualidade. Nesse caso, o monitoramento da salinidade na zona das raízes permitirá interromper o bombeamento de água no momento correto, quando a salinidade medida na zona radicular atingir o nível crítico de 2,0 (GRATTAN et al., 2002) a 3,0 dS m^{-1} (MAAS & HOFFMAN, 1977). O procedimento consiste na instalação de coletores de solução do solo

junto às raízes (Figura 6a,b,c). O dispositivo (adaptado de SILVA et al., 2003) consiste de um tubo de PVC, que serve como suporte (opcional), uma mangueira plástica, introduzida dentro do tubo suporte em uma das extremidades e conectada ao tubo coletor, que é revestido por uma tela de nylon (malha 100) nas duas extremidades. O coletor é posicionado na região onde se concentra a maior parte das raízes da cultura, em torno de 5 cm de profundidade (Figura 6a). As coletas de solução do solo podem ser realizadas com seringas de 60 mL. Um volume de 30 mL de solução é suficiente para a medição da condutividade elétrica (Figura 6d), o que deve ser feito em até 24 horas com condutivímetro portátil.

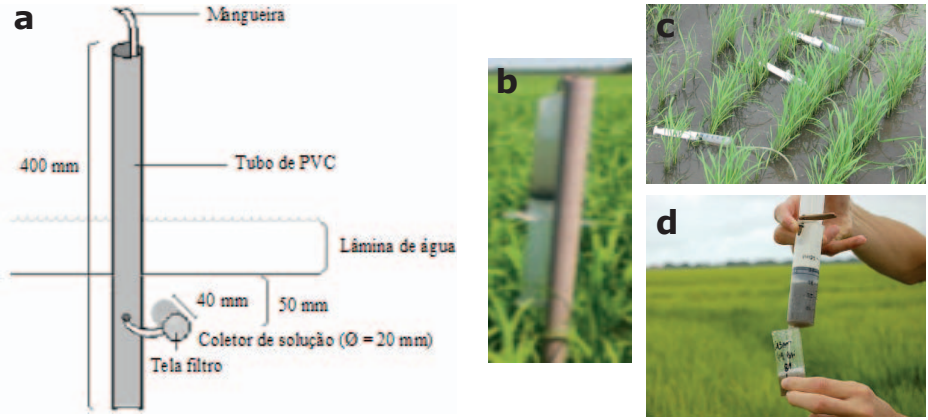


Figura 6. Esquematização de coletor de solução do solo (a), instalado a campo com suporte (b) e sem suporte (c) e acondicionamento em frasco para medição da condutividade elétrica (d). Fonte: Carmona (2011).

Alternativamente, pode-se fazer esse monitoramento através da condutividade elétrica da lâmina de água. Os teores de sais na lâmina de água tendem a seguir uma dinâmica semelhante à verificada na solução do solo, já que existe uma relação de equilíbrio, regulada pela interface entre a superfície do solo e a lâmina. Em estudo realizado no município de Mostardas, obteve-se a seguinte relação entre a CE da lâmina e a CE da solução do solo a 5 cm (Figura 7).

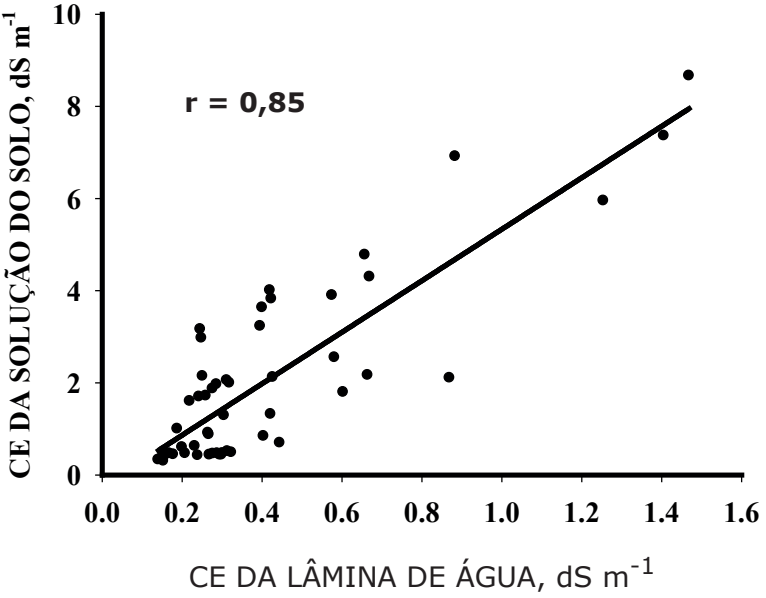


Figura 7. Correlação entre a condutividade elétrica da solução do solo (CEss) e a condutividade elétrica da lâmina de água (CEla), em solos com diferentes níveis de salinidade. Fazenda Cavalhada, Mostardas, safra 2008/2009. Fonte: Carmona (2011).

A partir dessa correlação, é possível estimar a condutividade elétrica do ambiente radicular na solução do solo (CEss), desde que se conheça a condutividade elétrica da lâmina de água (CEla), segundo a Equação 2. Essa metodologia de estimação da salinidade na zona das raízes deve ser feita em um período mínimo de ausência de chuvas de dois dias, para que seja estabelecido o equilíbrio entre a salinidade da solução do solo e da lâmina de água. Além disso, esse método é válido somente naqueles locais onde a água de irrigação é de boa qualidade e a salinidade do solo é pré-existente, devido à gênese ou à ascendência de sais da sub-superfície, caso das lavouras do entorno da Lagoa do Casamento, por exemplo (Anexo 4).

$$CEss = 5{,}59 \times CEla - 0{,}25 \qquad \text{Equação 2}$$

2.6. Salinidade da água de irrigação

Todos os mananciais de água de irrigação possuem sais minerais dissolvidos. Sua composição e concentração, entretanto, são variáveis conforme a fonte de água, sendo que muitos desses sais são benéficos às culturas. No entanto, a alta concentração desses elementos pode restringir ou mesmo inviabilizar o cultivo de lavouras, além de apresentar íons em concentrações tóxicas (SILVA, 2004). Os sais mais comuns na água de irrigação são o cloreto de sódio (NaCl), o sulfato de cálcio ($CaSO_4$), o sulfato de magnésio ($MgSO_4$) e o bicarbonato de sódio ($NaHCO_3$) (GRATTAN et al., 2002). Em mananciais hídricos conectados ao mar, o principal sal nas águas de irrigação é, normalmente, o NaCl (ASCH et al., 2000). A condutividade elétrica (CE) é o indicador de qualidade das águas de irrigação mais utilizado, por sua praticidade e o monitoramento da salinidade da água pode ser feito diretamente nos canais de irrigação da lavoura. A SOSBAI (2007) indica que o bombeamento de água para a lavoura deve ser temporariamente suspenso quando a CE da água de irrigação (CEi) atingir 2,0 dS m^{-1}.

2.6.1. Salinidade da água da Lagoa dos Patos

A Lagoa dos Patos situa-se entre 30° e 32° de latitude sul, no Estado do Rio Grande do Sul, e é a maior lagoa costeira do Brasil, possuindo 250 km de comprimento e uma largura média de 40 km. Caracteriza-se por ser um corpo de águas rasas, com profundidade média de 5 m, conectando-se ao oceano adjacente, no município de Rio Grande, através de um canal com 22 km de extensão, 2 km de largura e 12 m de profundidade, em média, sendo considerada do tipo estrangulada (KJERVFE, 1986). É responsável pela drenagem hídrica de metade da área do Estado (cerca de 200.000 km²), recebendo aportes de diversos rios, principalmente o Camaquã e o Jacuí, e da Lagoa Mirim. O estuário da Lagoa dos Patos, em sua porção meridional, ocupa cerca de 10 % da superfície total da lagoa.

A morfologia da Lagoa dos Patos apresenta grande influência na sua resposta aos principais forçantes (MOLLER JR et al., 2001), sendo o efeito do vento importante, devido à sua grande dimensão, e também à

orientação do seu eixo longitudinal (nordeste-sudoeste), que é alinhado com a direção predominante dos ventos. No inverno, a passagem de sistemas frontais provoca um aumento na freqüência da ocorrência de ventos de quadrante sul (MOLLER JR et al., 1996), o que causa um empilhamento de água em Itapoã e uma depressão na Feitoria (Figura 8a). No oceano adjacente, o transporte de massa (à esquerda da direção do vento) leva a um empilhamento de água na costa. Cria-se, portanto, um gradiente de elevação da superfície. O gradiente de pressão estabelecido nesse caso é responsável por bombear água para o interior da lagoa, aumentando a salinidade (CASTELÃO & MOLLER Jr, 2003). O contrário ocorre quando a predominância dos ventos vem do quadrante nordeste (Figura 8b). Nesse sentido, a vazão dos principais rios que abastecem a Lagoa (Jacuí, Taquari e Camaquã) também é de fundamental importância na descarga de água doce no estuário e, por conseqüência, no oceano (VAZ et al., 2006). Os valores de vazão média são de 8.000 $m^3\ s^{-1}$. Em situações extremas, os volumes podem chegar à ordem de 20.000 $m^3\ s^{-1}$ (ANTIQUERA & CALLIARI, 2005), o que diminui consideravelmente a salinidade da água na Lagoa dos Patos.

Apesar de não ser tão evidente quanto à descarga superficial, o fluxo de água também pode ocorrer no sub-solo. Esse transporte é um fenômeno freqüente especialmente quando um aqüífero conecta-se com as águas superficiais através de sedimentos permeáveis (BURNETT & DULAIOVA, 2003), como é o caso da planície costeira do sul do Brasil. Windom & Niencheski (2003) sugeriram que uma quantidade significativa dessa água se dirige ao mar por via subterrânea formando estuários, com processos de mistura entre a água doce e marinha em sub-superfície. Já está bem estabelecido que essa mistura subterrânea tende a ser descarregada no mar, principalmente após eventos significativos de chuva, que aumentam o nível da Lagoa dos Patos (MACHADO et al., 2008). Entretanto, a magnitude do fluxo inverso ainda não é conhecida, mas deve ser considerada em épocas de baixa precipitação nas cabeceiras dos principais rios afluentes da Lagoa dos Patos, como ocorre em anos de *La Niña*. Dessa forma, a descarga de água salobra pode ocorrer na Lagoa dos Patos, constituindo-se essa mais uma fonte de intrusão de sal neste manancial.

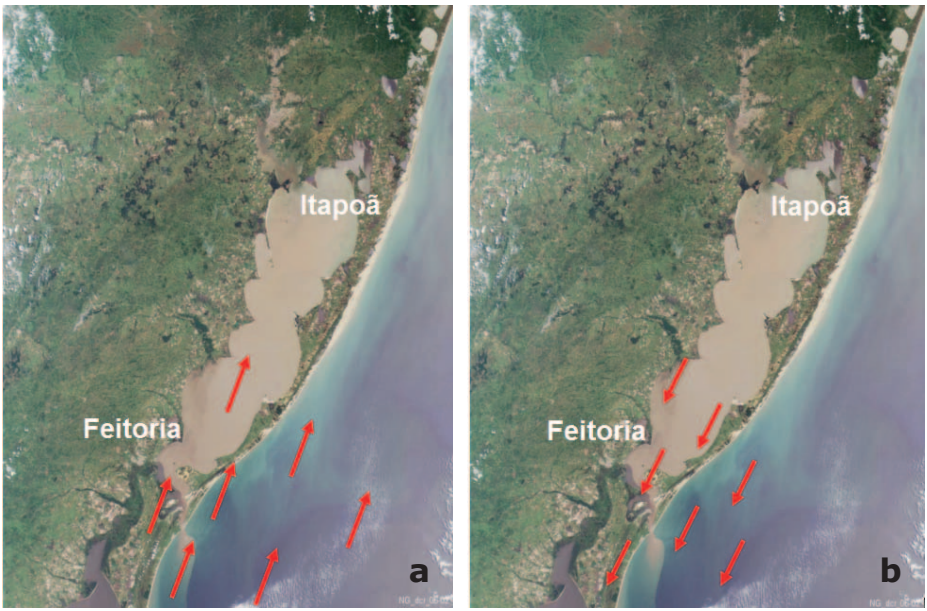


Figura 8. Incidência de vento sudoeste (a) e nordeste (b) sobre a região costeira do Rio Grande do Sul.

Embora não seja um problema que ocorra em todos os anos durante a safra de arroz, a salinidade da Lagoa dos Patos pode ocorrer com uma certa freqüência nos meses janeiro e fevereiro, quando ocorre baixa precipitação, coincidindo com a fase reprodutiva da cultura (MARCOLIN et al., 2005). Em monitoramento realizado em diferentes pontos de captação de água da Lagoa dos Patos para irrigação do arroz, de 2007 e 2009 (MARCOLIN et al., dados não publicados) verifica-se uma grande amplitude de valores de condutividade elétrica, tanto na Planície Costeira Interna (Figura 9a), quanto no Externa (Figura 9b), com mínimas próximas de zero e máximas acima de 12 dS m^{-1}. Nota-se, portanto, que ocorrem durante o ano, valores muito acima do tolerável para a cultura do arroz irrigado, cujo nível crítico estabelecido é de 2,0 dS m^{-1} (SOSBAI, 2007).

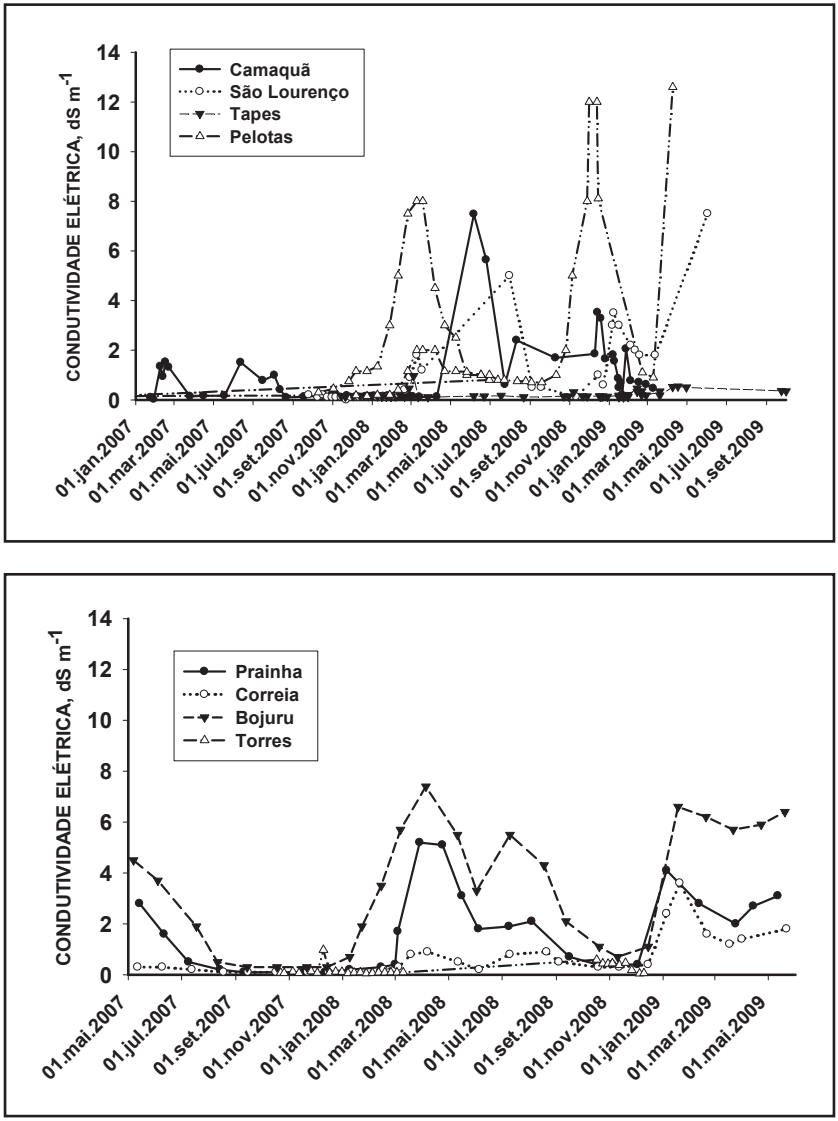


Figura 9. Dinâmica da Condutividade elétrica da água da Lagoa dos Patos, entre os meses de maio de 2007 e setembro de 2009, em quatro locais da Planície Costeira Interna (a) da Planície Costeira Externa à Lagoa dos Patos (b). Fonte: Marcolin et al. (dados não publicados).

3. Possibilidade de uso da água em função da salinidade do solo

Muitos produtores que utilizam a água da Lagoa dos Patos para irrigação não possuem manancial hídrico alternativo, em caso de intrusão salina que eleve a CE da lagoa a níveis acima do crítico estabelecido para a cultura do arroz. Apesar disso, alguns arrozeiros fazem uso da água com nível de CE próximo ou acima do crítico, por determinado intervalo de tempo, sob pena de terem perdas significativas na produtividade da cultura, em caso de supressão da irrigação. Entretanto, o volume de água possível de ser adicionado depende de uma série de fatores, como o nível de salinidade da água que está sendo adicionada, da textura e do nível de salinidade pré-existente no solo, por exemplo. Com isso, em solos já afetados por sais, a utilização de água salina pode representar riscos à cultura e à estrutura física do solo, mesmo em níveis abaixo de 2,0 dS m^{-1}. A utilização de água com altos níveis de Na^+ altera a percentagem de saturação por sódio (PST) do solo, podendo prejudicar a cultura em PST a partir de 15 a 20%.

Nesse sentido, o conhecimento da CE da água pode fornecer uma estimativa do volume de água possível de ser utilizada em solos com PST conhecida, até que se atinja um determinado nível pré-estabelecido, desde que se conheça a quantidade de Na^+ que está sendo aportada ao solo. O teor de Na^+ na água de irrigação (*Na^+i*) está intimamente relacionado à sua CE (*CEi*), que é de fácil monitoramento, pela praticidade de medição, o que permite uma rápida tomada de decisão quanto à possibilidade de uso da água. Essa relação *Na^+i vs CEi* foi obtida a partir de amostragens de água em cinco diferentes pontos da Lagoa dos Patos (Figura 10) e é dada pela Equação 3.

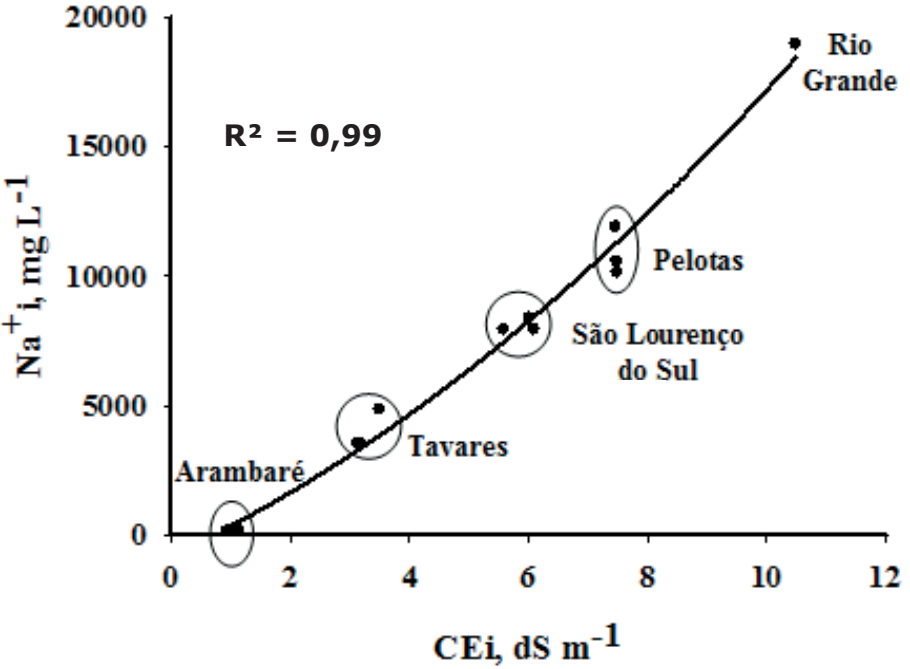


Figura 10. Teor de sódio (*Na⁺i*) em função da condutividade elétrica da água (*CEi*) em diferentes pontos no entorno da Lagoa dos Patos. Fonte: Carmona (2011).

$$Na^{+}i\ (mg\ L^{-1}) = 72{,}6 \times CEi^{2}\ (dS\ m^{-1}) + 1.073 \times CEi\ (dS\ m^{-1}) - 789$$

Equação 3

Nesse contexto, a relação entre o teor de *Na⁺i* e a *CEi* da água é um indicador da possibilidade de seu uso, até que a PST do solo atinja o limite crítico de 15 a 20%. Baseando-se nessa equação, são apresentados na Tabela 2 os teores de Na^{+} na água de irrigação em função da condutividade elétrica da mesma.

Tabela 2. Teor de sódio em função da condutividade elétrica da água de irrigação.

CEi	Na^+i
dS m^{-1}	mg L^{-1}
1,00	357
1,25	666
1,50	984
1,75	1311
2,00	1647
2,25	1993
2,50	2347
2,75	2711
3,00	3083
3,25	3465
3,50	3856
3,75	4256
4,00	4665

Com base nas amostras de solo que deram origem ao mapa de salinidade do solo nas Planícies Costeiras do Rio Grande do Sul (Figura 2), foi possível, também, gerar mapas da possibilidade de uso da água em função da sua salinidade nessas regiões. A partir da PST original do solo "*PSTo*" (Equação 1), pode-se determinar a quantidade de Na^+ necessária para saturar a fração trocável deste solo em 15% (Equação 4):

$$\boldsymbol{Na^+n = [(Na^+o \times 15) / PSTo] - Na^+o} \qquad \text{Equação 4}$$

Onde "Na^+n" representa a quantidade de Na trocável necessária para se elevar a PST do solo a 15% e "Na^+o" é o teor original de Na trocável deste solo.

Partindo-se da estimativa de "Na^+n", é possível calcular o volume de água "*Va*", em função da "*CEi*", necessário para a elevação da PST do solo a 15%, na camada de solo de 20 cm, considerando-se uma fração de lixiviação de 0,15, característica de solos com baixa permeabilidade cultivados com arroz irrigado:

$$\boldsymbol{Va\ (m^3\ ha^{-1}) = (2.000 \times Na^+n) / (Na^+i / 0{,}85)} \qquad \text{Equação 5}$$

O valor de 2.000 na Equação 5 se refere à camada de solo sob influência das raízes, que é de 20 cm e o valor de 0,85 se refere à fração de lixiviação de 0,15, ou seja, 85% da água adicionada permanece no solo e os restantes 15% são perdidos por percolação profunda e/ou por escorrimento superficial e lateral.

Num exemplo prático, considerando-se um solo com as seguintes características:

Teor de sódio do solo (Na^+o) = 230 mg dm^{-3}
PST do solo (*PSTo*) = 5,5%
Nesse caso, substituindo-se as variáveis da Equação 4, tem-se
Na^+n = [(230 x 15) / 5,5] - 230
Na^+n = 397,3 mg dm^{-3}

A quantidade de sódio a ser acrescentada a esse solo para que a sua PST atinja 15% é, portanto, de 397,3 mg dm^{-3}.

Já o volume de água possível de ser adicionada a esse solo pode ser calculado em função da *CEi* da água de irrigação, de acordo com os valores da Tabela 2. Considerando-se quatro situações, onde a *CEi* fosse de 1,0 dS m^{-1} (357 mg L^{-1} de Na^+); 1,5 dS m^{-1} (984 mg L^{-1} de Na^+); 2,0 dS m^{-1} (1.647 mg L^{-1} de Na^+) e 3,0 dS m^{-1} (3.083 mg L^{-1}), tem-se os seguintes valores de *Va*:

Para *CEi* = 1,0 dS m^{-1}:
$Va = (2000 \times 397,3) / (357 / 0,85)$
Va = 1.892 m^3 ha^{-1}

Para *CEi* = 1,5 dS m^{-1}:
$Va = (2000 \times 397,3) / (984 / 0,85)$
Va = 686 m^3 ha^{-1}

Para *CEi* = 2,0 dS m^{-1}:
$Va = (2000 \times 397,3) / (1.647 / 0,85)$
Va = 410 m^3 ha^{-1}

Para *CEi* = 3,0 dS m^{-1}:
$Va = (2000 \times 397,3) / (3.083 / 0,85)$
Va = 219 m^3 ha^{-1}

No exemplo apresentado, nota-se que a possibilidade de uso de água para o solo em questão passa a ser bastante restrito, em situações onde a *CEi* é de 1,5 dS m^{-1}. Já em se tratando de uma *CEi* de 1,0 dS m^{-1}, pode-se utilizar um volume de quase 2.000 m^3 ha^{-1}, o que equivale a 25% do volume demandado pela cultura, quando manejada adequadamente, ou

50% do volume a ser bombeado, se considerar-se o aporte de água das chuvas, que, em anos normais, é de 4.000 m^3 ha^{-1}. Por outro lado, se a *CEi* atingir 3,0 dS m^{-1}, no exemplo acima, ainda será possível utilizar um pequeno volume de água antes de se interromper a irrigação, mesmo este índice estando acima do crítico estabelecido pela pesquisa. Isto demonstra a necessidade de um acompanhamento da situação atual da salinidade nas lavouras, principalmente naquelas consideradas de risco e sem manancial hídrico alternativo. Esse monitoramento permitirá um manejo mais eficiente e seguro da água utilizada para irrigação, de modo a não comprometer o solo e a própria cultura.

Tendo como base o modelo apresentado, estimou-se o volume de água com *CEi* de 1,0; 1,5; 2,0 e 3,0 dS m^{-1} possível de ser adicionado nos solos das Planícies Costeiras do Rio Grande do Sul, para elevação da PST a 15% (Figura 11). Esta estimativa foi feita com base no mapeamento da salinidade do solo, conforme consta no item 2.4. Considerou-se que solos com *PSTo* igual ou superior a 15% não podem receber água de irrigação com CE a partir de 1,0 dS m^{-1}, sob pena de terem seus índices de salinidade aumentados a níveis incompatíveis ao cultivo de arroz. Os mapas foram elaborados em uma escala de 0 a 4.000 m^3 ha^{-1}, já que este é o volume máximo a ser adicionado pelo produtor que adota o manejo para alta produtividade, sendo que, nessas condições, o volume total de água a ser adicionado é de 8.000 m^3 ha^{-1}. Como enfatizado anteriormente, no Rio Grande do Sul, em condições normais de pluviosidade, cerca de 50% (4.000 m^3 ha^{-1}) dessa demanda pode ser suprida pelas chuvas (MARCOLIN et al., 2009).

De uma maneira geral, os maiores índices de PST do solo observados na Planície Costeira Externa à Laguna dos Patos, e na parte sul da Planície Costeira Interna (Figura 2), se refletiram em uma menor possibilidade de uso de água nesses locais (Figura 11). Ao contrário, parte expressiva das áreas do Litoral Norte se apresentou apta a receber os maiores volumes de água, devido, principalmente, aos baixos teores originais de sódio nos solos naquela região.

Mesmo estando abaixo do nível crítico estabelecido para o arroz irrigado, a simulação de irrigação com água com CE = 1,5 dS m^{-1} mostrou-se restritiva para a maioria das regiões da área de estudo (Figura 11b), em virtude da salinidade pré-existente no solo. Nessas circunstâncias, a maior parte dos solos pode receber um volume de água entre 750

e 1.250 m³ ha^{-1}, ou seja, entre 18,75 e 31,25 % da demanda total da cultura, considerando-se a contribuição das chuvas.

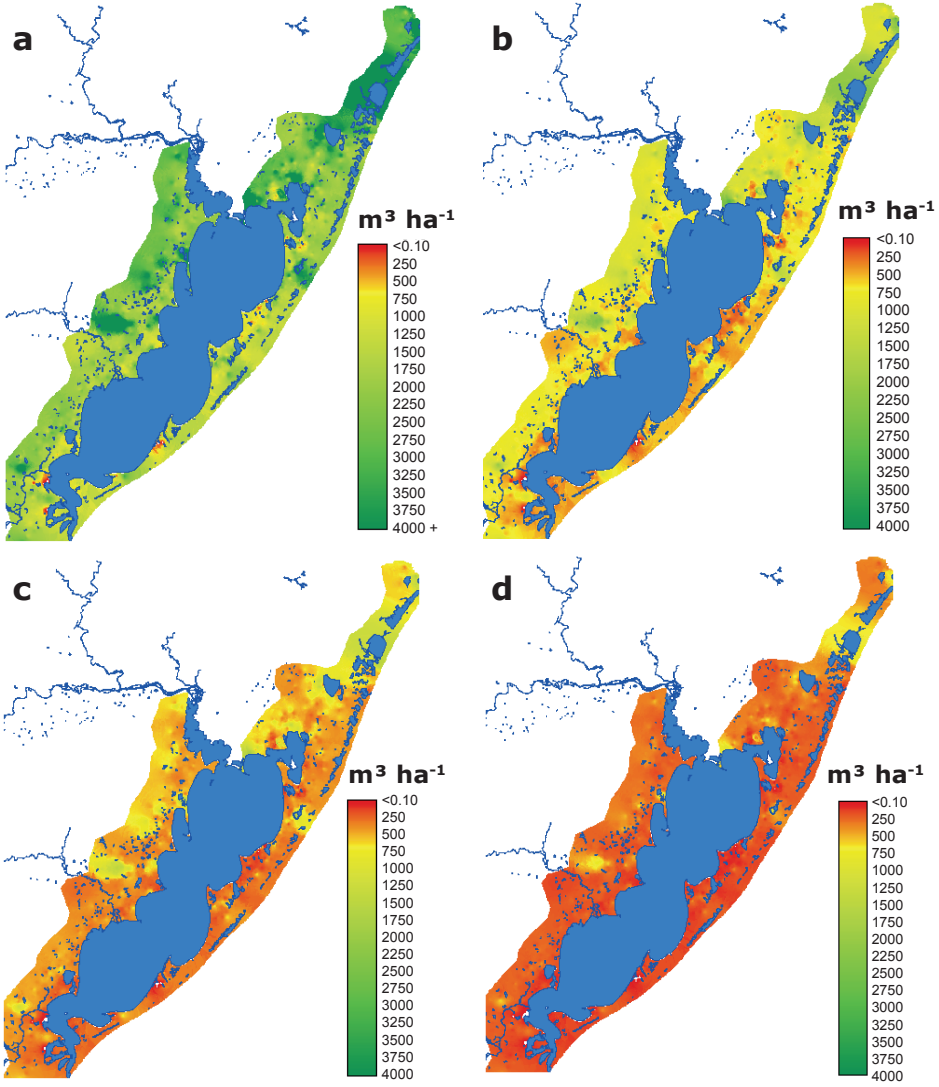


Figura 11. Volume de água de irrigação com níveis de condutividade elétrica de 1,0 dS m^{-1} (a), 1,5 dS m^{-1} (b), 2,0 dS m^{-1} (c) e 3,0 dS m^{-1} (d) possível de ser utilizada nas Planícies Costeiras do Rio Grande do Sul, até que a PST do solo atinja 15%. Fonte: Carmona (2011).

Isso demonstra haver a necessidade de estabelecimento do índice crítico de salinidade da água de irrigação, (que atualmente é de 2,0 dS m^{-1}) levando em consideração a salinidade do solo nas áreas onde a água será utilizada.

Por outro lado, em solos com menor nível de salinidade e alta CTC, foi verificada a possibilidade de uso de água com CE = 2,0 dS m^{-1} (nível crítico) de até 2.000 m^3 ha^{-1} em faixas de solo, principalmente no Litoral Norte, o que permite utilizar essa água ainda por algum tempo (Figura 11c). Águas com níveis de 3,0 dS m^{-1} (Figura 11d), embora 50% acima do nível crítico, ainda podem ser utilizadas em faixas de solo restritas e em baixo volume, o que, novamente, demonstra a necessidade de estabelecimento de níveis críticos variáveis para os diferentes solos da região.

4. Efeitos da salinidade sobre o arroz irrigado

A tolerância do arroz à salinidade varia conforme o estádio de desenvolvimento da cultura, sendo as fases de plântula e florescimento críticas. Quando em níveis acima do tolerável, a salinidade da água ocasiona perdas no estabelecimento de estande (Figura 12a) diminuição do perfilhamento, clorose (Figura 12b) e morte de folhas (Figura 12c,d) e diminuição da estatura de plantas (Figura 12d), além de aumentar a esterilidade das espiguetas e o número de perfilhos não produtivos.

Os programas de melhoramento de arroz irrigado no Rio Grande do Sul foram desenvolvidos, em sua maioria, em condições de salinidade baixa ou nula. Portanto, não se espera haver genótipos resistentes entre os cultivares produzidos (MARCOLIN et al., 2005). A variedade IRGA 417, por exemplo, muito cultivada no RS, pode ser considerada sensível, pois apresentou 65% de espiguetas estéreis quando submetidas à irrigação contínua com água salinizada na concentração de 0,2% de NaCl a partir da diferenciação do primórdio floral (MARCOLIN & MACEDO, 2001).

O efeito do excesso de sais sobre a transpiração das plantas deve ser considerado como um dos principais fatores que determinam a resposta da planta ao estresse, uma vez que a eficiência no consumo de água determinará a absorção de nutrientes e de íons tóxicos, como o próprio sódio, prejudicando o desenvolvimento das plantas, já que o arroz é afetado pela excessiva absorção desse íon pelos tecidos fotossinteticamente ativos, o que leva a perdas em rendimento. No período reprodutivo do arroz, a salinidade causa alterações morfológicas semelhantes à de outros estresses ambientais, que causam inibição do crescimento de estruturas das plantas, como a degeneração das espiguetas (CUI et al., 1995).

Efeitos antagônicos na absorção de nutrientes podem ocorrer sob condições de excessiva disponibilidade de Na^+, causando deficiências nutricionais no arroz O desbalanço gerado pelos excessivos teores Na^+ e Cl^- na solução causam decréscimo nos conteúdos de K e Ca nos tecidos (AHMAD et al., 2007; FAGERIA, 1991), diminuindo, respectivamente, as relações K/Na e Ca/Na. Isso ocorre porque as células mantêm um balanço entre cátions e ânions. Um aumento no conteúdo de Cl nas células, como resultado do alto nível de salinidade, traz consigo o aumento do teor de Na. Como o total de cargas na célula deve ser balanceado, o aumento no nível de Na resulta em diminuição nos teores de K e Ca (CRAMER et al, 1985). Altos níveis de sódio ou baixa relação K/Na no solo, podem deflagrar uma série de processos enzimáticos no citoplasma da planta, permitindo que o sódio compita com o potássio pelos sítios de absorção (OBATA et al., 2007), sendo que capacidade da planta em manter alta a relação K/Na no citosol é premissa básica para o adequado crescimento em solos salinos (GLENN et al., 1999).

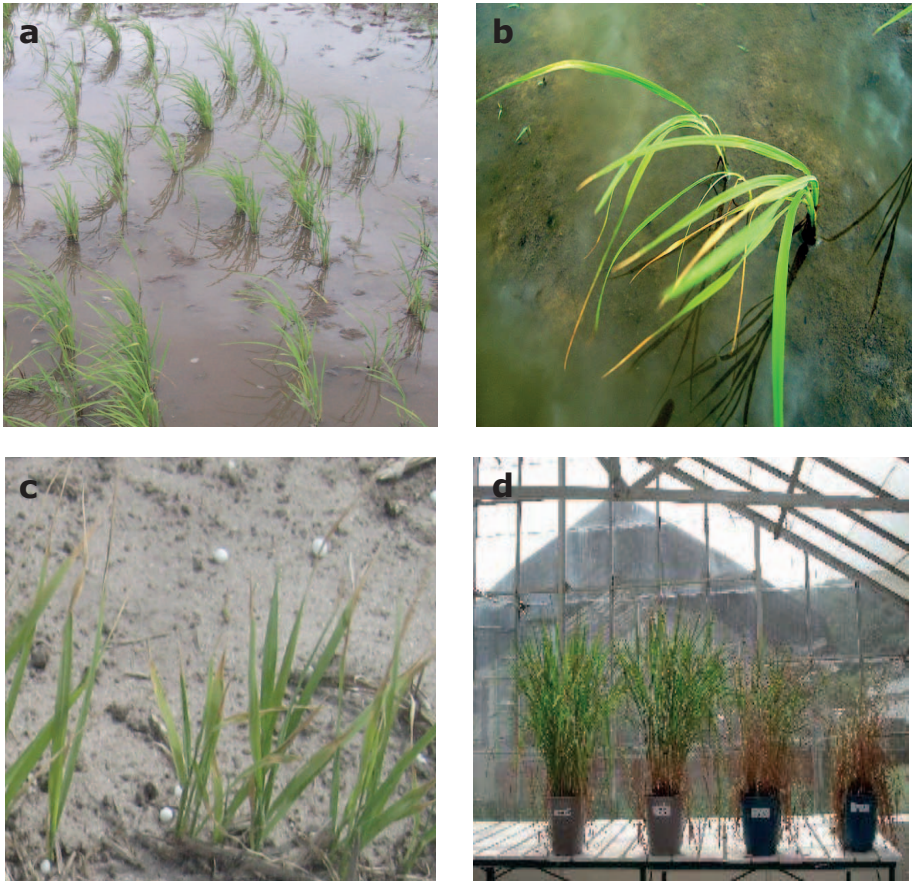


Figura 12. Efeitos da salinidade sobre o estande de plantas (a), sobre a pigmentação (b), sobrevivência de folhas (c) e sobre a estatura de plantas de arroz (d).

Carmona et al. (2009), em estudo realizado com o cultivar IRGA 417, cultivado em solos com diferentes níveis de salinidade, submetido a diferentes modos de adubação potássica observaram redução, na parte aérea, das relações Mg/Na e principalmente Ca/Na (Figura 13) que, no solo com saturação por sódio na troca de 20%, foi 2,5 vezes menor em relação à testemunha. Esses autores relataram também efeitos antagônicos entre os níveis de sódio adicionados e a absorção de potássio pelo arroz. Nesse sentido, o excesso de Na^+ no solo pode causar a perda de íons K^+, em função da despolarização da membrana e substituição por

íons Na^+ (CRAMER et al., 1991). Os dois cátions têm átomos similares e os transportadores de K^+ são menos específicos em níveis tóxicos de Na^+ (CASTILLO et al., 2007). A relação entre os íons K e Na é um indicador de tolerância à salinidade, pois reúne duas características desejáveis: alta absorção de K, necessária para os processos metabólicos e ajuste osmótico, e a absorção de sódio, como um indicador do nível de estresse (GARCIA et al., 1997).

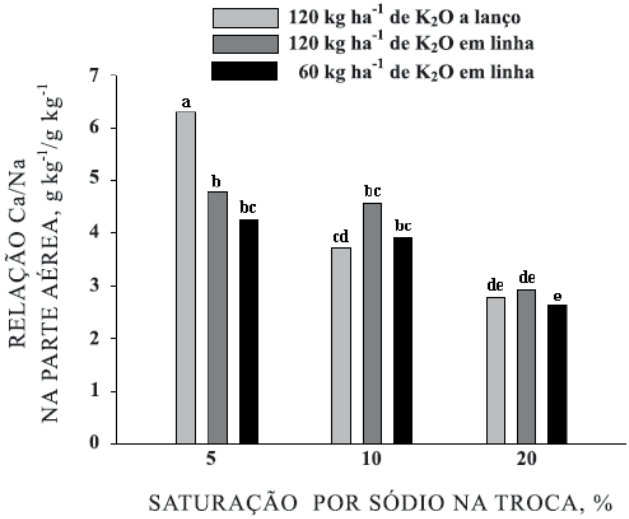


Figura 13. Relação cálcio/sódio na parte aérea de plântulas de arroz, em função do manejo da adubação potássica e níveis de salinidade no solo. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste DMS ($p < 0,05$). Fonte: Carmona et al., (2009).

Em estudo realizado no Município de Mostardas (Figura 14a), na safra 2008/09, foram avaliados os efeitos da salinidade do solo e do manejo da adubação potássica sobre o estabelecimento do estande do arroz (CARMONA, 2011). Os resultados indicam que a aplicação do fertilizante potássico preferencialmente a lanço, ou fracionada em duas aplicações, pode ser uma alternativa eficaz para um melhor estabelecimento da cultura em solos arenosos e previamente afetados pela salinidade. Em semeaduras realizadas a partir da segunda quinzena de novembro (fora do período ideal, portanto), quando normalmente a pluviosidade

é menor e a umidade do solo é reduzida, os efeitos associados da salinidade do solo e do fertilizante potássico em contato direto com as sementes são ainda mais evidentes. Dependendo do nível de dano que a aplicação de altas doses em linha de KCl possa causar, os efeitos deletérios dessa prática podem se refletir, inclusive, no rendimento da cultura (Figura 14b).

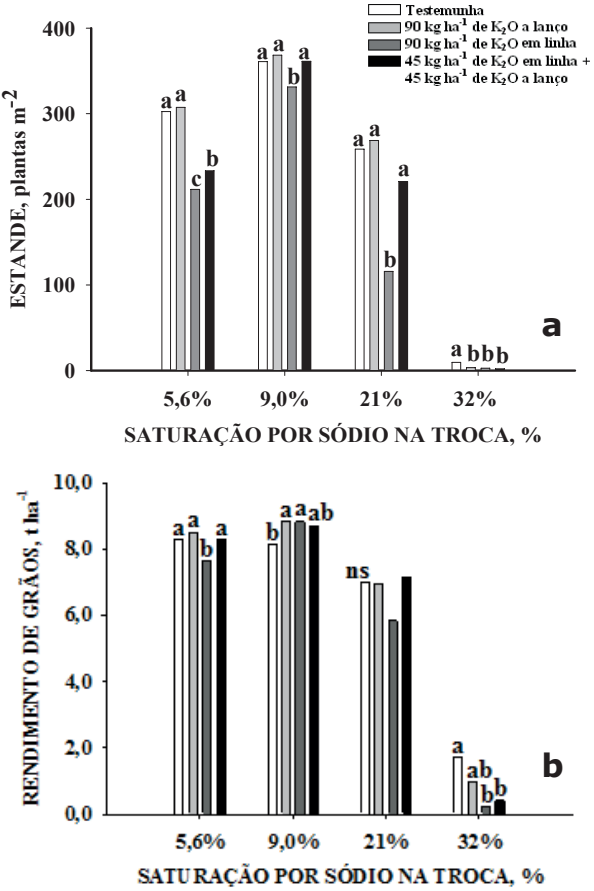


Figura 14. Estande de plantas (a) e rendimento de arroz irrigado (b) em função do manejo da adubação potássica e do nível de salinidade no solo. Médias seguidas pela mesma letra, entre os níveis de salinidade não diferem entre si, pelo teste DMS ($p < 0,05$). Fazenda Cavalhada, Mostardas, safra 2008/2009. Fonte: Carmona (2011).

Independentemente do manejo da adubação potássica, as perdas em rendimento são expressivas com o aumento da salinidade e se iniciam em PST a partir de 15% (Figura 15).

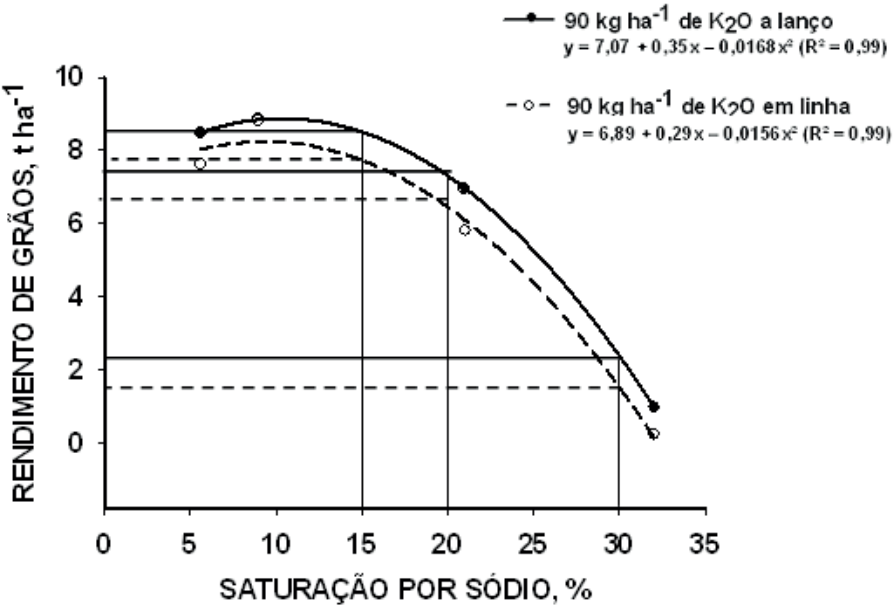


Figura 15. Rendimento de arroz irrigado, em função do manejo da adubação potássica e do nível de salinidade do solo.

Considerando-se o rendimento máximo obtido nesse estudo, de 8,9 t ha^{-1}, as perdas de produtividade na PST de 15% foram de 0,66 t ha^{-1} (7,42%), na adubação a lanço e de 1,77 t ha^{-1} (19,9%) na adubação em linha (Figura 15). Já na PST de 20%, essas perdas foram de 1,55 t ha^{-1} (17,4%) na adubação a lanço e de 2,45 t ha^{-1} (27,5%) na adubação em linha (Figura 15). Seguindo essa tendência, as perdas mais expressivas ocorreram na PST de 30%, onde, na adubação a lanço a perda foi de 6,45 t ha^{-1} (72,5%) e na adubação em linha foi de 7,35 t ha^{-1} (82,6%) (Figura 15).

Esses resultados contrastam com os níveis estabelecidos pela literatura, onde perdas de 50% na produtividade da cultura se dariam apenas em PST a partir de 80% (Tabela 2). Entretanto, deve-se considerar

as peculiaridades do cultivo do arroz no Rio Grande do Sul. Enquanto que a maioria dos estudos relacionados ao tema foram realizados no continente asiático, onde predomina o sistema de cultivo por transplante de mudas, no Rio Grande do Sul, majoritariamente, o cultivo é feito em solo seco, com entrada de água a partir de três a quatro folhas. Esse fato é de fundamental importância na resposta da cultura à salinidade. Em solo seco, os efeitos do excesso de sais e do contato das sementes com o fertilizante potássico pode determinar perdas severas no estande (Figura 14a), o que é sensivelmente minimizado no sistema de transplante e no pré germinado e, já que a água tende a diluir os sais no meio radicular. Além disso, nesses casos, não há contato direto de fertilizante com as raízes. O mau estabelecimento da cultura acaba por se refletir no rendimento de grãos (Figura 14 b). Some-se a isso o fato de que o problema da salinidade no Estado se restringe às Planícies Costeiras, cujos solos têm, em sua maioria, baixo conteúdo de argila e, por conseqüência, baixa capacidade de retenção de água, o que agravará ainda mais o problema.

As perdas de produtividade em função da salinidade podem ocorrer em função de uma série de causas, como redução da capacidade fotossintética (SULTANA et al., 1999), decréscimo no acúmulo de fotoassimilados nos grãos (ASCH et al., 2000), além da redução no enchimento. No período reprodutivo do arroz, a salinidade causa variações morfológicas semelhantes à de outros estresses ambientais, que causam inibição do crescimento de estruturas das plantas, como a degeneração das ráquis primárias e secundárias e das espiguetas nas panículas (CUI et al., 1995). Nessas circunstâncias, a esterilidade de espiguetas é um parâmetro que se correlaciona significativamente com o rendimento de grãos da cultura (KATHUN et al., 1995). Nesse sentido, os danos à produtividade da cultura são semelhantes, tanto com irrigação com água salina a partir de V4 (Figura 16a), quanto a partir da DPF (Figura 16b). Já a imposição do estresse a partir do florescimento pleno (Figura 16b) não causa prejuízos significativos à cultura (FRAGA et al., 2010).

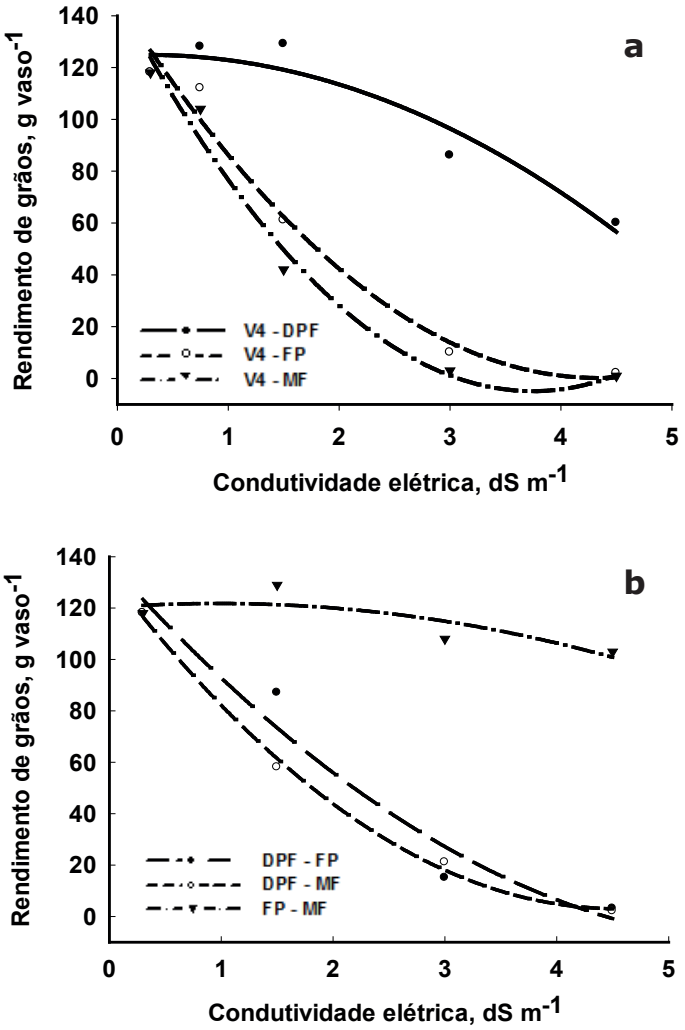


Figura 16. Rendimento de grãos de arroz da variedade IRGA 424 afetada por níveis de salinidade em diferentes períodos do seu ciclo a partir do perfilhamento (a) e do período reprodutivo (b). V4 - quatro folhas totalmente expandidas; DPF - diferenciação do primórdio floral; FP - florescimento pleno; MF - maturação fisiológica. Fonte: Fraga et al. (2010).

5. Práticas de manejo para mitigar o efeito salino

5.1. Com relação ao manejo de solos afetados pela salinidade

No preparo das áreas de cultivo, recomenda-se a implantação de um eficiente sistema de drenos nos quadros, com profundidade de cerca de 10 cm, logo após a colheita da lavoura (preparo antecipado), a fim de permitir a drenagem da água das chuvas do inverno e primavera subsequentes. Isto promoverá a diminuição dos níveis de sódio na camada de maior desenvolvimento radicular, de 0 – 10 cm.

Em casos mais extremos, em solos com selamento superficial em função da dispersão da argila (Figura 5c), pelos teores de sódio muito elevados, recomenda-se, também, na entressafra, fazer escarificação da camada selada sempre que ela se formar, para evitar o escorrimento superficial de água, facilitando a percolação da mesma no perfil e a consequente lixiviação do excesso de sódio.

Em solos com altos teores de sódio, utilizar água de boa qualidade no cultivo do arroz, ou seja, com condutividade elétrica até 0,5 dS m^{-1}. O efeito físico das raízes da cultura favorece uma melhor permeabilidade do solo e maior infiltração e percolação de água no perfil, o que facilitará a lixiviação do excesso de sódio ao longo do ciclo de irrigação (Figura 17), principalmente em solos de textura arenosa. A prática de pousio nessas áreas pode agravar o problema, principalmente em anos de estiagem, o que favorece a ascensão de sais à camada de solo superficial.

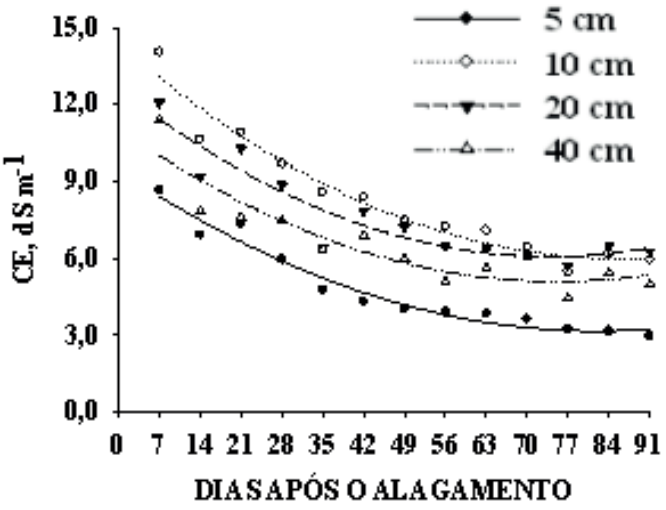


Figura 17. Condutividade elétrica da solução do solo em diferentes profundidades, ao longo do ciclo de desenvolvimento da variedade IRGA 417. Fazenda Cavalhada, Mostardas. Safra 2008/2009. Fonte: Carmona (2011).

5.2. Com relação ao manejo da cultura e da adubação de base

Antecipar ao máximo a semeadura da cultura, dentro do período recomendado para a variedade escolhida. No caso de cultivares precoces, proceder a semeadura, se o clima permitir, ainda na segunda quinzena do mês de outubro. Mesmo em áreas afetadas pela salinidade, a ocorrência de chuvas regulares (típicas nesse mês do ano) favorece a diluição do excesso de sódio no solo, permitindo um melhor estabelecimento de estande do arroz em relação à semeadura realizada a partir de novembro, que é, normalmente, um mês mais seco.

Em solos afetados pela salinidade, aplicar o adubo potássico a lanço (Figura 18a), principalmente se a área de cultivo requerer altas doses de potássio, o que normalmente ocorre na maioria dos solos das planícies costeiras e Litoral Norte. O alto índice salino do KCl, em contato com as sementes, somado à salinidade do solo, causa danos à emergência das plântulas, podendo causar inclusive a morte das mesmas (Figura 18b,c).

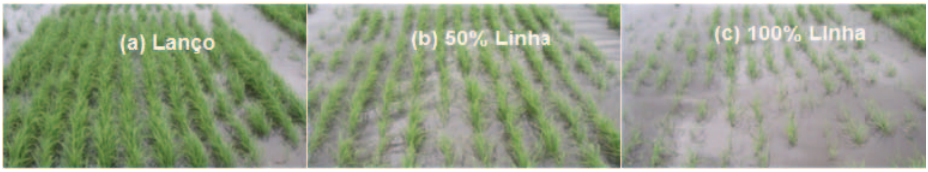


Figura 18. Efeito do manejo da adubação potássica, sobre o estande do arroz: (a) aplicação 90 kg ha^{-1} K_2O a lanço; (c) aplicação de 45 kg ha^{-1} K_2O (50%) na linha de semeadura; (d) aplicação de 90 kg ha^{-1} K_2O (100%) na linha de semeadura. Fazenda Cavalhada, Mostardas. Safra 2008/2009. Fonte: Carmona (2011).

5.3. Com relação ao manejo da água de irrigação

Deve-se realizar constante monitoramento da qualidade da água utilizada para a irrigação, principalmente durante o período reprodutivo da cultura. A aquisição de condutivímetros portáteis, que são relativamente baratos e de fácil operação, é importante, tanto pelos profissionais que atuam na área de suporte técnico, quanto pelos próprios produtores que utilizam a água da Lagoa dos Patos e de lagoas e rios litorâneos.

Em propriedades rurais localizadas mais ao sul das planícies costeiras, onde a salinização da Lagoa dos Patos é recorrente, assim como naquelas propriedades do Litoral Norte localizadas próximas à foz dos rios Tramandaí e Mampituba, deve-se incentivar a construção de mananciais alternativos de água para irrigação. Essas fontes de água seriam utilizadas apenas nos momentos de maior salinidade da Lagoa dos Patos, ou da água dos rios antes mencionados, principalmente no período reprodutivo da cultura.

6. Créditos fotográficos

Fotos 5b-6b-12a-12b-12c-18.....Felipe de Campos Carmona
Fotos 5b-6c-6d.....Amanda Posselt Martins
Foto 5a.....Marcelo Hoerbe Andrighetti
Foto 5c, capa.....Valmir Gaedke Menezes
Foto 12d.....Thiago Isquierdo Fraga

7. Literatura citada

ABREU, J.G.N. & CALLIARI, L.J. Paleocanais na plataforma continental interna do Rio Grande do Sul: evidências de uma drenagem fluvial pretérita. Revista Brasileira de Geologia, 23:123-132, 2005.

ASCH, F.; DINGKUHN, M.; DÖRFFLING, K.; MIEZAN, K. Leaf K/Na ratio predicts salinity induced yield loss in irrigated rice. Euphytica, 113:109-118, 2000.

AHMAD, M.S.A.; JAVED, F.; ASHRAF, M. Iso-osmotic effect of NaCl and PEG on growth, cations and free proline accumulation in callus tissue of two indica rice (Oryza sativa L.) genotypes. Plant and Growth Regulation, 53:53-63, 2007.

ANTIQUEIRA, J.A.F. & CALLIARI, L.J. Características sedimentares da desembocadura da Laguna dos Patos. Gravel, 3:39-46, 2005.

BURNETT, W.C. & DULAIOVA, H. Estimating the dynamics of groundwater input into the coastal zone via continuous radon-222 measurements. Journal of Environmental Radioactivity, 69: 21-35, 2003.

CARMONA, F.C. Salinidade da água e do solo e sua influência sobre o arroz irrigado. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011. (Tese de doutorado).

CARMONA, F. C.; ANGHINONI, I.; MEURER, E.J.; HOLZSCHUH, M. & FRAGA, T. I. Estabelecimento do arroz irrigado e absorção de cátions em função do manejo da adubação potássica e nível de salinidade do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 33:371-382, 2009.

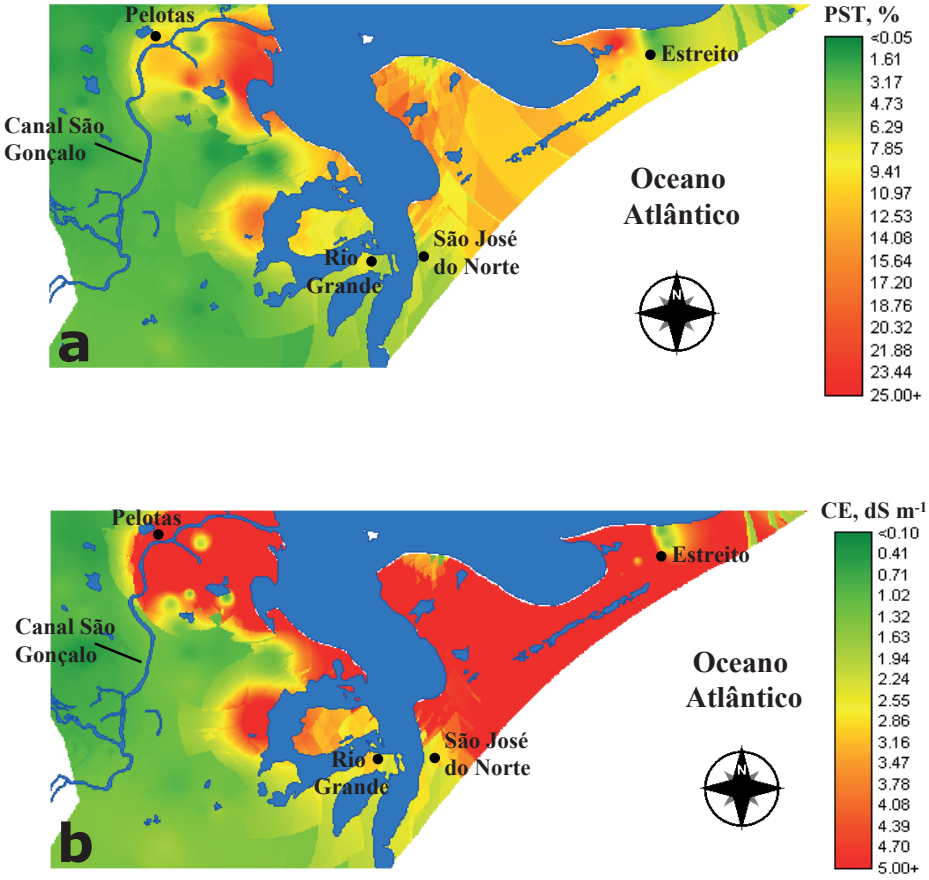
CASTELÃO, R.M. & MÖLLER JR, O.O. Sobre a circulação tridimensional forçada por ventos na Lagoa dos Patos. Atlântica, 25: 91-106, 2003.

CASTILLO, E.G.; TUONG, T.P.; ISMAIL, A.M. & INUBUSHI, K. Response to salinity in rice: comparative effects of osmotic and ionic stresses. Plant Production Science, 10:159-170, 2007.
CRAMER, G.R.; EPSTEIN, E.; LÄUCHLI, A.; Effect of sodium, potassium and calcium on salt stressed barley. II. Elemental analysis. Physiologia Plantarum, 81:197-202, 1991.
CRAMER, G.R.; LÄUCHLI, A.; POLITO, V.S. Displacement of Ca^{2+} by Na^{+} from plasmalemma of root cells: a primary response to stress? Plant Physiology, 79:207-211, 1985.
CUI, H.; TAKEOKA, Y. & WADA, T. Effect of sodium chloride on the panicle and spikelet morphogenesis in rice. Japanese Journal of Crop Science, 64:593-600, 1995.
FAGERIA, N.K. Tolerance of rice cultivars to salinity. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 26:281-288, 1991.
FAIRHURST, T.H.; WITT, C.; BURESH, R.J. & DOBERMANN, A. Rice: A practical guide to nutrient management. 2 ed. IRRI, IPI, IPNI, Cingapura. 137p.
FRAGA, T.I.; CARMONA, F.C.; ANGHINONI, I.; GENRO JUNIOR, S.A.; MARCOLIN, E. Flooded rice yield as affected by levels of water salinity in different stages of its cycle. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 34:175-182, 2010.
GARCIA, A.; RIZZO, C.A.; UD-DIN, J.; BARTOS, S.L.; SENADHIRA, D; FLOWERS, T.J.; YEO, A.R. Sodium and potassium transport to the xylem are inherited independently in rice, and the mechanisms of sodium : potassium selectivity differs between rice and wheat. Plant, Cell & Environment, 20:1167-1174, 1997.
KHATUN, S. & FLOWERS, T.J. The estimation of pollen viability in rice. Journal of Experimental Botany, 46:151-154, 1995.
KHATUN, S.; RIZZO, C.A.; FLOWERS, T.J. Genotypic variation in the effect of salinity on fertility on rice. Plant and Soil, 173:239-50, 1995.
KJERFVE, B. Comparative oceanography of coastal lagoons. In: WOLFE, DA (ed.). Estuarine variability. New York, Academic Press, 63-81, 1986.
MACHADO, C. S.; NIENCHESKI, L. F. H. ; ATTISANO, K. K. A Lagoa dos Patos como recarga de um aqüífero freático costeiro. In: III CONGRESSO BRASILEIRO DE OCEANOGRAFIA, 2008, São Paulo. Anais...III CBO, 2008. p. 673-684.
MACHADO, M.O.; TERRES, A.L. Tolerância de genótipos à salinidade do solo - safra 1994/1995. Reunião da Cultura do Arroz Irrigado, 21, 1995, Porto Alegre, RS. Anais... Porto Alegre: IRGA, 1995. p. 48-50.

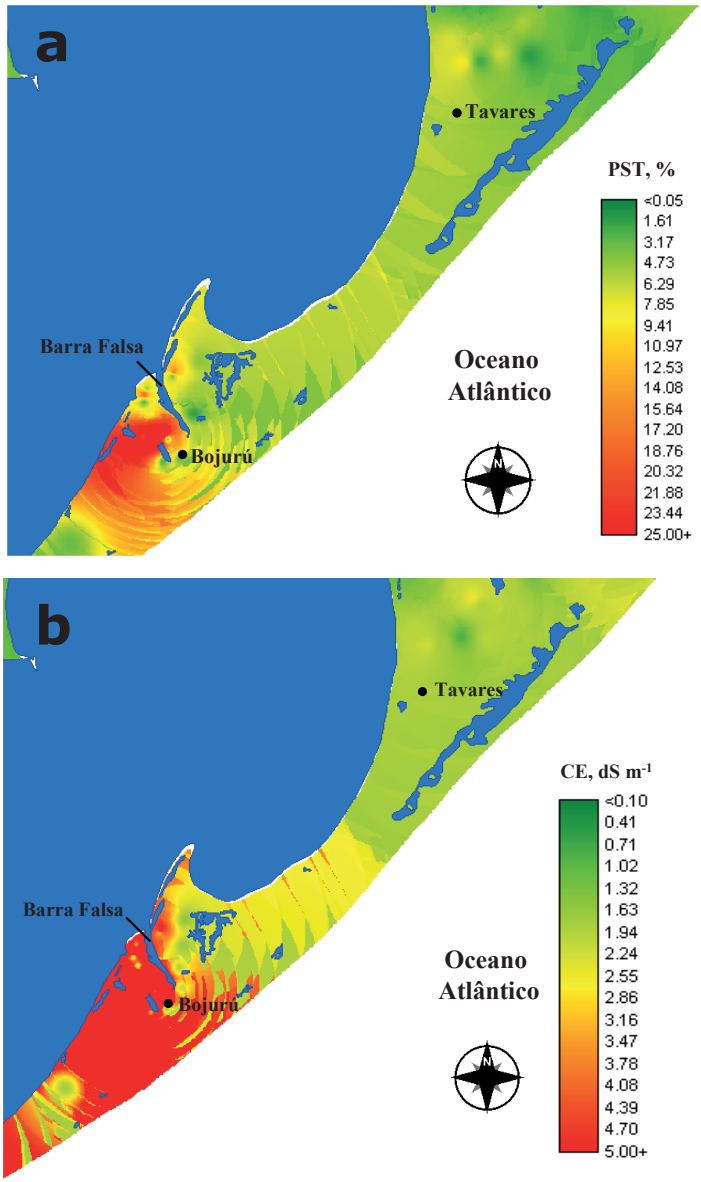
MARCOLIN, E.; ANGHINONI, I.; MACEDO, V. M.; GENRO JUNIOR, S. A.; VEZZANI, F. M. Salinidade da água na cultura do arroz no Rio Grande do Sul. Lavoura Arrozeira, 53:27-38, 2005.
MARCOLIN, E.; MACEDO, V.R.M. Cultivares de arroz e a salinidade da água de irrigação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 2.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 24,. 2001. Porto Alegre. Anais...Porto Alegre: IRGA, 2001. p.229-231.
MARCOLIN, E.; MACEDO, V. R. M.; GENRO JUNIOR, S. A.; SOUZA, C. H. L. . Volume e eficiência de uso de água na cultura de arroz irrigado em função do estádio fenológico de início de irrigação. In: VI CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 2009, Porto Alegre, 2009. v. 1. p. 234-237.
MARTINS, L.R.; URIEN, C.M.; CORRÊA, I.C.S. & MARTINS, I.R. Late Quaternary processes along the Rio Grande do Sul Continental Shelf (Southern Brazil). Notas Técnicas, 9: 62-68, 1996.
MÖLLER JR., O.O.; CASTAING, P.; SALOMON, J.C.; LAZURE, P. The influence of local and non-local forcing effects on the subtidal circulation of Patos Lagoon. Estuaries, 24:297-311, 2001.
MÖLLER JR., O.O.; LORENZZETTI, J.A.; STECH, J.L.; MATA, M.M. The Patos Lagoon summertime circulation and dynamics. Continental Shelf Research, 16:335-351, 1996.
OBATA, T.; KITAMOTO, H.K.; NAKAMURA, A.; FUKUDA, A.; TANAKA, Y. Rice shaker potassium channel OsKAT1 confers tolerance to salinity stress on yeast and rice cells. Plant Physiolology, 144:1978-1985, 2007.
OLIVEIRA, M. Gênese, classificação e extensão de solos afetados por sais. In: GHEYI, H.R.; QUEIROZ, J.E.; MEDEIROS, J.F. de (Ed.). Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Campina Grande: UFPB; SBEA, 1997. p.1-35.
OSTER, J.D.; Hoffman, G.J.; Robinson, F.E.. Management alternatives: crop, water and soil. California Agriculture, v.36, p.29-32, 1984.
PINTO, L.F.S.; LAUS NETO, J.A.; PAULETTO, E.A. Solos de várzea do Sul do Brasil cultivados com arroz irrigado. In: GOMES, A.S.; MAGALHÃES, A.M. Arroz Irrigado no Sul do Brasil. Brasília : Embrapa, 2004. cap.3, p.75-96.
RENGASAMY, P. World salinization with emphasis on Australia. Journal of Experimental Botany, 57:1017-1023, 2006.
RICHARDS, L.A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington, US Department of Agriculture, 1954. 160p. (USDA Agricultural Handbook, 60).

SILVA, E.I.L. Quality of irrigation water in Sri Lanka – status and trends. Asian Journal of Water, Environment and Pollution, 1:5-12, 2004.
SILVA, L.S.; SOUSA, R.O. & BOHNEN, H. Alterações nos teores de nutrientes em dois solos alagados, com e sem plantas de arroz. Ciência Rural, 33:487-490, 2003.
SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO - SOSBAI. Recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. Pelotas: SOSBAI, 2007. 161p.
SULTANA, N.; IKEDA, T.; ITOH, R. Effect of NaCl salinity on photosynthesis and dry matter accumulation in developing rice grains. Environmental and Experimental Botany, 42:211-220, 1999.
VAZ, A.C.; MÖLLER JR, O.O. & ALMEIDA, T.L. Análise quantitativa da descarga dos rios afluentes da Lagoa dos Patos. Atlântica, 28:13-23. 2006.
VILLWOCK, J.A. & TOMAZELLI, L.J. 1995. Geologia costeira do Rio Grande do Sul. Notas Técnicas 8: 1-45.
WESCHENFELDER J.; MEDEANIC S.; CORRÊA I.C.S. & ALIOTTA S. Holocene paleoinlet of the Bojuru region, Lagoa dos Patos, southern Brazil. Journal of Coastal Research, 24:99-109, 2008.
WINDOM, H. & NIENCHESKI, F. Biogeochemical processes in a freshwater-seawater mixing zone in permeable sediments along the coast of Southern Brazil. Marine Chemistry, 83:121-130, 2003.

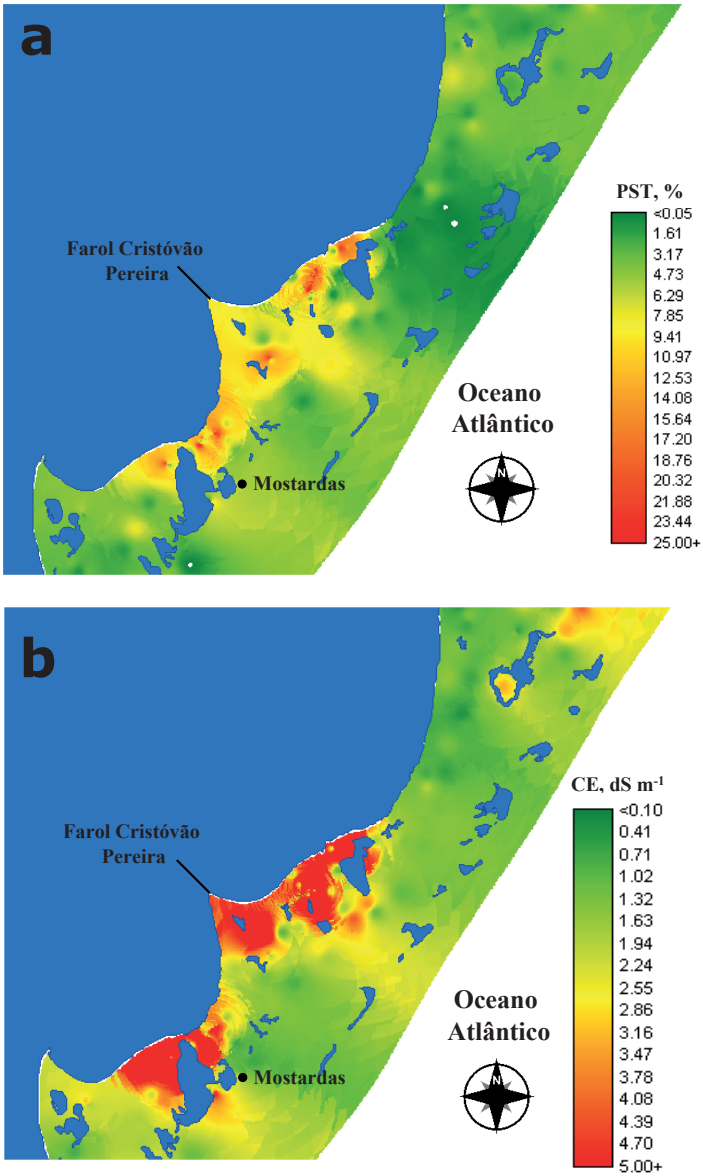
Anexos



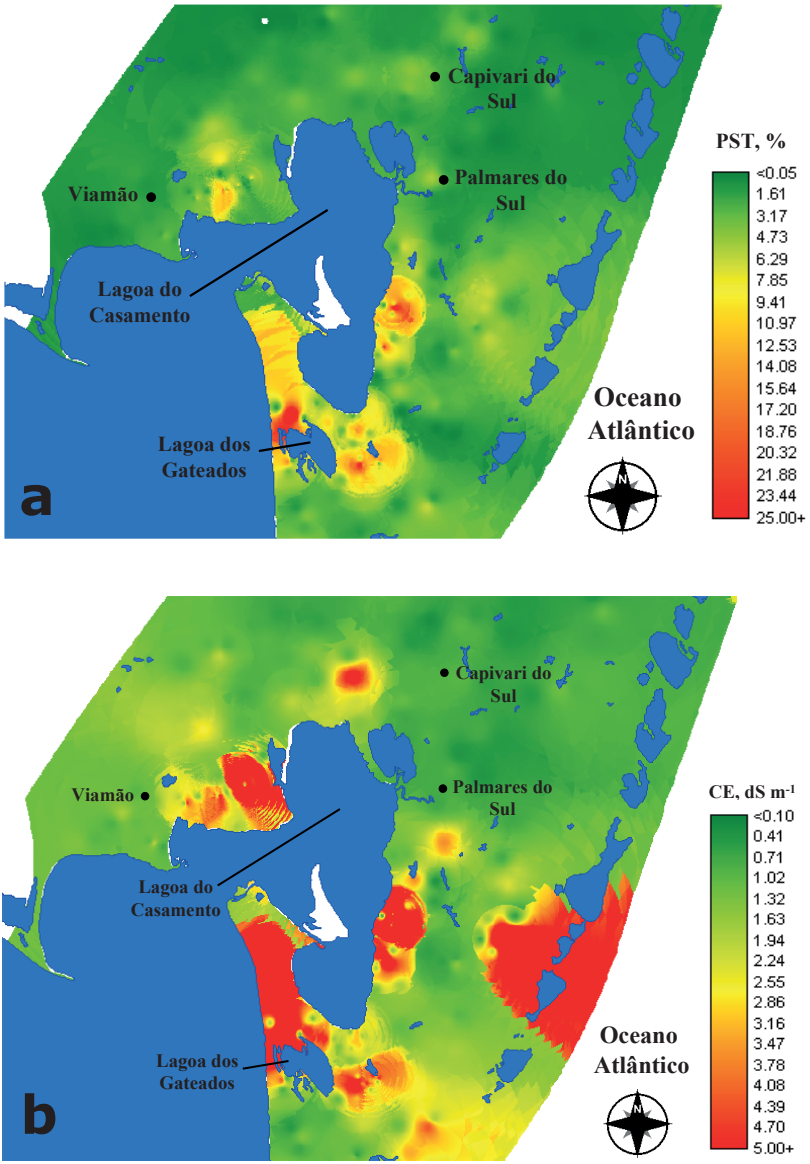
ANEXO 1. Mapa detalhado da percentagem de sódio trocável (a) e da condutividade elétrica do extrato saturado (b) do solo, com ênfase nos Municípios de Pelotas, Rio Grande, São José do Norte e arredores.



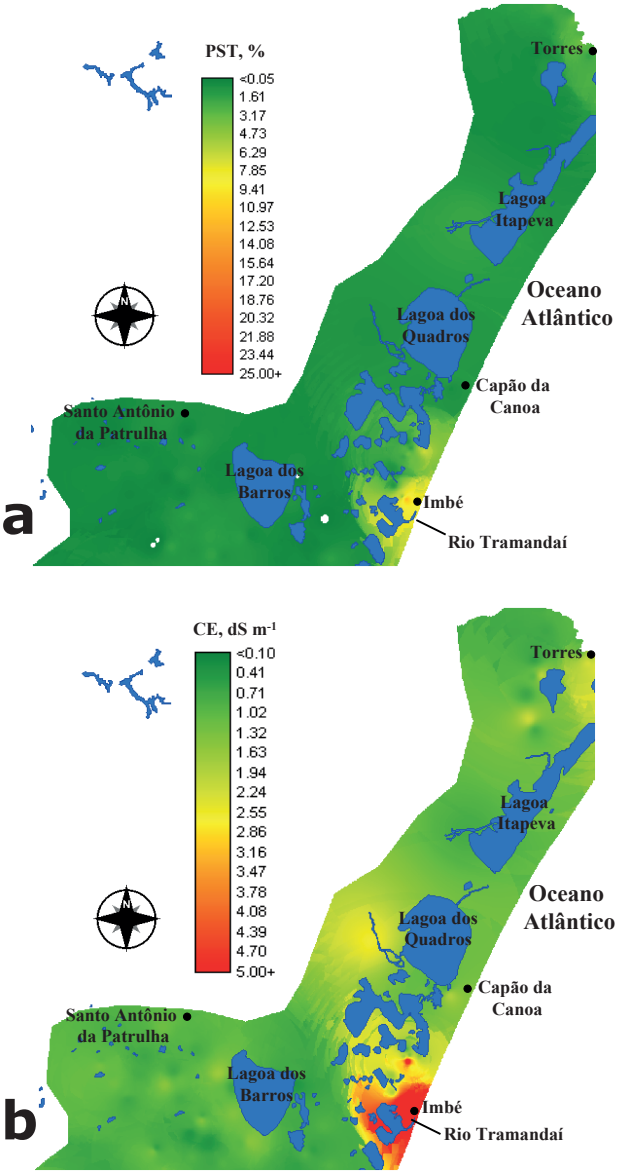
ANEXO 2. Mapa detalhado da percentagem de sódio trocável (a) e da condutividade elétrica do extrato saturado (b) do solo, com ênfase no Município de Tavares, Distrito do Bojurú e arredores.



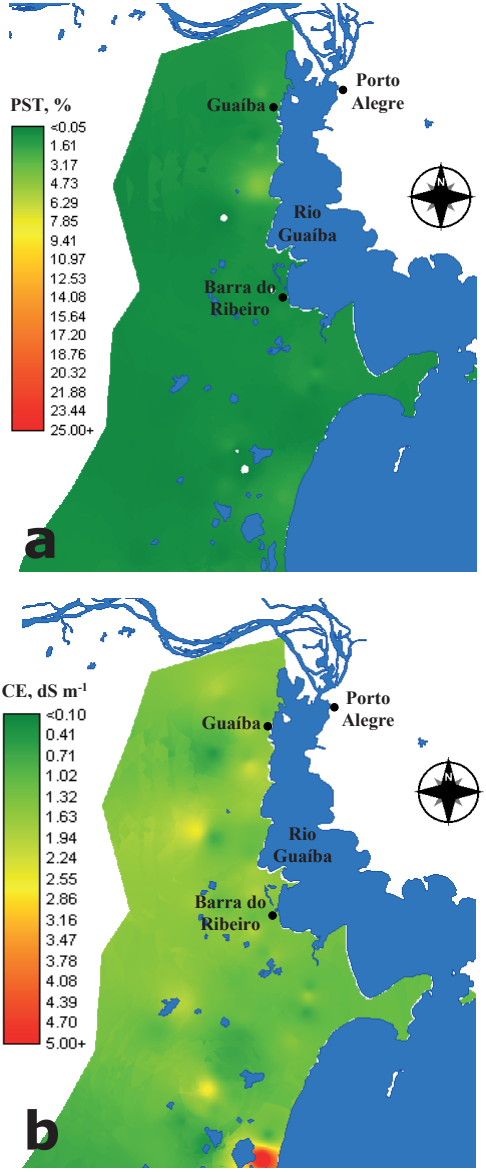
ANEXO 3. Mapa detalhado da percentagem de sódio trocável (a) e da condutividade elétrica do extrato saturado (b) do solo, com ênfase no Município de Mostardas e arredores.



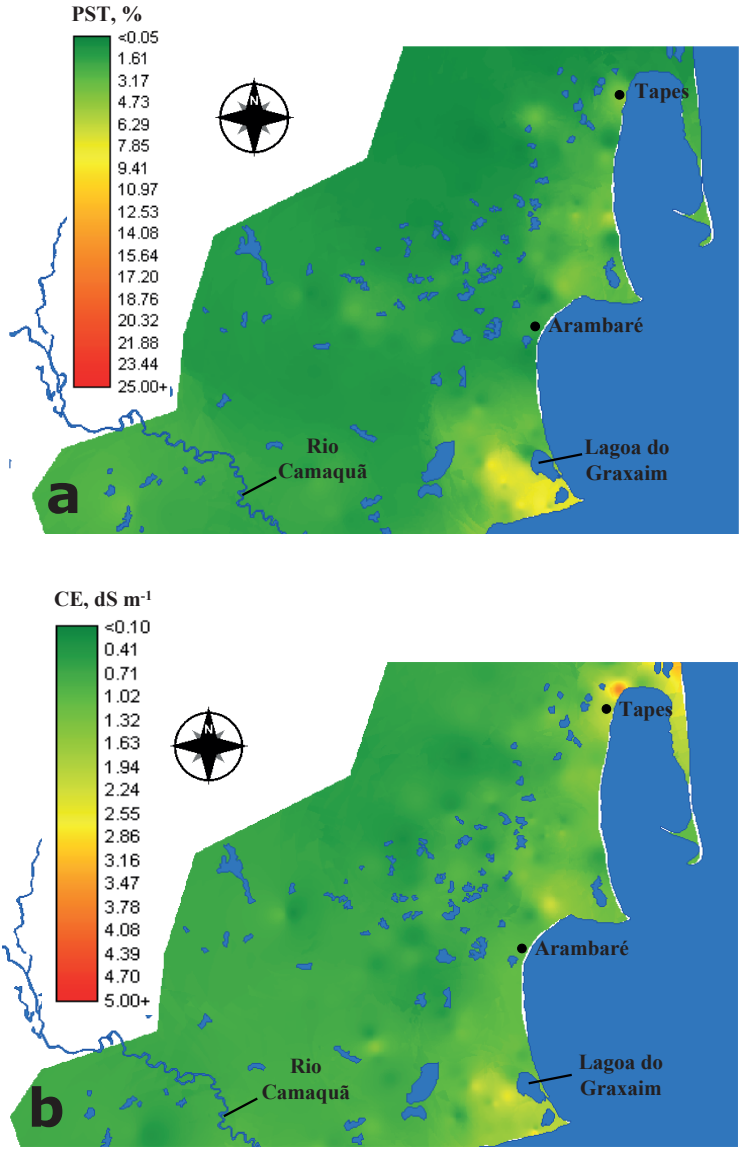
ANEXO 4. Mapa detalhado da percentagem de sódio trocável (a) e da condutividade elétrica do extrato saturado (b) do solo, com ênfase nos Municípios de Palmares do Sul, Capivari do Sul, Viamão e arredores.



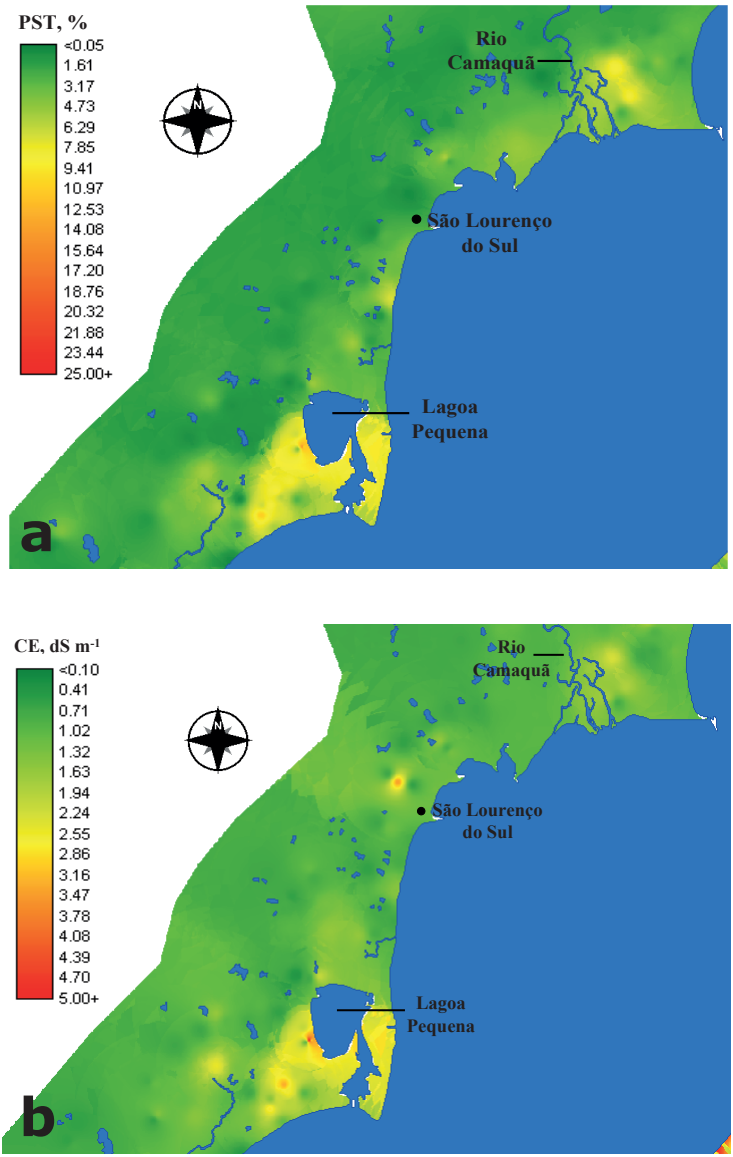
ANEXO 5. Mapa detalhado da percentagem de sódio trocável (a) e da condutividade elétrica do extrato saturado (b) do solo, com ênfase nos Municípios de Santo A. da Patrulha, Imbé, Capão da Canoa, Torres e arredores.



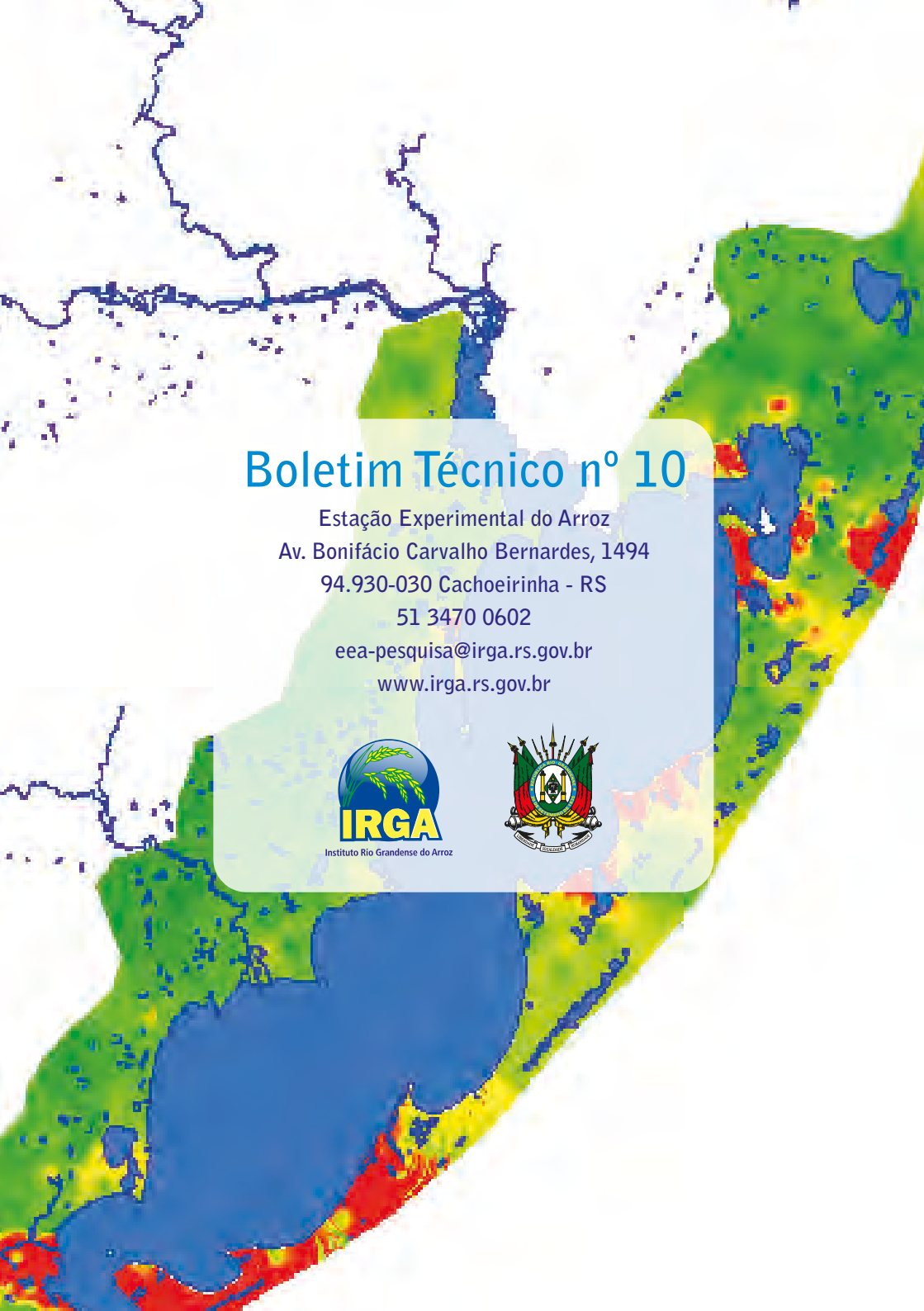
ANEXO 6. Mapa detalhado da percentagem de sódio trocável (a) e da condutividade elétrica do extrato saturado (b) do solo, com ênfase nos Municípios de Guaíba, Barra do Ribeiro e arredores.



ANEXO 7. Mapa detalhado da percentagem de sódio trocável (a) e da condutividade elétrica do extrato saturado (b) do solo, com ênfase nos Municípios de Tapes, Arambaré e arredores.



ANEXO 8. Mapa detalhado da percentagem de sódio trocável (a) e da condutividade elétrica do extrato saturado (b) do solo, com ênfase no Município de São Lourenço do Sul e arredores.



Boletim Técnico nº 10

Estação Experimental do Arroz
Av. Bonifácio Carvalho Bernardes, 1494
94.930-030 Cachoeirinha - RS
51 3470 0602
eea-pesquisa@irga.rs.gov.br
www.irga.rs.gov.br

IRGA
Instituto Rio Grandense do Arroz