

## QUALIDADE QUÍMICA DA ÁGUA EM FUNÇÃO DE SEU USO NA RIZICULTURA IRRIGADA NA REGIÃO DO BAIXO ESTUÁRIO DO RIO ITAJAÍ

Dayane Dall'Ago Conejo e Silva<sup>1</sup> e Jurandir Pereira Filho<sup>2</sup>

**Resumo:** Esta pesquisa teve como objetivo avaliar como as características químicas da água variam em função de sua utilização para o abastecimento dos campos de arroz irrigado na região do médio e baixo estuário do Rio Itajaí, na região de Ilhota e Itajaí. Foram realizadas amostragens quinzenais entre agosto de 2007 e fevereiro de 2008 em quatro estações de captação (Cap.) e três estações de devolução de água (Dev.). Em cada amostra foram feitas medições de variáveis físico-químicas (temperatura, O<sub>2</sub>, condutividade e pH), de nutrientes (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Si e PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>), do material particulado em suspensão (MPS) e DBO. Foram observados aumentos de condutividade, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, MPS e DBO quando se comparou a Cap. (0,08 mS/cm, 26,0 µM, 2,0 µM, 47,5 mg/l, 3,20 mg/l, respectivamente) com a Dev. (0,14 mS/cm, 163,8 µM, 4,6 µM, 95,8 mg/l, 4,8 mg/l, respectivamente). Por outro lado, foi registrada uma diminuição de O<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup> e Si quando se comparou a Cap. (6,65 mg/l, 22,3 µM, 1,0 µM, 40,5 µM, respectivamente) com a Dev. (3,73 mg/l, 6,2 µM, 0,7 µM, 23,6 µM, respectivamente). As alterações das variáveis monitoradas refletiram deterioração da qualidade de água em função de seu uso na agricultura, com destaque para a diminuição do O<sub>2</sub> e aumento dos NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e DBO. Também mereceu destaque a diminuição do Si, que foi intensificada com a evolução do ciclo da rizicultura.

**Palavras-Chave:** Nutrientes. Estuário. Arroz irrigado. Qualidade da água.

### 1 Introdução

A bacia hidrográfica do rio Itajaí é a maior bacia do estado de Santa Catarina, com uma área que corresponde à aproximadamente 15% da área do estado. A bacia abrange vários centros urbanos do estado, como a região do Vale do Itajaí, com alguns dos mais importantes municípios do estado, como Blumenau, Brusque e Itajaí. Na porção final da bacia, o rio Itajaí passa a sofrer influência da maré, tornando-se um estuário. Nesta região, que corresponde ao médio e baixo vale do Itajaí, várias atividades humanas são desenvolvidas às margens do estuário, com efeito direto sobre a qualidade das águas deste. Merece destaque a presença de indústrias alimentícias, indústrias de processamento de pescado, centros urbanos sem coleta e tratamento de esgotos e atividade agrícola.

Programas de monitoramento desenvolvidos no rio e estuário do Itajaí mostram que a qualidade química da água sofre deterioração, principalmente nos 30 km finais do sistema, correspondentes ao médio e baixo estuário (PEREIRA FILHO, 2006;

RÖRIG, 2005). Várias são as causas apontadas para esta alteração, com destaque para o lançamento de efluentes domésticos e industriais. Além destes, a agricultura vem crescendo bastante na região do médio e baixo estuário do Itajaí, principalmente o cultivo de arroz irrigado. A rizicultura irrigada é a principal atividade agrícola dos municípios situados na porção final da bacia do Itajaí, como Gaspar, Ilhota, Luis Alves, Navegantes e Itajaí, correspondendo a uma área plantada total de aproximadamente 8600 ha (IBGE, 2004; ICEPA, 2005, PNUD, 2003). Esta atividade é concentrada às margens do estuário, fazendo uso de suas águas para a irrigação dos campos de arroz. O ciclo dura em média 150 dias, sendo geralmente iniciado em julho e agosto na região do médio e baixo vale do Itajaí. O início é marcado pela preparação do solo, com a aragem dos campos. Em seguida é iniciada a captação da água do estuário para enchimento dos campos de arroz. Ao longo do ciclo, a água é continuamente captada para a manutenção das culturas, sendo parcialmente devolvida ao corpo d'água, após ser usada.

<sup>1</sup> E-mail: dayane.dallago@hotmail.com

<sup>2</sup> E-mail: jurandir@univali.br  
Universidade do Vale do Itajaí - CTT Mar. Rua Uruguai, 458. Itajaí – SC – 88302-202.

A qualidade da água utilizada na lavoura pode ser modificada em função da adição de fertilizantes às culturas, ou pelo aumento de material em suspensão, nos períodos de preparação do solo. Além disso, as concentrações de silicato podem potencialmente serem modificadas, pois o arroz é reconhecidamente um acumulador de silício (TAKAHASHI, 1990; TAKAHASHI, 1995). Esta alteração pode ser significativa para o estuário em períodos de baixa descarga fluvial, quando o total de água captada nas culturas pode chegar a até 50 % da descarga fluvial do sistema.

Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar a alteração das variáveis físico-químicas (pH, oxigênio dissolvido, condutividade, material em suspensão) e nutrientes dissolvidos (N amoniacal, nitrito, nitrato, fosfato e silício) da água em função de seu uso para abastecimento das plantações de arroz irrigado e sua possível influência sobre a composição química da água do médio e baixo estuário do rio Itajaí.

## 2 Metodologia

### 2.1 Área de estudo

A bacia hidrográfica do Itajaí é dividida em três regiões correspondentes ao alto, médio e baixo vale do rio Itajaí. A região do alto vale do Itajaí é caracterizada por ser uma região agrícola. O médio e o baixo vale são caracterizados por possuírem, além da agricultura, uma atividade industrial mais marcante. A maior parte da população da bacia se encontra no médio e baixo vale onde também merece destaque a atividade agrícola, principalmente a rizicultura. No baixo vale está localizado o estuário, correspondendo à porção final do rio Itajaí-Açú. Ele está localizado em uma planície costeira, já na região centro-norte do litoral de Santa Catarina.

O estuário do rio Itajaí apresenta uma extensão total de aproximadamente 70 km com área de espelho d'água de aproximadamente 14 km<sup>2</sup> (SCHETTINI, 2002). Segundo Fairbridge (1980), o limite superior de um estuário compreende a região do vale de um rio correspondente ao limite superior que sofre influência das marés. Fairbridge (1980) ainda afirma que os estuários podem ser divididos em três setores: (a) marinho ou baixo estuário, com conexão livre com o oceano aberto; (b) médio estuário, exposto a grande influência

da salinidade e de águas de mistura (águas continentais e marinhas); e (c) fluvial ou alto estuário, caracterizado por águas continentais sujeitas a sofrer efeitos das marés.

No caso do estuário do rio Itajaí, segundo Schettini (2002), o limite superior do estuário está localizado entre os municípios de Indaial e Blumenau. O alto estuário corresponde à região compreendida entre os municípios de Blumenau e Ilhota, o médio entre Ilhota e Itajaí, próximo a confluência com o Rio Itajaí – Mirim, e o baixo estuário a partir deste ponto, correspondendo aos 10 km finais do sistema.

O rio Itajaí representa em torno de 70% do aporte fluvial para o estuário, sendo o restante atribuído a afluentes menores, como os rios Luiz Alves e Itajaí Mirim. A descarga média de longo período do rio Itajaí, medida a cerca de 90 km a montante da desembocadura, é de aproximadamente 228 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, com valores mínimos de 17 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> e valores máximos de 5390 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> (SCHETTINI, 2002).

### 2.2 Metodologia de coleta

Para avaliar a variação da composição química da água do rio Itajaí-Açu em função de sua utilização pelas culturas de arroz irrigado foram realizadas coletas quinzenais em quatro estações de captação e três estações de devolução (Figura 1). As estações de captação retiram água do rio Itajaí-Açú para uso no cultivo do arroz, enquanto as estações de devolução retornam esta água após o seu uso na rizicultura, para o rio Itajaí-Açú. Os pontos amostrais estão situados às margens do rio Itajaí-Açú, em Ilhota, entre os municípios de Gaspar (região do médio estuário) e Itajaí (região do baixo estuário). Esta amostragem foi realizada de agosto de 2007 a fevereiro de 2008, totalizando 11 campanhas.

Em cada campanha de amostragem foram feitas medições *in situ* de temperatura, oxigênio dissolvido, pH, condutividade e salinidade utilizando um multianalisador Horiba U-10. As amostras foram acondicionadas em recipientes plásticos fechados e conservadas em gelo até o processamento no laboratório, onde foram filtradas com uso de filtros de celuloses de porosidade 0,45µm. O material filtrado foi separado em alíquotas para posterior análise, as quais foram congeladas para futura determinação dos nutrientes. As

alíquotas das amostras brutas, após a medição do oxigênio dissolvido, foram incubadas a 20°C e após 5 dias foi feita uma

nova medição para determinação da DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio).

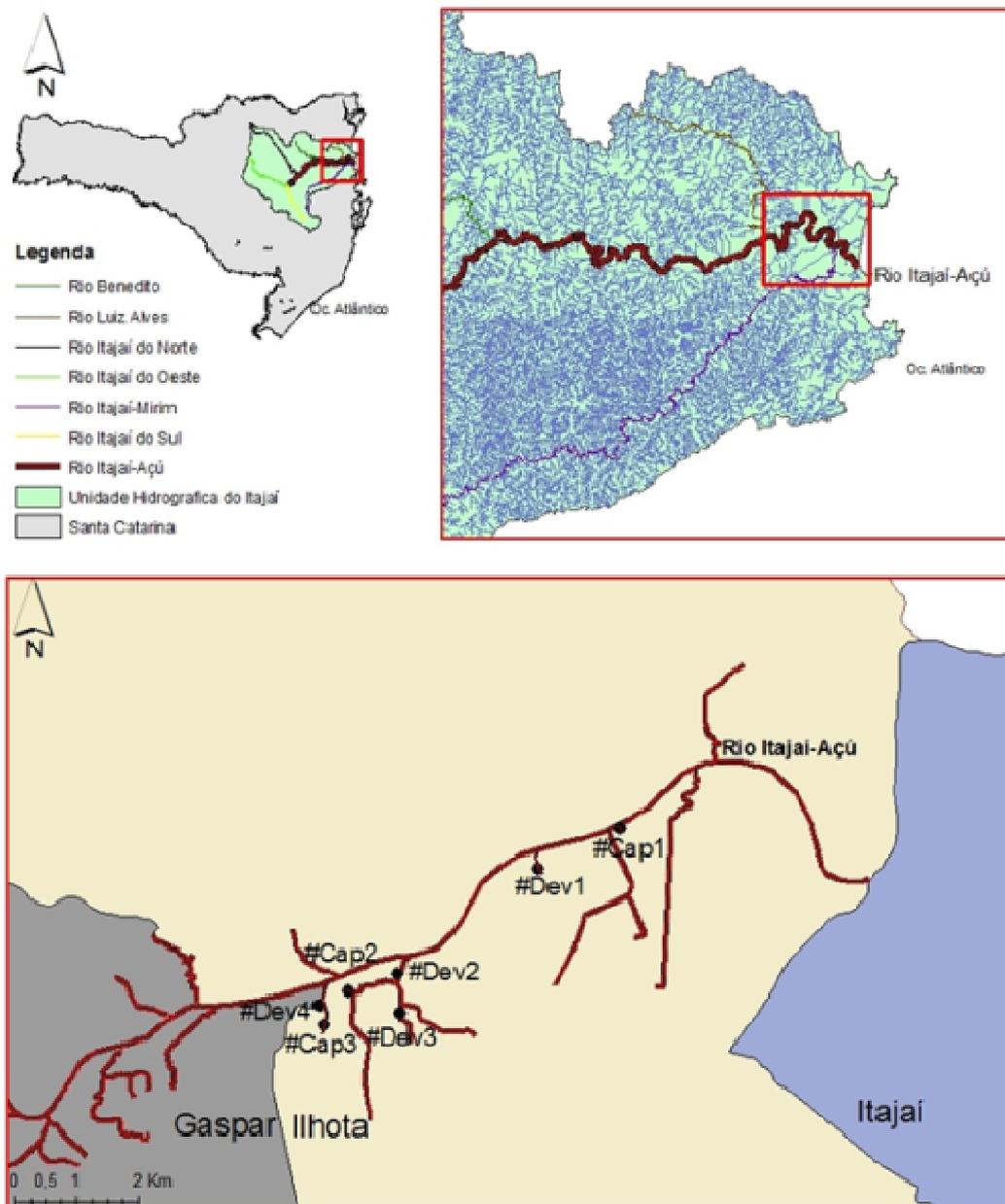


Figura 1 - Localização da área de estudo e dos pontos de coleta.

### 2.3 Metodologia de análise

Os nutrientes inorgânicos dissolvidos ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ , Si e  $\text{PO}_4^{3-}$ ) foram determinados a partir do material filtrado, segundo métodos colorimétricos clássicos (Quadro 1) adaptados de Strickland e Parsons (1972). Para cada nutriente foi confeccionada uma curva de calibração, a

qual foi lida em espectrofotômetro Shimadzu UV-160A.

As medições de oxigênio no laboratório foram feitas com uso de uma sonda polarográfica YSI, modelo 58. Os filtros utilizados foram secos em estufa a 60°C para a determinação gravimétrica do material particulado em suspensão.

Nutriente	Método de Determinação
$\text{NH}_4^+$	Mede a totalidade do nitrogênio amoniacal reagindo com o hipoclorito de sódio em meio alcalino para formar a monocloramina que reage com o fenol, na presença de um excesso de hipoclorito e também do nitroprussiato de sódio formando o azul de indofenol, cuja absorção máxima é 640 nm.
$\text{NO}_2^-$	Íons nitrito reagindo com a sulfanilamida formam um íon diazótico, que reage com o N-naftil etilindiamina para formar um composto colorido, cuja absorção máxima é 543 nm.
$\text{NO}_3^-$	Mede-se a soma das concentrações dos íons nitritos e nitratos, e o complexo colorido deve ser lido em um comprimento de onda de 543 nm. Determina-se a concentração de nitrato subtraindo o nitrito original da amostra da concentração de nitrito total dosado.
Si	Silício dissolvido na amostra reage com molibdato de amônio em meio ácido, resultando na formação do complexo silicomolibdico o qual, pela adição de uma mistura redutora de metol (sulfato de p-metilamino fenol) e de sulfito de sódio, é reduzido ao azul de silicomolibdato, cuja absorção máxima é de 810nm.
$\text{PO}_4^{3-}$	Dosa-se o fósforo sob as suas formas de íons ortofosfatos, os quais reagem com o molibdato de amônio em meio ácido, formando o complexo fosfomolibdato, que é reduzido pelo ácido ascórbico, resultando em um complexo azul cuja absorção máxima é de 885 nm.

Quadro 1 - Métodos de determinação dos nutrientes inorgânicos dissolvidos - adaptado de Baumgarten et al. (1996).

### 3 Resultados e discussão

#### 3.1 Variáveis físico-químicas

A Tabela 1 sumariza os resultados obtidos durante o período de amostragem, compreendido entre agosto de 2007 e fevereiro de 2008 para as variáveis físico-químicas da água do rio Itajaí-Açú, apresentando os valores médios, os desvios padrão e os valores mínimos e máximos tanto para a captação quanto para a devolução.

A temperatura durante o período monitorado não mostrou uma variação significativa entre as estações de captação e as de devolução. Ela apresentou apenas uma variação relacionada à sazonalidade, com uma média de 23°C na captação com máxima de 28,2°C e mínima de 26,8°C e uma média de 22,5°C com máxima de 26,8°C e mínima de 14,8°C na devolução (Tabela 1, Figura 2A). O pH foi outra variável que não mostrou variação significativa entre captação e devolução, apresentando médias bem próximas (Figura 2C). Os valores médios de pH variaram entre 6,12 e 6,57, com valores pontuais mínimos e máximos bem próximos (Tabela 1 e Figura 2C).

O oxigênio dissolvido tem grande importância para avaliar as condições naturais da água e detectar impactos ambientais como eutrofização e poluição orgânica. No desenvolvimento desse estudo,

o oxigênio dissolvido apresentou menores concentrações nas devoluções, com média de 3,7 mg/l, enquanto nas captações a média foi de 6,6 mg/l (Tabela 1, Figura 2B). Essa variação reflete uma influência negativa da rizicultura sobre a qualidade de água. Essa tendência também foi encontrada por Molozzi et al. (2006) para o oxigênio dissolvido, em outro estudo realizado na região do Vale do Itajaí. Eles ressaltaram que ela foi mais acentuada na etapa de preparo do solo, quando ele fica mais exposto. Considerando-se como referência a Resolução N° 357 do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA (BRASIL, 2005), uma água doce classe 2 deveria ter concentrações de  $\text{O}_2$  não inferiores a 5 mg/l. A concentração média de  $\text{O}_2$  na água devolvida (3,7 mg/l) estaria portanto em não conformidade com esse padrão de qualidade.

É importante ressaltar que se a concentração média foi de 3,7 mg/l de  $\text{O}_2$ , em algumas situações as concentrações atingiram valores menores, o que indica uma condição de hipoxia ou anoxia dentro dos campos de arroz (cultivares). Essa condição é favorecida pela baixa dinâmica do sistema e pelo elevado conteúdo orgânico, originado do solo ou dos próprios cultivares. Além disso, em solos alagados, a difusão dos gases é diminuída em até 10.000 vezes (BHARATI et al. 2001) dificultando a oxigenação do meio. Em uma condição de

anoxia a decomposição da matéria orgânica ocorre por via anaeróbica, o que pode resultar na liberação de sub-produtos potencialmente tóxicos. O gás metano, por exemplo, um dos gases de efeito estufa, é formado nessa condição e sua liberação também pode

ocorrer como um efeito negativo da rizicultura irrigada. Agosttinetto et al. (2002) discutem o potencial de emissão de metano pela rizicultura irrigada e mencionam que ela pode ser minimizada com o manejo adequado da adubação e da irrigação.

**Tabela 1 – Médias, erros, mínimos e máximos dos dados físico-químicos nas estações de captação e devolução de água no rio Itajaí-Açú.**

Variável	Parâmetro	Captação	Devolução
Temperatura (°C)	Média	23	22,5
	Erro Padrão	0,65	0,71
	Min	16,9	14,7
	Máx	28,2	26,7
OD (mg/l)	Média	6,6	3,7
	Erro Padrão	0,11	0,14
	Min	5,7	2,1
	Máx	7,7	4,4
pH	Média	6,4	6,1
	Erro Padrão	0,08	0,08
	Min	5,6	5,2
	Máx	7,3	6,6
Cond (mS/cm)	Média	0,08	0,14
	Erro Padrão	0	0,01
	Min	0,05	0,05
	Máx	0,14	0,21
MPS (mg/l)	Média	47,5	95,8
	Erro Padrão	8,6	18
	Min	13,1	3,8
	Máx	159,6	302
DBO (mg/l)	Média	3,2	4,8
	Erro Padrão	0,8	1
	Min	2	3
	Máx	4,7	7,1

A condutividade pode contribuir para o reconhecimento de possíveis impactos ambientais que ocorram na bacia de drenagem como lançamentos de resíduos industriais e esgotos. Ela apresentou diferenças significativas entre a captação e a devolução, com uma média na captação de 0,08 mS/cm e na devolução de 0,14 mS/cm.

(Tabela 1 e Figura 2D). A condutividade mostrou valores maiores nas devoluções em praticamente todas as campanhas, indicando uma alteração que pode ser originária do descarte de fertilizantes do plantio do arroz nas águas ou devida aos íons do solo (Figura 2D).

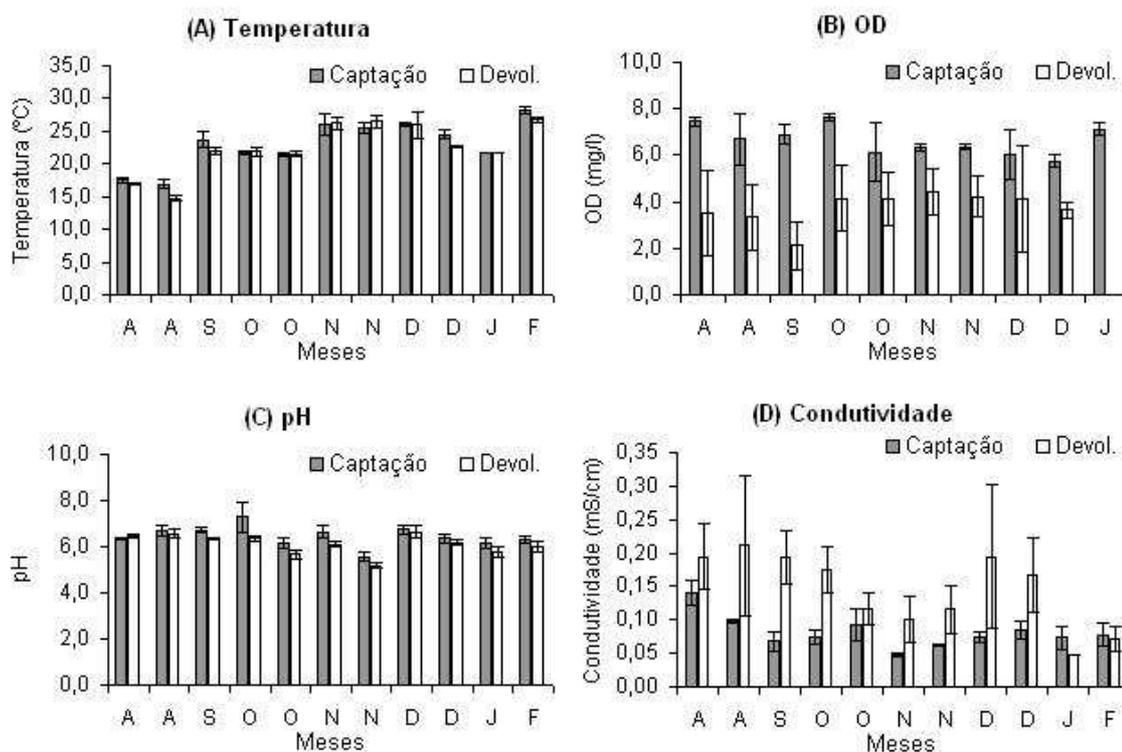


Figura 2 - Variação temporal nas estações de captação e devolução de água no rio Itajaí-Açu, com média e erro padrão: (A) Temperatura; (B) Oxigênio dissolvido; (C) pH; (D) Condutividade.

### 3.2 Material particulado e DBO

O material particulado em suspensão apresentou alta variabilidade entre as captações e devoluções (Figura 3A). Na captação seu valor oscilou entre 159,6 mg/l e 13,1 mg/l, resultando na média de 47,5 mg/l. Já na devolução a média foi de 95,8 mg/l com valor máximo de 302 mg/l e mínimo de 3,8 mg/l (Tabela 1).

O material particulado em suspensão é composto por substâncias orgânicas e inorgânicas. Portanto, sugere-se que grande quantidade deste material particulado pode impedir a penetração da luz, fazendo com que ocorra a diminuição da transparência da água. A média de MPS na devolução foi maior em comparação a captação, mostrando a influência da rizicultura (Tabela 1) devido ao manejo do solo, principalmente no período de seu preparo para o plantio que é feito com práticas como a aragem dos cultivares, resultando em grande exposição do solo. Nesse período, o solo fica vulnerável às chuvas que podem carrear grande

quantidade de MPS para jusante dos cultivares. Essa tendência, também encontrada por Molozzi et al. (2006), explica os maiores valores de MPS e os elevados valores de desvio-padrão nas estações de devolução. Além disso, o uso de fertilizantes pode resultar no aumento do desenvolvimento de organismos fotossintéticos (fitoplâncton) nos cultivares, o que também contribui em um aumento do MPS.

A DBO, no período amostrado, apresentou uma média de 3,2 mg/l nas captações variando entre 2 e 4,7 mg/l, e nas devoluções uma média de 4,8 mg/l variando entre 3,1 e 7,1 mg/l. Os valores de DBO foram maiores nas devoluções em praticamente todas as campanhas, indicando assim uma maior quantidade de matéria orgânica nas águas que são devolvidas ao estuário após a passagem pelos arrozais (Figura 3B). Associando a DBO com o  $\text{NH}_4^+$  e o OD reforça-se essa idéia, pois a DBO foi maior na devolução aumentando assim a concentração de amônia diminuindo o oxigênio dissolvido (Tabelas 1 e 2).

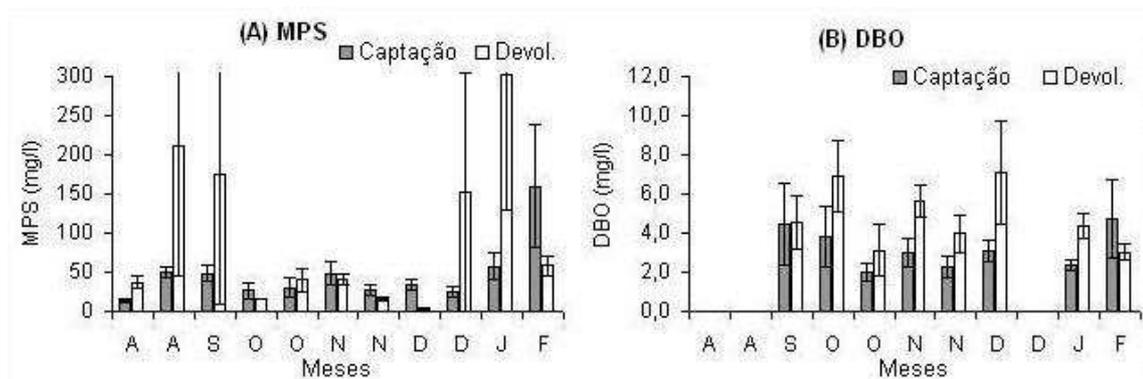


Figura 3 - Variação temporal nas estações de captação e devolução de água no rio Itajaí-Açu com média e erro padrão: (A) Material particulado em suspensão (MPS); (B) Demanda bioquímica de oxigênio (DBO).

### 3.3 Nutrientes

A Tabela 2 resume os dados obtidos para os nutrientes nas estações de captação e devolução durante o estudo. O nitrato apresentou maior concentração nas captações do que nas devoluções (Figura 4A). Sua média na captação foi de 22,4  $\mu\text{M}$  variando entre 31,9 e 5,4  $\mu\text{M}$ , e, na devolução, a média foi de 6,2  $\mu\text{M}$  com máximo de 17,8  $\mu\text{M}$  e mínimo de 0,7  $\mu\text{M}$  (Tabela 2). O nitrito foi o nutriente nitrogenado que apresentou as menores concentrações. As maiores concentrações foram geralmente registradas nas captações (Figura 4B), com uma média de 1,0  $\mu\text{M}$ , variando entre 1,9 e 0,2  $\mu\text{M}$ , sendo que na devolução a sua média foi de 0,7  $\mu\text{M}$  com valores compreendidos entre 0,3 e 1,2  $\mu\text{M}$  (Tabela 2). O nitrogênio amoniacal apresentou diferença entre a captação e devolução (Figura 4C). Na captação a média foi de 26,0  $\mu\text{M}$  com máxima de 60,5  $\mu\text{M}$  e mínima de 13,01, e na devolução a média foi de 163,8  $\mu\text{M}$  variando entre 17,7 e 411,4  $\mu\text{M}$  (Tabela 2).

O nitrogênio inorgânico dissolvido (NID), correspondendo à soma de nitrogênio amoniacal ( $\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) variou entre 15,3 e 79,5  $\mu\text{M}$  na captação e, na devolução, entre 18 e 411,8  $\mu\text{M}$ . A principal forma de NID foi em geral o N amoniacal (Figura 4D).

A entrada de N nas águas é resultado principalmente da agricultura com o uso de fertilizantes (que aumenta principalmente a concentração de  $\text{NO}_3^-$ ) e também de resíduos urbanos e industriais (enriquecidos em  $\text{NH}_4^+$ ) (MEYBECK, 1982). O uso inadequado de fertilizantes nitrogenados pode trazer problemas à lavoura e ao meio ambiente. A utilização incorreta desses fertilizantes pode causar

problemas de eutrofização, gerando um grande desenvolvimento de algas comprometendo a qualidade da água através da contaminação de mananciais hídricos por nitrogênio e fósforo, além de intensificar o processo natural de acidificação do solo (IRGA - Instituto Rio Grandense de Arroz, 2008).

O nitrogênio amoniacal foi o nutriente que apresentou concentrações mais altas dentre os nitrogenados, com média de 23,0  $\mu\text{M}$  na captação e 163,8  $\mu\text{M}$  na devolução (Tabela 2). Essa diferença reflete uma alteração na distribuição dos nutrientes nitrogenados ao passar pelos campos de arroz irrigado. As águas devolvidas para o estuário que antes passaram pelos arrozais geraram altos valores de amônio, sugerindo elevada decomposição de matéria orgânica. Além disso, a baixa renovação de água nos campos resulta em um ambiente de baixa dinâmica, com baixa incorporação de oxigênio dissolvido. Essa situação resultaria em um ambiente hipóxico, onde a nitrificação seria inibida, de modo que a forma predominante de NID passaria a ser o  $\text{NH}_4^+$ . As baixas concentrações de oxigênio dissolvido e o aumento da DBO nas devoluções apóiam essa idéia (Figura 2B e Figura 3B). Esse aumento do nitrogênio amoniacal também pode ser o resultado de uso excessivo de fertilizantes nitrogenados. Embora a maioria dos fertilizantes nitrogenados use o nitrato como fonte de nitrogênio, alguns utilizam a uréia, devido ao seu alto teor de nitrogênio. Porém, quando há a incorporação da uréia ao solo, ocorrem perdas de nitrogênio por volatilização durante o processo de hidrólise enzimática da uréia no solo, resultando na produção de amônia ( $\text{NH}_3$ ), que passa posteriormente para o íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) (DA ROS, 2005).

**Tabela 2 – Médias, erros, mínimos e máximos dos nutrientes nas estações de captação e devolução de água no rio Itajaí-Açu.**

Variável	Parâmetro	Captação	Devolução
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (µM)	Média	22,4	6,2
	Erro Padrão	2,6	1,57
	Min	5,4	0,7
	Máx	31,9	17,8
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (µM)	Média	1	0,7
	Erro Padrão	0,18	0,05
	Min	0,25	0,28
	Máx	1,97	1,22
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (µM)	Média	26	163,8
	Erro Padrão	2,84	22,48
	Min	13	17,7
	Máx	60,5	411,4
NID (µM)	Média	41,3	168,4
	Erro Padrão	2,5	15,5
	Min	15,3	18
	Máx	79,5	411,8
PO <sub>4</sub> <sup>3+</sup> (µM)	Média	2,0	4,6
	Erro Padrão	0,37	0,89
	Min	0,8	0,9
	Máx	8,0	16,6
Si (µM)	Média	40,5	23,5
	Erro Padrão	3,07	4,06
	Min	9,6	15,8
	Máx	66,7	82,5

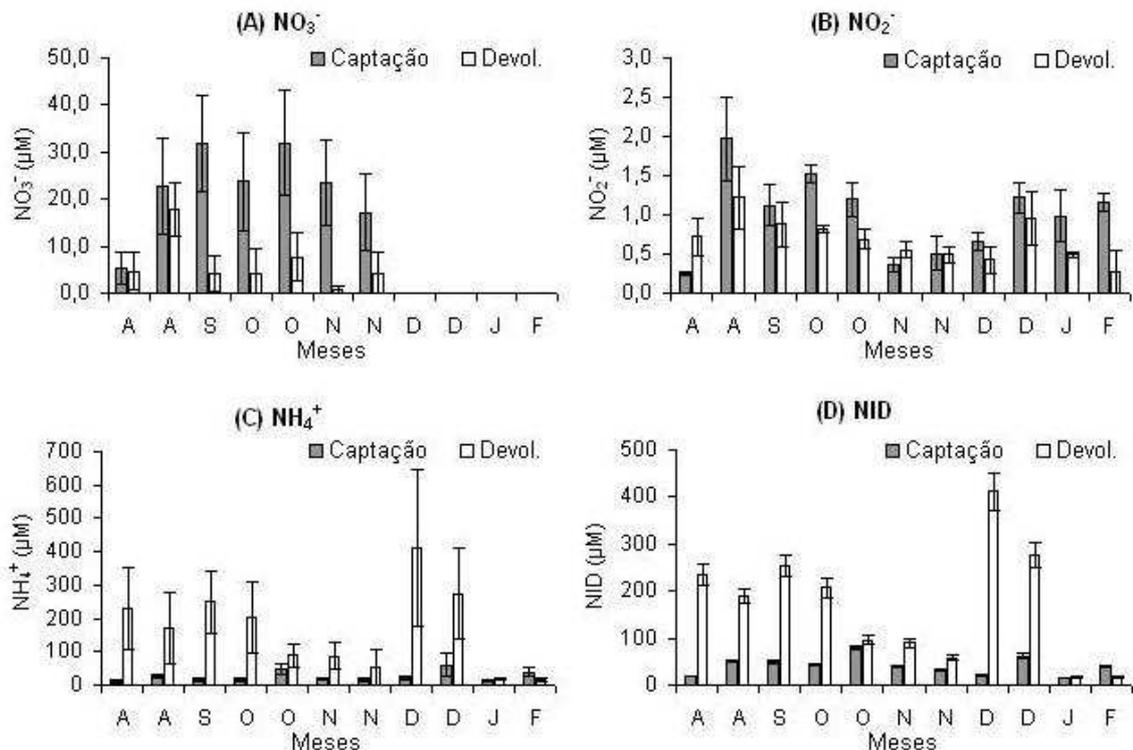
O nitrito foi o nutriente nitrogenado que apresentou a menor concentração. Essa tendência é comumente encontrada em ambientes aquáticos (MEIBECK, 1982), em função de o nitrito representar um estado de transição entre o amônio e o nitrato. Em baixa concentração de oxigênio dissolvido a nitrificação é inibida. Nessa condição o nitrito não será gerado pela oxidação do amônio. De fato, ao se relacionar as médias de nitrito com o oxigênio dissolvido verificou-se concentrações mais elevadas de nitrito correspondendo a concentrações maiores de oxigênio, (Tabelas 1 e 2). A menor concentração média de oxigênio dissolvido foi observada na devolução (3,7 mg/l), com maiores valores de DBO, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e menor concentração de NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (0,7 µM). Ainda associando o oxigênio dissolvido à distribuição de nitrogenados, observou-se que quando houve maior concentração do

mesmo, foi registrado o maior valor de nitrato, mostrando assim o favorecimento da nitrificação. Da mesma forma, o nitrato e o amônio apresentaram relação inversa, corroborando essa hipótese.

As concentrações de fosfato foram geralmente maiores nas devoluções do que nas captações (Figura 5A). Sua média na captação foi de 2,0 µM variando entre 0,8 e 8,0 µM, e na devolução sua média foi de 4,6 µM com valores compreendidos entre 16,6 e 0,9 µM (Tabela 2). O fosfato em ambientes aquáticos apresenta freqüentemente um comportamento não conservativo e tende a se adsorver ao material particulado em suspensão. Sua origem está relacionada ao intemperismo da crosta terrestre e é transportado pelas águas fluviais na forma particulada e dissolvida. Pode ser originado em locais poluídos recentemente por despejos orgânicos, como a entrada de

esgotos domésticos e industriais, ou até mesmo pelo seu uso na agricultura. As principais fontes de P nas águas de superfície são os detergentes, resíduos industriais, resíduos urbanos e fertilizantes, portanto um aumento das entradas antropogênicas de fósforo pode resultar em um aumento da fração inorgânica dissolvida, o fosfato (MEYBECK, 1982). A concentração

do fosfato na devolução foi maior que na captação, com uma média superior ao dobro da captação (Tabela 2). Essa tendência pode estar relacionada à influência das práticas do cultivo de arroz. Com o uso de fertilizantes ricos em nitrogênio e fósforo, a concentração do fosfato pode aumentar fato que pode explicar o aumento do fosfato nas águas de devoluções.



**Figura 4 - Variação temporal dos nutrientes nitrogenados nas estações de captação e devolução de água no rio Itajaí-Açu com média e erro padrão: (A) Nitrato; (B) Nitrito; (C) Amônio; (D) Nitrogênio inorgânico dissolvido (NID).**

O silício apresentou, de forma geral, maior concentração na captação (Figura 5B). Sua média na captação foi de 40,5 µM com máxima de 66,7 e mínima de 9,7 µM, e na devolução sua média foi de 23,5 µM variando entre 82,5 e 15,8 µM (Tabela 2). Estudos apontam que o arroz funciona como um acumulador de Si (TAKAHASHI, 1990; TAKAHASHI, 1995; MA, 2001). Em média, estima-se que para produzir 5 toneladas de grãos, a cultura do arroz remove de 500 a 1.000 kg de SiO<sub>2</sub> por hectare (LIMA FILHO, 1999). Segundo Epstein (1994) amplas evidências mostram que o silício quando disponível para as plantas desempenha um grande papel no seu crescimento, na nutrição mineral, na resistência mecânica, nas resistências a doenças fúngicas, pragas e efeitos adversos às condições químicas do

meio e aumento na proteção contra herbívoros, incluindo os insetos fitófagos.

O arroz é caracterizado como uma planta típica que absorve ativamente o silício em suas raízes. Este nutriente em combinação com a água resulta no ácido silícico, sendo esta a forma assimilada pelas raízes desta planta. Segundo MA (2001), esta taxa de absorção de Si nas raízes das plantas de arroz é mais rápida do que a absorção de água, podendo esta ser uma razão para a diminuição acelerada de concentração de Si nas águas em locais onde há prática do cultivo de arroz. Ao contrário de outras espécies de plantas, as raízes do arroz assimilam o Si de maneira mais rápida do que outros nutrientes (TAKAHASHI, 1995). Nesse estudo, o silício nas captações apresentou uma média de

40,5  $\mu\text{M}$  enquanto nas devoluções a média foi de 23,5  $\mu\text{M}$  (Tabela 2), indicando uma relação de 2:1, sugerindo assim uma possível influência da rizicultura sobre a biogeoquímica da água. Embora a concentração média de Si na devolução tenha sido menor que na captação, a tendência nem sempre foi essa. No início do estudo, entre agosto e outubro, as concentrações de Si estavam maiores na devolução. A partir de outubro suas concentrações começam a diminuir em relação à captação. Essa inversão é mais um indicio da influência da rizicultura sobre esse nutriente e está provavelmente relacionada com a evolução do ciclo do arroz. Embora variável, o ciclo mostra que o solo passa a ser preparado para o plantio entre julho e agosto, para que o plantio possa ser realizado entre setembro e outubro, momento em que a assimilação do Si será de fato iniciada (Figura 5B).

O silício foi recentemente incluído na Legislação para Produção e Comercialização de Fertilizantes e Corretivos como nutriente benéfico para as plantas. Isso significa que o elemento poderá ser comercializado isoladamente ou na mistura com outros nutrientes (BRASIL, 2004). Segundo o IRGA (Instituto Rio Grandense de Arroz) a produção de arroz tem a necessidade da adição de nutrientes que são necessários para o desenvolvimento da planta como o Nitrogênio (N), o Fósforo (P) e o Potássio (K) para realizar a adubação. Lima Filho (1999) registrou a essencialidade agrônômica do Si nos cultivos do arroz, em visto dos diversos benefícios advindos através da nutrição deste elemento já que o Si está envolvido em uma série de características físicas das plantas e em uma série de eventos fisiológicos, favorecendo a fotossíntese. Takahashi (1995) mostra o papel fisiológico do Si no arroz, diminuindo a transpiração

excessiva e o estresse hídrico das folhas, mantendo as folhas eretas, aumentando a penetração da luz no dossel, o que previne o fechamento dos estômatos e estimula a fotossíntese. Mostra ainda que esse estímulo da fotossíntese aumenta a assimilação de N e  $\text{NH}_4^+$  pela planta, aumentando a tolerância às adubações nitrogenadas, fosfatadas e potássicas tornando assim, a planta mais resistente a pragas e doenças.

O período em estudo foi realizado em uma época em que ocorreram freqüentes chuvas. Sendo o silício um nutriente que se caracteriza por se originar através do intemperismo da crosta, sua concentração no ambiente deveria possivelmente sofrer aumento em épocas chuvosas, fato não confirmado ao longo do estudo, já que foi observada uma diminuição da concentração de silício nas águas das estações de devolução após passarem pelos campos de arroz (Figura 5B). Esse resultado reflete a influência da rizicultura irrigada sobre a geoquímica do silício. Por ser muito abundante na crosta, o Si aparentemente não limita a produtividade dos cultivares na região do baixo vale do rio Itajaí-Açú. Entretanto, em função da grande área plantada às margens do rio Itajaí-Açú, o cultivo de arroz na região pode provocar diminuição da disponibilidade de Si na água que é devolvida ao corpo hídrico, nos períodos onde o ciclo é desenvolvido. Esse mecanismo resulta em uma alteração da dinâmica geoquímica do Si na região e pode resultar em mudanças na razão de nutrientes que será disponibilizada na região costeira através da drenagem da bacia. Embora não seja drástica, essa alteração pode resultar em mudanças na comunidade fitoplanctônica, freqüentemente dominada por diatomáceas, na região estuarina e costeira ao longo do tempo.

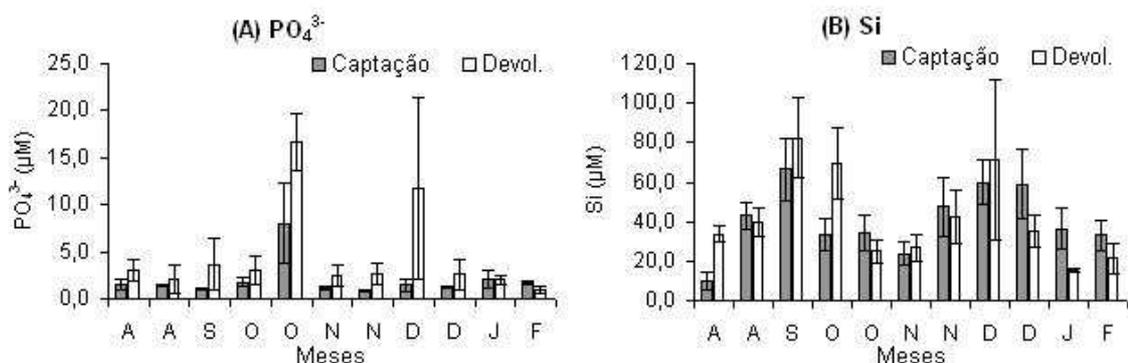


Figura 5 - Variação temporal dos nutrientes nas estações de captação e devolução de água no rio Itajaí-Açu com média e erro padrão: (A) Fosfato; (B) Silício.

#### 4 Considerações Finais

Os principais resultados desse estudo mostraram deterioração da qualidade da água em função de seu uso na rizicultura irrigada. As principais alterações encontradas foram:

- Diminuição do OD, do  $\text{NO}_3^-$  e do Si e aumento da condutividade, do N amoniacal, do  $\text{PO}_4^{3-}$ , do MPS e da DBO. As baixas concentrações de oxigênio dissolvido resultaram em baixas concentrações de nitrito.
- As alterações mencionadas refletem a decomposição de matéria orgânica no interior dos campos, gerando uma possível hipoxia, o que fez com que a distribuição dos nitrogenados fosse alterada, com o predomínio de  $\text{NH}_4^+$  na água de descarte. O uso de fertilizantes também provavelmente contribuiu com essa inversão e com os aumentos de  $\text{PO}_4^{3-}$  e  $\text{NH}_4^+$ .

Os aumentos de nutrientes observados também podem refletir a utilização inadequada de fertilizantes. Esse uso, além de representar um gasto desnecessário para o produtor, resulta na eutrofização da água após seu uso. Embora o impacto dessa eutrofização sobre os mananciais não tenha sido avaliado, ele representa um efeito negativo para a qualidade da água em função de seu uso na rizicultura.

- Alteração no ciclo geoquímico do Si, resultando em diminuição de sua concentração durante o ciclo da rizicultura. Essa diminuição pode modificar sua disponibilidade a longo prazo e essa alteração pode resultar em mudanças na comunidade fitoplanctônica, frequentemente dominada por diatomáceas, na região estuarina e costeira ao longo do tempo.

#### 5 Chemical water quality in function of its use in the rice culture in the region of the low Itajaí river estuary

**Abstract:** *This study aimed to assess how the chemical characteristics of water vary depending on its use for the supply of irrigated rice fields in the middle and low estuary of the rio Itajaí, in the region of Ilhota and Itajaí. Fortnightly samplings were conducted between August 2007 and February 2008 in four stations of catchment (Cap) and three stations of returning water (Dev). On each sample were measured physical and chemical variables (temperature,  $\text{O}_2$ , conductivity and pH), nutrients ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ , Si e  $\text{PO}_4^{3-}$ ), particulate matter in suspension (MPS) and BOD. Increases were observed for conductivity,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ , MPS and BOD between Cap (0.08 mS/cm, 26.0  $\mu\text{M}$ , 2.0  $\mu\text{M}$ , 47.5 mg/l, 3.20 mg/l, respectively) and Dev (0.14 mS/cm, 163.8  $\mu\text{M}$ , 4.6  $\mu\text{M}$ , 95.8 mg/l, 4.8 mg/l, respectively). Moreover, decrease was recorded for  $\text{O}_2$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  e Si between Cap (6.65 mg/l 22.3  $\mu\text{M}$ , 1.0  $\mu\text{M}$ , 40.5  $\mu\text{M}$ , respectively) e Dev (3.73 mg/l, 6.2  $\mu\text{M}$ , 0.7  $\mu\text{M}$ , 23.6  $\mu\text{M}$ , respectively). The changes of the variables tracked reflected deterioration of water quality due to its use in agriculture, with emphasis on the reduction of  $\text{O}_2$  and increase in  $\text{NH}_4^+$  and BOD. Also deserved highlight the decrease in Si, which was intensified with the development of the cycle of rice culture.*

**Key-words:** Nutrients. Estuary. Irrigated rice. Water quality.

#### 6 Refêrências

AGOSTINETTO, D. et al. Potencial de emissão de metano em lavouras de arroz irrigado. **Cienc. Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 6, p. 1073-1080, 2002.

BAUMGARTEN, M. da G. Z. et al. Manual de análises em oceanografia química. Rio Grande, Ed. Furg, 1996.

BHARATI et al. Influence of flooded and non-flooded conditions on methane efflux from two soils planted to rice. **Chemosphere – Global Change Science**, Oxford, v.3, n1. p.25-32, 2001.

BRASIL. DECRETO N° 2954. Aprova o regulamento da lei no 6894 de 16 de janeiro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de 4 fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências. **Normas jurídicas (Texto Integral)-DEC 004954**, p.27, 14 jan, 2004.

DA ROS, C. O. et al. Volatilização de amônia com aplicação de uréia na superfície do solo, no sistema plantio direto. **Cienc. Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 4, 2005.

EPISTEN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proc. Natl. Acad. Sci.**, USA, v. 91, p. 11-17, 1994.

FAIRBRIDGE, R. W. . In: OLAUSSON, E. & CATO, I. (EDS.). **Chemistry and Biogeochemistry of Estuaries**. New York: John Wiley & Sons. p.1-35, 1980.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades@ - O Brasil município por Município. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>>. Acesso em: jul. 2004.

ICEPA - Instituto de Planejamento e Economia Agrícola de Santa Catarina. Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina 2003-2004. Florianópolis: ICEPA – Secretaria de Estado da Agricultura e Política Rural. p.377, 2005.

IRGA – Instituto Rio Grandense de Arroz. Disponível em: <<http://www.irga.rs.gov.br>>. Acesso em: fev. 2008.

LIMA FILHO, O. F. de. et al. O Silício na Agricultura. **Encarte Técnico sobre Informações Agrárias**. p.2-5, 1999.

LIMA FILHO, O. F. de. et al. Supressão de patógenos em solos induzida por agentes abióticos: o caso do silício. **Encarte Técnico sobre Informações Agrárias**. p.9-10, 1999.

MA, J.F. et al. Role of root hairs and lateral roots in silicon uptake by rice. **Plant Physiology**, v. 127, p.1773-1780, 2001.

MEYBECK, M. Carbon, nitrogen and phosphorus transport by world rivers. **American Journal of Science**, v.282, p.401-450, 1982.

MOLOZZI, J., PINHEIRO, A., SILVA, M.R. Qualidade da água em diferentes estágios do

desenvolvimento do arroz irrigado. **Pesq. Agropec. Brás.**, Brasília, v.41, n.9, p.1393-1398. 2006

PEREIRA FILHO, J.P. **Dinâmica Biogeoquímica do Estuário do Rio Itajaí-Açu**. Tese de Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais. UFSCar. p.35-53, 2006.

PNUD – (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento). Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil. Versão 1.0.0. Brasília, 2003. Software. Disponível em: <<http://www.pnud.org.br/atlas>>. Acesso em: jul. 2006.

RÖRIG, L. R. **Usos Múltiplos e Qualidade das Águas da Bacia do Baixo Itajaí-Açu, SC: Elementos para Um Gerenciamento Integrado**. Tese de Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais. UFSCar, São Carlos, SP, p.295, 2005.

SCHAFFER, A. **Fundamentos de Ecologia e Biogeografia das Águas Continentais**. 1.ed. Editora da Universidade, Porto Alegre, p.197, 1985.

SCHETTINI, C.A.F. Caracterização Física do Estuário do Rio Itajaí-açu. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.7, n.1, p.123-142, 2002.

STRICKLAND, J. D. H. & PARSONS, T. R. A practical handbook of seawater analysis. 2. Ed. **Fisheries Research Board of Canada**, Ottawa, bull. nº 167, 1972.

TAKAHASHI, E. et al. The possibility of silicon as an essential element for higher plants. **Comments Agric Food Chem**. p.299-122, 1990.

TAKAHASHI, E. Uptake mode and physiological functions of silica. **Science of Rice Plant**, v.2, p.58-71, 1995.