



Distribuição espacial mensal de variáveis físicoquímicas em cursos hídricos de Itaquí, RS

Cassiane Jraj de Melo Victoria
Bariani*

Nelson Mario Victoria
Bariani**

Resumo: Este trabalho tem por objetivo identificar mudanças espaço-temporais nas concentrações de variáveis físicoquímicas de cursos hídricos em Itaquí, RS. Foram realizadas análises de oxigênio dissolvido, potássio, potencial de hidrogênio, sódio, cloretos e condutividade elétrica nos meses de setembro a novembro de 2010 e 2011. As informações foram submetidas a procedimentos estatísticos de correlação de Pearson e interpolação pelo vizinho mais próximo, no software Spring. Foram identificadas três tendências distintas na área de estudo, tomando como referência os limites legais: Área Sudeste: concentrações baixas; Jusante da área urbana: concentrações elevadas; Montante da área urbana: concentrações elevadas para cotas do rio Uruguai próximas a 136 cm. Há evidências que a área urbana do município contribui para o aumento da concentração das variáveis.

*Mestre em Geografia:
Geoinformação e
Sensoriamento Remoto pela
Universidade Federal de Santa
Maria

** Professor Adjunto da
Universidade Federal do Pampa,
Unipampa

Monthly spatial distribution of physicochemical variables in a urban watershed (Itaquí, RS, Brazil)

Abstract: This study identifies spatial and temporal changes in the concentration of physicochemical water variables of urban watersheds at the city of Itaquí (RS, Brazil). The concentrations of dissolved oxygen, potassium, pH, sodium, chloride and electrical conductivity were measured from September to November 2010 and 2011. Results were statistically processed through Pearson correlation and spatially interpolated using the “nearest neighbor” algorithm implemented in Spring, the free brazilian GIS software. Three tendencies were identified with reference to the legal limits: 1) low concentrations in the southeastern area; 2) high concentrations downstream of the urban area; 3) high concentrations upstream of the urban area when the Uruguay river level was low (136 cm).

Palavras-chave:

Spring; SIG; interpolador
vizinho mais próximo;
qualidade da água.

Key-Words:

Spring; GIS; interpolator
closest neighbor; water
quality.

Introdução

A capacidade de planejamento e gestão do espaço físico tem sido insuficiente, até o momento, para administrar o crescimento das cidades, a expansão da agropecuária, e as atividades industriais de uma maneira sustentável. Essa situação fica evidente principalmente nos ecossistemas aquáticos de água doce, como lagos, arroios e rios, cujas águas são desviadas intensivamente para atividades antrópicas, e cujos corpos hídricos recebem efluentes domésticos, rurais e industriais sem tratamento, além de sofrer alteração nas estruturas de matas e encostas e outros filtros naturais (CARVALHO et al., 2000).

Por outro lado, pode ser observado o efeito da valorização da informação geográfica, decorrente da ampliação, em nível global, de uma mentalidade mais responsável com o meio ambiente e das demandas sociais e econômicas por uma melhor compreensão da realidade territorial, na medida em que subsidia a implementação de políticas de gestão e desenvolvimento sustentável (CINDE, 2010). Essas características contribuem para aumentar o interesse no desenvolvimento de pesquisas como a presente, que integrem dados ambientais coletados in situ e dados proveniente de sensoriamento remoto em um sistema de informação geográfica.

Nesta pesquisa, a análise da qualidade e dinâmica da água é o elemento chave que revela as interações existentes nos cursos hídricos ao redor da área urbana da cidade de Itaqui, RS. As motivações para o desenvolvimento deste trabalho ficam evidentes através da análise de declarações como as contidas no documento final da Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento - A Agenda 21, em sua Seção IV, Capítulo 40, intitulada “Informação para a Tomada de Decisão”, que enfatizou a necessidade de se incrementar as atividades de aquisição, avaliação e análise de dados utilizando novas tecnologias tais como: Sistema de Informações Geográficas (SIG), Sensoriamento Remoto (SR) e Sistema de Posicionamento Global (GPS) (CINDE, 2010).

Cabe observar, que embora exista vontade política, social e empresarial de avançar positivamente para uma relação sustentável com o meio ambiente, a falta de informações confiáveis leva a impasses no desenvolvimento de ações efetivas, sendo que nenhum dos envolvidos: comunidade, empresas, governo, concorda em assumir sua parcela de ônus ambiental. Este trabalho, portanto, vem contribuir com informações e metodologias que podem colaborar positivamente para a discussão e reflexão sobre esta situação.

Pelos motivos expostos a pesquisa tem por objetivo identificar as mudanças espaço-temporais nas concentrações de variáveis físico-químicas de cursos hídricos em torno à área urbana da cidade de Itaqui, RS.

Área de estudo

A área urbana do município de Itaqui é banhada a leste pelo Arroio Cambaí e Arroio Chocolate e a oeste pelo Arroio Olaria e Sanga da Cruz. Pontos hídricos dentro das quatro microbacias correspondentes a esses cursos de água são o foco desta pesquisa. A área de estudo está localizada na fronteira oeste do estado do Rio Grande do Sul, Brasil, a 29° 05' e 29° 12" de latitudes sul e 56° 28' e 56° 35' de longitudes oeste (Figura 1).

Território pertencente primeiramente às Missões Ocidentais, o município de Itaqui possui uma população de 38.151 habitantes (IBGE, 2010). A região é influenciada pelas características da bacia do rio Uruguai e pela forte presença da lavoura orizícola, assim como da pecuária e da criação de suínos em granjas tecnificadas.

Desempenha papel notório (âmbito econômico estadual e nacional) na produção de arroz, bovinos com as raças Hereford e Braford e na criação de suínos para abate. Estas

atividades influenciam a qualidade ambiental da região, pois estão diretamente relacionadas com o uso e ocupação das terras bem como o elevado consumo de água.

Figura 1- Localização da área de estudo e pontos amostrais.



Metodologia de trabalho

As avaliações espaço-temporais nas concentrações de variáveis físico-químicas de cursos hídricos em torno a área urbana da cidade de Itaqui se deram por meio da comparação entre os mapas obtidos em cada data de amostragem. Para espacialização dos resultados foi utilizando o aplicativo Spring na sua versão 5.1.5 (CÂMARA et al., 1996), onde foi definida uma região (buffer) que corresponde a largura dos cursos hídricos na cota máxima do período analisado. Dentro dela foi obtida uma matriz de pontos por interpolação por meio da qual foram criados mapas da concentração de oxigênio dissolvido (OD), potássio (K⁺), potencial de hidrogênio (pH), sódio (Na⁺), cloretos (Cl⁻) e condutividade elétrica (CE) para os meses de setembro a novembro de 2010 e 2011. As metodologias utilizadas para as análises das concentrações das variáveis físico-químicas em pontos hídricos seguiram as recomendações do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005). Após analisadas todas as variáveis, as tabelas contendo os dados foram incluídas num banco de dados geo-relacional, onde cada objeto no espaço fica associado biunivocamente a uma tabela de dados.

Foram coletadas e analisadas amostras de água em 12 pontos em cursos hídricos da região nos meses de setembro a novembro dos anos de 2010 e 2011 (Figura 1). Os meses de setembro, outubro e novembro foram escolhidos devido a intensidade de manejo do solo nestes meses, pois a região é caracterizada pelo cultivo de arroz irrigado, onde seu preparo se dá preferencialmente durante estes meses.

As variáveis físico-químicas foram medidas in situ por meio de eletrodos portáteis. Para o oxigênio dissolvido utilizou-se o oxímetro Homis, modelo MO-900; para a condutividade elétrica o condutímetro Instrutherm, modelo CDR870; e para o potencial de hidrogênio, o pHmetro Quimis, modelo Q400HM. As análises de sódio e potássio foram feitas por meio do fotômetro de chama Quimis (modelo Q398M2) e as análises de cloretos pelo método de Mohr, conforme APHA (2005).

A distribuição de valores das variáveis físico-químicas foi avaliada por meio da elaboração de mapas temáticos que permitiram identificar a variação espaço-temporal das mesmas. Para este procedimento utilizou-se o Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas, Spring (CÂMARA et al., 1996) versão 5.1.5. Inicialmente foram criados modelos de dados MNT (categoria Modelo Numérico do Terreno do Spring) com os respectivos nomes das variáveis limnológicas. Dentro destes modelos de dados foram criados planos de informação e importados os valores das variáveis limnológicas que constituiriam a variável z, sendo que x

e y referem-se respectivamente à longitude e a latitude do ponto amostral, no datum WGS84).

Posteriormente, para cada variável em cada mês foi gerada uma grade regular das amostras. O interpolador utilizado foi o vizinho mais próximo; segundo Botelho et al., (2005), o algoritmo de “vizinho mais próximo” é o método mais simples, e tem como principal característica, assegurar que o valor interpolado seja um dos valores originais, ou seja, não gera novos valores. O produto final deste interpolador é caracterizado por um efeito de degrau. Desta forma, os valores das variáveis físico-químicas utilizados para construir os mapas temáticos correspondem a medições realizadas nos pontos de amostragem.

Para a análise estatística se utilizou o programa Microsoft Office Excel. A correlação entre as variáveis limnológicas foi feita por meio da função “CORREL” presente no aplicativo Excel. A função “CORREL” retorna o coeficiente de correlação dos intervalos de células que contém valores das variáveis analisadas, chamados de matriz1 e matriz2.

Algumas observações são importantes quando se utiliza a função “CORREL”: a) se uma matriz tiver células vazias, essas serão ignoradas, no entanto, células com valor zero serão incluídas; b) se a matriz 1 e matriz 2 possuírem um número diferente de pontos de dados, “CORREL” retorna ao valor de erro “#N/D”; e c) se a matriz 1 e a matriz 2 estiverem vazias, ou se o desvio padrão destes valores for igual a zero, “CORREL” retornará ao valor de erro “#DIV/0”.

Para verificação do cálculo do coeficiente de correlação de Pearson assim obtido, utilizou-se a função já implementada e disponível no complemento “Analyse-it” do Excel e no programa R Estatística, por meio do R commander (R, 2011), onde também foi calculado o coeficiente de determinação.

Para uma melhor discussão dos resultados se fez necessário avaliar a cota (nível) do rio Uruguai e os dados de precipitação pluviométrica na região. Os dados referentes as cotas do rio Uruguai - estação 75900000, Itaqui - foram obtidos através do Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb), da Agência Nacional de Águas (ANA, 2011). A conversão de cotas para vazões foi realizada mediante a equação linear reportada em (Bariani, 2012). Os dados pluviométricos foram obtidos por meio de boletins mensais de precipitação pluviométrica para o estado do Rio Grande do Sul. Esses boletins são gerados mensalmente pela Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO, 2012), sendo utilizados neste trabalho os correspondentes à Estação Pluviométrica de Uruguiana, por serem dados oficiais que podem ser correlacionados com dados obtidos nas microbacias sob estudo.

Resultados e discussão

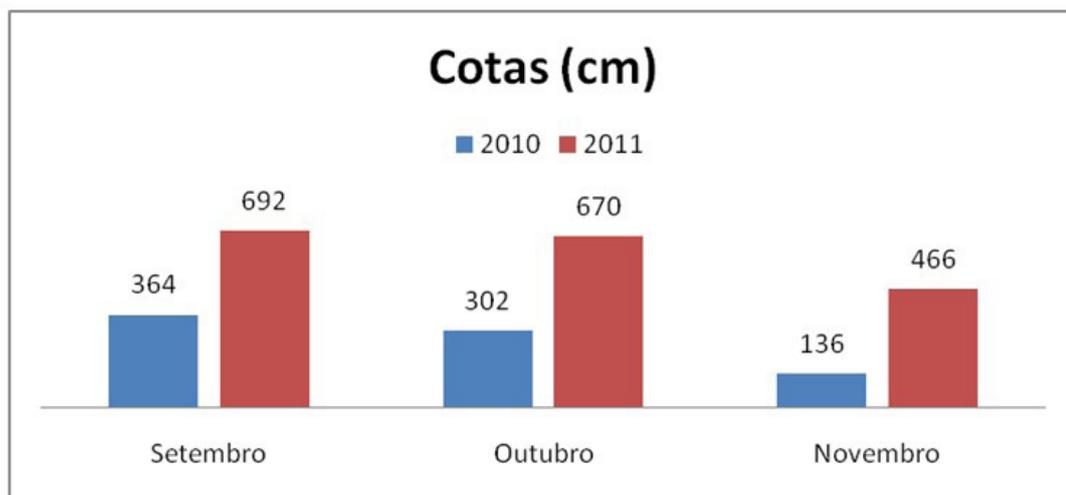
Considerando uma visão geral do trabalho, a construção de um banco de dados relacional associado a um Sistema de Informação Geográfica (SIG), permitiu analisar as relações espaço-temporais de variáveis limnológicas dos cursos hídricos da região urbana de Itaqui de forma consistente e eficaz, fornecendo uma ferramenta de gestão da informação disponível, num ambiente único. Alguns aspectos específicos da discussão são apresentados a continuação.

Cotas, vazões e pluviometria

As cotas do rio Uruguai são diretamente proporcionais às vazões na estação analisada, segundo Bariani (2012), respondendo a uma relação linear, e possuem um papel importante para a análise das mudanças nos valores das variáveis correspondentes ao meio aquático. Segundo Bariani et al., (2011) em estudos realizados nas microbacias desta mesma região, o aumento da vazão indicado pela cota apresentou efeito diluidor das concentrações de bactérias

mesófilas e de cloretos. Como efeito da diluição, quanto mais alta for a cota menores são as concentrações de bactérias e de cloretos nas amostras de água, devido à entrada de água do rio Uruguai para os córregos afluentes. O efeito diluidor se faz mais evidente nos pontos de amostragem situados em córregos, devido à pequena vazão dos mesmos comparada ao rio Uruguai. A seguir, no Gráfico 1, são apresentadas as cotas para os meses de setembro, outubro e novembro, onde em azul (esquerda) esta representado o ano de 2010 e em vermelho (direita) o ano de 2011 segundo dados da ANA (2011).

Gráfico 1 - Cotas do nível fluvial (cm) do Rio Uruguai (estação ANA 75900000) registradas para os meses de setembro, outubro e novembro do ano de 2010 e 2011.



Percebe-se que tanto para o ano de 2010 como de 2011 as cotas (e conseqüentemente as vazões, conforme explicado anteriormente) vão diminuindo gradativamente de setembro para novembro. Além disso, há diferenças entre as cotas nos anos de 2010 e 2011, quando no ano de 2010 apresentaram-se cotas mais baixas em comparação ao ano de 2011. Em setembro de 2010 a cota média durante o mês ficou em 364 cm (3824 m³/s) enquanto que no mesmo período de 2011 a cota esteve em 692 cm (7426 m³/s), uma diferença de 328 cm entre as cotas (3429 m³/s); em outubro de 2010 a cota ficou em 302 cm (3144 m³/s) e para 2011 ficou em 670 cm (7184 m³/s), uma diferença de 368 cm (3868 m³/s); e para novembro a diferença entre as cotas de 2011 (466cm ou 4944 m³/s) e 2010 (136cm ou 1321 m³/s) ficou em 330 cm (3451 m³/s).

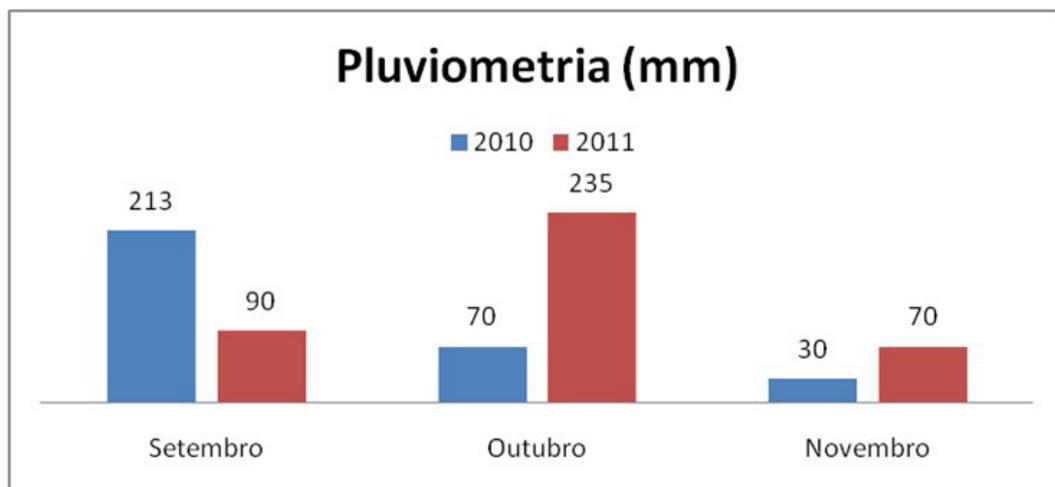
Portanto o ano de 2010 foi um ano de vazões mais baixas em comparação ao ano de 2011 para os meses de setembro a novembro, pois a diferença média entre as cotas de 2011 e 2010 ficou em 342 cm. Isto implica que o efeito diluidor foi maior em 2011 que em 2010.

Por outro lado a precipitação pluviométrica também é um parâmetro importante para o entendimento da distribuição de valores das variáveis físicoquímicas do meio aquático. A água de chuva pode ter um efeito diluidor nos componentes superficiais, devido à sua baixa concentração de substâncias dissolvidas; por exemplo a condutividade da água de chuva da região é baixa (~20 µS), diminuindo assim a condutividade dos rios e córregos. Mas por outro lado, poderia ter efeito concentrador, quando predomina o efeito de arraste de substâncias aos cursos de água.

A região sob estudo apresenta pluviometria variada, não ocorrendo um padrão nas mesmas épocas do ano avaliadas. Além disso, estudos de Righi e Robaina, (2009) apontam a influência predominante, nas cotas desta região, de eventos pluviométricos do alto e médio curso do rio Uruguai. Por estes motivos consideramos a pluviometria e as cotas como variáveis independentes nesta análise. No Gráfico 2 é apresentado o gráfico de pluviometria acumulada para os meses de setembro, outubro e novembro, onde em azul (esquerda) está representado

o ano de 2010 e em vermelho (direita) o ano de 2011.

Gráfico 2 - Precipitação pluviométrica (mm) para os meses de setembro, outubro e novembro de 2010 a 2011 na estação meteorológica localizada em Uruguiana.



Percebe-se que no ano de 2010 o mês de setembro apresentou a maior precipitação pluviométrica (213 mm) e para o ano de 2011 a maior precipitação pluviométrica ocorreu em outubro (235 mm). Tanto no ano de 2010 quanto no ano de 2011 a menor precipitação pluviométrica foi registrada no mês de novembro, ficando em 30 mm em 2010 e 70 mm em 2011.

Por outro lado, comparando cotas com pluviometria, o ano de 2010 apresenta o mesmo padrão de variação em ambas (descendente de setembro a dezembro), porém as variações de cotas do ano de 2011 (descendentes) não acompanham a pluviometria (máximo central).

Correlação entre variáveis limnológicas

Em ambientes aquáticos como os córregos, arroios e rios diversos fatores internos e externo, como por exemplo, a descarga de efluentes urbanos, industriais e o uso da terra podem influenciar as características limnológicas. No entanto existem correlações entre as variáveis, o que pode ser verificado aplicando a análise estatística de correlação. A correlação ajuda a interpretar os dados e dar mais confiabilidade aos resultados finais da análise, pois é possível comparar o aumento ou a diminuição relativa dos parâmetros sob estudo, eventualmente deixando em evidência erros de medição ou auxiliando na descoberta de vínculos entre as variáveis.

No Quadro 1, são apresentadas as correlações de Pearson entre os valores das variáveis limnológicas de todos os pontos amostrados no ano de 2010, para os meses de setembro, outubro e novembro. Os resultados que obtiveram 95% de significância segundo seu coeficiente de determinação estão destacados em negrito.

Destacam-se as correlações entre condutividade elétrica CE e sódio Na⁺ (0.86) e CE com cloretos Cl⁻ (0.87). Conclui-se que a condutividade elétrica aumenta quando há um aumento na concentração de Na⁺ e Cl⁻ na água, isso porque a CE mede a presença de sais (íons) na água, porém por meio da condutividade elétrica não é possível saber que tipo de sais esta influenciando no aumento da CE.

O Na⁺ pode indicar principalmente a presença de sal de cozinha (NaCl), muito utilizado

na preparação de alimentos, o que acaba impactando o meio através da limpeza de louças e restos de alimentos, sendo o efluente doméstico desaguado nos córregos e rios que funcionam como corpos receptores. O Cl⁻ está presente principalmente na urina, pois cada indivíduo adulto produz 6 g Cl⁻/dia (CRUZ e MELLO, 1944). É possível observar que ainda o Na⁺ apresentou correlação positiva significativa com a Cl⁻ (0.88), deixando em evidência que a fonte de contaminação das águas pode ser esgoto doméstico, pois tanto o cloreto como o sódio estão presentes neste tipo de efluente.

Quadro 1 - Matriz de correlação entre as variáveis limnológicas para o ano de 2010.

2010						
	CE	OD	Na ⁺	K ⁺	pH	Cl ⁻
CE	1.00					
OD	-0.12	1.00				
Na ⁺	0.86	-0.19	1.00			
K ⁺	0.45	0.20	0.51	1.00		
pH	-0.32	-0.08	-0.32	-0.27	1.00	
Cl ⁻	0.87	-0.10	0.88	0.69	-0.31	1.00

No Quadro 2, são apresentadas as correlações de Pearson para as variáveis limnológicas de todos os pontos amostrados no ano de 2011, para os meses de setembro, outubro e novembro. Estão em destaque (negrito) os resultados que obtiveram 95% de significância segundo seu coeficiente de determinação.

Quadro 2 - Matriz de correlação de Pearson entre as variáveis limnológicas para o ano de 2011.

2011						
	CE	OD	Na ⁺	K ⁺	pH	Cl ⁻
CE	1.00					
OD	-0.84	1.00				
Na ⁺	0.99	-0.86	1.00			
K ⁺	0.78	-0.75	0.80	1.00		
pH	-0.28	0.18	-0.30	-0.07	1.00	
Cl ⁻	0.49	-0.32	0.41	0.27	-0.50	1.00

O ano de 2011 se apresentou distinto ao ano de 2010, com um aumento na correlação entre condutividade elétrica e sódio que passou de 0.86 para 0.99. Neste ano destaca-se a correlação negativa entre CE e OD (-0.84), e a correlação positivas de CE e potássio K (0.78).

A correlação forte e negativa entre CE e OD (-0.84) indica que essas variáveis possuem grandezas inversamente proporcionais, pois enquanto a CE aumenta o OD diminui. Este fenômeno pode ser explicado, pois em ambientes impactados um dos fatores que contribuem para a diminuição do oxigênio é a presença de sais na água, a presença de sais pode contribuir para o desenvolvimento de microrganismos, e esses geralmente consomem matéria orgânica utilizando o oxigênio presente na água (VIDOTTI e ROLLEMBERG, 2004).

Quanto a correlação entre CE e potássio K⁺ (0.78), indica que além do Na⁺, o K⁺ esteve bastante relacionado com a condutividade elétrica e, portanto, presente na água. O

potássio esta presente principalmente na água de drenagem de lavouras de arroz irrigado (MACHADO et al. 2006) que são características da região, embora também possa ser oriundo de outras fontes, como águas subterrâneas, não consideradas tão importantes neste estudo .

Além disso, é possível verificar que o OD apresentou uma correlação negativa e entre Na (-0.86) e K (-0.75). Confirmando a presença desses dois íons na água que já haviam sido identificados pela correlação entre a CE com Na (0.99) e a correlação negativa da CE com o OD (-0.84).

Portanto a presença de sais na água como o Na⁺ e K⁺ pode estar contribuindo, indiretamente, como nutrientes de algas e bactérias, para a diminuição na concentração de OD na água, devida à presença de matéria orgânica, pois segundo Tundisi e Tundisi (2008, p. 111)

A respiração de plantas e animais aquáticos e a atividade bacteriana de decomposição são fontes importantes de perda de oxigênio dissolvido. No caso da interface sedimento-água, podem ocorrer perdas substanciais de oxigênio na água, em razão da atividade bacteriana e da oxidação química.

Se observa ainda no ano de 2011 a correlação entre Na⁺ e K⁺ (0.80). Esses dois elementos são muito utilizado na produção agropecuária, por exemplo, para a criação de bovinos, onde o sódio é oferecido em cochos de madeira ou cimentados muitas vezes sem nenhuma cobertura que o proteja de ventos e chuvas, o que pode ocasionar a perda desse sal para os solos e rios. O potássio é um dos principais elementos utilizados na agricultura em fertilizantes e sua combinação com os elementos nitrogênio (N) e fósforo (P) gera a adubação mais comumente recomendada pelos agrônomos, o composto N-P-K (FALLEIRO, et al. 2003).

A análise estatística de correlação entre as variáveis limnológicas revelou-se de grande utilidade para a interpretação dos dados, pois além de facilitar o entendimento garante uma confiabilidade nas análises laboratoriais. A estatística permitiu detectar medições discrepantes com a realidade, além de identificar variáveis confiáveis, como a condutividade elétrica, que no período analisado sempre obteve correlações com os íons analisados nesta pesquisa.

Distribuição espaço-temporal das variáveis físico-químicas

Na Figura 2 são apresentados mapas de distribuição do potencial de hidrogênio (pH) nos pontos amostrados, na área de estudo nos meses de setembro a novembro de 2010 e 2011. As tonalidades mais escuras do azul são valores de pH alcalinos (>7), enquanto que as tonalidades mais clara correspondem a valores de pH ácido (<7). Nesse sentido chama-se atenção ao mapa correspondente ao mês de outubro de 2011, no qual apresentam pH ácido. O que fornecem indícios de influencia de ácidos minerais e orgânicos o que pode ser influencia da área urbana (BORGES et al., 2003).

Na Figura 3 são apresentados mapas de distribuição do oxigênio dissolvido (OD) nos pontos amostrados, na área de estudo nos meses de setembro a novembro de 2010 e 2011. As tonalidades de azul escuro representam concentrações elevadas de OD por mg/L na água, enquanto que as tonalidades claras indicam concentrações mais baixas.

A dinâmica do OD chama atenção principalmente nos meses de outubro e novembro de 2011, onde o mesmo apresentou valores entre 1-5 mg/L na região ao sul da área de estudo. Os meses de outubro e novembro são meses de preparo e semeadura do solo para a implantação das lavouras de arroz na região. A baixa concentração de OD na região ao sul da área de estudo, e o fato do OD ter apresentado uma correlação inversa com Na⁺ (-0.86) e K⁺ (-0.75) podem indicar contaminação proveniente de áreas agrícolas (MACHADO et al. 2006). O fenômeno que contribui para a contaminação, devido ao escoamento superficial, é

a precipitação pluviométrica (MARTEN e MINELLA, 2002), que para o mês de outubro de 2011 foi de 235 mm.

Figura 2 - Distribuição espacial mensal do Potencial de Hidrogeniônico.

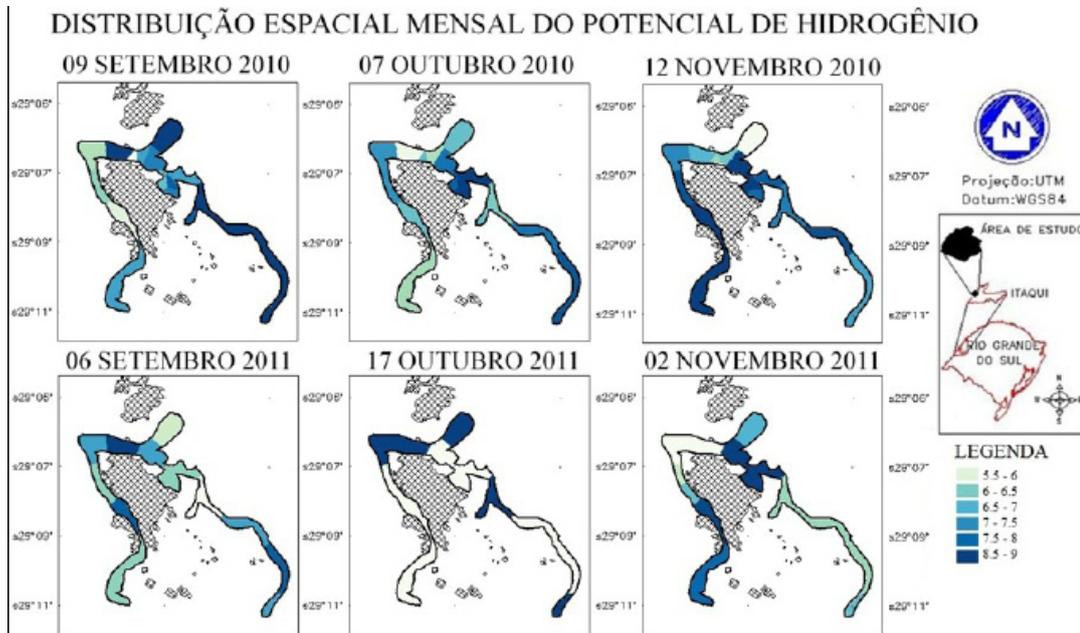
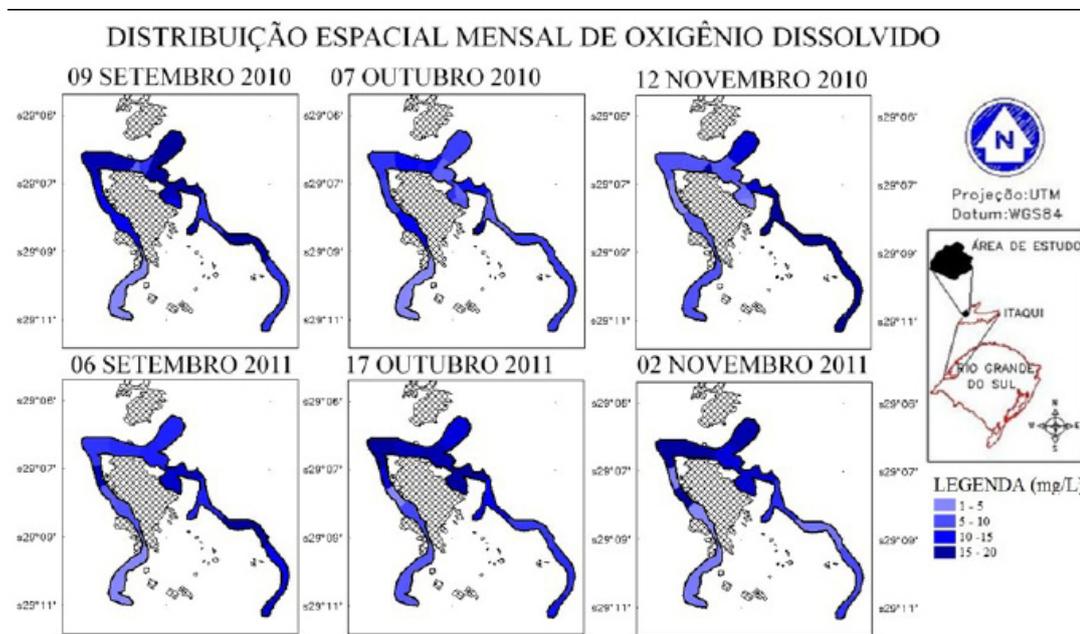


Figura 3- Distribuição espacial mensal do Potencial de Hidrogênio.

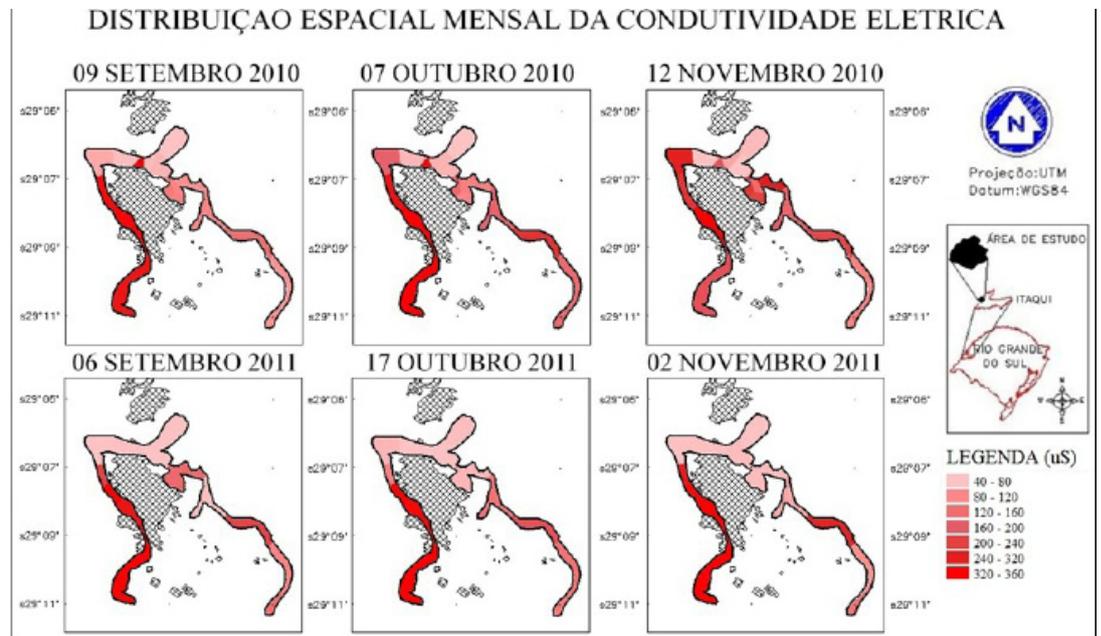


Outro fato interessante é a alta concentração de OD (15-20 mg/L), na região sudeste, no mês de novembro de 2010. Que pode ser explicado devido a presença de nutrientes e algas na água de drenagem das lavouras de arroz, que extravasa para os arroios. Segundo estudos de Pazdiora et al., (2011), a grande quantidade de nutrientes advindo das lavouras de arroz irrigado pode gerar um ambiente propício para o desenvolvimento de microrganismos como as algas.

Na Figura 4 são apresentados mapas de distribuição da condutividade elétrica (CE) nos pontos amostrados, na área de estudo nos meses de setembro a novembro de 2010 e

2011. As tonalidades de vermelho mais escuras representam concentrações altas de CE em μS , enquanto que as tonalidades claras indicam uma CE baixa.

Figura 4- Distribuição espacial mensal da Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$).



A condutividade elétrica variou de 39 a 360 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no período analisado, sendo que valores acima de 80 $\mu\text{S}/\text{cm}$ indicam algum tipo de impacto, já que o Rio Uruguai e nascentes da área de estudo apresentaram valores de condutividade ao redor de 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ em todo o período de estudo. É possível observar que a região a jusante da área urbana da cidade de Itaqui mantém níveis altos de CE em todos os meses analisados, o que indica um possível impacto da cidade sobre o meio ambiente. Em contraposição a região de nascentes localizada ao sudeste da área de estudo, mantém uma CE em níveis baixos menores que 80 μS .

A montante da área urbana é possível observar que o rio Uruguai mantém níveis de CE baixos, menores que 80 $\mu\text{S}/\text{cm}$, em todos os meses analisados. Essa dinâmica da CE indica claramente o impacto que a área urbana gera sobre o meio ambiente aquático.

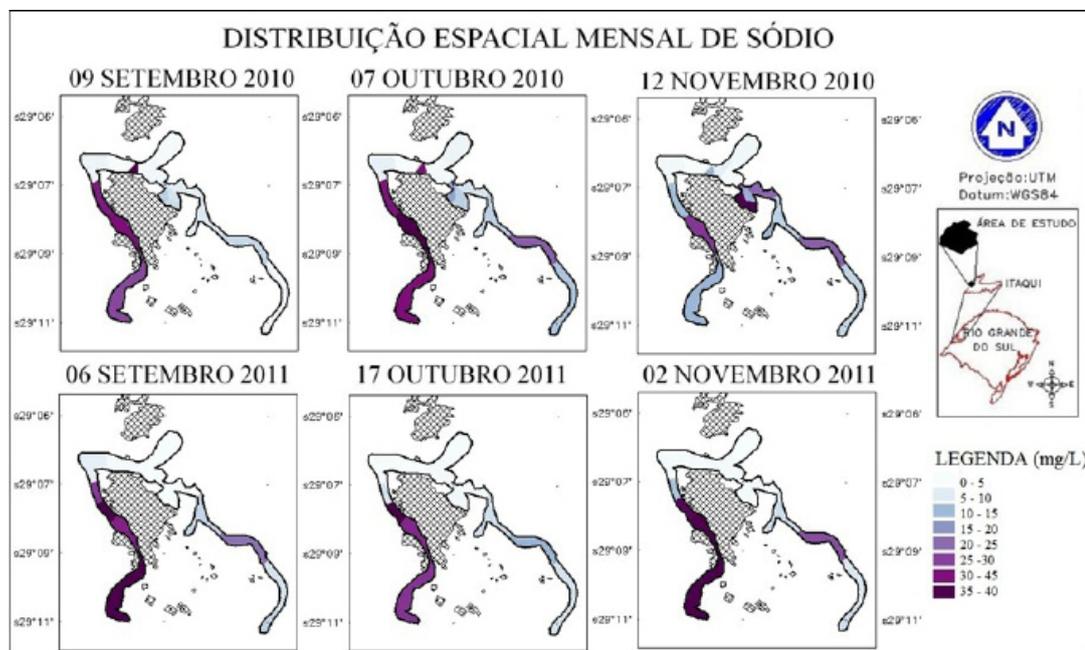
Na Figura 5 são apresentados mapas de distribuição de sódio (Na^+) nos pontos amostrados, na área de estudo nos meses de setembro a novembro de 2010 e 2011. As tonalidades de azul ardósia mais escuras indicam concentrações mais altas de Na^+ por mg/L , enquanto que as tonalidades mais claras indicam concentrações mais baixas.

Observa-se aspectos semelhantes ao da CE, pois a área a jusante da parte urbanizada apresentam níveis altos de Na^+ para todos os meses, enquanto a área de nascentes, na região ao sul, apresentam a concentração de Na^+ mais baixas. Ainda a montante da área urbana, no rio Uruguai, é possível observar que as concentrações de Na^+ permanecem muito baixas entre 0 a 5 mg/L , tanto em 2010 como em 2011 e para todos os meses.

Outro fato importante ocorre no mês de novembro de 2010, onde é possível observar, em azul ardósia escuro, a maior concentração de sódio medida. A concentração de Na^+ , nesta área, se corresponde a 35-40 mg/L , região leste da área urbanizada. Esta recebe efluentes doméstico diretamente, sem nenhum tratamento. O fato desta região ter apresentado as maiores concentrações de Na^+ no mês de novembro do ano de 2010 pode estar relacionada com a menor vazão do rio Uruguai, devido a falta de precipitação pluviométrica em todo curso do rio, produzindo cotas baixas. Neste mês choveu apenas 30 mm no curso médio, estação Uruguiana (FEPAGRO, 2012) e a cota do rio Uruguai esteve em média 136 cm, a menor

cota analisada em todo o período. Portanto há evidências que a concentração de sódio nesta região estava acentuada, devido a baixa vazão dos cursos hídricos neste local, indicando uma ambiente impactado, provavelmente pela influência de esgoto doméstico da região urbana.

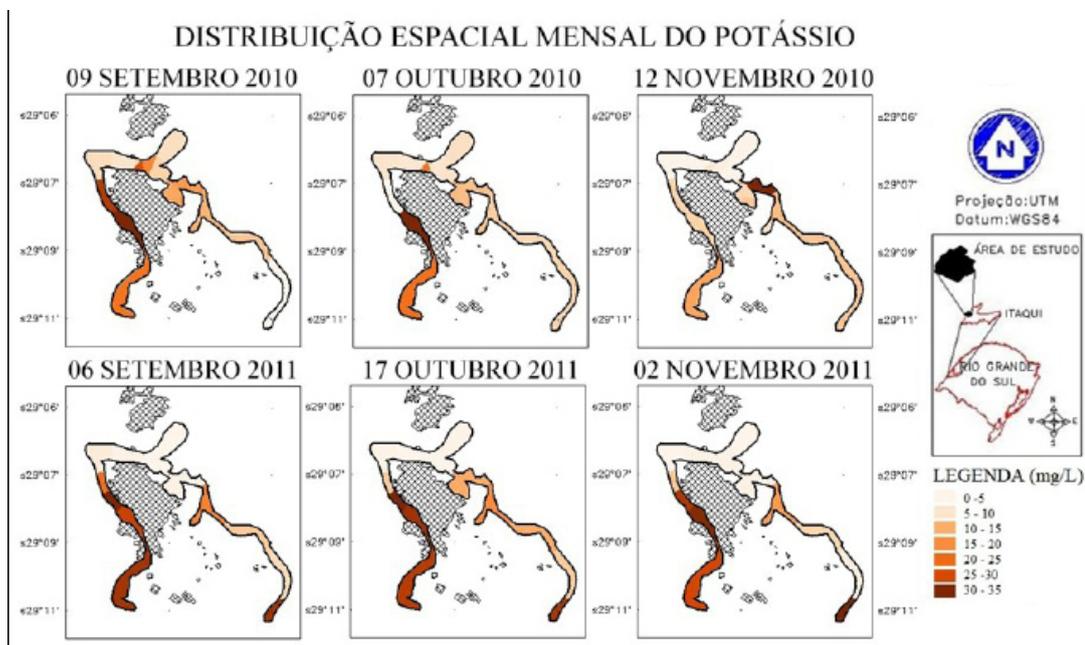
Figura 5 - Distribuição espacial mensal do Sódio (mg/L).



Toda essa dinâmica do Na^+ é acompanhada igualmente pela CE (Figura 4), tanto que esse fenômeno foi comprovado quando aplicada a análise estatística de correlação de Pearson, onde a correlação entre CE e Na^+ ficou em 0.86 para 2010 e 0.99 para 2011, com 95% de significância.

Na Figura 6 são apresentados mapas de distribuição de potássio (K^+) nos pontos amostrados, na área de estudo nos meses de setembro a novembro de 2010 e 2011. As tonalidades em oliva mais escuras indicam concentrações mais altas de K^+ por mg/L, enquanto que as tonalidades mais claras indicam concentrações mais baixas de K^+ .

Figura 6 - Distribuição espacial mensal de Potássio (mg/L).



É possível observar que a dinâmica do K^+ mantém uma relação com a CE e o Na^+ que para o ano de 2011 apresentou correlação com 95% de significância entre CE (0.78), Na^+ (0.80) e OD (-0.75).

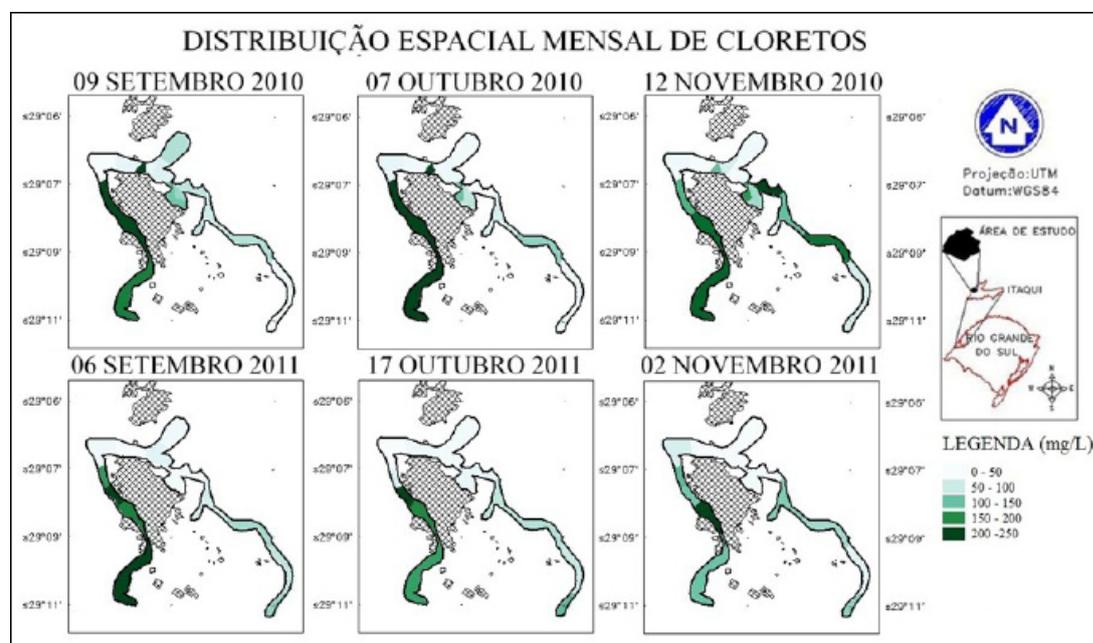
Quando observada a região a montante da área urbana do município de Itaqui, percebemos que o K^+ se manteve em níveis baixos entre 0 a 5 mg/L, para todos os meses analisados nos dois anos.

Outro fato similar o ocorrido com o Na^+ é a alta concentração de K^+ na região leste da área urbana, em oliva escuro, no mês de novembro de 2010. A concentração de K^+ ficou entre 30 a 35 mg/L na água, enquanto a concentração de Na^+ ficou entre 40 a 45 mg/L na mesma região e no mesmo período, deixando em evidência a contaminação por esgoto doméstico e a alta concentração possivelmente devido a baixa vazão do córregos analisados.

Se percebe que no ano de 2011 a concentração de K^+ se manteve constante para os três meses analisados, não havendo nenhuma mudança na dinâmica do K^+ . A região localizada a jusante da área urbana do município de Itaqui manteve uma concentração de 10 a 15 mg/L, enquanto a região localizada a montante manteve concentrações mais baixas entre 0 a 5 mg/L.

Na Figura 7 são apresentados mapas de distribuição de cloretos (Cl^-) nos pontos amostrados, na área de estudo nos meses de setembro a novembro de 2010 e 2011. As tonalidades em verde escuro indicam concentrações mais altas de Cl^- por mg/L, a tonalidade mais claras representa concentrações baixas. A faixa limite aceitável pela resolução CONAMA, (2011) é de 200-250mg/L, que estabelece que níveis maiores que 250mg/L de Cl^- são prejudiciais à saúde.

Figura 7- Distribuição espacial mensal de Cloretos (mg/L).



Percebe-se por meio da observação dos mapas de distribuição espacial mensal de Cl^- que este íon se mantém em concentrações aceitáveis, até 250mg/L, em toda área de estudo, e para todos os meses analisados. A região de nascentes, ao sul da área de estudo, bem como a região a montante da área urbana do município de Itaqui, no rio Uruguai, apresentaram níveis mais baixos de Cl^- não ultrapassando 150mg/L, para os dois anos e em todos os meses analisados.

A área a jusante da área urbana, manteve taxas a cima de 150 mg/L nos meses de setembro a novembro de 2010 e em setembro de 2011, com destaque para o mês de novembro de 2010, onde se obteve a maior concentração de Cl^- (200 a 250 mg/L). Deixando novamente

em evidência a contaminação por esgoto doméstico e o fenômeno da concentração dos íons devido a influência da vazão menor do rio Uruguai, diretamente proporcional à cota na estação hidrográfica 7590000, porto de Itaqui (BARIANI, 2012), que para o mês de novembro de 2010 foi de 136 cm, a mais baixa de todo o período analisado, correspondendo a uma vazão de 1201 m³/s.

Conclusões

Com a conclusão do presente trabalho faz-se necessário revisitar o objetivo proposto inicialmente. O objetivo constituiu em: “Identificar as mudanças espaço-temporal nas concentrações de variáveis físicoquímicas em cursos hídricos da cidade de Itaqui, RS.”

O banco geo-relacional criado, a correlação de Pearson e a interpolação utilizando-se do vizinho mais próximo possibilitou visualizar a distribuição espacial mensal das variáveis físicoquímicas.

Três principais regiões podem ser destacadas por este estudo:

1. A região sudeste que apresentou concentrações menores que as outras áreas para o período analisado. Evidenciando sua característica de nascente dos cursos hídricos;

2. A região a jusante da área urbana que apresentou evidências de potencial contaminação dos cursos hídricos, pois apresentou maiores concentrações das variáveis analisadas.

3. A região a montante da área urbana que apresentou para o mês de novembro de 2010 concentrações elevadas de Na⁺, K⁺, Cl⁻ e CE. Este fato pode estar relacionado com a baixa precipitação pluviométrica (30 mm) e a baixa vazão do rio Uruguai (1201 m³/s). Além da correlação com 95% de significância entre CE, Na⁺ e Cl⁻ em 2010.

Portanto há evidências que a área urbana do município de Itaqui contribui para o aumento da concentração dos níveis das variáveis físicoquímicas analisadas nas águas dos cursos hídricos, principalmente quando a vazão do rio Uruguai esta baixa (1201 m³/s).

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Proext Mec e ao CNPq pelo auxílio financeiro por meio dos projetos: Sistema de Monitoramento Ambiental na Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul (SIMA-FO); Meio Ambiente Parceiros Digitais em Ação (MAPA); e Pesquisa e Inovação do Arranjo Produtivo Local do Arroz Irrigado como Produto de Marketing Ambiental. Também agradecemos ao Laboratório Interdisciplinar Integrado (LABii) da UNIPAMPA, Campus Itaqui, pela infraestrutura e equipamentos disponibilizados para o cumprimento desta pesquisa.

Referências bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA/HidroWeb. **Cotas**. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>> Acessado em: 20 nov. 2011.

BARIANI, C. J. M. V. **Avaliação dos efeitos de atividades antrópicas por meio da análise integrada de variáveis de uso da terra e limnológicas em Itaqui, RS**. 2012. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós Graduação em Geografia e Geociência, UFSM, Santa Maria - RS.

BARIANI, C. J. M. V.; ZANELLA, A.; PAZDIORA, P. C.; RAMOS, A.; FELICE, R.D.; BARIANI, N. M. V. Análise de parâmetros microbiológicos e cloreto para monitoramento integrado em microbacias urbanas. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 15. (SBSR), 2011, Curitiba. Anais... São José dos Campos: INPE, 2011. Disponível em: <<http://urlib.net/3ERPFQRTRW/3A45FJH>>. Acesso

Geografia Ensino & Pesquisa, v. 17, n.2 p. 167-181, maio/ago. 2013

Bariani, C. J. M. V.;
Bariani, N. M. V

ISSN 2236-4994
179

em: 13 mai. 2012.

BORGES, M.J.; GALBIATTI, J.A.; FERRAUDO, A.S. Monitoramento da qualidade hídrica e eficiência de interceptores de esgoto em cursos d'água urbanos da bacia hidrográfica do córrego Jaboticabel. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n.2, p. 161-171, abr-jun, 2003.

BOTELHO, M. F.; SILVA, C. R.; SCHOENINGER, E. R.; CENTENO, J. A. S. Comparação dos resultados de interpoladores “Vizinho mais próximo” e “Inverso de uma distância” no cálculo de volume a partir de dados do laser scanner. Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. Disponível em: <http://mar.te.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.19.20.47/doc/731.pdf>. Acesso em: 17 mai. 2013.

CÂMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling. **Computers & Graphics**, v. 20, n. 3, p. 395-403, May./Jun., 1996.

CARVALHO, N.O.; FILIZOLA JÚNIOR, N.P.; SANTOS, P.M.C.; LIMA, J.E.F.W. **Guia de Avaliação de Assoreamento de Reservatórios**. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - Superintendência de estudos e Informações Hidrológicas, Brasília, DF, 2000. Disponível em: <www.aneel.gov.br/biblioteca/downloads/livros/GuiaAsso.pdf> Acesso em: 10 jul. 2011.

COMITÊ DE PLANEJAMENTO DA INFRAESTRUTURA NACIONAL DE DADOS ESPACIAIS - CINDE. **Plano de Ação para Implantação da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais**. Rio de Janeiro. 2010. Disponível em: <<http://www.concar.ibge.gov.br/detalheEntidades.aspx?cod=14>>. Acesso em: 12 fev. 2012.

APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21th Edition. APHA, AWWA, WEF, Washington, D.C., 2005.

CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA Nº 357**, de 17 de março de 2005. Disponível em: < http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/praias/res_conama_357_05.pdf> Acessado em: 10 jul. 2011.

FALLEIRO, R.M.; SOUZA, C.M.; SILVA, C.S.W.; SEDIYAMA, C.S.; SILVA, A. A.; FAGUNDES, J.L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, Porto Alegre, v.3, n.4, out/dez 2002.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - FEPAGRO. **Boletim Metrológico. Rio Grande do Sul**. Disponível em: <www.fepagro.rs.gov.br> Acessado em: 05 jan. 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE (2010). **Censo 2010**. Disponível em: <http://www.censo2010.ibge.gov.br/dados_divulgados/index.php?uf=43> Acesso em: 22 jan. 2012.

MACHADO, S.L. de O.; MARCHEZAN, E.; RIGHES, A.A.; CARLESSO, R.; VILLA, Silvio Carlos Cazarrotto; CAMARGO, Edinalvo Rabaiolli. Consumo de água e perdas de nutrientes e de sedimentos na água de drenagem inicial do arroz irrigado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.1, p.65-71, jan-fev, 2006

MERTEN, G.H.; MINELLA, J.P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 1097-1104, 2003.

PAZDIORA, P.C.; ZANELLA, A.; BARIANI, C. J. M. V.; FELICE, R.D.; BARIANI, N. M. V. Aplicação de Sistema de Monitoramento Ambiental utilizando métodos físico-químicos associados a sensoriamento remoto nas microbacias urbanas do município de Itaquí. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 15. (SBSR), 2011, Curitiba. Anais... São José dos Campos: INPE, 2011. Disponível em: <<http://urlib.net/3ERPFQRTRW/3A45FJH>>. Acesso em: 13 mai. 2012.

R DEVELOPMENT CORE TEAM (2011). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.

RIGHI, E.; ROBAINA, L.E.S.R. Análise da variabilidade de frequência e intensidade pluviométrica nas sub-bacias hidrográficas do rio Uruguai relacionadas com as enchentes ocorridas entre 1980 a 2005. **Simposio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**, 13. (SBGFA), 2009, Viçosa. Anais... Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. Disponível em: <http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos_completos/eixo8/018.pdf>. Acessado em: 10 mar. 2013.

TUNDISI, J.G.; TUNDISI, T.M. **Limnologia**. Oficina de Texto, São Paulo, 2008.

VIDOTTI, E.C.; ROLLEMBERG, M.C.E. Algas: da economia nos ambientes aquáticos à bioremediação e à química analítica. **Química Nova**, v. 27, n. 1, p. 139-145, 2004.

Correspondência:

Cassiane Jayj de Melo Victoria Bariani - Rua Dom Pedro II, 712, ap 402. CEP: 97650-000. Itaqui, RS

E-mail: cassiane.victoria@gmail.com

Recebido em 19 de novembro de 2012.

Revisado pelo autor em 18 junho de 2013.

Aceito para publicação em 24 de junho de 2013.