



A CONTRIBUIÇÃO DE SEDIMENTOS TERRÍGENOS DOS RIOS JACUÍ E GUAÍBA  
PARA O SISTEMA LAGUNAR (LAGOA DOS PATOS) DO RS.

Porto Alegre, 2015

PAULO ANDRÉ KIRCHHOF

A CONTRIBUIÇÃO DE SEDIMENTOS TERRÍGENOS DOS RIOS JACUÍ E GUAÍBA  
PARA O SISTEMA LAGUNAR (LAGOA DOS PATOS) DO RS.

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Apresentado na forma de monografia, junto à disciplina Projeto Temático em Geologia III, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof<sup>o</sup>. Dr. Elírio Ernestino Toldo Jr.

Supervisor: Prof<sup>o</sup>. Dr. Carlos Augusto França Schettini (UFPE)

Porto Alegre, 2015

# UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Carlos Alexandre Netto

Vice-Reitor: Rui Vicente Oppermann

## INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Diretor: André Sampaio Mexias

Vice-Diretor: Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Kirchhof, Paulo André

A contribuição de sedimentos terrígenos dos rios Jacuí e Guaíba para o sistema lagunar ( Lagoa dos Patos) do RS . / Paulo André Kirchhof. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2015.  
[49 f.] il.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso).- Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Graduação em Geologia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2015.

Orientador(es): Elírio Ernestino Toldo Jr.

1. Sedimentologia 2. Sedimentometria 3. Transporte de sedimento  
4. Rio Guaíba I. Título.

CDU 55

---

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Miriam Alves

CRB 10/1947

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

A comissão examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso A CONTRIBUIÇÃO DE SEDIMENTOS TERRÍGENOS DOS RIOS JACUÍ E GUAÍBA PARA O SISTEMA LAGUNAR (LAGOA DOS PATOS) DO RS, elaborado por Paulo André Kirchhof, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora

Carla Ennes de Barros

Jair Weschenfelder

Ricardo Baitelli

## EPIGRAFE

“Nós vamos prosseguir, companheiro  
Medo não há  
No rumo certo da estrada  
Unidos vamos crescer e andar”

Vítor Ramil

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Universidade Federal do Rio Grande do Sul por possibilitar-me um ensino público e de qualidade, aos professores que de alguma forma contribuíram no meu aprendizado, em especial ao profº Elírio pelas incontáveis orientações na iniciação científica.

À CNPQ pela possibilidade de ser bolsista ao longo da graduação, aos colegas de bolsa, Muca, Zé e Mauro pelas conversas, discussões e sugestões.

As amizades feitas e cultivadas ao longo do curso, com colegas, veteranos e calouros, que certamente vão perdurar em tempos de Bacharel em Geologia. Em especial os colegas de barra, por serem as primeiras amizades criadas na UFRGS, e os colegas de formatura com os quais dividi boa parte do tempo de graduando.

Agradeço principalmente minhas colegas de mapeamento, Carina, Elis e Pâm, pelos campos, pelo trabalho, pelo estresse, pelas brigas e acima de tudo pela amizade, como dizem “rapadura é doce, mas não é mole não” e entre nós tenho a certeza que sempre será dividida e compartilhada.

Aos amigos de infância e de apartamento que participaram desta etapa da minha vida, Mico, Vitinho, Arvorezinha e Principalmente ao Claudião pelas conversas que me incentivaram a cursar uma graduação.

Nunca podendo esquecer de agradecer à família, irmã, irmãos, cunhado, sobrinho (as), e meus pais, Seu Ronald e Dona Moa, pelo apoio moral e financeiro, que me permitiram sair de Três de Maio e cursar uma faculdade em Porto Alegre.

E também à família da minha namorada pelo acolhimento proporcionado em tempos de conclusão de curso, e principalmente a Ela, por entender e aguentar meu mal humor sin-temático. Obrigado Amanda, obrigado a todos.

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul.....	17
Figura 2 – Mapa de contextualização geológica da BHRG.....	18
Figura 3 – Regime de Fluxo.....	20
Figura 4 – Localização trabalho de campo.....	24
Figura 5 – Procedimento de campo.....	28
Figura 6 – Procedimento iniciais de laboratório.....	29
Figura 7 – Procedimentos finais de laboratório.....	29
Figura 8 – Série temporal de descarga líquida.....	30
Figura 9 – Série temporal de vazão do Rio Jacuí.....	31
Figura 10 – Frequência de ocorrência de descargas no Rio Jacuí.....	32
Figura 11 – Série diária de descarga líquida do Rio Guaíba.....	33
Figura 12 – Relação entre CSS e descarga líquida do Rio Guaíba.....	33
Figura 13 – Série temporal de descarga sólida em suspensão do Rio Guaíba.....	35
Figura 14 – Descarga sólida mensal do Rio Guaíba.....	35
Figura 15 – Descarga sólida anual do Rio Guaíba.....	36
Figura 16 – Depósitos do Delta do Jacuí.....	39

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Elementos depositados em canais fluviais.....	22
Tabela 2 – Classificação da água em relação a CSS.....	34
Tabela 3 – Dados evolutivos da área de estudo.....	37
Tabela 4 – CSS obtida em campo.....	40



## ESCLARECIMENTO QUANTO AOS TOPÔNIMOS

Estudos realizados pelo Prof<sup>o</sup> Walter Spalding datam de 1750 a inserção do topônimo Rio Guaíba. Mapas dos séculos XVII, XVIII e até início do XIX, denominam como Rio Grande, o acidente geográfico compreendido desde, o Rio Jacuí (nascente e foz são citados em diferentes mapas) e a Barra do Rio Grande.

A partir de 1730, começaram a ser identificados em mapas os topônimos Lagoa dos Patos, Rio Jacuí e Lagoa do Viamão, a qual 20 anos depois passa a figurar também como Rio Guaíba.

Nos dias atuais cabe ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e a Diretoria de Serviço Geográfico (DSG), órgão vinculado ao Exército Brasileiro, a responsabilidade, atribuída por lei, de mapear o Brasil em escalas topográficas, convém mencionar também que o IBGE, segundo o Programa Geral de Informações Estatísticas e Geográficas (PGIEG), lei Nº 5.878, de 11 de maio de 1973 - tem a atribuição de construir o Cadastro de Nomes Geográficos dentro do Projeto Organização e Cadastramento de Nomes Geográficos (nome geográfico é definido como o topônimo padronizado acrescido de atributos que o caracterizam como um conjunto etnográfico, etimológico e histórico, referenciado geograficamente e inserido num contexto temporal, trazendo maior qualidade para as informações cartográficas).

Para gerar documento em atenção à solicitação da Agência Nacional das Águas – ANA, o IBGE consultou a Pasta de Informação Cartográfica da primeira edição da carta PORTO ALEGRE – SH-22, datada de 1972, verificando cartas topográficas em escala entre 1:50.000 e 1:250.000 de autoria da DSG e IBGE; editadas no período de 1978 a 1981. Além de; mapas rodoviários do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), esquemas da Rede Ferroviária Federal Sociedade Anônima (RFFSA), documentos sobre Portos, Faróis, Oleodutos. Onde verificou-se que entre a construção da 1ª edição da Carta Internacional ao Milionésimo CIM (1972) até a atualidade não foram registradas reclamações do estado, para proceder a análise que poderia ter resultado na substituição dos termos genéricos LAGO para o RIO Guaíba e LAGUNA para a LAGOA dos Patos.

Tendo como base estes documentos e tal arcabouço histórico, o presente trabalho temático utiliza como topônimos, Rio Guaíba e Lagoa dos Patos.

## RESUMO

Sedimentometria ou descarga sólida é o estudo que quantifica o transporte de sedimentos pelos rios, sendo a determinação desta quantidade, fundamental para a adequada gestão dos recursos hídricos, bem como para o suporte técnico à decisão sobre o desenvolvimento das atividades antrópicas. Se a força de sustentação da partícula equilibra-se com a da gravidade, ela é transportada na massa líquida por suspensão. A partir do momento em que o peso de uma partícula supera a força de sustentação, esse sólido desce até o fundo do leito, sendo deslocado pela força de arraste. A concentração dos sólidos em suspensão (CSS) pode ser estabelecida através de medidas da turbidez das águas, a qual aumenta em razão dos materiais suspensos e da velocidade de queda dos grãos. O transporte de grãos por tração gera acumulações temporárias de sedimento no fundo, conhecidas como formas de leito. Avaliando os valores de CSS testamos a hipótese do Rio Guaíba ser um exportador de sedimentos e com a análise do transporte por tração se as barras de canal localizadas ao longo do curso inferior do Rio Jacuí estão em desenvolvimento. Visando desenvolver modelo de sedimentação recente para o sistema dos rios Jacuí e Guaíba, incluindo tanto o transporte de sedimentos em suspensão como de fundo, descrevemos o comportamento da Concentração e da Descarga de Sólidos em Suspensão (CSS e DSS) no Guaíba, estabelecendo padrões de concentrações máximas e mínimas nas últimas décadas, e interpretamos as taxas de migração dos depósitos de sedimentos presentes no Rio Jacuí. O estudo da descarga sólida do Rio Guaíba, conduzido a partir da interpretação dos dados de turbidez, obtidos em estação do Departamento Municipal de Águas e Esgoto - DMAE localizada no bairro Menino Deus, em escala de tempo de curto prazo (anos e décadas), juntamente com séries históricas de vazões dos principais afluentes do Rio Guaíba, obtidas em estações da Agência Nacional das Águas – ANA, resultou no valor de  $1,7 * 10^6$  ton/ano, que nos permitiu definir o Rio Guaíba, como um ambiente exportador de sedimentos em suspensão. O estudo da carga sólida de fundo, foi realizado através da análise comparativa da coleção de fotografias aéreas, efetuadas em 1964, com imagens de satélite recentes, de 2012 a 2015. A interpretação das taxas de crescimento e da migração dos depósitos de sedimentos construídos na calha do Rio Jacuí, também em escala de curto prazo (anos e décadas), sugere um ambiente em evolução.

Palavras-Chave: Sedimentologia. Sedimentometria. Transporte de sedimento. Rio Guaíba.

## ABSTRACT

Sedimentometry and sediment discharge is the study that quantified the transport of sediments by rivers. The determination of this amount is essential for the adequate management of water resources as well as technical support to the decision on the development of human activities. If the particle lift force is balanced with the gravity, it is transported in the liquid mass in suspension. From the moment in which the weight of a particle exceeds the lift force, that solid falls to the bottom of the bed, and is moved by the bed discharge. The sediment concentration can be established through measurements of the turbidity of the water, which increases due to the suspended material and the grain loss rate. The bed discharge generates temporary accumulations of sediment at the bottom, known as subaqueous bed forms. Evaluating the sediment concentration values tested the hypothesis of the Guaiba River be an exporter of sediments and the analysis of bed discharge if the bars located along the lower reaches of the Jacuí River are under development. Aiming to develop new sedimentation model for the system of Jacuí and Guaiba rivers, including both the transport of suspended discharge and bed discharge, we describe the behavior of sediment concentration and sediment discharge in Guaiba River, establishing standards maximum and minimum concentrations in recent decades, and interpret migration rates on sediment deposits of Jacuí River. The study of sediment discharge of the Guaiba River, led from the interpretation of the turbidity data obtained in Departamento Municipal de Águas e Esgoto - DMAE located in the neighborhood Menino Deus, in short-term time scale (years and decades) along with historical series of flows of the main tributaries of the Guaiba River obtained at stations of the Agência Nacional das Águas - ANA resulted in the amount of  $1.7 * 10^6$  ton/year, which allowed us to define the Guaiba River, as an exporter environment suspended sediments. The study of bed discharge was conducted through comparative analysis of the collection of aerial photographs, made in 1964, with recent satellite images from 2012 to 2015. The interpretation of growth rates and migration of bars in Jacuí River, also in short-term scale (years and decades), suggests a changing environment.

**Keywords:** Sedimentology. Sedimentometry. Sediment discharge. Guaiba River.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA / HIPÓTESES .....	12
1.2 JUSTIFICATIVA .....	13
1.3 OBJETIVOS E METAS.....	14
2. ESTADO DA ARTE .....	15
2.1 LOCALIZAÇÃO E CONTEXTO GEOLÓGICO.....	15
2.2 SÍNTESE DAS CONTRIBUIÇÕES ANTERIORES .....	16
3. TÉCNICAS ANALÍTICAS.....	23
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	30
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	41
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42
APÊNDICES.....	47

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA / HIPÓTESES

Sedimentometria ou descarga sólida é o nome que se dá para o estudo da quantidade de sedimentos transportados pelos rios, podendo ser transporte de fundo ou suspensão, sendo a determinação de tal quantidade, fundamental para a adequada gestão de seus recursos hídricos, bem como para o suporte à decisão sobre o desenvolvimento das atividades antrópicas (Lima *et al.*, 2007).

Considerando que os rios Jacuí, com 801 m<sup>3</sup>/s, e Taquari, com 452 m<sup>3</sup>/s, totalizam 85% do volume introduzido através do Guaíba (Herz, 1977), e que a vazão média anual dos demais rios deste complexo (Sinos, Caí e Gravataí) é de aproximadamente 230 m<sup>3</sup>/s, foi delimitada como área de estudo o setor localizado entre a foz do Rio Taquarí e o pontal de Itapuã.

De acordo com Toldo *et al.* (2006) a falta de práticas adequadas no manejo e na utilização do solo ao longo da rede de drenagem da Bacia hidrográfica do Guaíba tem impactado nas elevadas taxas de sedimentação verificadas para os últimos 150 anos no fundo da Lagoa dos Patos. Estudar a descarga sólida recente, do sistema Jacuí/Guaíba para a Lagoa dos Patos, observando o volume de sedimentos transportados, é fundamental para a compreensão deste sistema.

Para tal, realiza-se este estudo, no qual a descarga sólida do Rio Guaíba é interpretada a partir dos dados de turbidez obtidos em estação de captação de água do Departamento Municipal de Águas e Esgoto - DMAE, em uma escala de tempo de curto prazo (décadas).

Em conjunto, é efetuado estudo da carga sólida de fundo, conduzido através da interpretação das taxas de crescimento e migração dos depósitos de sedimentos

construídos na calha do Rio Jacuí, através da análise comparativa de fotografias aéreas e imagens de satélite, também em escala de curto prazo (décadas).

Sendo assim, pretende-se avaliar duas hipóteses principais no presente projeto: (1) o Rio Guaíba é um exportador de sedimentos, (2) as barras de canal presentes ao longo do curso inferior do Rio Jacuí estão em evolução, e com taxas de crescimento para jusante.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A origem dos sólidos presentes nas águas está relacionada aos processos erosivos do solo, sejam eles naturais ou acelerados pela intervenção humana, urbanização de margens das bacias hidrográficas, lançamentos por meio de efluentes domésticos ou industriais, ou resíduos sólidos dispostos no ambiente que são carregados para as drenagens pelas chuvas.

Desta forma, pode-se dizer que uma das principais fontes de sólidos na água está associada à intervenção humana no meio ambiente (Moreira, 2008). Tal intervenção contribui significativamente, tanto no aumento como na diminuição do fluxo sedimentar, de modo que estimativas ou medidas da produção de sedimentos da rede de drenagem, constitui-se em importante informação quanto ao controle da qualidade da água, taxa de erosão do solo e assoreamento de canais.

Os sedimentos constituem-se numa variável determinante no controle da qualidade da água, sendo que os níveis de concentração podem estar relacionados à degradação da água e danificação da biota. Além de apresentarem grande afinidade ao adsorverem os poluentes solúveis na água liberando-os ao meio aquático, os materiais suspensos aumentam a turbidez reduzindo a penetração de luz na água e diminuem a profundidade da zona fotossintética. A redução do fluxo de sedimentos também pode ter implicações nas modificações do ecossistema estuarino e no ecossistema marinho por falta de aporte sedimentar.

O aquecimento da superfície de água devido à maior absorção de calor pelo material particulado impede a mistura vertical da água, a qual quando reduzida implica

no decréscimo da dispersão de oxigênio dissolvido e de nutrientes, prejudicando a vida aquática.

A indicação da descarga de sólidos em suspensão nas águas do sistema Jacuí/Guaíba pode impactar os setores da sociedade que necessitam captar água do sistema, na maneira e locais onde são feitas tais captações, sejam elas para consumo humano, agrícola ou agropecuário, e também no setor de pesca.

Classificar o Guaíba como um rio ou um lago, tem implicações diretas na legislação ambiental das áreas localizadas nas suas margens. Portanto, é de suma importância o conhecimento dos padrões de circulação, bem como a dinâmica dos sedimentos, para a referida classificação e por consequência a adequada gestão da orla dos municípios marginais a Bacia Hidrográfica do Rio Guaíba.

### 1.3 OBJETIVOS E METAS

O objetivo geral do presente projeto de pesquisa é desenvolver um modelo de sedimentação recente para o sistema dos rios Jacuí e Guaíba, incluindo tanto o transporte de sedimentos em suspensão como de fundo. Especificamente, é descrito o comportamento da Concentração e da Descarga de Sólidos em Suspensão (CSS e DSS) no Guaíba, estabelecendo-se padrões de concentrações máximas e mínimas nas últimas décadas, e interpretadas as taxas de migração dos depósitos de sedimentos emersos presentes na calha do Rio Jacuí.

## 2. ESTADO DA ARTE

### 2.1 LOCALIZAÇÃO E CONTEXTO GEOLÓGICO

O presente trabalho visa estudar uma importante porção hidrográfica do estado, os sedimentos pela qual são transportados em suspensão, e parte de seus depósitos de canal. A área em questão é a Bacia hidrográfica do Rio Guaíba (BHRG), a qual juntamente com a Bacia hidrográfica do Sistema Lagunar, formam as Bacias hidrográficas conjugadas do Rio Guaíba e do Sistema Lagunar, parte das Bacias costeiras do sul, como indicado na figura 1.

A BHRG tem como limites, a Sub-bacia hidrográfica do Rio Uruguai à Norte e Oeste, e a Bacia hidrográfica do Sistema Lagunar à Sul e Leste, suas águas drenam boa parte do Rio Grande do Sul (RS) passando por diferentes litologias (Fig. 2). A área drenada pelo sistema lacustrino do Rio Grande do Sul é constituída em 35% por formações do Escudo Sul-rio-grandense, 35% pelos derrames basálticos da Formação Serra Geral, 20% pelas formações da faixa sedimentar da Bacia do Paraná e ainda 10% por sedimentos da planície costeira. (Delaney, 1965)

Associadas à Formação Serra Geral, foram classificadas por Roisenberg, et. al (2000), rochas basálticas com mineralogia de plagioclásio, augita, pigeonita, titano-magnetita e ilmenita e rara olivina. Quanto ao vulcanismo ácido, compreendido por riolitos, riodacitos e quartzo-latitos identificaram-se plagioclásio, augita, pigeonita, titano-magnetita e raramente apatita e ortopiroxênio.

Goedert (1965) e Goedert & Formoso (1970), identificaram que nos solos que se desenvolvem sobre o Escudo Sul-rio-grandense predominam caulinita, e caulinita associada com illita. Nas áreas cobertas pelas rochas basálticas da Formação Serra Geral, foram descritos por Goedert (1965), solos com presença de caulinita e



montmorillonita. Goedert & Formoso (1970), mostram que nos solos desenvolvidos na planície costeira predomina montmorillonita, caulinita, e illita como constituinte secundário. Os sedimentos aflorantes na borda sul da Bacia do Paraná são essencialmente compreendidos por montmorillonita, caulinita e camadas mistas de illita-montmorillonita na Formação Rio Bonito e Grupo Itararé.

Os rios que ocorrem sobre o Escudo Cristalino, são em sua maioria maduros, com atividade erosiva reduzida. Boa parte dos sedimentos transportados acabam depositados nas respectivas planícies de inundação. Estudo realizado por Villwock et. al (1972), define que os rios que drenam o planalto trazem muito mais carga de suspensão para a BHRG do que os provenientes da região do escudo cristalino.

Rigon (2009), através da difratometria de raios X, identificou nas águas do Rio Guaíba, caulinita (K) e clorita, em maior quantidade, e quartzo e plagioclásio, em menor quantidade, reforçando que a maior parte dos sedimentos transportados em suspensão pelo Rio Guaíba tem como principal fonte a Formação Serra Geral.

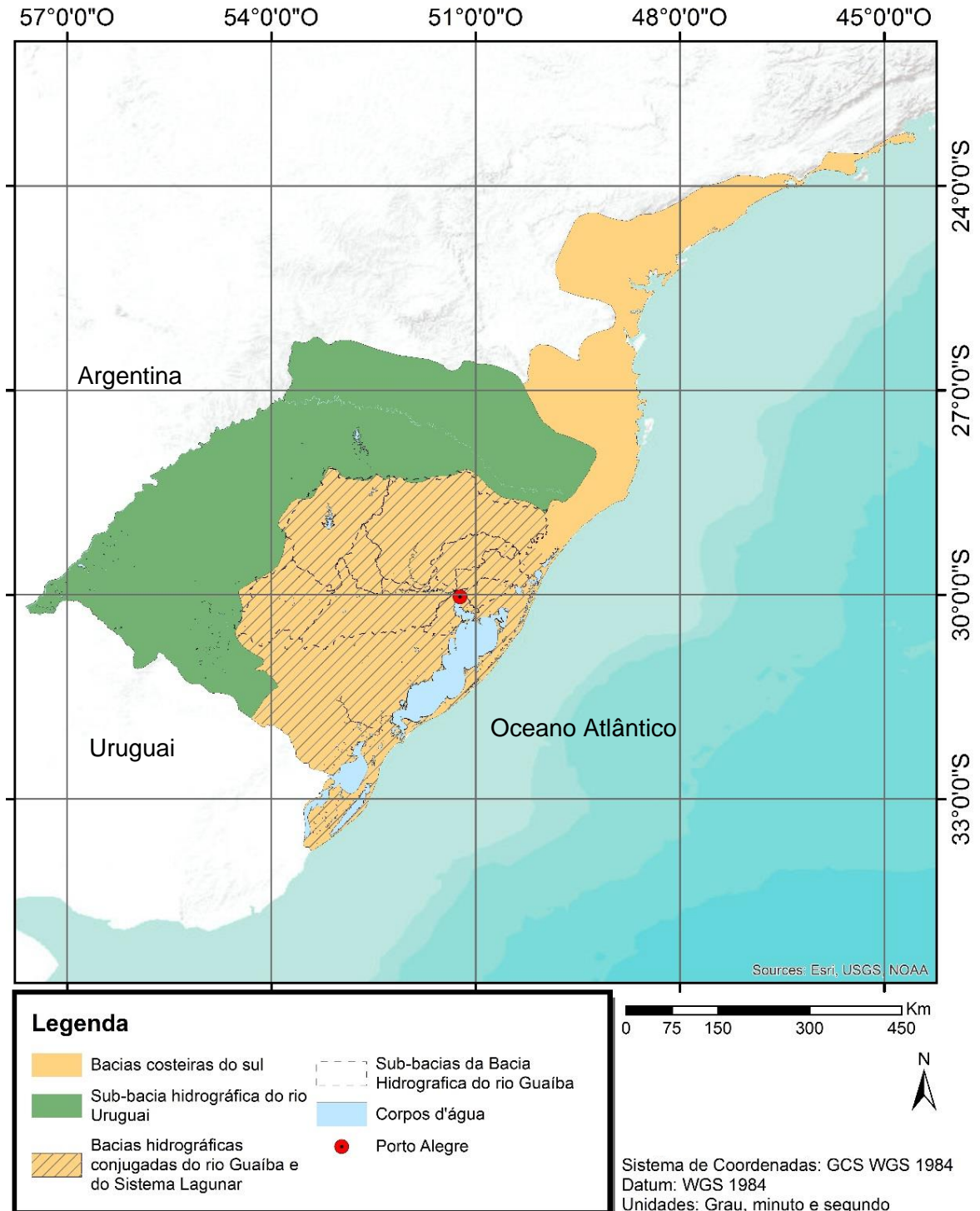
## 2.2 SÍNTESE DAS CONTRIBUIÇÕES ANTERIORES

Sedimentos em suspensão são definidos como o total de sólidos que se mantêm em suspensão na água por ação da turbulência podendo ser quantificados através do emprego da técnica de filtragem e pesagem de filtros em laboratório (McCave, 1979).

A permanência dos sedimentos em suspensão ocorre devido à força de sustentação, oposta à gravidade, permitindo o deslocamento das partículas. Compostos principalmente por argilo-minerais e silte, que quando em suspensão desempenham papel fundamental na qualidade ambiental, tais como: aporte sedimentar (Milliman & Meade, 1983; UNESCO, 1988), navegação (Parker, 1989), assoreamento de portos, reservatórios e o aumento do potencial destrutivo das enchentes. Apresentando natureza coesiva e forte tendência de agregar poluentes, sua dinâmica influencia na distribuição destes e pode ser indicadora da qualidade ambiental (Förstner & Wittmann, 1983; Schettini & Toldo Jr., 2006).

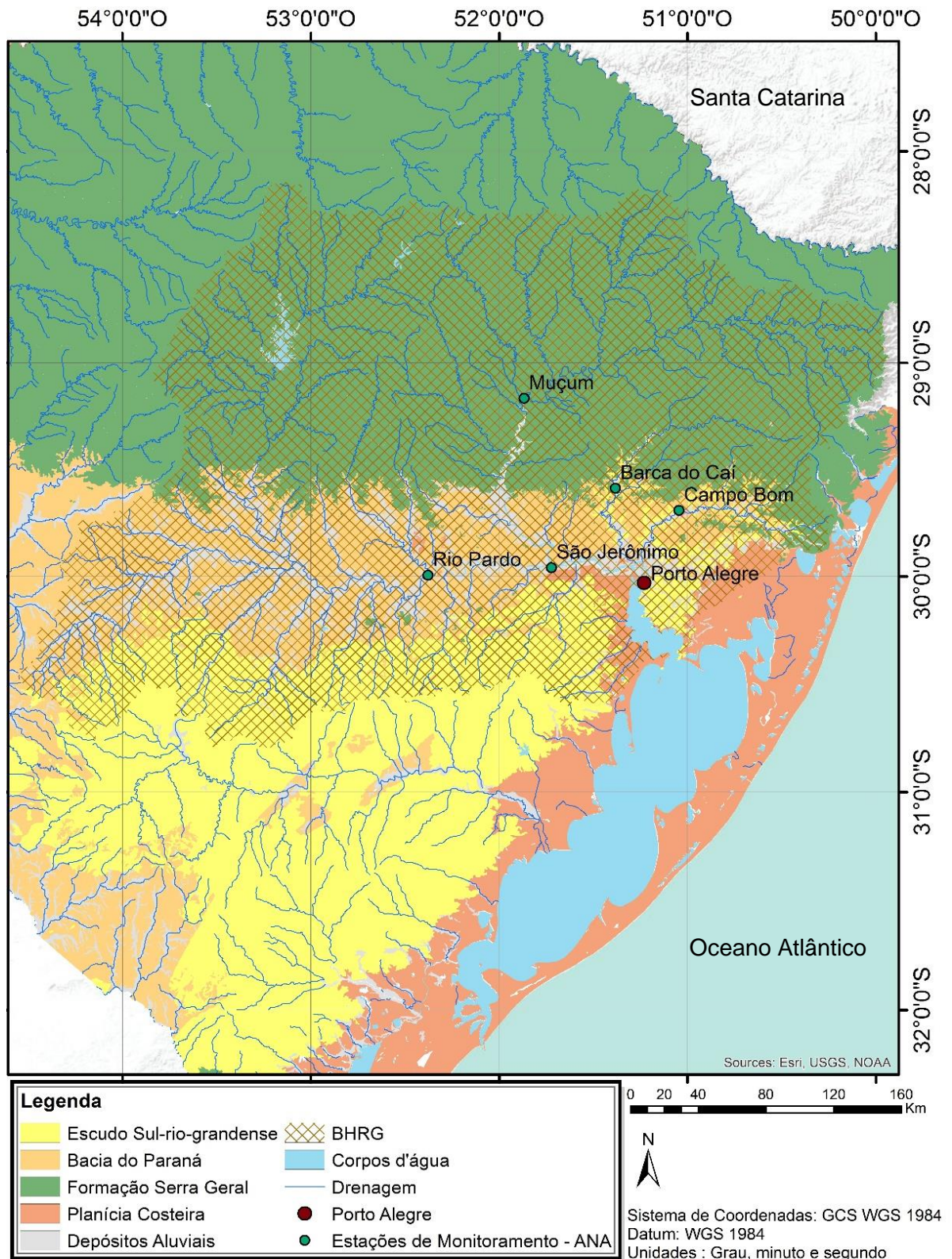
Quando em suspensão, os sedimentos também contribuem para o metabolismo aquático, sendo responsáveis pelo suprimento de nutrientes aos organismos que habitam os ambientes, tanto nos continentes, como estuários e mares, também ao obstruírem a passagem da luz reduzindo a produtividade primária (Gupta & Chakrapani, 2005).

Figura 1 - Bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul



Fonte: IBGE (2000).

Figura 2 – Mapa de contextualização geológica da BHRG



Fonte: Serviço Geológico Brasileiro (CPRM) (2015).

A alta variabilidade da CSS é resultado das variações da descarga líquida e do suprimento dos sedimentos, os quais geralmente apresentam maiores valores em períodos de descargas mais elevadas. A maior parte do transporte ocorre em períodos associados aos eventos hidrológicos (Webb & Walling, 1982; Rodriguez-Blanco *et al.*, 2010).

As mudanças temporais da CSS são influenciadas por fatores como: a variação do hidrograma em relação ao uso e ocupação de terras; declividade da bacia; intensidade das chuvas; temperatura antecedente e condições de umidade e descarga líquida, entre outros (Reid *et al.*, 1997).

A bacia hidrográfica do Rio Guaíba, uma das bacias pertencentes ao sistema de Bacias costeiras do sul, é a maior do RS, e principal contribuinte da Lagoa dos Patos (Vaz *et al.*, 2006), passando ao longo de suas drenagens por áreas de intensa atividade agropecuária e industrial, além da região metropolitana de Porto Alegre, sendo que todas estas atividades estão essencialmente relacionadas com a quantidade e qualidade dos sedimentos carregados pelo sistema fluvial.

Parte da descarga dos sólidos em suspensão transportada pelo Rio Guaíba é depositada na Lagoa dos Patos (Calliari & Fachin, 1993; Bachi, 2000; Nogueira, 2006), com expressivas taxas de sedimentação, principalmente na porção central da laguna onde foram registrados valores da ordem de 0,8 mm/ano (Toldo *et al.*, 2000). Rigon (2009), desenvolveu estimativas de volumes de sedimentos exportados do Rio Guaíba para a Lagoa dos Patos, em que a descarga sólida em suspensão tem aporte médio anual de  $1,09 \cdot 10^6$  toneladas de sedimentos.

Nicolodi *et al.* (2010), discorreram sobre a qualidade da água do Guaíba, sobre a importância deste na vida das pessoas e sobre a necessidade de um adequado manejo dos solos, principalmente, no entorno dos corpos d'água, mantendo assim a qualidade da mesma. Também descreveu a intensa ação dos ventos na geração de um significativo campo ondulatório que atingem as margens afastadas do canal principal, proporcionando a erosão das mesmas e do fundo fluvial, com implicações diretas no incremento da CSS.

Quanto aos processos relacionados ao transporte de sedimentos de fundo, e ao mecanismo de construção das barras de canal, não havendo estudos específicos

em dada área de estudo, são necessárias algumas reflexões gerais relacionados ao assunto.

Os processos de erosão fluvial podem ser: incisivos, quando a erosão vertical do substrato gera aprofundamento do canal; ou de migração lateral, erosão do banco externo do meandro, gerada pela migração do canal.

A partir do momento em que o peso de uma partícula supera a força de sustentação, os sólidos suspensos são depositados no leito, e a partir de então sujeitos as forças de arraste e o conseqüente deslocamento para jusante. Através dos seguintes mecanismos:

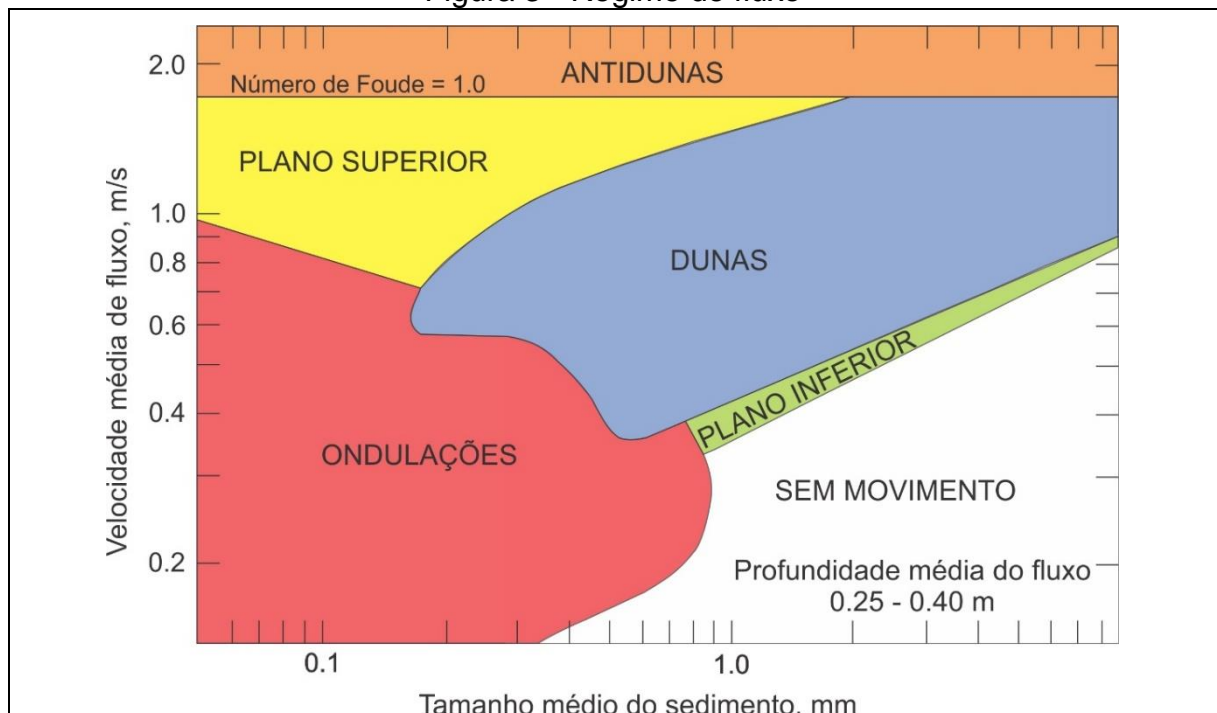
Deslizamento: quando uma partícula escorrega sobre o leito.

Rolamento: em situações de fundo composto por materiais esféricos.

Saltação: através da interação entre forças de arraste e sustentação, a partícula percorre o leito do rio ora em suspensão, ora no fundo.

O transporte de grãos por saltação gera acumulações temporárias da carga de fundo, conhecidas como formas de leito. O regime de fluxo (Fig. 3), o qual é relacionado à velocidade e ao tamanho do grão, constitui-se no agente controlador das formas de leito, onde fluxos estáveis geram previsíveis formas de leito.

Figura 3 - Regime de fluxo



Fonte: Diagrama de Southard & Boguchwal (1990) *apud* Toldo(2009).

Barras de canal e ilhas são definidas de várias formas na literatura, geralmente aceitando-se a adoção do nível das margens plenas como limite arbitrário na diferenciação entre tais feições, sendo barras de canal os depósitos com nível topográfico inferior ao referido nível, independentemente de suas características morfológicas ou tipo de vegetação.

As barras de canal (Tabela 1), podem ser feições simples depositadas ao longo do leito até formas complexas derivadas de múltiplos eventos de erosão e deposição. Suas taxas de migração podem variar da escala de horas/dias, até meses/anos, dependendo de condicionantes climáticos, topográficos e hidrológicos (Smith, 1974). Smith (1978), sugere que o uso do termo seja restrito apenas aos depósitos complexos formados pelo amalgamento ou coalescência lateral de formas de leito menores.

Smith (1974), também propôs classificar as barras de canal com história deposicional e erosiva complexa conforme a morfologia:

**Barras Longitudinais:** formas alongadas, com padrão de fluxo paralelo ao eixo maior. Formam-se em trechos rasos e retilíneos, e sua morfologia é decorrente da atuação dos processos erosivos mais do que a ação deposicional do fluxo. Com origem possivelmente associada à acumulação de sedimentos sobre depósitos residuais de canal.

**Barras Transversais:** formas retilíneas, lombadas ou sinuosas, perpendiculares ao fluxo, com baixo mergulho a montante e uma face de escorregamento bem desenvolvida à jusante.

**Barras de Pontal:** desenvolvem-se nas margens convexas dos rios meandrantas. Inicialmente apresentam processos de acreção lateral, culminando com o predomínio de processos de acreção vertical e apresentando granulodecrescência ascendente (Allen, 1964). Nos rios retilíneos, as barras com posição e gênese similares são chamadas de barras laterais (Bluch, 1976, *apud* Richard, 1982).

**Barras Diagonais:** apresentam formas alongadas, com eixo maior oblíquo ao fluxo. Em seção transversal são grosseiramente triangulares, apresentando faces de escorregamento no limita a jusante. Comuns em rios entrelaçados.

Tabela 1. Elementos depositados em canais fluviais.

Unidade	Elemento	Escala e granulometria	Granulometria e fácies	Interpretação
CANAL	Barra central	Forma de cunha ou tabular, macroformas	Areia muito grossa a fina.	Superposição de formas de canal, principalmente tração.
	Barra lateral	Forma de cunha ou tabular, macroformas	Areia média a fina.	Deposição lateral ao canal (tração + suspensão).
	Fundo de canal	Barra ou lençol, acompanhado a superfície do canal.	Seixos, grânulos e areia muito grossa.	Deposição rápida, com alta energia sobre superfície. Erosiva basal.

Fonte: Modificada por Brierley 1991, *apud* Santos 2005.

### 3. TÉCNICAS ANALÍTICAS

Visando obter dados referentes ao transporte de sedimentos em suspensão, o presente trabalho utilizou-se da interpretação dos dados de turbidez (CSS) da água do Rio Guaíba, juntamente com séries históricas da vazão de seus principais afluentes. Enquanto que os dados referentes ao transporte de sedimentos de fundo foram obtidos pela interpretação das taxas de migração dos depósitos de sedimentos emersos no Rio Jacuí. Com o objetivo de caracterizar os processos de captação e análise de dados, foi realizado trabalho de campo e posteriores análises laboratoriais. Tais técnicas e materiais são descritos a seguir.

#### 3.1 TRANSPORTE POR SUSPENSÃO

A série temporal de turbidez da água, foi obtida juntamente ao Departamento Municipal de Águas e Esgoto (DMAE), para a estação de tratamento de água do bairro Menino Deus (ETA Menino Deus, Fig. 4), a qual está conectada a Estação Joaquim Loureiro da Silva, situada a 400 m da margem do Guaíba, sendo que o ponto de captação está situado em local com mais de 2 m de lâmina d'água e vazão média de bombeamento superior a 2,9 m<sup>3</sup>/s.

O período de dados disponibilizado pelo DMAE compreende maio de 2003 a agosto de 2013, entretanto optou-se por definir um intervalo de tempo correspondente a uma década de estudos, e deste modo foi selecionado os dados entre junho de 2003 a maio de 2013. Esta série temporal é formada por mais de 43 mil medidas, obtidas por leituras da turbidez a cada duas horas na referida estação. O aparelho utilizado é um turbidímetro da marca Hach® modelo 2100 P, e fornece a turbidez em NTU (*Nephelometric Turbidity Unit*) com precisão de  $\pm 2\%$ .



O modelo de conversão foi obtido por procedimento de calibração, o qual utilizou uma solução de alta CSS, elaborada a partir de 300 litros de água do Rio Guaíba. A água armazenada em bombas, ficou 24h em repouso para, em seguida, ser cuidadosamente sifonada, coletando-se o material decantado. Em laboratório, após agitação, foram diluídas alíquotas desta solução em diferentes proporções, obtendo-se CSS e turbidez, com mesmo instrumento da ETA, para cada alíquota.

Figura 4 – Localização trabalho de campo



Fonte: Dados da Pesquisa (2015).

A CSS foi analisada por meio da filtração em membranas *millipore* de acetato de celulose com poro de 0,45  $\mu\text{m}$ . Após 24h em forno a 60° C, os filtros são resfriados em dissecador, pesados e armazenados. O processo de secagem e pesagem é

repetido após filtração, e a razão entre a diferença de massa seca pré e pós filtragem pelo volume filtrado fornece a CSS. Verificou-se assim, não haver diferença entre a CSS no local de captação de água no Rio Guaíba e a ETA durante processo de bombeamento.

Após as referidas análises, os autores Andrade *et al.* (2012), propuseram um modelo matemático para converter os dados de turbidez das águas em valores de Concentração de Sedimentos em Suspensão (CSS), sendo esta equação utilizada no presente trabalho;

$$\text{CSS(NTU)}=11,89 + 0,845.\text{NTU}$$

Os valores de turbidez foram equiparados aos de vazão (leituras diárias), e representados como uma média diária da CSS, em unidades NTU média.

A série de dados históricos de vazão dos rios foram obtidas na Agência Nacional das Águas (ANA, [www.hidroweb.ana.gov.br](http://www.hidroweb.ana.gov.br)). Para compor os dados referentes ao Rio Guaíba foram utilizadas informações provenientes de 4 estações fluviométricas, as quais foram escolhidas por distarem da confluência das águas na região do Delta do Jacuí, estarem localizadas nos cursos inferiores dos rios e terem séries de dados históricos síncronas ao período estudado.

Assim sendo foram selecionadas as estações Barca do Caí no Rio Caí, Campo Bom no Rio dos Sinos, Rio Pardo no Rio Jacuí e Muçum no Rio Taquarí, com localizações indicadas anteriormente na figura 2. Trata-se de estações monitoradas há mais de 50 anos, com obtenção dos dados pela curva chave de vazão, a qual representa a descarga em função da cota do nível de água. As cotas, lidas diariamente, podem ser obtidas por sensores de pressão e transmitidas por telemetria, ou então pela leitura direta das régua colocadas nas margens dos rios, tarefa executada por monitor treinado.

Tais séries históricas apresentaram falhas nos registros, as quais foram preenchidas utilizando-se médias aritméticas. Para períodos longos foram usadas médias de períodos semelhantes nos demais anos estudados. Para períodos curtos, de até uma semana, optou-se por usar a média da vazão dos dias próximos às

lacunas, calculando as medições anteriores e posteriores, em proporção idêntica ao período faltante.

Após correções, ambas séries temporais foram dispostas de maneira síncrona em software de planilha de dados. A multiplicação da CSS média diária, dos valores de vazão e tempo, resulta na Descarga de Sólidos em Suspensão (DSS), em Kg ao longo do dia analisado. De acordo com fórmula utilizada por Paiva *et al.* (1995), *apud* Rigon (2009);

$$Q_{ss} = \frac{Q \text{ (m}^3\text{/s)} \cdot CSS \text{ (Kg/m}^3\text{)} \cdot (3600\text{seg} \cdot 24\text{h})}{1000}$$

Os valores de DSS diária foram agrupados de maneiras mensais, sazonais e anuais, com o objetivo de serem realizadas diferentes análises, além da obtenção dos valores representativos ao transporte de sedimentos efetuado pelo Rio Guaíba ao longo do período estudado.

### 3.2 TRANSPORTE DE FUNDO

O estudo dos sedimentos transportados preferencialmente por tração, deu-se pela interpretação evolutiva dos depósitos emersos localizados na calha do Rio Jacuí, ao todo foram selecionados 32 depósitos situados entre a foz do Rio Taquarí e as imediações da Usina do Gasômetro em Porto Alegre. (Apêndice 4)

Para comparação das feições foram selecionadas fotografias aéreas de levantamentos feitos em 16 de novembro de 1964, e imagens de satélite de diversos anos entre 2010 e 2015.

As aerofotografias foram digitalizadas em escala de cinza com 8 bits e 300 DPI de resolução, com a ajuda do software livre *Ilwis® Academic*, foram criados os estereopares e transformados em anaglifos para visualização em três dimensões.

Não tendo encontrado, na literatura, técnicas referentes a análises de diferentes tipos imagens e sendo a área de estudo seguidamente afetada por alterações no nível

de água, optou-se pela criação de metodologia para realizar este estudo. Para tal, foram selecionadas imagens de satélite onde a cota do dia deste levantamento não variasse mais do que 50 cm da cota observada no dia do levantamento aerofotogramétrico. As cotas atribuídas as imagens foram observadas na estação fluviométrica de São Jerônimo, indicada na figura 2.

Sendo observado e respeitado esse erro, optou-se pela aquisição das imagens disponíveis no software *Google™ earth Pro*, pelo fato destas terem uma resolução apropriada para as análises pretendidas e por apresentar diferentes opções de datas de obtenção das imagens. As imagens obtidas são dos tipos, *Image© 2015 DigitalGlobe* e *Image© 2015 CNES / Austrium*.

As etapas seguintes foram realizadas no software *ArcGIS® 10.3* em sua versão de teste; primeiramente as coleções de imagens passaram por processo de georreferenciamento e montagem dos mosaicos, para em seguida terem seus contornos mapeados e transformados em polígonos.

A diferença entre áreas, da fotografia aérea para a imagem de satélite, e o posicionamento das extremidades, jusante e montante, dos depósitos ao longo da drenagem foram calculadas e observadas, respectivamente, com o intuito de compreender a evolução do sistema.

Não sendo possível definir, neste trabalho, os valores da variação de áreas e posicionamento, em virtude da não compreensão do avanço e recuo das águas sobre a topografia, esta etapa teve como objetivo caracterizar o atual estado de migração dos depósitos presentes ao longo do Rio Jacuí.

### 3.3 TRABALHO DE CAMPO

A etapa de campo, realizada em 1º de setembro de 2015, teve como objetivo caracterizar o procedimento de coleta e análise dos dados. Para tal foram feitos dois perfis afastados aproximadamente 50 m das margens do Rio Guaíba. O primeiro localizado na Usina do Gasômetro, teve pontos de coleta a cada 200 m, enquanto o segundo, na Ponta do Dionísio o espaçamento foi de 500 m, os quais podem ser observados na figura 4.

Ambos foram executados de Leste para Oeste, sendo que em cada ponto foram obtidas amostras de água e sedimentos em suspensão na superfície d'água, a meia profundidade e no fundo. Portanto, foram obtidos um número máximo de três amostras por ponto.

A coleta de água e sedimentos em suspensão foi conduzida com um coletor tipo Niskin, (Fig. 5A – 5B) e as amostras armazenadas em garrafas PET de 500 ml. (Fig. 5C) Posteriormente, foram preservadas sob refrigeração até serem analisadas em laboratório.

Figura 5 – Procedimento de campo



Fonte: Dados da Pesquisa (2015).

### 3.4 ANÁLISE EM LABORATÓRIO

O processo laboratorial teve início com a obtenção do peso seco (em balança de precisão com erro de 0,001 g) das membranas *millipores* de acetato de celulose utilizadas como filtro, as quais apresentam poros de 0,45  $\mu\text{m}$  (Fig. 6A). Após pesadas, as membranas foram armazenadas individualmente em potes numerados, (Fig. 6B) e os pesos tabelados para posterior comparação.

Em seguida, as membranas foram acopladas em sistema para filtração com bomba a vácuo, motor c.v.  $\frac{1}{4}$ , rpm 1.720, KW 0,18.

Figura 6 – Procedimentos iniciais de Laboratório



Fonte: Dados da Pesquisa (2015).

Após o bombeamento (Fig. 7A) o sedimento filtrado retorna aos potes numerados (Fig. 7B) para então serem secos em estufa, na qual permaneceram por 12h em temperatura de 40° C. A seguir, as membranas são repesadas, (Fig. 7C) e a diferença encontrada entre o peso, pré e pós filtragem, relacionada com a quantidade de líquido necessária para saturação, fornece os valores da CSS de cada amostra. Como pode ser observado no exemplo a seguir:

$$\text{CSS} = \frac{(\text{peso membrana filtrada} - \text{peso do filtro}) \cdot 1000}{\text{Volume de amostra filtrada}}$$

Figura 7 – Procedimentos finais de Laboratório



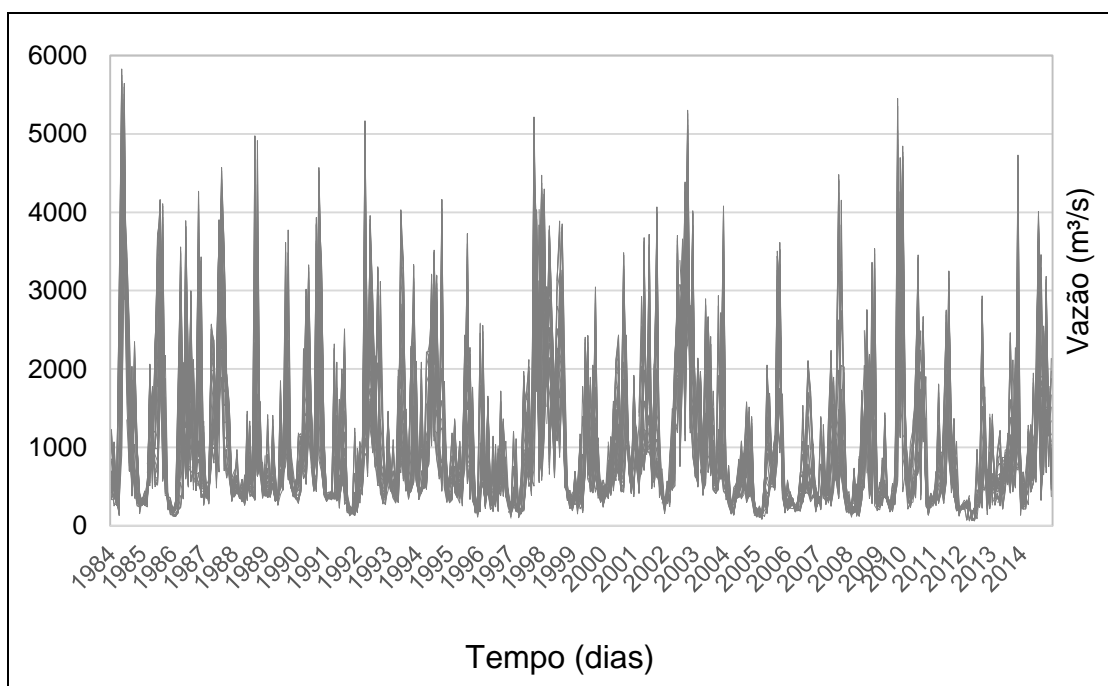
Fonte: Dados da Pesquisa (2015).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para estabelecer a representatividade do período estudado em relação à série histórica de vazão, foram selecionados valores de descarga líquida do Rio Jacuí (por ser o principal tributário da BHRG) entre os anos de 1984 e 2014 (Fig. 8). Na série, que apresentou vazão média de 992 m<sup>3</sup>/s, é possível perceber a variação dos anos com eventos expressivos, sendo que a descarga máxima foi de 5.827 m<sup>3</sup>/s. Destaca-se que valores acima de 5.000 m<sup>3</sup>/s ocorreram apenas 5 vezes.

Andrade *et al.* (2012), indicaram descarga líquida média de 988 m<sup>3</sup>/s em período de 21 anos (1985 a 2006), enquanto Vaz *et al.* (2006), observaram média de 801 m<sup>3</sup>/s de descarga em 57 anos estudados (1940 a 1997).

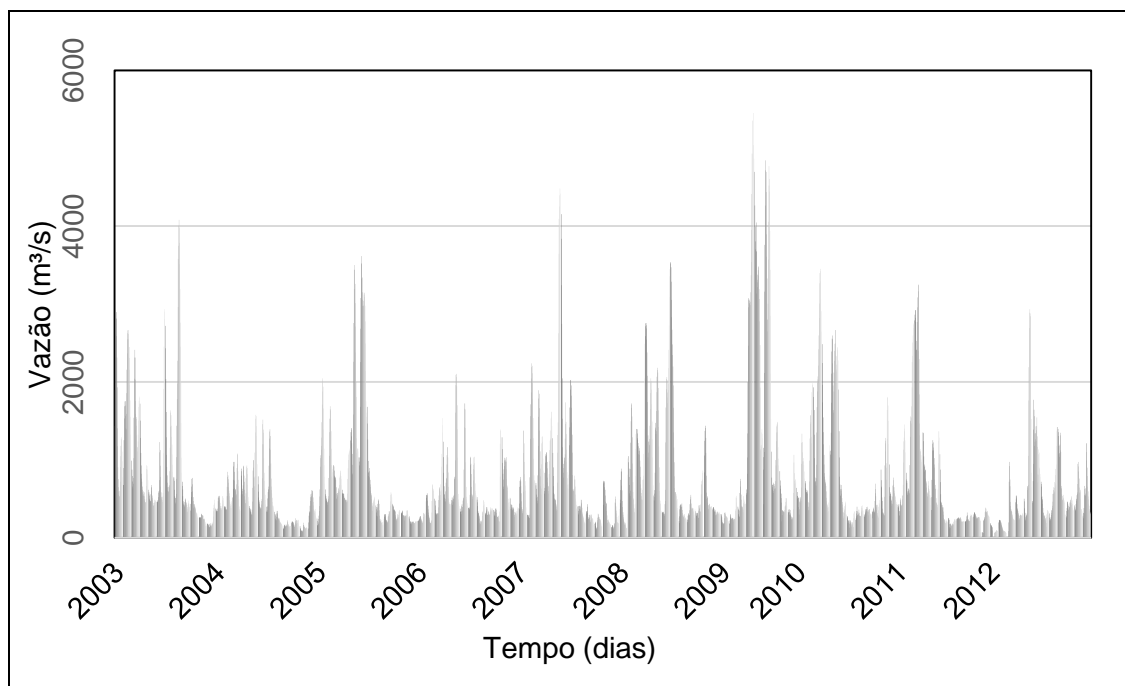
Figura 8 - Série temporal de descarga líquida



Fonte: Dados da Pesquisa (2015).

No período analisado neste estudo, o Rio Jacuí apresentou vazão média de 760 m<sup>3</sup>/s, valor 23% inferior à média dos últimos 30 anos. A maior descarga foi registrada em 28 de novembro de 2009, e apresentou valor de 5.453 m<sup>3</sup>/s (Fig. 9).

Figura 9 - Série temporal de vazão do Rio Jacuí



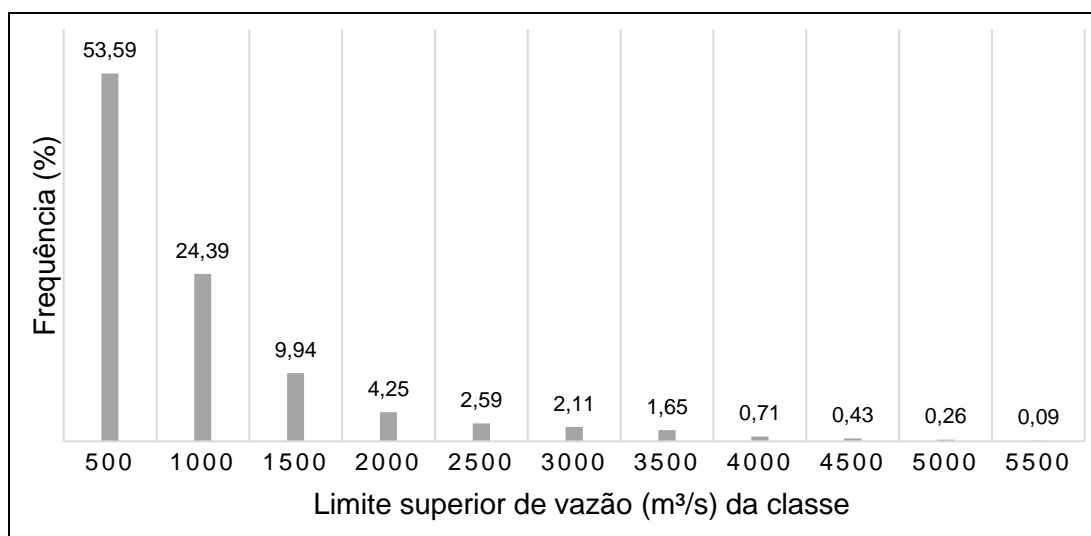
Fonte: Dados da Pesquisa (2015).

A frequência de ocorrência das descargas apresentou valores inferiores a 1.500 m<sup>3</sup>/s em 88% dos casos. As vazões menores que 500 m<sup>3</sup>/s representam 53%, e valores superiores a 4.000 m<sup>3</sup>/s aparecem em 1,5% das vezes (Fig. 10)

Quando somada as séries temporais de descarga líquida dos demais afluentes do sistema, rios Caí, Sinos e Taquarí, observadas nos apêndices 1, 2 e 3 respectivamente, obtemos a vazão média de 1.314 m<sup>3</sup>/s para o Rio Guaíba, com 0,44% de casos superiores a 8.000 m<sup>3</sup>/s, e a maior leitura em 21 julho de 2011 de 15.323 m<sup>3</sup>/s, sendo 78% deste valor proveniente do Rio Taquarí. Os estudos de referência observaram descarga líquida média de 781 m<sup>3</sup>/s, Andrade *et al.* (2012), enquanto Vaz *et al* (2006), indicaram 1.483 m<sup>3</sup>/s.



Figura 10 - Frequência de ocorrência de descargas no Rio Jacuí



Fonte: Dados da Pesquisa (2015).

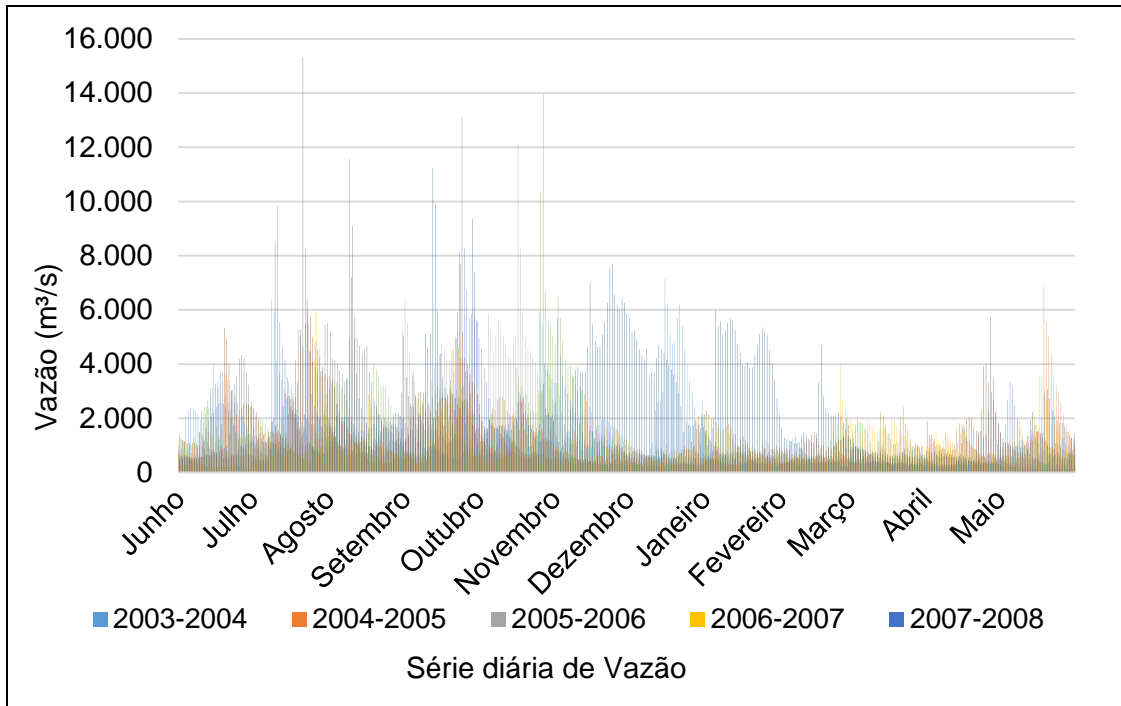
Esta diferença dá-se pelo fato de Andrade *et al.* (2012), não terem considerado os valores referentes ao Rio Taquarí, com vazão média observada de 452 m³/s, por Vaz *et al.* (2006). E, neste trabalho com 423 m³/s, representando 32% dos dados referentes ao Guaíba. O Rio Jacuí é o principal afluente do Guaíba, sendo o responsável por aproximadamente 57% da vazão avaliada neste estudo.

As maiores concentrações de descarga estão dispostas nos meses de inverno e primavera. Padrão relacionado com as taxas médias de pluviometria que concentra as maiores descargas entre os meses de junho e outubro (DNAE, 1983). E, foram observados eventos isolados em dezembro de 2003, maio de 2005, março de 2007, novembro e dezembro de 2009, janeiro, fevereiro e abril de 2010 (Fig. 11).

A figura 12 relaciona os valores de CSS obtidos para determinadas descargas líquidas, e demonstra a não relação entre a concentração de sólidos em suspensão com a vazão atuante, fato evidenciado pelo coeficiente de distribuição ( $r^2=0,59$ ).

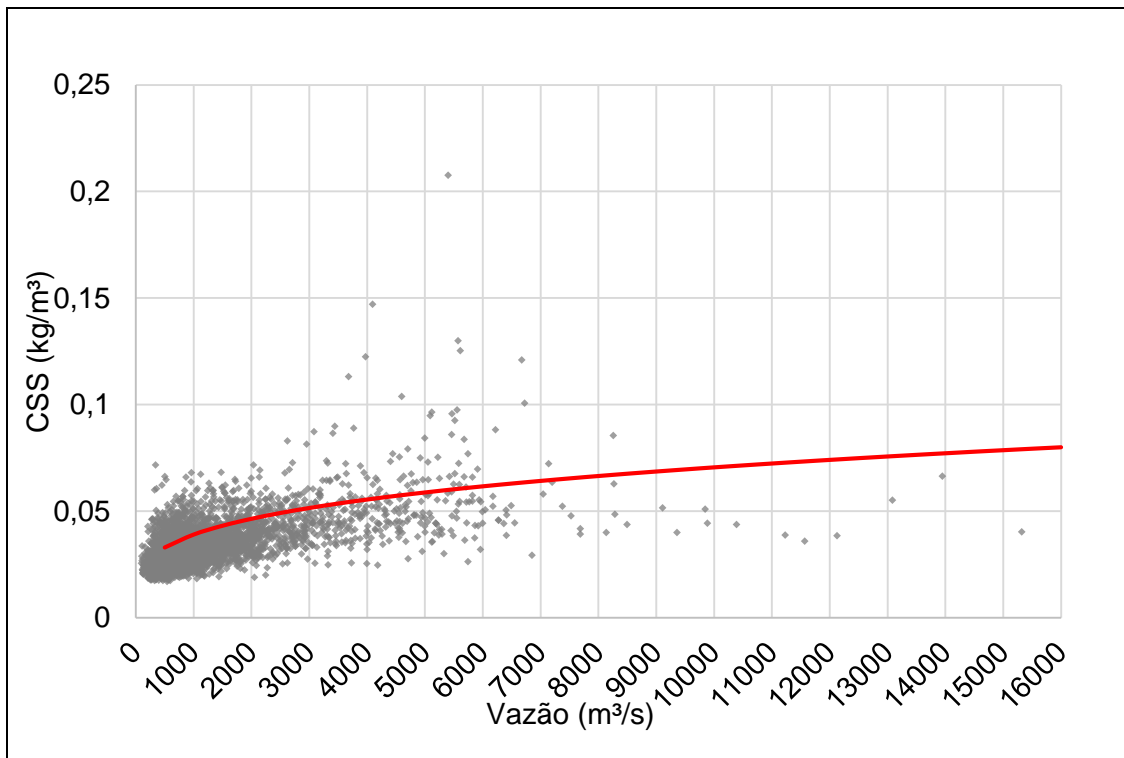
Deve-se isso ao fato da CSS ser função de diversos outros fatores, a ocupação do solo, disponibilidade de sedimentos, estação do ano (em relação com as fases de plantio agrícola), intensidade das chuvas, entre outros, como agentes controladores. Além de observar que as primeiras chuvas a ocorrerem após períodos de estiagem, mesmo em menores intensidades, conduzem maiores cargas de CSS, segundo Rovira & Batalla (2006) *apud* Andrade *et al.* (2012).

Figura 11 - Série diária de descarga líquida do Rio Guaíba



Fonte: Dados da Pesquisa (2015).

Figura 12 - Relação entre CSS e descarga líquida do Rio Guaíba



Fonte: Dados da Pesquisa (2015).

A concentração de sedimentos em suspensão apresentou valores médios de 33 mg/L, a medida máxima foi de 207,57 mg/L e apenas 0,24% das leituras supera 100 mg/L. Rigon (2009) obteve CSS média de 23 mg/L, enquanto Andrade *et al.* (2012) indicaram 35 mg/L.

Segundo proposta da ANA a qualidade da água pode ser classificada com relação aos materiais particulados em suspensão (Tab. 2). Seguindo tal recomendação classificamos a água captada no Guaíba como Muito Baixa em 91,3% das leituras, Baixa em 8,43%, Moderada em 0,21% e Alta em 0,027%.

Tabela 2 – Classificação da água em relação a CSS

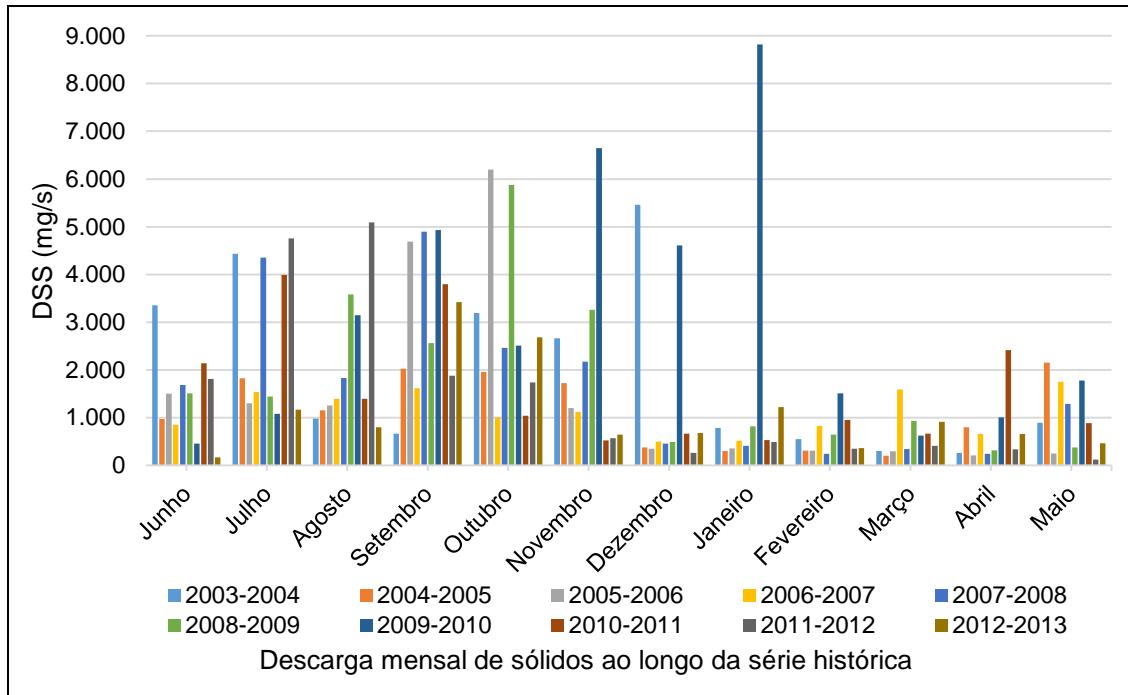
Classificação	CSS (mg/L)
Muito Baixa	< 50
Baixa	50 a 100
Moderada	100 a 150
Alta	150 a 300
Muito Alta	> 300

Fonte: ANA, *apud* Toldo (2009).

A figura 13 apresenta a descarga sólida ao longo dos meses estudados nesta série histórica, os valores resultam do produto da descarga líquida e a concentração de sólidos em suspensão, em médias diárias. A concentração dos valores coincide com índices pluviométricos e com valores de CSS, já citados anteriormente.

O maior valor registrado ocorreu no mês de janeiro de 2010, quando o transporte mensal superou 8.800 mg/L/s. Este fato aconteceu após dois meses entre novembro e dezembro de 2009, os quais apresentaram 6.650 e 4.607 mg/L/s de transporte. Após período de duas semanas com descarga reduzida, em 6 de janeiro de 2010 um evento com vazão de 5.400 m<sup>3</sup>/s e CSS de 207 mg/L resultou em DSS de 1.121 mg/L/s.

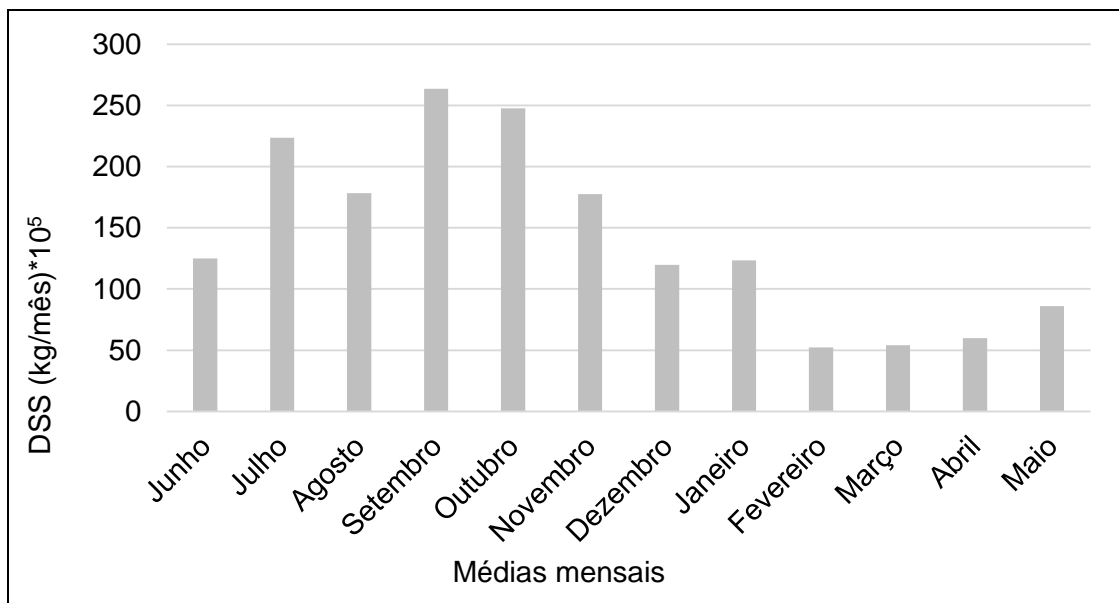
Figura 13 - Série temporal de descarga sólida em suspensão do Rio Guaíba



Fonte: Dados da Pesquisa (2015).

As descargas médias mensais, apresentadas na figura 14, corroboram a intensidade de descarga entre os meses de julho e outubro, e destacam a importância dos eventos ocorridos no final de 2009 e início de 2010.

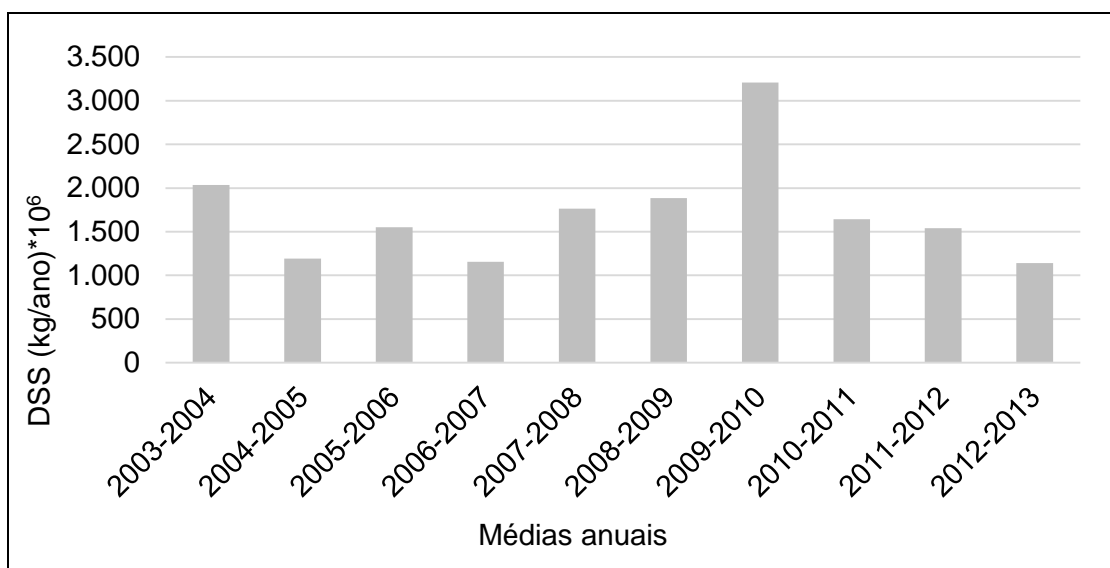
Figura 14 - Descarga sólida mensal do Rio Guaíba



Fonte: Dados da Pesquisa (2015).

A série histórica estudada apresentou descarga sólida média de  $1,7 \cdot 10^6$  t/ano, tendo apresentado os maiores valores no período compreendido entre junho de 2009 e maio de 2010, quando o transporte resultante foi  $3,208 \cdot 10^6$  toneladas (Fig. 15). Trabalhos anteriores indicam o transporte de  $4,35 \cdot 10^6$  toneladas por ano, Baisch (1994) *apud* Rigon (2009), que por sua vez obteve transporte de  $1,09 \cdot 10^6$  t/ano, enquanto Andrade *et al.* (2012) definiram  $1,1 \cdot 10^6$  t/ano.

Figura 15 - Descarga sólida anual do Rio Guaíba



Fonte: Dados da Pesquisa (2015).

Levando em consideração a densidade aparente de  $2.650 \text{ kg/m}^3$ , temos um transporte anual de aproximadamente  $645.600 \text{ m}^3$ .

A Lagoa dos Patos tem aproximadamente  $10.000 \text{ km}^2$ . Toldo (1991), definiu que 60% do fundo lagunar é preenchido por depósitos lamosos. Sendo assim, obtém-se aporte sedimentar anual de  $0,29 \text{ kg/m}^2$ .

Relacionando o aporte sedimentar com a densidade da camada superficial considerada por Winterwerp & Van Kesteren (2004) *apud* Andrade *et al.* (2012) na ordem de  $1.100 \text{ kg/m}^3$ , temos uma taxa de sedimentação anual de  $0,26 \text{ mm}$ . Toldo Jr. *et al.* (2000) baseando-se em projeções estratigráficas determinaram para os últimos 8.000 anos taxas de sedimentação de  $0,75 \text{ mm}$ , enquanto por  $^{14}\text{C}$  foi observada taxa de  $0,52 \text{ mm}$ . Por datação de testemunhos com  $^{210}\text{Pb}$ , relataram taxas de  $3,5$  e  $8,3$

mm/ano para a sedimentação recente (150 anos) na porção média da Lagoa dos Patos.

A interpretação das taxas de migração dos depósitos emersos do Rio Jacuí, nos permitiu realizar uma análise qualitativa quanto ao estado evolutivo atual no qual encontram-se estas feições. O mapa criado neste estudo está inserido no apêndice 4 deste trabalho.

Visando melhor apresentação, os resultados são separados em setores. No setor montante, localizado próximo a cidade de São Jerônimo, o principal processo observado foi o erosivo, com ocorrência de deslocamentos das barras para jusante. (Tab. 3)

Tabela 3 – Dados evolutivos da área de estudo

Setor Montante			Setor Central			Setor Jusante		
Barra	Área	Deslocamento	Barra	Área	Desloc.	Barra	Área	Desloc.
1	-16,5	Jusante	10	150,0	Jusante	20	- 46,7	
2	-22,9	Jusante	11	59,6	Jusante	21	6,2	Jusante
3	-44,9	Jusante	12	53,3	Jusante	22	7,2	Jusante
4	-91,1		13	47,8	Montante	23	178,3	
5	3,8	Jusante	14	10,5	Jusante	24	447,3	
6	1,6	Jusante	15	- 10,4		25	8,4	Jusante
7	1,3		16	49,2	Jusante	26	26,0	Jusante
8	-31,8		17	5,5	Jusante	27	104,4	
9	2,4		18	7,5		28	- 63,6	
			19	19,4		29	56,4	
						30	4,4	Jusante
Área * 10 <sup>3</sup> m <sup>2</sup>						31	491,6	Jusante
						32	29,5	

Fonte: Dados da Pesquisa (2015).

A partir do setor central, próximo ao polo petroquímico de Triunfo, os processos são intensificados, havendo aumento de áreas e deslocamentos de diversos depósitos, com apenas uma barra apresentando erosão.

No setor jusante, localizado na região do Delta do Jacuí, observam-se acreções em diferentes escalas e deslocamento de barras em menor quantidade. Processos de acreção são observados nas margens das barras, concordante em direção com os fluxos direcionados pelos canais, enquanto que os setores abrigados das correntezas (sacos), apresentam assoreamento. Estas áreas classificadas geomorfologicamente como “sacos” encontra-se posicionadas somente na parte distal do conjunto das barras de canal (Fig. 16). Ou seja, encontram-se posicionadas somente nas barras que atualmente ingressam no Rio Guaíba

Também, ao se observar o posicionamento dos sacos em cada barra de canal identificamos duas orientações preferenciais: uma com abertura direcionada para oeste (W), apresentando preenchimento das feições; enquanto a segunda tem abertura para sul (S) e sudeste (SE), e indício evolutivo.

A interpretação destas feições nos permite avaliar que as barras desenvolvem-se para jusante do sistema e sugerem uma evolução diretamente controlada pela direção da corrente.

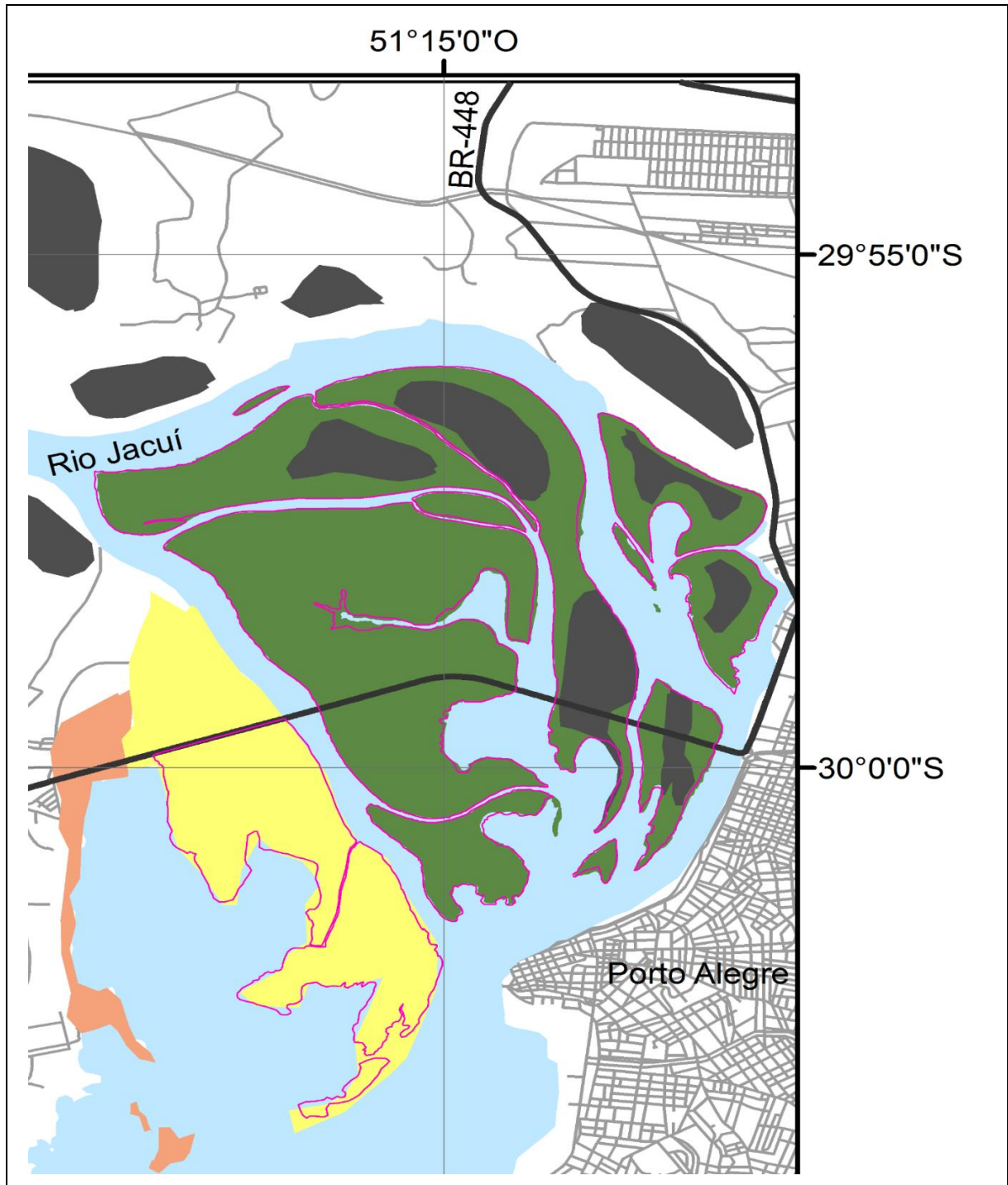
Finalmente, quanto a etapa de campo, a qual foi realizada visando a caracterização dos procedimentos necessários para aquisição e posteriores análises de dados em laboratório, forneceram os resultados da concentração de sedimentos em suspensão do Rio Guaíba demonstrados na tabela 4.

Realizando pontualmente a classificação proposta pela ANA, e já mencionada anteriormente, obtemos concentrações muito baixas nos pontos 1 a 3 (superfície e meio) do perfil realizado próximo à usina do Gasômetro, assim como nos pontos 5 a 9 do perfil efetuado na ponta do Dionísio.

Concentrações baixas foram obtidas nos pontos 10, 11 e 13 (Dionísio), enquanto o ponto 12, no mesmo perfil apresentou taxas moderadas, assim como o ponto 3 (fundo) em levantamento na Usina do Gasômetro, perfil que apresentou o ponto com mais alta taxa e portanto pior classificação, sendo atribuído ao ponto 4, em sua margem oeste, alta concentração de CSS.

A CSS média no perfil do Gasômetro foi de 50,55 mg/L, enquanto na ponta do Dionísio resultou em 53,79 mg/L. A alta variação nas concentrações de CSS obtida em campo, sugere que os resultados apresentados com base na série histórica fornecida pelo DMAE estão subestimados, pois representam apenas um ponto do rio, localizado na margem que apresentou os menores valores de concentração.

Figura 16 – Depósitos do Delta do Jacuí



Detalhe de Apêndice 4 - Fonte: Dados da pesquisa (2015).



Tabela 4 – CSS obtida em campo

Gasômetro		Dionísio	
Ponto	CSS (mg/L)	Ponto	CSS (mg/L)
1 Superfície	25,33	5 Superfície	27
1 Meio	31	5 Fundo	34
1 Fundo	27,2	6 Superfície	25,33
2 Superfície	31,6	6 Fundo	26,5
2 Meio	31	7 Superfície	30
2 Fundo	26	8 Superfície	34
3 Superfície	44	9 Superfície	16
3 Meio	30	10 Superfície	89,33
3 Fundo	107,33	11 Superfície	96,67
4 Superfície	152	12 Superfície	116
		13 Superfície	96,8

Fonte: Dados da Pesquisa (2015)

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com a classificação das águas quanto a materiais em suspensão, a margem leste do Rio Guaíba, onde é captada água para o município de Porto Alegre, apresenta os menores índices de CSS e portanto é a região mais apropriada para captação visando o abastecimento populacional.

O valor de 1,7 milhões de toneladas, obtido para o transporte anual de sedimentos, corrobora com a classificação do Rio Guaíba como um ambiente exportador de sedimentos.

As taxas de migração, observadas nas barras de canal localizadas ao longo do curso inferior do Rio Jacuí, sugerem a evolução dos depósitos de sedimentos para jusante, com controle direto das correntes. Evidenciado pelas taxas de crescimento média dos depósitos, que apresentaram áreas 5% maiores.

Ao final deste estudo, sugere-se continuas análises da descarga de sedimentos em suspensão no Rio Guaíba. A implantação de 2 aparelhos de ADCP medindo vazão e CSS, nas proximidades da usina do Gasômetro e da Lagoa dos Patos, possibilitaria um melhor entendimento do transporte de sedimentos efetuado pelo sistema.

Também sugere-se a realização de perfis geofísicos e furos de sondagem nas barras de canal situadas no curso inferior do Rio Jacuí, visando identificar padrões de deposição sedimentar.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allen, J. R. L. Studies in Fluvial sedimentation: six cyclothemes from the Lower Old Red Sandstone, Anglo-Welsh Basin. *Sedimentology*, 3:163-198. 1964.

ANA. Agência Nacional das Águas. Hidroweb. Séries Históricas de estações fluviométricas. Recuperado em 08 de Agosto de 2015, de <http://hidroweb.ana.gov.br>.

Andrade Neto, J.S. de; Rigon, L; Toldo Jr., E.E; Schettini, C.A.F. Descarga sólida em suspensão do sistema fluvial do Guaíba, RS, e sua variabilidade temporal. *Pesquisas em Geociências*, 39(2):161-171, maio/ago. 2012.

Bachi, F.A., Barboza, E.G. & Toldo Jr. E.E. 2000. Estudos da sedimentação do Guaíba. In: *Ecos* 17:32 -35

Calliari, J.L. & Fachin, S. 1993. Laguna dos Patos. Influência nos depósitos lamínicos costeiros. *Pesquisas em Geociências*, 20 (1): 57-69.

CPRM. Serviço Geológico Brasileiro. Geobank. Banco de Dados de Sistema de Informações Geográficas (SIG). Recuperado entre Junho e Agosto de 2015, de <http://geobank.cprm.gov.br>.

Delaney, P.J.V. 1965. Fisiografia e geologia da superfície da planície costeira do Rio Grande do Sul. *Bol. 2*: 1-13

Förstner, U. & Wittmann, G.T.W. 1983. Metal pollution in the aquatic environment. Berlin, Springer-Verlag, 486 p.

Goedert, W.J.1965. Contribuição ao estudo das argilas dos solos do Rio Grande do Sul. *Cerâmica*, 12(47/48); 145-160, São Paulo.

Goedert, W.J.& Formoso, M.L.L. 1970. Argilominerais dos principais solos da região litoral sul do Rio Grande do Sul. *Notas Estud.* 2(1): 55-56.

Gupta, H.E.& Chakrapani, G.J. 2005. Temporal and spatial variations in water flow and sediment load in Narmada River Basin, India: natural and man-made factors. *Environmental Geology*, 48: 579-589.

Herz, R. (1977) Circulação de águas de superfície na Lagoa dos Patos. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, Brasil.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Atlas Nacional do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2000, escala 1:15.000.000.

Lima, J.E.F.W; Lopes, W.T.A; Carvalho, N.D.O; Silva, E.M.D. & Vieira, M.R. 2007. Fluxo de sedimentos em suspensão no exutório de grandes bacias hidrográficas em território brasileiro.VII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos.

McCave, I.N. 1979 Suspended sediment. In: DYER, K.R. (Ed.) *Estuarine hydrography and sedimentation: a handbook*. Cambridge, Cambridge University Press, p.131-185.

Milliman, J.D. & Meade, R.H. 1983. World-wide delivery of river sediment to the oceans. *The Journal of Geology*, 91(1): 1-21.

Moreira, L.G.R. 2008. A influência da precipitação no transporte de sólidos em cursos d'água urbanos: o caso do Arroio dilúvio, Porto Alegre (RS), Brasil.

Nicolodi, J. L., Toldo Jr., E.E., Farina, L. 2010, Dinâmica e ressuspensão por ondas no Lago Guaíba (RS, Brasil) e implicações nos locais de captação de água para abastecimento humano. *Pesquisas em Geociências*, 37 (1): 25-39, jan./abr. 2010

Nogueira, R. M. Aspectos hidrodinâmicos da Lagoa dos Patos na formação do depósito lamítico ao largo da praia de Cassino. 2006. 64 f. Dissertação (Mestrado em ciências em engenharia oceânica) – Pós-graduação de engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

Parker, W.R. 1989. Definition and determination of the bed in high concentration fine sediment regimes. *Journal of Coastal Research*, 5(SI): 175-184.

Reid, I., Barthurst, J.C., Carling, P.A., Walling, D.E. & Webb, B. 1997. Sediment erosion, transport and deposition. In: THORNE, C. R.; HEY, R. D. & NEWSON, M. D. *Applied Fluvial Geomorphology for River Engineering and Management*. New York, John Wiley & Sons, p. 95-135.

Richard, K. *Rivers – Forms and Process in Aluvial Channel*. London, Mathuen, 358 p. 1982.

Rigon, L. 2009. O fluxo de carga sólida em suspensão do rio Guaíba. Porto Alegre, Trabalho de conclusão do curso de geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Rodríguez-Blanco, M.L., Taboada-Castro, M.M. & Taboada-Castro, M.T. 2010. Sources and sediment yield from a rural catchment in humid temperate environment, NW Spain. *Earth Surface Processes and Land-forms*, 35: 272–277.

Roisenberg, A.; Viero, A.P. 2000. O vulcanismo Mesozóico da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul. p.355-374. In: Holz,M. & De Ros,L.F. (Eds.). Geologia do Rio grande do Sul. Edição CIGO/UFRGS. 444p.

Santos, M. L. dos. Unidades geomorfológicas e depósitos sedimentares associados no sistema fluvial do Rio Paraná no seu curso superior. 2005. Revista Brasileira de Geomorfologia. Ano 6. 85-96.

Schettini, C.A.F. & Toldo Jr., E.E. 2006. Fine sediment transport modes in the Itajaí-Açu estuary, Southern Brazil. Journal of Coastal Research, SI 39 of the 8th INTERNATIONAL COASTAL SYMPOSIUM, 8, Proceedings, 515 - 519.

Smith, N. D. Sedimentology and bar formation in the Upper Kicking Horse River, a outwash stream. J. Geol., 82: 205-224. 1974.

Smith, N. D. Some commentes on terminology of bars in shallow rivers. In: A. D. MIALL (Ed.) Fluvial Sedimentology. Canadian Soc. of Petroleum Geologists p. 85-88. 1978.

Spalding, W. O Guaíba, a Lagoa dos Patos e a Barra do Rio Grande. Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul n° 11, Porto Alegre, Secretaria de Agricultura, Unidade de Geografia, 1961.

Toldo Jr., E.E. 2009. Apostila de Sedimentologia. Porto Alegre. Notas de aula. 100p.

Toldo Jr., E. E. 1991. Morfodinamica da Laguna dos Patos. Revista Pesquisas em Geociências. 18 (1): p 58-63

Toldo Jr., E.E., Dillenburg, S.R., Corrêa, I.C.S. & Almeida, L.E.S.B. 2000. Holocene sedimentation in lagoa dos Patos lagoon, Rio Grande do Sul, Brazil. *Journal of Coastal Research*, 16(3): 816-822.

Toldo Jr., E.E; Dillenburg, S.R; Corrêa, I.C.S; Almeida, L.E.S.B; Weschenfelder, J. & Gruber, N.L.S. 2006. Sedimentação de Longo e Curto Período na Lagoa dos Patos, Sul do Brasil. *Revista Pesquisas em Geociências*. 36 (2): p 79-86.

UNESCO. 1988. River inputs to ocean systems: status and recommendations for research. Paris, UNESCO Technical Papers in Marine Science, 50, 25p.

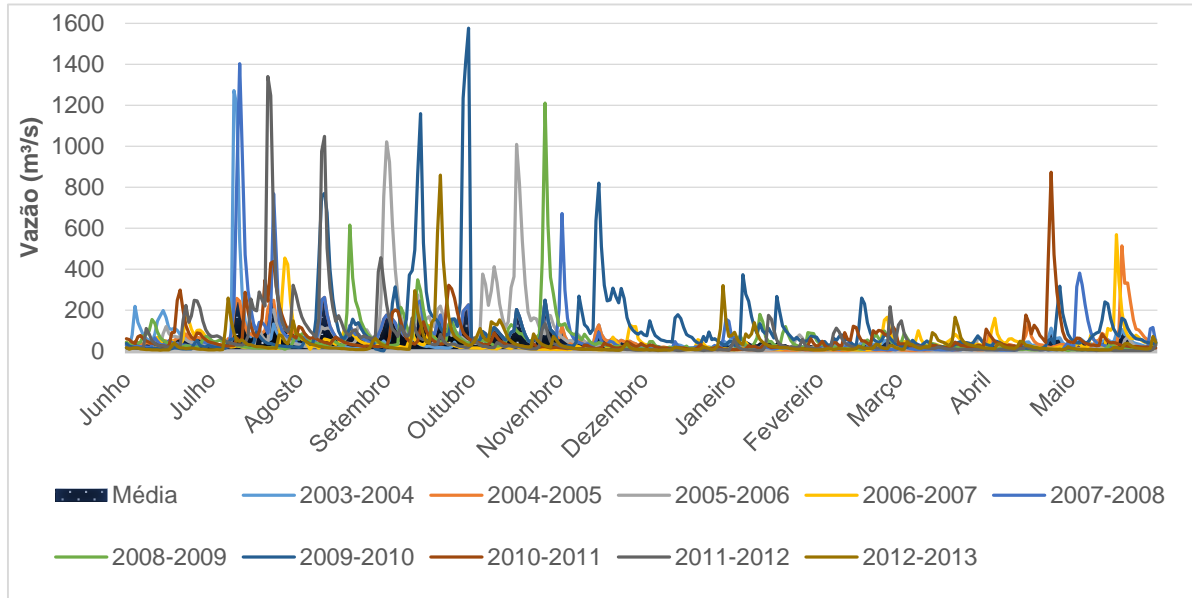
Vaz, A. C., Möller, O. Jr. & Almeida, T. L. 2006. Análise quantitativa da descarga dos rios afluentes da Lagoa dos Patos. *Revista Atlântica*, 28(1): 13-23.

Villwock, J.A.; Martins, I. & Formoso, M.L.L. 1972. Contribuição ao estudo da mineralogia de argilas dos sedimentos de fundo da Lagoa dos Patos (Rio Grande do Sul, Brasil), *Revista estudos sedimentológicos*, 2(1/2): 13-34. Natal, Imprensa universitária, 1972.

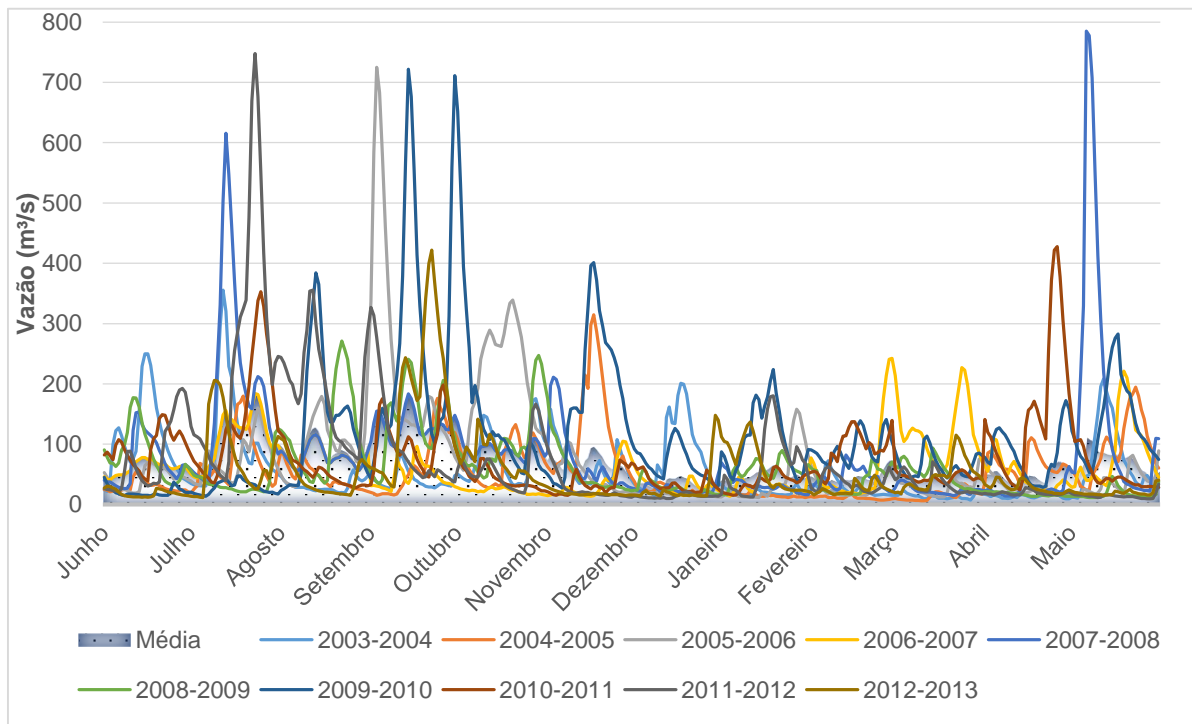
Webb, B.W. & Walling, D.E. 1982. Magnitude and frequency characteristics of suspended sediment transport in Devon Rivers. In: Burt, T.P., Walling, D.E. (Eds.), *Catchment Experiments in Fluvial Geomorphology*, 399–415.

## APÊNDICES

### Apêndice 1 - Série temporal de vazão do rio Cai

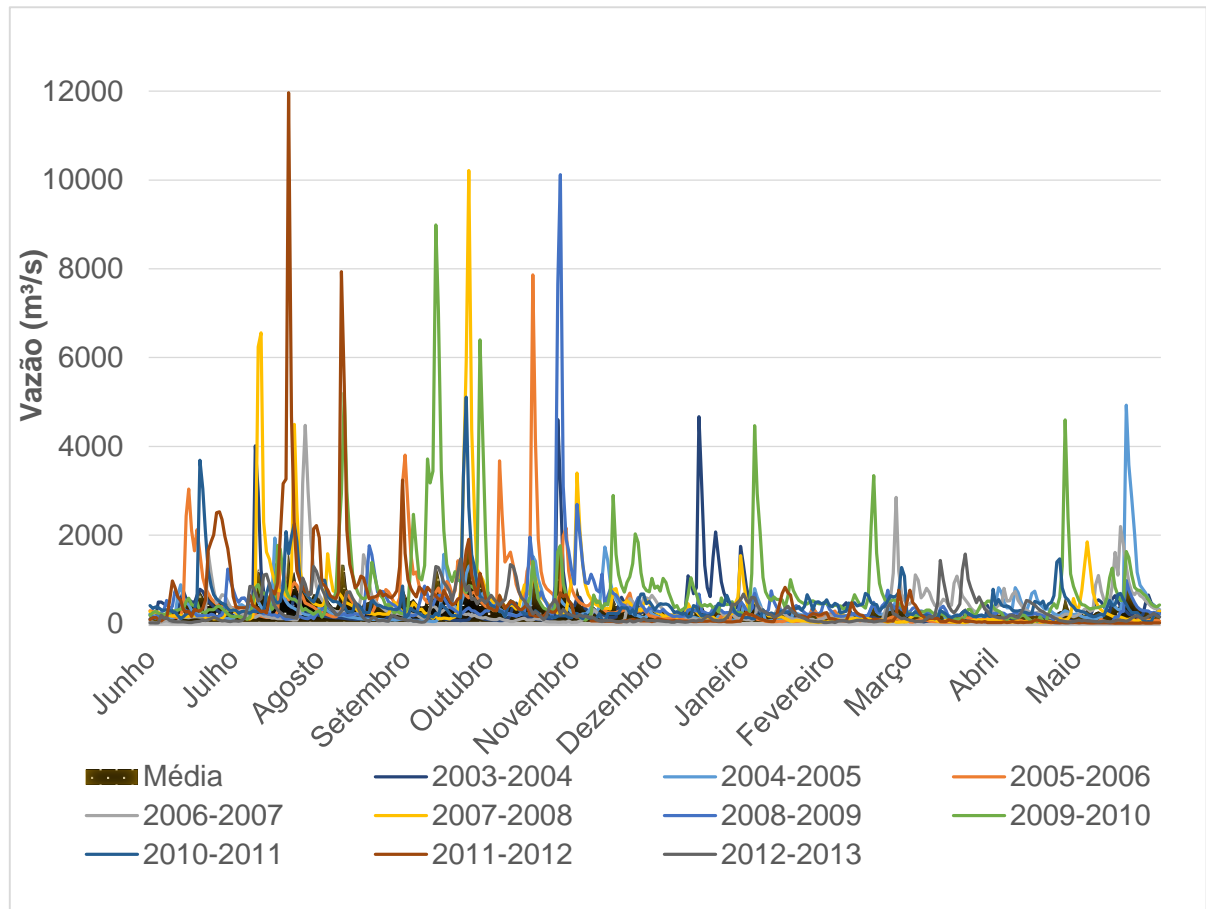


### Apêndice 2 - Série temporal de vazão do rio dos Sinos

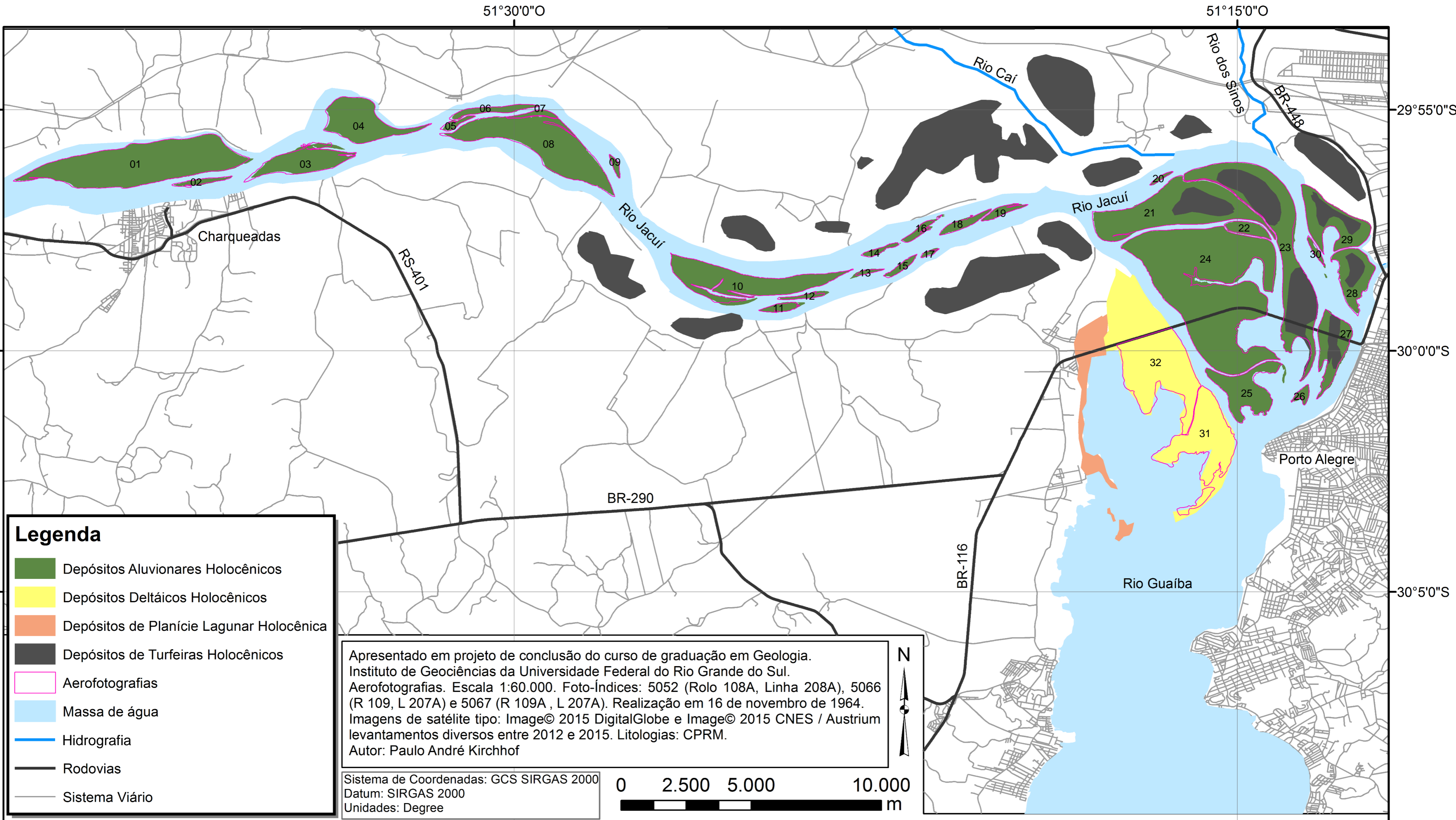




## Apêndice 3 - Série temporal de vazão do Rio Taquarí



Apêndice 4 – Mapa evolutivo das barras de canal do setor inferior do Rio Jacuí



**Legenda**

- Depósitos Aluvionares Holocênicos
- Depósitos Deltáicos Holocênicos
- Depósitos de Planície Lagunar Holocênica
- Depósitos de Turfeiras Holocênicos
- Aerofotografias
- Massa de água
- Hidrografia
- Rodovias
- Sistema Viário

Apresentado em projeto de conclusão do curso de graduação em Geologia.  
 Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.  
 Aerofotografias. Escala 1:60.000. Foto-Índices: 5052 (Rolo 108A, Linha 208A), 5066 (R 109, L 207A) e 5067 (R 109A, L 207A). Realização em 16 de novembro de 1964.  
 Imagens de satélite tipo: Image© 2015 DigitalGlobe e Image© 2015 CNES / Austrium levantamentos diversos entre 2012 e 2015. Litologias: CPRM.  
 Autor: Paulo André Kirchhof

Sistema de Coordenadas: GCS SIRGAS 2000  
 Datum: SIRGAS 2000  
 Unidades: Degree

