

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA FARROUPILHA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA  
CURSO ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**DETERMINAÇÃO DA CURVA-CHAVE DAS CONCENTRAÇÕES DE  
SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO NA BACIA DO RIO QUARAÍ, NA  
FRONTEIRA OESTE DO RIO GRANDE DO SUL**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**Mayara Torres Mendonça**

**Alegrete, 2016**

**DETERMINAÇÃO DA CURVA-CHAVE DAS CONCENTRAÇÕES DE  
SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO NA BACIA DO RIO QUARAÍ, NA  
FRONTEIRA OESTE DO RIO GRANDE DO SUL**

**Mayara Torres Mendonça**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha (IFFarroupilha, RS) e da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Bacharel em Engenharia Agrícola**

**Orientador: Prof. Clamarion Maier**

**Coorientador: Prof. Gustavo Henrique Merten**

**Alegrete, RS, Brasil**

**2016**

**Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha  
Universidade Federal do Pampa  
Curso de Engenharia Agrícola**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova o Trabalho de Conclusão de Curso**

**DETERMINAÇÃO DA CURVA-CHAVE DAS CONCENTRAÇÕES DE  
SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO NA BACIA DO RIO QUARAÍ, NA  
FRONTEIRA OESTE DO RIO GRANDE DO SUL**

elaborada por  
**Mayara Torres Mendonça**

Como requisito parcial para a obtenção de grau de  
**Bacharel em Engenharia Agrícola**

**COMISSÃO EXAMINADORA**

---

**Clamarion Maier, Dr.**  
(Presidente/Orientador - IFFarroupilha)

---

**Edenir Luis Grimm, Dr.** (IFFarroupilha)

---

**Rafael Goulart, Me.** (IFFarroupilha)

Alegrete, 07 de junho de 2016.

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, a meus avós Zenilda (*in memoria*) e Dirlei (*in memoria*), e todas pessoas que amo, que me deram força todos esses anos.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado a vida e por ter me colocado na melhor família do mundo.

A minha mãe Rita Aparecida por me permitir sempre escolher. A minha tia Fernanda e a meu pai Wander, que nunca mediram esforços para que eu pudesse realizar meus sonhos.

Agradeço a minha madrasta Marta e a meu padrasto Jorge por me acolherem sempre como filha fosse.

A meus irmãos Milena e Jorge Augusto por serem amigos e companheiros.

A minha madrinha Maria Zilda e a meu padrinho Marcelo por cumprirem seus papéis, de sempre me protegerem.

A meus tios Roberto, Carla, Sávvia, Eduardo, Flávia e Bruno, por todo amor e dedicação dados a mim.

Agradeço meus avós, Dirlei (*in memoria*), Zenilda (*in memoria*), Elimar e Alcinedes por serem meus maiores exemplos.

A meus primos Rodrigo, Ramon, Júlia, Maria Eduarda, Gabriel, Luíse, Mateus e Davi, por sempre trazerem alegria a minha vida.

Agradeço a tio Francisco (*in memoria*), a tia Lineia e a minha prima Aline por sempre ter me acolhido quando precisei.

As minhas amigas Francielle Bortolás, Jainara, Juliane, Lanes, Luana, Simone e, que juntas me apoiaram a cada dia. As minhas amigas de Niterói para o mundo Gabriela G., Gabriela M., Daniela, Camila, Vanessa, Priscilla e Jaqueline. A meus amigos de infância para toda a vida, Ana Carolina, Ana Paula, César, Gabriela, Gabrielle, Laís, Larissa, Luanna, Marcelle, Ramila e Willianne, que sempre se fazem presentes.

A meu companheiro Lucas por todo apoio e paciência.

Aos pesquisadores Gustavo Henrique Merten e Jean Paolo Gomes Minella, pelo auxílio e atenção disponibilizado que contribuiu com o trabalho.

Ao Pedro Cunha pela assistência dada sempre que precisei.

Agradeço a meus professores (UFF, UNIPAMPA e IFFarroupilha) por todo o conhecimento transmitido, em especial ao meu orientador, Clamarion Maier, por toda a dedicação, e aos professores Edenir Grimm e Ana Cláudia por terem acreditado no meu potencial.

“Os dias prósperos não vêm por acaso; nascem de muita fadiga e persistência”.

Henry Ford

## **RESUMO**

Trabalho de Conclusão de Curso

Curso de Engenharia Agrícola

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha, RS, Brasil

Universidade Federal do Pampa, RS, Brasil

### **DETERMINAÇÃO DA CURVA-CHAVE DAS CONCENTRAÇÕES DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO NA BACIA DO RIO QUARAÍ, NA FRONTEIRA OESTE DO RIO GRANDE DO SUL**

Autor: Mayara Torres Mendonça

Orientador: Clamarion Maier

Alegrete, 07 de junho de 2016

Analisar e quali-quantificar o fluxo de sedimentos transportados ao longo de uma bacia hidrográfica é uma questão de forte influência no que diz respeito a vários setores ao qual a bacia abrange, como a preservação da vida aquática, dos animais habitantes do local e o tratamento e aproveitamento pelo homem dos recursos hídricos disponíveis. Compreender a maneira como estes sedimentos são transportados e o rumo que tendem a tomar serão fundamentais para a prevenção e/ou correção de problemas provenientes deste assunto. Levando em conta tais considerações, o presente trabalho foi feito na bacia hidrográfica do Rio Quaraí, em que tem como uso principal a agropecuária. O objetivo principal deste trabalho foi a determinação das descargas sólidas em suspensão existentes na bacia em questão. O ponto que foi estudado está localizado num ponto intermediário da bacia e os dados utilizados foram provenientes de campanhas de coletas realizada no município de Quaraí (RS), pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM). Foram utilizados os valores de vazão e concentração de sedimentos em suspensão para obter-se as descargas sólidas em suspensão. Com base nos dados hidrossedimentométricos, traçou-se a curva-chave para os sedimentos. Os valores obtidos através dos cálculos feitos em uma planilha do Excel, mostraram que as coletas foram feitas na maioria em baixa vazão, onde o transporte de sedimento é menor. Com a finalidade de orientar como adquirir uma maior confiabilidade na série de dados, onde é necessário registro em alta vazão, foi descrita uma proposta, a qual recorre-se ao uso do turbidímetro, como medida indireta, o qual é capaz de realizar amostragens com alta frequência

temporal, a fim de complementar a ausência de informações de concentração de sedimento em suspensão.

**Palavras-chaves:** Fluxo de sedimentos; Descarga sólida; Bacia hidrográfica.

## **ABSTRACT**

Conclusion of course work  
Course of Agricultural Engineering  
Federal Institute of Education, Science and Technology Farroupilha, RS, Brazil  
Federal University of Pampa, RS, Brazil

### **DETERMINATION OF RATING CURVE OF CONCENTRATION SUSPENDED SEDIMENTS FLOW IN QUARAÍ CATCHMENT, AT WEST BORDER FROM RIO GRANDE DO SUL**

Author: Mayara Torres Mendonça

Advisor: Clamarion Maier

Alegrete, June 7th, 2016.

Analyze qualitative and quantify the flow carried along a watershed is a matter of strong influence in what concerns several sectors covered by the catchment, such as the aquatic life preservation, the animal inhabitants of the local, the treatment and the man usage of the available water resources. Understand the way these sediments are transported and the course they tend to take will be fundamental to the prevention and/or problem corrections from this subject. Taking into account such considerations, the present work was made based in the Quaraí river watershed, which is used mostly for agriculture. The main objective was to determine the existing suspended solid discharges in the catchment. The studied point is located at the middle of the catchment and the data were collected from campaigns carried out in the municipality of Quaraí (RS), by the Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM). The liquid discharge values are used or flow rate and concentration of suspended sediment to obtain the solid discharges in suspension. Based in hydrosedimentometric data, a key curve was plotted for the sediments. The obtained values through an excel spreadsheet have shown the collections were made mostly in low flow, where the sediment transport is smaller. With the finality of guiding how to acquire a greater reliability in the data series, where high flow records are needed, a proposal was described, which resorts to the use of the turbidimeter, as an indirect measure, which is capable of high temporal frequency sampling, in order to complement the absence of suspended sediment concentration information.

**Keywords:** Suspended-sediment; Solid discharge; Watershed.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Bacias hidrográficas brasileiras .....	19
Figura 2 - Mapa de localização da bacia hidrográfica transfronteiriça do Rio Quaraí/Cuareím na fronteira do Brasil e do Uruguai. ....	26
Figura 3 - Bacia hidrográfica do Rio Quaraí. ....	28
Figura 4 - Localização da estação fluviométrica no município de Quaraí. ....	28
Figura 5 - Curvas-chaves de sedimentos .....	32
Figura 6 - Curvas-chaves de sedimentos após a retirada de dados discrepantes.....	33
Figura 7 - Desenho ilustrativo de um exemplo de suporte para instalação de turbidímetros (A) e inspeção do sistema ótico (B). ....	37

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - População e superfície da bacia hidrográfica do Rio Quaraí .....	27
Tabela 2 - Informações referente aos erros de estimativa da Css baseado na curva-chave de sedimentos para modelos de ajuste linear e polinomial .....	31
Tabela 3 - Informações referente aos erros de estimativa da Css baseado na curva-chave de sedimentos para modelos de ajuste linear e polinomial após a retirada de dados discrepantes	32

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Descarga sólida em suspensão .....	30
Equação 2 – Avaliação de aderência das curvas de ajuste de cada modelo .....	30
Equação 3 – Fator “Smearing” .....	31

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	14
2.1 Erosão hídrica .....	14
2.1.1 Generalidades sobre erosão hídrica do solo .....	14
2.1.2 Impactos “ <i>on site</i> ” e “ <i>off site</i> ” .....	15
2.1.3 Escalas de erosão.....	17
2.2 A bacia hidrográfica como unidade de planejamento.....	18
2.2.1 Bacia hidrográfica .....	19
2.3 Hidrossedimentologia .....	20
2.3.1 Monitoramento sedimentométrico .....	20
2.3.2 Produção e transporte de sedimentos .....	22
2.3.3 Técnicas sedimentométricas.....	23
2.3.4 Relação entre $C_{ss}$ e turbidez .....	24
2.4 Atividades desenvolvidas na região do estudo .....	25
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	26
3.1 Caracterização da Área de Estudo .....	26
3.1.2 Estação fluviométrica.....	28
3.2 Determinação da descarga sólida em suspensão.....	29
4 RESULTADOS .....	31
4.1 Determinação da curva-chave.....	31
5 DISCUSSÃO.....	35
5.1 Uso do tubidímetro para determinações da $C_{ss}$ .....	35
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	40
APÊNDICES .....	45

# 1 INTRODUÇÃO

A erosão do solo e a produção de sedimentos têm sido alvo de frequentes preocupações no decorrer das últimas décadas, sobretudo pelo fato de estarem estritamente relacionados ao controle de uso do solo e da água. O solo é um dos elementos da natureza mais explorados pelo homem, tanto no que tange as atividades agrícolas quanto pecuárias. Portanto, quantificar sua perda, sobretudo em bacias hidrográficas, onde seu uso e ocupação tomam proporções intensas, é um fator de extrema importância não só para a ciência, como para todos aqueles que direta ou indiretamente são beneficiados com a sua subsistência. Os processos erosivos e de sedimentação em uma bacia hidrográfica transcrevem inúmeros problemas a vários setores da população. Em solos com alta produtividade agrícola, por exemplo, o processo erosivo causa a remoção da camada fértil do solo acarretando danos no local de origem (“*on site*”) e fora dele (“*off site*”).

O estudo da quantidade de sedimentos transportados em um rio é um conhecimento indispensável quando se trata do aproveitamento e planejamento dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica, levando em conta que a proveniência e a quantidade de sedimentos existentes serão os fatores que determinarão a intensidade dos danos causados ao longo do tempo. A produção de sedimentos (PS) caracteriza-se como a quantidade de sedimentos transportados para o meio externo de uma bacia hidrográfica ou de qualquer área analisada. Denominada como parte de determinado material que tenha sofrido erosão em dada bacia vertente ou canal fluvial, transportado até um local diferente do anterior. A PS é uma questão considerável quando o assunto é o manejo e o uso do solo e da água, não só pelo fato de tal processo ser causador do fenômeno de erosão, problema com o qual nos deparamos com frequência e que causa relevantes danos ao meio ambiente, como também por este ser um fator acarretador de sérios prejuízos à vida dos animais aquáticos que habitam esses locais, levando até eles sedimentos contaminados que poderão condenar sua sobrevivência, além de prejudicar de forma abrangente o curso de reservatórios e rios dessas bacias.

Embora seja um assunto de suma importância para diversos ramos da sociedade, ainda é uma questão pouco abordada acadêmica e cientificamente. Estudos relacionados à produção de sedimentos, ao destino dado à eles e ao correto manejo de bacias são parâmetros pouco estudados e analisados quando comparados à importância que se têm ao meio ambiente e à economia, pois são quesitos que interferem em vários aspectos da vida cotidiana e que muitas

vezes passam despercebidos quando equiparados a outras questões consideradas cruciais à sobrevivência humana e a qualidade de vida da população.

Uma das maneiras mais abrangentes de se quali-quantificar a intensidade dos impactos causados pela erosão do solo em uma bacia hidrográfica baseia-se na coleta e/ou monitoramento de dados hidrossedimentológicos. Dentro deste contexto, o trabalho foi realizado na Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul, região onde há forte predominância de atividades agropecuárias e há necessidade de pesquisas relacionadas ao tema. O estudo teve como objetivo principal a determinação das descargas sólidas em suspensão ( $q_{ss}$ ) na estação sedimentométrica do Rio Quaraí. As descargas diárias de sedimentos em suspensão foram geradas a partir da série de dados diários de vazão líquida ( $Q$ ), utilizando curvas-chaves de sedimentos traçadas para estação, de acordo com as metodologias apresentadas na literatura. A realização da pesquisa baseou-se nos dados fornecidos pela Agência Nacional das Águas (ANA) e pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), entre os anos de 1997 e 2014, estimando-se um período de coleta de dezessete anos.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Erosão hídrica

#### 2.1.1 Generalidades sobre erosão hídrica do solo

No afã de promover alguma forma de desenvolvimento para uma região, as sociedades humanas, seja em áreas rurais ou urbanas, sempre causam impactos no ambiente em que vivem, tanto no meio biótico como no meio abiótico (SILVA et al., 2007). Esses impactos são causados pelo mau uso do solo e da água tanto em dimensões rurais como em dimensões urbanas, com consequências graves como desmatamentos, erosão, poluição e contaminação de lençóis freáticos e demais corpos de água, além do acúmulo de materiais tóxicos e /ou nocivos à saúde humana e aos demais seres vivos que compõem o ecossistema em questão.

Dentre os mais importantes impactos situa-se a erosão do solo, pois atinge a todos sem ser percebida. Segundo Pires e Souza (2013), o tipo de erosão de maior interesse para as condições tropicais predominantes no Brasil é a erosão hídrica. Esta é provocada pelas águas das chuvas que, após caírem no solo, correm em forma de enxurradas, causando danos ao terreno. As consequências da erosão hídrica podem ser notadas em seu ponto de origem (fonte de sedimentos) ou nos rios e reservatórios onde são transportados e depositados. A erosão do solo pode ser considerada como um processo dependente da escala. Em muitos casos, os resultados de perda de solo e da produção de sedimentos obtidos em uma determinada escala espacial não são consistentes com os resultados encontrados em outra escala (RICKSON, 2006).

A erosão do solo é um fenômeno complexo que envolve desagregação, transporte e deposição de partículas, produzida, sobretudo, pela ação da água da chuva (STROOSNIJDER, 2005). A erosão causada pela água pode ser dividida em erosão por embate/impacto, laminar, em sulcos e entressulcos e voçorocas. A erosão por embate é decorrente da energia do impacto das gotas de chuva de encontro ao solo, que além de desintegrarem parcialmente os agregados naturais, libertam as partículas finas, deslocando-as e projetando-as a certa distância (LOPES, 1980) proporcionando o desenvolvimento de uma crosta de baixa infiltração. O salpicamento lança partículas a distâncias consideráveis (RAMOS et al., 2011), mas é diminuído ou eliminado quando manejos conservacionistas são aplicados, devido ao fato das coberturas (vivas ou mortas) absorverem o impacto e reduzirem a desagregação e o transporte de sedimentos (SILVA & SCHULZ, 2002).

O transporte de sedimentos é processado nos cursos da água, sendo que sua intensidade é elevada em épocas chuvosas. Sua ocorrência é dada até o momento em que sua capacidade de transporte supera a carga de solo desprendido, caso contrário, esse material rico em nutrientes e matéria orgânica é depositado em depressões das vertentes e fundo dos vales (BARROS, 2012). Não é fácil medir a erosão em diferentes escalas. Chuvas e enchentes variam enormemente e um único evento extremo pode produzir até 75% de toda a erosão de uma pequena bacia num período de 10 anos. Grandes rios movem sedimentos de forma mais uniforme e é muito difícil de medir porque o sedimento é principalmente transportado como carga de fundo. Como é necessário separar a erosão acelerada da natural, tem se investido bastante no desenvolvimento de métodos de medição, que podem ser classificados de acordo com o local de desagregação, transporte ou deposição.

A necessidade de promover a recuperação ambiental e a manutenção de recursos naturais escassos como a água, faz com que o conceito de bacia hidrográfica passe a ser difundido e consolidado no mundo. Para enfrentar problemas, como a erosão do solo, a poluição, a escassez e conflitos pelo uso da água, é preciso reconhecer a bacia hidrográfica como um sistema ecológico, que abrange todos os organismos que funcionam em conjunto numa dada área (PORTO & PORTO, 2008). Diante disso, torna-se necessário reconhecer a dinâmica das águas e que os limites geográficos para trabalhar o equilíbrio ecológico têm que ser o da bacia hidrográfica, ou seja, o espaço territorial determinado e definido pelo escoamento, drenagem e influência da água, do ciclo hidrológico na superfície da Terra e não aquelas divisões políticas definidas pela sociedade, como municípios, estados e países, que não comportam a dinâmica da natureza (BERNARDI et al, 2012).

### 2.1.2 Impactos “*on site*” e “*off site*”

Os impactos “*on-site*” são implicações locais, que acontecem onde a erosão ocorre. É importante fazer a distinção entre erosão acumulada do passado e as taxas de erosão atuais quando se avaliam os problemas “*on-site*”. O aumento dos efeitos “*on-site*” decorre porque há diminuição de terras aráveis, restando apenas regiões marginais ou em zonas ecologicamente delicadas, de clima rigoroso e ausência de acesso a recursos indispensáveis. Os principais impactos “*on-site*” são perdas de materiais superficiais do solo como consequência da redução de camadas repletas em nutrientes e matéria orgânica, resultante em decréscimo de fertilidade; e a redução da eficiência de reter água, gerando uma reação diminuição na produção agropecuária.

O decréscimo de fertilidade pode ser corrigido por meio de aplicações de adubos químicos solúveis, contudo isto não é uma alternativa sustentável e está distante da maioria da população global em virtude de custo elevado. Em contrapartida, reter água não é uma tarefa das mais fáceis, uma vez que o volume das partículas constituintes do solo e o arranjo das mesmas são afetados quando ocorre a perda de argila e silte, principalmente, das camadas superficiais (MAIER, 2013).

Para a avaliação do impacto “*on-site*” da erosão do solo há diversos métodos que podem ser aplicados. Uma série de métodos está baseada na escala espacial de um ponto até a de bacia hidrográfica. A outra série é baseada no intervalo de tempo envolvido, tendo como exemplo os efeitos anuais, mensais e diários da erosão. Segundo Maier (2013), os métodos de avaliação desse tipo de impacto integram práticas de campo fundamentadas em mapeamentos de solos, bem como com a utilização de modelagem física e matemática para descrição dos fenômenos.

Os efeitos a jusante do ponto de acontecimento da erosão (“*off-site*”) são os mesmos que acontecem quando o escoamento superficial transporta sedimentos de um local para o outro em uma lavoura, por exemplo. Os efeitos “*off-site*” são complexos e envolvem ao menos três categorias: danos no presente e no futuro no crescimento de plantas e na produtividade das mesmas, mudanças ambientais e prejuízos para a estruturas civis e outras indústrias (MORGAN, 2005). Se o solo não for manejado corretamente, as águas da chuva não infiltram e escoam transportando partículas de solo em suspensão e elementos em dissolução até os cursos d’água, causando turbidez e redução da qualidade d’água (ANA, 2012).

Segundo Telles (2010), os processos de sedimentação e assoreamento dos recursos hídricos, estão ligados aos efeitos “*off-site*”. Assim, estes efeitos causam aspectos negativos para humanidade como aumento do custo da captação e tratamento de água, aumento na geração de energia, redução da distribuição de recursos hídricos, entre outros. Além disso, apresentam problemas na produtividade dos cultivos devido a inundações, escoamento de agroquímicos e sobreposição de solos de boa qualidade por solos pobres. Apesar disso, também pode haver aspectos positivos como o aumento da profundidade da camada superficial devido à deposição, melhorias nas reservas de nutrientes e retenção de água no solo.

A adesão de procedimentos eficazes de conservação do solo e da água e de controle da erosão proporciona economia de diferentes fatores, minimizando os impactos “*on site*” e “*off site*” o que leva uma melhoria de todo o ambiente. Dentre os princípios fundamentais do planejamento de uso das terras, destaca-se um maior aproveitamento das águas das chuvas. Evitando-se perdas excessivas por escoamento superficial, podem-se criar condições para que

a água pluvial se infiltre no solo. Isto, além de garantir o suprimento de água para as culturas, criações e comunidades, previne a erosão, evita inundações e assoreamento dos rios, assim como abastece os lençóis freáticos que alimentam os cursos de água.

### 2.1.3 Escalas de erosão

Os processos hidrológicos acontecem em diferentes escalas espaciais e temporais (CARDOSO, 2013). A integração destas escalas é um dos grandes problemas que os pesquisadores enfrentam hoje. Isto porque os métodos e os resultados variam de acordo com a escala em que o processo será estudado (DEPINÉ et al. 2011). É importante ressaltar que os problemas de mudanças de escala são peças fundamentais das pesquisas em bacias hidrográficas.

#### 2.1.3.1 Escala espacial

A taxa de erosão medida em certa escala na bacia não é representativa para avaliar a produção de sedimento em uma escala diferente. Os mecanismos fundamentais dos processos erosivos vêm sendo estudados em escala de laboratório, parcelas (pequenas áreas de metros quadrados), escala de pequenas bacias hidrográficas e de grandes bacias (CARDOSO, 2013).

Extrapolar dados obtidos em microescala, parcela experimental ou laboratório para um método maior solicita o conhecimento das variáveis dependentes da escala e suas ligações. A extrapolação de micro para a macroescala não é um processo simples. Além disso, existem elementos na macroescala que não existem na micro, como a produção de sedimentos provenientes de estradas, por exemplo (CARDOSO, 2013).

A estimativa de perda de solo em bacias hidrográficas na escala espacial, pode ser executada com parcelas de erosão, lisímetros, medições diretas e indiretas e modelos hidrossedimentológicos. Os modelos de previsão podem ser classificados quanto à estrutura, em empíricos e conceituais.

#### 2.1.3.2 Escala temporal

Na escala temporal, utiliza-se a duração dos processos no decorrer do tempo. Essa variabilidade acontece em função da ação antrópica e das condições de variabilidade climática.

Uma ocorrência de precipitação de minutos, horas ou até mesmo poucos dias, são considerados escalas temporais de curto prazo, podendo ser abordada dentro da variabilidade temporal sazonal que determina a série de eventos úmidos e secos.

Segundo Cardoso (2013), por estarem exatamente ligados com a precipitação, os processos hidrossedimentológicos são fortemente dependentes da escala temporal. Isto porque esses fenômenos meteorológicos não ocorrem de modo contínuo ao longo do tempo. Sendo assim, os procedimentos de estudos serão também dependentes das variações temporais uma vez que fenômenos acontecem.

A maior parte das formas de escoamento superficial e erosão são usualmente realizados na escala diária, tornando-os incapacitados de prever corretamente as eventualidades de escoamento superficial e erosão em pequenas escalas, que são contidos por características de precipitação na escala temporal de minutos. Diante deste dilema o desenvolvimento de abordagens que capturam adequadamente os processos em curtas escalas espaço temporais poderão subsidiar elementos para a execução dos modelos em escala horária (ALÉSIO et al., 2012).

## **2.2 A bacia hidrográfica como unidade de planejamento**

O planejamento ambiental em bacias hidrográficas vem se constituindo nos últimos anos, no caminho mais propício para o desenvolvimento de pesquisas e implementação de ações que visem reverter quadros de degradação ambiental (MACHADO & STIPP, 2003).

A necessidade do planejamento e políticas públicas para a gestão ambiental precisa de apoio técnico-científico e este possui maior relevância quando trabalhos são realizados na unidade de bacias hidrográficas (BARROS, 2012). Programas de conservação do solo e da água que empregam a bacia hidrográfica como unidade de estudo, estão relacionados à implantação de projetos de monitoramento hidrossedimentométrico e de qualidade de água para avaliar o impacto nos recursos hídricos das práticas introduzidas (MINELLA & MERTEN, 2011).

A utilização da bacia hidrográfica como unidade de estudo, tem como objetivo projetar, intervir, concretizar e manusear as mais adequadas formas de apropriação e aproveitamento de seus recursos naturais. Com isso, pode proporcionar-se o desenvolvimento econômico e social da respectiva população que usufrui do recurso, bem como a sustentabilidade, mitigando o impacto negativo na qualidade de vida (BERNARDI et al. 2012). Em termos de elemento de estudo e operação, pode-se afirmar que a bacia e a microbacia hidrográfica são as unidades espaciais de planejamento mais apropriadas. Isso decorre do fato de seu uso permitir controle

mais objetivo dos recursos humanos e financeiros. Favorecendo a integração de práticas de uso e manejo do solo e da água e a organização comunitária (SILVA et al., 2007). O trabalho em microbacias hidrográficas gera circunstâncias que tornam toleráveis as operações produtivas com a preservação ambiental, concedendo o desenvolvimento sustentável.

### 2.2.1 Bacia hidrográfica

A bacia hidrográfica pode ser descrita como uma área definida topograficamente, onde há captação natural da água de precipitação com escoamento seguindo para um único ponto de saída, denominado exutório. Os limites de uma bacia hidrográfica são conhecidos como divisores de drenagem ou divisores de água.

As bacias hidrográficas podem se subdividir em sub-bacias, que são definidas como áreas de drenagem dos tributários do curso d'água principal. Para Teodoro et al. (2007), bacias podem ser desmembradas em um número qualquer de sub-bacias, dependendo do ponto de saída considerado ao longo do seu eixo-tronco ou canal coletor. Assim, podemos dizer que cada bacia está conectada com outra de ordem hierárquica superior sendo, em relação à última, uma sub-bacia.

O regime de formação de uma bacia hidrográfica pode ser classificado em três tipos diferentes, sendo pluvial, nival ou misto. O regime pluvial é quando o rio é composto por precipitações, o regime nival é obtido através do derretimento de geleiras e o regime misto é o resultado de dois regimes. Sobre as bacias brasileiras (Figura 1), todas são compostas por regime pluvial, exceto a bacia do rio Amazonas que tem o regime misto, pois nasce na Cordilheira dos Andes (Peru) e recebe contribuição de precipitação em seu percurso.



Figura 1 - Bacias hidrográficas brasileiras. Fonte: ANEEL 2011

## 2.3 Hidrossedimentologia

Hidrossedimentologia é o estudo dos processos relacionados à dinâmica da água e dos sedimentos associados a ela na fase terrestre do ciclo hidrológico. Pode-se afirmar que os estudos hidrossedimentológicos são importantes para o Brasil, considerando, por exemplo, que os sistemas elétricos do País são, ao menos até o momento, predominantemente “hidrelétricos” (SILVA et al., 2007). No caso das barragens construídas no decorrer dos cursos d’água, independente do tipo de utilização, o conhecimento hidrossedimentológico é essencial para avaliar a vida útil da obra, tal como a indispensabilidade de medidas mitigadoras para potencializar o seu uso. Para o setor hidroviário, a identificação de zonas de deposição de sedimentos é fundamental para a análise da viabilidade do projeto e para a minimização dos custos com reparos nos canais de navegação (LIMA et al., 2011). Para o setor de irrigação e aplicações semelhantes que necessitam bombear água dos rios, os sedimentos transportados no curso d’água, além de agilizar a degradação dos sistemas de bombeamento, ainda provocam entupimentos, especialmente nos sistemas de irrigação por gotejamento e microaspersão, que acabam submissos dos eficientes sistemas de filtragem. Quando a água obtém alta concentração de sedimento, até mesmo o tratamento para o abastecimento humano pode ser retido. Por outro lado, os sedimentos também desempenham ampla influência nos parâmetros de qualidade das águas, devido ao transporte para os cursos d’água, levando consigo outros elementos que, dependendo do estado do rio, podem ser vantajosos ou desvantajosos ao meio ambiente e aos seus desfrutadores.

Em geral, as pesquisas hidrossedimentométricas são efetuadas por meio do método da curva-chave de sedimentos, que relaciona a descarga sólida com a descarga líquida com base em medidas efetuadas simultaneamente de ambas as variáveis, quando da visita da equipe de hidrometria (CARVALHO, 2008). Tendo-se essa relação estabelecida, converte-se a série de dados de vazão em série temporal de descarga sólida.

### 2.3.1 Monitoramento sedimentométrico

O conhecimento de como os processos hidrossedimentológicos de uma bacia hidrográfica respondem ao uso e manejo do solo depende, essencialmente, do monitoramento correspondente de variáveis que estão envolvidas no processo (MINELLA & MERTEN, 2011). As principais variáveis dos fenômenos hidrossedimentológicos são a precipitação, a vazão, a

concentração de sedimentos em suspensão e a descarga de sedimentos de arraste (MINELLA, 2007). Em vista disso, é possível calcular o fluxo de sedimentos de uma bacia hidrográfica em um determinado período. Esse fluxo é definido pela descarga sólida em suspensão e a produção de sedimentos, que é a composição do fluxo no tempo.

De acordo com Merten et al. (2006), a elaboração de um projeto de monitoramento apontando estudos de qualidade de sedimentos depende, basicamente, dos objetivos propostos, sendo a identificação dos elementos poluentes que estão sendo transportados pelos sedimentos, determinação de fluxo de poluentes, conhecimento do padrão de variação espaço temporal dos poluentes e avaliação das implicações da carga poluente na qualidade da água e na biota aquática.

As medições são centralizadas no exutório da bacia por questões financeiras e de logística. A técnica de amostragem do fluxo de sedimentos deve ser focada na capacidade de coletar uma amostra representativa considerando a variabilidade espacial e temporal na seção de monitoramento (PORTERFIELD, 1977). Isso é delimitado pela dimensão da seção de monitoramento e pelas formas hidráulicas do escoamento. Conseqüente, estas irão delimitar o número de verticais precisas para cobrir a variabilidade longitudinal da seção, o número de pontos de amostragens em cada vertical, o amostrador de sedimentos mais adequado e a frequência de amostragem (PORTERFIELD, 1977). Para riachos e arroios, onde a concentração de sedimentos em suspensão varia, principalmente, durante os eventos de chuva de média e alta intensidade, a estratégia de monitoramento deve priorizar a coleta de amostras durante os eventos (MINELLA, 2007).

A qualidade dos resultados está relacionada com a frequência de amostragem, sendo que quanto maior for a frequência, melhor será a qualidade. Walling (1983), por exemplo, ressalta que a frequência de amostragem afeta sensivelmente a estimativa do fluxo em suspensão. Uma estimativa baseada em amostragem trimestral não corresponde à estimativa de amostragem semanal, diária ou horária, podendo haver uma subestimativa da produção de sedimentos quanto maior for o intervalo entre as medidas (MERTEN et al., 2006).

Em um programa de monitoramento hidrossedimentométrico de alta frequência, os problemas mais relevantes são referentes ao deslocamento até a seção de monitoramento e ao elevado custo de coleta e da análise da concentração de sedimentos em suspensão. Por essas limitações, existe a possibilidade de agrupar equipamentos automáticos que integrarão a obtenção de dados. Assim, se tem como exemplo, a turbidimetria que tem sido reconhecida como uma técnica promissora na estimativa da concentração de sedimentos em suspensão. O

turbidímetro é um equipamento simples, de baixo custo de operação e dispõe a coleta contínua de dados.

### 2.3.2 Produção e transporte de sedimentos

O estudo da variabilidade da produção de sedimentos tem contribuído para a compreensão dos fatores controladores dos processos erosivos e do transporte de sedimentos e poluentes nas bacias hidrográficas (MINELLA & MERTEN, 2011).

Interpreta-se “produção de sedimentos” como a quantidade de sedimentos que é transferida para fora de uma bacia hidrográfica ou de um território considerado. A produção de sedimentos refere-se a uma fração do total de solo que sofreu erosão e foi movido em uma bacia em virtude de todos os procedimentos erosivos.

A produção de sedimentos em uma bacia hidrográfica pode ser descrita como a diferença entre a erosão bruta e a quantidade de sedimentos que não foi removida da bacia hidrográfica.

A determinação da quantidade de material depositado é dificultosamente quantificada, pelo fato da complexidade dos processos de transporte e deposição dos sedimentos. Para resolver esse problema, utiliza-se um conceito empírico para estimar um valor adimensional que retrata a fração total da erosão bruta que chega ao exutório da bacia (WALLING, 1983). Esse valor é denominado de Taxa de Emissão de Sedimentos (TES ou SDR – Sediment Delivery Ratio).

Segundo Barros (2012), estudos apontam como boa possibilidade da aplicação da relação entre a concentração de sedimentos em suspensão ( $C_{ss}$ ) com a descarga líquida ou vazão ( $Q$ ). Essa relação é observada durante a ocorrência de um evento ou entre eventos, pois os processos que contribuem para a dinâmica do fornecimento, deposição e mobilização dos sedimentos ocorrem nesses períodos. Em época de cheia, o percurso do rio tem sua potência aumentada e, assim sendo, maior capacidade para o transporte de sedimentos de variados tamanhos. De acordo com este raciocínio, à proporção que a vazão diminui, a velocidade do fluxo reduz, limitando então, a capacidade de transporte de sedimentos. Ao sofrer diminuições na energia do fluxo, o material em suspensão rapidamente sedimenta e mantém-se imóvel à medida que a força fundamental para seu deslocamento não crescer novamente. Conforme ocorre o aumento de fluxo de um evento, a maior parte dos sedimentos se encontram prontamente disponíveis para o transporte. Depiné et al. (2011) afirmou que ao longo do evento, pode haver defasagem quando os sedimentos não se encontram prontamente disponíveis, ou

quando o mesmo originado em locais mais distantes leva algum tempo para chegar às estações de medição.

Em consequência dos regimes de chuva, atividade antrópica e sazonalidade, o acúmulo de sedimentos em suspensão é bastante variável ao decorrer do ano. Diante deste contexto, há possibilidade de encontrar para um mesmo valor de  $Q$ , diversos valores de  $C_{ss}$ , ocasionando um comportamento denominado histerese. A histerese é entendida como o surgimento de um retardo na evolução de um fenômeno em relação a outro. Além do efeito de histerese entre a  $Q$  e a  $C_{ss}$ , o processo de secagem e umedecimento do solo, por exemplo, também apresenta um comportamento não sincronizado com o tempo (BARROS, 2012).

### 2.3.3 Técnicas sedimentométricas

#### 2.3.3.1 Escolha dos locais e seleção de equipamentos para amostragem

Os locais de amostragem devem conter trecho do rio retilíneo, seção estável, sem obstrução das linhas de correntes, acesso fácil à seção, evitar zonas próximas de convergência de rios e também áreas sob efeito do remanso.

Segundo Merten et al. 2014, as amostragens de sedimentos podem ser de três tipos:

- a) A vau (realizadas pelo hidrometrista posicionado em pé dentro do curso de água);
- b) Em pontes e;
- c) Embarcados ou em teleféricos (onde o hidrometrista instala-se em um carro suspenso por cabo).

As medições a vau se limitam a arroios e rios que proporcionam ao hidrometrista amostrar posicionado em pé dentro do curso de água (lâmina de água até 80 cm). As mais seguras, são as medições realizadas sobre pontes, principalmente durante as cheias. Já as realizadas sobre barcos e teleféricos, exigem cautelas com a segurança dos hidrometristas.

Os equipamentos de amostragem de sedimentos em suspensão recolhem uma mistura de água e de sedimentos que adiante é analisada no laboratório para definir uma variedade de características físicas e químicas, especificamente como concentração de sedimentos em suspensão ( $C_{SS}$ ), distribuição do tamanho de partículas, área superficial específica, nutrientes, metais pesados e componentes orgânicos (MERTEN et al. 2014). Os equipamentos podem ser divididos em dois tipos:

- a) Equipamentos manuais;

- b) Equipamentos automáticos.

#### 2.3.4 Relação entre C<sub>ss</sub> e turbidez

Em lugares onde o planejamento de amostragem é falho para determinar um registro consecutivo da quantidade de sedimentos através de coletas presenciais, medidas de turbidez são aptas a serem empregadas para proporcionalizar dados consecutivos de concentração de sedimentos em suspensão (C<sub>ss</sub>).

Um dos métodos indiretos para a determinação sólida em suspensão é a avaliação da turbidez do escoamento. O turbidímetro faz a determinação quantitativa da turbidez, supondo possível estabelecer uma correlação entre a intensidade luminosa registrada pela célula e a concentração do material em suspensão (CARVALHO et al., 2004). A turbidez se refere a uma propriedade ótica que mensura como a água dissipa a luz. Esta dissipação aumenta com a quantidade de material particulado em suspensão; portanto, a turbidez aumenta com a carga de sedimento suspenso. Partículas suspensas diminuem a penetrabilidade de luz através da água, dessa maneira, aumentam a turbidez da água, o que pode sensibilizar o tipo de vegetação que cresce na água.

A precisão do turbidímetro diminui com o aumento do tamanho das partículas. Sendo assim, como forma de avaliar a concentração de partículas em suspensão, deve ser utilizada em cursos d' água que possuam predominância de partículas do tamanho de silte e argila em suspensão (CARVALHO et al., 2004). Além disso, o equipamento deve ser calibrado seguindo metodologia que leva em conta coletas de amostras de água com sedimento em suspensão durante eventos que produzam e transportam quantidades elevadas de partículas orgânicas e minerais.

Minella et al. (2007) afirmam que a calibração que determina a melhor relação entre o sinal de turbidez e a de sedimentos em suspensão é aquela que utiliza amostras coletadas durante os eventos de chuva, se comparada com a calibração feita em laboratório com amostras provenientes de solos da bacia. Durante as épocas de cheia ocorre maior variabilidade nas formas dos sedimentos, devido a suas diferentes fontes. Espera-se uma melhor relação entre turbidez e concentração de sedimentos em suspensão comparada com a descarga líquida e a concentração de sedimento em suspensão. A turbidez e a concentração de sedimentos em suspensão respondem de forma semelhante a muitos fatores que não estão exatamente relacionados à descarga líquida.

A relação entre concentração de sedimentos em suspensão e turbidez oferece um método relativamente rápido e barato para a obtenção dos dados necessários para a realização de estudos hidrossedimentométricos (LIMA et al., 2011). Ademais, esta relação contribui com a obtenção de dados em épocas de cheia e a obtenção de um maior número de informações ao longo do tempo, através de medições automáticas.

#### **2.4 Atividades desenvolvidas na região do estudo**

O agronegócio na região da Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul é baseado na cultura do arroz irrigado. O Estado se salienta como maior produtor nacional, sendo incumbido por mais de 61% do total produzido no país. A orizicultura gaúcha caracteriza-se pela predominância do cultivo irrigado extensivo, dentro de um sistema empresarial, exercido principalmente por grandes e médios produtores, onde é tradicionalmente conduzida em rotação com pastagem (SOSBAI, 2014). Adiante do sistema tradicional de cultivo, são utilizados o cultivo mínimo, o plantio direto e o pré-germinado.

Além de 30% do cultivo orizícola do RS, a Fronteira Oeste desfruta o maior rebanho bovino do Estado. No entanto, a pecuária de corte na região caracteriza-se por ser uma atividade extensiva, fundamentada quase que unicamente no campo nativo com cargas animais excessivas. Como consequência, os índices médios de produtividade, sobretudo da etapa de cria, são extremamente baixos, a exemplo do que ocorre em todo estado (MARQUES, 2010).

A escolha do sistema de produção, normalmente, é definida de forma tradicional. Isto significa que o pecuarista segue o sistema que já vinha sendo utilizado pela família, sendo assim, mesmo que o sistema não venha a ser o mais rentável ou o mais produtivo, o pecuarista do estado acaba adotando as práticas de criação por cultura e/ou herança (RIBAS & MASSUQUETTI, 2009).

## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1 Caracterização da Área de Estudo

O trabalho foi desenvolvido na bacia hidrográfica do Rio Quaraí, localizado na fronteira oeste do estado do Rio Grande do Sul e região nordeste do Uruguai como mostra na Figura 2. O rio Quaraí, com 351 km de comprimento, é tributário do Rio Uruguai e faz parte da bacia da Prata.

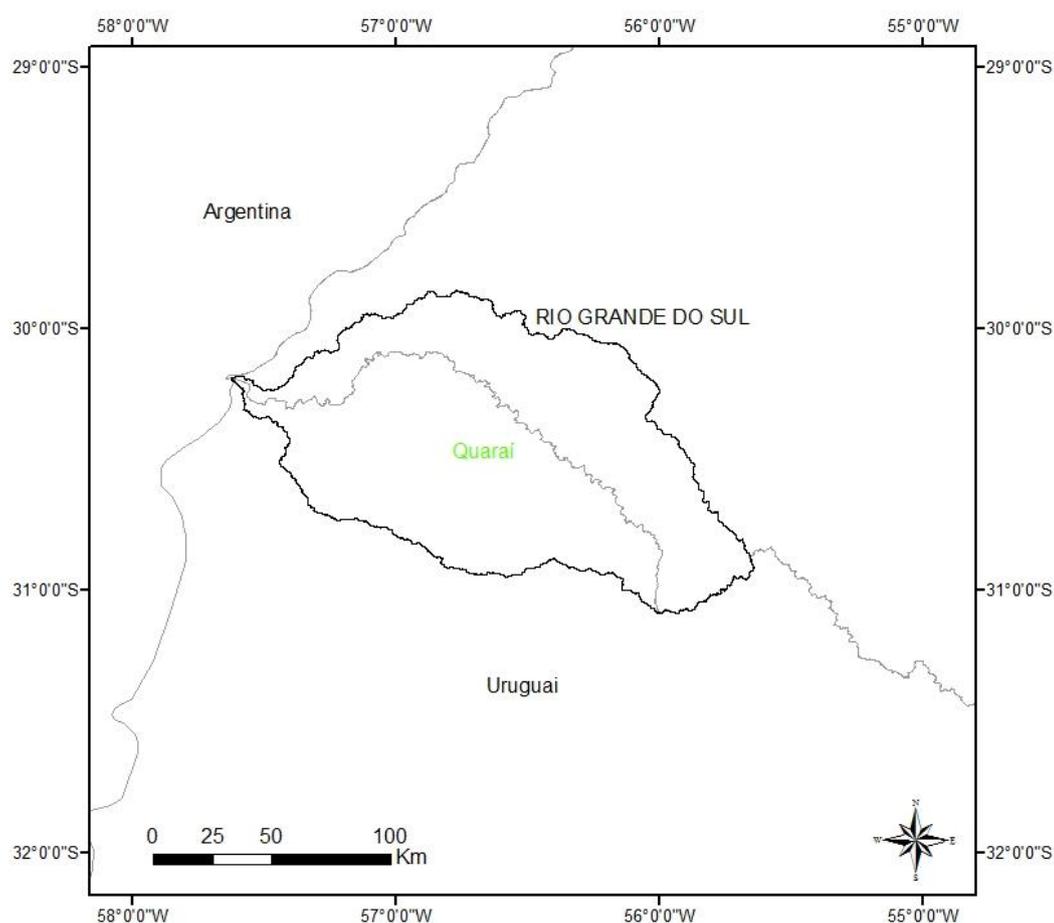


Figura 2 - Mapa de localização da bacia hidrográfica transfronteiriça do Rio Quaraí/Cuareím na fronteira do Brasil e do Uruguai. Fonte: ANA (2015)

Segundo Buffon (2008), em território brasileiro, a bacia hidrográfica do Rio Quaraí possui uma área aproximada de 6.701,02 Km<sup>2</sup>, e localiza-se ao oeste do Estado (RS), entre as coordenadas geográficas 29°50' e 31°05' de latitude Sul e 55°37' e 57°37' de longitude Oeste. A superfície da bacia engloba quatro municípios brasileiros: Barra do Quaraí, Quaraí, Santana do Livramento e Uruguaiana (Tabela 1).

Tabela 1 - População e superfície da bacia hidrográfica do Rio Quaraí

Município	Contagem da População 2007 IBGE			Área do município (Km <sup>2</sup> )	Área do município na Bacia (Km <sup>2</sup> )	% da área do município na bacia	% de população urbana na bacia	% da densidade de população rural na bacia
	Total	Urbana	Rural					
<b>Quaraí</b>	22552	20658	1894	3147,111	2059,089	65,42791	88,34623	14,76093
<b>Santana do Livramento</b>	83479	75338	8141	6949,477	2158,427	31,05883	-	28,73237
<b>Barra do Quaraí</b>	3776	2725	1051	1057,971	634,0582	59,93154	11,65377	24,36547
<b>Uruguiana</b>	123743	116261	7482	5709,537	1849,447	32,39224	-	32,14124

Fonte: **Buffon (2008)**

O Rio Quaraí é o curso d'água principal da bacia, delimitando a fronteira entre o Brasil e Uruguai e tem como principal efluente de despejo urbano a cidade de Quaraí e a montante a cidade de Barra do Quaraí (BUFFON, 2008). A origem do rio Quaraí é nas proximidades da vila de Masolle no Uruguai.

A bacia do Rio Quaraí sendo transfronteiriça, possui uma área total de 14.800 Km<sup>2</sup>, com 44% de seu território pertencendo ao Brasil e 56% de seu território pertencendo ao Uruguai. Tanto na área uruguaia como no lado brasileiro o principal uso da água desta bacia é a irrigação, especialmente na cultura do arroz, e a dessedentação de uma pecuária extensiva. A bacia tem uma definição da sazonalidade hidrológica, com tendência a seca no verão (o período de dezembro a fevereiro), entretanto, nesse período a precipitação média pode ser elevada, quando comparada a outras bacias. As inundações constantes, particularmente nas áreas urbanas ribeirinhas ao rio Quaraí, são o principal problema relacionado a recursos hídricos atualmente, assim como o lançamento de esgoto doméstico e conflitos pelo uso da água. A baixa vazão e a alta demanda d'água para irrigação de lavouras de arroz ocasiona a escassez hídrica, sendo necessária à utilização de pequenos açudes para a irrigação (COLLISCHONN, 2011).



Figura 3 - Bacia hidrográfica do Rio Quaraí. Fonte: ANA (2015)

### 3.1.2 Estação fluviométrica

A estação fluviométrica (código 77500000) de onde foram utilizados os dados da bacia estudada está localizada no município de Quaraí sob as coordenadas  $30^{\circ} 23' 11''$  de latitude sul e  $56^{\circ} 27' 35''$  de longitude oeste como mostra na Figura 4.

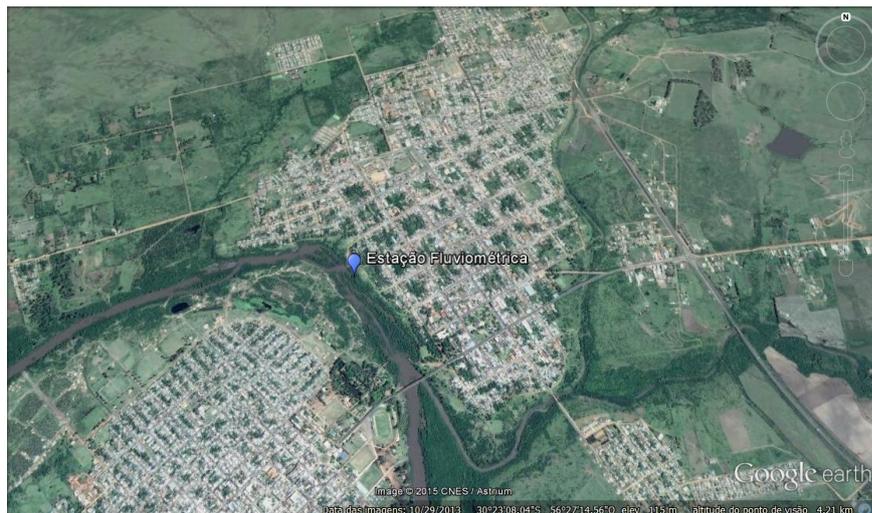


Figura 4 - Localização da estação fluviométrica no município de Quaraí. Fonte: Google Earth 2015

Os dados utilizados no trabalho, são de um ponto do rio, em que foram elaborados a partir de campanhas de medição pela equipe de Hidrologia do Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Esse ponto é próximo à estação fluviométrica e sedimentométrica monitorada pela CPRM em parceria com a Agência Nacional das Águas.

### 3.2 Determinação da descarga sólida em suspensão

Para determinar as curvas-chave a partir dos diferentes modelos optou-se por utilizar uma planilha no software Microsoft Excel. Os dados foram organizados randomicamente conforme os procedimentos estatísticos descritos por Rasmussen et al. (2009).

As descargas diárias de sedimentos em suspensão foram geradas a partir da série de dados diários de vazão líquida, utilizando curvas-chave de sedimentos traçadas para a estação, de acordo com as metodologias apresentadas na literatura (WALZON et al., 2005).

Para a obtenção das descargas sólidas em suspensão, utilizou-se a seguinte equação:

$$Q_{SS} = 0,0864 \cdot Q \cdot C_{SS} \quad (1)$$

onde:  $Q_{SS}$  = descarga sólida ou fluxo de sedimentos em suspensão (t/dia);  $Q$  = descarga líquida ou vazão ( $m^3/s$ );  $C_{SS}$  = concentração de sedimentos em suspensão (mg/L, ppm ou  $g/m^3$ ). A constante que aparece na Eq.1 é originada simplesmente pela conversão das unidades das variáveis envolvidas ( $Q_{SS}$ ;  $Q$  e  $C_{SS}$ ) num sistema coerente de medidas.

Os dados de vazão líquida,  $Q$  ( $m^3/s$ ), e concentração de sedimentos em suspensão,  $C_{SS}$  (mg/L), coletados pela CPRM entre 1997 a 2014, foram transformados em valores logarítmicos ( $\log Q$  com  $\log C_{SS}$ ) e em seguida obteve-se a curva chave de sedimentos, utilizando-se as séries de dados de  $C_{SS}$  e  $Q$  da estação Quaraí (77500000). Este conjunto de dados então foram graficado, sendo os valores de  $\log Q$  posicionados na abscissa e  $\log C_{SS}$  nas ordenadas. Em cada gráfico ajustou-se uma equação de regressão linear e uma de regressão polinomial para o conjunto de pontos e verificou-se os respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ). Para o cálculo do fluxo de sedimentos diário foi utilizada a equação 1.

Os resultados das análises foram expressos através das comparações entre os fluxos estimados e os valores observados do posto utilizado nesse trabalho (MERTEN et al, 2006; MERTEN, 2010). Para a escolha da equação de regressão, utilizou-se a equação conforme Walling & Webb (1988) sugeriram.

$$Di = \frac{\sum_i^N (q_{ss})_A - \sum_i^N (q_{ss})_M}{\sum_i^N (q_{ss})_M} \cdot 100 \quad (2)$$

onde:  $Di$  = representa a porcentagem das diferenças (%),  $\sum (q_{ss})_A$  = representa o somatório da  $q_{ss}$  estimada pela equação de ajuste da curva-chave de sedimentos (t),  $\sum (q_{ss})_M$  é o valor do somatório da  $q_{ss}$  calculada através dos dados de  $C_{ss}$  medidos (t).

Neste trabalho, também foi utilizado um fator de correção empregado para corrigir a tendência de subestimação dos valores determinados pela curva-chave devido a conversão de valores de escala logarítmica para aritmética, (FERGUSON, 1986; ASSELMAN, 2000; HOROWITZ, 2003; HOROWITZ et al. 2014). Existem diversas maneiras de reparar este erro, neste caso empregado-se o fator “*Smearing Factor*”, definido pela equação 3, conforme Duan (1983).

$$\sum (q_{ss})_{CC} = \sum (q_{ss})_A \frac{\sum_i^N \exp(ei)}{N} \quad (3)$$

onde:  $\sum (q_{ss})_{CC}$  é o valor resultante do somatório da  $q_{ss}$  estimada pela equação de ajuste da curva-chave de sedimentos (t) e corrigido pelo fator “*Smearing*”,  $\sum (q_{ss})_A$  é o valor resultante do somatório das  $q_{ss}$  estimada pela equação de ajuste da curva-chave de sedimentos (t) não corrigida e  $ei$  são os resíduos das diferenças entre os valores  $(q_{ss})_M$  e  $(q_{ss})_A$ .

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Determinação da curva-chave

A partir desta correção foram estimados os valores de fluxo de sedimentos diários por meio das quatro equações: 1) linear sem correção do smearing factor; 2) polinomial sem smearing factor; 3) linear com smearing factor e 4) polinomial com smearing factor. Os quatro diferentes resultados do fluxo de sedimentos em suspensão ( $Q_{ss}$ ) obtidos pelas equações, foram verificados em relação ao  $Q_{ss}$  resultante do cálculo com os dados de medição realizados pela CPRM. Foi calculado então, para cada fluxo estimado, um erro que consiste na diferença percentual entre valores estimados pelas equações testadas e o valor de fluxo de sedimentos medidos pela CPRM.

Após a sequência de cálculos, observou-se que todos os erros ficaram acima de 20%, que seria o erro aceitável conforme Sauer e Meyer, 1992; Horowitz, 2003, 2008, 2013 (Tabela 2). Outro fato observado foram os coeficientes de correlação ( $R^2$ ), onde  $R^2 = 0,3053$  (linear) e  $R^2 = 0,3657$  (polinomial) podem ser considerados muito baixos (Figura 5).

Tabela 2 - Informações referente aos erros de estimativa da  $C_{ss}$  baseado na curva-chave de sedimentos para modelos de ajuste linear e polinomial

Sem Smearing Factor		Com Smearing Factor	
Modelo Linear	Modelo Polinomial	Modelo Linear	Modelo Polinomial
%		%	
-69,48	-71,85	-67,04	-69,88

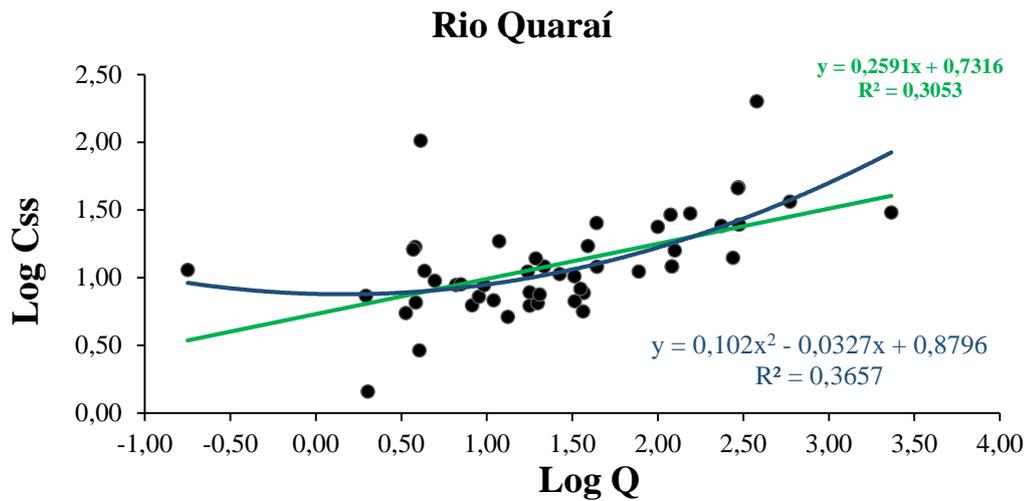


Figura 5 - Curvas-chaves de sedimentos

Na tentativa de melhorar o erro e aumentar o coeficiente de correlação, foram extraídos alguns pontos discrepantes (que consistiam em 2 pontos) do conjunto de dados de acordo com o procedimento descrito por Horowitz et al., 2014. Após essa etapa, os coeficientes de correlação foram superiores a 0,5 (linear e polinomial), apesar disso, o erro persistiu sendo superior a 20% (Tabela 3 e Figura 5).

Tabela 3 - Informações referente aos erros de estimativa da C<sub>ss</sub> baseado na curva-chave de sedimentos para modelos de ajuste linear e polinomial após a retirada de dados discrepantes.

Sem Smearing Factor		Com Smearing Factor	
Modelo Linear	Modelo Polinomial	Modelo Linear	Modelo Polinomial
%		%	
-71,75	-92,91	-75,14	-60,29

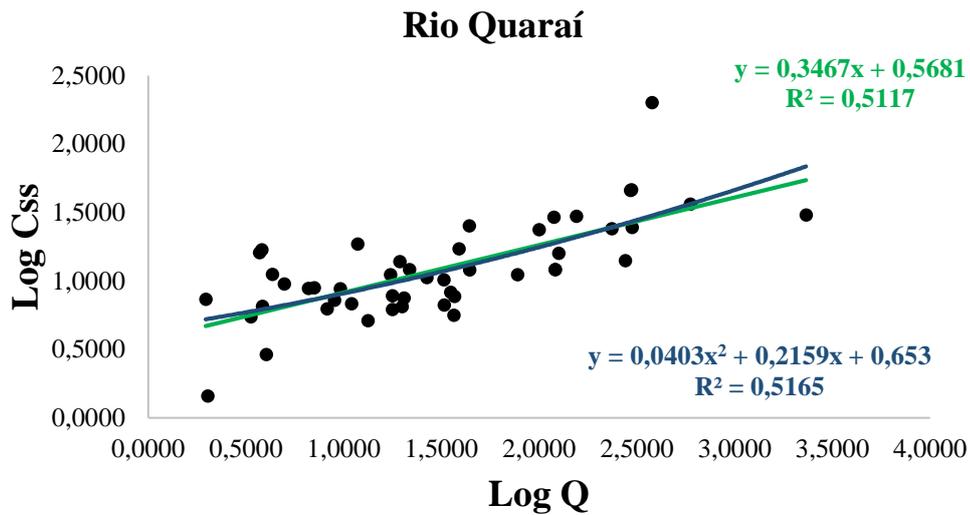


Figura 6 - Curvas-chaves de sedimentos após a retirada de dados discrepantes

Notou-se nos dados de concentração de sedimentos coletados (Apêndices A e B), que as amostragens se realizaram em sua maioria durante as baixas vazões ou depois que a onda de cheia passou, portanto, a concentração de sedimentos é muito baixa, sendo o máximo observado, em uma única vez durante dezessete anos, de 200 mg/L. Estudos na área em questão, mostram que dependendo da intensidade da chuva, a C<sub>ss</sub> pode variar bastante. Dessa forma, 200 mg/L pode ser considerada uma medida de alta vazão, portanto, o problema gerado no trabalho deve-se ao fato de poucos dados disponíveis, que os tornam de baixa confiabilidade. O ideal seria obter uma maior série de dados para que resultem em erros menores e aceitáveis. Entretanto, a medição de concentração de sedimentos em suspensão (C<sub>ss</sub>) feita pela equipe de Hidrologia da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM, ocorre, geralmente de maneira esporádica (poucos dias do ano), e, diversas vezes, em ocasiões de águas baixas (sendo que altos valores de C<sub>ss</sub> acontece no decorrer das cheias).

As coletas dos dados referentes aos valores de C<sub>ss</sub>, assim como as leituras da régua limimétrica, deveriam ser efetuadas diariamente por observadores nas estações hidrométricas (MERTEN et al. 2014). No impedimento dessa situação, o aumento da frequência de amostragens manuais da C<sub>ss</sub> seria uma opção. Com a finalidade de obter uma melhor representatividade da amostragem e otimizar o trabalho, faz-se necessário coletas durante grandes eventos, pois são nesses casos que ocorrem maiores fluxos de sedimentos, podendo variar de 70 a 90% (BICALHO, 2006). Contudo, a coleta de amostras durante a cheia é uma tarefa difícil de ser efetuada, por apresentar riscos durante a amostragem ou por dificuldade de deslocamento e logística da coleta (CARDOSO, 2012).

Conhecendo as contrariedades de medir manualmente e com a devida frequência, recorre-se o uso do turbidímetro como uma medida indireta (por ser dependente da execução de uma curva de ajuste entre o sinal de turbidez e da  $C_{ss}$ ) de  $C_{ss}$ .

É importante destacar que o uso do sensor de turbidez não substitui, de forma alguma, a necessidade de amostragens de sedimentos realizadas manualmente, o turbidímetro é um complemento para ausência de informações de  $C_{ss}$  durante as cheias que quase sempre são difíceis de serem medidas manualmente. Com isso, o obstáculo para obter uma grande série de dados é solucionado, podendo então apresentar resultados de boa confiabilidade.

## 5 DISCUSSÃO

### 5.1 Uso do turbidímetro para determinações da $C_{ss}$

O turbidímetro é um equipamento capaz de fazer leituras de forma automática, sem a necessidade de presença constante de um observador, além disso, é barato e simples de operar. O bom uso desse equipamento é extremamente importante para a obtenção de dados em escala temporal diária, pois permite calcular fluxos de sedimentos na mesma escala de tempo dos registros de vazões (Q). Com isso, torna-se uma técnica que deve ser amplamente empregada para estimativa de  $C_{ss}$ . O valor da turbidez, em época de cheia, é correlacionado com a  $C_{ss}$  e se obtém grandes séries de dados (MINELLA & MERTEN, 2011).

A base de funcionamento do turbidímetro está relacionado com o fenômeno de *espalhamento de luz*, onde a energia recebida por uma partícula em suspensão (argila, silte, matéria orgânica e entre outros) absorve luz incidente, irradiando-a em todas as direções (MERTEN et al., 2014).

Segundo Merten et al. (2014), existem algumas limitações para o uso do turbidímetro, com isso, gera-se uma necessidade de vencer essas restrições para obter dados confiáveis. O quadro a seguir é referente as principais limitações e possíveis soluções para o uso do turbidímetro.

Quadro 1 - Principais limitações do uso do turbidímetro juntamente com possíveis soluções.

<b>Uso do turbidímetro</b>	
<b>Principais limitações</b>	<b>Possíveis soluções</b>
O turbidímetro por estar fixo em uma seção de medição, os dados coletados por um sensor não consideram a variação natural da turbidez.	É possível recorrer a um ajuste a ser estabelecido entre o sinal de turbidez da posição onde o equipamento se encontra instalado com o sinal de turbidez médio representativo de uma seção de medição.
O sensor tem uma certa limitação para capturar sedimentos equivalentes à fração de areia.	Limitações do sensor referente à leitura dos sedimentos da fração de areia, ainda são de difícil solução.

É primordial a limpeza das lentes do sensor, para remoção de possíveis materiais que acumulam na lente podendo bloquear o sinal de turbidez.	A limpeza das lentes do sensor pode ocorrer facilmente quando, junto às lentes do sensor, são acoplados dispositivos automáticos de limpeza.
A calibração constante do aparelho é essencial para verificação do bom funcionamento.	Fazer a calibração frequente.

Fonte: Adaptado Merten et al. (2014)

### 5.1.1 O uso do sensor na bacia do rio Quaraí

Algumas considerações devem ser levadas em conta quando o assunto é o emprego do turbidímetro em rios. É importante conhecer as características do rio para a escolha do local onde deve ser instalado o equipamento. Para o processo de instalação do sensor, é recomendado acontecer junto à seção de medição de vazão e sedimentos de uma seção hidrométrica. A posição do turbidímetro na seção deve estar próxima à margem ou preso em pilares de pontes, em razão do fluxo de fluido e de possíveis danos ao equipamento. O tipo de equipamento empregado (nefelômetro, onde o detector está localizado a 90 graus da posição da fonte de luz, ou retro-espalhamento “*optical backscatter*”, onde detector está posicionado na mesma direção da emissão de luz) e as características do transporte em arraste, influencia na distância em relação ao leito (MERTEN et al. 2014).

Uma sugestão de local para implantar o sensor, é a ponte que liga os municípios de Quaraí-RS e Artigas-Uruguaí, como o rio é caracterizado como mata ciliar pouco densa, e obtendo baixo fluxo (rio calmo), possibilita de forma positiva a instalação do sensor. No entanto, a partir do momento em que o sensor é instalado próximo à margem, conseqüentemente estará localizado dentro da cidade de Quaraí-RS, podendo então, intercorrer furto do equipamento.

O procedimento, que tem sido satisfatório para a instalação de um turbidímetro, é adaptar o sensor dentro de um cano preto (diâmetro aproximado de 100 mm), no qual, tenha furos nas paredes na parte submersa do cano, para proporcionar uniformidade do escoamento no seu interior conforme a Figura 8 (MERTEN et al. 2014).

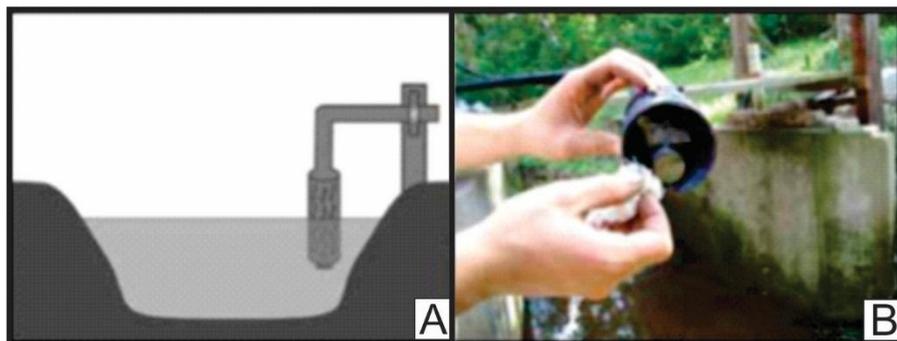


Figura 7 - Desenho ilustrativo de um exemplo de suporte para instalação de turbidímetros (A) e inspeção do sistema ótico (B). Fonte: **MERTEN et al. (2014)**

É conveniente, durante a instalação, levar em consideração a limpeza das lentes e a calibração. Desse modo, a posição do sensor deve estar de maneira que seja possível o recolhimento do mesmo para tais funções.

Com intuito de evitar possíveis interferências no sinal de turbidez, a parte das janelas de emissão e recepção do sinal do sensor, precisam estar alguns milímetros de distância do cano de proteção. Para que isso ocorra, basta manter o sensor no centro do duto.

Geraldes (1984), analisando a correlação entre absorção de luz por partículas suspensas e a concentração destas partículas, em diversas classes granulométricas, notou que o sinal de turbidez diminui com o aumento do tamanho das partículas. Dessa forma, o rio Quaraí por ser classificado como não rochoso, propicia que os dados coletados sejam mais precisos, tornando-os então, confiáveis. Todavia, a estimativa da  $C_{ss}$  deve ser utilizada com cautela, exigindo a calibração do sensor, assim como a definição de uma equação de regressão para converter o sinal medido em valores de  $C_{ss}$  (RODRIGUES, 2011).

De acordo com Merten et al. (2014), a calibração do turbidímetro tem como finalidade analisar a efetividade do equipamento em representar a variação na turbidez da amostra, permitindo a transformação da unidade de leitura do sensor mV (mili-volts) para unidades de turbidez NTU (Nefelometric Turbidity Unit) ou FTU (Formazine Turbidity Unit) de forma consistente. A calibração é feita com soluções padrões em diferentes concentrações, sendo as mais utilizadas: Formazina comercial; Formazina em suspensão estabilizada; suspensão de partículas formada por polímeros submicron (solução importada).

A formazina comercial é de pouca estabilidade e nociva à saúde (cancerígena), entretanto, possui a vantagem de ter menor custo e fácil acessibilidade de compra (BARROS, 2011). A solução de polímeros submicron apresenta alta qualidade, é mais precisa, possui um período de validade maior, e não é cancerígena (BARROS, 2011).

O método mais apropriado é o da calibração no local onde o aparelho se encontra instalado. A frequência de visitas à campo, para manutenção, não deve ser maior que intervalos de 15 dias, tendo como objetivo a limpeza do sensor com água destilada e material que não arranhe as janelas óticas. Entretanto, a manutenção do equipamento demandará mão de obra capacitada, resultando então, em uma vulnerabilidade do sensor instalado.

No decorrer das calibrações, é aconselhável o uso de frascos de cor preta e que a posição do sensor permaneça sempre na mesma distância do fundo e das laterais, ao menos 7 cm do fundo e 5 cm da parede lateral (MERTEN et al., 2014). É necessário o mergulho do sensor em água destilada quando há mudança de solução de calibração, evitando a contaminação da próxima solução. Outro aspecto a ser considerado, é o uso de uma haste (forma de L) para a eliminação de bolhas formadas na interface das janelas óticas.

A determinação da C<sub>ss</sub> é feita através da utilização de um conjunto de amostras de sedimentos com concentração conhecida, correlatada com o valor medido pelo turbidímetro (MINELLA, 2007) durante a época de coletas de amostras (MERTEN et al., 2014). Após esse processo, produz-se uma tabela para parear a C<sub>ss</sub> com o sinal de turbidez.

Merten et al. (2014) afirmam que para adquirir um conjunto de pares de pontos de C<sub>ss</sub> e turbidez adequados, é fundamental ocorrer visitas à seção durante dois anos, com intervalos de quinze dias. Portanto, é extremamente relevante que as amostragens sejam efetuadas durante os eventos de chuva, de forma que certifica que os valores de C<sub>ss</sub> interpretem satisfatoriamente o momento de subida e descida do nível do rio.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O fenômeno da erosão e o conseqüente transporte de sedimentos caracterizam-se como um acontecimento de grande complexidade física na região de estudo. Para a quantificação do transporte de sedimento obtiveram-se as curvas-chaves de sedimentos, onde a percentagem de erro aceitável (20%) foi ultrapassada. Esse fato pode ter ocorrido devido as poucas coletas terem sido realizadas em baixa vazão.

A pesquisa retratou medidas pouco superior a 0,5 o que levou a conclusão de que seus resultados, assim como os valores do erro, também destoam e mostram-se desfavoráveis. Entretanto, não em razão disso o trabalho perde importância, pois a partir de um olhar mais geral sobre a questão do transporte de sedimento na Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul, compreende-se a carência de aprofundamento nessa área de pesquisa.

Conhecendo as dificuldades de se coletar informações durante o período de cheias na bacia, a utilização do turbidímetro como medida indireta, torna-se um grande aliado quanto à necessidade de extração de dados referentes a turbidez da água durante o ciclo. O monitoramento da C<sub>ss</sub> com o sensor é prática de fácil execução e podem contribuir para um planejamento de ações mitigadoras do assoreamento de um rio. Contudo, a utilização de sensores é um procedimento complementar ao monitoramento e seus resultados devem ser autenticados com dados de amostragens, coletados em campo e verificados em laboratório, para condições pluviais e fluviais que possibilitarão, também, a avaliação do funcionamento e da calibração dos equipamentos.

Dada a relevância de um banco de dados confiável e completo, é preciso o apoio tanto do governo como das instituições acadêmicas brasileiras em razão do melhoramento do aprimoramento das técnicas laboratoriais que manuseiam os dados medidos. É importante haver um maior investimento nas estações fluviométricas já existentes, qualificando e incentivando o todas as pessoas comprometidas nas medições. O resultado de uma pesquisa científica não envolve somente o aluno que a realiza, mas também pessoas que trabalham desde o início do processo, coletando dados, processando-os em laboratórios, entre outras atividades.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Programa produtor de água: manual operativo**. 2ª ed. Brasília: 2012. Disponível em: <<http://produtordeagua.ana.gov.br>>. Acesso em: 24 de junho de 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Bacias Hidrográficas no Brasil**. Disponível em :< [http://www.aneel.gov.br/area.cfm?id\\_area=104](http://www.aneel.gov.br/area.cfm?id_area=104)>. Acesso em 21 de junho de 2015.

ALÉSIO, M.; PAIVA, E. M. C. D.; PAIVA, J. B. D. Produção de Sedimentos em Diferentes Escalas Espaço-Temporais de Duas Pequenas Bacias e um Lisímetro no Bioma Mata Atlântica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17, n. 4, 2012. p. 49-64.

ASSELMAN, N. E. M. Fitting and interpretation of sediment rating curves. **Journal of Hydrology**, v. 234, 2000. p.228-248.

BARROS, C. A. P. **Comportamento hidrossedimentológico de uma bacia hidrográfica rural utilizando técnicas de monitoramento e modelagem**. 2012. 180f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 2012.

BERNARDI, E. C. S. et al. Bacia Hidrográfica como Unidade de Gestão Ambiental. **Revista Disciplinarum Scientia**, v. 13, n. 2, 2012. p. 159-168.

BICALHO, C. C. **Estudo do transporte de sedimentos em suspensão na bacia do rio Descoberto**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH. DM-95/2006, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2006.

BUFFON, S. A. **Unidade de Assessoramento Ambiental**. Ministério Público do Rio Grande do Sul: n° 2799/2008. Disponível em: <[http://mprs.mp.br/areas/paibh/arquivos/diagnostico\\_dat\\_bacias\\_hidrograficas\\_quarai.pdf](http://mprs.mp.br/areas/paibh/arquivos/diagnostico_dat_bacias_hidrograficas_quarai.pdf)>. Acesso em 20 de Junho de 2015.

CARDOSO, A. T. **Estudo Hidrossedimentológico em três bacias embutidas no município de Rio Negrinho – SC**. 2013. 102f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

CARDOSO, A. T. et. al. Problemas na estimativa de sólidos em suspensão associados à elaboração da curva-chave para sensor de turbidez. In: **X Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos**, 2012.

CARVALHO, K. S.; PARANHOS, R. M.; PAIVA, J. B. D. Limitações ao uso da relação entre turbidez e concentração de sedimento em suspensão em duas pequenas bacias em Santa Maria, RS. In: **XXI Congresso Latino-Americano de Hidráulica**, São Paulo, 2004.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. 2ª edição; revisada; atual e ampliada, Rio de Janeiro – RJ: Interciência, 2008, 599 p.

COLLISCHONN, B. Modelagem Hidrológica de Uma Bacia com Uso Intensivo de Água: Caso do Rio Quaraí – RS. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 16 n.4 - Out/Dez 2011, 119-133.

DEPINÉ, H. et al. Transporte de Sedimentos em Suspensão em Áreas Agrícolas em Diferentes Escalas Espaciais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 16, n. 1: 2011. pp. 97-104.

DUAN, N. (1983). Smearing estimate: a nonparametric retransformation method. **Journal of American Statistical Society**, v. 78, p. 605-610.

FERGUSON, R. J. (1986). River loads underestimated by rating curves. **Water Resources Research**, v. 22, p. 74-76.

GERALDES, S.R. **Medidas de concentração de partículas suspensas por meio de absorção da luz**. Dissertação submetida a coordenação de Pós-Graduação em Engenharia da Universidade Federal de São Paulo, São Carlos, 1984, 100p.

HOROWITZ, A. J. An evaluation of sediment rating curves for estimating suspended sediment concentrations for subsequent flux calculation. **Hydrological Processes**, v. 17, 2003. p. 3387-3409.

\_\_\_\_\_. Determining annual suspended sediment and sediment-associated trace element and nutrient fluxes. **The Science of the Total Environment**, 400: 315–343. 2008.

\_\_\_\_\_. A review of selected inorganic water quality monitoring practices: are we really measuring what we think, and if so, are we doing it right? **Environmental Science and Technology**, 47: 2472–2486. 2013.

HOROWITZ, A.J; CLARKE, T.R; MERTEN, G.H. The effects of sample scheduling and sample numbers on estimates of the annual fluxes of suspended sediment in fluvial systems. **Hydrol. Process.** 2014. DOI 10.1007/s11368-013-0813-0.

LIMA, J. E. F. W. et al. (2011). Relação entre turbidez e concentração de sedimentos em suspensão em rios de uma bacia agrícola típica do cerrado: O caso da bacia experimental do Alto Rio Jardim, DF. **XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Disponível em: <[https://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/4c9fe3a57c4cd552505a858ea6f6cbe1\\_423f913b5d71a58807f5ab3c39c08603.pdf](https://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/4c9fe3a57c4cd552505a858ea6f6cbe1_423f913b5d71a58807f5ab3c39c08603.pdf)>. Acesso em 22 de Junho de 2015.

LOPES, V. L. **Um estudo da erosão e produção de sedimentos pelas chuvas**. Universidade Federal da Paraíba, 1980.

MACHADO, W.; STIPP, N.A.F. Caracterização do manejo de solo na microbacia hidrográfica do Ribeirão dos Apertados - PR. **Revista Geografia**, v. 20, n. 2, jul./dez. Londrina-PR, 2003.

MAIER, C. **Variabilidade intra-evento da origem das fontes de sedimentos em uma bacia hidrográfica rural**. 2013. 124f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS, 2013.

MARQUES, P. R. **Avaliação da Competitividade dos Sistemas de Produção de Bovinos de Corte da Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul**. 2010. 101f. Dissertação (Mestrado em Agronegócios) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

MERTEN, G. H. **How to Calculate Suspended Sediment Flux**. Rating Course, 2010. (Comunicação pessoal).

\_\_\_\_\_. **Rede de Monitoramento e Coleta de Amostras**. In: MERTEN, G. H. & POLEDO, C. (Orgs) **Qualidade dos Sedimentos**. Porto Alegre: ABRH, 2006.

MERTEN, G. H. et al. **Determinação da concentração de sedimentos em suspensão em rios com o uso de turbidímetro**. Porto Alegre: Ufrgs, 2014. 97 p.

MERTEN, G. H. et al. Considerações sobre a utilização da curva-chave para determinação de fluxo de sedimentos. **Anais VII ENES**, 2006.

MINELLA, J. P. G. **Utilização de técnicas hidrossedimentométricas combinadas com a identificação de fontes de sedimentos para avaliar o efeito do uso e manejo do solo nos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica rural no Rio Grande do Sul**. 2007. 172f. Tese

(Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H. Monitoramento de bacias hidrográficas para identificar fontes de sedimentos em suspensão. **Revista Ciência Rural**, v.41, n. 3: pp. 424-432, mar., 2011.

MINELLA, J. P. G. et al. Identificação e implicações para a conservação do solo das fontes de sedimentos em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira Ciência do Solo, Viçosa – MG**, v. 31, n. 6, 2007. pp. 1637-1646.

MORGAN, R. P. C. **Soil Erosion and Conservation**. Blackwell, Oxford, 304 p., 2005.

PIRES, F. R.; SOUZA, C. M. **Práticas Mecânicas de Conservação do Solo e da Água**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2013.

PORTERFIELD, G. **Computation of fluvial-sediment discharge**. 2<sup>nd</sup>. Ed. Washinton: United States Geological Survey. 66 p. 1977.

PORTO, M. F. A; PORTO, R. L. L. **Gestão de bacias hidrográficas**. Estudos Avançados, v.22, p.43-60, 2008. Disponível em:<  
[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-40142008000200004](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142008000200004)>.  
Acesso em 21 de junho de 2015.

RAMOS, F. T. et al. Erosão por salpicamento sob diferentes sistemas de manejo em um neossolo quartzarênico em Cáceres (MT). **Global Science and Technology**, v. 04, n. 01, p.38-50, jan/abr. 2011.

RASMUSSEN, P.P. et al. Guidelines and procedures for computing time-series suspended-sediment concentration and loads from in stream turbidity sensor and streamflow data. **U.S. Geological Survey Techniques and Methods 3-C4**, 2009.

RIBAS, R. J.; MASSUQUETTI, A. A Pecuária de corte gaúcha: Uma análise dos principais sistemas de produção. In: **47º Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural**, Porto Alegre, 2009.

RICKSON, R.J. Management of sediment production and prevention in river catchments: a matter of scale? In: OWENS, P.N.; COLLINS, A.J. (eds) **Soil Erosion and Sediment Redistribution in River Catchments: measurement, modeling and management**. Wallingford: CAB International, p. 228-238. 2006.

RODRIGUES, M. F. **Monitoramento e Modelagem dos Processos Hidrossedimentológicos em Bacias Hidrográficas Florestais no Sul do Brasil**. 2011, 208f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 2011.

SAUER V.B.; MEYER, R. W. 1992. Determination of error in individual discharge measurements. **U.S. Geological Survey Open-file Report**, 92-144: 21 pp.

SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E. Redução do desprendimento das partículas do solo mediante uso de resíduos vegetais de origem urbana. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 3, p. 531-534, 2002.

SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P. B. **Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas**. 2. ed. Rima, 2007.

SOSBAI. Arroz Irrigado - Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil. In: **XXX Reunião técnica da Cultura do Arroz Irrigado**, Bento Gonçalves - RS, 2014.

STROOSNIJDER, L. Measurement of erosion: is it possible? **Catena**, v.64, nº 2-3, p.162-173, 2005.

TELLES, T. S. T.; Os Custos da Erosão do Solo. In: **48º Congresso SOBER 2010**, Campo Grande, 2010.

TEODORO, V. L. I. et al. O Conceito De Bacia Hidrográfica e a Importância da Caracterização Morfométrica para o Entendimento da Dinâmica Ambiental Local . **Revista Uniara**, n. 20. 2007.

WALLING, D. E. The sediment delivery problem. **Journal of Hydrology**, v. 65, p. 209-237. 1983.

WALLING, D. E.; WEBB, B. W. (1988). **The reability of rating curve estimates of suspended sediment yield: some further comments**. In: Sediment Budgets, Bordas, M. P., Walling, D. E. (eds). IAHS Publications No 174. Wallingford: IAHS Press. P. 337-350.

WALZON, T. A. L. et al. Análise do Fluxo de Sedimentos em Suspensão na Bacia do Rio Iguaçu. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 2005.

## **APÊNDICES**

### APÊNDICE A - Curva-chave rio Quaraí 1997-2014

Data medição líquida	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Css (mg/l)	Log Q	Log (Css)	Fluxo de Sed. (T/dia)	Estimativa Css log linear
14/05/1997	2,02	1,44	0,31	0,16	0,25	0,81
13/08/1997	17,8	6,19	1,25	0,79	9,52	1,06
21/11/1997	44,1	11,99	1,64	1,08	45,68	1,16
13/02/1998	121	12,05	2,08	1,08	125,98	1,27
13/02/1998	121	12,05	2,08	1,08	125,98	1,27
17/05/1998	276	14,01	2,44	1,15	334,09	1,36
19/08/1998	20,4	7,48	1,31	0,87	13,18	1,07
13/11/1998	3,36	5,47	0,53	0,74	1,59	0,87
10/02/1999	36,9	7,68	1,57	0,89	24,49	1,14
13/05/1999	7,07	8,91	0,85	0,95	5,44	0,95
19/08/1999	9,62	8,75	0,98	0,94	7,27	0,99
10/11/1999	1,97	7,32	0,29	0,86	1,25	0,81
16/02/2000	44	25,23	1,64	1,4	95,91	1,16
13/06/2000	299	24,57	2,48	1,39	634,73	1,37
08/09/2000	13,3	5,11	1,12	0,71	5,87	1,02
01/12/2000	39	17,12	1,59	1,23	57,69	1,14
24/05/2001	236	24,03	2,37	1,38	489,98	1,35
30/08/2001		8,26	1,55	0,92	25,19	1,13
20/11/2001	21,7	12,05	1,34	1,08	22,59	1,08
06/02/2002	19,4	13,84	1,29	1,14	23,2	1,07
29/05/2002	379	200,07	2,58	2,3	6551,41	1,4
22/08/2002	594	36,29	2,77	1,56	1862,46	1,45
23/11/2002	294	45,74	2,47	1,66	1161,87	1,37
07/03/2003	297	46,36	2,47	1,67	1189,63	1,37
09/07/2003	77,6	11,06	1,89	1,04	74,15	1,22
08/10/2003	36,6	5,62	1,56	0,75	17,77	1,14
06/07/2004	126	15,88	2,1	1,2	172,88	1,28
06/10/2004	32,7	6,67	1,51	0,82	18,84	1,12
26/11/2004	4,97	9,48	0,7	0,98	4,07	0,91
31/07/2006	19,9	6,48	1,3	0,81	11,14	1,07
15/12/2006	3,82	16,82	0,58	1,23	5,55	0,88
31/03/2007	119	29,07	2,08	1,46	298,89	1,27
23/08/2007	99,9	23,68	2	1,37	204,39	1,25
06/12/2007	3,71	16,08	0,57	1,21	5,15	0,88
26/06/2008	32,6	10,19	1,51	1,01	28,7	1,12
09/10/2008	8,22	6,23	0,91	0,79	4,42	0,97
20/05/2009	3,85	6,53	0,59	0,82	2,17	0,88
25/11/2009	2320	30,24	3,37	1,48	6061,55	1,6
29/03/2010	6,61	8,82	0,82	0,95	5,04	0,94
01/03/2011	4,32	11,17	0,64	1,05	4,17	0,9
16/05/2011	11,8	18,54	1,07	1,27	18,9	1,01
04/08/2011	155	29,67	2,19	1,47	397,34	1,3
19/10/2011	26,7	10,58	1,43	1,02	24,41	1,1
28/01/2012	0,18	11,4	-0,75	1,06	0,18	0,54
23/04/2012	17,4	11,1	1,24	1,05	16,69	1,05
25/07/2012	4,03	2,9	0,61	0,46	1,01	0,89
10/06/2013	17,8	7,8	1,25	0,89	12	1,06
19/10/2013	9	7,2	0,95	0,86	5,6	0,98
30/01/2014	4,1	102,5	0,61	2,01	36,31	0,89
10/06/2014	11	6,8	1,04	0,83	6,46	1
<b>Fluxo total</b>					<b>20253</b>	

Smearing factor linear	Estimativa Css modelo linear (mg/l)	Fluxo de Sed. Modelo linear (t/dia)	Fluxo de Sed. Modelo linear aplicando Smearing factor (t/dia)	Estimativa Css log Polinomial
0,22	18,67	3,26	3,52	0,88
0,54	6,43	9,88	10,67	1
0,83	7,38	28,11	30,36	1,1
0,65	12,62	131,98	142,54	1,25
0,65	11,77	123,09	132,94	1,25
0,61	7,64	182,27	196,85	1,41
0,64	22,2	39,14	42,27	1,01
0,74	13,73	3,99	4,3	0,89
0,56	8,95	28,52	30,81	1,08
1	11,37	6,94	7,5	0,93
0,9	17,77	14,77	15,95	0,95
1,14	11,96	2,04	2,2	0,88
1,76	13,7	52,08	56,25	1,1
1,04	11,62	300,23	324,25	1,42
0,48	14,38	16,52	17,84	0,97
1,23	8,17	27,52	29,72	1,09
1,08	13,57	276,73	298,87	1,38
0,61	23,5	71,69	77,42	1,07
1,01	28,2	52,88	57,11	1,02
1,19	6,47	10,84	11,71	1,01
7,97	10,54	345,1	372,71	1,47
1,29	13,93	714,73	771,91	1,57
1,95	1	25,4	27,43	1,42
1,97	16,64	427,1	461,27	1,42
0,66	13,29	89,14	96,27	1,18
0,41	23,61	74,65	80,62	1,08
0,84	13,31	144,85	156,43	1,26
0,5	11,7	33,05	35,7	1,06
1,16	23,57	10,12	10,93	0,91
0,55	7,63	13,12	14,16	1,01
2,21	7,57	2,5	2,7	0,9
1,56	14,37	147,73	159,55	1,25
1,33	18,87	162,89	175,92	1,22
2,12	18,59	5,96	6,44	0,89
0,77	9,69	27,29	29,48	1,06
0,67	8,79	6,24	6,74	0,94
0,85	18,67	6,21	6,71	0,9
0,75	11,3	2264,79	2445,97	1,92
1	23,12	13,21	14,26	0,92
1,42	3,45	1,29	1,39	0,9
1,81	7,77	7,92	8,55	0,96
1,49	9,3	124,59	134,56	1,3
0,84	40,14	92,6	100,01	1,04
3,31	7,73	0,12	0,13	0,96
0,98	9,52	14,32	15,46	1
0,37	10,22	3,56	3,84	0,9
0,69	10,03	15,43	16,66	1
0,76	11,37	8,84	9,54	0,94
13,19	25,1	8,89	9,6	0,9
0,68	7,88	7,48	8,08	0,96
<b>Σ 54,11</b>	<b>Fluxo total</b>	<b>6182</b>	<b>6676</b>	

**Σ 54,11/50 =1,08**

Smearing factor Polinomial	Estimativa Css modelo polinomial (mg/l)	Fluxo de Sed. Modelo polinomial (t/dia)	Fluxo Sed. Modelo poli aplicando Smearing (t/dia)
0,19	17,95	3,13	3,35
0,62	7,57	11,63	12,45
0,95	7,77	29,62	31,69
0,67	10,98	114,77	122,8
0,67	10,27	107,4	114,92
0,55	7,86	187,43	200,55
0,73	23,79	41,93	44,86
0,7	11,99	3,48	3,72
0,64	8,42	26,85	28,73
1,06	9,96	6,08	6,51
0,99	16,67	13,86	14,83
0,97	10,43	1,77	1,9
2	11,96	45,48	48,66
0,93	10,15	262,32	280,68
0,55	12,64	14,52	15,54
1,41	8,06	27,16	29,06
1,01	11,84	241,42	258,31
0,7	26,32	80,28	85,9
1,16	37,47	70,25	75,17
1,36	7,57	12,69	13,58
6,72	9,37	306,78	328,26
0,97	12,18	625,29	669,06
1,74	1	25,4	27,18
1,75	15,21	390,28	417,6
0,73	11,58	77,63	83,07
0,47	26,53	83,91	89,78
0,87	11,59	126,16	134,99
0,58	10,21	28,86	30,88
1,18	26,45	11,36	12,15
0,63	7,85	13,5	14,45
2,14	7,84	2,59	2,77
1,63	12,63	129,84	138,93
1,42	18,23	157,39	168,41
2,05	17,83	5,72	6,12
0,88	8,83	24,88	26,62
0,72	8,34	5,93	6,34
0,83	17,95	5,97	6,39
0,36	9,91	1986,14	2125,17
1,06	25,56	14,6	15,62
1,41	9,15	3,42	3,65
2,02	7,9	8,06	8,62
1,5	8,61	115,32	123,39
0,96	84,11	194,03	207,62
1,25	7,89	0,12	0,13
1,12	8,74	13,13	14,05
0,37	9,16	3,19	3,41
0,78	9,04	13,9	14,88
0,82	9,96	7,74	8,29
12,97	29,75	10,54	11,28
0,75	7,94	7,55	8,08
<b>Σ 53,35</b>	<b>Fluxo total</b>	<b>5701</b>	<b>6100</b>
<b>Σ 53,35/50 = 1,07</b>			

**APÊNDICE B- Curva-chave rio Quaraí 1997-2014 – sem pontos discrepantes**

<b>Data medição líquida</b>	<b>Vazão (m³/s)</b>	<b>Css (mg/l)</b>	<b>Log Q</b>	<b>Log (Css)</b>	<b>Fluxo de Sed. (t/dia)</b>	<b>Estimativa Css log linear</b>
14/05/1997	2,02	1,44	0,31	0,16	0,25	0,67
13/08/1997	17,8	6,19	1,25	0,79	9,52	1
21/11/1997	44,1	11,99	1,64	1,08	45,68	1,14
13/02/1998	121	12,05	2,08	1,08	125,98	1,29
13/02/1998	121	12,05	2,08	1,08	125,98	1,29
17/05/1998	276	14,01	2,44	1,15	334,09	1,41
19/08/1998	20,4	7,48	1,31	0,87	13,18	1,02
13/11/1998	3,36	5,47	0,53	0,74	1,59	0,75
10/02/1999	36,9	7,68	1,57	0,89	24,49	1,11
13/05/1999	7,07	8,91	0,85	0,95	5,44	0,86
19/08/1999	9,62	8,75	0,98	0,94	7,27	0,91
10/11/1999	1,97	7,32	0,29	0,86	1,25	0,67
16/02/2000	44	25,23	1,64	1,4	95,91	1,14
13/06/2000	299	24,57	2,48	1,39	634,73	1,43
08/09/2000	13,3	5,11	1,12	0,71	5,87	0,96
01/12/2000	39	17,12	1,59	1,23	57,69	1,12
24/05/2001	236	24,03	2,37	1,38	489,98	1,39
30/08/2001	35,3	8,26	1,55	0,92	25,19	1,1
20/11/2001	21,7	12,05	1,34	1,08	22,59	1,03
06/02/2002	19,4	13,84	1,29	1,14	23,2	1,01
29/05/2002	379	200,07	2,58	2,3	6551,41	1,46
22/08/2002	594	36,29	2,77	1,56	1862,46	1,53
23/11/2002	294	45,74	2,47	1,66	1161,87	1,42
07/03/2003	297	46,36	2,47	1,67	1189,63	1,43
09/07/2003	77,6	11,06	1,89	1,04	74,15	1,22
08/10/2003	36,6	5,62	1,56	0,75	17,77	1,11
06/07/2004	126	15,88	2,1	1,2	172,88	1,3
06/10/2004	32,7	6,67	1,51	0,82	18,84	1,09
26/11/2004	4,97	9,48	0,7	0,98	4,07	0,81
31/07/2006	19,9	6,48	1,3	0,81	11,14	1,02
15/12/2006	3,82	16,82	0,58	1,23	5,55	0,77
31/03/2007	119	29,07	2,08	1,46	298,89	1,29
23/08/2007	99,9	23,68	2	1,37	204,39	1,26
06/12/2007	3,71	16,08	0,57	1,21	5,15	0,77
26/06/2008	32,6	10,19	1,51	1,01	28,7	1,09
09/10/2008	8,22	6	0,9149	0,7945	4	0,8853
20/05/2009	3,85	6,53	0,59	0,82	2,17	0,77
25/11/2009	2320	30,24	3,37	1,48	6061,55	1,73
29/03/2010	6,61	9	0,8202	0,9453	5	0,8525
01/03/2011	4,32	11,17	0,64	1,05	4,17	0,79
16/05/2011	11,8	18,54	1,07	1,27	18,9	0,94
04/08/2011	155	30	2,1903	1,4723	397	1,3275
19/10/2011	26,7	10,58	1,43	1,02	24,41	1,06
23/04/2012	17,4	11,1	1,24	1,05	16,69	1
25/07/2012	4,03	2,9	0,61	0,46	1,01	0,78
10/06/2013	17,8	7,8	1,25	0,89	12	1
19/10/2013	9	7,2	0,95	0,86	5,6	0,9
10/06/2014	11	6,8	1,04	0,83	6,46	0,93
<b>Fluxo total</b>					<b>20217</b>	

Smearing factor linear	Estimativa Css modelo linear (mg/l)	Fluxo de Sed. Modelo linear (t/dia)	Fluxo de Sed. Modelo linear aplicando Smearing factor (t/dia)	Estimativa Css log Polinomial
0,31	19,51	3,4	3	0,59
0,62	4,68	7,2	6,33	0,45
0,87	5,63	21,46	18,88	0,41
0,62	11,55	120,77	106,28	0,39
0,62	10,52	110,01	96,81	0,39
0,54	5,9	140,77	123,88	0,38
0,71	24,59	43,34	38,14	0,44
0,97	12,92	3,75	3,3	0,55
0,59	7,29	23,23	20,45	0,42
1,22	10,04	6,13	5,4	0,5
1,08	18,25	15,17	13,35	0,48
1,56	10,75	1,83	1,61	0,59
1,84	12,89	48,99	43,11	0,41
0,92	10,34	267,16	235,1	0,38
0,56	13,75	15,8	13,9	0,46
1,3	6,45	21,73	19,12	0,42
0,98	12,73	259,5	228,36	0,38
0,65	26,54	80,94	71,23	0,42
1,12	33,87	63,5	55,88	0,44
1,34	4,72	7,91	6,96	0,45
6,9	9,07	297,09	261,44	0,38
1,07	13,17	676,12	594,98	0,38
1,72	1	25,4	22,35	0,38
1,74	16,72	429,13	377,63	0,38
0,66	12,38	83,01	73,05	0,4
0,44	26,69	84,41	74,28	0,42
0,8	12,39	134,92	118,73	0,39
0,54	10,43	29,48	25,94	0,42
1,47	26,63	11,44	10,06	0,52
0,62	5,89	10,12	8,91	0,45
2,86	5,83	1,92	1,69	0,54
1,5	13,74	141,24	124,29	0,39
1,3	19,78	170,76	150,27	0,39
2,76	19,4	6,22	5,47	0,54
0,82	8,11	22,84	20,1	0,42
0,81134	7	5	4	0,4915
1,11	19,51	6,49	5,71	0,54
0,56	9,96	1996,18	1756,64	0,41
1,23839	26	15	13	0,5048
1,82	6	2,24	1,97	0,53
2,13	28,98	29,55	26	0,47
1,39582	8	103	90	0,3864
0,92	54,31	125,3	110,26	0,43
1,11	7,92	11,91	10,48	0,45
0,48	8,7	3,03	2,67	0,54
0,78	8,49	13,06	11,5	0,45
0,91	10,04	7,81	6,87	0,49
0,8	6,14	5,84	5,14	0,47
<b>Σ 42,46</b>	<b>Fluxo total</b>	<b>5711</b>	<b>5026</b>	

$$\Sigma 42,46/48 = 0,88$$

Smearing factor polinomial	Estimativa Css modelo poli(mg/l)	Fluxo de sed. Modelo polinomial (t/dia)	Fluxo sed. Modelo poli aplicando smearing (t/dia)
0,37	2,45	0,43	2,4
2,19	3,92	6,03	33,75
4,62	3,56	13,56	75,93
4,91	2,71	28,3	158,49
4,91	2,78	29,06	162,74
5,81	3,48	82,94	464,46
2,69	2,41	4,26	23,83
1,54	2,63	0,76	4,28
2,92	3,17	10,1	56,54
2,81	2,82	1,72	9,65
2,88	2,47	2,06	11,51
1,87	2,76	0,47	2,63
9,72	2,63	10,01	56,07
10,19	2,79	72,19	404,25
1,75	2,6	2,98	16,7
6,53	3,34	11,25	62,99
9,95	2,64	53,86	301,62
3,13	2,41	7,35	41,17
4,36	2,43	4,55	25,48
4,95	3,9	6,54	36,61
82,98	2,92	95,46	534,58
14,96	2,62	134,48	753,06
18,98	1	25,4	142,25
19,23	2,5	64,24	359,76
4,42	2,66	17,83	99,84
2,13	2,41	7,62	42,68
6,48	2,66	28,94	162,08
2,51	2,79	7,87	44,09
2,84	2,41	1,03	5,8
2,33	3,48	5,99	33,53
4,83	3,5	1,16	6,47
11,84	2,6	26,69	149,47
9,58	2,45	21,15	118,44
4,59	2,46	0,79	4,41
3,83	3,04	8,55	47,89
2,00918	3	2	13
1,88	2,45	0,82	4,57
11,67	2,83	566,69	3173,44
2,75724	2	1	8
3,27	3,45	1,29	7,22
6,27	2,41	2,46	13,77
12,18752	3	42	233
3,91	2,59	5,98	33,47
3,93	3,06	4,6	25,79
0,84	2,96	1,03	5,77
2,77	2,98	4,59	25,7
2,35	2,82	2,19	12,28
2,28	3,41	3,24	18,17
<b>Σ 268,93</b>	<b>Fluxo total</b>	<b>1434</b>	<b>8029</b>
<b>Σ 268,93/48 = 5,60</b>			