

**UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS DE GESTÃO
AMBIENTAL PARA A MELHORIA DA QUALIDADE
DO RIO CUBATÃO (SANTA CATARINA)**

Daniel Lídio Pereira do Sacramento

Professora Nadia Bernardi Bonumá
Orientadora

2015/1



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E
AMBIENTAL**

Daniel Lídio Pereira do Sacramento

**UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS DE GESTÃO AMBIENTAL
PARA A MELHORIA DA QUALIDADE DO RIO CUBATÃO
(SANTA CATARINA)**

Trabalho submetido à Banca Examinadora
como parte dos requisitos para Conclusão do
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e
Ambiental.

Orientador: Professora Dra. Nadia Bernardi
Bonumá.

Florianópolis / SC
2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E
AMBIENTAL

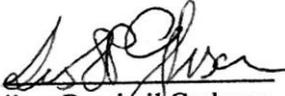
UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS DE GESTÃO AMBIENTAL
PARA A MELHORIA DA QUALIDADE DO RIO CUBATÃO
(SANTA CATARINA)

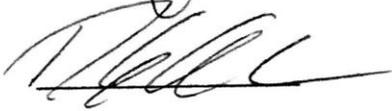
DANIEL LÍDIO PEREIRA DO SACRAMENTO

Trabalho submetido à Banca Examinadora como
parte dos requisitos para Conclusão do Curso de
Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental
– TCC II.

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. Nadia Bernardi Bonumá
(Orientadora)


Eng. Dr. Luis Hamilton Pospissil Garbossa


Eng. Rodrigo Sulzbach Chiesa

FLORIANÓPOLIS
AGOSTO/2015

“Imaginação é mais importante que conhecimento. Conhecimento é limitado para tudo que sabemos e entendemos, enquanto imaginação envolve o mundo inteiro, e tudo aquilo que há para saber e entender.”

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, irmã e sobrinha: Eduardo, Marisa, Juliana e Isabella. Pelo apoio, incentivo e carinho por todos estes anos, iluminando meu caminho e me acompanhando. Vocês são meus exemplos.

À minha orientadora, pela ajuda, compreensão e palavras de encorajamento ao longo da trajetória deste trabalho.

Ao Luis, membro da minha banca, pelos dados cedidos e apoio.

Aos membros da banca pelas devidas contribuições.

Aos funcionários da ETA Morro dos Quadros e das empresas de extração de areia, por ceder os dados necessários, tornando este trabalho possível.

A Vanessa, que disponibilizou dados hidrológicos da CASAN.

Aos profissionais que conheci e convivi ao longo da faculdade, que de alguma forma, contribuíram para a minha formação tanto profissional como pessoal.

Aos meus amigos, pelas histórias e por estarem sempre ao meu lado.

Aos professores que tive o prazer de conviver, pois me deram a oportunidade de crescer e aprender.

RESUMO

Com a ocupação desordenada, retirada de camada vegetal e usos diversos do solo, a erosão em uma bacia hidrográfica acaba sendo intensificada. Isso pode acarretar em diversos problemas, como assoreamento de rios e aumento da turbidez, uma vez que as partículas sólidas provindas da erosão podem se deslocar até os cursos d'água. Além disso, extrações minerais também aumentam o aporte de sedimento dos rios.

Esse aumento da turbidez faz com que o custo do tratamento de água seja elevado, uma vez que será necessária uma maior quantidade de produtos químicos, tendo como finalidade obter água de boa qualidade para a população. O aumento da turbidez também acarretará numa maior manutenção dos filtros e adutoras na estação de tratamento de água.

Com isto em mente, o presente trabalho utilizou o modelo matemático SWAT como método de análise de cenário para a quantificação de sedimentos para a Bacia do Rio Cubatão Sul, localizada a 20 km do município de Florianópolis. O Rio Cubatão é utilizado para captação e tratamento da água para consumo humano, sendo ele de grande importância para a região.

Os resultados da modelagem matemática utilizando o SWAT foram empregados para analisar a Bacia do Rio Cubatão caso não houvessem extrações de areia na bacia. Para estipular um valor a ser utilizado como Pagamento de Serviços Ambientais (PSA) às extrações de areia que ocorrem na bacia, foram utilizados dados da sonda multiparâmetros que coletavam dados da turbidez do Rio Cubatão e Vargem do Braço, custos levantados pelo tratamento de água e também dos lucros obtidos pelas empresas que extraem areia na Bacia.

PALAVRAS-CHAVE: Sedimentos, SWAT, Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA).

ABSTRACT

The disorderly occupation, removal of vegetal layer and a variety of land uses, the erosion on a watershed ends up being intensified. This can result in many problems, like river silting and rise in turbidity, the solid particles that came from erosion can shift to watercourses.

This turbidity increase results in a more expensive water treatment, because it will need more chemicals to reach a good level of water quality for the population and ends up rising the costs of maintenance for filter and pipes in water treatment plants.

With that in mind, this work utilized the SWAT model for quantification of sediments in Rio Cubatão do Sul Watershed, located 20 kilometers from Florianópolis. Cubatão's River is used for water catchment for human needs.

SWAT's model results were used to analyze Rio Cubatão Watershed if there weren't sand dredgers on the watershed. To determine a value to be used as Payment for Environmental Services for the sand dredging that occurs in the watershed, turbidity data from a multiparameter probe operated by EPAGRI/CIRAM in Cubatão River and Vargem do Braço River were used, as also costs from water treatment and the profit made by sand dredging companies in the watershed.

KEYWORDS: Sediments, SWAT, Payment for Environmental Services.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de extração de areia em leito de rio.....	36
Figura 2 - Porcentagem de cada indicador e porcentagem de publicações por ano.....	38
Figura 3 - Mapa o Brasil com estados, números e indicadores das Bacias Hidrográficas modeladas pelo SWAT.....	39
Figura 4 - Fluxograma das atividades necessárias para o trabalho.....	51
Figura 5 - Relação entre a bacia gerada pelo SWAT e a Bacia do Rio Cubatão Sul.....	53
Figura 6 – Sub-bacias da área em estudo que foram traçadas.....	54
Figura 7 – Elevação da área em estudo.....	55
Figura 8 – Usos do solo da bacia.....	57
Figura 9 – Tipos de solo da bacia.....	59
Figura 10 - Localização dos pontos de extração de areia e sonda.....	60
Figura 11 - Fluxograma do uso do SWAT.....	63
Figura 12 - Valor dos gastos com e sem extração de areia, estimando o PSA.....	64
Figura 13 - Turbidez Diária Média.....	66
Figura 14 - Turbidez Horária Média.....	67
Figura 15 - Localização da sonda multiparâmetros em 2012, ainda em operação.....	68
Figura 16 - Local onde a sonda ficava localizada (2015).....	69
Figura 17 - Aspecto do Rio Cubatão Sul no dia da visita.....	70
Figura 18 - Aspecto do Rio Vargem do Braço no mesmo dia da foto anterior.....	70
Figura 19 – Resultado da vazão da primeira modelagem confrontados com valores da curva-chave e precipitação.....	72
Figura 20 – Análise de correlação entre a vazão modelada e da curva-chave.....	73
Figura 21 – Resultado de aporte de sedimentos na primeira modelagem confrontados com valores de precipitação.....	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Impactos ambientais da ocupação sobre o meio físico.....	31
Tabela 2 - Modelos e suas características.	34
Tabela 3 - Aplicações do SWAT encontrados na literatura.	37
Tabela 4 - Alguns estudos publicados no Brasil que utilizaram o SWAT.	40
Tabela 5 - Sumário da performance do SWAT.	42
Tabela 6 - Tipos de uso de solo e suas respectivas áreas e porcentagens.	56
Tabela 7 - Tipos de solo e suas respectivas áreas e porcentagens.	58
Tabela 8 - Dados necessários para a modelagem e suas fontes.	61
Tabela 9 - Quantidades e valores mensais de produtos utilizados pela CASAN.	75
Tabela 10 – Balanço de massa dos cenários estudados.	76
Tabela 11 - Quantidades e valores mensais de produtos utilizados pela CASAN no cenário sem extração de areia.	77
Tabela 12 – Diferença de custos entre cenários.	77
Tabela 13 - Quantidades e valores mensais de produtos utilizados e gerados pelas extrações de areia.	78

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE)	41
Equação 2 - Equação do balanço hídrico utilizado pelo SWAT.	62
Equação 3 - Balanço de massa entre vazões e turbidez.....	76

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
2	JUSTIFICATIVA	25
3	OBJETIVOS	27
3.1	OBJETIVO GERAL	27
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	27
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	29
4.1	PROCESSOS HIDROLÓGICOS	29
4.2	EROSÃO E SEDIMENTOS	29
4.2.1	Definições	29
4.2.2	Impactos Decorrentes da Erosão e Sedimentos	30
4.3	TURBIDEZ	31
4.4	MONITORAMENTO DE SEDIMENTOS E TURBIDEZ.....	32
4.5	MODELOS MATEMÁTICOS PARA HIDROSSEDIMENTOLOGIA	33
4.6	EXTRAÇÃO DE AREIA	35
4.7	SWAT	36
4.7.1	Aplicação do SWAT	36
4.7.2	Aplicação do SWAT no Brasil	37
4.7.3	Performance do SWAT	41
4.8	PAGAMENTOS POR SERVIÇOS AMBIENTAIS 42	
4.8.1	Exemplos de PSA no Brasil	42
4.8.2	Legislação Estadual	44
5	METODOLOGIA.....	51
5.1	DESCRIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO	51
5.1.1	Bacia a ser Modelada pelo SWAT	52
5.1.2	Declividade do Terreno.....	54
5.1.3	Uso e Ocupação do Solo	55
5.1.4	Tipo de Solo.....	57
5.1.5	Localização das Extrações de Areia.....	59
5.2	OBTENÇÃO DE DADOS PARA A MODELAGEM 60	
5.3	MODELAGEM MATEMÁTICA COM O SWAT	61
5.4	ESTIMATIVA DO PSA A SER PAGO.....	64

6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	65
6.1	RELAÇÃO ENTRE A TURBIDEZ E AS EXTRAÇÕES DE AREIA.....	65
6.1.1	Análise das Médias de Turbidez	65
6.1.2	Análise das Observações de Campo.....	67
6.2	RESULTADOS DA MATEMÁTICA	72
6.3	CÁLCULO DO VALOR DO PSA.....	74
6.3.1	Valores da CASAN.....	74
6.3.2	Valores das Extrações de Areia.....	77
6.3.3	Determinação do Pagamento por Serviço Ambiental	78
7	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	81
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83

1 INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica é parte constituinte do meio ambiente e da sociedade, ela converge todas as águas que em sua área caem para um ponto específico. Seu estado de conservação e qualidade são de grande importância, pois é dela que a água para consumo humano e demais usos são retiradas. Porém com o passar do tempo, a qualidade dos recursos hídricos, de uma forma geral, vem diminuindo em função das atividades desenvolvidas pelo homem.

Um dos problemas advindos da evolução da sociedade é a ocupação desordenada dos espaços, somando-se com a retirada da cobertura vegetal, ocorre uma intensificação da erosão.

A erosão causa o desprendimento de partículas minerais, denominadas sedimentos, e juntamente com as águas pluviais, vão em direção ao corpo hídrico. As partículas sólidas em suspensão causam turbidez, conferindo a água um aspecto turvo e impedindo que a luz alcance partes mais baixas. No abastecimento público a turbidez causa o aumento do custo do tratamento de água, uma vez que quanto mais sedimentos a água possuir, maior o custo com produtos químicos para a remoção destas partículas.

Para que o tratamento seja eficiente e resulte em água de boa qualidade para a população é necessário haver monitoramento no curso de captação da água, para que a estação de tratamento saiba o quanto de reagentes químicos serão necessários a fim de garantir uma boa eficiência no tratamento. Porém, com o aumento da turbidez no curso d'água, a quantidade de produtos químicos e lavações de filtros em estações de tratamento de água acabam ficando cada vez mais onerosos.

Parte da captação de água para abastecer Florianópolis e parte da região da Grande Florianópolis é feita no Rio Cubatão. Um dos problemas enfrentados no tratamento dessa água captada é a alta turbidez devido principalmente as extrações de areia a montante da captação, além dos processos naturais que causam erosão e contribuem para a quantidade de sedimentos na bacia.

Desta forma, a pesquisa envolveu a análise de dados de turbidez obtidos através da sonda multiparâmetros e da modelagem matemática utilizando o modelo matemático SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*), assim como uma análise de valor a ser pago pela ferramenta de gestão Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) utilizando custos de tratamento e lucro na venda de areia.

2 JUSTIFICATIVA

A Bacia do Rio Cubatão Sul vem sofrendo com o aumento do aporte de sedimentos, advindos do mau uso do solo e também de atividades mineradoras que ocorrem ao longo do Rio Cubatão.

Um dos grandes impactos observados na região foi a alta da turbidez ao longo do tempo. Na década de 80, o Rio Cubatão apresentava pouca turbidez, permanecendo neste estado até mesmo em períodos de chuva. O cenário atual já não é mais o mesmo, seu curso d'água apresenta valores elevados de turbidez mesmo quando não chove.

O Rio Cubatão é de grande importância para a região, pois parte da água para abastecimento captada pela Estação de Tratamento de Água Morro dos Quadros provém dela. Como esta água apresenta altos níveis de turbidez, o seu custo de tratamento é maior, sendo levado em consideração os produtos químicos utilizados pela ETA para coagular o material particulado (sulfato de alumínio) e suas carreiras de lavagem dos filtros.

Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo analisar a utilização de medidas de gestão ambiental para melhorar a qualidade da água do Rio Cubatão, e por consequência, diminuir o custo de tratamento da água na ETA Morro dos Quadros. Será utilizado o princípio de Pagamentos por Serviços Ambientais.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a utilização de Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA) na Bacia do Rio Cubatão.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar a relação entre a extração de areia e o aumento da turbidez no Rio Cubatão;
- Avaliar a produção de sedimentos utilizando o modelo SWAT em um cenário onde não existam extrações de areia ao longo do Rio Cubatão;
- Utilizar as análises dos dados da sonda e quantificar a diferença de preço que a CASAN paga para tratar a turbidez da água captada analisando dois cenários distintos: bacia com extração de areia e sem extração. Desta forma, estipulando um preço a ser pago pela Prestação por Serviços Ambientais.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 PROCESSOS HIDROLÓGICOS

De acordo com Tucci (2009), o ciclo hidrológico é um fenômeno global, o qual ocorre pela veiculação da água em seus vários estágios entre o solo e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar em conjunto com a gravidade e a rotação terrestre.

Englobando os processos hidrológicos estão as bacias hidrográficas, que de acordo com Tucci (2009) são áreas de captação da água advindas da chuva, a qual converge os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório. Sendo assim, a área da bacia que possui maiores altitudes faz com que as águas precipitadas dentro delas sejam drenadas para um curso d'água, sendo que o ponto de convergência de toda a água drenada é o exutório.

Segundo Tundisi (2003), apenas 0,3% da água presente no planeta está disponível para ser utilizada pelo homem e está presente em lagos, rios, continentes e águas subterrâneas. Para que ela esteja disponível em tais lugares, a água passa por diversas etapas do ciclo hidrológico, sendo que as suas principais etapas são a evaporação, a precipitação, a transpiração das plantas e a percolação, infiltração e drenagem (TUNDISI, 2003).

4.2 EROÇÃO E SEDIMENTOS

4.2.1 Definições

A erosão é um conjunto de processos pelos quais os materiais terrosos ou rochosos sofrem desgaste, desagregação e remoção da superfície terrestre, acarretando na alteração da área, podendo ser de várias faixas de intensidade e mudanças (PAIVA; PAIVA, 2003). Ela depende das condições hidrológicas e meteorológicas, do uso e cobertura do solo e suas propriedades, da topografia, entre outros fatores (CUNHA; SANTOS, 1985).

Em seu sentido mais amplo, a erosão incluiu o intemperismo, o transporte e a deposição de sedimentos (PAIVA; PAIVA, 2003). Os processos erosivos se iniciam apenas quando o solo é incapaz de infiltrar toda a precipitação. Isto significa que com a retirada da camada superficial do solo (cobertura vegetal), deixando-o exposto, a ação do escoamento superficial é superior à infiltração (POLETO et al, 2008).

Segundo Carvalho (2008), a erosão é inversamente proporcional a camada vegetal do solo.

Já os sedimentos são fragmentos de rochas e de solo desagregados pelo processo de intemperismo e erosão (POLETO et al, 2008). A produção de sedimentos é advinda da erosão, quando as partículas sólidas são transportadas para o corpo hídrico.

Segundo Carvalho (2008), há duas formas de sedimento:

- Sedimento fluvial - quando as partículas minerais são transportadas ou depositadas pela ação do escoamento das águas;
- Sedimento eólico – partículas movimentadas ou depositada pela ação do vento.

O transporte de sedimento dependerá das características físicas da partícula e das forças exercidas pela ação do escoamento (CARVALHO, 2008). Segundo o mesmo autor, quando não houver mais deslocamento da partícula ocorrerá o processo de deposição.

4.2.2 Impactos Decorrentes da Erosão e Sedimentos

São vários os problemas e impactos causados pela erosão e pelos sedimentos. Alguns deles, segundo Carvalho (2008), são:

- Erosão nas cabeceiras dos rios pode acarretar na destruição das nascentes;
- O desprendimento e escorregamento de terras e taludes podem provocar danos gerais, incluindo mortes e, às vezes, a destruição de obras;
- Alteração do escoamento da água na superfície e na calha dos rios;
- A mineração em cursos d'água danificam a calha do rio, provocando a degradação da área e problemas à jusante;
- A erosão devido a chuvas intensas produz sulcos nas superfícies;
- As partículas em suspensão diminuem a qualidade da água, tornando o tratamento destas águas mais oneroso;
- Acarreta em problemas maiores para o abastecimento, recreação, consumo industrial, hidrelétricas e vida aquática;

- O aumento da turbidez na água afeta também a estética dos rios;
- O sedimento é um suporte e armazenador de pesticidas, agrotóxicos e patógenos.

Outros impactos também podem ser aferidos dependendo do uso e ocupação de solo da região, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Impactos ambientais da ocupação sobre o meio físico.

Uso e Ocupação		Intervenção	Impactos	Consequências
Urbana	Loteamento	Remoção da cobertura vegetal; Terraplanagem: cortes e aterros.	Erosão – Modificação da paisagem	Assoreamento; Inundações/ Enchentes
Rural	Atividades agrícolas	Grandes desmatamentos; Técnicas agrícolas inadequadas.	Erosão - Perda da camada fértil do solo;	Assoreamento; Poluição de mananciais; Desertificação.
Mineração	Mineiração	Desmatamentos; Escavações instáveis; Desmonte de rochas; Modificação da paisagem.	Erosão e Escorregamento/Deslizamentos; Explosões-ruído; Depósito de rejeitos.	Assoreamento; Poluição de mananciais; Contaminação do ar, solo e água.

Fonte: Adaptado de Almeida Filho (2000), apud Poletto (2008).

4.3 TURBIDEZ

Segundo Correia et al (2008), turbidez é a dificuldade que um feixe de luz tem para transpor certa quantidade de água, causada por material sólido em suspensão (silte, argila, colóides, matéria orgânica, etc.). Ou seja, parte das matérias sólidas em suspensão que causam a turbidez são sedimentos.

Com o aumento da quantidade de sedimentos e nutrientes que causam a turbidez, pode ocorrer o aumento de organismos no corpo hídrico que consomem oxigênio e que podem causar eutrofização e o

estado de anóxia, deixando por exemplo peixes sem condições de sobreviver.

Como já citado, Carvalho (2008) afirma que a turbidez faz aumentar o custo de tratamento da água para abastecimento, uma vez que diminui sua qualidade, deixando-a imprópria para consumo. Quanto maior a turbidez, maior será o consumo de produtos químicos coagulantes (como por exemplo o sulfato de alumínio) e também levará a uma maior frequência de lavagem dos filtros que retiraram matérias sólidas em suspensão.

4.4 MONITORAMENTO DE SEDIMENTOS E TURBIDEZ

Segundo Fill e Santos (2001), a avaliação correta do transporte de sedimentos em suspensão é importante para caracterizar bacias hidrográficas, quantificar impactos do uso de solo e antropização da bacia, além de estimar a sedimentação em reservatórios, lagos e estuários.

O monitoramento de águas e sedimentos é um instrumento de grande importância no controle da qualidade do meio ambiente. Com os dados adquiridos a partir de monitoramentos, é possível fazer uma estimativa de concentrações e de pontos de descarga de poluentes e sedimentos, distribuídas no tempo com variações temporais, bem como o estado de degradação em uma área específica (POLETO, 2008).

Para que seja feito um estudo sedimentológico em uma bacia hidrográfica é necessária uma série temporal extensa da descarga de sedimentos (FILL; SANTOS, 2001). Segundo Carvalho (1994) apud Fill e Santos (2001), essa série temporal é determinada através da construção de uma curva-chave de sedimentos, a qual relaciona a descarga sólida em suspensão e vazão obtida a partir de medição de vazão e da concentração de sedimentos em suspensão simultaneamente.

O uso da curva-chave de sedimentos necessita diariamente de coletas e análises, tornando-se um método oneroso e dependente de mão-de-obra especializada, além de não ser muito preciso (FILL; SANTOS, 2001).

Outro tipo de monitoramento é feito pela estimativa de concentração de sedimentos em suspensão por meio da turbidez, que vem apresentando resultados satisfatórios no âmbito de obtenção de séries hidrossedimentológicas e também por ser economicamente atrativo (LEWIS, 1986; LEWIS; EADS, 1998; MORIS; FAN 1997, apud MANZ, SANTOS, DE PAULA, 2010).

A turbidez pode ser medida por um sensor óptico, que dispara um feixe de luz na amostra e analisa a intensidade de seu retorno, sendo que quantidade de luz dispersada e quantidade de turbidez são diretamente proporcionais (MANZ; SANTOS; DE PAULA, 2010).

4.5 MODELOS MATEMÁTICOS PARA HIDROSEDIMENTOLOGIA

Segundo Poletto et al (2008), modelos matemáticos são procedimento que utilizam força computacional e que procuram solução a partir de várias equações diferenciais. Estes modelos podem ser empregados também na área do meio ambiente, na previsão de vários fatores.

O avanço do poder computacional acarretou em um rápido crescimento do uso destes modelos para a erosão e o transporte de sedimentos, os quais possuem diferentes abordagens e possuem diferenças quanto a sofisticação, processos considerados e dados requeridos para a calibração do uso do modelo. Geralmente não há um modelo mestre que é adequado a todas as situações (MERRITT; LETCHER; JAKEMAN, 2003).

Segundo os mesmos autores, existem 3 tipos de modelos que dependem dos processos físicos simulados, do algoritmo utilizado e da dependência de dados. Eles são os seguintes:

- Empírico ou estatístico;
- Conceitual;
- Físico.

O modelo empírico é geralmente o mais simples, necessitando de menos dados e de menos força computacional. São do tipo estacionário, ou seja, assumem que determinadas condições não são alteradas durante o período de observação (MERRITT, LETCHER, JAKEMAN, 2003).

Já os modelos conceituais incorporam os mecanismos dos sedimentos e a geração do escoamento em sua estrutura, representando o curso, podendo incluir também detalhes específicos da interação dos processos, o que pode prover um indício de mudança na forma quantitativa e qualitativa do uso do solo (MERRITT; LETCHER; JAKEMAN, 2003). Estes modelos geralmente são de escala temporal contínua.

Os modelos físicos são baseados na solução de equações físicas fundamentais, descrevendo o escoamento e sedimentos, sendo algumas dessas equações a de conservação de massa para fluidos e a equação de conservação de massa para sedimentos (MERRITT; LETCHER; JAKEMAN, 2003).

Segundo Santos (2009), existem três grupos de parâmetros:

- Obtidos por ensaios experimentais ou laboratoriais;
- Obtidos através de bibliografia, baseados em estudos realizados na bacia ou em áreas similares;
- Os que necessitam de calibração.

Na Tabela 2, alguns dos modelos mais utilizados para a predição de sedimentos.

Tabela 2 - Modelos e suas características.

Modelo	Tipo	Output
EMSS	Conceitual	Carga de sedimento, nitrogênio e fósforo.
SWRRB	Conceitual	Escoamento, sedimento, nutrientes e pesticidas.
LISEM	Físico	Quantidade de sedimentos
GUEST	Físico	Concentração de sedimentos
USLE	Empírico	Erosão
SWAT	Conceitual	Escoamento, sedimento, nutrientes e pesticidas.
SEDNET	Empírico / Conceitual	Sedimento suspenso, contribuição relativa do escoamento terrestre

Fonte: Adaptado de Merritt, Letcher e Jakeman (2003).

Geralmente, para fazer um estudo de uma bacia para deposição de sedimentos utilizando modelos matemáticos necessitam apenas de dados e de um computador que seja capaz de rodar o modelo, eles possuem uma grande vantagem econômica sobre os métodos de monitoramento

de sedimentos, que por sua vez necessitam de pessoas capacitadas, idas ao campo continuamente e de equipamentos.

Porém, um dos problemas encontrados por modeladores é a falta de uma série de dados com boa consistência, levando assim a erros de predição.

4.6 EXTRAÇÃO DE AREIA

O presente capítulo se baseará no trabalho feito por Thomas e Gomes (2005).

Existem essencialmente três tipos de extração de areia:

- Extração em leito de rio;
- Extração em cava submersa;
- Desmante hidráulico de solos residuais.

O tipo de extração utilizado no Rio Cubatão é do tipo extração em leito de rios (ou dragagem), e ela consiste no bombeamento de areia que se encontra no fundo do curso d'água, utilizando a água como meio de transporte (Figura 1). A massa formada pela água e areia é chamada de polpa, possuindo uma razão média de 60/40 destas substâncias, respectivamente.

A água presente nesta massa é praticamente toda devolvida ao rio, sendo que a areia permanece na draga. Porém, a água devolvida possui sedimentos finos, responsáveis pelo aumento da turbidez. Segundo os autores, a concentração de sedimentos encontrada no lançamento desta água devolvida (considerada como efluente) é bastante complexa de ser quantificada, necessitando de medições de sedimentos antes e depois dos locais onde ocorrem as extrações para tentar fazer essa análise.

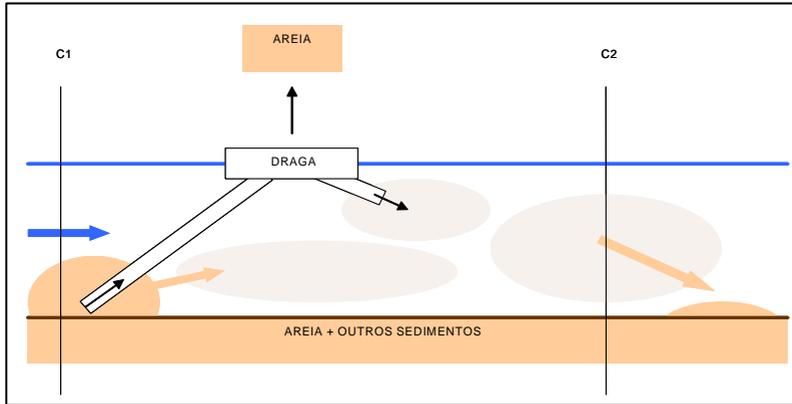


Figura 1 - Esquema de extração de areia em leito de rio.

Fonte: Thomas e Gomes (2005).

4.7 SWAT

O *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) é um modelo de escala temporal contínua, espacialmente distribuído, indicado para simular o transporte de água, sedimentos, nutrientes e pesticidas (SETEGN; SRINIVASAN; DARGAHI, 2008).

É um modelo que provou ser uma ferramenta efetiva para avaliar problemas com recursos hídricos e fontes de poluição em vastas escalas e condições ambientais no mundo inteiro, o qual está evoluindo por cerca de 30 anos através de outros modelos (GASSMAN et al, 2007).

O SWAT utiliza dados espacialmente distribuídos de relevo, tipo de solo, uso e cobertura do solo (DOUGLAS-MANKIN; SRINIVASAN; ARNOLD, 2010).

4.7.1 Aplicação do SWAT

Segundo Gassman et al (2007), o SWAT pode servir de aplicação para várias áreas, que no estudo apresentado foram oito. Dentre as oito categorias, elas se dividem em apenas hidrológico, hidrológico e perda de poluentes e somente perda de poluentes. A Tabela 3 apresenta o número de estudos publicados com o SWAT na literatura.

Tabela 3 - Aplicações do SWAT encontrados na literatura.

Categoria de Aplicação Primária	Apenas Hidrológica	Hidrológica e Perda de Poluente	Apenas Perda de Poluente
Calibração e/ou análise de sensibilidade	15	20	2
Impactos em mudanças climáticas	22	8	-
Descrição de interfaces GIS	3	3	2
Avaliação Hidrológica	42	-	-
Variação na configuração de dados de entrada	21	15	-
Comparação com outros modelos e técnicas	5	7	1
Interface com outros modelos	13	15	6
Avaliação de poluentes	-	57	6

Fonte: Adaptado de Gassman et al, (2007).

4.7.2 Aplicação do SWAT no Brasil

Garbossa et al. (2011) fez um estudo das aplicações do modelo SWAT no Brasil sendo que um dos primeiros registros encontrados do uso do modelo no país é de 1999. Desde lá, ele vem sendo utilizado cada vez mais, em diversas bacias hidrográficas, de diferentes áreas de drenagem e com aplicações diferentes.

O autor encontrou 74 publicações no ano da pesquisa, esse número corresponde a teses, dissertações e artigos aplicando o SWAT nas bacias hidrográficas brasileiras. Apesar do uso dos modelos estarem crescendo com o passar dos anos, a maioria dos estudos se restringiram em verificar se o modelo possui capacidade de representar bacias

hidrográficas de forma satisfatória. Além disso, os indicadores usados nos estudos foram vazão, sedimentos e nutrientes. A Figura 2 representa a quantidade de publicações no Brasil por ano e também a porcentagem do uso dos indicadores nos estudos.

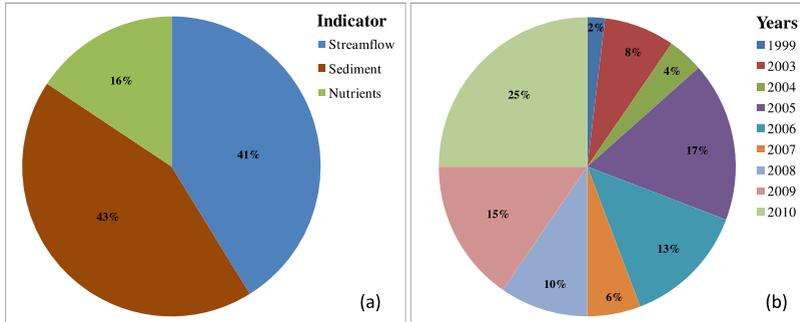


Figura 2 - Porcentagem de cada indicador e porcentagem de publicações por ano.

Fonte: Garbossa et al., 2011.

A Figura 3 representa os estudos feitos no Brasil em cada região, com seus respectivos números de estudo e indicador.

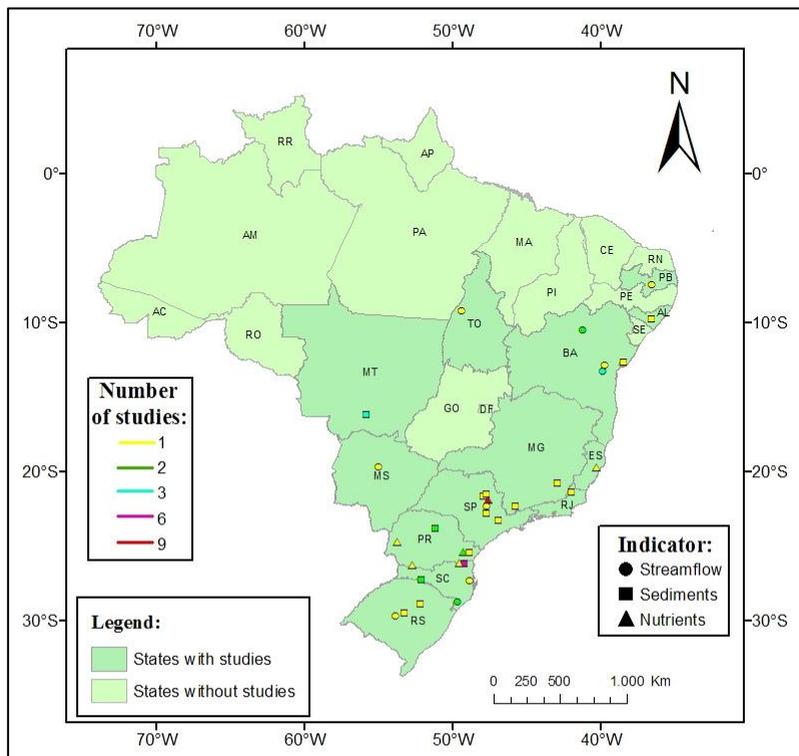


Figura 3 - Mapa o Brasil com estados, números e indicadores das Bacias Hidrográficas modeladas pelo SWAT.

Fonte: Garbossa et al., 2011.

A Tabela 4 mostra alguns dos estudos que Garbossa et al (2011) encontrou nas publicações.

Tabela 4 - Alguns estudos publicados no Brasil que utilizaram o SWAT.

Estudo	Referência	Ano	Bacia Hidrográfica (Localização)	Área de Drenagem (km²)	Indicador
1	Marchioro	2008	Rio Santa Maria	13.50	Vazão
			(Rio de Janeiro)		Sedimento
2	Blainski and Garbossa	2009	Rio Araranguá	3,000.00	Vazão
			(Santa Catarina)		
3	Lino et al.	2009	Rio Preto	1,000.00	Vazão
			(Santa Catarina)		
4	Paim and Menezes	2009	Rio Tijucas	2,840.00	Vazão
			(Santa Catarina)		
5	Souza et al.	2009	Rio A. Negro (Santa Catarina)	788.00	Vazão
6	Xavier	2009	Rio Manso	10,553.00	Vazão
			(Mato Grosso)		Sedimento
7	Baltokoski et al.	2010	Rio Conrado e Pinheiro (Paraná)	52.97	Vazão
					Fósforo
8	Bonumá et al.	2010	Arroio Lino	3.20	Vazão
			(Rio Grande do Sul)		Sedimento
9	Fontes et al.	2010	Rio Jacuípe	1,895.00	Vazão
			(Bahia)		
10	Garbossa et al.	2010	Rio Lajeado dos Fragosos	59.00	Vazão
			(Santa Catarina)		

Fonte: Adaptado de Garbossa et al., 2010.

4.7.3 Performance do SWAT

O SWAT vem sendo aplicado em diversos lugares, com diversas finalidades. Mas é necessário verificar se o modelo se comporta bem em determinadas situações, fazendo-se necessária a verificação dos modelos e sua calibração. Moriasi et al. (2007) apud Douglas-Mankin, Srinivasan e Arnold (2010) recomendou que fosse utilizado múltiplos critérios estatísticos para verificar a performance do modelo.

Os critérios estatísticos mais utilizados para verificar a qualidade da modelagem são coeficiente de determinação (R^2) e eficiência Nash-Sutcliffe (NSE).

Moriasi et al. (2007) trouxe uma revisão de algumas análises estatísticas, incluindo as citadas anteriormente. O coeficiente de determinação descreve o grau de colinearidade entre os dados simulados e medidos. Varia de 0 a 1, sendo que quanto mais próximo de 1 estiver, maior é a colinearidade.

O autor também citou ao fator de eficiência Nash-Sutcliffe, explicando que ele determina a magnitude da variância residual (chamado de "ruído") comparado com a variância dos dados. Ele indica o quão bem os dados simulados e observados se encaixam. Pode variar de menos infinito ($-\infty$) a 1, sendo este o valor ótimo. A Equação 1 mostra como o NSE é calculado.

Equação 1 - Eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE)

$$NSE = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y^{mean})^2} \right]$$

Sendo:

- Y_i^{obs} : observação i ésima do parâmetro sendo avaliado;
- Y_i^{sim} : simulação i ésima do valor simulado do parâmetro sendo avaliado;
- Y^{mean} : média observada do parâmetro sendo avaliado.

Na Tabela 5, um sumário de algumas aplicações de modelos e resultados, sendo os parâmetros estatísticos utilizados o coeficiente de determinação R^2 e a eficiência de modelo de Nash-Sutcliffe NSE.

Tabela 5 - Sumário da performance do SWAT.

Referência	Bacia Hidrográfica	Período	Escala Temporal	R ²	NSE
Lee et al, 2010	G1 Coal Creek (TX)	1966-1987	Mensal	0,8	0,8
Rahman et al, 2010	Ruscom River (Ontario)	1990-1994	Mensal	0,8	0,8
Kim et al, 2010	Chungju Dam (S. Korea)	1998-2006	Diário	0,8	0,8
Sexton et al, 2010	German Branch (MD)	2007	Diário	0,7	0,73
Chiang et al, 2010	Lincoln Lake (AR, OK)	1997-200	Mensal	0,7	0,6

Fonte: Adaptado de Douglas-Mankin, Srinivasan e Arnold (2010)

Pelo autor, o coeficiente NSE apresenta um valor satisfatório tanto para escala mensal e diário e com R² também satisfatório.

4.8 PAGAMENTOS POR SERVIÇOS AMBIENTAIS

Segundo Pagiola, Glehn e Taffarello (2013), Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA) é uma ferramenta de gestão ambiental que leva em conta os beneficiados pelas melhorias ambientais e os beneficiados financeiramente. O beneficiado pelas melhorias ambientais pagará para o usuário (o qual prejudica a qualidade do recurso hídrico a montante, no caso de recursos hídricos) por proporcionar mudanças benéficas ao meio ambiente, acarretando também em uma série de melhorias para os serviços ambientais.

4.8.1 Exemplos de PSA no Brasil

Programa Produtor de Água

O Programa Produtor de Água é um dos exemplos mais conhecidos no Brasil quando se trata de Pagamentos Por Serviços Ambientais

O programa é realizado pela Agência Nacional de Águas (ANA), tem como objetivo a preservação e recuperação de mananciais, sendo benéfico tanto para o meio ambiente quanto para os usuários do recurso (TITO e ORTIZ, 2013). Nele, produtores agrícolas são recompensados financeiramente pelo auxílio na proteção e regeneração dos cursos d'água.

As melhorias que podem ser praticadas pelos produtores são de readequação do solo e implantação de fossas sépticas na propriedade. Com essas medidas, haveria uma melhoria dos cursos d'água, pela diminuição de despejo doméstico e diminuição da erosão.

Para uma bacia poder fazer parte do Programa, ela deverá:

- Possuir os instrumentos de gestão contidos na Lei 9.433/97 (Política Nacional de Recursos Hídricos);
- Possuir poluição rural difusa, problemas com erosão ou pouca cobertura vegetal em áreas de preservação permanente;
- A bacia é utilizada para abastecimento de água;
- Número suficiente de voluntários que tornem viável a implantação do Programa.

Sua aderência é voluntária, tendo em vista mananciais de grande interesse nacional, e segundo os autores anteriormente citados, os recursos financeiros do programa podem ser:

- Receita da cobrança pelo uso dos recursos hídricos;
- Empresas de saneamento, geração de energia elétrica e usuários;
- Fundos Estaduais de Recursos Hídricos;
- Fundo Nacional do Meio Ambiente;
- Orçamento Geral da União;
- Orçamento de Estados, Municípios e Comitês de Bacia;
- Compensação financeira por parte de usuários beneficiados;
- Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL);
- Protocolo de Kyoto;
- Organismos Internacionais (ONGs, GEF, BIRD, etc.);
- Termos de ajustamento de conduta (TAC).

Existiam em 2013 dezoito Projetos do Programa Produtor de Água em andamento, segundo Tito e Ortiz (2013). Alguns deles são:

- Produtor de Água no Camboriú – Balneário de Camboriú – SC;
- Conservadores das Águas – Extrema – SP e MG;
- Produtor de Água Santa Cruz do Sul - RS;
- Produtor de Água no Guandú – Rio de Janeiro – RJ;
- Produtor de Água no Ribeirão Guaratinguetá – Guaratinguetá – SP.

Projetos na Mata Atlântica

Segundo Tito e Ortiz (2013) este projeto também envolve proprietários rurais e a melhoria dos recursos hídricos na Mata Atlântica, sendo estas melhorias vindas de uma melhor conservação e restauração de remanescentes florestais. Em 2010 existiam 40 projetos de Pagamentos por Serviços Ambientais. De acordo com Becker e Seehusan (2011), a grande maioria destes projetos era financiados por recursos públicos ou de origem dos Comitês de Bacia, que por sua vez eram advindos da cobrança de empresas de tratamento e abastecimento de água. Sendo assim, o setor privado não tinha grande expressão em envolvimento com o PSA.

4.8.2 Legislação Estadual

A Política Estadual de Serviços Ambientais de Santa Catarina é instituída pela Lei Estadual 15.133 de 2010, regulamentando o Programa Estadual de Pagamentos por Serviços Ambientais (esta por sua vez instituída pela Lei Estadual 14.675 de 2009).

Na Lei, são dadas diretrizes quanto a forma de definição dos termos utilizados, controle, gestão e financiamento dos programas e são descritos a seguir.

Art. 3º Para os fins desta Lei consideram-se:

I - serviços ambientais: as funções ecossistêmicas desempenhadas pelos sistemas naturais que resultam em condições adequadas à sadia qualidade de vida, constituindo as seguintes modalidades:

a) serviços de provisionamento: serviços que resultam em bens ou produtos ambientais com valor econômico, obtidos diretamente pelo uso e manejo sustentável dos ecossistemas; e

b) serviços de suporte e regulação: serviços que mantem os processos

ecossistêmicos e as condições dos recursos ambientais naturais, de modo a garantir a integridade dos seus atributos para as presentes e futuras gerações;

II - pagamento por serviços ambientais: a retribuição monetária ou não, referente às atividades humanas de preservação, conservação, manutenção, proteção, restabelecimento, recuperação e melhoria dos ecossistemas que geram serviços ambientais, amparados por programas específicos;

III - pagador de serviços ambientais: aquele que provê o pagamento dos serviços ambientais nos termos do inciso II, podendo ser agente público ou privado; e

IV - recebedor do pagamento pelos serviços ambientais: aquele que preserva, conserva, mantém, protege, restabelece, recupera e/ou melhora os ecossistemas no âmbito de planos e programas específicos, podendo perceber o pagamento de que trata o inciso II.

Art. 4º São diretrizes da Política Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais:

I - utilização do pagamento por serviços ambientais como instrumento de promoção do desenvolvimento sustentável;

II - o restabelecimento, recuperação, proteção, preservação, manutenção ou

melhoramento de áreas prioritárias para conservação da biodiversidade ou para preservação da beleza cênica;

III - o reconhecimento da contribuição da agricultura familiar, pesca artesanal, povos indígenas e comunidades tradicionais para a conservação ambiental;

IV - a prioridade para áreas sob maior risco ambiental;

V - a promoção da gestão de áreas prioritárias para conservação dos solos, água e biodiversidade, além de atividades de uso sustentável; e

VI - o fomento às ações humanas voltadas à promoção e manutenção de serviços ambientais.

A Lei ainda subdivide os tipos de Programas a serem realizados, podendo ser focados em Unidades de Conservação, Formações Vegetais ou relacionado a Recursos Hídricos. Para estar apto a participar do Programa Estadual de Pagamentos por Serviços Ambientais (PEPSA), os requisitos estão presentes no Artigo 7º, o qual diz:

Art. 7º São requisitos gerais para participar do Programa Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais:

I - o interessado em participar do PEPSA deverá realizar o seu enquadramento e habilitação em projeto específico visando garantir a prestação dos Serviços Ambientais;

II - comprovação do uso e ocupação regular do imóvel a ser contemplado no âmbito do PEPSA;
e

III - formalização de instrumento contratual específico.

Já para requisitos referentes apenas ao Subprograma Água de PSA, os requisitos estão dispostos a seguir.

Art. 12º O Subprograma Água de PSA tem por finalidade gerir ações de pagamento aos ocupantes de áreas situadas em bacias ou sub-bacias hidrográficas, preferencialmente em áreas de recarga de aquíferos e mananciais de baixa disponibilidade e qualidade hídrica, atendidas as seguintes diretrizes e prioridades:

I - bacias ou sub-bacias abastecedoras de sistemas públicos de fornecimento de água para consumo humano ou contribuintes de reservatórios;

II - diminuição de processos erosivos, redução de sedimentação, aumento da infiltração de água no solo, melhoria quali-quantitativa de água, constância no regime de vazão e diminuição da poluição;

III - bacias com déficit de cobertura vegetal em áreas de preservação permanente; e

IV - bacias onde estejam implementados os instrumentos de gestão previstos na Lei federal nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997.

Na Bacia do Rio Cubatão não foram colocados em prática todos os instrumentos da Lei 9.433/97.

Para o pagamento propriamente dito, as diretrizes estão dispostas no Capítulo IV e são descritos a seguir.

Art. 13. Fica criado o Fundo Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais - FEPSA, de natureza contábil, com a finalidade de financiar as ações do PEPSA, dentro dos critérios estabelecidos nesta Lei e em seu regulamento.

Art. 14. Os recursos necessários ao pagamento por serviços ambientais destinados ao FEPSA serão originados das seguintes fontes:

I - dotações consignadas na Lei Orçamentária Anual do Estado e de seus critérios adicionais;

II - VETADO;

III - no mínimo 30% (trinta por cento) dos recursos oriundos da Taxa de Fiscalização Ambiental do Estado de Santa Catarina - TFASC, devidos a Fundação do Meio Ambiente - FATMA, em conformidade ao art. 10 da Lei nº 14.601, de 29 de dezembro de 2008;

IV - recursos decorrentes de acordos, contratos, convênios ou outros instrumentos congêneres celebrados com órgãos e entidades da administração pública federal, estadual ou municipal;

V - doações realizadas por entidades nacionais e agências bilaterais e multilaterais de cooperação internacional ou, na forma do regulamento, de outras pessoas físicas ou jurídicas;

VI - VETADO;

VII - no mínimo 30% (trinta por cento) dos recursos oriundos do

Fundo Especial do Petróleo de que trata a Lei federal nº 7.990, de 1989; e

VIII - no mínimo 30% (trinta por cento) dos recursos oriundos da cota parte da compensação financeira dos recursos minerais, relativamente à parcela destinada à Secretaria de Desenvolvimento Econômico Sustentável - SDS, de que trata a Lei federal nº 7.990, de 1989.

Parágrafo único. Os percentuais de que tratam os incisos II, III, VI, VII e VIII deste artigo serão definidos por ato do Chefe do Poder Executivo.

5 METODOLOGIA

Este capítulo refere-se ao detalhamento da metodologia utilizada no presente trabalho, tanto apresentando os materiais, quanto os métodos necessários para o êxito do estudo. Foi dividido em subcapítulos de acordo com os objetivos específicos e atividades, e serviu também de guia para execução do trabalho.

Na Figura 4, um fluxograma das atividades que foram necessárias para conclusão do trabalho.

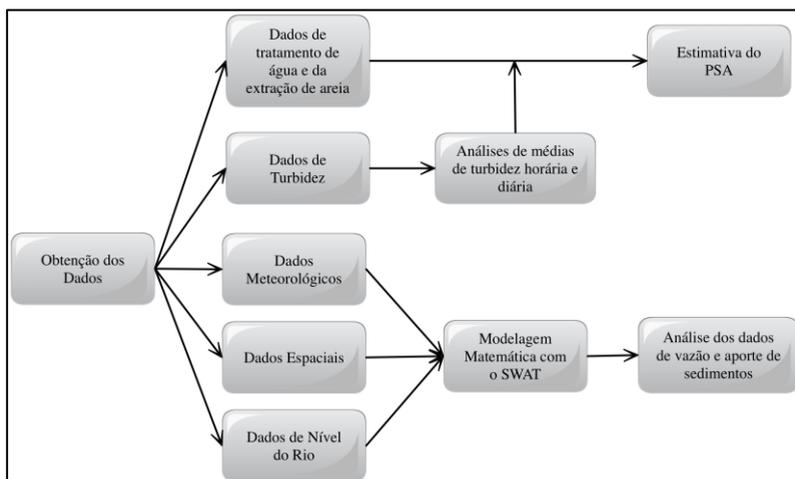


Figura 4 - Fluxograma das atividades necessárias para o trabalho.

Fonte: Do próprio autor.

5.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

O estudo foi realizado na Bacia do Rio Cubatão, a qual está localizada aproximadamente a 20 km ao sul de Florianópolis, em Santa Catarina, situado entre as latitudes 27°35'46 "e 27°52'50" S e as longitudes 48°38'24 "e 49°02'24" W. Os municípios que estão contidos dentro da área de drenagem da referida Bacia são: Águas Mornas, Santo Amaro da Imperatriz e parte de São Pedro de Alcântara e Palhoça (CASAN, 2012).

Segundo a mesma publicação, a Bacia possui uma área de drenagem igual a 738 km² e seu principal afluente é o Rio Cubatão, sendo originado da união entre o Rio Cedro e Rio Bugres, no município de São

Bonifácio, e sua extensão é de 65 km. O Rio Cubatão é de extrema importância uma vez que juntamente com o Rio Vargem do Braço é utilizado para captação de água para abastecimento de cinco municípios, sendo eles Biguaçu, Florianópolis, Palhoça, São José e Santo Amaro da Imperatriz.

Segundo Araujo et al. (2012), os principais usos da Bacia são a agricultura, turismo hoteleiro e águas termais, industrialização de água mineral e extração de areia. Esta última atividade pode ser uma das principais origens de sedimentos da Bacia.

5.1.1 Bacia a ser Modelada pelo SWAT

Um dos passos iniciais da modelagem foi a delimitação da bacia hidrográfica a partir do modelo digital de elevação e do ponto escolhido para ser o exutório. Para ele, foi escolhida a localização da estação fluviométrica da Agência Nacional de Águas (ANA) ETA CASAN Montante, a qual coincide com a localização da sonda multiparâmetros que era operada pela EPAGRI/CIRAM, de coordenadas 27°41'32.84"S e 48°42'39.74"O. Com estes dados inseridos, o local de estudo propriamente dito pode ser visualizado na Figura 5, com escala 1:450.000.

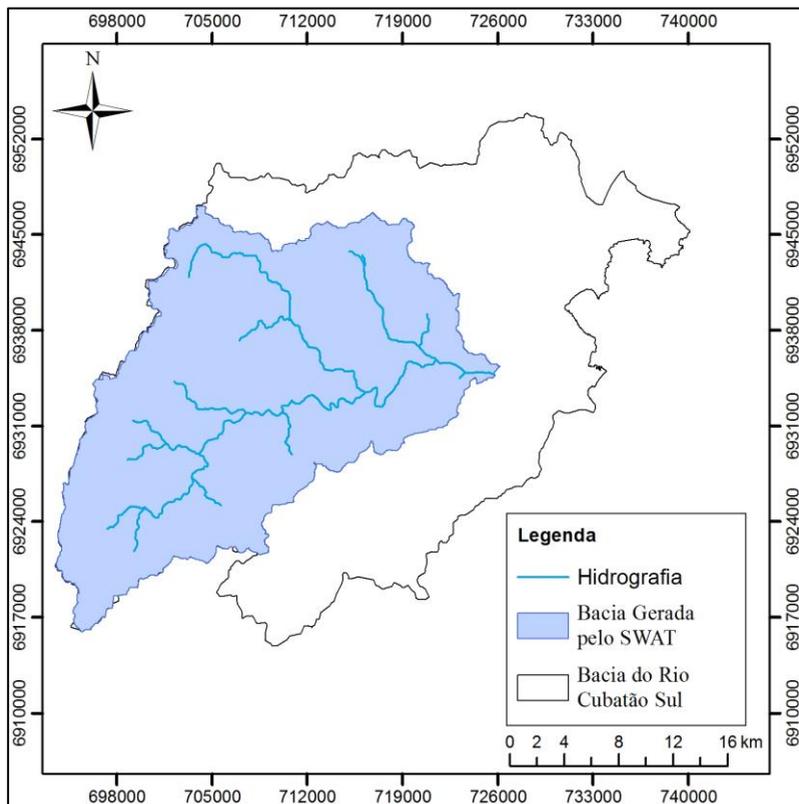


Figura 5 - Relação entre a bacia gerada pelo SWAT e a Bacia do Rio Cubatão Sul.

Fonte: EPAGRI/CIRAM, 2004.

A bacia modelada abrange aproximadamente 51% da Bacia do Rio Cubatão Sul.

Outra etapa do SWAT (e concomitante ao passo citado anteriormente) é também o traçado das sub-bacias. O modelo gerou um total de 25 sub-bacias para a área de estudo, sendo elas mostradas na Figura 6, com escala 1:300.000.

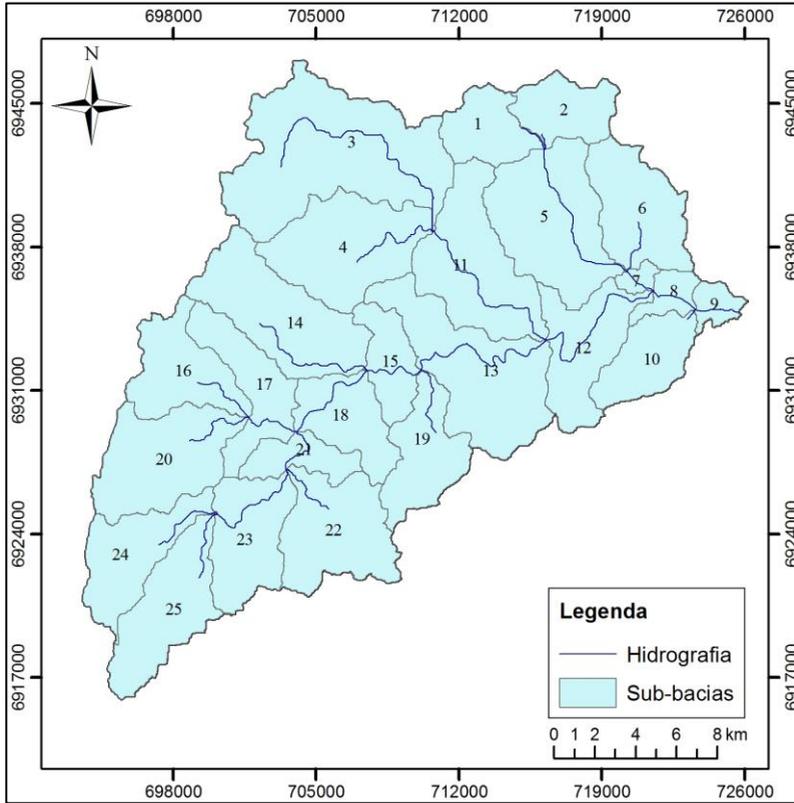


Figura 6 – Sub-bacias da área em estudo que foram traçadas.

5.1.2 Declividade do Terreno

Em relação ao terreno da área estudada ele é composto por altitudes entre 7 e 1266 conforme a Figura 7, com escala 1:300.000. O ponto estudado (localizado no local onde a sonda da EPAGRI estava instalada) fica na porção de menor altitude, sendo essa área denominada área de deposição. Já as áreas mais altas, onde encontram-se as nascentes, são denominadas áreas de erosão.

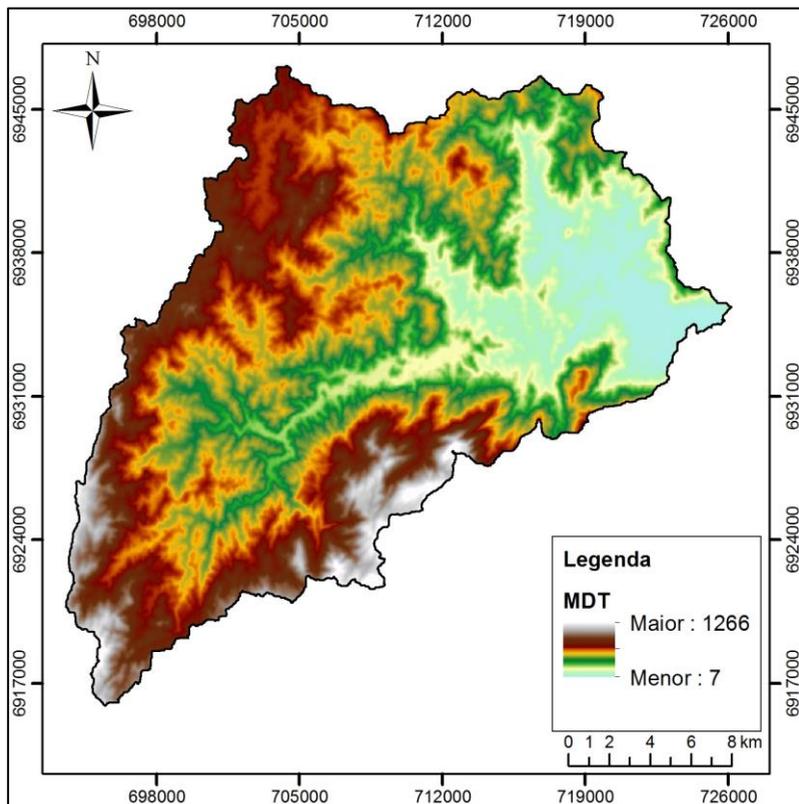


Figura 7 – Elevação da área em estudo.

Fonte: NASA, 2005.

5.1.3 Uso e Ocupação do Solo

A maior parte do uso e ocupação do solo da bacia é caracterizada pela presença de florestas, sendo elas em estágio inicial, médio e avançado de regeneração. Para facilitar a modelagem foram editadas as informações do *shapefile* para que todas as florestas de diferentes tipos de estágios de regeneração pertencessem a apenas uma categoria. Sendo assim, a Tabela 6 e Figura 8 (com escala 1:300.000) denotam os usos e ocupações do solo da área em estudo.

Tabela 6 - Tipos de uso de solo e suas respectivas áreas e porcentagens.

Uso do Solo	Área (ha)	%
Agricultura	719,14	1,35
Água	2,87	0,01
Floresta	39090,95	73,39
Pastagens	11933,61	22,40
Reflorestamento	355,21	0,67
Solo Exposto	17,2	0,03
Zona Urbana	1146,09	2,15
Total	53265,07	100

Fonte: FATMA, 2008.

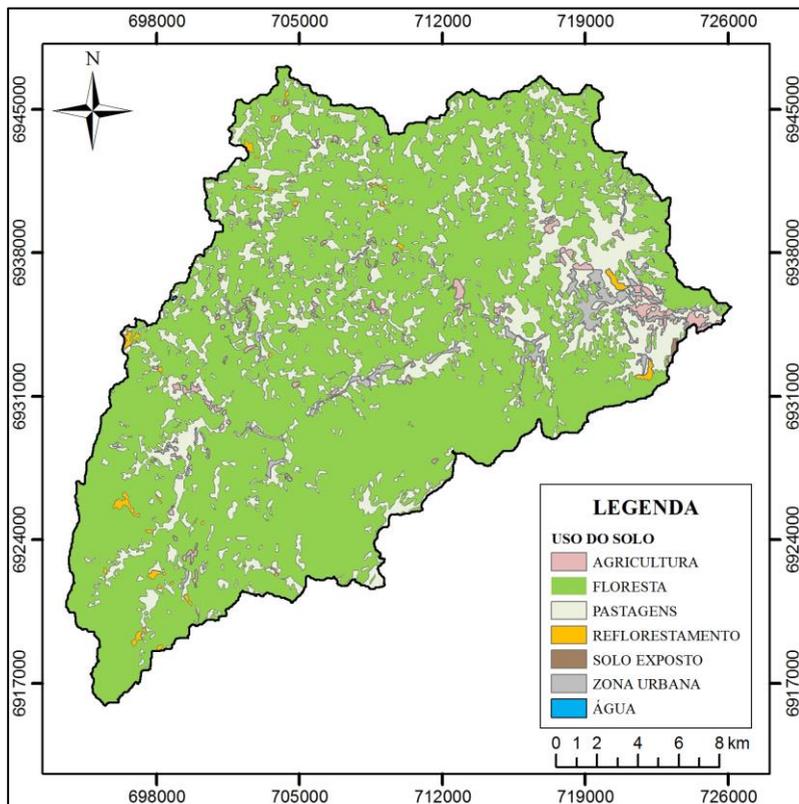


Figura 8 – Usos do solo da bacia.

Fonte: FATMA, 2008.

5.1.4 Tipo de Solo

A bacia possui grande parte do solo classificado como Cambissolo Háplico e Argissolo Vermelho-Amarelo (49,85% e 34,72%, respectivamente).

A Tabela 7 mostra a área de cada tipo de solo encontrado na bacia e suas características gerais, segundo EMBRAPA (2009). A Figura 9 traz o mapeamento desses solos, com escala 1:300.000.

Tabela 7 - Tipos de solo e suas respectivas áreas e porcentagens.

Tipo de Solo	Características	Área (ha)	%
Afloramentos Rochosos	-	1465,38	2,75
Água	-	298,5	0,56
Argissolo Vermelho-Amarelo	- Presença de argila de baixa atividade ou de alta, caso somada com saturação por bases; - Textura subsuperficial franco-arenosa.	18493,7	34,7
Cambissolo Háplico	- Pedogênese pouco avançada; - Estratificação dos sedimentos; - Croma forte; - Baixa estrutura de rocha.	26550	49,8
Gleissolo Háplico	- Solos hidromórficos; - Encontram-se geralmente saturados por água; - Podem ser encontrados texturas arenosas nas primeiras camadas.	3463,82	6,5
Neossolo Litólico	- Solo pouco evoluído, ou seja, suas características predominantes provém da rocha original.	2968,05	5,57
Urbano	-	25,62	0,05
Total	-	53265,0	100

Fonte: EMBRAPA, 2009.

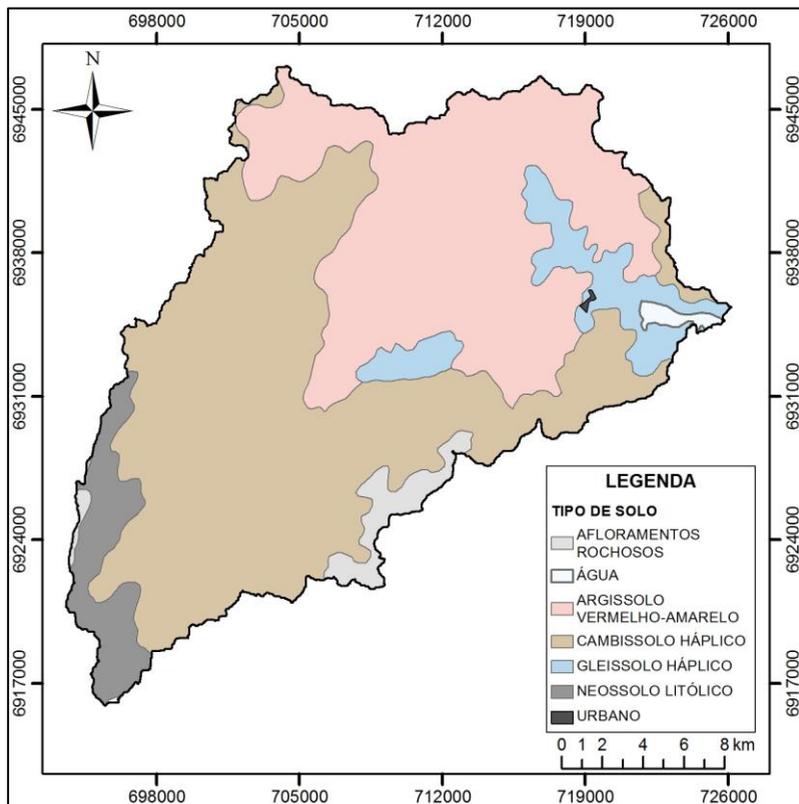


Figura 9 – Tipos de solo da bacia.

Fonte: EMBRAPA, 1998.

5.1.5 Localização das Extrações de Areia

Por dados obtidos com a Secretaria do Estado do Desenvolvimento Sustentável (SDS) existem atualmente três dragas operantes. Em 2005, Sousa, Christofidis e Neto (2005) levantaram que na época funcionavam quatro dragas no Rio Cubatão. As localizações das três são mostradas na Figura 10.



Figura 10 - Localização dos pontos de extração de areia e sonda.

Fonte: Google Earth (2015).

O contorno em azul é a bacia delimitada pelo SWAT, a qual possui o exutório na localização da estação fluviométrica da ANA e da sonda multiparâmetros da EPAGRI, como já citado anteriormente. P1, P2 e P3 são os pontos de extração de areia levantados.

5.2 OBTENÇÃO DE DADOS PARA A MODELAGEM

No presente trabalho foi feita uma análise da quantidade de sedimentos no Rio Cubatão. Além disso, foram analisados os valores de turbidez do rio para estipular um preço a ser pago para que a CASAN pague aos empreendedores para que diminuam ou cessem suas atividades.

Para isso, foram necessários os dados de turbidez obtidos de maneira contínua pela sonda multiparâmetros em um ponto próximo a captação de água da estação de tratamento de água da CASAN (Companhia Catarinense de Águas e Saneamento), localizada no Rio Cubatão.

Como todo modelo necessita de uma boa base de dados para que os resultados sejam mais fiéis o possível da realidade que está sendo

estudada. Os dados requeridos para o modelo SWAT são meteorológicos e espaciais, sendo estes referentes ao relevo da bacia, uso e ocupação do solo, e tipo de solo. O modelo está vinculado ao software de geoprocessamento ArcGIS.

A Tabela 8 traz os dados necessários para o estudo e as respectivas fontes utilizadas.

Tabela 8 - Dados necessários para a modelagem e suas fontes.

Tipo de Dado	Dado	Fonte
Meteorológico	Precipitação	INMET - Sonda localizada em Florianópolis - Código 83897
	Temperatura mínima e máxima	
	Velocidade do vento	
	Umidade relativa do ar	
	Radiação Solar	
Espaciais	MDT	NASA, 2005.
	Uso do solo	FATMA, 2008.
	Tipo de solo	EMBRAPA, 1998.
Hidrológico	Nível do rio	CASAN
Parâmetro	Turbidez	EPAGRI

Fonte: Do próprio autor.

Os dados de nível do rio foram utilizados para verificar a necessidade de calibração do modelo.

A modelagem será tão boa quanto a qualidade dos dados de entrada utilizados, ou seja, quanto melhor for a resolução espacial dos dados e quanto mais eles forem consistidos, melhor serão os resultados obtidos pelo modelo.

5.3 MODELAGEM MATEMÁTICA COM O SWAT

O modelo SWAT tem sua interface inserida no software de georreferenciamento ArcGIS. Como todo modelo, ele representa um

sistema complexo por meio de equações matemáticas que buscam descrever suas características. É um modelo em escala de bacia hidrográfica, o qual simula os processos hidrológicos de forma contínua, processos sedimentológicos e também o transporte de poluentes.

Ele utiliza Unidades Hidrológicas de Resposta (HRU's) em suas simulações, o que significa utilizar subdivisões da bacia hidrográfica em áreas com uma única combinação de relevo, solo e uso do solo, permitindo simular processos hidrológicos e sedimentológicos que dependem diretamente do tipo e/ou uso de solo. Desta forma, o escoamento foi simulado para cada HRU da bacia hidrográfica até que o escoamento chegue ao seu exutório. Com isso, a resposta do modelo torna-se mais eficiente e confiável na simulação das cargas de sedimento.

O SWAT utiliza a Equação 2 para realizar o balanço hídrico.

Equação 2 - Equação do balanço hídrico utilizado pelo SWAT.

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_d - Q_{sup} - E_a - w_{seep} - Q_{gw})$$

Sendo:

- SW_t : quantidade final de água no solo (mm H₂O);
- SW_0 : quantidade inicial de água no solo no dia i (mm H₂O);
- t: tempo (dias);
- R_d : precipitação no dia i (mm H₂O);
- Q_{sup} : escoamento superficial no dia i (mm H₂O);
- E_a : evapotranspiração no dia i (mm H₂O);
- w_{seep} : percolação no dia i (mm H₂O);
- Q_{gw} : fluxo de retorno (ascensão capilar) no dia i (mm H₂O).

A Figura 11 apresenta o fluxograma que exemplifica o processo da modelagem utilizando o SWAT.

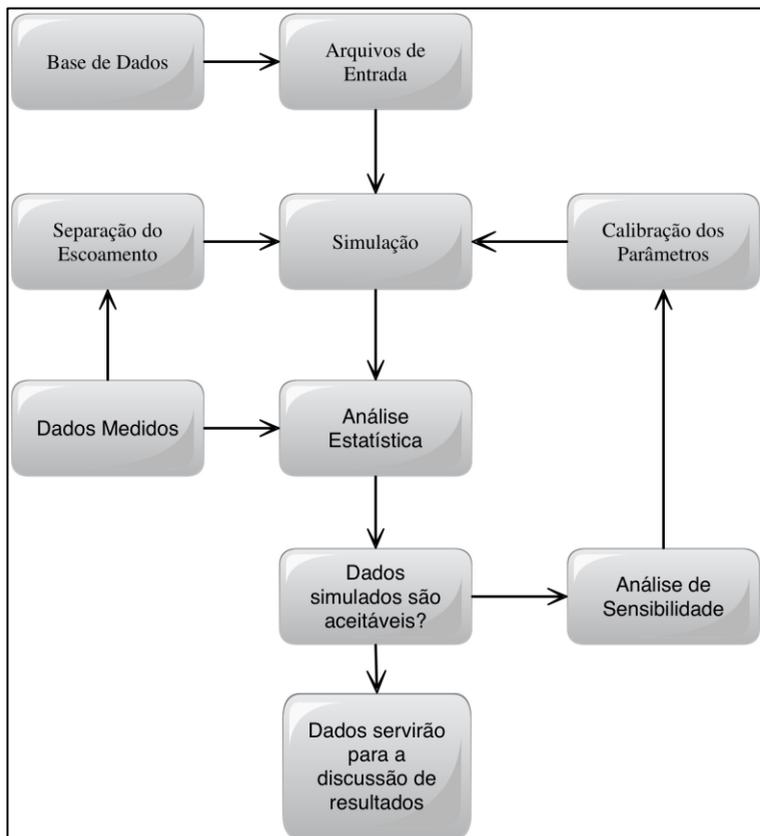


Figura 11 - Fluxograma do uso do SWAT.

Fonte: Do próprio autor.

Para a análise de sensibilidade foi utilizada o método *One-factor-at-a-Time* (OAT) (VAN GRIENSVEN et al., 2005). Esta análise consiste na alteração de parâmetros do modelo, um de cada vez.

Foi realizada uma modelagem para a bacia em estudo para verificar o aporte de sedimentos em um cenário onde não ocorra extração de areia. Como a turbidez é proporcional a quantidade de sedimentos e material orgânica, foi analisada a diferença entre sedimentos da modelagem e turbidez encontrada da sonda.

5.4 ESTIMATIVA DO PSA A SER PAGO

Foi realizada uma pesquisa referente ao preço pago pelo tratamento de água relativo a turbidez presente na água captada. Levou-se em conta também a frequência para a lavagem dos filtros utilizados na estação de tratamento de água.

A diferença entre todos os recursos necessários para o tratamento da água captada no Rio Cubatão no estado atual e o custo estimado no cenário em que a mineradora não funcione será o valor do PSA (Figura 12). Foram consultados os funcionários da estação de tratamento de água Morro dos Quadros e também bibliografias a fim de obtenção de preços pagos nas etapas de tratamento.

Os dados de operação, manutenção e venda das extrações de areia foram levantados por entrevistas feitas com alguns proprietários deste tipo de empreendimento. Além disso, dados referentes a extrações de areia foram retirados de Sousa, Christofidis e Neto (2005).

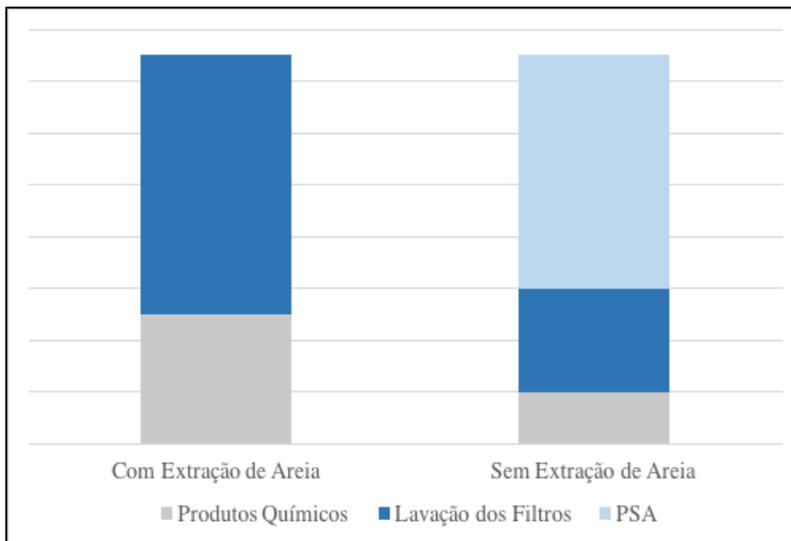


Figura 12 - Valor dos gastos com e sem extração de areia, estimando o PSA.

Fonte: Do próprio autor.

Foi então analisado se o valor do PSA encontrado cobre o lucro obtido pelas empresas que extraem areia da Bacia.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados das pesquisas que foram propostas no trabalho, que incluem:

- Relação entre a extração de areia e a turbidez no Rio Cubatão Sul;
- Comparação da produção de sedimentos da Bacia do Rio Cubatão Sul (com e sem extrações de areia) utilizando o modelo SWAT;
- Estimativa do valor a ser pago pelo PSA.

6.1 RELAÇÃO ENTRE A TURBIDEZ E AS EXTRAÇÕES DE AREIA

A série obtida pela sonda multiparâmetros consistia em dados horários no período de novembro de 2011 a fevereiro de 2013. Porém existiam algumas falhas nos dados, ora por falta de bateria na sonda, ora pela necessidade de calibração da sonda.

Sendo assim, com posse das anotações de campo feitas pelos operadores da sonda e dos resultados das campanhas, decidiu-se utilizar o período de abril a outubro de 2012, pois apresentavam uma melhor consistência dos dados.

Foram feitas então duas análises: média diária e horária da turbidez. Além disso, foi realizada uma visita a área de estudo, que contemplou registros fotográficos e análises do local no dia 3 de julho de 2015.

6.1.1 Análise das Médias de Turbidez

Pelos cálculos da turbidez média para cada dia da semana da série de dados obtida, obteve-se a Figura 13. Juntamente com as médias de turbidez, foram calculadas as precipitações médias para cada dia da semana e também quantas vezes durante o período analisado choveu em cada dia.

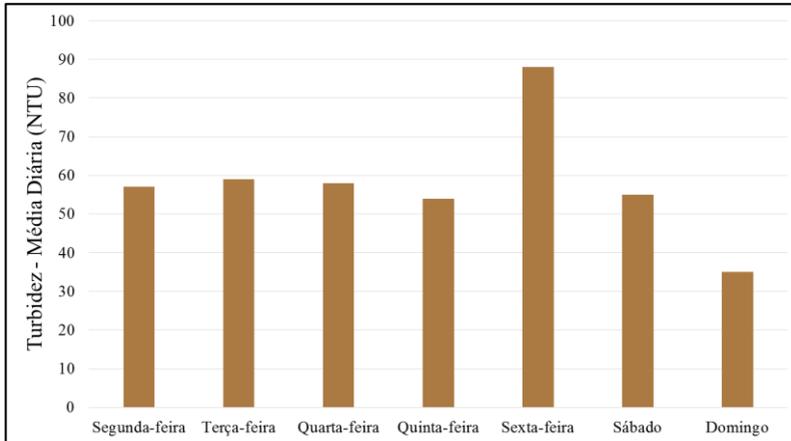


Figura 13 - Turbidez Diária Média.

Pela análise da Figura 13, percebe-se que os dias úteis apresentam valores de turbidez maiores que os do final de semana, com exceção de quinta-feira, o qual é superado por sábado. O resultado alto nos dias de semana era esperado, uma vez que as extrações de areia operam apenas durante a semana. O maior valor encontrado foi na sexta-feira, sendo a diferença deste dia com o segundo maior valor de turbidez (terça-feira) de aproximadamente 20 NTU.

O valor médio de sábado pode ser atribuído por resquícios da turbidez do dia anterior, o qual é o mais alto. Foi assim analisado pela diferença entre as médias dos dois dias, que é de aproximadamente 30 NTU. Domingo apresenta a menor média de turbidez, o que era de se esperar por ser fim de semana e pela grande diminuição da turbidez do dia anterior.

Após a análise das médias diárias, realizaram-se as médias horárias, conforme Figura 14.

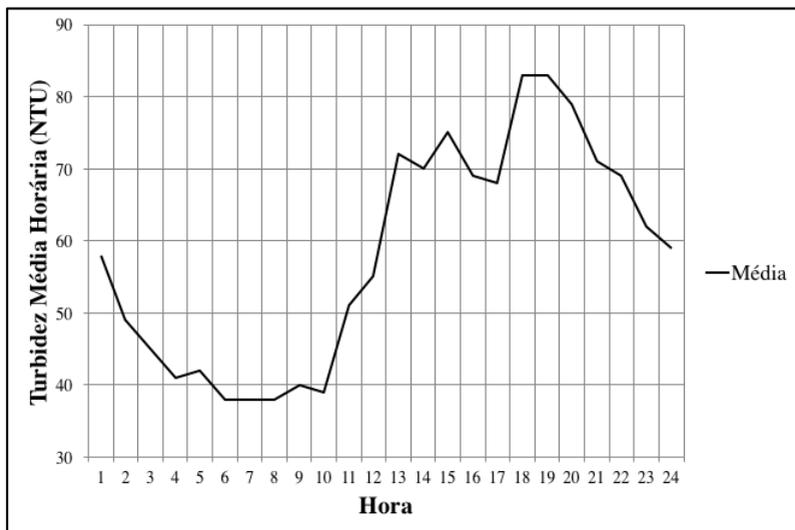


Figura 14 - Turbidez Horária Média.

Os resultados obtidos eram esperados, uma baixa turbidez no início da manhã e uma conseqüente alta durante o dia, começando a declinar depois das oito horas da noite. O pico da turbidez ocorre entre as 18h e 19h, o qual deve-se pelo acúmulo de sedimentos ao longo do rio durante o dia até o fim da jornada de trabalho, que após encerrarem as atividades de extração, leva algum tempo até chegar ao exutório analisado.

Após o pico, a turbidez cai vertiginosamente até o período das 6h e 8h, com diferença de mais de 40 NTU em um período de 10 horas.

A média horária é de 58,1 NTU, sendo que ocorre uma estabilização da turbidez entre as 5 e 8 horas da manhã. Essa estabilização possui média de 38,5 NTU e para este estudo, foi considerada a turbidez média do rio caso não houvesse extrações de areia.

6.1.2 Análise das Observações de Campo

As fotos a seguir mostram a diferença entre o aspecto físico do Rio Cubatão. A Figura 15 foi feita em 2012, as outras foram feitas em 2015 na saída de campo anteriormente citada.



Figura 15 - Localização da sonda multiparâmetros em 2012, ainda em operação.

Fonte: Luis Hamilton Pospissil Garbossa.



Figura 16 - Local onde a sonda ficava localizada (2015).
Fonte: Do próprio autor.

Em relação a Figura 15 e 16, é evidente a diferença no local onde a sonda estava instalada. A quantidade de sedimentos que se acumularam ao redor do apoio é grande, sendo que este foi um dos motivos para que a sonda apresentasse dados bastante alterados ao final das amostragens ocorridas em fevereiro de 2013.



Figura 17 - Aspecto do Rio Cubatão Sul no dia da visita.
Fonte: Do próprio autor.



Figura 18 - Aspecto do Rio Vargem do Braço no mesmo dia da foto anterior.
Fonte: Do próprio autor.

Já pela comparação da Figura 17 e 18 a diferença na transparência da água é bastante alta. A distância entre os dois locais é de aproximadamente 2,5 km e, sendo assim, possuindo os mesmos usos e tipo de solo. Essa grande disparidade na turbidez dos dois rios pode estar ligada, novamente, a dragagem de areia no Rio Cubatão.

A antropização ao longo do Rio Cubatão é maior que a do Vargem do Braço, e neste rio não há presença de extrações de areia.

6.2 RESULTADOS DA MODELAGEM MATEMÁTICA

Foi realizada a primeira rodada de modelagem para a Bacia do Rio Cubatão, os resultados de vazão são mostrados na Figura 19.

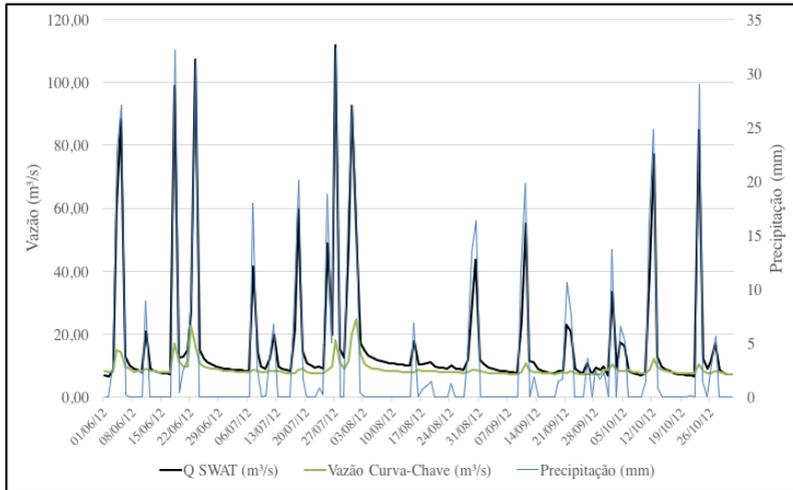


Figura 19 – Resultado da vazão da primeira modelagem confrontados com valores da curva-chave e precipitação.

Confrontados os resultados da modelagem com os valores obtidos através da curva-chave da Bacia, percebe-se uma grande diferença entre as vazões quando ocorrem períodos de chuva. Para dias sem precipitação, as vazões se comportaram de forma satisfatória.

Apos a análise gráfica destes dados, foram realizadas análises estatísticas para verificar a eficiência do modelo sem ele ser calibrado. A linha de tendência e seu valor de R^2 para a presente rodada do modelo são apresentadas na Figura 20.

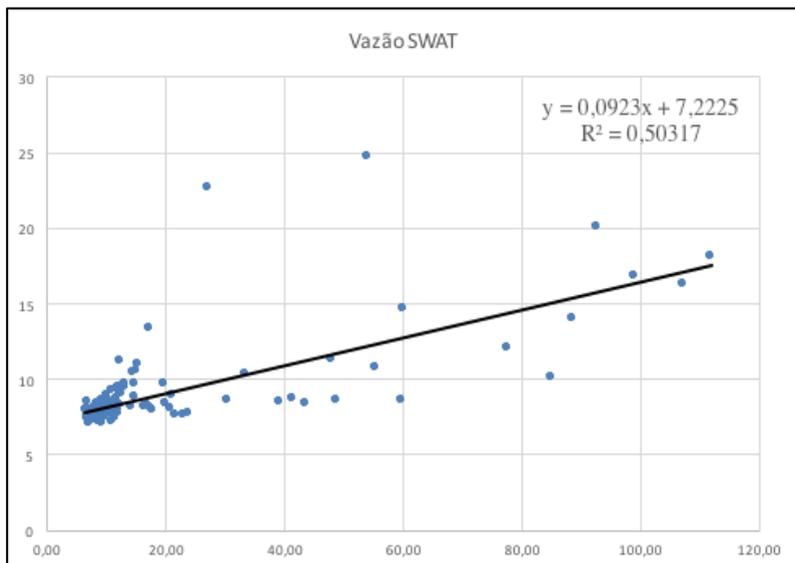


Figura 20 – Análise de correlação entre a vazão modelada e da curva-chave.

O valor de R^2 apresentou valores satisfatórios para o modelo. Porém, ao verificar o valor do coeficiente NSE, foi obtido o valor de -57,9. O aceitável para o modelo seriam valores acima de 0 e sendo assim, o modelo precisou ser calibrado.

Foram realizadas três calibrações do modelo. A interface do SWAT alertou para que o escoamento superficial estava baixo em relação ao escoamento lateral. Desta forma, foram alterados os parâmetros relativos ao *Curve Number* (visando aumentar o escoamento superficial e diminuir o escoamento lateral) e a quantidade de água disponível no solo. Porém, as calibrações não apresentaram resultados melhores que o já apresentado.

Com estes resultados, foram analisados o aporte de sedimentos da bacia em relação a precipitação e aos resultados da modelagem (Figura 21). Como o modelo se comportou bem a períodos sem chuva, percebe-se que o aporte de sedimentos nesses dias foi nulo, ou seja, em condições ideais de bacia (sem extração e sem despejo de efluentes no rio) é bem provável que o aporte de sedimentos seja bem próximo de zero. Não foram analisados os resultados referentes aos dias de chuva, uma vez que o modelo não se comportou de forma satisfatória nestes eventos.

A suposição anterior é confirmada por CASAN (2002): em meados da década de 80 o Rio Cubatão possuía água cristalina, inclusive em dias de chuva.

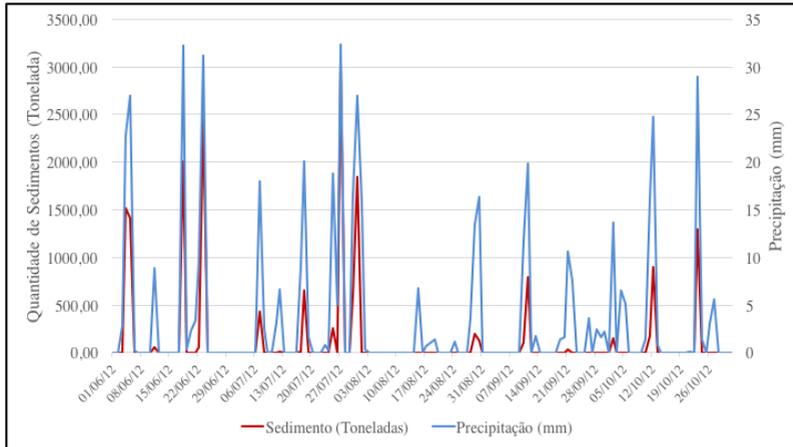


Figura 21 – Resultado de aporte de sedimentos na primeira modelagem confrontados com valores de precipitação.

6.3 CÁLCULO DO VALOR DO PSA

Neste capítulo serão descritos e calculados os custos e lucros de cada empreendimento.

6.3.1 Valores da CASAN

Em entrevista com os funcionários da ETA Morro dos Quadros, foram obtidos os seguintes dados:

- A quantidade de filtros presentes na estação são 12;
- Todos os filtros são lavados em 20 horas, resultando em aproximadamente uma lavação a cada 1h40. Sendo assim, em 1 dia seriam lavados aproximadamente 14 filtros;
- Cada lavação de filtro utiliza 400 m³ de água;
- Na Bacia não ocorre cobrança do uso da água, ou seja, a CASAN não paga água captada;
- Atualmente são captados 600 L/s do Rio Cubatão e 1900 L/s do Rio Vargem do Braço (2500 L/s no total);

- Uma média de 20 partes por milhão (ppm) de sulfato de alumínio são utilizados por litro de água tratada.

De acordo com o Contrato de Fornecimento de Materiais e/ou Equipamentos nº 4960/2012, a CASAN em 2012 gastou R\$ 1.050.438,48 reais em 1.176 toneladas de sulfato de alumínio. Foi utilizado esse ano, pois são desta época os resultados da sonda para turbidez. Desta forma, cada tonelada custa R\$ 893,23 reais.

Além destes gastos, entre maio e agosto de 2013 foi feito um investimento de R\$ 1.207.104,10 para a recuperação de Unidades Filtrantes na ETA em questão. Já de maio de 2014 à março de 2015, foram gastos R\$ 2.617.164,94 para o mesmo fim. Ambos os valores foram retirados do Relatório de Gestão Anual da CASAN, no caso sendo respectivamente o de 2013 e 2014. Eles estão disponíveis no link a seguir: <http://www.casan.com.br/menu-conteudo/index/url/relatorios-anuais#0>.

No relatório de 2012 não foi citado recuperação dos filtros.

Desta forma, a Tabela 9 apresenta um resumo da quantidade total de produtos e água utilizada por mês, com extrações de areia em operação.

Tabela 9 - Quantidades e valores mensais de produtos utilizados pela CASAN.

Atividade	Quantidade	Custo (R\$)
Lavação de Filtros	400 (m ³)*14 filtros*30 dias = 168.000 m ³	-
Sulfato de Alumínio	20 (mg/L) * 2500 (L/s) * 60 (seg) * 60 (min) * 24 (horas) * 30 (dias) = 1,296x10 ¹¹ mg = 129,6 toneladas	129,6*893,23 = 115.762,61

Não foram disponibilizadas as curvas de turbidez x pH x sulfato de alumínio utilizada pela CASAN para a determinação de quantidade de coagulante, nem seu pH de tratamento. Sendo assim, foi realizada uma estimativa proporcional a turbidez.

Como comentado anteriormente, a turbidez horária média do rio é de 58,1 NTU e a turbidez esperada, caso não houvesse extração de areia, seria de 38,5 NTU. Já a turbidez média do mesmo período para o Rio Vargem do Braço é de 9,65 NTU. Como há mistura entre as vazões do Rio Cubatão com a do Vargem do Braço, foi realizado um balanço de

massa para verificar a turbidez de mistura entre os cenários. O balanço feito foi da seguinte forma:

$$\text{Equação 3 - Balanço de massa entre vazões e turbidez.}$$

$$V_t \times T_m = (V_c \times T_c) + (V_{vb} \times T_{vb})$$

Sendo:

- V_t = Vazão total (L/s);
- T_m = Turbidez de mistura (NTU);
- V_c = Vazão captada do Rio Cubatão (L/s);
- T_c = Turbidez média do Rio Cubatão (NTU);
- V_{vb} = Vazão captada do Rio Vargem do Braço (L/s);
- T_{vb} = Turbidez média do Rio Vargem do Braço (NTU).

Desta forma, os valores obtidos foram os seguintes (Tabela 10):

Tabela 10 – Balanço de massa dos cenários estudados.

Cenário	V_c (L/s)	T_c (NTU)	V_{vb} (L/s)	T_{vb} (NTU)	V_t (L/s)	T_m (NTU)
Com Extração	600	58,1	1900	9,65	2500	21,278
Sem Extração	600	38,5	1900	9,65	2500	16,574

Sendo assim, se para tratar uma água com 21,3 de NTU é gasto 20 ppm de sulfato de alumínio, para tratar uma de 16,6 NTU seriam gastos 15,6 ppm a cada litro tratado.

Além disso, haveria uma diferença entre a carreira de lavagem dos filtros. CASAN (2002) afirma que o tempo de carreira deveria ser de no mínimo 24 horas, acarretando em uma lavagem a cada 2 horas.

Tabela 11 - Quantidades e valores mensais de produtos utilizados pela CASAN no cenário sem extração de areia.

Atividade	Quantidade	Custo (R\$)
Lavação de Filtros	400 (m ³)*12 filtros*30 dias = 144.000 m ³	-
Sulfato de Alumínio	15,6 (mg/L) * 2500 (L/s) * 60 (seg) * 60 (min) * 24 (horas) * 30 (dias) = 1,01x10 ¹¹ mg = 101,1 toneladas	101,1*893,23 = 90.305,55

A diferença de custos e uso de água encontra-se na Tabela 12.

Tabela 12 – Diferença de custos entre cenários.

Cenário	Custo com Sulfato de Alumínio (R\$)	Volume de Água para Lavação dos Filtros (m³)
Com extração	115.762,61	168.000
Sem extração	90.305,55	144.000
Diferença	25.457,06	24.000

6.3.2 Valores das Extrações de Areia

Para as extrações de areia, os dados obtidos foram:

- Três dragas operantes;
- Cada draga pode retirar, por dia, cerca de 300 m³ de areia (SOUSA; CHRISTOFIDIS; NETO, 2005);
- O m³ da areia é vendido geralmente a 60 R\$/m³;
- Uma média de 3 funcionários trabalhando em cada draga, mais 10 que transportam;
- Cada funcionário ganha em média R\$ 2.500;
- O gasto com manutenção é de aproximadamente R\$ 20.000 por mês;
- É estimado um deslocamento médio diário de 300 km;
- A eficiência dos caminhões é de 2 km/L;
- O preço médio do diesel é 2,76 R\$/L.

Sendo assim, a Tabela 13 mostra os valores mensais das três extrações de areia:

Tabela 13 - Quantidades e valores mensais de produtos utilizados e gerados pelas extrações de areia.

Atividade	Quantidade	Valor (R\$)
Extração de Areia	$300 \times 3 \times 22 \text{ dias} = 27.000 \text{ m}^3$	1.620.000,00
Manutenção	3	$3 \times 20.000 = 60.000,00$
Diesel	$(300 \text{ km} \times 3 \times 22 \text{ dias}) / (2 \text{ km/L}) = 9.900 \text{ L}$	$9.900 \text{ L} \times 2,76 \text{ R\$/L} = 27.324,00$
Funcionários	13	$13 \times 2500 = 32.500,00$

Então, o lucro mensal médio das três extrações de areia é o valor obtido pela venda de areia, menos a manutenção das dragas e combustível. O resultado é de R\$ 1.500.176,00 reais.

Porém, este é o lucro máximo que as extrações podem ter, variando com o tempo e demanda dos serviços. Além disso, ele tende a ser menor a partir do momento que forem mais detalhados os custos das empresas.

6.3.3 Determinação do Pagamento por Serviço Ambiental

Utilizando os valores da Tabela 12, a diferença entre os dois cenários seria de R\$ 25.457,06 reais quanto ao sulfato de alumínio e 24.000 m³ pela lavagem dos filtros, sendo estes valores mensais.

Utilizando um consumo médio diário de 240 L/dia por habitante, seria possível abastecer 100.000 vezes a mais em um mês. Desta forma, em um dia seria possível abastecer aproximadamente 3.333 pessoas a mais. Supondo que estas pessoas residam em grupos de 2 pessoas, o número de moradias abastecidas seria de aproximadamente 1.667. Levando em consideração que a tarifa de abastecimento de água da CASAN para residências que consomem até 10 m³ por mês seja 32,06 ao mês, obtém-se o valor de R\$ 53.444,02 pela cobrança da Companhia.

Levando estes itens em consideração, a diferença entre os dois cenários para a CASAN resultaria em R\$ 78.901,08. Esta diferença será maior quanto mais detalhado forem os gastos pelo tratamento da turbidez da água captada.

Sendo a receita máxima das extrações de areia de R\$ 1.500.176,00, do ponto de vista econômico não vale a pena ser pago o valor de PSA. Porém, se as extrações de areia parassem suas atividades, a degradação ambiental da bacia seria mitigada, restando apenas o uso incorreto do

solo e despejo de efluentes domésticos. Também seria possível abastecer mais pessoas utilizando a mesma vazão de captação.

Com o valor de venda dos equipamentos, venda de caminhões e venda de terrenos, o valor a ser pago passaria a ser mais atrativo para os donos das empresas.

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

É certa a degradação ambiental que as extrações de areia causam ao meio ambiente e o Rio Cubatão não seria exceção. O aumento do aporte de sedimentos advindos destas atividades contribuiu para uma maior turbidez e intensificação no processo de assoreamento ao longo do seu curso. Ficou claro que a turbidez esteja relacionada com os horários comerciais e que ela diminui na madrugada e aos fins de semana.

Pelos resultados obtidos na modelagem, caso não houvessem pontos de despejo (tanto doméstico como das extrações de areia), o aporte de sedimentos na bacia seria 0 ou bem próximo dele. Ou seja, sem a antropização desordenada, a qual não visa um bom equilíbrio entre o homem e o ambiente, a bacia não deveria apresentar turbidez tão acentuada e assoreamento.

O valor a ser pago para as extrações de areia para que elas cessem suas atividades são altos. Porém, visando uma maior facilidade no tratamento, aumento de pessoas que poderiam ser abastecidas e uma melhoria no meio ambiente, este valor deveria ser considerado, uma vez que este curso d'água e de extrema importância para o abastecimento da população regional. O pagamento também não precisaria ser necessariamente feito apenas pela CASAN, visto que este é um curso d'água importante para a região e podem ser utilizados os tipos de subsídios citados no Artigo 13 da Lei 15.133 de 2010.

Outra alternativa, visto que este é um curso importante para a região, seria o de proibir a atividade das extrações de areia na bacia. Caso a degradação dos recursos hídricos chegue a níveis muito altos, o abastecimento para a população dos 5 municípios que a bacia abastece poderia ficar comprometido. Cabe então aos órgãos ambientais estudar a hipótese de proibir os empreendimentos em questão.

Não foram utilizados os valores de recuperação dos filtros uma vez que é de difícil quantificação, sendo que não foram feitas obras deste tipo em 2012. Porém, é um fator de grande importância a ser considerado.

A primeira recomendação a ser feita para estudos posteriores seria de realizar mais calibrações o modelo, para que ele apresente resultados próximos do esperado, uma vez que em dias de chuva eles sofreram picos de vazões muito acima do normal. Outra recomendação referente ao uso do SWAT seria de fazer a modelagem analisando o cenário em que as extrações de areia fossem incluídas ao modelo. Desta forma, seria

feita uma comparação entre os dois cenários: com e sem extração de areia.

Em relação aos cálculos para o PSA é recomendado uma maior discriminação dos custos tanto da Estação de Tratamento quanto das empresas de extração. Certamente o valor a ser pago diminuiria. Não foram levadas em consideração as correções de pH para uma melhor coagulação, nem o gasto com energia elétrica para fazer a lavação. Outros gastos que poderiam ser incluídos na extração de areia são referentes ao licenciamento ambiental, renovação das licenças de operação e encargos.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAUJO, Iria Sartor et al. Monitoramentos da Qualidade da Água Utilizando Sondas Multiparâmetros no Rio Cubatão (Santa Catarina). In: **VIII SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL**. p. 1 - 10. Porto Alegre. 2012.

BECKER, F.; SEEHUSEN, S. **Pagamentos por Serviços Ambientais na Mata Atlântica: lições aprendidas e desafios**. Brasília. MMA, 2011.

CARVALHO, Newton de Oliveira. **Hidrossedimentologia Prática**. 1º ed. Rio de Janeiro. Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais - CPRM / Eletrobrás. 1994. 372p.

CARVALHO, Newton de Oliveira. **Hidrossedimentologia Prática**. 2º. ed. Rio de Janeiro: Interciência Ltda., 2008. 599 p.

CASAN - Companhia Catarinense de Águas e Saneamento. **Mananciais Casan - Expedição ao Rio Cubatão**. Disponível em: <<http://www.casan.com.br/menu-conteudo/index/url/expedicao-ao-rio-cubatao#0>> Acesso em: 18 nov. 2014.

CHIANG, L. et al. Differentiating impacts of land use changes from pasture management in a CEAP watershed using SWAT model. *2010*. p. 1569-1584.

CORREIA, A. et al. Análise da Turbidez da Água em Diferentes Estados de Tratamento. In: **VIII Encontro Regional de Matemática Aplicada e Computacional**. Natal. 2008. p. 1-5.

CUNHA, M. A.; SANTOS, A. R. Técnicas simples de controle de erosão em estrada de terra. In: **III SIMPÓSIO SOBRE CONTROLE DE EROSÃO**. Maringá.: ABGE, 1985. p. 91-97.

DOUGLAS-MANKIN, K. R.; SRINIVASAN, R.; ARNOLD, J. G.. Soil and Water Assessment Tool (SWAT) Model: Current Developments and Applications. **American Society Of Agricultural And Biological Engineers**, Kansas, v. 53, n. 53, p.1423-1433, ago. 2010.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA- SPI, 2009. 412p.

EMBRAPA – CNPS. **Levantamento de Reconhecimento de Solos do Estado de Santa Catarina**. Boletim de Pesquisa No 6 . Rio de Janeiro. 1998.

FILL, H. D; SANTOS, I. **Estimativa da concentração de sedimentos em suspensão através da profundidade Sechi**. Curitiba, p 1-9, 2001.

GARBOSSA, L. H. P. et al. The use and results of the Soil and Water Assessment Tool in Brazil: A review from 1999 until 2010. **International SWAT Conference & Workshops**. Toledo, Spain. 2011. 27p.

GASSMAN, P. W. et al. The Soil and Water Assessment Tool: Historical Development, Applications, and Future Research Directions. **American Society Of Agricultural And Biological Engineers**. Michigan, p. 1211-1250. Nov 2006.

KIM, N. W; SHIN. A. H; LEE. J. **Effects of streamflow routing schemes on water quality with SWAT**. 2010 p. 1457-1468.

LEE, T. et al. **Evaluation and spatially distributed analyses of proposed cost-effective BMPs for reducing phosphorous level in Cedar Creek reservoir, Texas**. 2010. p. 1619-1627.

LEWIS, J. **Turbidity-controlled suspended sediment sampling for runoff-event load estimation**. 1996.

LEWIS, J. e EADS, R. (1998). Automatic real-time control of suspended sediment sampling based upon high frequency in situ measurements of nephelometric turbidity. In: **Proceedings Federal Interagency Workshop: Sediment Technology for the 21st Century**. 1998.

MANZ, R. E; SANTOS, I; DE PAULA. Monitoramento Automático do Transporte de Sedimento em Suspensão por meio de Turbidímetro de

Alta Performance. In: **IX Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos. Curitiba.** 2010. p. 1-14.

MERRIT, W. S., LETCHER, R. A, JAKEMAN, A. J. **A review of erosion and sediment transport models.** Environmental Modelling & Software, v. 18, p. 761-799, 2003.

MORIASI, D. N., et al. **Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations.** American Society of Agricultural and Biological Engineers, v. 50, p. 885-900, 2007.

PAGIOLA, S.; GLEHN, H. C. V.; TAFARELLO, D. **Experiências De Pagamentos por Serviços Ambientais no Brasil.** Governo do Estado de São Paulo – Secretaria do Meio Ambiente. São Paulo. 2013. 338p.

PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. **Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas.** Porto Alegre: Evangraf, 2001. 628p.

POLETO, Cristiano et al. **Ambiente e Sedimentos.** Porto Alegre: ABrh, 2008. 404 p.

RAHMAN, M; BOLISETTI, T; BALACHANDAR, R. **Effect of climate change on low-flow conditions in the Ruscom River watershed,** Ontario. 2010 p. 1521-1532.

SANTOS, Laércio Leal dos. Modelos Hidráulicos-Hidrológicos: Conceitos e Aplicações. **Revista Brasileira de Geografia Física,** Recife, v. 2, n. 3, p.1-19, set. 2009.

SETEGN, Shimelhis G.; SRINIVASAN, Ragahavan; DARGAHI, Bijan. Hydrological Modelling in the Lake Tana Basin, Ethiopia Using SWAT Model. **The Open Hydrology Journal.** Estocolmo, p. 49-62. 16 maio. 2008.

SEXTON, A. et al. **Using NEXRAD and rain gauge precipitation data for hydrologic calibration of SWAT in a northeastern watershed.** 2010 p. 1501-1510.

SOUSA, M. R. C.; CHRISTOFIDIS, M.; NETO, J. A. S. F. A Cobrança como Instrumento da Gestão Social da Água. In: **VI Encontro Nacional da ECOECO**. Brasília. 2005. 21p.

THOMAS, P; GOMES, P. **Mecanismos de Cobrança pelo Uso de Recursos Hídricos para o Setor de Extração de Areia da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul**. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sag/CobrancaUso/BaciaPBS/Textos/Cobranca%20Extracao%20de%20Areia%20-%20Patrick%20-%20nov05%20-%20Artigo.pdf>. Brasília. 17p.

TITO, M. R.; ORTIZ, R. A. Projeto apoio aos Diálogos Setoriais EU-Brasil. **Pagamentos por Serviços Ambientais: Desafios para estimular a demanda**. Brasília. MMA, 2013. 52p.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4ª ed. Porto Alegre: UFRGS, 2009. 943p.

TUNDISI, J. G. **Ciclo Hidrológico e Gerenciamento Integrado**. Disponível em: <http://cienciaecultura.bvs.br/pdf/cic/v55n4/a18v55n4.pdf>. Acesso em: 4 de out. 2014.

VAN GRIENSVEN, A. et al. A global sensitivity analysis tool for the parameters of multi-variable catchment models. **Journal of Hydrology**. 1-14, 2005.