

**APLICAÇÃO DO MODELO SWAT NA BACIA HIDROGRÁFICA DO
RIO CAMBORIÚ PARA AVALIAÇÃO DE SEU USO COMO
FERRAMENTA DE AUXÍLIO À GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS**

Patricia Carvalho do Prado Nogueira

**Orientador: Dr. Luis Hamilton Pospissil Garbossa
Co-Orientadora: Prof. Dr^a. Nadia Bernardi Bonumá**

2015/2



**Universidade Federal de Santa Catarina
Centro Tecnológico
Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental**

**APLICAÇÃO DO MODELO SWAT NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO CAMBORIÚ PARA AVALIAÇÃO DE
SEU USO COMO FERRAMENTA DE AUXÍLIO À GESTÃO DE
RECURSOS HÍDRICOS**

Patricia Carvalho do Prado Nogueira

**Trabalho apresentado à Universidade
Federal de Santa Catarina para obtenção
do Grau em Engenharia Sanitária e
Ambiental.**

**Orientador
Doutor Luis Hamilton Pospissil Garbossa
Co-orientadora
Professora Doutora Nadia Bernardi Bonumá**

**FLORIANÓPOLIS, (SC)
DEZEMBRO/2015**

Nogueira, Patricia Carvalho do Prado
Aplicação do Modelo SWAT na bacia hidrográfica do rio
Camboriú para avaliação de seu uso como ferramenta de auxílio à
gestão de recursos hídricos/ Patricia Carvalho do Prado Nogueira ;
orientador, Luis Hamilton Pospissil Garbossa ; coorientadora, Nadia
Bernardi Bonumá. -
Florianópolis, SC, 2015.
110 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico.
Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Inclui referências

1. Engenharia Sanitária e Ambiental.
2. Modelagem hidrológica.
3. SWAT.
4. Gestão de recursos hídricos.
5. Nutrientes. I. Garbossa, Luis Hamilton Pospissil. II. Bonumá, Nadia Bernardi. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. IV. Título.

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

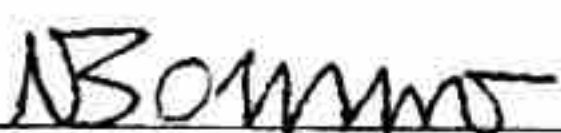
APLICAÇÃO DO MODELO SWAT NA BACIA HIDROGRÁFICA
DO RIO CAMBORIÚ PARA AVALIAÇÃO DE SEU USO COMO
FERRAMENTA DE AUXÍLIO À GESTÃO DE RECURSOS
HÍDRICOS

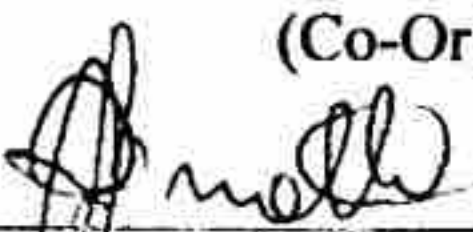
PATRICIA CARVALHO DO PRADO NOGUEIRA

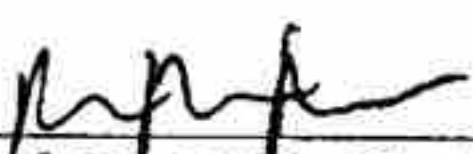
Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte
dos requisitos para Conclusão do Curso de Graduação em
Engenharia Sanitária e Ambiental -TCC II

BANCA EXAMINADORA :


Dr. Luis Hamilton Pospissil Garbossa
(Orientador)


Prof. Dr^a. Nadia Bernardi Bonumá
(Co-Orientadora)


Prof. Dr^a. Alexandra Rodrigues Finotti
(Membro da Banca)


Prof. Dr. Fábio Farias Pereira
(Membro da Banca)

FLORIANÓPOLIS, (SC)
DEZEMBRO/2015

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço ao meu pai pela paciência com a duração da graduação e pelo apoio incondicional por toda a minha vida.

Aos meus irmãos e minha mãe, por terem me ensinado o que é o amor e me ajudado a modelar minha identidade.

Aos meus avós, que são meus nortes, por terem me ensinado o significado de trabalho e dedicação.

Às minhas queridas amigas formadas na faculdade pela parceria, amizade e também pela companhia nas comemorações.

Ao meu orientador, Luis Garbossa, pela oportunidade de estágio. Também por sempre me fornecer orientação e incentivo.

Aos meus companheiros de SWAT, Everton e Eileen, pela colaboração em aprimorar o modelo.

Ao CNPq pela bolsa de Iniciação Científica através do projeto 403739/2013-6 - Mudanças climáticas e seus efeitos sobre o regime hídrico, eventos hidrológicos extremos e a qualidade das águas no sul do Brasil.

À EPAGRI/CIRAM e à The Nature Conservancy (TNC) pelo fornecimento de dados.

Finalmente, a qualquer pessoa que tenha, de alguma forma, colaborado no desenvolvimento deste trabalho.

*"Anything else you're interested in is not going to happen if you can't breathe the air and drink the water. Don't sit this one out. Do something. You are by accident of fate alive at an absolutely critical moment in the history of our planet."
Carl Sagan*

RESUMO

O aumento das demandas de recursos hídricos aliado à gestão inadequada dos recursos hídricos geram conflitos e podem ocasionar problemas de disponibilidade hídrica. O estudo foi realizado na Bacia Hidrográfica do Rio Camboriú (BHRC), localizada no litoral norte de Santa Catarina, de aproximadamente 200 km². Um dos maiores problemas da região se refere à disponibilidade de água, com frequentes falhas no abastecimento público de água no verão. A população fixa aproximada da bacia, segundo o censo de 2010 do IBGE, é de 147.000 habitantes, porém este valor ultrapassa 1.000.000 de habitantes no período de verão. A agricultura é uma das atividades mais importantes da região e a principal cultura, arroz irrigado, requer grandes volumes de água para irrigação. Uma ferramenta viável para auxílio a gestão de recursos hídricos e o uso múltiplo da água é a modelagem hidrológica. Dentre os modelos mais utilizados está o SWAT, que possui diversos tipos de aplicação, abrangendo principalmente a avaliação de cenários climáticos, de manejo do solo e uso e ocupação do solo; determinação de áreas críticas de poluição difusa ou produção de sedimentos e também estudo de vazão e disponibilidade hídrica. Porém ainda são poucas as aplicações práticas como ferramenta de gestão e auxílio à tomada de decisão e ainda mais raros os estudos que consideram nutrientes. Dentro do contexto apresentado, o objetivo do presente trabalho é aplicar o modelo SWAT na BHRC para a avaliação de seu uso como ferramenta de auxílio à gestão de recursos hídricos, através da utilização de dados topográficos, de uso e ocupação de solo, climáticos, hidrológicos e manejo do solo. O modelo foi calibrado para vazão, sedimentos e nutrientes, com dados monitorados de 2014, apresentando, de maneira geral, valores satisfatórios para vazão e insatisfatórios para sedimentos e nutrientes. A escassez de dados de monitoramento hidrológico no Brasil, assim como a qualidade destes dados, age como impedimento para a aplicação do modelo e também para a calibração e validação do modelo. Foi verificada aplicabilidade do modelo como ferramenta de auxílio a gestão de recursos hídrico, a exemplo do mapeamento realizado da produção média anual de nitrato para a bacia.

Palavras-Chave: SWAT, modelagem hidrológica, gestão de recursos hídricos, nutrientes.

ABSTRACT

Increasing water resources demand combined with inadequate management lead to conflicts, possibly causing water availability issues. The study was conducted at Camboriú River Watershed (BHRC), located on the northern coast of Santa Catarina state, which has an area of approximately 200 km². Water availability is one of region's top concerns and water supply disruptions are common in the summer months. According to IBGE 2010 census, there are 147.000 permanent residents in the area, however, the population exceeds 1.000.000 inhabitants during the summer. Agriculture is one of the most important activities in the region and the main crop, rice paddy, requires large volumes of water for irrigation. Hydrological modeling is a viable tool to aid water resources management and water multiple uses. The Soil and Water Assessment Tool (SWAT), a physically based model with different types of applications, mainly covering climate scenarios, soil management and use and occupation assessment; determination of diffuse pollution or sediment yield critical area and also flow and water availability study. However, there are few practical applications as a management tool and aid to decision-making and even fewer studies that consider nutrients. In this context, this study aims to apply the SWAT model in BHRC for the assessment of its use as a water resources management tool, through the use of topographic, land use, soil, climate, hydrological and management data. The model was calibrated for flow, sediments and nutrients, using monitored data for 2014, and, overall, it was classified as satisfactory for flow and as unsatisfactory for sediment and nutrients. The hydrological monitoring data scarcity in Brazil, as well as the data quality, act as an impediment to the implementation of the model, and also for model calibration and validation. The results show the model applicability water management aid tool, as demonstrated by the average annual nitrate yield mapping for the basin.

Keywords: SWAT, hydrological modelling, water resource management, nutrients.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Camboriú ...	43
Figura 2 - Hidrografia principal da bacia hidrográfica do Rio Camboriú	45
Figura 3 - Fluxograma da metodologia	51
Figura 4 - Exutórios, fontes pontuais e relevo da BHRC.....	53
Figura 5 - Localização das estações agrometeorológica, climatológica e hidrológicas.....	59
Figura 6 - Distribuição das operações de manejo do arroz irrigado, para o primeiro plantio.....	62
Figura 7 - Modelo digital de elevação da bacia hidrográfica do rio Camboriú	74
Figura 8 - Comparação entre a hidrografia inserida e a modelada pelo SWAT.....	75
Figura 9 - Subbacias geradas pelo modelo.....	76
Figura 10 - Mapa de uso e ocupação do solo da BHRC	79
Figura 11 - Mapa de solos da BHRC	81
Figura 12 - Mapa de classes de declividade adotadas	82
Figura 13 - Curva-chave de vazão da E2	86
Figura 14 - Curva-chave de vazão da E4	86
Figura 15 - Curva-chave de sedimentos da E4	87
Figura 16 - Curva-chave de sedimentos da E2	87
Figura 17 - Hidrograma observado e simulado para o E2, na bacia hidrográfica do rio Camboriú, para o ano de 2014.....	92
Figura 18 - Hidrograma observado e simulado para o E4, na bacia hidrográfica do rio Camboriú, para o ano de 2014.....	93
Figura 19 - Distribuição das cargas de sedimentos observadas e simuladas para a E2	94
Figura 20 - Close da distribuição das concentrações de sedimentos observadas e simuladas para a E2	95
Figura 21 - Distribuição das concentrações de sedimentos observadas e simuladas para a E4	96
Figura 22 - Distribuição das concentrações de nitrato observadas e simuladas para a E2	97
Figura 23 - Valores dos principais elementos do balanço hídrico... 99	99
Figura 24 - Mapa de produção de sedimentos média anual da bacia hidrográfica do rio Camboriú.....	100

Figura 25 - Mapa de produção de nitrato média anual para a bacia hidrográfica do rio Camboriú.....	101
Figura 26 - Mapa das áreas críticas de produção de nitrato da bacia hidrográfica do rio Camboriú.....	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Faixas de desempenho para índices estatísticos, considerando calibração mensal	42
Tabela 2 - Características geográficas dos municípios de Balneário Camboriú e Camboriú.....	44
Tabela 3 - Parâmetros utilizados nas bases de dados de uso e ocupação dos solos (cultura e urbano).....	55
Tabela 4 - Parâmetros utilizados na base de dados de solos.....	57
Tabela 5 - Calendário de operações de manejo do arroz irrigado ..	60
Tabela 6 - Detalhamento dos parâmetros utilizados na análise de sensibilidade para calibração da vazão	68
Tabela 7 - Detalhamento dos parâmetros utilizados na análise de sensibilidade para calibração de sedimentos	69
Tabela 8 - Detalhamento dos parâmetros utilizados na análise de sensibilidade para calibração de nutrientes.....	70
Tabela 9 - Características das subbacias.....	77
Tabela 10 - Distribuição das classes de uso e ocupação do solo da BHRC	78
Tabela 11 - Classes de tipo de solo da BHRC	80
Tabela 12 - Distribuição das subbacias de acordo com os períodos de plantio.....	83
Tabela 13 - Ranking de sensibilidade dos parâmetros analisados para vazão	88
Tabela 14 - Ranking de sensibilidade dos parâmetros analisados para sedimentos	89
Tabela 15 - Ranking de sensibilidade dos parâmetros analisados para nutrientes	89
Tabela 16 - Parâmetros, métodos de variação e melhor ajuste para calibração de vazão, sedimentos e nutrientes.....	90
Tabela 17 - Parâmetros estatísticos da calibração.....	98

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificações de modelos hidrológicos e suas características	35
Quadro 2 - Características das estações de monitoramento....	65
Quadro 3 - Operações de manejo das áreas de arroz irrigado adotadas no SWAT.....	84

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA - Agência Nacional de Águas
BHRC - Bacia Hidrográfica do Rio Camboriú
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPAGRI/CIRAM - Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina / Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina
HRU - Unidade de Resposta Hidrológica
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
NSE - Coeficiente de Eficiência de Nash-Sutcliffe
PBIAS - Tendência Percentual
PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos
SDS/SC – Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável e Econômico/ Santa Catarina
SWAT - Soil and Water Assessment Tool

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	26
2. OBJETIVOS	28
2.1. OBJETIVO GERAL	28
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	28
3. JUSTIFICATIVA	29
4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	32
4.1. BALANÇO HÍDRICO	32
4.2. GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS	32
4.3. MODELAGEM HIDROLÓGICA	34
4.4. SWAT	35
4.5. AVALIAÇÃO DE MODELOS HIDROLÓGICOS	39
5. ÁREA DE ESTUDO	43
5.1. CARACTERÍSTICAS	44
5.2. CONFLITOS PELOS USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA	46
5.2.1. Quantidade da água	46
5.2.2. Qualidade da água	47
5.3. PROJETO PRODUTOR DE ÁGUA	48
6. METODOLOGIA	50
6.1. SISTEMA COMPUTACIONAL	50
6.2. CONSTRUÇÃO DO MODELO	52
6.2.1. Delimitação da bacia	52
6.2.2. Análise de HRU	53
6.2.3. Definição do clima e manejo	58
6.3. CALIBRAÇÃO DO MODELO	63
6.3.1. Dados observados	63

6.3.2.	Análise de sensibilidade.....	67
6.3.3.	Calibração	71
6.4.	ANÁLISE DOS RESULTADOS	71
7.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	73
7.1.	CONSTRUÇÃO DO MODELO.....	73
7.1.1.	Delimitação da bacia.....	73
7.1.2.	Análise de HRU	78
7.1.3.	Delimitação do clima e manejo	83
7.2.	CALIBRAÇÃO	85
7.2.1.	Dados observados.....	85
7.2.2.	Análise de sensibilidade.....	88
7.2.3.	Calibração	90
7.3.	ANÁLISE DOS RESULTADOS	98
7.3.1.	Vazão	98
7.3.2.	Sedimentos	99
7.3.3.	Nutrientes.....	101
8.	CONCLUSÕES.....	103
9.	RECOMENDAÇÕES FUTURAS	104
10.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	105

"Scarcity and misuse of fresh water pose a serious and growing threat to sustainable development and protection of the environment. Human health and welfare, food security, industrial development and the ecosystems on which they depend, are all at risk, unless water and land resources are managed more effectively in the present decade and beyond than they have been in the past."

*Conferência Internacional de
Água e Meio Ambiente.
Dublin, Irlanda, 1992*

1. INTRODUÇÃO

Com o aumento desordenado dos processos de urbanização, industrialização e crescimento populacional, a disputa pelo uso dos recursos hídricos encontra-se cada vez mais acirrada. Aumenta a complexidade da gestão de recursos hídricos, com os fornecimentos de água locais, regionais e nacionais cada vez mais pressionados para suprir os recursos necessários para usos múltiplos, como para irrigação, produção de energia, usos industriais, uso doméstico e para o meio ambiente. (ABBASPOUR et al., 2015)

Desta forma, a gestão de recursos hídricos deve ser realizada de forma a proporcionar o uso racional da água e minimizar os conflitos de seu uso. No Brasil, a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), lei nº 9.433 (BRASIL, 1997) estipula objetivos, diretrizes, fundamentos e instrumentos para a gestão no território nacional. Ela também criou o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos, instrumento que serve de subsídio para a gestão.

A coleta, o tratamento e a análise de dados e informações são etapas vitais para o conhecimento regional dos recursos hídricos e a implementação da gestão apropriada. Rode et al. (2010) relata a necessidade de métodos robustos para análise qualitativa e quantitativa da água, capazes de avaliar contribuições difusas e pontuais de poluição e simular diferentes cenários, vitais tanto para a elaboração de políticas quanto para gestão em si.

Os modelos de qualidade de água são indicados para este fim, pois possibilitam a formação de uma base científica para a gestão ambiental ao fornecer a predição da resposta do ecossistema em função das ações de gestão (ARHONDITSIS et al., 2006). Desta forma, ao substituir opiniões e experiência pessoal por dados medidos e modelados na fundamentação da gestão, há uma maior confiabilidade nos resultados.

O SWAT (Soil and Water Assessment Tool) é um modelo hidrológico de base física, contínuo no tempo e parâmetros distribuídos desenvolvido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), que visa a predição do impacto da gestão na produção de água, sedimento e agroquímicos (ARNOLD et al., 1998).

Apesar de seu bom desempenho em bacias hidrográficas brasileiras, grande parte das aplicações do SWAT possuem propósitos puramente acadêmicos e ainda são poucas as aplicações práticas como ferramenta de gestão e auxílio à tomada de decisão (GARBOSSA et al., 2011).

A unidade territorial de planejamento de gestão estipulada pela PNRH é a bacia hidrográfica (BRASIL, 1997). Desta forma, a área de estudo é a bacia hidrográfica do Rio Camboriú (BHRC), região caracterizada pelo turismo e agricultura.

Um dos maiores problemas da região se refere à disponibilidade de água, com frequentes falhas no abastecimento público de água no verão. A população fixa aproximada da bacia, segundo o censo de 2010 do IBGE, é de 147.000 habitantes, porém este valor ultrapassa 1.000.000 de habitantes no período de verão (GRANEMANN e ESPINOSA, 2013). A agricultura é caracterizada pelo arroz irrigado, cultura que consome grandes volumes de água, com picos de consumo também no verão.

A qualidade da água é outro aspecto importante da discussão. Duas fontes importantes de contribuição de poluição difusa são o lançamento de esgoto sanitário sem tratamento realizado pelo município de Camboriú e a utilização de fertilizantes e agroquímicos na agricultura.

Dentro do contexto apresentado, o objetivo do presente trabalho é aplicar o modelo SWAT na bacia hidrográfica do rio Camboriú para a avaliação de seu uso como ferramenta de auxílio à gestão de recursos hídricos.

O trabalho também visa a construção de curvas-chave, curvas de correlação entre turbidez e sedimentos e a calibração do modelo para vazão, sedimentos e nutrientes.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Aplicar o modelo SWAT na bacia hidrográfica do rio Camboriú para a avaliação de seu uso como ferramenta de auxílio à gestão de recursos hídricos.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Organizar a base de dados;
- Parametrizar o modelo;
- Construir curvas-chave de vazão e curvas de correlação entre sedimentos e turbidez;
- Calibrar o modelo para vazão, sedimentos e nutrientes;

3. JUSTIFICATIVA

A gestão de recursos hídricos é uma questão complexa e envolve diversos atores e interesses diferentes, muitas vezes, conflitantes.

Na bacia hidrográfica do Rio Camboriú (BHRC) os conflitos pelos usos múltiplos da água envolvem principalmente a agricultura e o abastecimento público de água. O ápice deste confronto ocorre no verão, quando a população normalmente ultrapassa 1.000.000 de habitantes devido ao turismo (GRANEMANN e ESPINOSA, 2013), em contraste com seus 147.000 habitantes fixos, e ocorrem os picos na demanda de água das culturas de arroz irrigado, principal produção agrícola da região.

A gestão de recursos hídricos a nível de bacia hidrográfica é estipulada pela Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) (BRASIL, 1997).

Os aspectos quantitativos e qualitativos da água não devem ser dissociados, como estipula a PNRH (BRASIL, 1997). O lançamento de esgoto sanitário sem tratamento realizado por Camboriú e a utilização de fertilizantes e agroquímicos na agricultura são duas fontes importantes de poluição. Padilha (2013) constatou que o lançamento de efluentes domésticos sem tratamento ou com tratamento ineficiente é o principal problema de qualidade da água da bacia.

Como o gerenciamento de recursos hídricos é complexo e humanos não são equipados de maneira apropriada a resolver sozinhos este tipo de problema (KIKER et al., 2005), faz-se necessária a criação de instrumentos e ferramentas que auxiliem esta tarefa.

Desta forma, a utilização da modelagem hidrológica para auxiliar a gestão de recursos hídricos é uma alternativa viável. O SWAT é um modelo hidrológico semi-distribuído e contínuo no tempo, capaz de modelar o regime hidrológico e considerar a contribuição de poluição pontual e difusa de diversas fontes.

O trabalho consiste na aplicação do modelo hidrológico SWAT para avaliação de nutrientes na BHRC.

Na modelagem serão inseridas informações climáticas, topográficas, de uso e ocupação dos solos e de manejo dos solos. Também serão utilizados dados de monitoramento hidrológico quantitativos e qualitativos da rede de drenagem da bacia hidrográfica.

O modelo será submetido a análise de sensibilidade, seguido da calibração, de modo a garantir sua representatividade e aumentar a confiabilidade dos resultados.

Estudos que abordam a avaliação de nutrientes ainda são escassos. Bersiani et al. (2015) constatou que do total de estudos realizados com o SWAT até 2014, o percentual daqueles que efetuaram a avaliação do comportamento de nutrientes não atinge 10% do total, ademais é ainda menor o percentual daqueles que realizaram a calibração ou validação para nutrientes.

A atuação da Empresa Municipal de Água e Saneamento de Balneário Camboriú (EMASA) na bacia, através do Projeto Produtor de Água, desenvolvido em parceria com a The Nature Conservancy (TNC), o Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina (CIRAM), a Prefeitura de Balneário Camboriú, o Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Camboriú (CBHRC), a Agência Nacional de Águas (ANA), a Prefeitura de Camboriú e a Agência Reguladora de Serviços de Saneamento Básico do Estado de Santa Catarina (Agesan) comprovam a importância de iniciativas para a melhoria da qualidade e quantidade de água, principalmente na BHRC.

A TNC, através da modelagem hidrológica com o SWAT, está realizando o levantamento das áreas prioritárias para ações de proteção e reflorestamento, de modo a promover redução na produção de sedimentos com otimização do custo-benefício.

Desta forma, o presente estudo pretende contribuir na pesquisa da utilização do SWAT como ferramenta de auxílio à gestão de recursos hídricos, abrangendo também a avaliação de nutrientes, assunto ainda pouco explorado.

Este trabalho foi realizado com auxílio do projeto do CNPq n°403739/2013-6 - Mudanças climáticas e seus efeitos sobre o regime hídrico, eventos hidrológicos extremos e a qualidade das águas no sul do Brasil.

*"We forget that the water cycle
and the life cycle are one."
Jacques Cousteau*

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1. BALANÇO HÍDRICO

Apesar de a água compor aproximadamente 75% do planeta Terra, menos de 3% é doce. Ademais, apenas 1% da água doce está na forma de água superficial, em rios e lagos, fonte de mais fácil captação para diversos usos da água (USGS, 2015).

A água é um recurso natural vital para a sobrevivência humana, assim como o desenvolvimento econômico e social. O primeiro Princípio da Conferência de Dublin ressalta sua importância ao afirmar que: “A água é um recurso natural finito e vulnerável, essencial para a manutenção da vida, para o desenvolvimento e para o meio ambiente”.

O ciclo hidrológico descreve a dinâmica da movimentação da água através de seus diferentes estados físicos, composto por quatro processos principais: evaporação, condensação, precipitação e infiltração.

O desenvolvimento das civilizações sempre esteve atrelado à disponibilidade hídrica. Desta forma, para seu desenvolvimento e sobrevivência, existem diversas demandas de recursos hídricos. Também são importantes as demandas ecológicas, necessárias para a sobrevivência dos ecossistemas

Considerando o uso mundial de água, as principais demandas de água potável são a agricultura, as atividades industriais e o uso doméstico, responsáveis por 70%, 20% e 10% do consumo, respectivamente (FAO, 2015).

A disponibilidade hídrica, de acordo com Tucci (2007) é a parcela da vazão que pode ser utilizada sem que o ecossistema aquático seja comprometido.

O balanço hídrico é justamente a diferença entre a disponibilidade hídrica e suas demandas. A sua análise é dependente da escala de avaliação.

4.2. GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

O crescimento populacional, o desenvolvimento agrícola e industrial, aliado à poluição e mudanças climáticas colocam pressão sobre os sistemas de abastecimento de água.

Desta forma, a gestão adequada dos recursos hídricos se faz cada vez mais necessária para a garantia do atendimento aos usos múltiplos da água. É essencial o uso sustentável da água, derivado do conceito de

desenvolvimento sustentável, concebido no Relatório de Brundtland, Nosso Futuro Comum (publicado em 1987). Este estipula que o desenvolvimento deve ser realizado de modo a suprir as demandas, porém sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender suas próprias demandas e conseqüente desenvolvimento.

Os princípios para a gestão sustentável da água foram estabelecidos na Declaração de Dublin, após a Conferência Internacional sobre Água e Meio Ambiente (ICWE), realizada na cidade em 1992, após a constatação da situação crítica dos recursos hídricos.

Estes princípios estipulam que: 1º a água é um recurso finito e vulnerável, 2º a gestão dos recursos deve ser realizada de forma participativa, 3º as mulheres possuem papel vital na gestão dos recursos hídricos e 4º a água é dotada de valor econômico.

No Brasil, a gestão de recursos hídricos é norteadada pela Política Nacional de Recursos Hídricos, PNRH (BRASIL, 1997), alinhada ao primeiro e quarto princípios de Dublin (BRESSIANI et al., 2015). A entidade federal responsável pela implementação da PNRH é a Agência Nacional de Águas (ANA), criada pela lei nº9.984/2000 (BRASIL, 2000). A coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos também é uma de suas atribuições.

Entre os princípios da PNRH estão o desenvolvimento sustentável e o uso racional da água. Entre seus fundamentos estão a realização da gestão de forma a assegurar o uso múltiplo das águas, assim como proporcionar gestão descentralizada e participativa, recomendados desde 1987 pela Carta de Salvador (ABRH, 1987).

A PNRH estipula a bacia hidrográfica como unidade territorial de planejamento, seguindo o recomendado pela Declaração de Dublin e também pela Carta de Foz do Iguaçu (ABRH, 1989). Esta utilização já foi empregada com sucesso em diversos cenários, mesmo antes desta determinação (PORTO e PORTO, 2008). Este tipo de abrangência apresenta benefícios econômicos e sociais máximos (LOUCKS et al., 2005)

Os instrumentos da PNRH abrangem os Planos de Recursos Hídricos, o enquadramento dos corpos d'água em classes, a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos, a cobrança pelo uso de Recursos Hídricos e o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos.

Os Planos de Recursos Hídricos devem ser elaborados em três abrangências, bacia hidrográfica, Estado e País. A elaboração do Plano de Bacia Hidrográfica deve ser realizada pelo Comitê de Bacia Hidrográfica (CBH) correspondente (ANA, 2011). O plano fundamenta

e orienta a gestão de recursos hídricos, porém ainda são poucas as bacias para as quais este já foi elaborado.

Gestores de recursos hídricos, municípios, companhias estatais, instituições federais, comitês de bacia e organizações ambientais, se baseiam em três aspectos para a tomada de decisões: a disponibilidade de informação, o tempo admissível e as restrições de recursos para tomar decisões adequadas (BISWAS, 1975). A modelagem hidrológica surge como ferramenta para o planejamento, de modo a otimizar a gestão sob estes aspectos.

A complexidade envolvida na gestão de recursos hídricos faz necessária a utilização de ferramentas de auxílio, como a modelagem hidrológica. Atualmente, a gestão de recursos hídricos é dependente da utilização de modelos de previsão de impacto (LOUCKS et al., 2005).

4.3. MODELAGEM HIDROLÓGICA

A elaboração de legislação ambiental e implementação de gestão eficaz requerem métodos robustos de avaliação da contribuição de fontes pontuais e difusas de poluição, assim como para o diagnóstico e estimativa de metas de qualidade de água (Rode et al, 2010).

Desta forma, os modelos hidrológicos são ferramentas eficazes de auxílio a gestão, importantes para a gestão do uso sustentável da água (Abbaspour et al, 2015). Eles possibilitam a formação de uma base científica para a gestão ambiental ao fornecer a predição da resposta do ecossistema em função das ações de gestão (Arhonditis, 2006).

Estes modelos possibilitam o diagnóstico da qualidade de água, assim como a criação e avaliação de cenários futuros, considerando alterações no uso do solo, no manejo do solo, da base climática, entre outros. Estas aplicações só são possíveis devido a representação da dinâmica dos cursos hídricos alcançada pelo modelo.

A incorporação de sistemas de informação geográfica (SIG) aos modelos hidrológicos foi um marco, possibilitando a automação de tarefas e diferenciação espacial, conseqüentemente, gerando resultados mais rápidos e precisos.

Os modelos podem ser classificados por diversos aspectos, como tipo de variáveis utilizadas (estocásticos ou determinísticos), a relação entre as variáveis de entrada (empíricos ou conceituais), a forma de representação dos dados (discretos ou contínuos), relações espaciais (concentrados ou distribuídos), (RENNÓ e SOARES, 2008), como pode ser observado no Quadro 1.

Quadro 1 - Classificações de modelos hidrológicos e suas características

Classificação	Características
Estocásticos	Comportamento aleatório de ao menos uma de suas variáveis
Determinísticos	Não utiliza o conceito de probabilidade
Empíricos	Considera relações baseadas em observações
Conceituais	Consideram processos físicos envolvidos nos processos
Discretos	Mudanças de estado ocorrem em intervalos discretos
Contínuos	Fenômenos são contínuos no tempo
Concentrados	Não considera a variabilidade espacial das variáveis
Distribuídos	Considera a variabilidade espacial e/ou temporal das variáveis

Fonte: Adaptado de Rennó e Soares (2008) e Tucci (1998)

Atualmente, a oferta de modelos hidrológicos é ampla, criados para atender diversas demandas. Dentre os modelos de base física, podem ser citados o Rainfall-Runoff Model - Topography-based hydrological model (TOPMODEL) (BEVEN e KIRKBY, 1979), o Soil Water Assessment Tool (SWAT) (ARNOLD et al., 1998) e o Systeme Hydrologique Europeen (SHE) (BATHURST, WICKS e O'CONNEL., 1995).

A escolha do modelo apropriado é tão importante quanto a modelagem em si e deve ser orientado de acordo com o objetivo da modelagem. Devia, Ganasri e Dwarakish (2015) estabelecem que o modelo mais adequado é aquele que simplifica processos e utiliza poucos parâmetros, e ainda assim, atinge bons resultados.

4.4. SWAT

O SWAT é um modelo de base física, contínuo no espaço e semi-distribuído, baseado na escala de bacia hidrográfica (TIM e JOLLY, 1994), desenvolvido como ferramenta de auxílio a gestão na avaliação de cenários de manejo e seus impactos na produção de vazão, sedimentos e poluentes provenientes da agricultura (SRINIVASAN e ARNOLD, 1994).

Foi desenvolvido pela Texas A&M University e o Agricultural Research Service (ARS, da USDA), é de domínio público e apresenta

código aberto, o que possibilita a adaptação para casos específicos e fomenta o desenvolvimento e constante atualização do modelo.

Foi derivado do modelo SWRRB (Simulator for Water Resources in Rural Basins) e possui contribuições dos seguintes modelos: CREAMS (Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems), GLEAMS (Groundwater Loading Effects on Agricultural Management Systems) e EPIC (Erosion-Productivity Impact Calculator).

De acordo com a documentação do SWAT (NEITSCH et al., 2011), dentre suas características principais estão a divisão em da bacia hidrográfica em subbacias e a consequente divisão em HRUs, unidades de resposta hidrológica, áreas com combinações de solo, uso de solo e declividade semelhantes que produzem respostas homogêneas.

As vantagens da modelagem com o SWAT podem ser divididas em três características. Primeiro, a possibilidade da especificação temporal e espacial dos resultados, permitindo a análise de uma determinada subbacia em um determinado tempo. Segundo, a modelagem de processos hidrológicos de forma abrangente, composta por escoamento superficial e qualidade da água, assim como águas subterrâneas e subsuperficiais. Por último, possibilita a avaliação de cenários de manejo de solo, usos de solo e clima, entre outros (OMANI, SRINIVASAN e LEE, 2012).

O modelo é fundamentado no balanço hídrico, que pode ser expresso pela equação (1):

$$SW_t = SW_o + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - w_{revap} - Q_{gw}) \quad (1)$$

Onde:

SW_t : quantidade final de água no solo (mmH₂O);

t: tempo (dias);

SW_o : umidade inicial do solo (mmH₂O);

R_{day} : precipitação diária (mmH₂O);

Q_{surf} : escoamento superficial (mmH₂O);

E_a : evapotranspiração (mmH₂O);

w_{revap} : quantidade de água que entra na zona de aeração do perfil do solo (mmH₂O) e

Q_{gw} : quantidade de retorno do fluxo (mmH₂O).

Os métodos empregados para a determinação dos resultados da simulação são inúmeros. O cálculo do escoamento superficial é

realizado por meio do método SCS Curve Number (CN), segundo a precipitação diária e grupos hidrológicos de solos (de A à D). Outro fator importante para a determinação do escoamento superficial é o número de Manning (n). A produção de sedimentos é calculada através da equação universal de perda de solo modificada (MUSLE).

O modelo requer dados de entrada espaciais, climáticos e tabulares, como modelo digital de elevação, mapa de solo, mapa de uso e ocupação do solo e séries temporais de dados climáticos (precipitação diária, temperatura do ar máxima e mínima diária, radiação solar, umidade relativa e velocidade do vento). Também é possível inserir dados de manejo do solo a nível de HRU.

São diversos os tipos de aplicação do modelo, abrangendo principalmente a avaliação de cenários climáticos, de manejo do solo e uso e ocupação do solo; determinação de áreas críticas de poluição difusa ou produção de sedimentos e também estudo de vazão e disponibilidade hídrica.

Dentre os estudos que comprovam a aplicabilidade do SWAT como ferramenta de auxílio a gestão podem ser citados

- a utilização do modelo para a determinação de vazão de outorga de direito de uso, por Souza, Santos e Kobiyama (2009), avaliado como mais preciso para a determinação de vazão para bacias com menos de 100km² quando comparado ao método de transferência por área de drenagem simples;
- a avaliação do efeito de cenários de manejo do solo, aliados a cenários climáticos, na qualidade da água e rendimento das culturas. Neste estudo realizado na bacia do rio Ohio-Tennessee, observou-se redução da erosão e carga de nutrientes em todos os cenários (PANAGOPOULOS, 2015);
- a avaliação dos impactos antrópicos na produção de sedimentos e vazão e consequente navegabilidade do canal do rio São Francisco (CREECH et al., 2015);
- a otimização da estimativa da demanda hídrica de culturas através da modelagem hidrológica aliada à operação do reservatório de água para abastecimento e geração de energia hidrelétrica, apresentando possibilidade de melhora significativa (WU e CHEN, 2013).

A aplicabilidade do SWAT em bacias hidrográficas brasileiras, de modo geral, produz bons resultados, porém o foco da maioria dos estudos é acadêmico (BRESSIANI et al., 2015). Os estudos também se

concentram nas regiões sul e sudeste, representando mais de 60% dos estudos conduzidos entre 1999 e 2015.

Enquanto quase a metade dos estudos focam na vazão, menos de 10% dos estudos consideravam o transporte de nutrientes (BRESSIANI et al., 2015). Dentre os estudos que consideram e avaliam nutrientes, não se restringindo ao Brasil, podem ser citados:

- Niraula et al. (2012) verifica que, para análise de áreas críticas de produção de sedimentos e nutrientes, modelos calibrados e não calibrados produzem resultados semelhantes, desta forma, pra bacias com escassez de dados de monitoramento, este tipo de aplicação pode ser aplicado sem a necessidade de calibração;
- Padilha (2013) avalia a qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Camboriú e verifica que o lançamento inadequado de efluentes domésticos é a principal causa de sua deterioração, ademais, identifica os principais parâmetros mais problemáticos (DBO e fosfato);
- El-Khoury et al. (2015) avaliou o impacto de cenários de mudanças climáticas e uso e ocupação do solo na vazão, carga de sedimentos e nutrientes, verificando que ambos resultam em aumento na vazão, carga de nitrato e carga de fósforo orgânico. De forma semelhante, Mehdi, Ludwig e Lehner (2015) analisaram as mudanças climáticas e seus impactos na vazão, carga de nitrato e fósforo, também apresentando deterioração da qualidade da água.

Entre os fatores que dificultam a aplicação do modelo no Brasil estão a escassa base de dados de séries de dados de monitoramento hidrológico (GARBOSSA et al., 2011) e o número insuficiente de estações de monitoramento nas bacias (BRESSIANI et al., 2015).

4.4.1. Representação de áreas de arroz irrigado

O Brasil está entre os 10 maiores produtores de arroz do mundo, pelo método de arroz irrigado (FAOSTAT, 2013).

O Estado de Santa Catarina é o segundo maior produtor de arroz irrigado do Brasil, responsável por aproximadamente 9% da produção nacional de arroz, de acordo com dados de 2013 (EPAGRI, 2015).

A representação de áreas de arroz irrigado no modelo SWAT apresenta algumas inconsistências.

A recomendação da documentação teórica do SWAT (NEITSCH et al., 2011) é a representação das áreas de arroz através do módulo de

poças (potholes), devido a semelhança hidrológica destas com as áreas depressionais fechadas para as quais ele foi criado. O módulo permite o alagamento das áreas, semelhante ao praticado nas culturas.

Porém, a necessidade de adaptação deste módulo para a representação adequada da dinâmica que ocorre nos cultivos já foi verificada em diversos estudos, por Xie e Cui (2011), Boulange et al. (2014), Sakaguchi et al. (2014) e Gassman (2015), entre outros.

Uma das primeiras iniciativas abordou a alteração da forma das poças para cubos ao invés de cones, desta forma mais condizentes com os campos de arroz e a adoção de três níveis críticos de água para o ajuste das operações de irrigação e drenagem (XIE e CUI, 2011).

Outra iniciativa foi a introdução de um novo parâmetro taxa de percolação potencial do arrozal, aliado a modificação na irrigação, de modo a evitar transbordamento das poças, e a adaptação da evaporação de acordo com taxas observadas (SAKAGUCHI et al., 2014).

Boulange et al. (2014), além de implementar mudanças baseadas em Xie e Cui (2011), aliou o modelo de simulação de destino e transporte de pesticidas em campos de arroz irrigado, PCPF-1, ao SWAT, obtendo resultados aceitáveis, como NSE de 0,65.

Após a discussão das iniciativas globais de adequação do módulo, Gassman (2015) conclui que a representação correta da rizicultura irrigada requer adaptações no código, também afirma que um novo módulo está em desenvolvimento.

4.5. AVALIAÇÃO DE MODELOS HIDROLÓGICOS

A avaliação mais realizada de modelos hidrológicos é através de índices estatísticos.

Comumente, são utilizados o coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe (NSE), o coeficiente de determinação R^2 e o percentual de tendências (PBIAS) (HUTCHINSON e CHRISTIANSEN, 2013). Outro método bastante empregado é a razão entre o erro padrão médio e o desvio padrão das observações (RSR).

O NSE mede o ajuste entre os valores simulados e observados.

Este coeficiente varia entre negativo infinito ($-\infty$) e 1, indicando melhor ajuste quanto mais próximo de um for o resultado, onde 1 representa ajuste perfeito da curva. O cálculo do NSE pode ser realizado através da seguinte equação (2):

Cálculo do NSE

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - Q_{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - \bar{Q}_{obs})^2} \quad (2)$$

Onde:

Q_{obs} : Vazão observada (m³/s)

Q_{sim} : Vazão simulada (m³/s)

\bar{Q}_{obs} : Vazão observada média (m³/s)

O R^2 mede a força da relação linear entre os valores observados e simulados.

Este coeficiente varia entre 0 e 1, indicando melhor ajuste quanto mais próximo de um for o resultado, onde 1 representa ajuste perfeito da curva. O cálculo do R^2 pode ser realizado da seguinte equação (3):

Cálculo do R^2

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - \bar{Q}_{obs})(Q_{sim} - \bar{Q}_{sim})]^2}{[\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - \bar{Q}_{obs})^2][\sum_{i=1}^n (Q_{sim} - \bar{Q}_{sim})^2]} \quad (3)$$

Onde:

Q_{obs} : Vazão observada (m³/s)

Q_{sim} : Vazão simulada (m³/s)

\bar{Q}_{obs} : Vazão observada média (m³/s)

\bar{Q}_{sim} : Vazão simulada média (m³/s)

O PBIAS mede a tendência média de superestimação e subestimação dos dados simulados para o período avaliado.

Este coeficiente varia entre $-\infty$ e ∞ , onde 0 indica performance ideal, valores positivos indicam tendência de subestimação e valores negativos de superestimação. Ele é calculado através da seguinte equação (4):

Cálculo do PBIAS

$$PBIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - Q_{sim})}{\sum_{i=1}^n Q_{obs}} \quad (4)$$

Onde:

Q_{obs} : Vazão observada (m³/s)

Q_{sim} : Vazão simulada (m³/s)

O RSR mede a razão entre o erro padrão médio (EPM) e o desvio padrão das observações. Este coeficiente varia entre 0 e ∞ , onde 0 representa erro padrão médio nulo, resultando em simulação perfeita. Quanto menor o RSR, melhor a performance da simulação do modelo. O cálculo do RSR pode ser realizado através da equação (5) a seguir:

Cálculo do RSR

$$RSR = \frac{EPM}{desvpadQ_{obs}} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - Q_{sim})^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - \bar{Q}_{obs})^2}} \quad (5)$$

Onde:

Q_{obs} : Vazão observada (m³/s)

Q_{sim} : Vazão simulada (m³/s)

\bar{Q}_{obs} : Vazão observada média (m³/s)

Os índices tendem a melhorar com espaçamentos maiores de tempo, enquanto um modelo produz NSE intermediário para simulações diárias, este pode ser considerado bom para simulações mensais e melhorar ainda mais para simulações anuais.

De maneira geral, os resultados são considerados satisfatórios caso os valores de NSE superem 0,50 e de RSR sejam iguais ou inferiores a 0,70 (MORIASI et al., 2007).

Para calibração com passo de tempo mensal, as faixas de desempenho dos índices estatísticos sugeridas são apresentadas na Tabela 1. Neste trabalho, este método de avaliação também será empregado para simulações diárias.

Tabela 1 - Faixas de desempenho para índices estatísticos, considerando calibração mensal

Classificação de desempenho	Índice estatístico				
	RSR	NSE	PBIAS (%)		
			Vazão	Sedimentos	Nitrogênio e Fósforo
Muito bom	$0,0 \leq \text{RSR} \leq 0,50$	$0,75 < \text{NSE} \leq 1,00$	$\text{PBIAS} < \pm 10$	$\text{PBIAS} < \pm 15$	$\text{PBIAS} < \pm 25$
Bom	$0,5 < \text{RSR} \leq 0,60$	$0,65 < \text{NSE} \leq 0,75$	$\pm 10 \leq \text{PBIAS} < \pm 15$	$\pm 15 \leq \text{PBIAS} < \pm 30$	$\pm 25 \leq \text{PBIAS} < \pm 40$
Satisfatório	$0,6 < \text{RSR} \leq 0,70$	$0,50 < \text{NSE} \leq 0,65$	$\pm 15 \leq \text{PBIAS} < \pm 25$	$\pm 30 \leq \text{PBIAS} < \pm 55$	$\pm 40 \leq \text{PBIAS} < \pm 70$
Insatisfatório	$\text{RSR} > 0,70$	$\text{NSE} \leq 0,50$	$\text{PBIAS} \geq 25$ ou $\text{PBIAS} \leq -25$	$\text{PBIAS} \geq 55$ ou $\text{PBIAS} \leq -55$	$\text{PBIAS} \geq 70$ ou $\text{PBIAS} \leq -70$

Fonte: Moriasi et al., 2007

5. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo abrange a Bacia Hidrográfica do Rio Camboriú (BHRC), localizada no litoral norte de Santa Catarina (Figura 1).

A BHRC engloba parte dos municípios de Camboriú e Balneário Camboriú, possui área aproximada de 199,8 km² e comprimento axial de 26,4 km (EPAGRI/CIRAM, 2011).

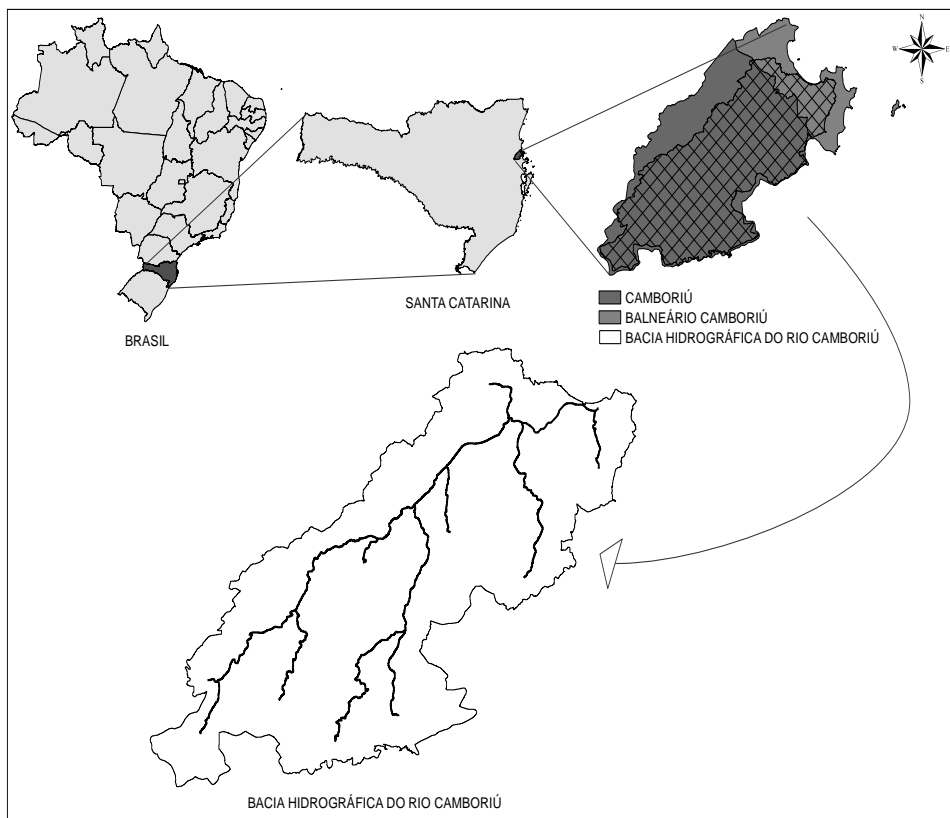


Figura 1 - Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Camboriú

No âmbito federal encontra-se inserida na região hidrográfica 9 - Atlântico Sul, já no âmbito estadual na região hidrográfica 7 - Vale do Itajaí.

As características referentes a cada um dos municípios, como latitude, longitude, altitude, população estimada de 2015, população de 2010, área e densidade demográfica encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 - Características geográficas dos municípios de Balneário Camboriú e Camboriú

Município	Balneário Camboriú	Camboriú
Latitude	-26°59'26"	-27°01'31'
Longitude	-48°38'05"	-48°39'16"
Altitude (m)	2	8
População estimada 2015	128.155	74.434
População 2010	108.089	62.361
Área da unidade territorial (km ²)	46,244	212,320
Densidade demográfica (hab/km ²)	2.337,67	293,68

Fonte: IBGE, 2015

As principais atividades desenvolvidas na região são o turismo, Balneário Camboriú é uma das maiores cidades turísticas do Atlântico Sul, e a agricultura, Camboriú é caracterizado por sua produção agrícola.

A região apresenta clima subtropical úmido (cfa), de acordo com a classificação de Köppen, temperatura média de 19.5°C, com valores mínimo de -2.6°C e máximo de 39.5°C no período entre 1912 e 1983. A precipitação total anual média da BHRC é igual a 1.600,4 mm, com valores máximos de precipitação nos meses de janeiro, fevereiro e março. A umidade relativa média anual é de 86.5% (EPAGRI, 1999).

5.1. CARACTERÍSTICAS

A rede de drenagem principal da BHRC é formada pelos rios Camboriú, Canoas, Braço e Pequeno (Figura 2).

De acordo com EPAGRI/CIRAM (2011), a bacia apresenta tempo concentração de 10 horas.

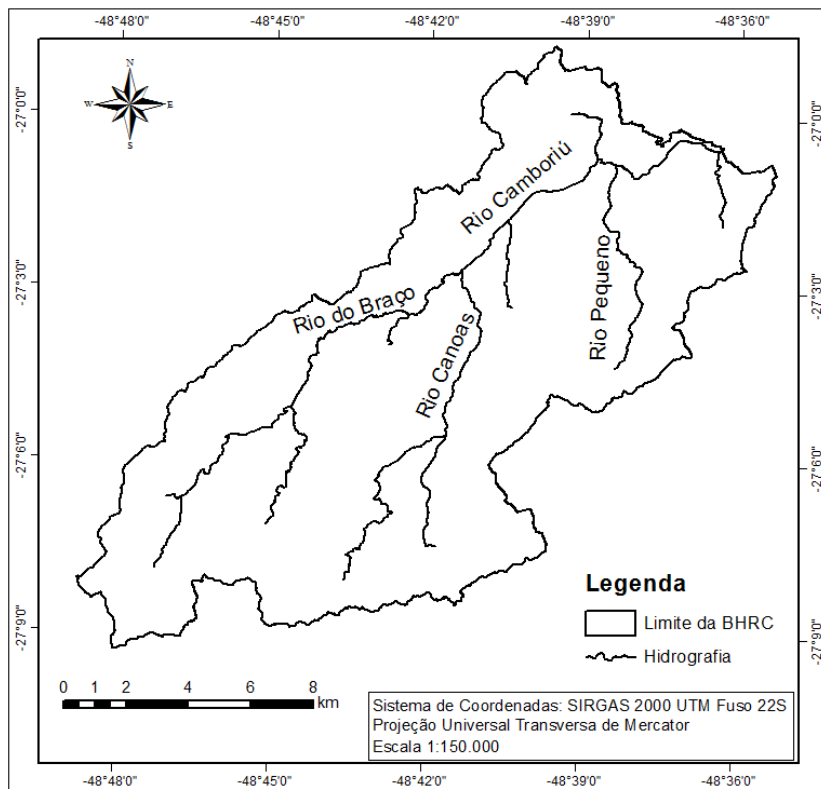


Figura 2 - Hidrografia principal da bacia hidrográfica do Rio Camboriú

Enquanto o município de Balneário Camboriú é altamente urbanizado, Camboriú apresenta poucas áreas urbanas. Considerando o tamanho dos municípios, o tipo de uso e ocupação do solo predominante é a floresta. Mais especificamente, do tipo Floresta Ombrófila Densa (EPAGRI, 1999 apud SANTA CATARINA, 1986), típica da Mata Atlântica, bioma dominante no Estado de Santa Catarina.

As altitudes mais elevadas da bacia se concentram em sua porção oeste, com altitudes máximas de 758 metros. Como esta é uma bacia litorânea, o encontro com o Oceano Atlântico, em sua porção leste, é caracterizado pelas baixas altitudes. A altitude média é igual a aproximadamente 156 metros.

Com relação ao tipo de solo contido na bacia, o cambissolo é predominante, presente em aproximadamente 50% da área da bacia. Este tipo de solo normalmente apresenta baixa permeabilidade e suscetibilidade a erosão.

Os meses de janeiro, fevereiro e março são caracterizados pela maior ocorrência de erosividade do solo. Desta forma, representam o período mais importante para aplicação de manejo do solo adequado (EPAGRI, 1999).

5.2. CONFLITOS PELOS USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA

O aumento das demandas de recursos hídricos aliado à gestão inadequada dos recursos hídricos geram conflitos e podem ocasionar problemas de disponibilidade hídrica.

O aumento populacional da zona costeira, habitantes de áreas localizadas em um raio de até 60 km do litoral, já é previsto desde 1992, pela Agenda 21. A BHRC não é exceção, considerando o uso e ocupação do solo, a bacia é uma das mais pressionadas do litoral de SC (GRANEMANN E ESPINOSA, 2013).

Os problemas de disponibilidade hídrica surgem quando uma bacia não é capaz de atender todas as demandas. A PNRH estipula que a gestão deve ser norteadada pelo desenvolvimento sustentável e também deve assegurar o uso múltiplo das águas. Um dos instrumentos estipulados pela PNRH é o Plano de Bacia Hidrográfica, utilizado para guiar a gestão de recursos hídricos e promover a minimização de conflitos, estipulando usos prioritários, sugestão de enquadramento de classe de rio, vazão de outorga de direito de uso da água e prioridades para outorga.

Apesar da BHRC possuir o Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio Camboriú desde 1997 (criado pelo decreto estadual nº 2.444 de 1º de dezembro de 1997), este não elaborou, até o momento, o plano de bacia.

Ainda de acordo com a PNRH, o atendimento das demandas pode ser comprometido por meio de dois aspectos, indissociáveis: a quantidade e a qualidade da água.

5.2.1. Quantidade da água

As principais atividades desenvolvidas na BHRC são o turismo, característica de Balneário Camboriú e a agricultura, característica de Camboriú.

Um dos maiores problemas da região se refere à disponibilidade de água, com frequentes falhas no abastecimento público de água no verão. Neste período ocorrem os picos da demanda por água para o abastecimento público e para a agricultura.

A primeira demanda aumenta devido ao fluxo de turistas no período. A população fixa aproximada da bacia, segundo o censo de 2010 do IBGE, é de 147.000 habitantes, porém este valor ultrapassa 1.000.000 de habitantes no período de verão (GRANEMANN e ESPINOSA, 2013).

Já a segunda demanda aumenta devido a utilização de água para irrigação. A principal atividade agrícola é a rizicultura irrigada, cultura que consome grandes volumes de água. A demanda de água da atividade atinge seu pico no período entre novembro e fevereiro, no qual a quase totalidade das áreas de arroz irrigado são irrigadas

Por estes motivos, o abastecimento público de água no verão é instável, falta de água recorrente na região.

Uma medida utilizada pelo Comitê de Camboriú visando a melhora quali-quantitativa do rio foi elencar algumas ações como condicionantes à emissão da outorga pelo uso da água, pela Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável e Econômico, de Santa Catarina (SDS/SC), para a EMASA, empresa responsável pelo abastecimento público de água para os dois municípios.

5.2.2. Qualidade da água

A bacia possui duas fontes principais de poluição: o lançamento de esgoto doméstico e a fertilização e uso de agrotóxicos pela agricultura.

A Empresa Municipal de Água e Saneamento de Balneário Camboriú (EMASA) realiza a captação, tratamento e distribuição da água para abastecimento público para os dois municípios.

Porém, somente o município de Balneário Camboriú possui sistema esgotamento sanitário, também operado pela EMASA. Desta forma, Camboriú realiza o lançamento de efluentes sem tratamento, contribuindo para a poluição da água. Padilha (2013) constatou que o lançamento de efluentes domésticos sem tratamento ou com tratamento ineficiente é o principal problema de qualidade da água da bacia.

Uma das soluções para o problema proposta pelo Comitê é a criação de um consórcio intermunicipal para a gestão de água e esgoto das duas cidades. São inúmeras as experiências bem-sucedidas com a implementação deste modelo, a exemplo do CISMAR (Consórcio

Intermunicipal de Saneamento do Paraná), criado em 2001 e constituído por 24 municípios.

A formação de consórcios é uma solução estimulada pelo PLANSAB (Plano Nacional de Saneamento Básico), visto que esta medida promove a minimização de gastos públicos e aumento da eficiência do serviço para os municípios. A falta de recursos e de capacidade técnica em pequenos municípios é um dos entraves para a implementação de serviços de esgotamento sanitário no país.

É importante ressaltar a importância da participação popular na gestão de recursos hídricos. A gestão descentralizada e participativa é um dos fundamentos da PNRH e também um dos princípios de Dublin, apresentados na Conferência Internacional sobre Água e Meio Ambiente: o Desenvolvimento na Perspectiva do Século 21.

A realização de estudos e discussões sobre a realização de Consórcio Intermunicipal com Balneário Camboriú e a concessão da prestação de serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário foi uma das demandas da população de Camboriú, através de abaixo-assinado (Comitê Camboriú, 2015).

A outra fonte potencialmente poluidora importante da região é proveniente da agricultura. A utilização de pesticidas e fertilizantes em excesso tem o potencial de contaminação de água subterrânea e superficial, degradação da qualidade dos solos, poluição atmosférica, alteração dos ecossistemas aquáticos e, em casos extremos, eutrofização do corpo hídrico.

5.3. PROJETO PRODUTOR DE ÁGUA

A EMASA recebeu a outorga para captação de água do Rio Camboriú para abastecimento público, emitida pela SDS, em 2012, para retirada de 700 L/s. Esta autorização é válida por 5 anos e foi concedida sob algumas condições.

Entre elas estão o projeto de um parque inundável, programas de educação ambiental com foco no uso da água, campanhas de redução no consumo de água, elaboração de legislação, programa de conservação e recuperação de mata ciliares.

Uma condicionante importante foi a ampliação do Projeto Produtor de Água (EMASA, 2015), que visa a melhoria qualitativa das águas da BHRC através da proteção das áreas de mananciais, conservação do solo e implementação de práticas conservacionistas.

Este projeto foi concretizado pela Lei Municipal nº 3.026 de 26 de novembro de 2009 e é uma iniciativa da EMASA e da Prefeitura de Balneário Camboriú, em parceria com o Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Camboriú (CBHRC), a TNC (The Nature Conservancy), a ANA, o CIRAM, a Prefeitura de Camboriú e a Agesan (Agência Reguladora de Serviços de Saneamento Básico do Estado de Santa Catarina).

Seu objetivo é o desenvolvimento de instrumentos para a conservação dos recursos hídricos da BHRC. Ele prevê o pagamento por serviços ambientais aos proprietários rurais que aderirem ao projeto. Desta forma, inclui a participação do agricultor na recuperação, atuando como agente ambiental.

O projeto também auxilia a adequação ao código florestal dos proprietários rurais, uma vez que grande parte das lavouras de arroz estão localizadas em margens de rio, e, desta forma, são enquadradas como áreas de preservação permanente

A meta inicial do programa era a recuperação de 180 hectares de mata ciliar no entorno do Rio Camboriú.

Dentro deste contexto, a TNC está fazendo o uso da modelagem hidrológica com o SWAT para a definição de áreas prioritárias para as ações de reflorestamento, que proporcionem o melhor custo-benefício na diminuição da produção de sedimentos.

6. METODOLOGIA

Este trabalho visa a aplicação do modelo SWAT na bacia hidroológica do rio Camboriú para a avaliação de seu uso como ferramenta de auxílio à gestão de recursos hídricos. A metodologia adotada para atingi-lo consiste na organização da base de dados; a parametrização dos dados de entrada e a calibração do modelo para vazão, sedimentos e nutrientes. A Figura 3 apresenta o fluxograma da metodologia empregada neste trabalho.

O período modelado abrange de janeiro de 1981 a dezembro de 2014. As séries temporais de dados foram inseridas no modelo em intervalos de tempo diários. Foi utilizado um período de aquecimento (NYS, número de anos de aquecimento) de 5 anos, de modo a estabelecer o equilíbrio dinâmico do modelo.

Este trabalho foi desenvolvido com o apoio do projeto CNPq n° 14 de 2012: Sistema de monitoramento hidroológico e modelagem ambiental da bacia hidrográfica do Rio Camboriú – SC. Desta forma, utiliza informações coletadas ao longo do desenvolvimento do projeto.

Também são utilizadas informações do projeto CNPq n°37 de 2013: Mudanças climáticas e seus efeitos sobre o regime hídrico, eventos hidroológicos extremos e qualidade das águas no sul do Brasil, uma colaboração da FURB, EPAGRI, UDESC e INPE.

6.1. SISTEMA COMPUTACIONAL

Os seguintes softwares serão utilizados no desenvolvimento deste trabalho:

- ArcSWAT 2012.10_1.18, interface do SWAT para ArcGIS desenvolvido pela Blackland Research and Extension Center em parceria com Agricultural Research Service (USDA), Texas, EUA. A versão 2012 utilizada possui a Revisão 637 do executável SWAT2012.exe.
- ArcGIS 10.1, sistema de informações geográficas, com a extensão Spatial Analyst desenvolvidos pela Environmental Systems Research Institute, Inc (ESRI), Redlands, CA, EUA.
- SWAT-CUP, programa computacional de domínio público para calibração de modelos do SWAT.

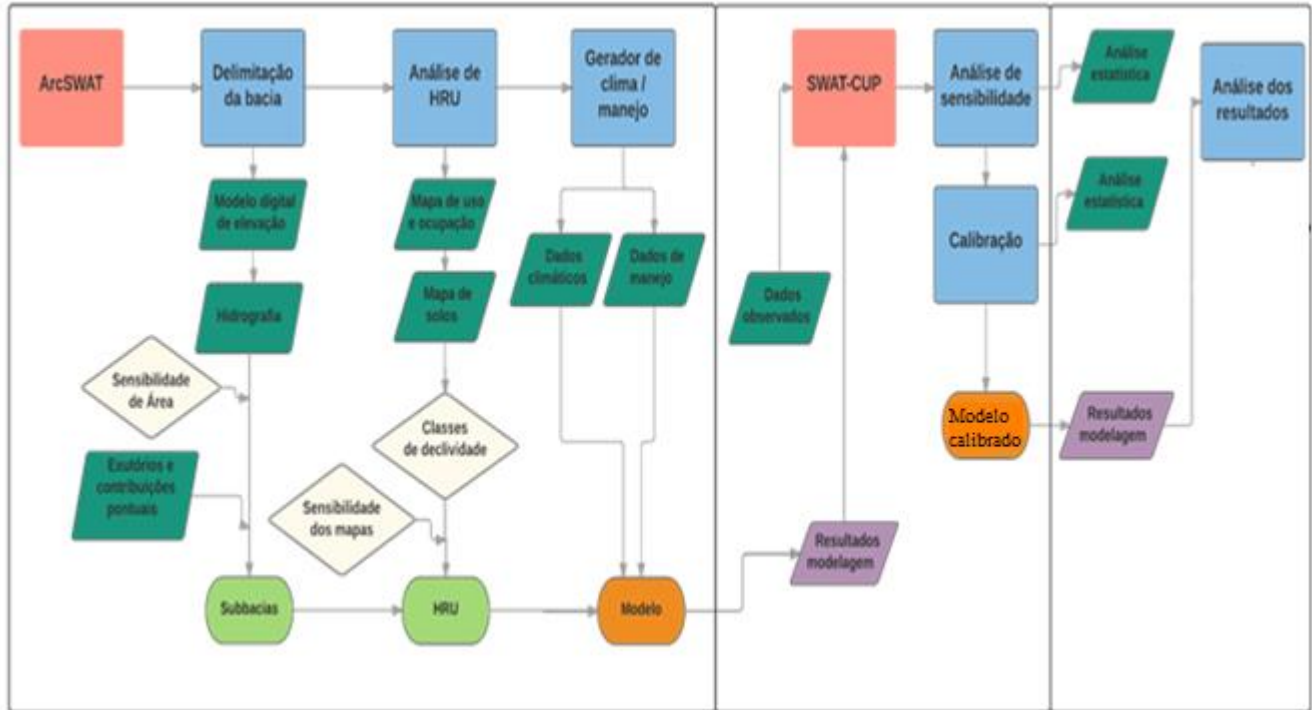


Figura 3 - Fluxograma da metodologia

6.2. CONSTRUÇÃO DO MODELO

Os principais processos da criação de um modelo do SWAT são a delimitação da bacia, a análise de HRU e a definição do gerador de clima e manejo.

Os dados de entrada do SWAT abrangem dados espaciais, como topografia, solo e uso e ocupação de solo, e dados tabulares, como séries climáticas, dados hidrológicos, dados de caracterização do solo e dados de manejo do solo.

Nas seções seguintes, serão detalhados os processos, os dados utilizados, suas fontes e os resultados esperados.

6.2.1. Delimitação da bacia

Os dados de entrada requeridos no primeiro processo são o modelo digital de elevação (MDT) da bacia, a área limite para a definição da densidade hidrográfica do projeto, a definição dos exutórios das subbacias e da bacia, assim como os pontos de contribuição pontual. Um dado opcional é o mapa de hidrografia da região.

O MDT da bacia foi gerado com base no levantamento aerofotogramétrico de Santa Catarina realizado em 2010 pela Secretaria de Desenvolvimento Sustentável (SDS/SC), na escala 1:10.000. A resolução do mapa criado foi de 3 metros. De modo a garantir o preenchimento da área da bacia modelada, o mapa gerado excede em, aproximadamente, 1 km o limite da bacia hidrográfica do rio Camboriú.

Uma etapa opcional, adotada no presente trabalho, consiste na delimitação da hidrografia por meio do fornecimento do mapa da rede hidrográfica da região, através da opção *Burn In*. Desta forma, o modelo é forçado a adotar a hidrografia coincidente com a rede mapeada pela EPAGRI. Quando esta informação não é fornecida, a rede de drenagem é delimitada a partir do MDT. O mapa de hidrografia foi gerado a partir do mesmo levantamento aerofotogramétrico de SC, realizado pela SDS.

Considerando o tamanho da bacia hidrográfica do Rio Camboriú, de apenas 200 km², foi adotada área limite (utilizada para a determinação da resolução da hidrografia modelada) de 100 ha, de forma a maximizar a densidade hidrográfica possível de ser modelada. A faixa recomendada pelo modelo abrange entre 97 e 19.455 ha.

A divisão da bacia em subbacias é baseada nos exutórios (*outlets*) inseridos pelo usuário nesta etapa. Para este projeto, foram inseridos pontos nos principais trechos de rios da região, com destaque para o

ponto de captação de água para abastecimento da EMASA. Os pontos escolhidos são apresentados na Figura 4.

O SWAT permite a entrada de pontos de contribuição pontual (*point sources*) para a simulação direta de lançamentos, especificando a vazão, nutrientes e poluentes (NEITSCH et al. 2011). Neste projeto, dois pontos serão caracterizados como contribuições pontuais: o ponto de lançamento de efluentes da ETE de Balneário Camboriú e o ponto de encontro de um contribuinte do Rio Camboriú, determinado após a análise do aerolevante e constatação do potencial de lançamento de esgoto clandestino. Os dois pontos também são apresentados na Figura 4.

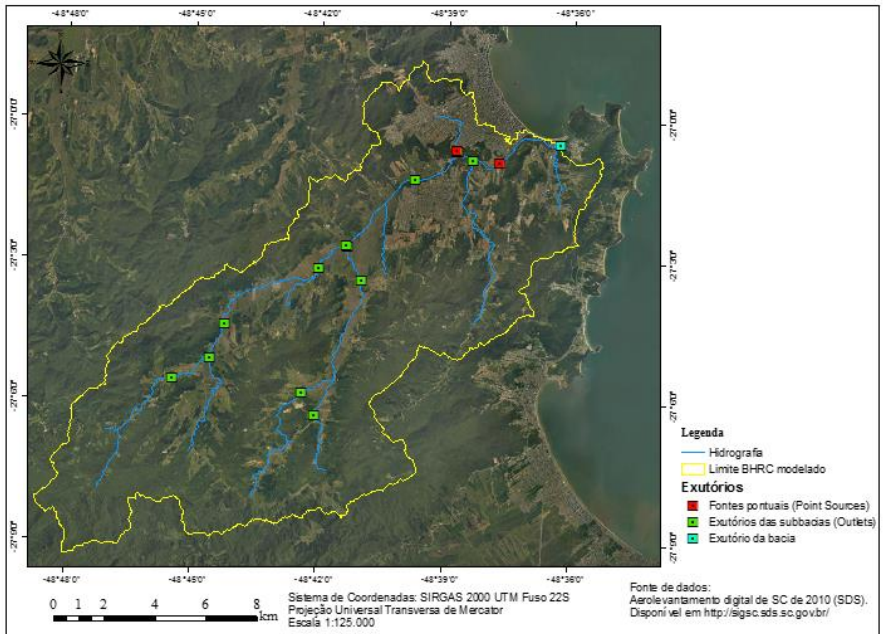


Figura 4 - Exutórios, fontes pontuais e relevo da BHRC

A foz do rio Camboriú foi definida como o exutório da bacia, caracterizada pelo desaguamento no Oceano Atlântico.

Os resultados desta etapa compreendem o mapeamento da bacia hidrográfica e sua divisão em subbacias, além da hidrografia modelada.

6.2.2. Análise de HRU

Após a delimitação da bacia, o modelo cria unidades de resposta hidrológica (HRU), áreas com combinações de solo, uso de solo e inclinação únicas, de modo a organizar espacialmente as condições e respostas hidrológicas (NEITSCH,2011)

Nesta etapa, são requisitados o mapa de uso e ocupação e o mapa de solos, a definição de classes de declividade e a sensibilidade dos parâmetros na criação das HRUs.

Os mapas de solo e uso e ocupação do solo foram obtidos da base de dados do projeto CNPq 14.

O mapa de uso e ocupação do solo foi elaborado com base no levantamento aerofotogramétrico de Santa Catarina do ano de 2010 realizado pela SDS/SC, na escala 1:10.000, através do emprego de análise visual das ortofotos.

O mapa de solos foi elaborado com baseado no mapeamento de solos realizado pela Embrapa, para o Estado de Santa Catarina com escala de 1:250.000. Foram realizadas amostragens físicas e químicas de solo para refinar a caracterização espacial das variáveis.

Assim como foi optado na geração do MDT, os mapas de solo e uso do solo excederão os limites (*buffer*) da BHRC em aproximadamente 1 km.

A base de dados do projeto deve ser preenchida com dados das culturas, das vias urbanas e dos solos da região de estudo, caso estes não sejam contemplados na base de dados padrão, como é o caso deste projeto.

Respectivamente, as tabelas complementadas foram cultura (*crop*), urbano (*urban*), solos (*usersoil*), na base de dados (inseridas no arquivo SWAT2012.mdb). Estas informações foram obtidas da base de dados do projeto CNPq14.

A base de dados de solos é composta por características físicas e químicas dos tipos de solo. A entrada das características físicas é obrigatória, já as químicas são opcionais. O modelo suporta a entrada de informações para até 25 camadas de solo (ARNOLD et al.,2012).

São requeridos diversos dados. Dentre estes, destacam-se as seguintes variáveis o grupo hidrológico do solo (HYDGRP), a profundidade de cada camada (SOL_Z), a capacidade de armazenamento de água do solo (SOL_AWC), condutividade hidráulica saturada (SOL_K) e o fator de erodibilidade do solo da equação USLE (USLE_K).

A base de dados urbanos é utilizada pelo modelo para simular diferentes tipos de áreas urbanas (ARNOLD et al., 2012).

Os coeficientes mais determinantes dentre os relatados serão apresentados a seguir. Entre eles estão o Fator C da equação USLE, o coeficiente de rugosidade de Manning (n) e o número de curva (CN-CSC).

O Fator C é utilizado para a estimativa de perda de solo, através do emprego da equação MUSLE (equação universal de perda de solo modificada, desta forma, é determinante na simulação de sedimentos do modelo.

O coeficiente de Manning é um dos principais parâmetros para a determinação de vazão (LYRA et al., 2010). Ele representa a resistência de uma superfície ao fluxo da água, e quanto maior seu valor, maior a resistência.

O número de curva é utilizado para estimar o escoamento superficial, através do método SCS Curve Number.

A Tabela 3 abaixo apresenta as características ressaltadas nas bases de dados de cultura e urbano que serão adotadas neste projeto, nome, os valores de Fator C, o coeficiente de Manning (OV_N) e os números de curva (CN2A, CN2B, CN2C, CN2D).

Tabela 3 - Parâmetros utilizados nas bases de dados de uso e ocupação dos solos (cultura e urbano)

		Parâmetros					
Base de dados	Nome	USLE_C	OV_N	CN2A	CN2B	CN2C	CN2D
Cultura	Água	0,00	0,01	92	92	92	92
	Arroz irrigado	0,05	0,10	62	74	82	85
	Pastagem	0,05	0,13	47	67	81	88
	Culturas anuais	0,15	0,10	67	77	83	87
	Solo exposto	0,50	0,05	70	80	87	90
	Duna	0,50	0,02	39	61	74	80
	Floresta	0,01	0,45	25	55	70	77
	Reflorestamento	0,03	0,40	30	60	75	82
Urbano	Estrada		0,10	31	59	72	79
	Área urbana		0,05	77	85	90	92

Já a Tabela 4 apresenta as características da base de dados de solos: nome, número de camadas (NLAYERS), o grupo hidrológico (HYDGRP), a capacidade de armazenamento de água do solo (SOL_AWC), e o fator de erodibilidade do solo da equação USLE

(USLE_K), a condutividade hidráulica saturada (SOL_K) e o pH do solo (SOL_PH).

Dando prosseguimento ao processo, a etapa seguinte é a definição das classes de declividade que serão impostas ao MDT, para a geração de áreas com declividade uniforme. O modelo permite a inserção de 5 faixas de declividade, em porcentagem. As faixas serão determinadas de modo a promover distribuição homogênea da área, ou seja, cada faixa de declividade abrangendo aproximadamente 20% da área total da bacia.

A última etapa deste processo é a determinação da sensibilidade destes parâmetros, solo, uso e ocupação do solo e declividade, na criação das HRUs.

Deste processo, resultam o mapa com a delimitação da bacia em HRUs e o mapa de declividade, de acordo com as faixas inseridas.

Tabela 4 - Parâmetros utilizados na base de dados de solos

Base de dados	Parâmetros						
	Nome	NLAYERS	HYDGRP	SOL_AWC	USLE_K	SOL_K	SOL_PH
Solos	Urbano	1	D	0,1	0,28	10	7
	Gleissolo	3	D	0,1	0,16	2	7
	Vias	1	D	0,05	0,4	10	4
	Espodossolo	3	C	0,1	0,16	50	7
	Cambissolo	6	B	0,08	0,14	250	7
	Argissolo	5	B	0,07	0,18	100	7
	Neossolo	3	B	0,15	0,17	200	6
	Urbano	1	D	0,10	0,28	500	-
	Água	1	D	0,00	0,00	260	-

6.2.3. Definição do clima e manejo

Neste processo, são definidos dados climáticos e dados de manejo no projeto.

Para seu funcionamento, o modelo requer as seguintes variáveis climáticas: precipitação diária, temperatura do ar máxima e mínima diária, radiação solar, umidade relativa e velocidade do vento. Neste trabalho, optou-se por utilizar os dados observados. As falhas na base de dados, dias que não possuem dados, são preenchidas pelo modelo com dados simulados.

A caracterização da estação demanda dados como o georreferenciamento da estação (latitude, longitude e elevação) e variáveis médias mensais, como velocidade de vento, radiação diária, número de dias de precipitação, temperatura máxima, entre outros. Estes dados foram obtidos da base de dados do projeto CNPq 14.

Este estudo usou a estação climatológica de Itajaí, município vizinho à área de estudo, do INMET, como referência para os dados climáticos. Esta é a estação mais próxima da região de estudo e possui extensa base de dados. Foram compiladas séries históricas das variáveis relacionadas anteriormente, abrangendo o período de 01/01/1981 a 31/12/2014.

A estação de Itajaí foi utilizada para compor os dados de vento, radiação, umidade e temperaturas máxima e mínima. A entrada dos dados de precipitação será realizada através da utilização de estações de monitoramento (E) georreferenciadas, instaladas nos rios principais da bacia, em conjunto com a estação de Itajaí. A Figura 5 apresenta a localização de todas as estações utilizadas.

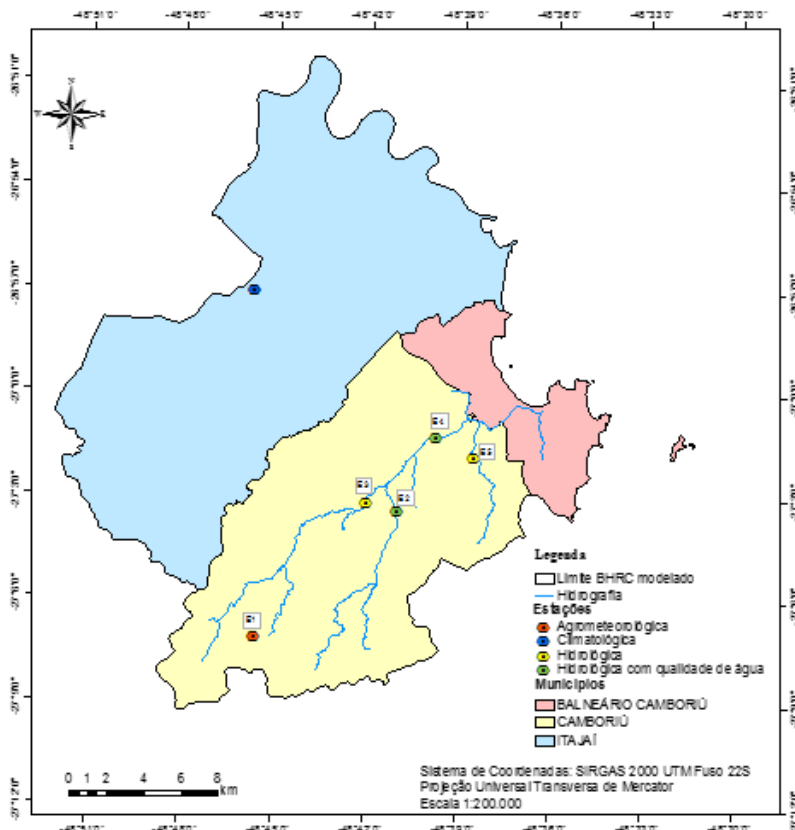


Figura 5 - Localização das estações agrometeorológica, climatológica e hidrológicas

Desta forma, a precipitação contará com 5 estações, a contar Itajaí, E1, E2, E3 e E4. Como o monitoramento das estações iniciam a partir de 2009, a estação de Itajaí será utilizada como base, preenchendo as falhas nos dados das outras estações.

Por fim, as operações e cronograma de manejo das culturas foram inseridas neste trabalho.

O modelo possibilita a inserção de operações de manejo a nível de HRU, em cada subbacia, assim facilitando a diferenciação espacial e por cultura.

As operações de manejo adotadas neste trabalho abrangem os seguintes usos de solo: arroz irrigado, culturas anuais, florestas, pastagem e reflorestamento.

A cultura abordada de maneira mais detalhada se refere ao arroz irrigado, principal atividade da bacia.

As atividades de manejo do arroz irrigado compreendem: irrigação, operações de revolvimento do solo, fertilização, adubação e colheita. A safra anual de arroz irrigado é dividida em 3 períodos de plantio, divididos de acordo com a área de arroz irrigado. Os plantios ocorrem nos meses de agosto, outubro e novembro, correspondendo a 15%, 65% e 20% da área total de arroz, respectivamente. Estas informações relativas ao manejo foram obtidas do projeto CNPq 14, obtidas através de reunião com especialista, engenheiro Egídio Antônio Fuck.

Ainda de acordo com o especialista, o herbicida utilizado é o Alteza 20 SL, que possui como princípio ativo o Imazapir, portanto será utilizado o herbicida intitulado Imazapyr acid na modelagem. A adubação é realizada com ureia com 45% de nitrogênio em sua composição, desta forma, a modelagem será realizada com adubo intitulado ureia.

Para todas as etapas do manejo hídrico da cultura, será adotada a irrigação automática do modelo (autoirrigação), aplicada de acordo com o stress hídrico da planta (AUTO_WSTRS). O gatilho da operação é acionado no momento em que AUTO_WSTRS fica abaixo de um determinado valor. Este parâmetro é baseado na demanda hídrica da planta e representa a fração de crescimento potencial da planta, varia entre 0 e 1, onde 0 representa crescimento nulo devido a stress hídrico e 1 representa nenhum impedimento no crescimento devido ao stress hídrico (ARNOLD et al., 2012). Será adotado AUTO_WSTRS de 0,95.

O detalhamento das operações de manejo adotadas para arroz irrigado são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Calendário de operações de manejo do arroz irrigado
(continua)

Calendário plantio					
Operação	Início			Duração (dias)	Vazão/dose
	1° plantio	2° plantio	3° plantio		
Irrigação	15-Jul	14-Sep	15-Out	1	1 L/s
Manutenção da lâmina	16-Jul	15-Sep	16-Out	35	

Tabela 5 – Calendário de operações de manejo do arroz irrigado
(conclusão)

Calendário plantio					
Operação	Início			Duração (dias)	Vazão/ dose
	1° plantio	2° plantio	3° plantio		
Tombador	18-Jul	18-Sep	18-Out	1	
Arrastão	25-Jul	25-Sep	25-Out	1	
Nivelador de superfície	30-Jul	30-Sep	30-Out	1	
Nivelador de superfície	10-Aug	10-Out	10-Nov	1	
Plantio	15-Aug	15-Out	15-Nov	1	
Retirada de água	20-Aug	20-Out	20-Nov	4	
Irrigação	24-Aug	24-Out	24-Nov	1	1 L/s
Manutenção da lâmina	25-Aug	25-Out	25-Nov	20	
Retirada de água	14-Sep	14-Nov	15-Dec	5	
Aplicação de herbicida	15-Sep	15-Nov	16-Dec	1	4 kg/ha
Adubação	18-Sep	18-Nov	19-Dec	1	200 kg/ha
Irrigação	19-Sep	19-Nov	20-Dec	1	1 L/s
Manutenção da lâmina	20-Sep	20-Nov	21-Dec	91	
Adubação	29-Nov	29-Jan	29-Feb	1	150 kg/ha
Retirada de água	20-Dec	19-Feb	21-Mar	27	
Colheita	15-Jan	16-Mar	16-Apr	1	

De modo a facilitar a visualização das operações, assim como sua duração e a sobreposição com outras operações, a Figura 6 apresenta a representação gráfica do manejo do arroz irrigado, utilizando o primeiro período de plantio como referência.



Figura 6 - Distribuição das operações de manejo do arroz irrigado, para o primeiro plantio

De modo a simular a dinâmica natural, de maneira simplificada, as culturas anuais terão as operações de plantio, autofertilização e colheita inseridas no manejo. Já para os usos de solo florestas, reflorestamento e pastagem serão inseridas apenas operações de plantio.

6.3. CALIBRAÇÃO DO MODELO

A calibração de modelos hidrológicos usualmente é composta pelas etapas de análise de sensibilidade, seguida por calibração manual ou automática e finalizada pela validação manual ou automática (MORIASI et al., 2007).

A calibração só é possível através da obtenção de dados observados, utilizados na comparação com os dados simulados.

Considerando a escassa oferta de séries de dados hidrológicos no Brasil, para este trabalho serão utilizados dados de estações hidrológicas instaladas na bacia pela EPAGRI/CIRAM, assim como análises de qualidade de água realizadas pela instituição e também pela TNC.

De modo a garantir a representatividade e confiabilidade do modelo, neste trabalho será realizada a análise de sensibilidade, seguida da calibração.

Estas etapas serão realizadas com o auxílio do software SWAT-CUP, programa criado para facilitar a calibração e validação de projetos do SWAT. O algoritmo utilizado será o SUFI2 (Sequential Uncertainty Fitting), dentro do SWAT-CUP.

Este software possibilita a variação automática de parâmetros de entrada no projeto e a análise de seus resultados, através da comparação das séries temporais medidas e modeladas de vazão, sedimentos e nutrientes, por meio de diversos parâmetros estatísticos, como o NSE, R2 e PBIAS.

As séries medidas serão elaboradas através das curvas-chave de vazão e sedimentos construídas através do monitoramento, já para nutrientes os valores serão compilados de maneira direta. Dados diários de nível de rio e turbidez serão inseridos em suas devidas equações para obtenção de vazão diária (m³/s), concentração de sedimentos em suspensão (mg/L), seguida de carga diária de sedimento (t/dia). Os dados observados de concentração de nitrato serão obtidos através de medição da sonda de qualidade (mg/L).

6.3.1. Dados observados

Serão utilizados os dados das estações de monitoramento hidrológico automático (E) instaladas e operadas na bacia pela EPAGRI/CIRAM.

São 5 estações (Figura 5) que monitoram variáveis hidrológicas. A estação E1 é do tipo agrometeorológica e coleta dados de precipitação e temperatura. As demais estações, do tipo hidrológica, também coletam dados de nível dos rios. Em duas estações foram acopladas sondas de qualidade de água para monitorar parâmetros como Oxigênio Dissolvido (OD), pH e turbidez.

O Quadro 2 abaixo apresenta a localização, os tipos de variáveis coletadas, a presença de sonda de qualidade de água, os parâmetros físico-químicos coletados por esta, caso presente na estação e observações importantes de cada estação de monitoramento. A E4 foi posicionada de forma a coincidir com o ponto de captação de água de abastecimento público da EMASA. Neste ponto há um barramento que objetiva impedir a mistura da água captada com a água salobra presente no estuário.

Quadro 2 - Características das estações de monitoramento

Estação	Localização	Variáveis coletadas	Presença de sonda acoplada	Parâmetros coletados pela sonda	Observação
E1	Rio Louro	precipitação e temperatura	Não		
E2	Rio Canoas	precipitação, temperatura e nível do rio	Sim	turbidez, pH, OD, condutividade, nitrogênio amoniacal e nitrato	
E3	Rio do Braço	precipitação, temperatura e nível do rio	Não		
E4	Rio Camboriú	precipitação, temperatura e nível do rio	Sim	turbidez, pH, OD, condutividade, nitrogênio amoniacal e nitrato	Ponto de captação da EMASA
E5	Rio Pequeno	precipitação, temperatura e nível do rio	Não		Influência de maré

Também foram utilizados dados de análises de qualidade de água para os parâmetros: turbidez, concentração de sedimentos em suspensão e concentração de nitrato. Estes foram obtidos das análises de amostras realizados pela EPAGRI/CIRAM e pela TNC.

As variáveis climáticas, precipitação, velocidade dos ventos, radiação, umidade, temperaturas máximas e mínimas serão submetidas à consistência dos dados através de análise gráfica, de forma a identificar possíveis valores suspeitos, advindos de erro de medição. Os valores de nível de rio também serão consistidos e a verificação dos valores suspeitos será realizada através da comparação destes com os valores de precipitação ocorridos nos dias anteriores, monitorados na estação de Itajaí. Para estas datas, a tendência de precipitação será analisada através da comparação das medições realizadas em Itajaí e Florianópolis.

A partir dos dados coletados pelas estações, serão construídas as curvas-chave de vazão e sedimentos para a elaboração dos dados observados, assim como serão compilados dados de nutrientes monitorados pelas sondas de qualidade de água. As curvas serão elaboradas em parceria com a TNC e o especialista no modelo James P. Denny-Fank (comunicação pessoal).

As curvas foram elaboradas para dois pontos, a E2, localizada no rio Canoas, e a E4, localizada na EMASA, com a utilização de dados de 2014.

A curva chave de vazão relaciona valores de nível de água e vazão do rio. Para curvas de vazão, a equação é obtida através da extrapolação logarítmica (VITTI et al., 2006), com a seguinte estrutura (equação 6)

$$Q = K(z - z_0)^b \quad (6)$$

Onde

Q = vazão (m³/s);

K = fator de forma;

z = nível (m);

z₀ = nível correspondente à vazão nula, Q = 0 (m) e

b = fator de forma.

Os valores observados de vazão serão criados com a introdução de valores diários de nível de rio coletados pelas respectivas estações, na equação da curva. A comparação dos valores será realizada com este resultado de vazão e a vazão de saída (FLOW_OUT) simulada pelo modelo, ambas em m³/s.

A curva-chave de turbidez relaciona valores de turbidez e concentração de sedimentos em suspensão (CSS). Esta determinação

indireta de CSS apresenta bons resultados, como visto em Paiva, Forgiarini e Santos (2002) e Teixeira e Senhorelo (2000).

Para a obtenção dos valores observados de sedimentos, os dados diários de turbidez serão introduzidos na equação da curva-chave. Este resultado, concentração de sedimentos em suspensão (mg/L), será multiplicado pela vazão diária correspondente e pela constante 0,0831, referente à adequação de unidades, para o cálculo da carga de sedimentos diária (t) e conseqüente comparação com os dados simulados de carga de sedimento (SED_OUT, em t).

O método de análise do melhor ajuste das curvas-chave será baseado na análise gráfica e no valor do coeficiente de determinação (R^2).

Finalmente, o parâmetro escolhido para a avaliação de nutrientes foi a concentração de nitrato, por ser aquele com maior quantidade de dados medidos em campo pela TNC e monitorados pelas sondas paramétricas. Os valores monitorados pelas sondas de qualidade de água, concentração de nitrato, serão comparados com a concentração de nitrato diária simulada (NO3CONC, em mg/L).

6.3.2. Análise de sensibilidade

Nesta etapa, os parâmetros que mais interferem na produção de vazão, sedimentos e nutrientes, de acordo com a bibliografia pesquisada, serão avaliados através do SWAT-CUP para a determinação de sua influência no resultado final.

O procedimento de análise de sensibilidade e calibração será realizado em 3 etapas. Como o balanço hídrico é a força principal na simulação, a vazão deve ser o primeiro parâmetro a ser adequado. Seguido então da calibração de sedimentos e por fim, dos parâmetros de qualidade de água, neste caso, nitrato.

As tabelas abaixo reúnem os parâmetros que serão utilizados nas três etapas de análise de sensibilidade, vazão (Tabela 6), sedimentos (Tabela 7) e nutrientes (Tabela 8), suas faixas de variação e o método de variação empregado. A variação é realizada por três métodos:

- substituição direta (v), onde o valor inicial é substituído pelo valor informado;
- adição (a), onde o valor inicial é somado ao valor informado e
- relativo (r), onde o valor inicial é multiplicado por (1+ valor informado), resultando em variação percentual.

Tabela 6 - Detalhamento dos parâmetros utilizados na análise de sensibilidade para calibração da vazão

Parâmetro	Descrição	Método de variação	Faixa de variação
SURLAG	Coeficiente de retardo do escoamento superficial	V	0,05 - 12
ALPHA_BF	Fator de escoamento de base (dias)	R	-0,05 – 0,05
ESCO	Fator de compensação da evaporação do solo	V	0,75 – 1
CN2	Coeficiente de deflúvio (curve number) para a condição II de umidade antecedente	R	-0,05 – 0,05
GW_DELAY	Retardo do escoamento subterrâneo	V	0-1
GWQMN	Nível limite de água no aquífero para ocorrer o fluxo de retorno	V	0 – 1000
GW_REVAP	Coeficiente de ascensão de água à zona de saturação	V	0,02 – 0,1
RCHRG_DP	Coeficiente de percolação da água para o aquífero profundo	A	0 – 0,1
REVAPMN	Nível limite de água no aquífero raso para evaporação (mmH ₂ O)	A	3500 – 4000
CANMX	Capacidade máxima de armazenamento de copa (mm H ₂ O)	A	0 – 15
SOL_AWC	Capacidade de água disponível na camada de solo	R	-0,9 – 0,9

Os parâmetros, seus métodos de variação e suas faixas de variação foram definidos com base no manual do SWAT (ARNOLD et al., 2012) e em diversas aplicações do SWAT em bacias brasileiras (CARVALHO, 2014 e Bressiani, 2014) e estrangeiras (Abbaspour, 2015) assim como estudos focados na calibração do modelo.

Tabela 7 - Detalhamento dos parâmetros utilizados na análise de sensibilidade para calibração de sedimentos

Parâmetro	Descrição	Método de variação	Faixa de variação
CH_EROD	Fator de erodibilidade do canal	R	0 – 0,1
ADJ_PKR	Fator de ajuste da taxa de pico para transporte de sedimentos nos canais tributários	V	0,5 - 2
SPCON	Parâmetro linear para reentrada de sedimento	V	0,0001-0,1
SPEXP	Parâmetro exponencial para reentrada de sedimento	V	1-1,5
USLE_P	Fator de práticas conservacionistas (equação MUSLE)	R	-0,2 – 0,2
USLE_C	Fator de cobertura do solo (equação MUSLE)	R	0-1
LAT_SED	Concentração de sedimentos no escoamento superficial (mg/L)	V	0-20
SLSUBBSN	Comprimento médio de declividade (m)	R	-0,05 – 0,05

Com relação a calibração de parâmetros de qualidade da água, ressalta-se a pequena disponibilidade de estudos para servir como referência tanto para a definição dos parâmetros quanto para os melhores ajustes.

Tabela 8 - Detalhamento dos parâmetros utilizados na análise de sensibilidade para calibração de nutrientes

Parâmetro	Descrição	Método de variação	Faixa de variação
SHALLST_N	Concentração inicial de nitrato em aquífero raso (mg/L ou ppm)	A	0 - 1000
NPERCO	Coeficiente de percolação de nitrato	R	0 - 1
SOL_NO3	Concentração inicial de NO3 na camada de solo (mg/kg de solo ou ppm)	V	0 - 100
FRT_SURFACE	Fração de fertilizante aplicado aos primeiros 10 mm de solo	R	0 - 1

Os parâmetros foram classificados de acordo com sua significância, fundamentada na análise estatística. Aqueles considerados significativos (aqueles com p-value menor ou igual a 0.05) foram utilizados na calibração.

6.3.3. Calibração

Ainda com a utilização do SWAT-CUP, a calibração foi realizada com passo de tempo diário. A calibração foi conduzida nos pontos E2 (Rio Canoas) e E4 (EMASA) utilizando dados de 2014.

As variáveis de saída do modelo utilizadas foram vazão de saída (FLOW_OUT), carga de sedimentos de saída (SED_OUT) e concentração de nitrato de saída (NO3_CONC).

O resultado desta etapa é um modelo calibrado, com seus correspondentes índices estatísticos.

A avaliação destas etapas será realizada pelo método gráfico (curva de valores observados sobreposta com curva de valores simulados) e pelo método estatístico, através do cálculo do NSE, do R^2 , do PBIAS e do RSR.

Os índices então são utilizados para analisar a confiabilidade dos resultados do modelo, comparando-os com faixas de aceitação estipuladas pela bibliografia, já apresentadas na Tabela 1.

É importante salientar que as faixas são indicadas para a avaliação de simulações mensais e não diárias, como a realizada neste trabalho. As séries temporais de saída com passo de tempo maiores (respectivamente diários, mensais e anuais), normalmente, produzem melhores resultados.

6.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta etapa, o modelo será utilizado para a avaliação qualitativa da água, demonstrando a aplicabilidade do modelo como ferramenta de auxílio à gestão de recursos hídricos.

As análises abordarão os três principais parâmetros modelados pelo SWAT: vazão, sedimentos e nutrientes.

Como o SWAT baseia-se no equilíbrio hídrico (NEITSCH et al., 2011) é fundamental a verificação do balanço hídrico resultante. O modelo possui um módulo para esta avaliação, SWAT Check, que será empregado neste trabalho. Neste, os principais componentes do balanço são quantificados e analisados.

A avaliação de sedimentos será realizada de forma espacial, através do mapeamento da produção de sedimentos.

A avaliação de nutrientes será realizada através do mapeamento da produção de nutrientes na bacia, mais especificamente de nitrato.

O mapa será comparado com o aerolevante de Santa Catarina, de modo a detectar as áreas responsáveis pela maior produção e caracterizá-las.

Também serão comparados os valores mensais de produção de nutrientes, avaliando a contribuição da aplicação de fertilizantes pela agricultura na qualidade da água.

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1. CONSTRUÇÃO DO MODELO

Abaixo são apresentados e discutidos os resultados obtidos em cada etapa do processo de criação do modelo SWAT.

7.1.1. Delimitação da bacia

O modelo digital de elevação da bacia hidrográfica do rio Camboriú é apresentado na Figura 7. A altitude da região varia entre 0 e 759 metros, com valor médio de 156 metros.

A comparação entre a hidrografia mapeada pela EPAGRI aerolevamento, inserida no modelo e a rede modelada pelo SWAT é apresentada na Figura 8. Observa-se uma boa aderência entre as duas, resultando na delimitação fiel da rede de drenagem principal.

O resultado desta etapa, a divisão da bacia hidrográfica em subbacias é apresentado na Figura 9. Enquanto a área percentual dividida de forma igualitária pelas 13 subbacias resultaria em áreas de 7,70% (100% dividido por 13) da área total, a média da área das subbacias obtida também é igual a 7,70%.

As subbacias são caracterizadas na Tabela 9, abrangendo as variáveis elevação média, o comprimento do rio principal, a área e a porcentagem da área em relação à bacia.

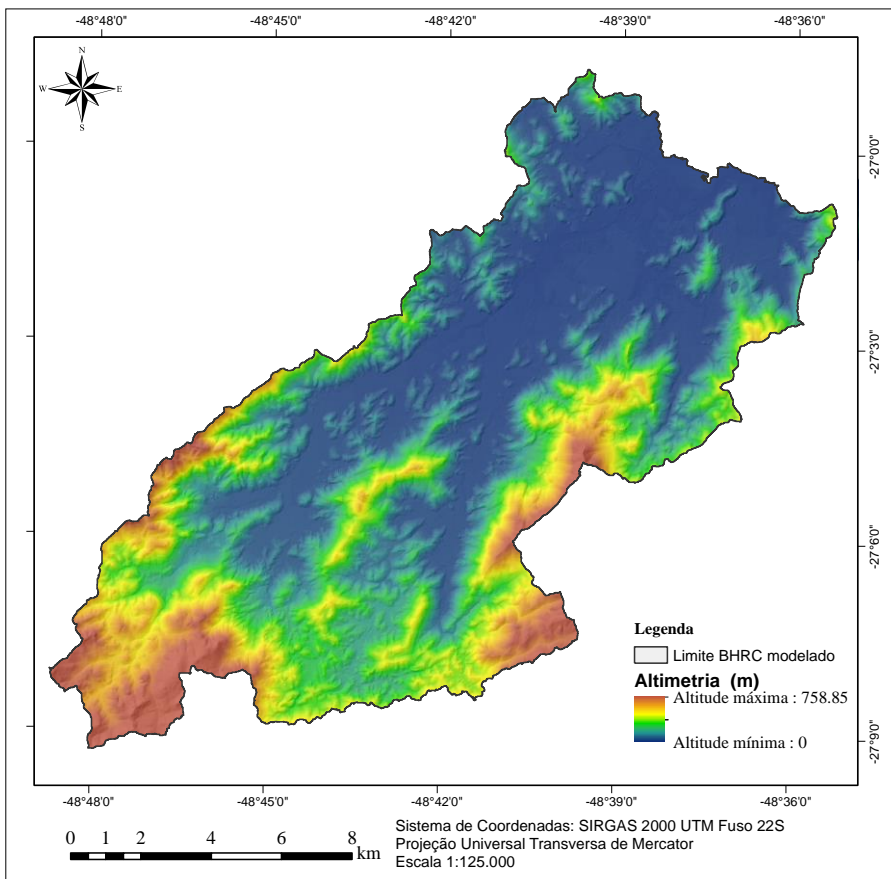


Figura 7 - Modelo digital de elevação da bacia hidrográfica do rio Camboriú

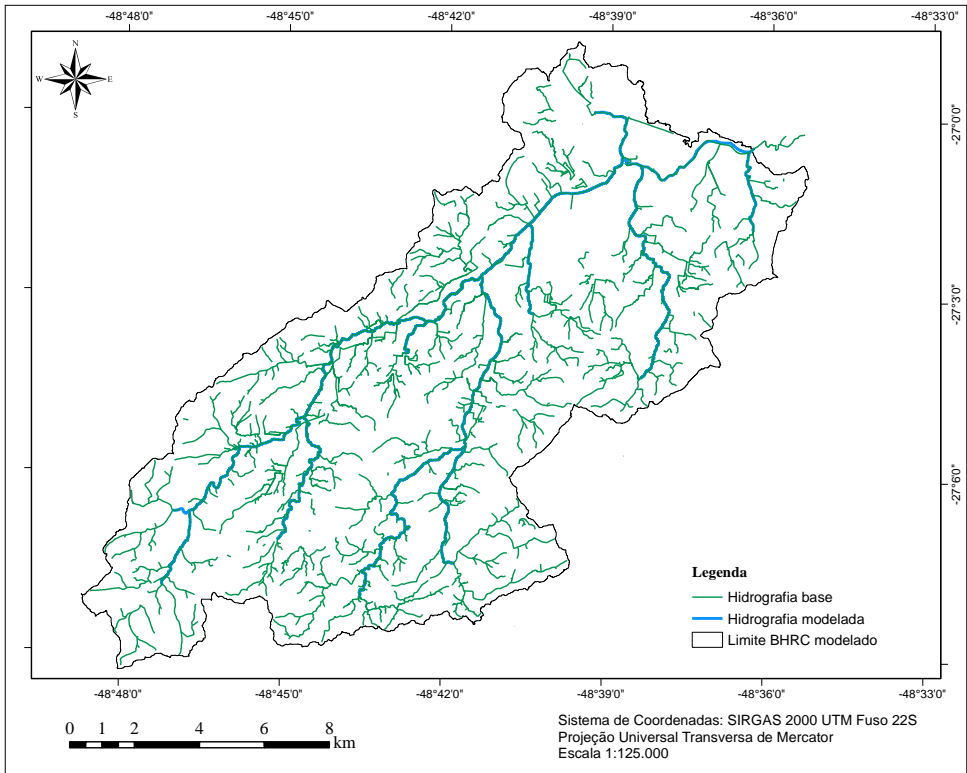


Figura 8 - Comparação entre a hidrografia inserida e a modelada pelo SWAT

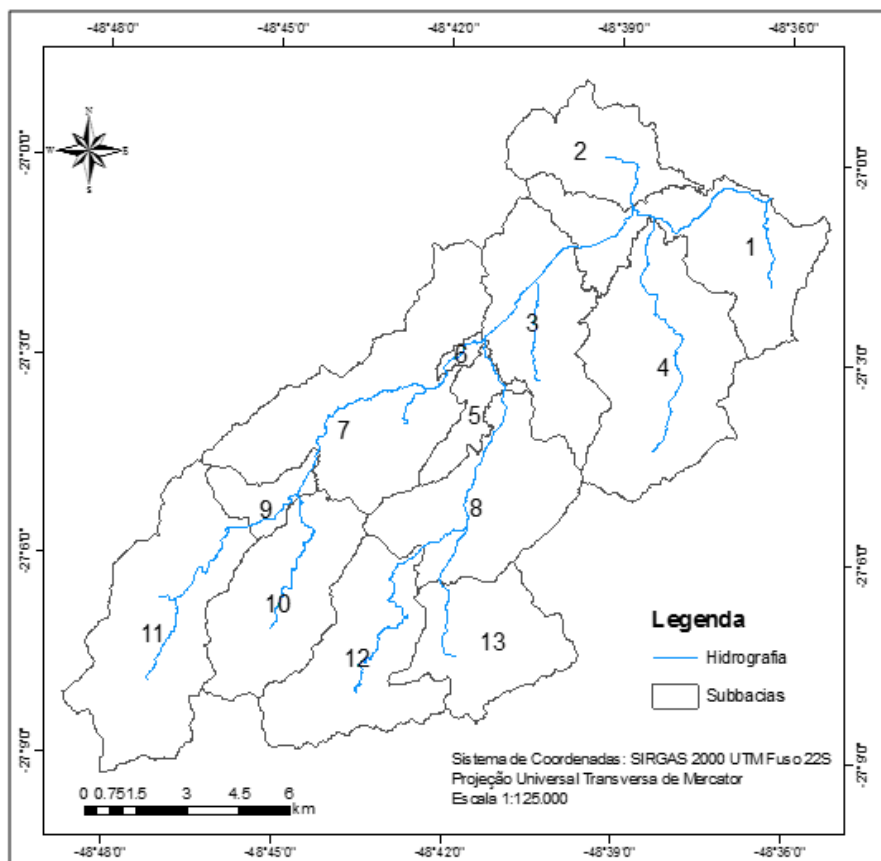


Figura 9 - Subbacias geradas pelo modelo

Tabela 9 - Características das subbacias

Subbacia	Elevação média (m)	Comprimento do rio Principal (m)	Área (ha)	Área (%)
1	42	2.422	1.929	10,0
2	40	11.367	1.033	5,4
3	69	2.519	1.640	8,5
4	116	9.064	2.440	12,7
5	53	10.318	387	2,0
6	8	2.076	78	0,4
7	101	9.122	2.565	13,3
8	158	9.548	1.778	9,2
9	122	4.570	380	2,0
10	189	6.777	1.604	8,3
11	359	8.657	2.381	12,4
12	195	8.641	1.741	9,0
13	292	3.242	1.299	6,8
Média	134	6.794	1.481	7,7
		Total	19.255	100,0

7.1.2. Análise de HRU

O mapa de uso e ocupação dos solos (Figura 10), que apresentou uma cobertura de 100% da área modelada da bacia, A análise do mapa aliada à distribuição percentual das classes de uso e ocupação (Tabela 10), permite constatar que a porção urbanizada da bacia se concentra no município de Balneário Camboriú e seus arredores, assim como a predominância da classe de floresta por toda a BHRC.

Além disso, com relação a agricultura, é possível verificar a predominância da cultura de arroz irrigado (que corresponde a aproximadamente 6% da área total) em relação aos outros tipos de cultura, chamadas culturas anuais (que não chega a 0,5% da área). Desta forma, se justifica a importância da inserção do manejo do arroz neste trabalho.

Tabela 10 - Distribuição das classes de uso e ocupação do solo da BHRC

Tipo de uso	Área (%)	Código na base de dados
Floresta	62,82	FLO1*
Pastagem	17,04	PTGM*
Área urbana	8,16	URHD
Arroz irrigado	5,73	ARR1*
Reflorestamento	2,48	REFL
Vias	1,67	RUAS*
Solo exposto	1,22	SOLO
Água	0,51	WATR
Culturas anuais	0,36	CULT*
Dunas	0,01	DUNA*

*classes específicas inseridas na base de dados

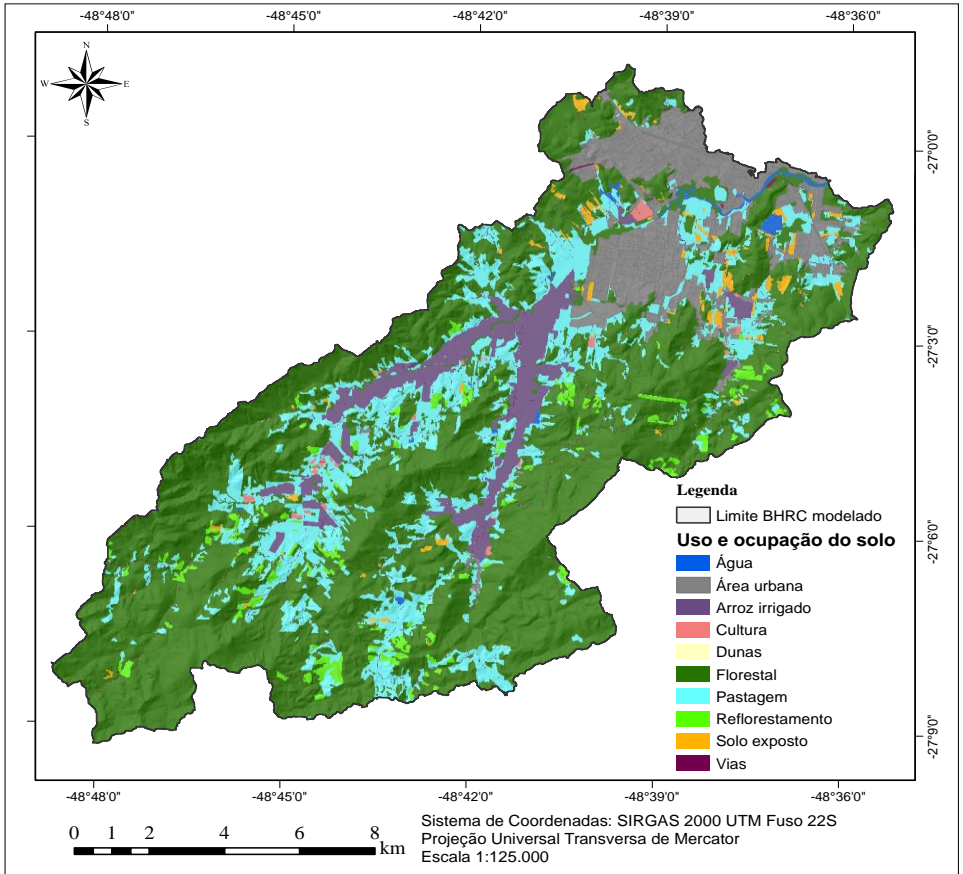


Figura 10 - Mapa de uso e ocupação do solo da BHRC

O mapa de solos (Figura 11) também apresentou cobertura de 100% da área modelada da bacia. A análise do mapa de solos aliada a distribuição percentual dos tipos de solo (Tabela 11) resulta na verificação da predominância de cambissolos, caracterizado pela baixa permeabilidade e suscetibilidade a erosão.

Tabela 11 - Classes de tipo de solo da BHRC

Tipo de solo	Área (%)	Código na base de dados
Cambissolo	48,7	CAMB*
Argissolo	16,53	ARGI*
Gleissolo	12,72	GLEI*
Neossolo	10,87	NEOS*
Espodossolo	8,47	ESPO*
Vias	1,67	ESTR*
Água	0,63	WATR
Urbano	0,4	URBAN LAND (VT091)

*classes específicas inseridas na base de dados

A Figura 12 apresenta o mapa das classes de declividade escolhidas para o projeto. Quando esta é comparada com o MDT da qual foi gerada, percebe-se uma boa correlação entre os mapas e também que as classes escolhidas não causaram a perda de informações vitais como também não descaracterizaram o mapa.

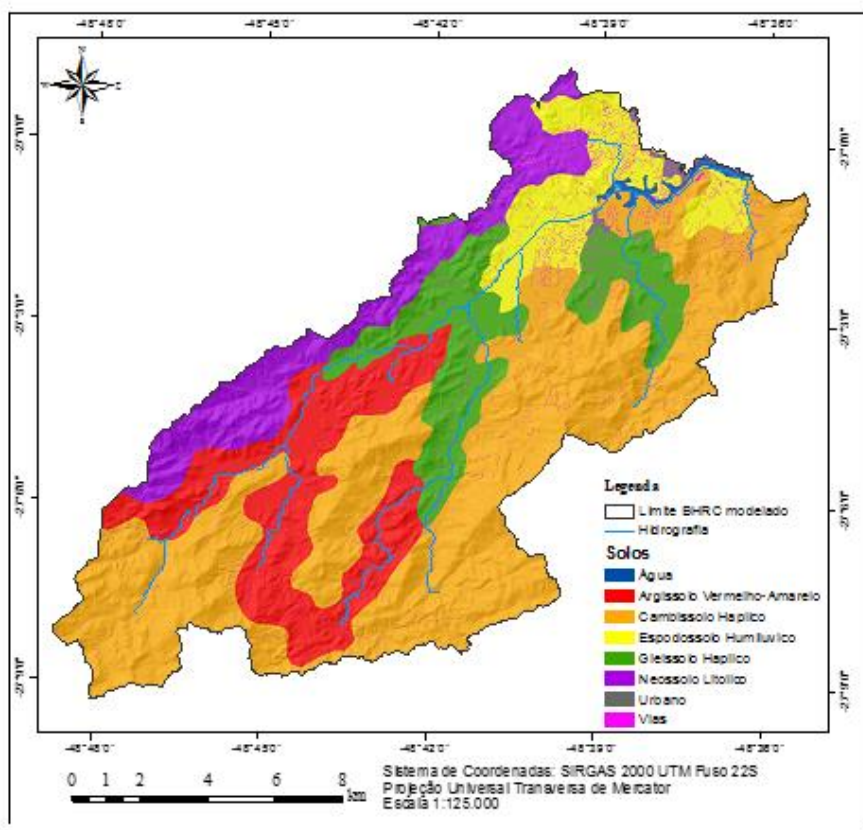


Figura 11 - Mapa de solos da BHRC

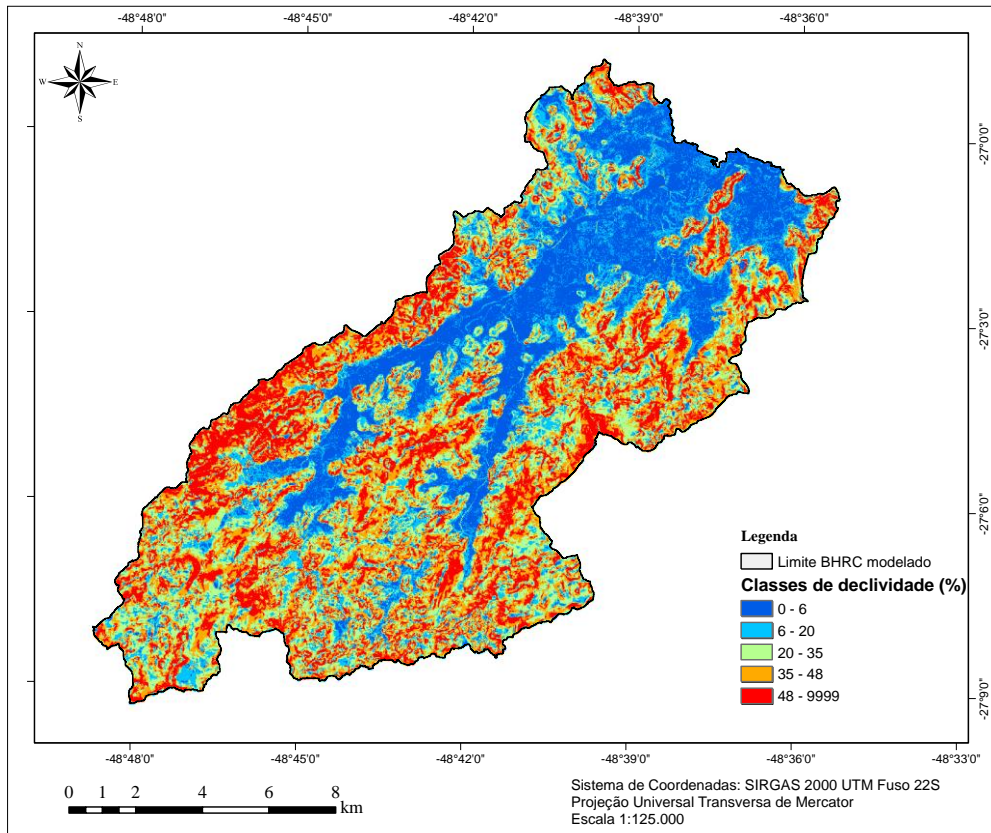


Figura 12 - Mapa de classes de declividade adotadas

7.1.3. Delimitação do clima e manejo

A construção da base de dados climáticos evidencia a dificuldade na obtenção de séries de dados de monitoramento em bacias brasileiras, como já discutido por Garbossa et al. (2011) e Bressiani et al. (2015). Também é preciso ressaltar que a estação climática não fica localizada na bacia, como seria recomendado, mas no município vizinho de Itajaí. Apesar da limitação das estações de monitoramento, a base de dados da estação de Itajaí foi adequada, apresentou poucas falhas e teve seus valores consistidos, poucos valores suspeitos, que foram verificados.

Neste trabalho, as operações de manejo das culturas de arroz irrigado foram inseridas no modelo, considerando que este é o principal tipo de cultura presente na bacia. Foi possível obter boa distribuição das subbacias em relação aos três períodos de plantio (que representam 15, 65 e 20% da área total cultivada), como pode ser observado na Tabela 12 abaixo.

Tabela 12 - Distribuição das subbacias de acordo com os períodos de plantio

Plantio	Subbacias	Área (ha)	Área (%)
1º plantio	8+11+12	163,6	15
2º plantio	9+13+14+15+17+21	729,5	66
3º plantio	10+16	210,7	19

De maneira geral, as opções de manejo presentes no SWAT apresentaram boa correspondência com as operações praticadas na área de estudo. O detalhamento das escolhas adotadas para o manejo das áreas de arroz irrigado, operação, nome, tipo e dose, é apresentado no Quadro 3.

A irrigação é uma das operações mais importantes do manejo, levando em consideração que o modelo é baseado no balanço hídrico e também as disputas pelos usos múltiplos da água presentes na bacia, sobretudo para abastecimento público de água e para a agricultura. Porém, o carregamento desta atividade apresenta algumas dificuldades. Dentre as duas opções disponíveis para irrigação, a delimitação pontual de irrigação diária ou escolha de irrigação automática, esta última foi adotada considerando o extenso tempo de processamento necessário para o carregamento manual de diversas operações diárias, para cada subbacia.

Quadro 3 - Operações de manejo das áreas de arroz irrigado adotadas no SWAT

Operação	SWAT		
	Nome	Tipo	Dose
Tombador	tillage	moldboard plow reg ge 10b	
Arrastão	tillage	tandem disk plw 14-18 ft	
Nivelador de superfície	tillage	land plane-leveler	
Nivelador de superfície	tillage	land plane-leveler	
Plantio	plant/begin of growing season	arroz irrigado	
Irrigação	auto irrigation	Stress hídrico da planta	AUTO_WSTRS=0,95
Aplicação de herbicida	pesticide application	imazapir acid	4 kg/ha
Adubação	fertilizer application	urea	200 kg
Adubação	fertilizer application	urea	150 kg
Colheita	harvest and kill		

Tendo em vista que a produção de arroz simulada encontra-se na mesma faixa que a produção obtida na prática, no estado de Santa Catarina (6,40 t/ha, em comparação com 7,1 t/ha (EPAGRI, 2015), respectivamente), o manejo de arroz empregado foi considerado satisfatório.

7.2. CALIBRAÇÃO

A calibração requer a compilação de dados observados, seguida das etapas de análise de sensibilidade e calibração.

7.2.1. Dados observados

A base de dados utilizada para a criação das curvas-chave é composta por valores medidos em campo pelo CIRAM durante campanhas realizadas nos anos de 2014 e 2015, assim como por valores obtidos da TNC, igualmente provenientes de campanhas de medições em campo, para o mesmo período, porém contratadas pela instituição. As medições de ambas as organizações foram realizadas nos mesmos pontos, a E2 localizada no rio Canoas e a E4, localizada no ponto de captação de água para abastecimento da EMASA.

A análise dos valores medidos foi realizada através da comparação das medições e das faixas de valores esperados. Valores suspeitos, que apresentaram afastamento inadmissível dos outros pontos, foram entendidos como erro de medição e não foram considerados na construção das curvas. Não foi frequente a ocorrência deste tipo de medição.

Foram elaboradas curvas-chave de vazão e sedimentos para as estações E2 e E4, detalhadas a seguir. Também foram compiladas concentrações medidas de nutrientes, que serão comparados diretamente com os valores simulados.

Para a E2, a curva que apresentou melhor ajuste é apresentada na Figura 13. Ela é composta por 58 medições realizadas entre 27 de fevereiro de 2014 a 8 de junho de 2015. Foi possível obter uma curva pelo método de extrapolação logarítmica, recomendada para a construção de curva-chave de vazão, com uma boa aderência (R^2 superior a 0,70).

Já para a E4, o método de extrapolação logarítmica não apresentou aderência satisfatória. Desta forma, considerando a quantidade reduzida de dados observados (32 medições, realizadas entre 29 de maio de 2014 e 8 de junho de 2015) optou-se pela utilização da regressão linear na determinação da curva-chave de vazão, apresentada na Figura 14, alcançando ótima aderência (R^2 superior a 0,88).

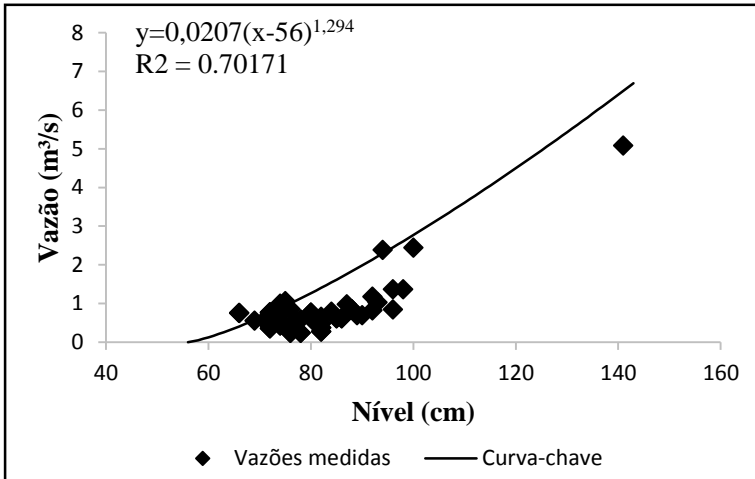


Figura 13 - Curva-chave de vazão da E2

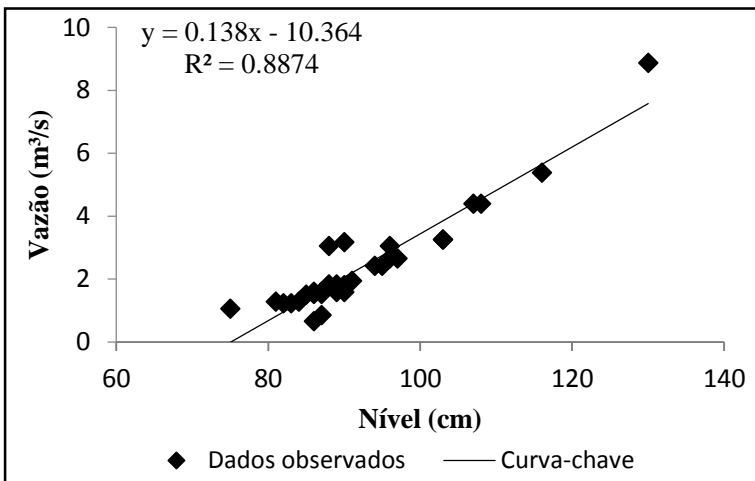


Figura 14 - Curva-chave de vazão da E4

Para a E2, a curva-chave de sedimentos (Figura 16) também foi realizada através do método de regressão linear, que apresentou a melhor aderência (R^2 aproximada de 0,59). Ela foi composta por 34 medições realizadas entre 27 de fevereiro de 2014 a 8 de junho de 2015.

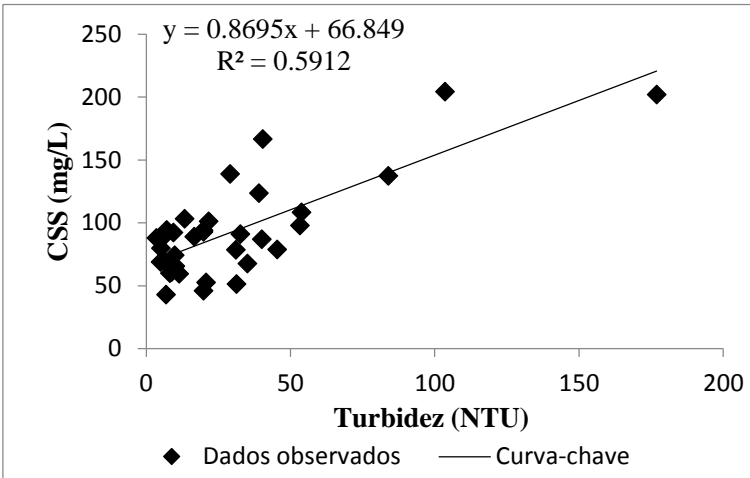


Figura 16 - Curva-chave de sedimentos da E2

Para a E4, a curva-chave de sedimentos (Figura 15) com melhor aderência (R^2 aproximado de 0,70), foi obtido pela regressão linear e consistiu de 37 medições realizadas entre 19 de março de 2014 e 31 de julho de 2015.

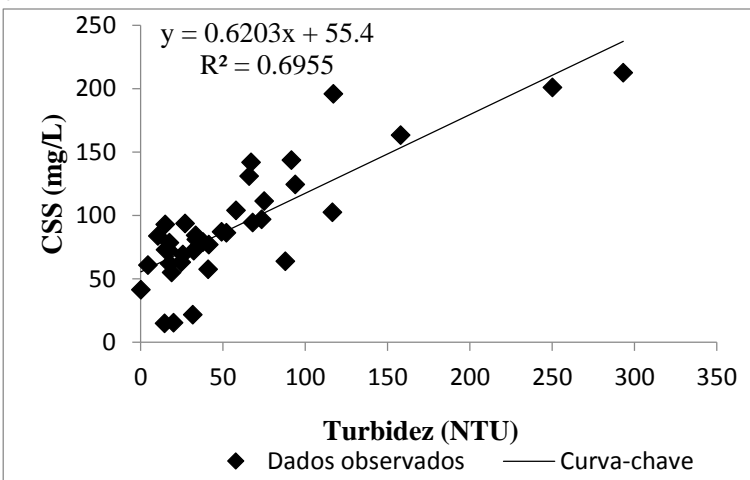


Figura 15 - Curva-chave de sedimentos da E4

De maneira geral, as curvas-chave apresentaram boa correlação. Porém é preciso salientar que o período de dados é muito curto, o recomendado seria a utilização de dados com séries temporais maiores.

Outra dificuldade encontrada foi a obtenção de dados monitorados de parâmetros de qualidade de água. Devido a falhas no funcionamento das sondas de qualidade de água, a série temporal de concentração de nitrato é limitada. A sonda paramétrica localizada na EMASA não apresentou medições para o período de 2014, desta forma, a calibração de nitrato será realizada apenas para a E2, com a utilização do período entre 05/04/2014 e 31/12/2014.

7.2.2. Análise de sensibilidade

O ranking de sensibilidade dos parâmetros analisados na calibração de vazão (Tabela 13), sedimentos (Tabela 14) e nutrientes (Tabela 15) são apresentados nas tabelas a seguir.

Tabela 13 - Ranking de sensibilidade dos parâmetros analisados para vazão

Ranking	Parâmetro	p-value
1°	CN2	0,0000
2°	ESCO	0,0000
3°	ALPHA_BF	0,0043
4°	CANMX	0,0045
5°	GW_DELAY	0,0254
6°	GWQMN	0,0321
7°	REVAPMN	0,0356
8°	LAT_TIME	0,0401
9°	RCHRG_DP	0,3487
10°	GW_REVAP	0,5846
11°	SURLAG	0,6032

Considerando a vazão, os parâmetros apontados como mais significativos concordam com os resultados mostrados em outros estudos, como Bressiani (2014), Carvalho (2014) e Abbaspour (2015). Nestes estudos recentes, o CN2 tem sido apontado entre os parâmetros

de maior influência nos resultados da modelagem de maneira consistente, constatação corroborada por este trabalho.

Tabela 14 - Ranking de sensibilidade dos parâmetros analisados para sedimentos

Ranking	Parâmetro	p-value
1°	USLE_P	0,0000
2°	ADJ_PKR	0,0000
3°	USLE_C	0,2160
4°	CH_EROD	0,3204
5°	SLSUBBSN	0,3904
6°	SPEXP	0,6673
7°	LAT_SED	0,7526
8°	SPCON	0,7672

Considerando os sedimentos, apenas dois parâmetros foram avaliados como significativos nas iterações realizadas no SWAT-CUP, o fator de práticas conservacionistas da equação MUSLE (USLE P) e o fator de ajuste da taxa de pico para transporte de sedimentos nos canais tributários (ADJ_PKR).

Tabela 15 - Ranking de sensibilidade dos parâmetros analisados para nutrientes

Ranking	Parâmetro	p-value
1°	SHALLST_N	0,0328
2°	NPERCO	0,0492
3°	SOL_NO3	0,4322
4°	FRT_SURFACE	0,6057

Por fim, com a análise da sensibilidade dos parâmetros envolvidos na produção de nutriente, mais especificamente produção de nitrato, verifica-se a significância de apenas dois parâmetros, a concentração inicial de nitrato em aquífero raso (mg/L ou ppm) e o coeficiente de percolação de nitrato. Novamente, é preciso frisar a escassez de trabalhos semelhantes e comparação de resultados.

7.2.3. Calibração

Para a calibração, foram adotados apenas os valores considerados significativos na análise de sensibilidade, ou seja, aqueles que apresentaram valor de p-value maior ou igual a 0,05. Os parâmetros utilizados, seus métodos de variação empregados e os valores utilizados na calibração da vazão, sedimentos e nutrientes são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 - Parâmetros, métodos de variação e melhor ajuste para calibração de vazão, sedimentos e nutrientes

Variável	Parâmetro	Método de variação	Melhor valor encontrado
Vazão	CN2	R	-0,0561
	ESCO	V	0,769
	ALPHA_BF	V	0,60
	CANMX	A	1,81
	GW_DELAY	V	0,65
	GWQMN	V	1000
	REVAPMN	V	1000
	LAT_TIME	V	42
Sedimentos	USLE_P	R	-0,03
	ADJ_PKR	V	1,30
Nutrientes	SHALLST_N	A	489
	NPERCO	R	0,08

O método gráfico é muito utilizado para a verificação da aderência entre os valores observados e simulados, aliados ao principal fator contribuinte, a precipitação. Os hidrogramas referentes a calibração da vazão, sedimentos e nutrientes, para a E2 e E4, são apresentados a seguir.

A Figura 17 apresenta o hidrograma observado e simulado, referente a calibração de vazão, para a E2. Também exibe a aderência da modelagem aos dados observados, assim como a resposta da vazão à precipitação. É possível observar uma boa aderência entre as curvas, além de resposta coerente da vazão à precipitação, sem adiantamentos ou retardos. Enquanto a vazão média observada corresponde a 2,62

m^3/s , a vazão média simulada foi igual a $3,39 \text{ m}^3/\text{s}$, retratando uma superestimação de aproximadamente 30%. Também verifica-se boa simulação da vazão de base e superestimação dos picos, ainda que a variação percentual seja pequena, na maioria dos casos. Também ressalta-se que os dados observados estão limitados a pouco mais de 6 meses, desta forma não contemplam o ano inteiro de 2014.

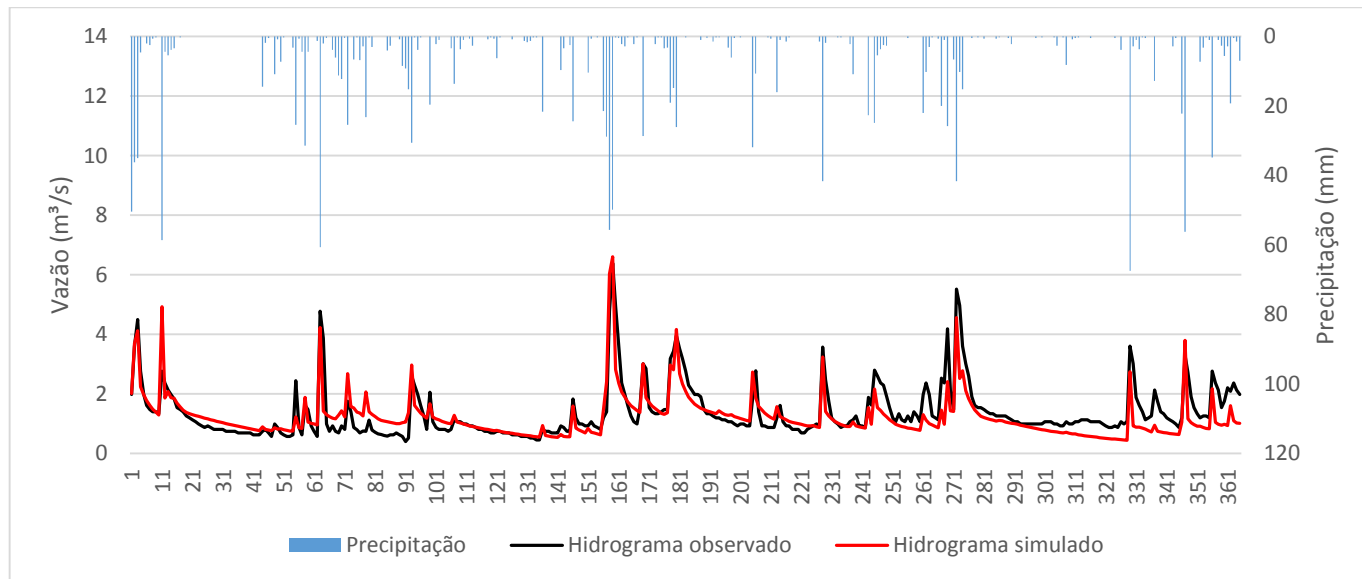


Figura 17 - Hidrograma observado e simulado para o E2, na bacia hidrográfica do rio Camboriú, para o ano de 2014

A Figura 18 apresenta o hidrograma observado e simulado para a E4, aliado aos valores observados de precipitação. É possível observar uma boa aderência entre as curvas, além de resposta coerente da vazão à precipitação, sem adiantamentos ou retardos. A vazão média simulada ($1,24 \text{ m}^3/\text{s}$) obtida é próxima da vazão média observada ($1,37$

m^3/s). Também verifica-se boa simulação da vazão de base, assim como boa correlação com os picos de vazão, apresentando superestimação em picos pontuais, com variação percentual média de 28%. Também ressalta-se que os dados observados abrangem todo o ano de 2014, possibilitando melhor avaliação do comportamento dos dados modelados. Ainda assim, seria indicado utilizar maiores períodos para a calibração.

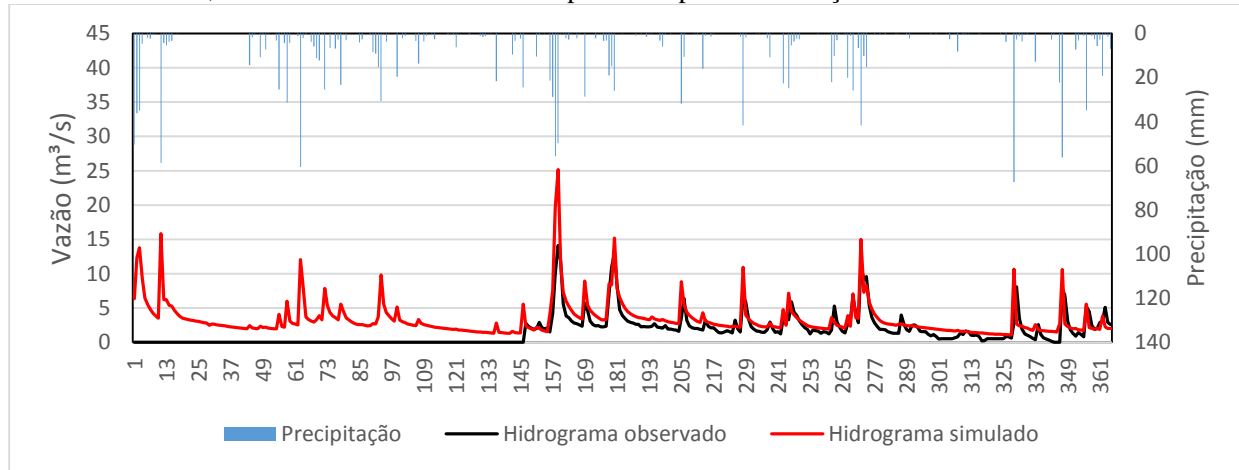


Figura 18 - Hidrograma observado e simulado para o E4, na bacia hidrográfica do rio Camboriú, para o ano de 2014

A Figura 19 abaixo apresenta a distribuição das cargas de sedimentos obtida com a calibração para a estação E2. É possível observar eventos pontuais extremos observados (com cargas próximas a 1500 t/dia), muito diferentes dos valores médios. Estes valores podem ser conseqüências de dois fatores: a qualidade dos dados de turbidez diária

medida pela sonda, medições errôneas, necessidade de manutenção da sonda, entre outros aspectos podem levar a essa discrepância; e a adequação da própria curva-chave utilizada para estimar os valores de concentração de sólidos totais a partir dos dados de turbidez diária.

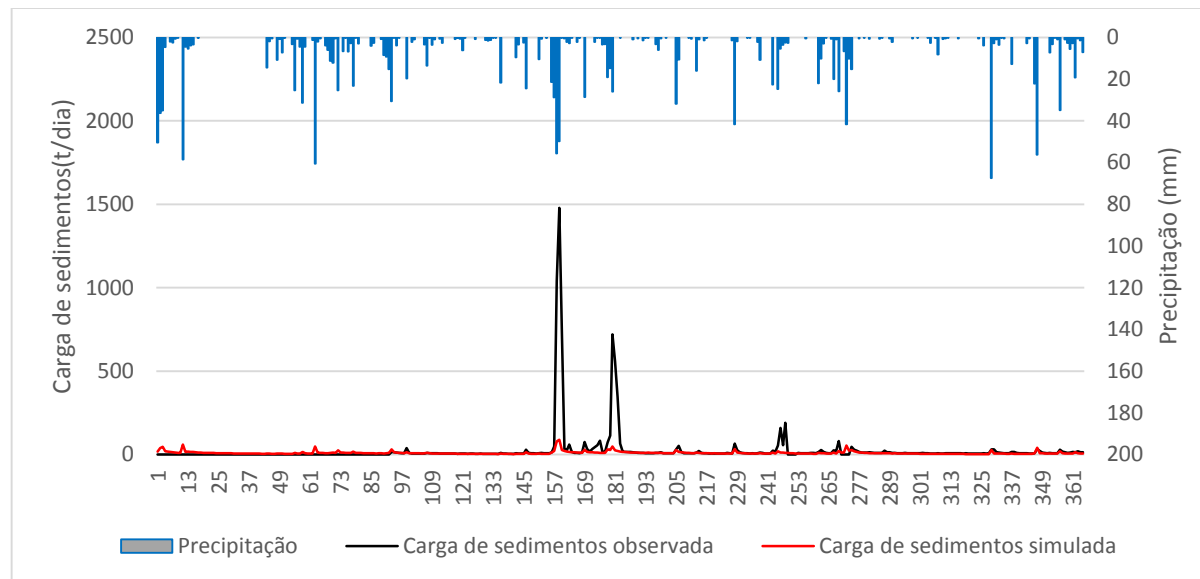


Figura 19 - Distribuição das cargas de sedimentos observadas e simuladas para a E2

A Figura 20 apresenta um close da distribuição apresentada na Figura 19, de modo a possibilitar a visualização do restante dos valores, sem a influência dos picos, muito provavelmente provenientes de erro de medição. É possível observar uma boa aderência entre os valores. É preciso ressaltar que o período de valores observados não abrange todo o ano de 2014, com falhas nas medições.

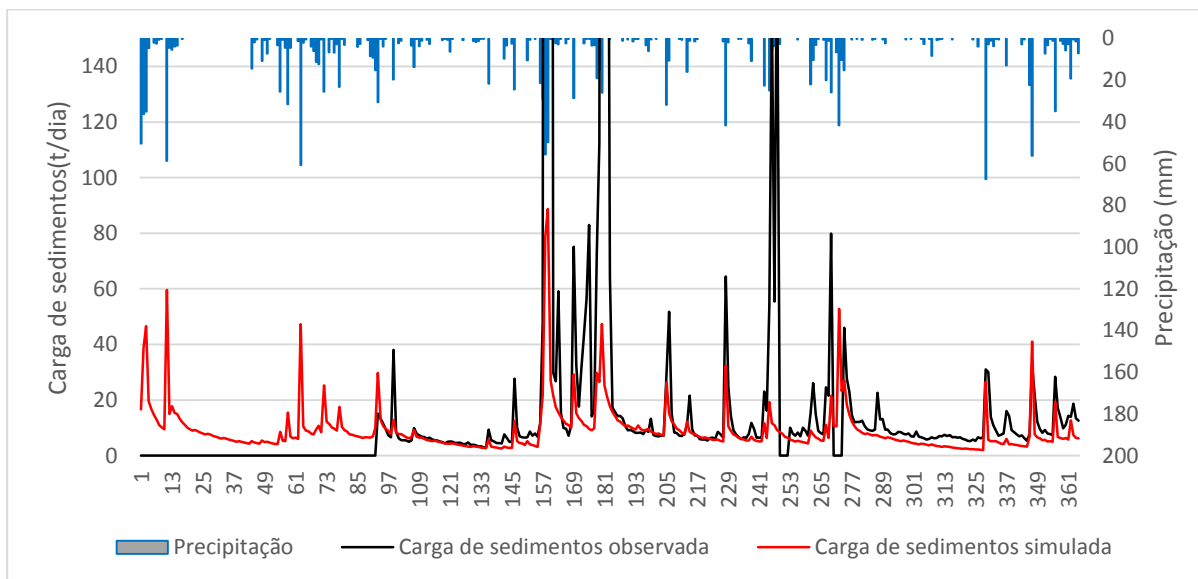


Figura 20 - Close da distribuição das concentrações de sedimentos observadas e simuladas para a E2

A Figura 21 apresenta a distribuição das cargas de sedimentos observadas e simuladas para a estação E4. É possível observar a presença de muitas falhas nas medições dos valores observados e com uma exceção pontual, as curvas apresentam uma boa aderência.

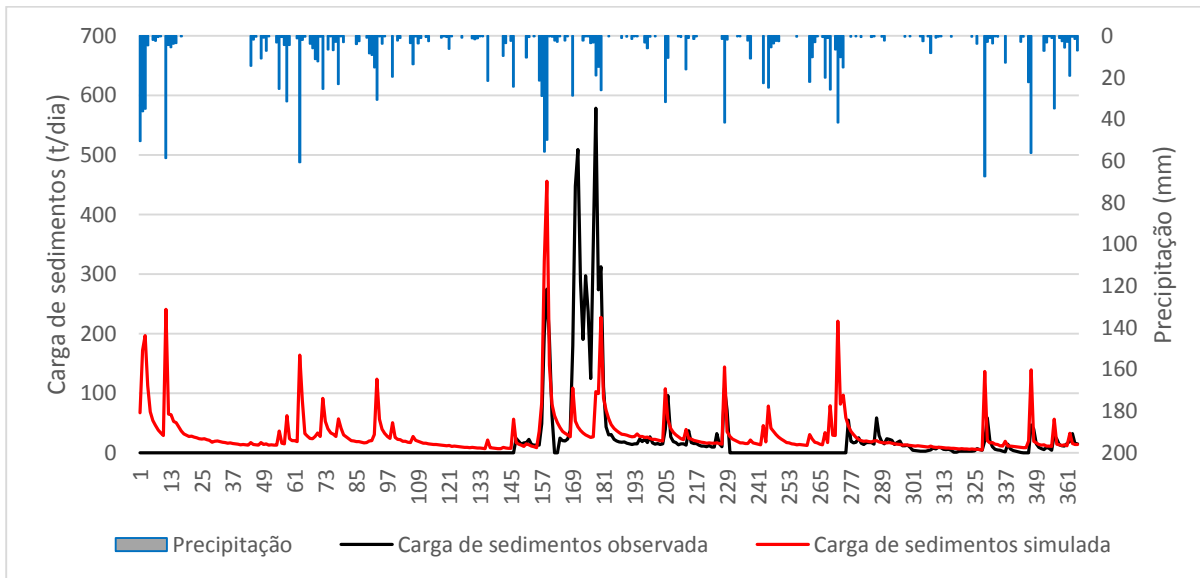


Figura 21 - Distribuição das concentrações de sedimentos observadas e simuladas para a E4

A Figura 22 apresenta a distribuição de concentrações de nitrato observadas e simuladas, para a estação E2. É possível observar que as concentrações simuladas subestimam as concentrações, apresentando variabilidade muito restrita. A necessidade de adaptação do código de arroz irrigado do modelo, apresentada na revisão bibliográfica é uma das possibilidades para a explicação da calibração insatisfatória.

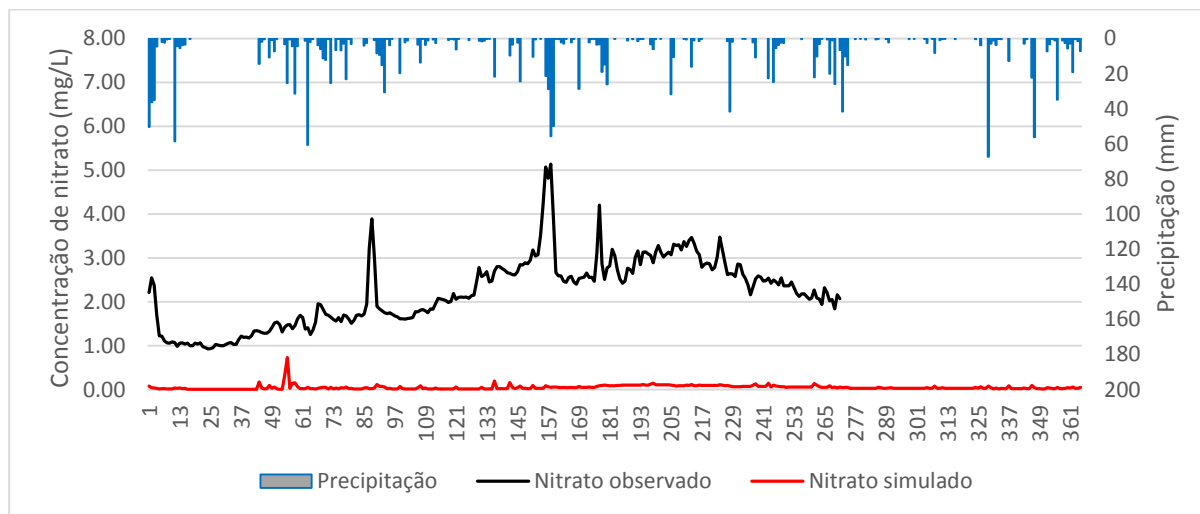


Figura 22 - Distribuição das concentrações de nitrato observadas e simuladas para a E2

A Tabela 17 apresenta os parâmetros estatísticos referentes aos resultados calibração da vazão, sedimentos e nutrientes.

Tabela 17 - Parâmetros estatísticos da calibração

Parâmetro	Estatística							
	NSE		R ²		PBIAS		RSR	
	Canoas (E2)	EMASA (E4)	Canoas (E2)	EMASA (E4)	Canoas (E2)	EMASA (E4)	Canoas (E2)	EMASA (E4)
Vazão	0,64	0,42	0,66	0,71	9,8	-29,6	0,60	0,76
Sedimentos	0,07	0,22	0,10	0,24	-58,8	-29,4	3,56	2,35
Nitrato	0,20		0,28		-86,9		0,97	

Os resultados apresentam uma grande variação em relação à adequação do modelo. Considerando o principal parâmetro de análise de modelos SWAT, NSE, o modelo é considerado satisfatório (NSE igual ou maior que 0,50) apenas para a vazão medida na E2. Com relação ao R², ambas as vazões são consideradas satisfatórias (R² igual ou superior a 0,60), porém a simulação de sedimentos não é considerada satisfatória nas duas estações, assim como a calibração de nitrato.

Quando considera-se o PBIAS para análise de vazão, a calibração da vazão da estação E2 é considerada muito boa (PBIAS inferior a 10%) e a da E4 insatisfatória (PBIAS inferior a -25%); em relação a sedimentos, a E2 apresenta calibração insatisfatória (PBIAS inferior a -55%) e a E4 é considerada boa (PBIAS entre -15% e -30%) e em relação a nutrientes, a calibração é considerada insatisfatória (PBIAS maior que 70%).

Finalmente, em relação ao coeficiente RSR, são considerados insatisfatórios (RSR superior a 0,70) a modelagem de sedimentos de ambas as estações, a de vazão para a estação E4 e a de nutrientes. Apenas a estação E2 é classificada como boa.

De maneira geral, a calibração de vazão é suficiente, porém é preciso rever dados de entrada e as curvas-chave de sedimentos.

7.3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

7.3.1. Vazão

A Figura 23 apresenta os principais elementos do balanço hídrico da bacia, disponibilizado pela ferramenta SWAT Check. A precipitação anual média simulada, 1.459,4 mm, ficou próxima da precipitação anual da bacia, 1.600 mm. Do total de precipitação, 42,5% é convertido em

evapotranspiração e 56,85% em escoamento total, seguindo a tendência de maior escoamento em comparação a evapotranspiração vista por Kobyama e Chaffe (2008) (62% e 44%, respectivamente).

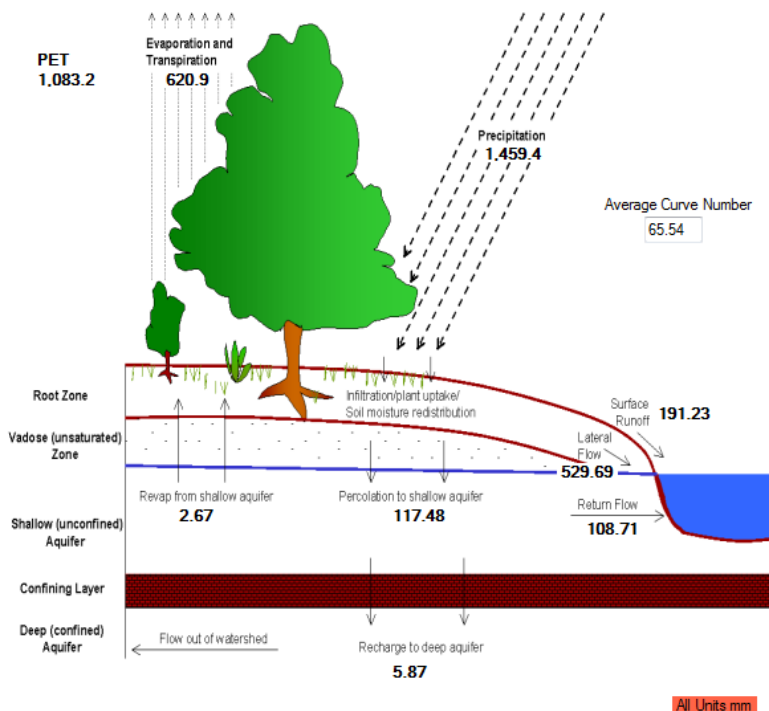


Figura 23 - Valores dos principais elementos do balanço hídrico

7.3.2. Sedimentos

Apesar da calibração de sedimentos apresentar resultados insatisfatórios, a determinação de áreas críticas de produção de sedimentos e nutrientes pode ser realizada em modelos não calibrados, quando há dados para a calibração (NIRAULA et al., 2012). Desta forma, a produção de sedimentos média anual foi avaliada através do mapeamento da produção média de cada HRU, apresentado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

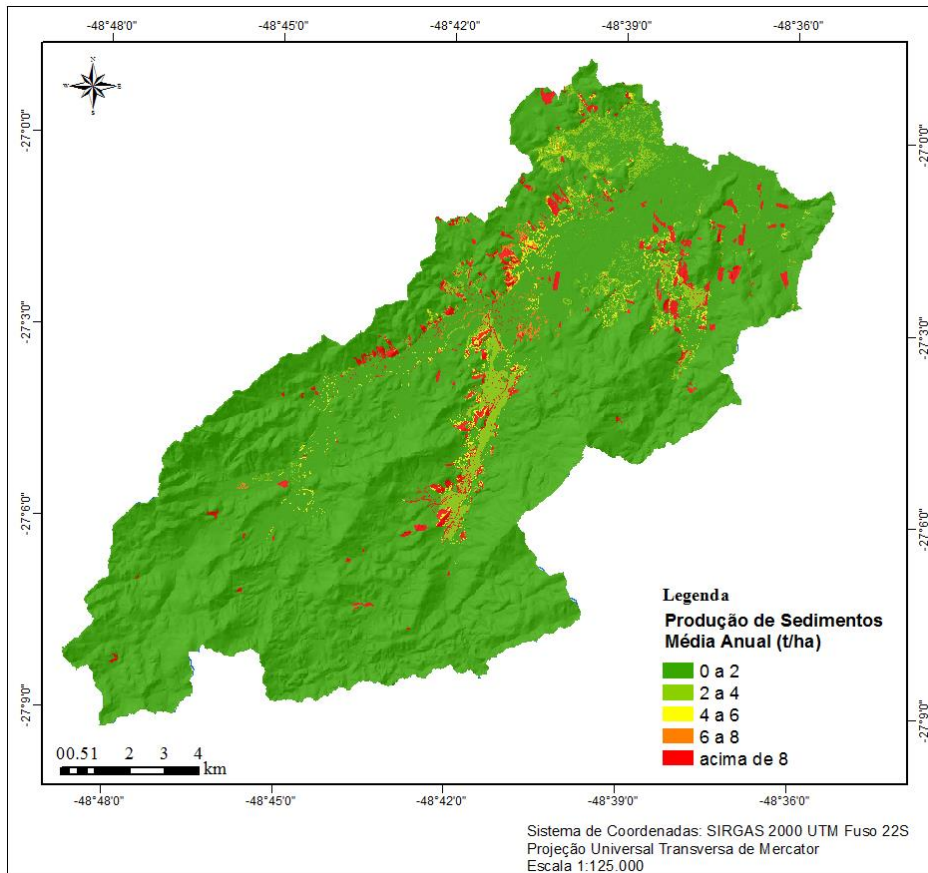


Figura 24 - Mapa de produção de sedimentos média anual da bacia hidrográfica do rio Camboriú

A gestão de recursos hídricos é beneficiada com este tipo de informação. Na bacia hidrográfica do rio Camboriú, a TNC, através do Projeto Produtor de Água, está realizando este tipo de avaliação para a determinação de áreas prioritárias para implementação de ações de reflorestamento e recuperação do solo, de modo a obter o melhor custo-benefício, com o objetivo de melhoria quali-quantitativa da água.

7.3.3. Nutrientes

Neste trabalho, o nutriente avaliado é o nitrato (NO_3). A calibração deste parâmetro também foi insatisfatória, porém, como dito anteriormente, a avaliação da produção de nutrientes pode ser realizada por modelos não calibrados (NIRAULA et al., 2012). Desta forma, foi elaborado o mapa de produção média anual de nitrato (Figura 25) para a identificação das áreas críticas de produção de nitrato.

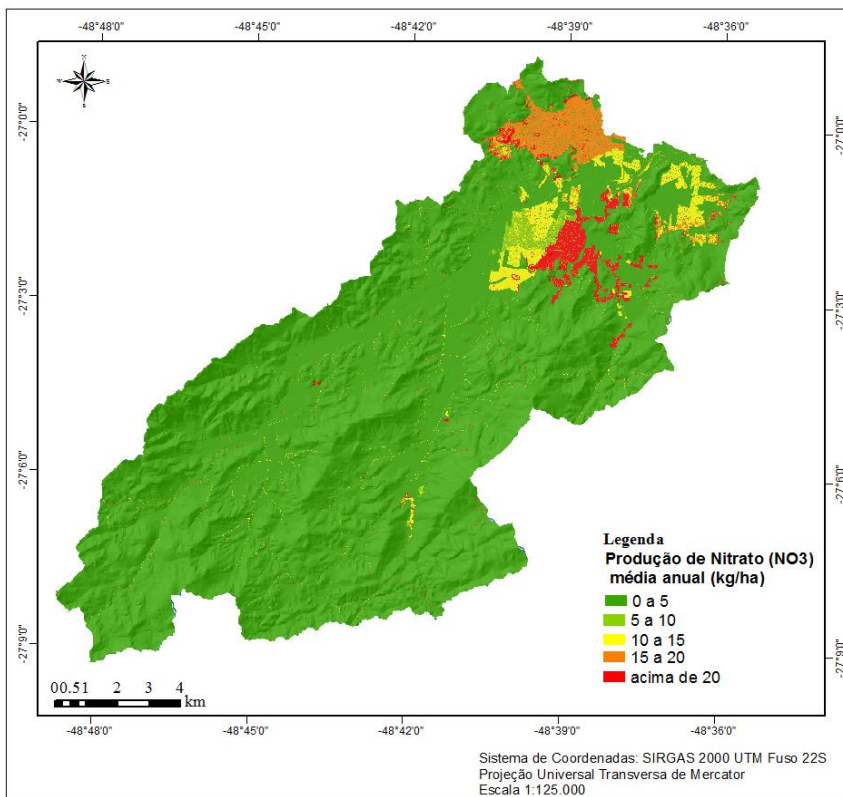


Figura 25 - Mapa de produção de nitrato média anual para a bacia hidrográfica do rio Camboriú

Para a melhor identificação das áreas críticas de produção de nitrato, a figura x apresenta a sobreposição das áreas de maior contribuição no levantamento aerofotogramétrico de Santa Catarina, realizado pela SDS em 2010. É possível perceber que as áreas de maior

contribuição estão localizadas mais próximas da foz do rio Camboriú e também da área urbana da bacia. Este tipo de informação pode ser utilizado por gestores de recursos hídricos, de modo a promover ações pontuais para a melhoria da qualidade da água, de modo a promover resultados melhores, mais rápidos e eficientes.

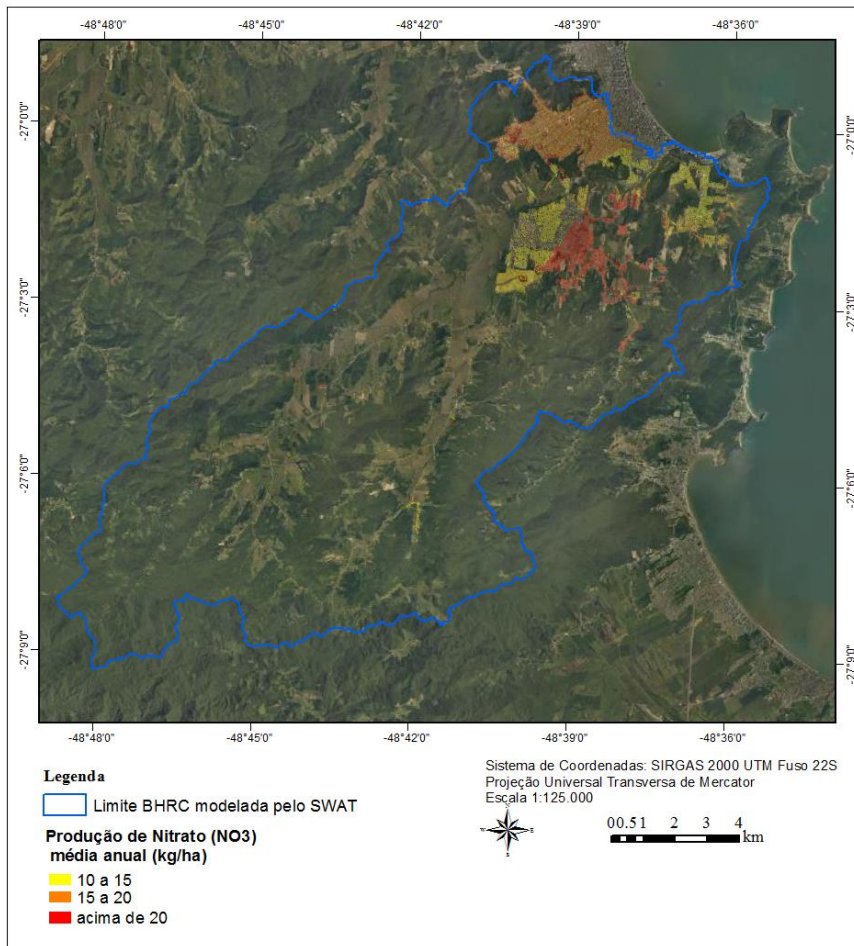


Figura 26 - Mapa das áreas críticas de produção de nitrato da bacia hidrográfica do rio Camboriú

8. CONCLUSÕES

Este trabalho consistiu na aplicação do modelo hidrológico SWAT na bacia hidrográfica do rio Camboriú com o objetivo de avaliar seu uso como ferramenta de auxílio à gestão de recursos hídricos. A análise dos resultados obtidos permite estabelecer as seguintes conclusões.

Foi verificada a dificuldade na obtenção de séries de dados de monitoramento, tanto hidrológicos quanto de qualidade da água, vitais para possibilitar a calibração e validação do modelo, de forma a produzir resultados mais próximos da realidade. A qualidade destes dados também atua como fator que dificulta a calibração. Esta base de dados observados insuficiente age como fator limitante à aplicação do modelo no Brasil e a etapa de elaboração destes se torna uma das etapas que mais consomem tempo na modelagem.

A aderência do modelo aos dados observados foi considerada adequada para a representação da vazão, porém inadequada para a produção de sedimentos e nitrato, quando considera-se o coeficiente de Nash-Sutcliffe. Desta forma, antes da utilização dos resultados, é preciso persistir na calibração de sedimentos e realizar a validação para todos os componentes, vazão, sedimentos e nutrientes, assim como rever a consistência dos dados observados.

Em suma, os resultados permitem a avaliação do potencial da utilização da modelagem hidrológica, no contexto deste estudo através do uso do SWAT, na gestão de recursos hídricos e minimização de conflitos dos usos múltiplos da água. Com relação a avaliação de nutrientes, a aplicabilidade do SWAT é ampla, devido principalmente ao mapeamento e consequente identificação de áreas críticas, possibilitando a promoção de melhor custo-benefício em ações de gestão que visam a melhoria quali-quantitativa da água.

9. RECOMENDAÇÕES FUTURAS

Apesar da dificuldade na obtenção de dados de monitoramento, para próximos estudos recomenda-se a utilização de dados hidrológicos com séries temporais maiores na construção dos dados observados, de modo a possibilitar a construção de curvas-chave mais condizentes com a realidade, e consequentemente, melhores resultados na calibração do modelo, assim como resultados mais próximos da realidade.

Além disso, para os próximos estudos na bacia hidrológica do Rio Camboriú recomenda-se a consideração do reservatório construído na seção de captação de água na EMASA (Empresa Municipal de Água e Saneamento de Balneário Camboriú) na elaboração do modelo. A conclusão deste ocorrerá após a publicação deste estudo, portanto não foi considerado neste trabalho.

Por fim, recomenda-se a investigação da adequação do módulo de poças na representação de áreas de arroz irrigado em bacias hidrográficas brasileiras, assim como o aprimoramento deste através de alterações no código do SWAT.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBASPOUR K. C.; ROUHOLAHNEJAD E.; VAGHEFI S.; SRINIVASAN R.; YANG H.; KLOVE B. A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model. **Journal of Hydrology**, 524, pp. 733-752, 2015.

ABRH. **Carta de Salvador - 1987**. Disponível em <<http://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?P1=2&P2=115&P3=117>>. Acesso em 15 outubro 2015.

ABRH. **Carta de Foz do Iguaçu - 1989**. Disponível em <<http://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?P1=2&P2=115&P3=118>>. Acesso em 10 outubro 2015.

ANA. O Comitê de Bacia Hidrográfica: o que é e o que faz? **Cadernos de capacitação em recursos hídricos**, v.1. Agência Nacional de Águas, Brasília, DF. 64 p., 2011.

ARHONDITSIS G.B.; ADAMS-VANHARN B.A.; NIELSEN L., STOW C.A.; RECKHOW K.H. Evaluation of the current state of mechanistic aquatic biogeochemical modeling: citation analysis and future perspectives. **Environmental Science and Technology**. 40, pp. 6547-6554, 2006.

ARNOLD J. G.; KINIRY J. R.; SRINIVASAN R.; WILLIAMS J. R.; HANEY E. B.; NEITSCH S. L. **Soil and water assessment tool input/output documentation version 2012**, 2012. Disponível em <<http://swat.tamu.edu/media/69296/SWAT-IO-Documentation-2012.pdf>>. Acesso em 15 julho 2015.

ARNOLD J. G.; SRINIVASAN R.; MUTTIAH R. S.; WILLIAMS J. R. Large area hydrologic modelling and assessment part I Model Development. **Journal of the American Water Resources Association**. Vol. 34, No 1. Fevereiro 1998.

BATHURST J. C.; WICKS J. M.; O'CONNEL P. E. **The SHE/SHESED basin scale water flow and sediment transport modeling system**. Computer models of watershed hydrology. Water Resources Publications, 1995, Highlands Ranch, Colorado, Estados Unidos.

BEVEN K. J.; KIRKBY M. J. A physically based variable contributing area model of basin hydrology. **Hydrological Sciences Bulletin**. 24 (1): 43-69, 1979.

BISWAS A. K. Mathematical modelling and environmental decision-making. **Ecological Modelling**, 1975, 1 31-48.

BOULANGE J.; WATANABE H.; INAO K.; IWAFUNE T.; ZHANG M.; LUO Y.; ARNOLD J. Development and validation of a basin scale model PCPF-1@SWAT for simulating fate and transport of rice pesticides. **Journal of Hydrology**, 517 146-156, 2014.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional dos Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm>. Acesso em: 10 agosto 2015.

BRASIL. **Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000**. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas – ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional dos Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9984.htm>. Acesso em: 10 agosto 2015.

BRESSIANI D. A.; GASSMAN P. W.; FERNANDES J. G.; GARBOSSA L. H. P.; SRINIVASAN R.; BONUMÁ N. B.; MENDIONDO E. M. A review of SWAT (Soil and Water Assessment Tool) applications in Brazil: challenges and prospects. **International Journal of Agriculture & Biological Engineering**, 8 (3) 9-35., 2015.

BRESSIANI D. A.; SRINIVASAN R.; MEDIONDO E. M. Searching for better model performance and reduced optimization time: different calibration methods on different watershed locations. IN: INTERNATIONAL SWAT CONFERENCE, 2014, Pernambuco, Brasil.

CARVALHO F. H. **Uso do modelo SWAT na estimativa da vazão e da produção de sedimentos em bacia agrícola do Cerrado brasileiro**. Brasília, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2014, 154 p. Dissertação de Mestrado.

COMITE CAMBORIÚ. Abaixo assinado contra a concessão da prestação de serviços públicos de abastecimento de água potável e esgoto sanitário do município de Camboriú. Disponível em: <www.comitecamboriu.com.br>. Acesso em: 20 novembro 2015.

DEVIA G. K.; GANASRI B. P.; DWARAKISH G. A Review on Hydrological Models. **Aquatic Procedia**, Volume 4, 1001-1007, 2015.

EL-KHOURY A.; SEIDOU O.; LAPEN D. R.; QUE Z.; MOHAMMADIAN M.; SUNOHARA M.; BAHRAM D. Combined impacts of future climate and land use changes on discharge, nitrogen and

phosphorus loads for a Canadian river basin. **Journal of Environmental Management**. 2015, 151, 76 – 86.

EMASA. **Projeto Produtor de Água**. Disponível em: <<http://www.emasa.com.br/servicos/produtordeagua/produtordeagua/pr-odutordeagua/>> Acesso em: 10 outubro 2015.

EPAGRI. **Inventário das Terras da Bacia Hidrográfica do Rio Camboriú**. Florianópolis, março de 1999.

EPAGRI. **Ranking da produção estadual em relação a nacional – Safras 2013 e 2014**. Disponível em: <http://www.epagri.sc.gov.br/?page_id=2870>. Acesso em: 13 outubro 2015.

EPAGRI/CIRAM. **Rede de monitoramento hidrometeorológico para a bacia hidrográfica do rio Camboriú – SC**. Setembro 2011.

FAO. **Esgotamento dos Recursos de Água Doce**. Disponível em: <<http://www.fao.org/ag/againfo/programmes/pt/lead/toolbox/Indust/DFr eWat.htm>>. Acesso em: 17 setembro 2015.

FAOSTAT. **Food and agricultural commodities production/countries by commodity**. Disponível em: <http://faostat3.fao.org/browse/rankings/countries_by_commodity/E>. Acesso em: 28 setembro 2015.

GARBOSSA L.H.P.; VASCONCELOS L.R.C.; LAPA K.R.; BLAINSKI E.; PINHEIRO A. The use and results of the Soil and Water Assessment Tool in Brazil: A review from 1999 until 2010. In: INTERNATIONAL SWAT CONFERENCE AND WORKSHOP. Toledo, Espanha, 2011.

GASSMAN P. W. Simulation of paddy fields in SWAT: A global synthesis of typical approaches, improved modified methods, and future development needs. In: INTERNATIONAL SWAT CONFERENCE, Italy, Sardinia, 2015.

GRANEMANN A. R. B.; ESPINOSA H. R. M. Horizonte temporal do uso dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do Rio Camboriú – SC, Brasil. In: XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2013, Bento Gonçalves, RS.

HUTCHINSON K.J.; CHRISTIANSEN D.E. **Use of the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) for simulating hydrology and water quality in the Cedar River Basin, Iowa, 2000-10**: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report. 2013. 5002, 36 p.

IBGE. **Cidades**. Disponível em <<http://www.cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 20 outubro 2015.

KIKER G. A.; BRIDGES T. A.; VARGHESE A.; SEAGER T. P.; LINKOV I. (2005). Application of multicriteria decision analysis in

environmental decision making. **Integrated Environmental Assessment and Management**. 2015. 1 (2), pp. 95-108.

KOBYIAMA, M.; CHAFFE, P. L. B. Water balance in Cubatão-Sul River Catchment, Santa Catarina, Brazil. *Ambiente e Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, Vol 3, No 1, 2008.

LOUCKS, D. P.; STEDINGER J. R.; DIJKMAN J. P. M.; VILLARS M. T. **Water resources systems planning and management: An introduction to methods, models and applications**. UNESCO, 2005, 680 p.

LYRA G. B.; CECILIO R. A.; ZANETTI S. S.; LYRA G. B. Coeficiente de rugosidade de Manning para o rio Paracatu. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. V.14, n.4, p. 343-350, 2010. Campina Grande, PB, UAEA/UFMG.

MEHDI B.; LUDWIG R.; LEHNER B. Evaluating the impacts of climate change and crop land use on streamflow, nitrates and phosphorus: A modeling study in Bavaria. **Journal of Hydrology: Regional Studies** 4. 2015, 60 – 90.

MORIASI D. N.; ARNOLD J. G.; VAN LIEW M. W.; BINGNER R. L.; HARMEL R. D.; VEITH T. L. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**. 2007. Vol.50 (3): 885 – 900.

NEITSCH S. L.; ARNOLD J. G.; KINIRY J. R.; WILLIAMS J. R. **Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009: TR-406**. Texas Water Resources Institute, College Station, TX, 2011.

NIRLAULA R.; KALIN L.; WANG R.; SRIVASTAVA P. Determining nutrient and sediment critical source areas with SWAT: effect of lumped calibration. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**. 2012. Vol 55 (1): 137 – 147.

OMANI N.; SRINIVASAN R.; LEE T. Estimating sediment and nutrient loads of Texas Coastal Watersheds with SWAT: a case study of Galveston Bay and Matagorda Bay. Final report for the Texas Development Board. Spatial Sciences Laboratory. Texas A&M University, 2012.

PADILHA L. R. **Modelagem da qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Camboriú/SC**: Subsídios à gestão integrada dos Recursos Hídricos. 2013. 123 f. Monografia (grau de Engenheiro Ambiental) - Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 2013.

PAIVA E. M. C. D.; FORGIARINI F. R.; SANTOS F. A. Estudo Sedimentológico em pequena bacia urbana. IN: II SIMPÓSIO DE

RECURSOS HÍDRICOS DO CENTRO-OESTE. 2002, Campo Grande, Campo Grande. ABRH, 2002. V.1, p 1-10.

PORTO M. F. A.; PORTO L. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p.43-60. 2008.

RENNÓ C. D.; SOARES J. V. **Conceitos básicos de modelagem hidrológica**. INPE, Santa Maria, 2008.

RODE M.; ARHONDITSIS G.; BALIN D.; KEBEDE T.; KRYSANOVA V.; GRIENSVEN A.; ZEE S.E.A.T.M. New challenges in integrated water quality modelling. **Hydrological Processes**, 2010, 24. 3347-3461.

SAKAGUCHI A.; EGUCHI S.; KATO T.; KASUYA M.; ONO K.; MYATA A.; TASE N. Development and evaluation of a paddy module for improving hydrological simulation in SWAT. **Agricultural Water Management**. 2014. 137. 116 - 122.

SOUZA R. M.; SANTOS I.; KOBİYAMA M. O modelo SWAT como ferramenta para a gestão de recursos hídricos: avaliação de vazões de outorga na bacia hidrográfica do Altíssimo Rio Negro. In: Anais do XVIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. Campo Grande, 2009.

SRINIVASAN R.; ARNOLD J. G. Integration of a basin-scale water quality model with GIS. **Water Resources Research**. 1994. 30 (3-6), pp.453-462.

TEIXEIRA E. C.; SENHORELO A. P. Avaliação de correlação entre turbidez e concentração de sólidos suspensos em bacias hidrográficas com uso e ocupação diferenciada. IN: XXVII CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2000. Porto Alegre – RS.

TIM U. S.; JOLLY R. Evaluating agricultural nonpoint-source pollution using integrated geographic information systems and Hydrology/Water Quality Model. **Journal for Environmental Quality**. 1994. 23 (1-6), pp.25-35.

TUCCI C. E. M. **Modelos Hidrológicos**. Edit. UFRGS ABRH, 2007. 652 p.

USGS. The World's Water. Disponível em: <<http://water.usgs.gov/edu/earthwherewater.html>>. Acesso em: 23 agosto 2015.

VITTI D. M. C.; FERRAREGI R. B.; SANTOS B. B.; MAUAD F. F. Construção de curvas-chave dos córregos dos Pires e Santo Antônio no município de Jahu-SP visando o abastecimento público. V SIMPÓSIO DE TECNOLOGIA EM MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. FATEC – Jahu, 2006.

WU Y.; CHEN J. Estimating irrigation water demand using an improved method and optimizing reservoir operation for water supply and hydropower generation: a case study of the Xinfengjiang reservoir in southern China. **Agricultura Water Management**, 2013. 116, 110-121.

XIE X.; CUI Y. Development and test of SWAT for modeling hydrological processes in irrigation districts with paddy rice. **Journal of Hydrology**. 2011. 396 61-71.