

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**PEDRO EMANOEL PERES DIANI**

**ESTUDO SOBRE A APLICAÇÃO DO MODELO SWAT ATRAVÉS DO  
COMPLEMENTO QSWAT+ NOS ARROIOS CAMBAÍ E OLARIA EM ITAQUI-RS**

**Itaqui - RS  
2024**

**PEDRO EMANOEL PERES DIANI**

**ESTUDO SOBRE A APLICAÇÃO DO MODELO SWAT ATRAVÉS DO  
COMPLEMENTO QSWAT+ NOS ARROIOS CAMBAÍ E OLARIA EM ITAQUI-RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

Orientador: Nelson Mario Victoria Bariani

**Itaqui - RS  
2024**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos  
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do  
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais).

D538e Diani, Pedro Emanuel Peres

ESTUDO SOBRE A APLICAÇÃO DO MODELO SWAT ATRAVÉS DO COMPLEMENTO  
QSWAT+ NOS ARROIOS CAMBAÍ E OLARIA EM ITAQUI-RS / Pedro Emanuel  
Peres Diani.

35 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -- Universidade  
Federal do Pampa, ENGENHARIA CARTOGRÁFICA E DE AGRIMENSURA, 2024.  
"Orientação: Nelson Mario Victoria Bariani".

1. Bacia Hidrográfica. 2. QGIS. 3. SWAT. 4. QSWAT+. I. Título.

**PEDRO EMANOEL PERES DIANI**

**ESTUDO SOBRE A APLICAÇÃO DO MODELO SWAT ATRAVÉS DO  
COMPLEMENTO QSWAT+ NOS ARROIOS CAMBAÍ E OLARIA EM ITAQUI-RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 16 de dezembro de 2024.

Banca examinadora:

Documento assinado digitalmente  
 **NELSON MARIO VICTORIA BARIANI**  
Data: 20/12/2024 17:52:47-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Prof. Dr. Nelson Mario Victoria Bariani**  
Orientador  
UNIPAMPA

Documento assinado digitalmente  
 **ELOIR MISSIO**  
Data: 21/12/2024 10:38:35-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Prof. Dr. Eloir Missio**  
UNIPAMPA

Documento assinado digitalmente  
 **DENISE GOMES DE GOMES**  
Data: 20/12/2024 14:09:32-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Ma. Denise Gomes de Gomes**  
Pesquisadora Visitante - UNIPAMPA

## **AGRADECIMENTO**

Ao Prof. Dr. Nelson Mario Victoria Bariani pela sua orientação no presente trabalho de conclusão de curso. Ao prof. Dr. Vinicius Piccin Dalbianco pela parceria em diversas atividades ao longo da graduação, ao prof. Dr. Eloir Missio, por aceitar o convite para participar da minha banca e pela amizade desenvolvida ao longo da minha trajetória acadêmica e a Ma. Denise Gomes de Gomes pela convivência e aprendizados ao longo do semestre. E a todos os colegas de curso que apoiaram ao longo da graduação, em especial ao antigo colega do BICT, Me. Alison Fernando Jeronymo Eduardo pelos conselhos ao longo do meu segundo ciclo na engenharia cartográfica e de agrimensura.

## RESUMO

Levando em consideração o avanço da geotecnologia e sua crescente acessibilidade, podemos dizer que, as ferramentas com base no geoprocessamento têm se destacado pela eficiência no levantamento de dados territoriais, pois essas tecnologias são amplamente utilizadas para análises como uso e ocupação da terra, modelagem hidrológica, entre outras, permitindo estudos detalhados sobre solos, vegetação e recursos hídricos. A exemplo disso se tem a ferramenta Soil & Water Assessment Tool (SWAT), a qual têm revolucionado a análise ambiental, oferecendo representações gráficas e mapas que ilustram o impacto das atividades humanas sobre a água, o solo e a vegetação. No caso do uso dessas ferramentas no município de Itaqui/RS, em especial nas bacias dos arroios Cambaí e Olaria, será possível um maior entendimento da região. Assim, este trabalho objetivou identificar passos para a preparação de dados de entrada do modelo SWAT, solicitados pelo complemento QSWAT+ dentro do software de sistema de informação geográfica QGIS. Assim como, através da delimitação realizada no QSWAT+ da área onde se encontram os arroios Cambaí e Olaria, visualizar o uso e cobertura da terra na região sob estudo. A delimitação de sub-bacias e a análise de uso e cobertura da terra revelaram problemas como o impacto antrópico em áreas urbanas e agrícolas. Este estudo juntamente com o projeto LABii - Laboratório Interdisciplinar Integrado, vinculado à UNIPAMPA – Campus Itaqui, destacam-se ao integrar modelagem hidrológica com práticas acadêmicas, com estudantes e pesquisadores na construção de mapas e análises do modelo, fortalecendo a aplicação prática de geotecnologias no ambiente educacional. Conclui-se que, houve uma importante análise sobre o modelo e suas entradas necessárias para utilização do modelo, através disso, possibilitando que o processo possa ser aplicado posteriormente por pesquisadores interessados na temática, isto principalmente voltado para área sob estudo na região do município de Itaqui. Além disso, o esforço realizado neste trabalho será utilizado futuramente na continuidade deste estudo, por parte da equipe do LABii no ano de 2025.

Palavras-Chave: SWAT, modelagem hidrológica, arroios, QSWAT+.

## ABSTRACT

Taking into account the advancement of geotechnology and its growing accessibility, we can say that geoprocessing-based tools have stood out for their efficiency in gathering territorial data, as these technologies are widely used for analyses such as land use and occupation, hydrological modeling, among others, allowing detailed studies of soils, vegetation and water resources. An example of this is the Soil & Water Assessment Tool (SWAT), which has revolutionized environmental analysis, offering graphic representations and maps that illustrate the impact of human activities on water, soil and vegetation. By using these tools in the municipality of Itaqui/RS, especially in the Cambaí and Olaria stream basins, it will be possible to gain a better understanding of the region. Therefore, this work aimed to identify steps for preparing input data for the SWAT model, requested by the QSWAT+ add-on within the QGIS geographic information system software. Also, through the delimitation of the area where the Cambaí and Olaria streams meet in QSWAT+, to visualize land use and land cover in the region under study. The delineation of sub-basins and the analysis of land use and cover revealed problems such as anthropogenic impact in urban and agricultural areas. This study, together with the LABii project - Integrated Interdisciplinary Laboratory, linked to UNIPAMPA - Campus Itaqui, stands out for integrating hydrological modeling with academic practices, with students and researchers building maps and analyzing the model, strengthening the practical application of geotechnologies in the educational environment. The conclusion is that there was an important analysis of the model and its necessary inputs for using the model, thus enabling the process to be applied later by researchers interested in the subject, this mainly focused on the area under study in the region of the municipality of Itaqui. In addition, the effort made in this work will be used in the future by the LABii team to continue this study in 2025.

**Keywords:** SWAT, hydrological modeling, streams, QSWAT+.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Interface inicial do QSWAT+	21
Figura 2. Modelo Digital de Elevação	22
Figura 3. Interface do MapBiomass no Google Earth Engine	23
Figura 4. Tipos de solos predominantes nos arroios Olaria e Cambaí	24
Figura 5. Guia de delimitação de bacias hidrográficas do QSWAT+	26
Figura 6. Resultado da delimitação da região sob estudo, contendo os Arroios Olaria e Cambaí	27
Figura 7. Sub-bacias resultantes do processo de delimitação dos arroios Olaria e Cambaí	27
Figura 8. Mapa de uso e cobertura da terra.	28

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>10</b>
<b>2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA</b>	<b>13</b>
2.1 Bacia Hidrográfica	13
2.2 Modelo SWAT	13
2.2.1 Complemento QSWAT+	16
2.3 Uso e cobertura da terra	17
2.3.1 MapBiomass	18
<b>3 OBJETIVOS</b>	<b>19</b>
3.1 Objetivo Geral	19
3.2 Objetivos específicos	19
<b>4 METODOLOGIA</b>	<b>20</b>
4.1 Instalação dos softwares utilizados	20
4.2 Introdução de MDE e delimitação de bacias	21
4.3 Obtenção das entradas para o modelo SWAT	22
4.3.1 Obtenção de mapa de uso da terra	22
4.3.2 Obtenção de mapa de tipo de solo (pedologia)	23
<b>5 APRESENTAÇÃO DA PESQUISA E ANÁLISE DOS RESULTADOS</b>	<b>25</b>
5.1 Apresentação da Aplicação do modelo SWAT no QSWAT+	25
5.2 Delimitação na região da área sob estudo	25
5.3 Etapa de uso e cobertura da terra na área sob estudo	27
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>30</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>32</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, conforme a geotecnologia vem avançando e se tornando cada vez mais acessível ao público em geral, se tornou comum a utilização de ferramentas de geoprocessamento, como exemplo o sensoriamento remoto, no levantamento e ou obtenção de dados para diversos fins, como por exemplo: de uso e ocupação da terra, modelagem hidrológica, entre outros.

As ferramentas com linguagens de programação com base em geoprocessamento permitem uma análise detalhada de um dado território, ajudando a entender o uso e ocupação da terra, a capacidade produtiva dos solos, a cobertura vegetal, os relevos existentes e os recursos hídricos disponíveis, o que por sua vez, pode ser bem utilizado por diferentes tipos de profissionais para promover novas políticas públicas e estratégias de desenvolvimento, pois de acordo com Souza, Ramirez e Bergamasco (2007), os dados apresentados na forma digital e georreferenciados tornam-se permanentemente disponíveis a quaisquer operações, análises ou atualizações que se queira efetuar posteriormente, transformando-se em uma valiosa ferramenta.

Dessa maneira, estas ferramentas têm se tornado um grande auxílio, dado que, se possibilita a análise de uma área almejada, sem a necessidade de um contato direto com a mesma, além de possibilitar análises que envolvam questões de interesse humano, para a compreensão de eventos climáticos e a decorrência de problemas que envolvem a interferência do homem, por exemplo, no caso das inundações de bacias hidrográficas e a erosão dos solos. Isto nos mais diversos ambientes, como em grandes áreas de vegetação e bacias. Segundo Nunes (2016), a expansão das fronteiras agropecuária e urbanas associada à conversão de sistemas naturais, com conseqüente perda da biodiversidade, geram impactos variados alterando as características dos recursos hídricos, causando vários impactos no ambiente, alterando o equilíbrio natural.

Tendo como um exemplo prático, se tem a modelagem hidrológica de bacias e afluentes em regiões de interesse, através de ferramentas como o Soil & Water Assessment Tool (SWAT), onde é possível realizar a elaboração e edição de cenários ambientais e sua representação em forma de gráficos e mapas, o que permite constatar o impacto das atividades antrópicas sobre a água, o solo, a

vegetação e os nutrientes em bacias hidrográficas, sendo consideravelmente útil para a agricultura e a gestão rural (ANDRADE, MELLO & BESKOW, 2013).

Com a modernização das geotecnologias, houve uma adaptação de modelos hidrológicos para se trabalhar em conjunto com ferramentas de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), o que resultou no aprimoramento da modelagem hídrica, trazendo maior embasamento físico, principalmente por permitir que o usuário faça a representação dos parâmetros dos modelos de maneira distribuída (VEITH *et al.*, 2010).

Nos últimos 20 anos, o SWAT ou em português, a Ferramenta de Avaliação de Solo e Água, tornou-se amplamente utilizada em todo o mundo. Diante do grande número de aplicações de modelos destinados à modelagem de processos vinculados ao ciclo hidrológico e da necessidade de adaptação dos modelos hidrológicos diante das singularidades de cada bacia hidrográfica, isto é, dentro de bacias ao redor do mundo, isso se tornou um desafio para os modelos existentes e identificou necessidades no desenvolvimento dos mesmos (MACHADO *et al.*, 2017).

Assim, numerosas adições e modificações foram realizadas no modelo e em seus componentes individuais, o que tornou o código de programação que representa o total dos códigos dos submodelos, cada vez mais difícil de gerenciar e manter. Para enfrentar os desafios constantemente enfrentados na modelagem de recursos hídricos, o código SWAT passou por diversas modificações no passado recente, resultando no *software* SWAT+, se tornando um modelo mais completo e qualificado para exercer suas funções.

Embasado na qualificação deste *software*, é possível considerar esta ferramenta uma eficaz forma de análise morfológica de processos em solos e águas, voltada para modelagem hídrica de bacias, com sua organização em sub-bacias, possibilitando, por exemplo, a delimitação que é posterior análise em cursos d'água, como nos casos dos arroios Cambaí e Olaria no município de Itaquí – RS, onde se tem a presença de ambos os arroios na área urbana, com o Cambaí ao leste e o Olaria ao oeste, sendo afluentes do rio Uruguai, o qual banha a cidade pelo norte. Através de um estudo dessa região é possível identificar as deficiências desses arroios e suas problemáticas a serem enfrentadas para a melhoria deste importante espaço para a biodiversidade local e harmonia do homem com a natureza da qual é parte integrante, assim como o processo de ocupação dessa área.

Justifica-se a construção de um trabalho como este, por se tratar de um estudo cuja temática possibilita sondar os impactos causados pelas ações antrópicas e naturais no espaço estudado, os quais podem ser mitigados através do monitoramento do uso e da cobertura da terra, declividade do terreno e modelagem das informações presentes nas bacias hidrográficas da região, empregando o uso de informações espaciais das modificações ocorridas na paisagem alvo. Ainda, sobre o modelo SWAT, se concorda com Lima *et al.* (2021) que, o uso de modelos hidrossedimentológicos apresentam um grande potencial para serem utilizados no planejamento de recursos hídricos; sendo através do estudo a longo prazo desta ferramenta, possível estimar impactos causados pelas atividades antrópicas ao longo do tempo.

Ainda, o modelo SWAT tem sua utilização voltada para estudos de modelagem hidrológica, sendo uma escolha muito utilizada e bem avaliada pela literatura científica. Ele é desenvolvido para prever o impacto das práticas de gestão do uso do solo em bacias hidrográficas, sejam elas grandes ou pequenas, avaliando os componentes do ciclo hidrológico, além de sedimentos e qualidade da água.

Diversos fatores justificam a escolha do SWAT, ainda mais quando utilizado em conjunto com o complemento QSWAT+. Outra justificada é dada por seu sistema robusto, com flexibilidade, integração com SIG, e capacidade de modelar processos hidrológicos, qualidade da água e sedimentos, visando uma gestão sustentável e eficaz dos recursos hídricos do alvo a ser analisado.

Outro aspecto importante deste trabalho é a sua contribuição para o projeto “LABii - Laboratório Interdisciplinar Integrado: Proposta de Prestação de Serviços Integrada Curricularmente”. Dentro desse projeto, a modelagem hidrológica pelo QSWAT+ aqui proposta inicialmente, será estudada e aplicada futuramente por demais pesquisadores do projeto, assim como, tal trabalho poderá ser transformado em um produto de prestação de serviços, sendo um trabalho conjunto dos membros constituintes do LABii.

## **2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Bacia Hidrográfica**

Pode-se dizer que, o termo bacia hidrográfica, tem sido cada vez mais ampliado e utilizado como unidade de gestão da paisagem no âmbito do planejamento territorial e ambiental, dado que, do ponto de vista de um estudo hidrológico, o conceito de bacia hidrográfica inclui explicitamente todas as terras drenadas por um corpo d'água principal e seus afluentes, assim representa a unidade mais adequada tanto para o estudo qualitativo quanto quantitativo da fonte de água e dos fluxos de nutrientes dos sedimentos (PIRES *et al.*, 2002). Mesmo que, tecnicamente o conceito implícito no termo seja adequado, pode haver variações na finalidade principal, de acordo com a percepção dos profissionais da área que o utilizam em suas análises (PIRES *et al.*, 2002).

Ainda, bacia hidrográfica pode ser denominado como corpo de terra drenado por um rio e seus afluentes, formado em regiões de relevo mais elevado por bacias hidrográficas, onde a água da chuva ou flui pela superfície para formar rios e córregos, ou se infiltra na terra para formar nascentes e reservatórios de água. (BARRELLA, 2001). Agora, sobre as micro-bacias, as quais recebem grande enfoque na análise do modelo SWAT, segundo Santana (2003), o termo, embora difundido em nível nacional, constitui uma denominação empírica, sugerindo o autor a sua substituição por sub-bacia hidrográfica; já Faustino (1996), aponta que, a microbacia possui toda sua área com drenagem direta ao curso principal de uma sub-bacia, várias microbacias formam uma sub-bacia, sendo a área de uma microbacia inferior a 100 quilômetros quadrados.

### **2.2 Modelo SWAT**

O SWAT é um produto que vem sendo desenvolvido a mais de 45 anos, ele permite que seja simulado tanto a qualidade quanto a quantidade da água de uma bacia, seja superficial ou subterrânea, funcionando junto com plataformas de SIG e é um modelo fisicamente fundamentado, determinístico, semi-distribuído, que é um modelo que combina elementos de modelos distribuídos e não distribuídos, em escala de bacia, sendo elaborado para descrever o comportamento de bacias diante da aplicação de técnicas de gestão, além de alterações no uso e manejo do solo (NEITSCH *et al.*, 2011). Isto serve como base para quantificar e prever os

diferentes impactos ambientais, como por exemplo, práticas de mudança de gestão do uso do solo, mudanças climáticas, entre outros, dependendo do problema em questão em bacias hidrográficas complexas.

O modelo possui entradas tendo um significado físico ou biofísico, assim segundo Santos (2002), a aplicação de modelos distribuídos com base física requer a avaliação de um número relativamente grande de parâmetros relacionados ao solo, à vegetação e aos aspectos topográficos em uma dimensão espacial.

Possuindo uma metodologia de cálculo eficiente, internamente numérica, com uma estrutura de cálculo composta por uma série de equações que modelam tanto a parte de manejo de solos quanto o desenvolvimento das culturas, até a questão hídrica nos processos que ocorrem no solo, como nos rios, ou seja, todos os fenômenos que interferem no regime hidrológico nas bacias hidrográficas sob análise em passo de tempo diário/horário (LAENDER, 2018). Sendo um modelo de simulação contínua, ou seja, o mesmo simula cada passo de tempo em seguida do outro, em um grande intervalo de tempo.

O SWAT utiliza dados climáticos históricos ou médias climáticas condicionais para realizar suas estimativas, e esses dados incluem valores médios de temperatura e variações climáticas ao longo de um período de referência, sendo um modelo matemático de parâmetro distribuído, o que lhe permite realizar variações mais precisas sobre escoamento, evapotranspiração, infiltração, entre outros processos cujos parâmetros dependem de espaço e/ou tempo (UZEIKA, 2009).

Ainda, segundo Uzeika (2009), tais parâmetros permitem, que um número de diferentes processos físicos sejam simulados em bacias hidrográficas, com o objetivo de analisar o impacto das alterações no uso do solo sobre o escoamento superficial e subterrâneo, a produção de sedimentos e a qualidade da água. Tendo um diferencial em relação aos modelos hidrológicos convencionais, sendo sua base o crescimento das plantas, então é necessário inserir corretamente o crescimento das mesmas dentro do modelo (BALTOKOSKI *et al.*, 2010).

E para calibração e validação de um modelo, se é necessário o uso dos dados observados de rios e córregos, para realizar a comparação da saída do modelo e calibrar os dados de sedimentos por exemplo, assim como, nutrientes, pesticidas, entre outros, para determinar a qualidade ambiental da área de análise (BALTOKOSKI *et al.*, 2010).

Em termos de entradas, o modelo precisa de um Mapa Digital de Elevação (MDE), um mapa de uso e cobertura da terra, constando a caracterização e os manejos no solo, além de um mapa de tipo de solo, como as principais entradas físicas. Conforme Baltokoski *et al.* (2010), o modelo baseia-se em características físicas da bacia; usa dados de entrada normalmente disponíveis; opera de maneira eficiente sobre médias e grandes bacias; e permite realizar simulações para longos períodos.

De acordo com Silva *et al.* (2014), é um modelo hidrossedimentológico e seus dados de saída são inerentes aos índices de precipitação da área de estudo. E em termos de clima, são necessárias entradas de precipitação, que é a base de entrada no ciclo hidrológico, assim como a entrada de alguns outros parâmetros, como a temperatura do ar (mínima e máxima), radiação solar, velocidade do vento e umidade relativa.

Caso seja desejável trabalhar com dados de qualidade ambiental no modelo, será necessário inserir os dados de poluição, tanto pontuais quanto não pontuais, como em casos onde há indústrias que realizam despejos em rios ou uma estação de tratamento de efluentes, assim como, dados de aplicação de fertilizantes e pesticidas. Concorda-se com Muleta e Nicklow (2005), quando afirmam que, a qualidade dos resultados modelados depende da estrutura do modelo e dos algoritmos utilizados nas rotinas de cálculos, sendo que a qualidade dos dados de entrada para estimativa dos parâmetros representativos é de extrema importância.

Vale ressaltar que, com o SWAT é possível trabalhar com a parte da hidrologia e qualidade da água, erosão e sedimentação de solos, a mudança de uso e ocupação de solos, mudanças climáticas e toda parte de manejo/gestão dos solos. Dado que, atualmente existem muitos estudos sobre novas práticas de uso do solo, aplicadas à agricultura, o modelo pode quantificar os efeitos causados por estas novas práticas, através da modelagem, por meio dos efeitos em variáveis hídricas.

Em termos de configuração do modelo, dentro do SWAT, diversas sub-bacias são criadas dentro de uma bacia hidrográfica de interesse. Segundo Santos (2020), as bacias hidrográficas podem ser divididas em sub-bacias independentemente da quantidade, dependendo apenas do ponto de saída, as bacias ainda se interligam com outras de ordem maior, quando isso ocorre a menor é constituída em sub-bacia. Enquanto, o emprego de microbacia é algo citado, assim como dito como uma área

que tenha escoamento direto ao ponto principal em uma sub-bacia (TEODORO *et al.*, 2007).

Dentro de cada sub-bacia se tem uma ou mais de uma delimitação espacial, que é uma Unidade de Resposta Hidrológica (HRU) e essas unidades são compostas de somente uma combinação de uso do solo, tipo de solo, declividade e manejo, existindo várias HRUs dentro de cada sub-bacia, sendo considerado semi-distribuído por apresentar estrutura de cálculo levando em conta a divisão da bacia em HRU (RATHJENS *et al.* 2014). Ressaltando que, em um modelo distribuído, as variáveis são calculadas em cada célula ou segmento do sistema estudado, enquanto em um modelo não distribuído, o sistema é tratado como uma unidade única, porém no caso dos modelos semi-distribuídos, algumas variáveis são calculadas em intervalos discretos (como em modelos distribuídos), mas outras variáveis são tratadas de maneira agregada (como em modelos não distribuídos).

### **2.2.1 Complemento QSWAT+**

Utilizar do complemento QSWAT+ dentro do *software* QGIS, o qual permite visualizar, editar e analisar dados geográficos, o que torna ainda mais simples a aplicação do modelo SWAT, dado que fornece uma interface de fácil adaptabilidade no uso de um SIG. Através do QSWAT+, os usuários que possuem conhecimentos aplicados no QGIS, conseguem realizar análises com maior facilidade, sendo uma excelente ferramenta para pesquisadores da área do geoprocessamento, para importação e manipulação dos dados geoespaciais.

Tal complemento diminui o tempo de preparação para os dados de entrada e permite a visualização dos resultados do modelo diretamente pelo QGIS. Como exemplo de uma aplicação na prática, se tem o trabalho de Santos (2020), onde utilizou o QSWAT+ para estudar a microbacia do arroio Cambaí, simulando o comportamento hidrológico local e auxiliando no planejamento hídrico, com foco no ciclo de nutrientes e sedimento.

Além do mais, o QSWAT+ possibilita que os usuários atualizem os dados de maneira rápida e logo realizem análises iterativas, atualizando parâmetros e cenários. Isto torna o processo de modelagem mais eficiente, ainda mais em grandes projetos que necessitam de inúmeras simulações e avaliações de consequências causais na área sob estudo (DILE *et al.*, 2022).

### 2.3 Uso e cobertura da terra

Uma das mais importantes entradas de dados, necessária para o modelo SWAT é o arquivo de uso e ocupação da terra, o qual é fundamental para entender como a área geográfica sob estudo está sendo utilizada, de acordo com Garofolo e Rodriguez (2022), dentre os desafios inerentes à ciência hidrológica podemos destacar a análise de impactos das mudanças no uso e cobertura da terra em bacias hidrográficas. Essas informações contidas revelam a distribuição de diferentes tipos de uso, como áreas urbanas, rurais, de florestas e corpos d'água, fornecendo uma visão mais ampla da paisagem.

O estudo das mudanças no uso e cobertura da terra é bastante utilizado no planejamento urbano, na gestão ambiental e na agricultura, o mapa de uso e ocupação da terra permite a tomada de decisões sobre as dinâmicas sociais e políticas da região, pois evidenciam o impacto das políticas de organização e uso do espaço regional em relação às diversas problemáticas sociais, podendo visualizar através das chamadas séries temporais (NASCIMENTO, 2024). Sendo uma base valiosa para análises e estratégias em diversos setores, pois permite monitorar as mudanças físicas no espaço.

A mudança no uso e cobertura da terra foi um dos primeiros modos de intervenção antrópica no meio ambiente. O aumento populacional e o desenvolvimento socioeconômico resultaram no crescimento urbano, expansão e intensificação da agricultura, extração de madeira, minério e outros recursos naturais, o que se traduziu numa maior pressão antrópica sobre os ecossistemas e sobre a paisagem (GAROFOLO e RODRIGUEZ, 2022, p. 2).

É possível estudar o impacto ambiental de novas construções, planejar infraestruturas adequadas e entender melhor o uso dos recursos naturais. Além disso, o mapeamento do uso da terra poderá auxiliar na preservação ambiental, orientando a tomada de ações por parte de novas políticas públicas voltadas ao desenvolvimento de práticas sustentáveis, tendo em vista que, segundo Martins e Galvani (2020), mudanças nas classes de uso e cobertura da terra vão interferir diretamente no saldo de radiação por meio da alteração de três parâmetros biofísicos principais: o albedo e o NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) e a temperatura de superfície.

Para os mapas de uso e cobertura da terra, se destaca o avanço da geotecnologia nos últimos anos, possibilitando a obtenção de imagens de maior resolução espacial, por exemplo 3,2m pelos satélites da Planet, o que é de grande

importância para a análise física de um alvo a partir do modelo SWAT. Para o mapa de tipo de solo, depende-se de levantamentos a campo, sendo então a resolução espacial limitada às possibilidades desses levantamentos, que possuem um custo elevado.

### **2.3.1 MapBiomias**

A plataforma utilizada para obtenção dos dados de uso e cobertura da terra, foi o MapBiomias, o qual começou a ser desenvolvido em meados de 2015, isto é, quando diversos pesquisadores brasileiros da área de sensoriamento remoto e mapeamento de vegetação se reuniram para discutir a possibilidade de criar mapas anuais de uso e cobertura da terra para todo o território nacional, com qualidade e respeito às normas técnicas atuais, assim como, reconstituir o histórico de cobertura das últimas décadas (MAPBIOMAS, 2024). Para a criação de tal plataforma, foi necessário o envolvimento de especialistas em diversas áreas, além de uma parceria técnica envolvendo a Google, através da plataforma *Google Earth Engine* como base para obtenção de dados.

O MapBiomias funciona de maneira colaborativa, pois engloba instituições diversas que tratam sobre vários biomas e temas afins, objetivando produzir informações sobre o uso e cobertura da terra, com mapas de irrigação, vegetação, mineração, entre outros. Utiliza-se na plataforma, um sistema de processamento de dados automatizado e distribuído, em parceria com o *Google Earth Engine*, tornando a plataforma acessível, adaptável e pensada para ser utilizada em diferentes países e realidades.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo Geral**

Identificar e executar os passos para a preparação de dados de entrada do modelo SWAT, solicitados pelo complemento QSWAT+ dentro do software de sistema de informação geográfica QGIS.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Trabalhar com a questão da modelagem hidrológica em ambiente acadêmico;
- Identificar os procedimentos necessários para a obtenção de MDEs da região sob estudo.
- Identificar os procedimentos necessários para a obtenção de mapas de uso do solo.
- Identificar os procedimentos necessários para a obtenção de mapas de tipo de solo.
- Através da delimitação no QSWAT+ da área dos arroios Cambaí e Olaria, entender o uso e cobertura da terra;
- Buscar entender o que são as Unidades de Resposta Hidrológica (HRUs);
- Contribuir para o arcabouço teórico sobre o tema.
- Trabalhar em parceria com a equipe do LABii e estudantes das disciplinas de Hidrologia e Tópicos de Laboratório Interdisciplinar do curso de Agronomia da UNIPAMPA - Campus Itaqui, que se interessem na temática.

## 4 METODOLOGIA

Ressalta-se que a metodologia utilizada neste trabalho, respeita as normas de utilização definidas para a aplicação do modelo SWAT+, buscando interpretar os dados necessários para sua aplicabilidade. Este estudo consiste tanto de uma pesquisa descritiva, que segundo Gil (2008), objetivam primordialmente a descrição das características de determinada população ou fenômeno ou o estabelecimento de relações entre variáveis e uma de suas características mais significativas está na utilização de técnicas padronizadas de coleta de dados.

Como também se caracteriza como uma pesquisa quantitativa, por conta da análise de resultados quantitativos, buscando mensurar dados fenômenos numericamente, assim, a mesma possibilita um entendimento abrangente de um fenômeno, o que facilita a aplicação dos resultados a uma população mais extensa a começar de um modelo representativo (GIL, 2008).

Ainda, este trabalho se apresenta também, como uma metodologia participativa, envolvendo outros agentes na construção deste trabalho, pois foi utilizando-se do espaço sala-de-aula de duas componentes curriculares da graduação e reuniões do LABii, onde diversas interações ocorreram sobre a temática da modelagem hídrica. Assim, originou-se a temática aqui trabalhada, com uma metodologia participativa, que segundo Streck (2016) são, aquelas metodologias nas quais os sujeitos da pesquisa são considerados coprodutores de conhecimento.

### 4.1 Instalação dos *softwares* utilizados

As ferramentas a serem utilizadas para realização deste trabalho são: o software de geoprocessamento QGIS e o *software* SWAT, em sua versão revisada SWAT+, para modelagem hidrológica. Como primeiro passo, se tem o *download* do *software* QGIS na sua versão 3.22.5 em português (PT-BR); o instalador do mesmo é encontrado na página web da empresa desenvolvedora do software, sendo de código aberto e disponibilidade gratuita. Posteriormente foi realizada a instalação do complemento QSWAT+ no QGIS na versão 3.0.0, com o instalador baixado gratuitamente.

Após esta instalação do complemento no QGIS o mesmo estava visível na tela inicial do software para utilização, e então a partir disso, foi feito o procedimento

da delimitação da rede de drenagem e sub-bacias, introduzindo um MDE da região sob estudo, no QSWAT+, o qual abriu uma janela com algumas funções iniciais (Figura 1).

**Figura 1.** Interface inicial do QSWAT+.



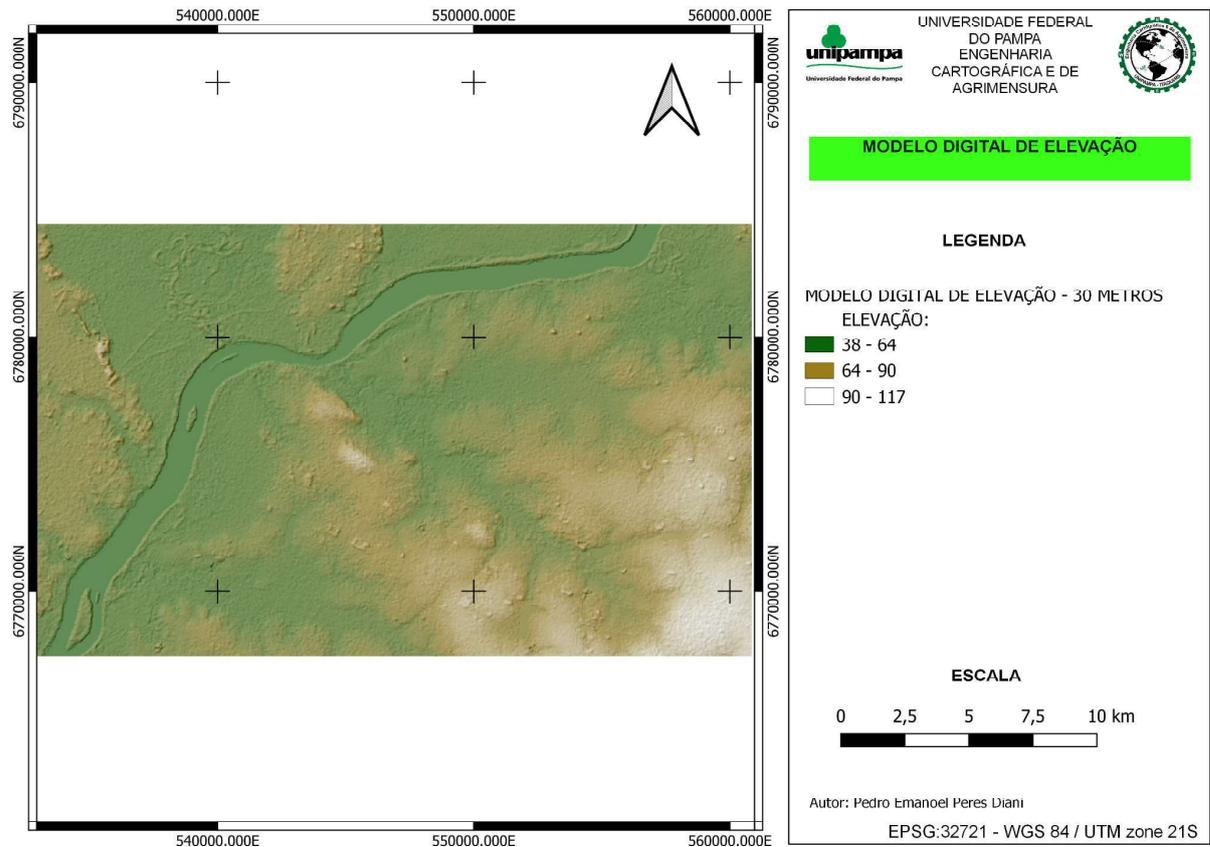
Fonte: Autor.

## **4.2 Introdução de MDE e delimitação de bacias**

Ressalta-se que, os procedimentos que antecederam a análise hidrológica inicial com o modelo SWAT, consistem na introdução de um MDE (Figura 2), mapas de uso e cobertura da terra e classes de solo, da região alvo, que no caso é dos Arroios Cambaí e Olaria, localizado na bacia hidrográfica do rio Uruguai.

A imagem utilizada para elaboração dos mapas, ou seja, do MDE da região sob estudo, foram obtidas através da plataforma *Google Earth Engine*, de maneira gratuita, por meio de imagens obtidas do SRTM ou em português da Missão Topográfica de Radar Embarcado, com uma resolução espacial de 30 vs. 30 metros. A configuração espacial básica utilizada no modelo SWAT para cálculo é realizada nas HRUs que consideram a resposta hidrológica homogênea na unidade espacial, determinando, desse modo, a intensidade da discretização da bacia hidrográfica, que é bastante dependente da classificação do uso e ocupação do solo analisada pelo modelo hidrológico (PETRIS *et al.*, 2021).

**Figura 2. Modelo Digital de Elevação.**



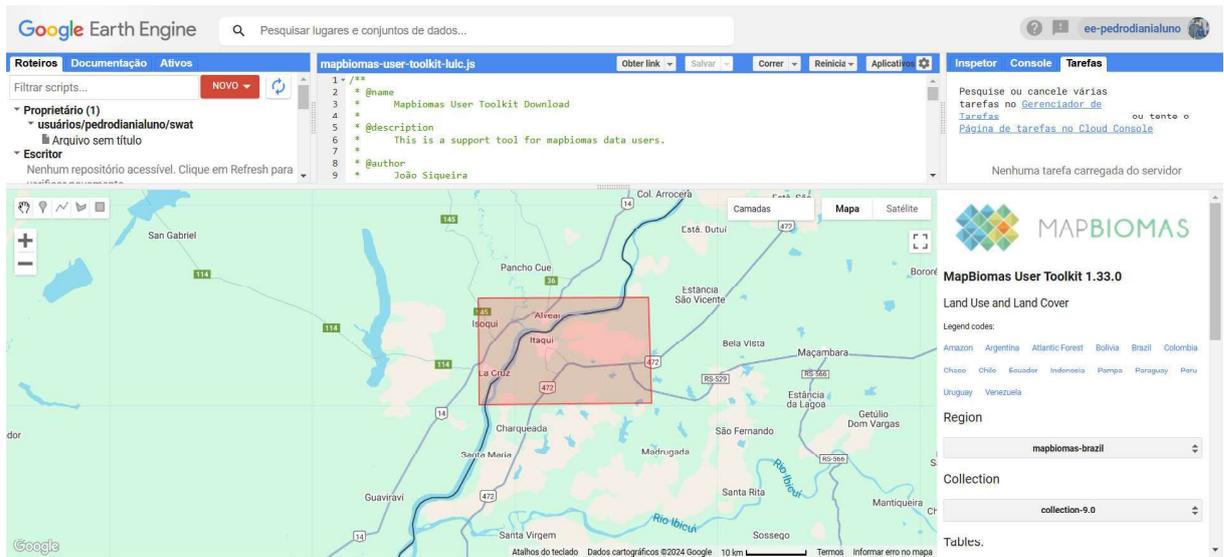
Fonte: Autor.

### **4.3 Obtenção das entradas para o modelo SWAT**

#### **4.3.1 Obtenção de mapa de uso da terra**

Para obtenção do mapa de uso e cobertura da terra, se seguiu um passo-a-passo, através da plataforma do MapBiomias (Figura 3), realizando o download do arquivo *GeoTif* via *Google Earth Engine*, assim foi realizado o seguinte processo: primeiramente com a escolha da região (Brasil), a escolha da coleção (9<sup>a</sup>), a definição do recorte espacial (inserido um arquivo *shapefile* de uma área que enquadra a área dos arroios Cambaí e Olaria), e o ano da última cobertura da região sob estudo (sendo o ano de 2023). Posteriormente, foi obtido os códigos das classes da legenda da coleção 9 no site do MapBiomias Brasil e então realizada a reclassificação dos usos da terra nas propriedades do arquivo dentro do QGIS.

**Figura 3.** Interface do MapBiomias no Google Earth Engine.

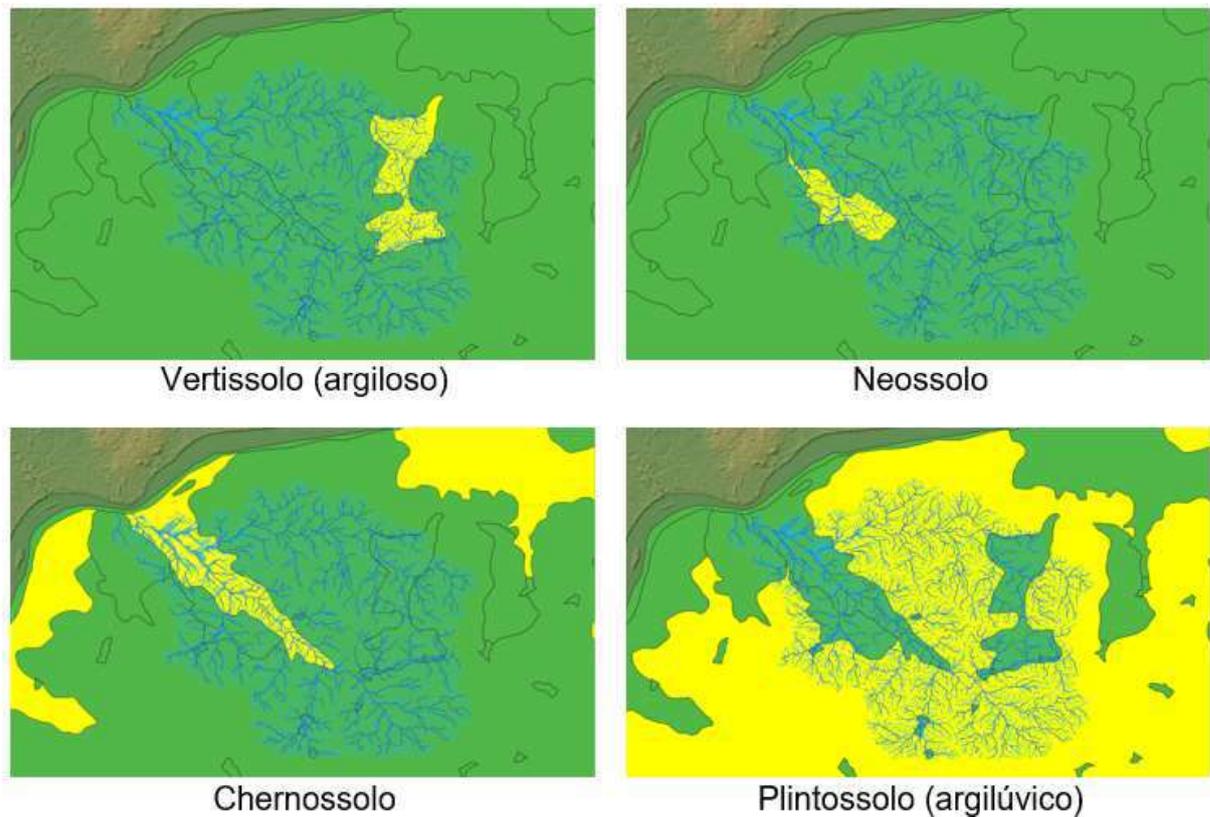


Fonte: Autor.

#### 4.3.2 Obtenção de mapa de tipo de solo (pedologia)

Outra entrada necessária para o modelo SWAT é o mapa de tipo de solo, ou seja, de pedologia, sendo a pedologia a ciência que estuda o solo, sua forma, origem, classificação e propriedades. Os dados pedológicos do Brasil, podem ser baixados através do IBGE, em escala 1:250.000. Os tipos de solos mais predominantes na área de estudo, onde se encontra os arroios Olaria e Cambaí, temos (Figura 4):

**Figura 4.** Tipos de solos predominantes nos arroios Olaria e Cambaí.



Fonte: Autor.

Referente aos tipos de solos acima, é possível destacar algumas informações pertinentes como: no caso do plintossolo, segundo Santana e Azarias (2021), podem ser encontrados em áreas de depressão, planícies aluvionares, pés de encosta e, em geral, em terrenos planos ou levemente ondulados. Já o chernossolo é um tipo de solo que, segundo Santos *et al.* (2021), apropriado para cultivos diversificados, tais como pastagem, arroz irrigado, trigo, feijão e soja, ocorrem em maiores extensões no clima subtropical do Sul do Brasil.

Sobre os neossolos, os mesmos ocupam boa parte do solo no Brasil, no caso da área sob estudo se tem a presença dos neossolos litólicos, que segundo Alho *et al.* (2007), são solos pouco desenvolvidos, com contato lítico dentro dos primeiros 50 cm apresentando, portanto, em suas propriedades, influência marcante do material de origem. E referente aos vertissolos, os mesmos são geralmente bastante argilosos e com baixa permeabilidades, de acordo com Marques *et al.* (2014), embora apresentem elevada reserva de nutrientes aos vegetais, possuem, concomitantemente, algumas propriedades físicas que limitam a sua utilização agrícola ou geotécnica.

## **5 APRESENTAÇÃO DA PESQUISA E ANÁLISE DOS RESULTADOS**

### **5.1 Apresentação da Aplicação do modelo SWAT no QSWAT+**

No complemento QSWAT+, após o processo de delimitação da bacia, são gerados o Inlet (entrada) e Point Source (fonte pontual), que são elementos usados para representar fontes de entrada de água ou poluentes em um trecho específico da bacia hidrográfica, como rios ou corpos d'água, sobre eles temos que:

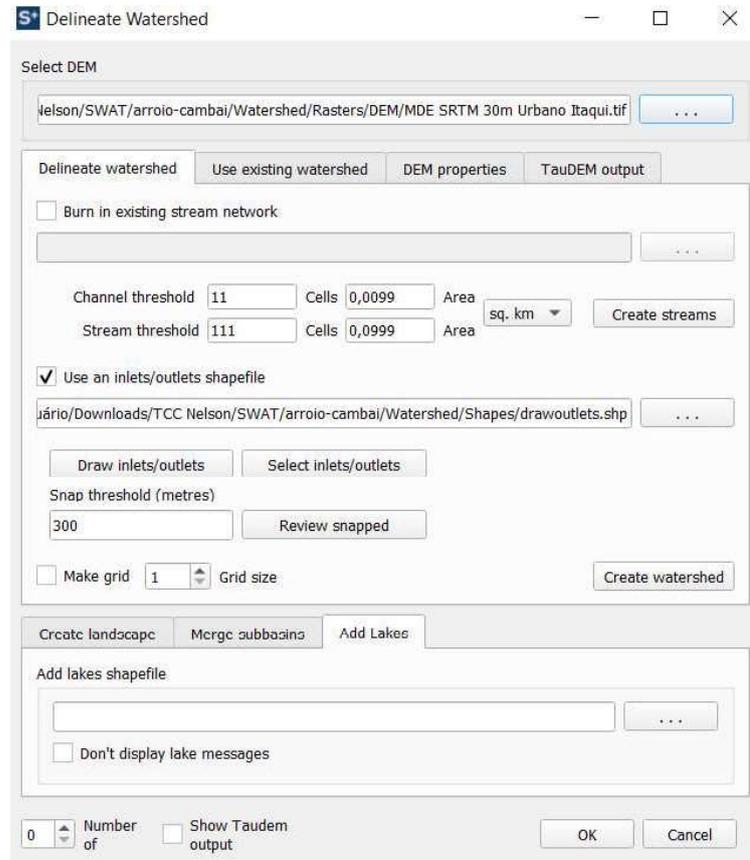
- Inlet: é utilizado quando há uma área que não se deseja modelar dentro do escopo da área de interesse, por exemplo, uma área a qual pertença a outra divisão territorial, não sendo foco do estudo.
- Point source: é uma entrada ou saída, podendo ser uma captação de água que é retirada do sistema ou uma reinserção de água no corpo hídrico, como uma estação de tratamento de efluentes, cuja saída retorna para um corpo hídrico, onde se pode inserir esta entrada de volta.

Assim, estes elementos podem ser necessários, a depender da região, para modelagem realista de uma curso d'água, dado que permitem incluir tanto a entrada de água que não é originada diretamente dentro da área do modelo, o inlet, quanto a carga de substâncias que podem impactar a qualidade da água, o point source; o que permite visualizar um cenário mais completo do comportamento hidrológico e da qualidade da água em uma bacia hidrográfica, considerando variáveis adicionais além do escoamento superficial natural e das precipitações.

### **5.2 Delimitação na região da área sob estudo**

A etapa de delimitação da área sob estudo, seguiu o seguinte passo-a-passo, selecionado o MDE em formato geotiff (\*.tif) da área sob estudo, preparado para a aba Delineate watershed, ou seja, a aba de delimitação de bacia hidrográfica no QSWAT+ visualizada pela Figura 5.

**Figura 5.** Guia de delimitação de bacias hidrográficas do QSWAT+.

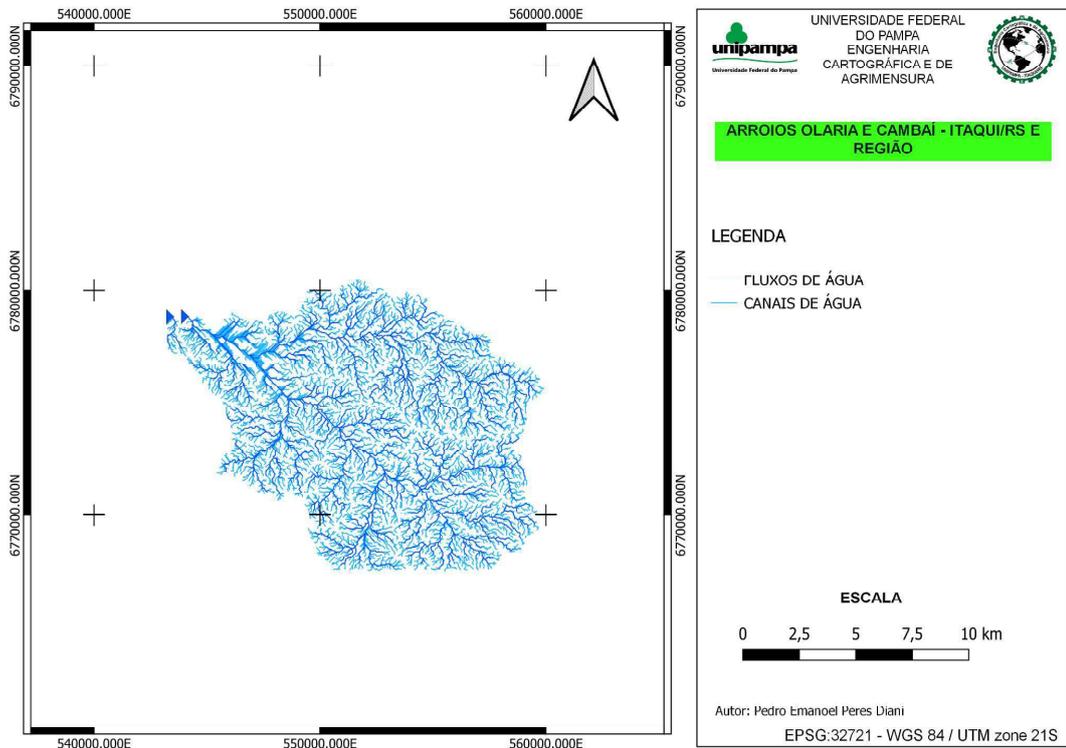


Fonte: Autor.

O próximo passo foi determinar a entrada/saída dos arroios Olaria e Cambaí e desenhar os outros pontos consideráveis na área. Os pontos consideráveis são geralmente o reservatório dos locais de origem do ponto. O ponto escolhido tem sobreposição com o rio, pois é necessário ser o mais próximo possível. Dado que, este estado de proximidade da determinação da localização do ponto à rede fluvial afetará o valor limite de snap necessário (PUTRA, 2016). Ressalta-se que, a função conhecida como snap, faz relação ao alinhamento/ajuste automático de pontos, como exemplo, inlets e point sources, à rede de rios, bem como canais de uma bacia hidrográfica. Tal ferramenta é utilizada para garantir que os mesmos pontos se encontrem acertadamente posicionados na hidrografia do modelo, com 300m de *default* do programa, mas é ajustável. Assim, aumentando a precisão na simulação do fluxo d'água, fonte de poluentes na bacia e transporte de sedimentos.

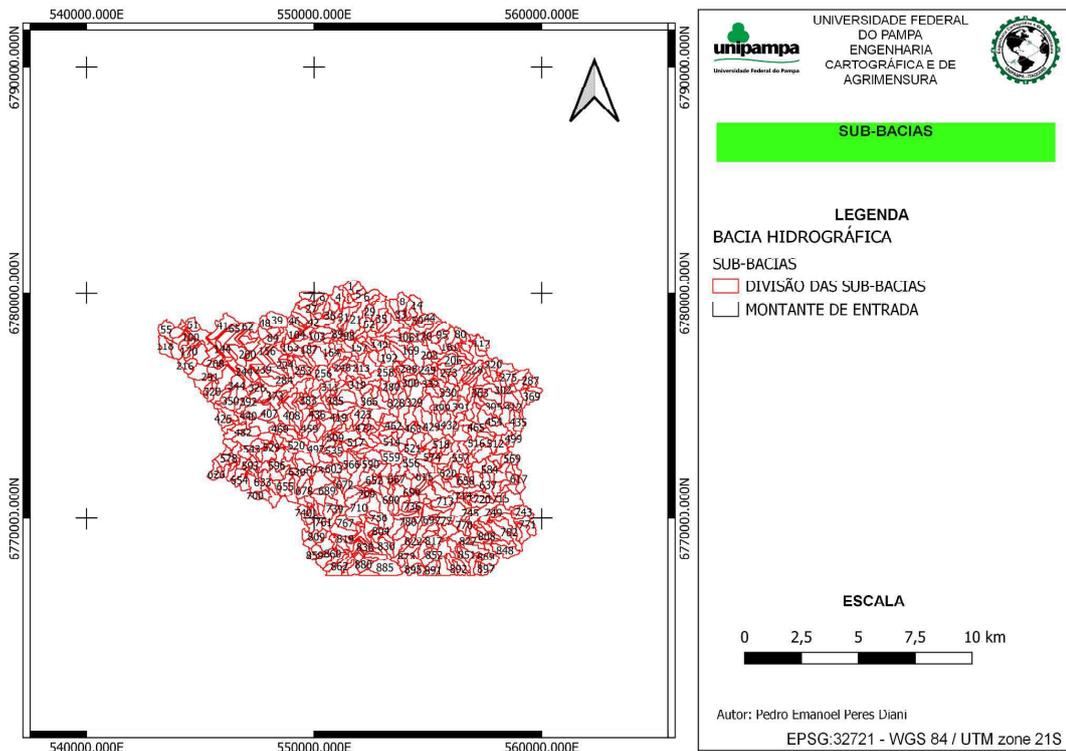
Através do processo de delimitação, foi possível visualizar os fluxos (rios) e canais (córregos pequenos) d'água (Figura 6) e sub-bacias (Figura 7) dos arroios Olaria e Cambaí, o resultado do processo de delimitação é exibido nas figuras abaixo.

**Figura 6.** Resultado da delimitação da região sob estudo, contendo os Arroios Olaria e Cambaí.



Fonte: Autor.

**Figura 7.** Sub-bacias resultantes do processo de delimitação dos arroios Olaria e Cambaí.



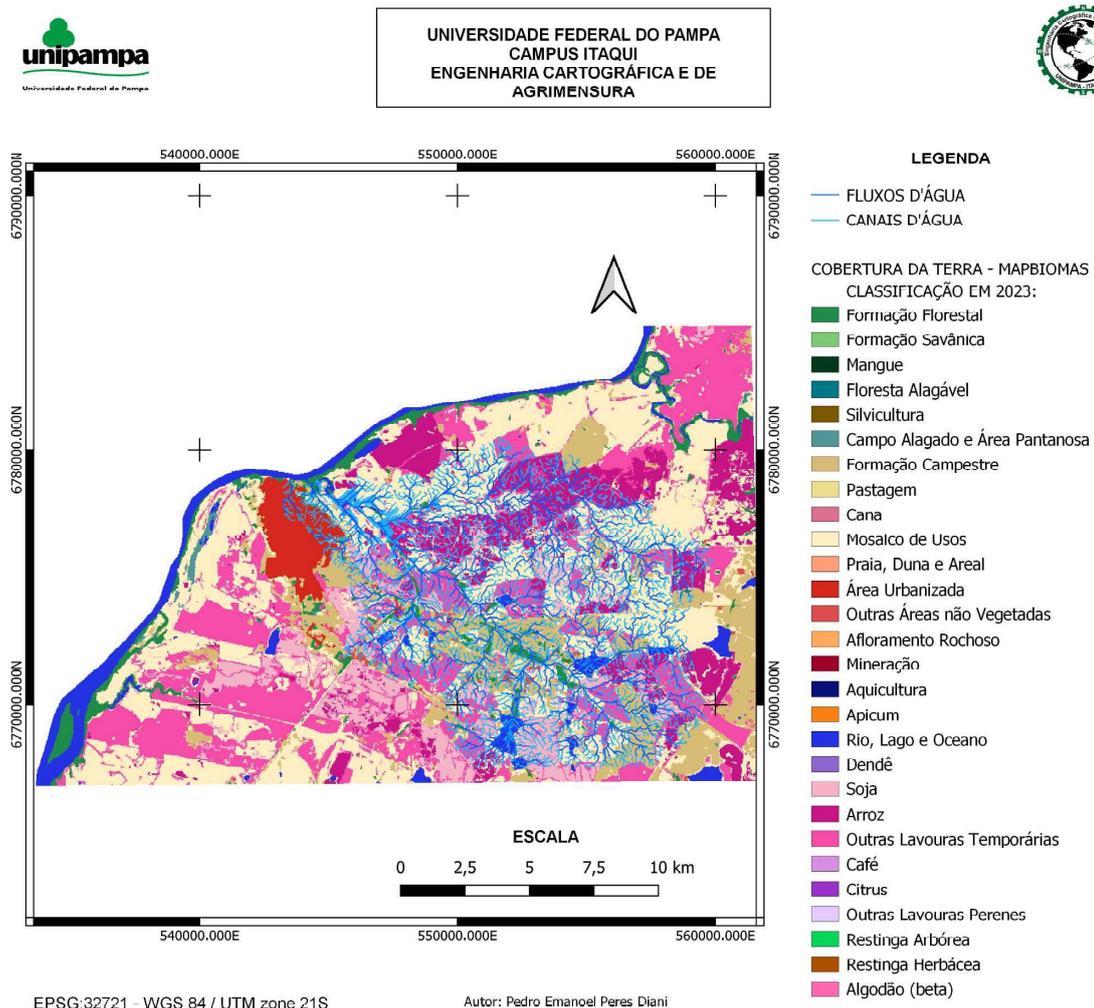
Fonte: Autor.

Destaca-se que, este procedimento no complemento QSWAT+ foi demonstrado e gravado em um espaço virtual de sala-de-aula, via *google meet*, para visualização de interessados, sendo posteriormente compartilhado com demais estudantes das disciplinas de Hidrologia e Tópicos de Laboratório Interdisciplinar. Servindo de demonstração de como se deve iniciar os trabalhos com o modelo SWAT ao realizar a delimitação de uma área sob estudo.

### 5.3 Etapa de uso e cobertura da terra na área sob estudo

Posteriormente, iniciou-se o preparo da primeira entrada necessária para aplicação do modelo SWAT, o mapa de uso e cobertura da terra, obtido através da plataforma MapBiomas, sendo um mapa de grande importância não só na modelagem hídrica, mas também é utilizado para mitigar questões ambientais, que ocorrem devido a diversas ações antrópicas ao longo do tempo. Podendo visualizar este mapa abaixo (Figura 8):

**Figura 8.** Mapa de uso e cobertura da terra.



Fonte: MapBiomias, adaptado pelo autor.

Diversas informações podem ser retiradas do mapa de uso e cobertura acima, dentre elas, vale destacar que, o arroio Olaria, fluxo d'água situado à esquerda do mapa, está completamente dentro da cidade Itaqui, observa-se seu pequeno tamanho em relação ao Cambaí, recebendo grande influências das ações antrópicas dos moradores da cidade. Enquanto o arroio Cambaí tem parte de seus fluxos e canais d'água na cidade, porém a maior parte de sua extensão está concentrada no meio rural, sendo mais impactado por sedimentos e decomposições atmosféricas. Na legenda reclassificada com base nos códigos das classes da legenda da Coleção 9 do MapBiomias Brasil, podemos notar que, a área sob estudo no que tange os arroios Olaria e Cambaí, possui diversas áreas de formação florestal, savânica e campestre, assim como se é esperado, grandes extensões de área para o cultivo de arroz e outras lavouras temporárias, dado que Itaqui é o quarto maior produtor de arroz do estado.

Ainda, destaca-se o grande número de usos e coberturas da terra na área sob estudo do município de Itaqui, o que serve também para elucidar a diversidade de usos que se tem na região, dado que, muitas vezes tais informações passam despercebidas e apenas os aspectos mais amplos do uso e cobertura da terra são notados, como as lavouras de arroz, pastagens e florestas, deixando de notar a diversidade de cultivos e biodiversidade da região. Assim, justifica-se a importância de se ter um mapa de uso e cobertura da terra para entender o espaço geográfico trabalhado, o que reforça a importância do uso das ferramentas de geoprocessamento, isto para além da modelagem hídrica, mas também para diversos outros usos no ambiente acadêmico.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que, o modelo SWAT ao ser aplicado em uma área sob estudo de uma bacia hidrográfica traz benefícios significativos, considerando os diversos estudos em relação ao tema e a experiência vivenciada ao longo da construção do presente documento, isto é, principalmente em termos de análise e modelagem do comportamento hidrológico. Sendo correto afirmar que, o modelo atua como uma ferramenta completa no que se refere a simular o ciclo hidrológico de maneira integrada, incluindo processos como escoamento superficial, infiltração, evapotranspiração, sedimentação, entre outras coisas, simuladas no modelo ao ser aplicado em uma bacia hidrográfica. Acredita-se que, ao utilizar do complemento QSWAT+ na região de Itaquí nos arroios Olaria e Cambaí é possível obter uma compreensão mais ampla dos processos hidrológicos e de uso e ocupação da terra ao seu redor, assim como, a possibilidade de fornecer auxílio no planejamento e tomada de decisão em relação à gestão de recursos hídricos, especialmente para bacias hidrográficas, possibilitando o uso racional da água nos arroios.

Complementa-se que, este trabalho forma parte de um conjunto de atividades acadêmicas, desenvolvidas em parte no espaço sala-de-aula, e também coordenadas pelo LABii, iniciativa a qual proporcionou conhecimentos básicos sobre a utilização do modelo SWAT, para visualização de bacias hidrográficas, em especial, os arroios Olaria e Cambaí, sendo exemplos próximos que estão presentes na região onde se encontra a UNIPAMPA - Campus Itaquí. Sendo muitas das informações aqui propostas, trabalhadas durante as componentes curriculares de Hidrologia e Tópicos de Laboratório Interdisciplinar do curso de Agronomia.

As atividades desenvolvidas por este trabalho, que buscavam a modelagem hidrológica nos arroios Olaria e Cambaí, seguem sendo desenvolvidas por parte do LABii. Sendo de interesse deste trabalho e do LABii que a continuidade deste modelo aplicado aos arroios Olaria e Cambaí, seja colaborativo e sirva como instrumento de aprendizado em ambiente virtual ou presencial em sala-de-aula.

Os mapas elaborados e as informações dispostas ao longo do documento, são resultados de um trabalho construído colaborativamente no espaço interdisciplinar criado pelo LABii. Assim, considera-se que, se alcançou compreender a base dados necessárias como entrada do modelo SWAT no complemento

QSWAT+, realizando também a delimitação e visualização dos arroios Cambaí e Olaria na região sob estudo, observando como se daria o escoamento dessa água.

Mesmo que a modelagem hidrológica não foi aplicada em sua totalidade para região de estudo, devido a diversos fatores, como a dificuldade na elaboração de um mapa de tipo de solos completo da região sob estudo e da dificuldade ao tentar produzir as tabelas de consulta (lookup tables) que relacionam as informações dos mapas com parâmetros necessários para a modelagem hídrica, necessários como entrada para o modelo SWAT.

Dado que, os mapas de uso e cobertura da terra, bem como de tipo de solos, precisam ser inseridos em um determinado formato de dados para que o modelo seja de fato posto em prática, ainda levando em conta todos os ajustes necessários e a geração das HRUs, acredita-se que houve uma importante análise sobre o modelo e suas entradas dentro do modelo, permitindo que o processo possa ser aplicado novamente por pesquisadores interessados na temática, isto principalmente voltado para área sob estudo na região do município de Itaquí. Assim, o esforço realizado neste trabalho será utilizado futuramente na continuidade deste estudo, por parte da equipe do LABii no ano de 2025.

## REFERÊNCIAS

- ALHO, D. R.; JÚNIOR, J. M.; CAMPOS, M. C. C. Caracterização física, química e mineralógica de Neossolos Litólicos de diferentes materiais de origem. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 2, n. 2, p. 117-122, 2007.
- ANDRADE, M. A.; MELLO, C. R. de; BESKOW, S. Simulação hidrológica em uma bacia hidrográfica representativa dos Latossolos na região Alto Rio Grande, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 1, p. 69–76, 2013.
- BARRELLA, W.; PETRERE JR, M.; SMITH, W. S.; MONTAG, L. As relações entre as matas ciliares, os rios e os peixes. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (Ed.) *Matas ciliares: conservação e recuperação*. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.
- DILE, Y.; SRINIVASAN, R.; CHRIS, G. **Manual for QSWAT. QGIS Interface for SWAT+: QSWAT+ (Soil and Water Assessment Tool) – Theoretical documentation**. 2022, v. 2.2, 137p.
- FAUSTINO, J. **Planificación y gestión de manejo de cuencas**. Turrialba: CATIE, 1996. 90p.
- GAROFOLLO, L.; RODRIGUEZ, D. A. Impacto observado das mudanças no uso e cobertura da terra na hidrologia de bacias com ênfase em regiões tropicais. **Pesq. flor. bras.**, v. 42, n. 1, p. 1-15, 2022.
- GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6 ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- LAENDER, F. R. **Modelagem hidrológica com o SWAT integrando cenários de ocupação do território e técnicas de manejo do solo na bacia de Serra Azul – MG**. 2018. 129 p. (Dissertação de Mestrado) – Curso de Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- LIMA, J. da S.; NUNES, D. D.; CHECCHIA, T. E. Aplicação do modelo SWAT como ferramenta para análises hidrossedimentológicas na bacia hidrográfica dorio Mutumparaná – Rondônia. **Geosul**, v. 36, n. 1, p. 434-453, 2021.

MACHADO, A. R.; JUNIOR, A. V. M.; WENDLAND, E. C. Avaliação do modelo J2000/JAMS para modelagem hidrológica em bacias hidrográficas brasileiras. **Eng. Sanit. Ambient.**, v. 22, n. 2, p. 327-340, 2017.

MAPBIOMAS. (2024). **O projeto.** Disponível em: <<https://brasil.mapbiomas.org/o-projeto/>>. Acesso em: 30/11/2024.

MARQUES, F. A.; SOUZA, R. A. DA S.; SOUZA, J. E. S. DE; LIMA, J. F. W. F.; JÚNIOR, V. S. DE S. Caracterização de vertissolos da ilha de Fernando de Noronha, Pernambuco. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 38, n. 1, p. 1051-1065, 2014.

MARTINS, A. P.; GALVANI, E. Relação entre uso e cobertura da terra e parâmetros biofísicos no Cerrado Brasileiro. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 40, n. 1, p. 148-162, 2020.

MULETA, M. K.; NICKLOW, J. W. Sensitivity and uncertainty analysis coupled with automatic calibration for a distributed watershed model. **Journal of Hydrology**, v. 306, p. 127-145, 2005.

NASCIMENTO, F. R. do. Ocupação, uso da terra e economia sustentável na bacia metropolitana do Pacoti - nordeste cearense - Ceará. **Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS)**, v. 4, n. 1, 2012.

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

NUNES, G. **Aplicação do modelo SWAT no estudo hidrológico e de qualidade da água da bacia do lago Paranoá – DF.** 2016. 148 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília.

PETRIS, A.; RICHTER, G. C.; MOTA, J. A. X.; OLIVEIRA, W. L. de; PINHEIRO, A. Avaliação da discretização espacial sobre o uso da terra nas unidades de resposta hidrológica (HRUs) em bacia hidrográfica no sul do Brasil. In: XXIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2021.

PIRES, J. S. R.; SANTOS, J. E. dos; DEL PRETTE, M. E. A Utilização do Conceito de Bacia Hidrográfica para a Conservação dos Recursos Naturais. In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. (editores). **Conceitos de bacias hidrográficas : teorias e aplicações**. 1 ed. Ilhéus: Editus, 2002, p. 14-32.

PUTRA, S. 2016. **Step 7. QGIS Interface for SWAT (QSWAT) Tutorial**. Disponível em: <<https://santosasandyputra.wordpress.com/2016/10/18/step-7-qgis-interface-for-swat-qswat-tutorial/>>. Acesso em: 10/11/2024.

RATHJENS, H.; OPPELT, N.; BOSCH, D. D.; ARNOLD, J. G.; VOLK, M. Development of a grid-based version of the SWAT landscape model. **Hydrological Processes**, v. 29, n. 1, p. 900-914, 2014.

SANTANA, D. P. **Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 63p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 30).

SANTANA, M.; AZARIAS, V. (2021). **Solos do Brasil: Plintossolos**. Disponível em: <<https://www.parquecientec.usp.br/saiba-mais/solos-do-brasil-plintossolos>>. Acesso em: 30/11/2024.

SANTOS, H. G. dos; ZARONI, M. J.; ALMEIDA, E. de P. C. **EMBRAPA: Chernossolos Êbanicos**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/chernossolos/chernossolos-ebanicos>>. Acesso em: 28/11/2024.

SANTOS, J. S. **Uso do QSWAT+ para modelagem hidrológica na microbacia do arroio Cambaí em Itaqui, RS**. 2020. 25 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Ciências Exatas e Tecnologia) - Universidade Federal do Pampa, Itaqui, 2020.

SANTOS, R. C. **Classificação textual aplicada à cobertura do solo de uma bacia hidrográfica usando sensoriamento remoto**. 2002. 153 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SILVA, C. R.; BRESSIANI, D. A.; BETTIOL, G. M.; CRESTANA, S. Aplicação do modelo SWAT (soil water assessment tool) para estimar produção de sedimento e nutrientes na microbacia experimental da Embrapa Pecuária Sudeste. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE INSTRUMENTAÇÃO AGROPECUÁRIA, 2014.

SOUZA, V. F. de; RAMIREZ, G. M.; BERGAMASCO, S. M. P. P. O SIG como uma ferramenta auxiliar da extensão rural. **Revista Extensão Rural**, v. 1, n. 1, p. 91-108, 2007.

Streck, D. R. Metodologias participativas de pesquisa e educação popular: reflexões sobre critérios de qualidade. **Interface**, v. 20, n. 58, p. 537-547, 2026.

UZEIKA, T. 2009. **Aplicabilidade do modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool) na simulação da produção de sedimentos em uma pequena bacia hidrográfica rural**. 144 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, v. 20, p. 137-157, 2007.

VEITH, T. L.; LIEW, M. W. VAN; BOSCH, D. D.; ARNOLD, J. G. Parameter sensitivity and uncertainty in SWAT: A comparison across five USDA-ARS watersheds. **Transactions of ASABE**, v. 53, p. 1477-1486, 2010.