

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

JULIOMAR SOUSA SANTOS

**UTILIZAÇÃO DO QSWAT+ PARA DELIMITAÇÃO DA SUB-BACIA IBICUÍ E
DA MICROBACIA CAMBAÍ: UM RELATO COMPARATIVO QUANTO AO
PROCESSAMENTO EM SUAS RESPECTIVAS ESCALAS**

ITAQUI

2021

JULIOMAR SOUSA SANTOS

**UTILIZAÇÃO DO QSWAT+ PARA DELIMITAÇÃO DA SUB-BACIA IBICUÍ E
DA MICROBACIA CAMBAÍ: UM RELATO COMPARATIVO QUANTO AO
PROCESSAMENTO EM SUAS RESPECTIVAS ESCALAS**

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

Coorientadora: Cassiane Jayj de Melo Victoria Bariani

ITAQUI

2021

**UTILIZAÇÃO DO QSWAT+ PARA DELIMITAÇÃO DA SUB-BACIA IBICUÍ E
DA MICROBACIA CAMBAÍ: UM RELATO COMPARATIVO QUANTO AO
PROCESSAMENTO EM SUAS RESPECTIVAS ESCALAS**

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: 10 de maio de 2021.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Nelson Mario Victoria Bariani

Orientador

UNIPAMPA/ITAQUI

Profa. Dra. Cassiane Jraj de Melo Victoria Bariani

Coorientadora

UNIPAMPA/URUGUAIANA

Profa. Dra. Michele da Silva Santos

UNIPAMPA/ITAQUI

RESUMO

Uma bacia hidrográfica pode ser dividida em diversas sub-bacias e microbacias, sendo que, a utilização dessas para uma simulação de modelagem é benéfica quando diferentes áreas da bacia hidrográfica são dominadas por uso e ocupação do solo ou solos com propriedades diferentes, o suficiente, para impactar a hidrologia. Portanto, objetiva-se neste trabalho a delimitação da microbacia do arroio Cambaí e a sub-bacia do Ibicuí, onde buscou evidenciar pontos positivos e pontos a serem estudados e melhorados, no que tange, processamento e qualidades dos produtos gerados pelo QSWAT+. Para tal, foi realizado um estudo, análise e interpretação de dados utilizando o software QGIS e o complemento QSWAT+ onde foi determinado o modelo digital de elevação mais adequado, de modo a melhor otimizar o tempo de processamento e ainda obter informações confiáveis, determinando as unidades de paisagem e resposta hídrica, além da delimitação dos leitos principais e secundários, gerando produtos cartográficos como: mapa das estruturas das bacias estudadas, mapa do uso e cobertura do solo e por fim o mapa pedológico, possibilitando uma análise comparativa da utilização do QSWAT+ para a delimitação de duas escalas diferentes de bacias hidrográficas.

Palavras-chaves: Bacias hidrográficas. Hidrologia. QSWAT+.

ABSTRACT

A watershed can be divided into several sub-basins and micro-basins, and the use of these for modeling simulation is beneficial when different areas of the watershed are dominated by land use and occupation or soils with different properties, enough to impact the hydrology. Therefore, the objective of this work is the delimitation of the Cambaí stream micro-basin and the Ibicuí sub-basin, where it sought to highlight positive points and points to be studied and improved, regarding the processing and qualities of the products generated by QSWAT+. To this end, a study, analysis and interpretation of data was performed using the QGIS software and the QSWAT+ complement, where the most appropriate digital elevation model was determined, in order to better optimize the processing time and still obtain reliable information, determining the landscape units and water response, in addition to the delineation of the main and secondary beds, generating cartographic products such as map of the structures of the studied watersheds, land use and land cover map and finally the pedological map, enabling a comparative analysis of the use of QSWAT+ for the delineation of two different scales of watersheds.

Keywords: Watersheds. Hydrology. QSWAT +.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representação do Ciclo Hidrológico	13
Figura 2. Sub-bacia do Ibicuí	14
Figura 3. Microbacia do arroio Cambaí	15
Figura 4. Visualizador do complemento QSWAT+	18
Figura 5. Estruturas da microbacia do Cambaí e da sub-bacia do Ibicuí	20
Figura 6. Diferença entre o limite político e a delimitação	21
Figura 7. Apresentação do erro ocorrido na geração das HRUs	22
Figura 8. Uso e ocupação do solo da microbacia do Cambaí e sub-bacia Ibicuí	22
Figura 9. Informações pedológicas da microbacia do arroio Cambaí e sub-bacia Ibicuí	23

LISTA DE SIGLAS

UNIPAMPA – Universidade Federal do Pampa

HRUs – Unidade de Resposta Hidrológica

SWAT – Soil and Water Assessment Tool

USGS – Serviço Geológico dos EUA

SCE – Shuffled Complex Evolution

DEM – Modelo Digital de Elevação

LABii – Laboratório Interdisciplinar

LSU – Modelo Digital de Elevação

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	9
1.1 Objetivos.....	11
1.1.1 Objetivos específicos.....	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
2.1 Sub-bacia do Ibicuí e a microbacia do arroio Cambaí.....	14
2.2 Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento na delimitação de bacias.....	16
3 METODOLOGIA.....	18
4 RESULTADOS e DISCUSSÕES.....	20
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	25
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	27
APÊNDICES	

1 INTRODUÇÃO

Bacias hidrográficas são áreas constituídas pela precipitação das chuvas, tendo seu escoamento direcionado pelo relevo do terreno ao qual se encontra, essas possuem um curso principal e seus afluentes. As características que compõem uma bacia e similares são basicamente: o clima, a topografia do terreno, as variáveis geológicas e geomorfológicas e uso e ocupação do solo. Esse conjunto de informações é imprescindível para o entendimento e representação da bacia, possibilitando a modelagem e simulações estratégicas através de softwares digitais.

Tais simulações é possível através do modelo hidrológico SWAT (Soil and Water Assessment Tool), que consiste na coleta e análise do conjunto de dados citados anteriormente, onde, a partir de uma calibração e validação das informações geram simulações simultâneas que possam vir a ocorrer na bacia hidrográfica em questão, por processos naturais ou desencadeados pela ação humana. Esse modelo foi desenvolvido e só torna possível essas modelagens por se tratar de 30 anos de modelagem física dos efeitos no ciclo hidrológico de bacias hidrográficas de fontes não pontuais de exposição a produtos e práticas agrícolas (NEITSCH et al., 2009).

O autor ainda cita as principais vantagens de se utilizar o modelo: a modelagem de bacias hidrográficas sem a necessidade total de monitoramento de dados (vazões, cotas, clima); a quantificação de mudanças nas práticas de gestão, clima, vegetação ou outras por meio do impacto relativo dos dados alternativos de entrada na qualidade da água ou em outras variáveis de interesse; A utilização de entradas pré-disponíveis; A eficiência computacional; A possibilidade de realizar simulações de bacias hidrográficas muito grandes e estratégias de gestão sem um alto investimento de recursos financeiros; e, ainda permite que usuários possam estudar impactos de longo prazo no solo.

Uma bacia hidrográfica pode ser dividida em diversas sub-bacias e microbacias, sendo que, a utilização dessas para uma simulação de modelagem é benéfica quando diferentes áreas da bacia hidrográfica são dominadas por uso dos terrenos ou solos com propriedades diferentes, o suficiente, para impactar a hidrologia. Este benefício faz com que o usuário seja capaz de consultar diferentes áreas da bacia hidrográfica com outra visão espacial (NEITSCH et al., 2009).

As informações contidas nas sub-bacias e microbacias são agrupadas e organizadas nas categorias: Clima; Unidade de Resposta Hidrológica ou HRUs; açudes/pântanos; águas subterrâneas; e o canal principal, ou Extensão, drenagem da sub-bacia. Unidades de Resposta Hidrológica são áreas acidentadas dentro de sub-bacias que são formadas por uma única cobertura de terra, solo e combinações de gestão.

É importante destacar de antemão a importância do equilíbrio hídrico, sendo este o parâmetro fundamental por trás das características físicas e biológicas de uma bacia hidrográfica. As informações reais e as obtidas pela modelagem devem estar simultaneamente iguais e essas são posteriormente comparadas e analisadas juntamente a dados de outro período da bacia.

A sub-bacia do Ibicuí e a microbacia hidrográfica do arroio Cambaí, ambas localizadas na bacia Uruguai, possuem intensa atividade agrícola, predominantemente de lavoura orizícola, no qual possuem uma densa rede de drenagem que inclui os cursos de água naturais, canais artificiais e barragens de armazenamento de água para irrigação do arroz.

A UNIPAMPA – campus Itaqui, realiza com frequência trabalhos a campo nas localidades da microbacia em questão, resultando em um conjunto de informações inerentes a qualidade da água, da vazão e registros climáticos. Logo, o monitoramento da vazão e da qualidade de água da rede de drenagem da mesma é realizado com facilidade, tendo em vista que o exutório da bacia fica adjacente à área urbana.

O estudo de topografia do terreno, uso e ocupação do solo e hidrologia, sobretudo de bacias e sub-bacias hidrográficas é muito recorrente na área de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, tornando essa área da engenharia essencial para analisar o movimento das águas e os impactos causados sobre os corpos hídricos pela ação do homem (alterações do solo e da cobertura vegetal). O estudo e análise de uma bacia hidrográfica por meio de trabalho de campo demanda tempo e muitas vezes há falhas na interpretação dos dados quando analisadas a grande prazo.

A realização de um estudo que realize análises e simulações de situações reais por meio de um modelo hidrológico possibilita uma melhor interpretação da bacia, obtendo resultados condizentes com a realidade e mais confiáveis, resultando na qualidade das informações e maior precisão dos resultados. Diante disso, é de suma importância realizar um trabalho cuja ideia seja comparar a utilização de uma microbacia e uma sub-bacia que

possuem características e fins similares para que seja realizado uma verificação da melhor usabilidade de dados para o modelo SWAT.

A utilização de sensores de satélite contribui para uma análise e estudo de bacias, pois permite a captura dessas áreas sem a necessidade de ir ao local. Os produtos obtidos a partir disso são diversos, sendo o utilizado neste trabalho imagens de satélites das áreas estudadas, a partir disso e de um correto geoprocessamento desses dados torna-se possível a utilização desses produtos na delimitação dessas bacias utilizando o complemento QSWAT+.

1.1 Objetivos

O objetivo deste trabalho de conclusão de curso é realizar uma delimitação da sub-bacia Ibicuí e da microbacia Cambaí fazendo um relato comparativo quanto ao processamento em suas respectivas escalas.

1.1.1 Objetivos específicos

- Realizar a delimitação das duas bacias de estudo
- Criar as HRUs;
- Comparar o tempo de processamento em ambos os casos de estudo;
- Analisar a resolução das imagens;
- Analisar a usabilidade do QSWAT+ na aplicação de uma microbacia e uma sub-bacia.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

De acordo com Tucci (1998) bacia hidrográfica é uma área constituída pela precipitação, cujo escoamento é direcionado a uma direção pelo relevo existente e pelo desnível do terreno, sendo que esta é composta por um leito principal e secundários que afluam até seu exutório. O conceito de bacias hidrográficas também se relaciona a um sistema, onde Porto e Porto (2008) explicam em seu trabalho que a entrada deste sistema é a precipitação e a saída é o seu exutório, permitindo a criação de novas bacias, sub-bacias e/ou microbacias.

Um outro conceito muito relevante seria dado por Teodoro et al., (2007), que apesar de também considerar uma bacia um sistema a diferencia pela questão geomorfológica existente na mesma. Com essa definição as bacias hidrográficas recebem energia através do clima e perdem energia através da descarga fluvial, resultando em um equilíbrio dinâmico.

As sub-bacias concebidas por uma bacia de ordem maior são geradas em quantidades que não interferem no tamanho e, pois, dependem apenas do ponto de saída, interligando-se com outras de ordem maior. Microbacia é definida por Teodoro et al (2007) como sendo uma área com escoamento direto ao ponto principal de uma sub-bacia, sendo o relevo, solo e clima fatores importantes na sua delimitação. Essas informações, quando obtidas fazem com que tenhamos um gerenciamento mais amplo e específico da área ao qual faz parte.

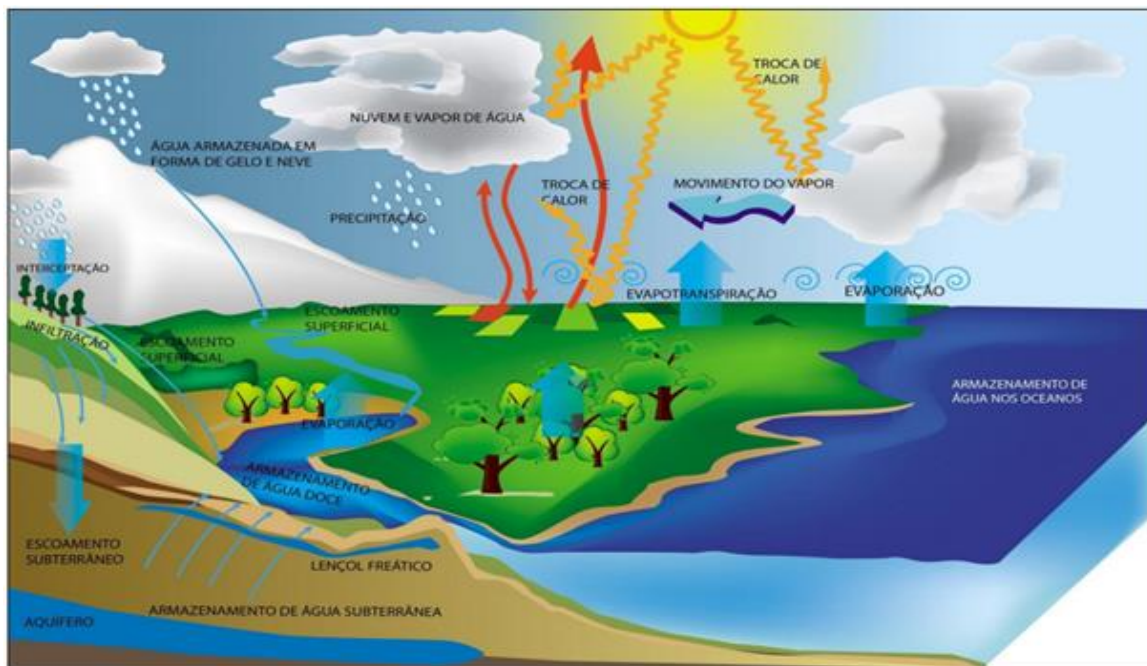
As características ambientais são descritas por Lima et al (2017) por ser indispensável para determinar uma bacia hidrográfica, fornecendo o funcionamento, estrutura da região e demais informações correspondentes a mesma. Um dado de fácil acesso e fornecedor de imagens digitais com informações sobre a cobertura vegetal, área urbana, atividades agropecuárias e demais atividades humanas é o mapa de uso e cobertura do solo, este, juntamente com a topografia da área estudada são fundamentais para a descrição detalhada do relevo do terreno.

O fator climático utilizado dentro do modelo SWAT de acordo com Neitsch et al. (2009) inclui a precipitação diária, a temperatura máxima e mínima do ar, a radiação solar, a velocidade do vento e a umidade relativa, fornecendo dados de umidade e energia, que

são responsáveis por controlar o equilíbrio hídrico, determinando as variáveis do ciclo hidrológico.

O ciclo hidrológico (Figura 1), por sua vez é descrito por TUCCI (2009 apud SERRÃO, 2018) como sendo o evento natural do fluxo da água, que ocorre entre a superfície e a atmosfera terrestre. Este fluxo ocorre devido à gravidade e à rotação da terra, sendo conduzido pela energia irradiada do sol.

Figura 1. Representação do Ciclo Hidrológico.



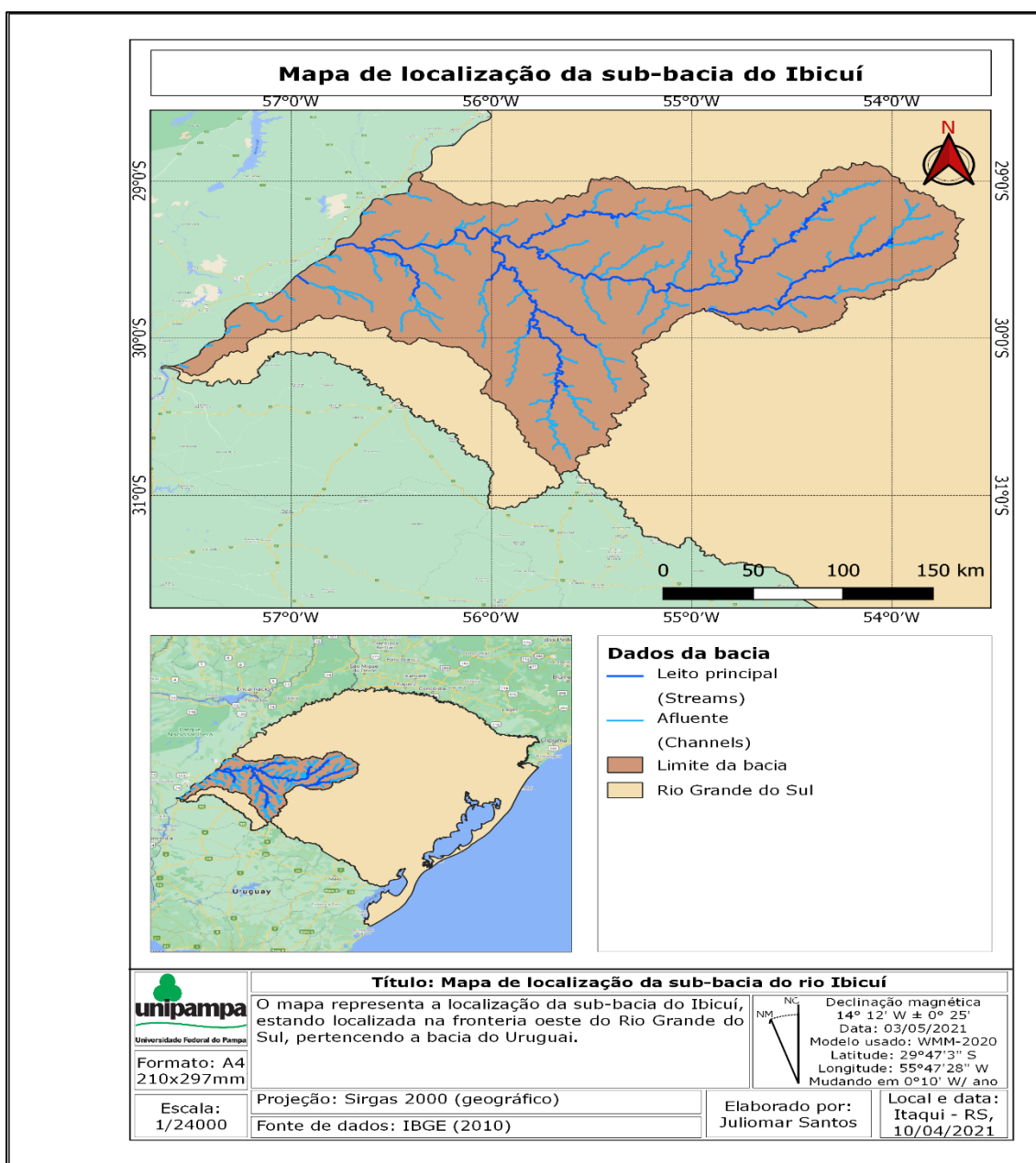
Fonte: Serrão, 2018.

Na figura 1 pode-se analisar bem claramente o ciclo hidrológico, onde o mesmo se inicia (hipoteticamente) a partir da precipitação (chuva), quando isso ocorre a água precipitada cai sobre a superfície resultando em uma infiltração da água pelo solo gerando posteriormente o escoamento superficial e abastecimento de aquíferos e lençol freático, no escoamento superficial que contribui para um abastecimento nos lagos, rios e mares e também o armazenamento de forma direta (quando a chuva abastece as águas dos oceanos e demais corpos hídricos). Toda a água precipitada, infiltrada e escoada retorna para a atmosfera com a evapotranspiração (evaporação da água pela superfície de solo mais a transpiração das plantas) e evaporação que ocorre devido ao calor do sol, que ficam armazenadas nas nuvens até ocorrer a precipitação (ANA, 2012).

2.1 Sub-bacia do Ibicuí e a microbacia do arroio Cambaí

A sub-bacia do Ibicuí (Figura 2) possui 36.397,69 km², sendo ela a maior sub-bacia. Encontra-se na fronteira oeste do Rio Grande do Sul e compreende parte das regiões fisiográficas da Campanha, Missões e Depressão Central. A vegetação característica da bacia do Ibicuí é composta por formações de Estepes e Savana Estépica. Além dessas, há ocorrência de Savanas, Floresta Estacional Decidual e Áreas de Tensão Ecológica (Comitê Ibicuí, 2021).

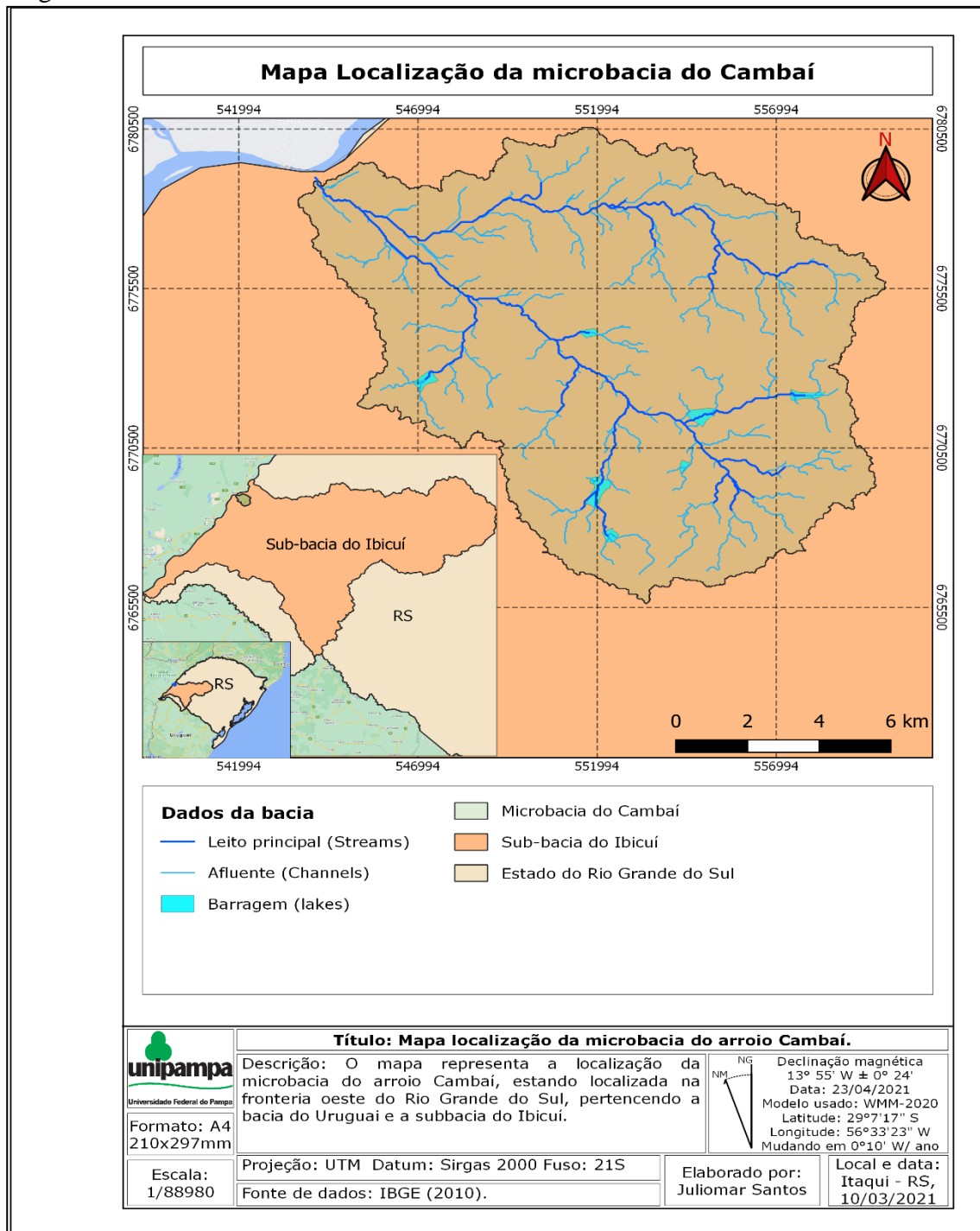
Figura 2. Sub-bacia do Ibicuí.



Fonte: Autor, 2021.

A microbacia do arroio Cambaí localiza-se na região Sul do país (Figura 3), a mesma se encontra dentro da Bacia do Rio Uruguai. A região possui 157,519 km², clima subtropical, relevo plano a suave ondulado, vegetação rasteira de gramíneas características dos pampas, e com predomínio de luvisolos e chernossolos. A cultura do arroz consorciada com pecuária predomina em termos de uso do solo (EMBRAPA, 2005).

Figura 3. Microbacia do arroio Cambaí.



Fonte: Autor, 2021.

2.2 Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento na delimitação de bacias

O Sensoriamento Remoto é a prática de se obter informações sem contato direto com a superfície que gera entre outros produtos, imagens, que quando processadas e tratadas possibilitam a elaboração de tabelas, gráficos e mapas. As imagens obtidas a partir de sensores de satélites facilitam a interpretação dos dados e informações relacionadas a área alvo que permite a obtenção de informações sobre a superfície terrestre (ROSA, 2009).

O Sensoriamento Remoto, de acordo com Florezano (2002) proporciona informações úteis na segurança pública, de gerenciamento de desastres naturais e da biodiversidade, sendo utilizado, sobretudo no Brasil, em levantamento de recursos naturais e no monitoramento do meio ambiente.

A utilização do Sensoriamento Remoto no âmbito ao qual estamos estudando se dá pelas imagens obtidas por satélite representando grandes áreas do território e fornecendo dados de limites de áreas, uso e ocupação do solo, geologia e geomorfologia, altimetria, dentre outros. As informações obtidas por meio dessa ciência fazem com que tenhamos as camadas e arquivos da sub-bacia Ibicuí e da microbacia do arroio Cambaí para entrada de dados e parâmetros no software QGIS e posteriormente a utilização da ferramenta QSWAT+.

O geoprocessamento utiliza-se de diferentes métodos na delimitação de áreas, entre outras especificações na identificação e cartografia das áreas planas e baixas situadas ao redor dos cursos d'água, além de também auxiliar no reconhecimento dessas áreas, onde é dito por Medeiros e Câmara (2017) que a partir do geoprocessamento há várias possibilidades metodológicas para a aplicação ambiental, não sendo diferente na delimitação de bacia hidrográficas.

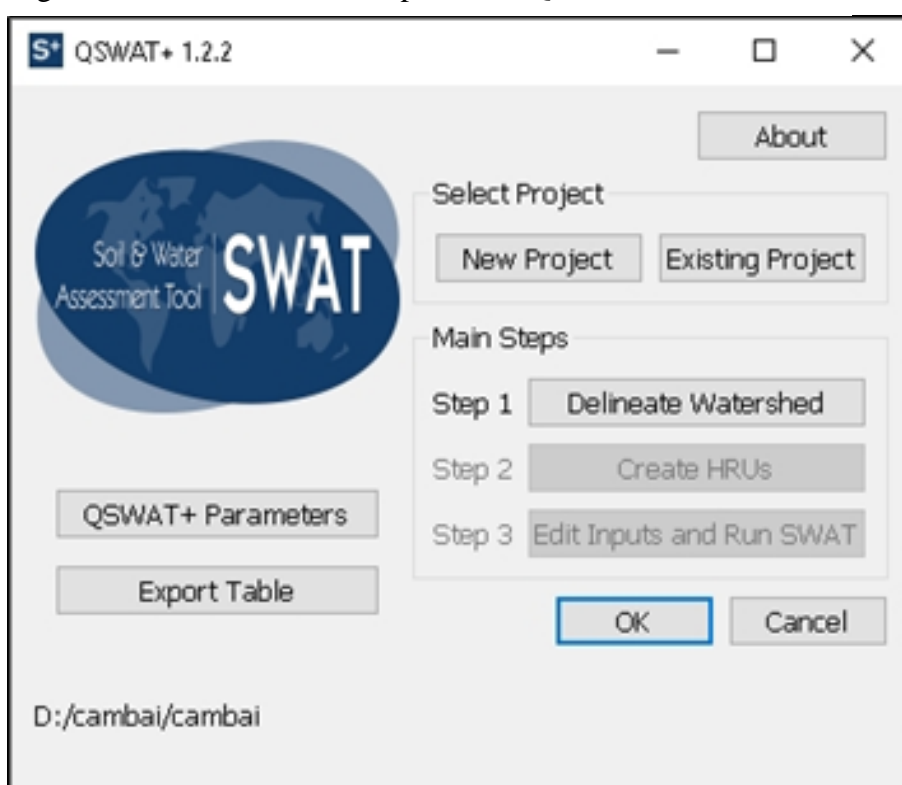
Ainda, é estabelecido pelos autores a caracterização geológica, geomorfológica, de solos e também na cobertura vegetal, fatores que são importantes para mapear essas bacias e demais cursos hídricos. Outros autores, como Rossato e Martins (2001) e também Ramme e Kruger (2007) utilizam as diversas técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto na delimitação de bacias e sub-bacias, a fins de realizar a delimitação e caracterização de seus cursos hídricos.

A extensão QSWAT+ é a interface do SWAT disponibilizada junto aos pacotes de complementos do QGIS, sendo este um software livre e de código aberto e desta forma permitindo a utilização do modelo SWAT de forma mais usual aos usuários de GIS, essa extensão nos possibilita o processamento de delimitação de bacias hidrográficas, criação das unidades de resposta hidrológicas e a edição de todos os parâmetros gerados, como, temperatura, uso e ocupação do solo, declividade, LSU, entre outros, que posteriormente serão executados no SWAT.

3 METODOLOGIA

Inicialmente para a realização metodológica deste trabalho se fez necessário o download dos softwares QGIS 3.4 e QSWAT+, ambos disponibilizados para uso livre. O complemento utilizado (QSWAT+) foi ativado após a instalação dos softwares já citados, que ficará disponível na tela inicial do QGIS. Após habilitar o QSWAT+ ficou disponível algumas opções (Figura 4), onde a partir desta tela pôde-se configurar os parâmetros iniciais da delimitação das bacias.

Figura 4. Visualizador do complemento QSWAT+.



Fonte: Autor (2021).

A primeira etapa (delimitação da bacia) fica imediatamente disponível (Figura 4), enquanto que as etapas 2 (criação das HRUs) e 3 (modelagem e calibração) ficam inativas até que a anterior seja concluída.

Na primeira etapa é delimitado os leitos principais e seus afluentes, onde é possível indicar a entrada e a saída dos afluentes da bacia, neste momento é importante observar que se pode adicionar arquivos que já identificam a entrada/saída, no entanto, para este trabalho todas as delimitações foram realizadas manualmente utilizando a

ferramenta QSWAT+. Selecionando a opção “create watershed” a bacia e todas as sub-bacias pertencentes a área escolhida serão delimitados.

A seguir, de volta na aba inicial do QSWAT+ a segunda etapa fica disponível, nesta etapa é possível criar as HRUs, a partir da inclusão dos parâmetros de entrada (necessários para a caracterização da bacia), as variáveis incluídas foram: o mapa de uso e cobertura do solo, onde foi realizado o download do mesmo no site MapBiomias (MapBiomias, 2020).

Após a inclusão do mapa de uso e cobertura do solo foi necessário a inclusão de uma tabela onde é descrito o que cada área de pixel representa, no entanto, outra possibilidade é utilizar a opção “global_landuse”, o qual utiliza-se de parâmetros globais. Em seguida, foi inserido o mapa pedológico, onde para a elaboração do mesmo foi utilizado os dados em formato shapefile (.shp) contidos no trabalho de Streck et al. (2008).

Ainda, se fez necessário reprojetar, recortar e rasterizar a imagem, ou seja, transformá-la de dados vetoriais para dados matriciais, pois, o software exige a inserção de arquivos tipo matricial (raster). Para o mapa pedológico também se fez necessário a inserção de uma tabela com os dados de solos, no entanto, também existe a possibilidade da opção global, utilizada neste estudo.

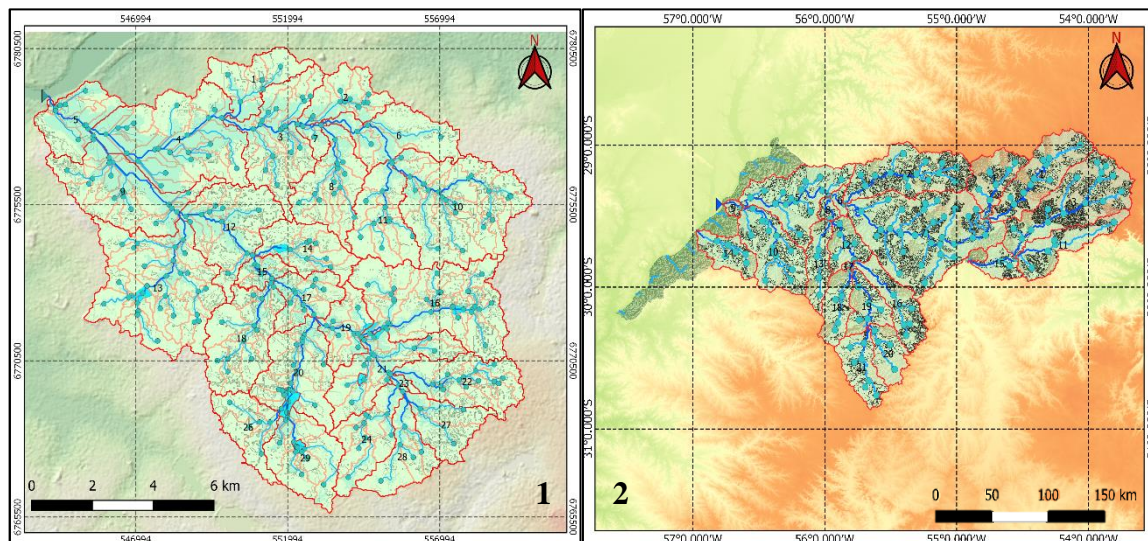
Em seguida, foi realizado o ajuste dos parâmetros das HRUs, onde foi possível selecionar a criação das HRUs com base nos mapas de entrada e através de pontos de declividade, a partir da opção “read from maps” e selecionado a opção “generate full HRUs shapefile”, resultando em dados vetoriais contendo polígonos com todas as informações inseridas.

Esse procedimento metodológico foi executado duas vezes, sendo a primeira para a sub-bacia do Ibicuí e a segunda para a microbacia do arroio Cambaí, a fim de se comparar o processamento e usabilidade do QSWAT+ para ambas áreas de estudo.

4 RESULTADOS e DISCUSSÕES

Como resultados iniciais foram obtidas as estruturas da microbacia do arroio Cambaí e posteriormente das estruturas da sub-bacia do Ibicuí (Figura 5).

Figura 5. Estruturas da microbacia do arroio Cambaí e da sub-bacia do Ibicuí.



Fonte: Autor (2021).

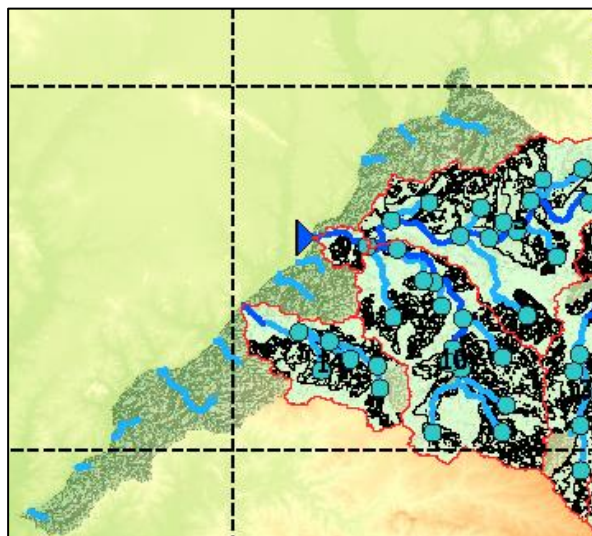
A partir dessas imagens (Figura 5) foi selecionado as principais feições estruturais da microbacia do arroio Cambaí (1) e da sub-bacia do Ibicuí (2), onde para a composição dos mapas de estrutura hídrica foi utilizado as feições geradas pelo QSWAT+ (apêndice 3 e 4). Para o processamento da microbacia (1) foi utilizado um modelo digital de elevação (MDE) de 30 metros, contudo, na sub-bacia (2) o MDE de 30 metros já apresentou um tempo de processamento muito elevado, onde o próprio software apresentou uma mensagem de notificação informando que a imagem utilizada possuía um alto volume de pixels, que resultaria em um elevado tempo de execução. Tendo em vista essa problemática, se fez necessário a escolha de um MDE de 90 metros (fornecido pela Embrapa), resultando em um processamento razoável.

As estruturas obtidas foram: o leito principal, os canais, os pontos de nascentes, áreas de várzea e ponto de exutório. Essas estruturas são resultados da primeira etapa, onde, ainda, foi acrescido a estrutura de unidades de paisagem (LSU) e de unidade hídrica.

Quanto a feições de leito principal, secundários, canais e afluentes, esses se mostraram em concordância, quando comparados com outros produtos cartográficos. Na

subdivisão das bacias estudadas neste trabalho, a microbacia (1) apresentou um melhor processamento em relação com a sub-bacia (2), logo, o produto resultante está em concordância com o limite político de bacias hidrográficas disponibilizada pelo IBGE (IBGE, 2010) onde resultou um total de 29 sub-bacias, enquanto que, a sub-bacia (2) apresentou divergências (Figura 6), resultando em 21 sub-bacias.

Figura 6. Diferença entre o limite político e a delimitação.

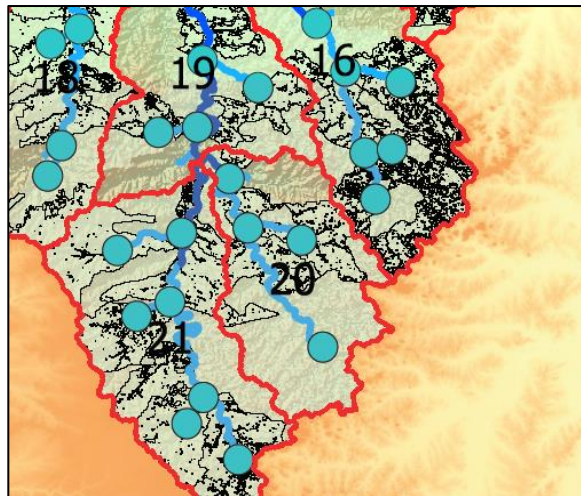


Fonte: Autor (2021).

As LSUs são as unidades de paisagem referente aos canais, levando em consideração o escoamento superficial e a declividade do terreno, o processamento dessa estrutura apresentou erro na sub-bacia (2), pois, todas as LSUs estavam acompanhando as sub-bacias geradas anteriormente, com isso, não foi encontrado solução para contornar esse erro, visto que não se tem controle sobre essa estrutura.

Por fim, temos as feições das unidades de respostas hídricas (HRUs) realizadas na segunda etapa, que consiste em um polígono contendo todas as informações de entrada, como: a declividade, o uso e ocupação do solo, pedologia, canais, leitos, lagos e as áreas de várzea. Essa é a estrutura mais importante gerada pelo QSWAT+, pois através dela que é realizado a calibração e a simulação de dados. Quanto ao processamento da mesma novamente houve divergência entre as bacias, pois a sub-bacia apresentou falhas no produto final, como é possível visualizar na Figura 7. Ainda, foi feito o processamento dessa estrutura a fim de verificar o possível motivo do erro, no entanto, não houve êxito.

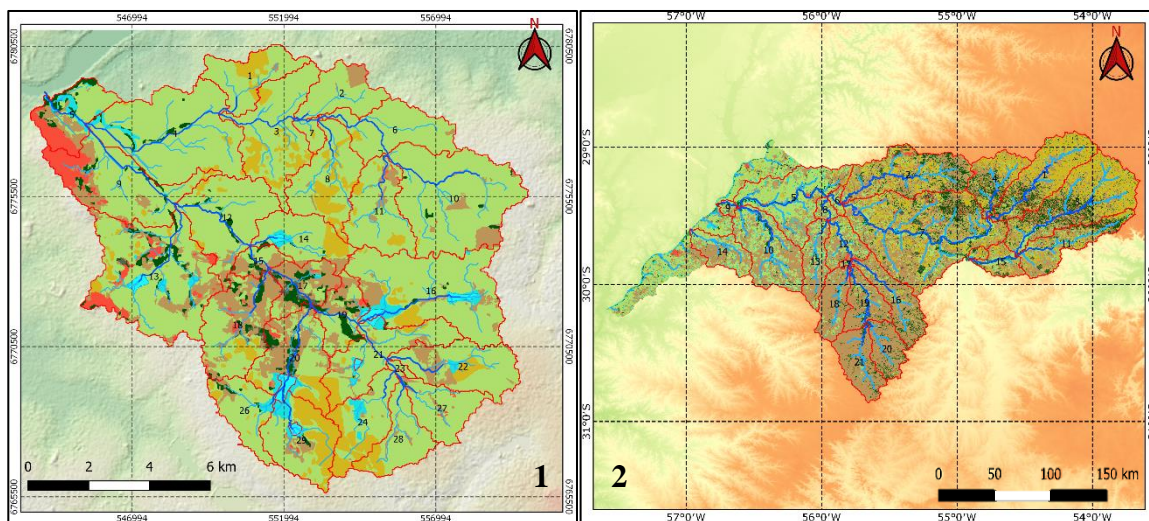
Figura 7. Apresentação do erro ocorrido na geração das HRUs.



Fonte: Autor (2021).

As informações inerentes ao uso e ocupação do solo de ambas as bacias estudadas podem ser analisadas a partir da Figura 8.

Figura 8. Uso e ocupação do solo da microbacia do arroio Cambaí e da sub-bacia do Ibicuí.



Fonte: Autor (2021).

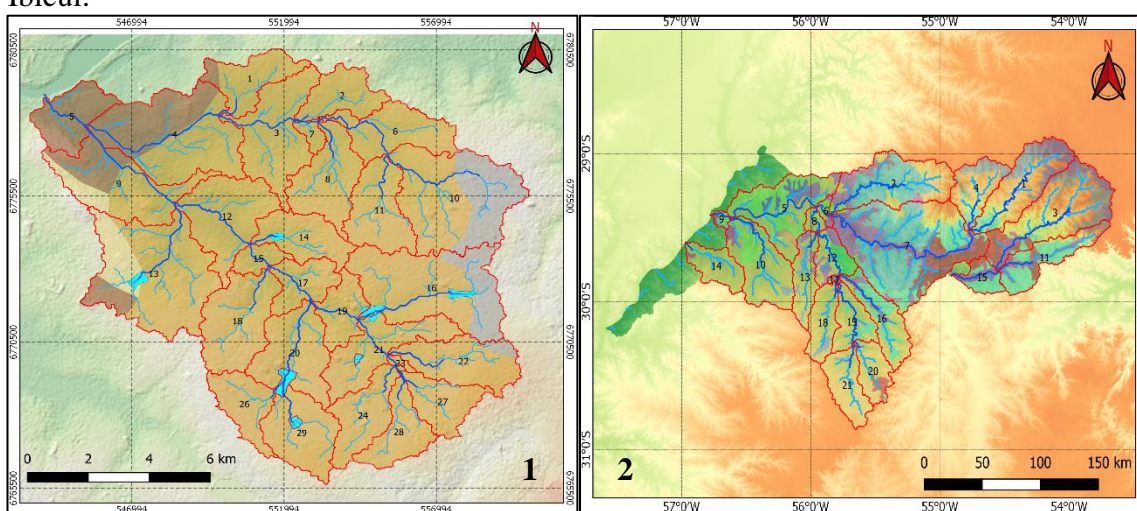
Nestas imagens (Figura 8) é perceptível como se dá a organização ocupacional do solo em ambas as bacias estudadas (apêndice 5 e 6) da microbacia do arroio Cambaí (1) e sub-bacia do Ibicuí (2). A microbacia (1) possui a maior parcela constituída por lavouras temporárias oriundas da cultura orizícola, seguido do cultivo de soja e de regiões de formação campestre. Ainda, vale ressaltar a concordância quanto a classe de

infraestrutura urbana e as áreas de formação florestal, estas possivelmente são Áreas de Preservação Permanente (APP), como comprovado no estudo de Bariani (2016).

A sub-bacia (2) possui a maior parcela constituída por formação campestre, seguido do cultivo de soja e outras lavouras. Ainda, apresentou uma ótima qualidade na identificação das áreas de infraestrutura urbana.

Posteriormente, foi obtido o mapa pedológico da microbacia do arroio Cambaí e também da sub-bacia (Figura 9).

Figura 9. Informações pedológicas da microbacia do arroio Cambaí e da sub-bacia do Ibicuí.



Fonte: Autor (2021).

Neste último resultado (Figura 9) obtido a partir da delimitação da microbacia do arroio Cambaí (1) e da sub-bacia do Ibicuí (2) (apêndice 7 e 8), onde, pode-se analisar que a microbacia (1) apresentou quatro tipo de solo, sendo eles: luvisolo como a maior parcela, seguido do chernossolo, neossolo e afloramento rochoso. A sub-bacia (2) apresentou doze diferentes tipos de solo, onde a maior parcela é constituída por chernossolos, seguido do latossolo e gleissolo. Ainda, o QSWAT+ subdividiu estes solos em outras classes utilizando mais características do solo, no entanto para uma melhor representação foram utilizadas as doze classes, tendo como critério de seleção a classe primária do solo.

A partir do processamento e dos resultados aqui apresentados vale ressaltar que houve a necessidade de correlacionar a classe de solo e de ocupação de solo para dar a característica da região estudada, tendo em vista que o QSWAT+ utiliza-se como *default*

dados globais, ou ainda, a implementação de tabelas com um padrão de tabulação pré-definida, que durante o processamento servirão como base para classificação dos produtos já citados, porém, este processo de tabulação se mostra complexo quando aplicado em regiões não norte-americanas. Ainda, ressalto que para dar continuidade no SWAT+ com a calibração, validação e simulação existe a necessidade destas tabelas, mas, para o processo de delimitação com a correlação dos dados realizada manualmente (como feito neste trabalho) se mostrou eficiente.

O modelo SWAT+ também disponibiliza um banco de dados globais (arquivos raster, tabelas e vetores): para uso e cobertura do solo, pedológico, MDE e também dados climáticos, mas a qualidade destes produtos para a região estudada é ineficiente, visto que, realizando o processamento utilizando estes dados, teríamos apenas uma classe de solo e uso do solo para a microbacia e três classes para a sub-bacia. Quanto aos dados climáticos foi verificado que existe uma estação para a microbacia e quatro para a sub-bacia, porém, não foi analisado a qualidade destes.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou uma análise comparativa da utilização do QSWAT+ para a delimitação de duas escalas diferentes de bacias hidrográficas, mais especificamente a microbacia do arroio Cambaí e a sub-bacia do Ibicuí, essas intrínsecas na bacia do rio Uruguai, localizadas na fronteira oeste do Rio Grande do Sul. A microbacia do arroio Cambaí possui área equivalente a 157,519 km² e possui características agrícolas, já a sub-bacia do Ibicuí possui área igual a 36.397,69 km², sendo essa aproximadamente 231 vezes maior que a microbacia do arroio Cambaí.

Ainda com este trabalho foi possível evidenciar as potencialidades para a delimitação de bacias hidrográficas, no entanto, existe a necessidade de conhecer os parâmetros de entrada e adequá-los conforme a escala da bacia de estudo. Visto isso, o primeiro ponto de adequação para este estudo foi a escolha de um modelo digital de elevação, cuja apresentasse resultados satisfatórios e ao mesmo tempo oferecesse um tempo de processamento adequado para um computador com configurações e hardware básicos, sendo eles 30 metros para a microbacia e 90 metros para a sub-bacia.

Posteriormente, foi possível analisar algumas discrepâncias quanto a qualidade dos produtos resultantes (delimitação das sub-bacias internas, unidades de paisagem e unidades de resposta hídrica), conforme a escala utilizada. A partir do pressuposto, é evidente que quando trabalhamos com bacias maiores estamos sujeitos a longos períodos de processamento, então, é mais conveniente segmenta-la, tornando-a a possibilidade de trabalhar com dados com a maior resolução e detalhamento de informações, ainda, nos permite verificar a campo os resultados encontrados.

Quanto ao banco de dados disponibilizado pelo SWAT+ o mesmo se mostrou incompatível com as áreas estudadas neste trabalho, devido a este ter sido desenvolvido pra representar parâmetros norte-americanos, então, outras localidades possuem um menor detalhamento. Neste estudo utilizando esse conjunto de dados, a classificação de uso do solo e pedológico resultaram em uma classe para a microbacia e quatro para a sub-bacia.

Por fim, considera-se que os objetivos foram alcançados no que tange avançar com o estudo do modelo SWAT+, em questão o QSWAT+, aplicado a bacias da fronteira oeste, ainda, poder contribuir com os trabalhos desenvolvidos pelo laboratório

interdisciplinar integrado (LABii) e disciplinas ministradas pelos professores vinculados ao LABii que utilizam o modelo SWAT como material de estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA. **Agência Nacional de Águas.** Disponível em: <https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/handle/ana/66?mode=full> Acesso em: 12 de março de 2021.

BARIANI, C. J. M. V.; VICTORIA, N. M. B. **Aplicação de caracterização morfolométrica com dados SRTM para análise de enchentes em microbacias urbanas.** Geografia, Ensino & Pesquisa, Vol. 20, n.2, p. 135-146. 2016.

COMITE IBICUÍ: **Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí.** Disponível em: www.comiteibicui.com.br. Acesso em: 19 de abril de 2021.

EMBRAPA. Clima Temperado. **Cultivo do Arroz Irrigado no Brasil. Solos Cultivados com Arroz Irrigado na Região Subtropical do RS e SC.** Sistemas de Produção, v 3; ISSN 1806-9207 Versão Eletrônica. 2005.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais.** São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

GOOGLE. **Google Earth.** Disponível em: <https://earth.google.com/web>. Acesso em: 28 de abril de 2021.

LABII. **Laboratório Interdisciplinar Integrado.** 2020. Laboratórios de Ensino Campus Itaquí. Disponível em: <https://sites.unipampa.edu.br/dilab/laboratorios-de-ensino-campus-itaqui/>. Acesso em: 28 dez. 2020.

LIMA, Silva; LIMA, Thales Ernildo de; SOUZA, Célia Alves de; SILVA, José Lourenço Alves da. **Caracterização ambiental: geologia, geomorfologia e solo no baixo curso na bacia do rio cabaçal em curvelândia mato grosso.** Instituto de Geociências, Unicamp. Campinas, SP. 2017.

PROJETO MAPBIOMAS. **Coleção 5.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil.** Disponível em: <http://www.mapbiomas.org>. Acesso em: 19 de abril de 2021.

MEDEIROS, J. S de; CAMARA, G. **Geoprocessamento para Projetos Ambientais**. Ministério da Ciência e Tecnologia – Instituto Nacional de Pesquisa. INPE-8568-PRE/4312. INPE, São José dos Campos. 2017.

NEITSCH, S.L., ARNOLD J.G., J.R. KINIRY, WILLIAMS, J.R. **Soil & Water Assessment Tool SWAT - Documentação Teórica 2009**. Instituto de Recursos Hídricos do Texas - Relatório técnico No. 406 Texas. 2009.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. **Gestão de bacias hidrográficas**. Estudos avançados. ISSN 0103-4014. On-line version ISSN 1806-9592 Estud. av. vol.22 no.63 São Paulo, 2008.

RAMME, E. J; KRUGER, C. M. **Delimitação de Bacias Hidrográficas Com Auxílio De Geoprocessamento**. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, São Paulo. 2007.

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 7 ed. Uberlândia: EDUFU, 2009.

ROSSATO, M. S; MARTINS, R. L. **Geoprocessamento da Bacia Hidrográfica do Lago Guaíba**. Anais X SBSR, Foz do Iguaçu, 21-26 de abril, INPE, P. 971-974, Sessão Poster.

SERRÃO, Edivaldo Afonso de Oliveira. **Aplicação do modelo swat na simulação hidrológica da bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas-pa**. Universidade federal de campina grande, Campina Grande, PB. 2018.

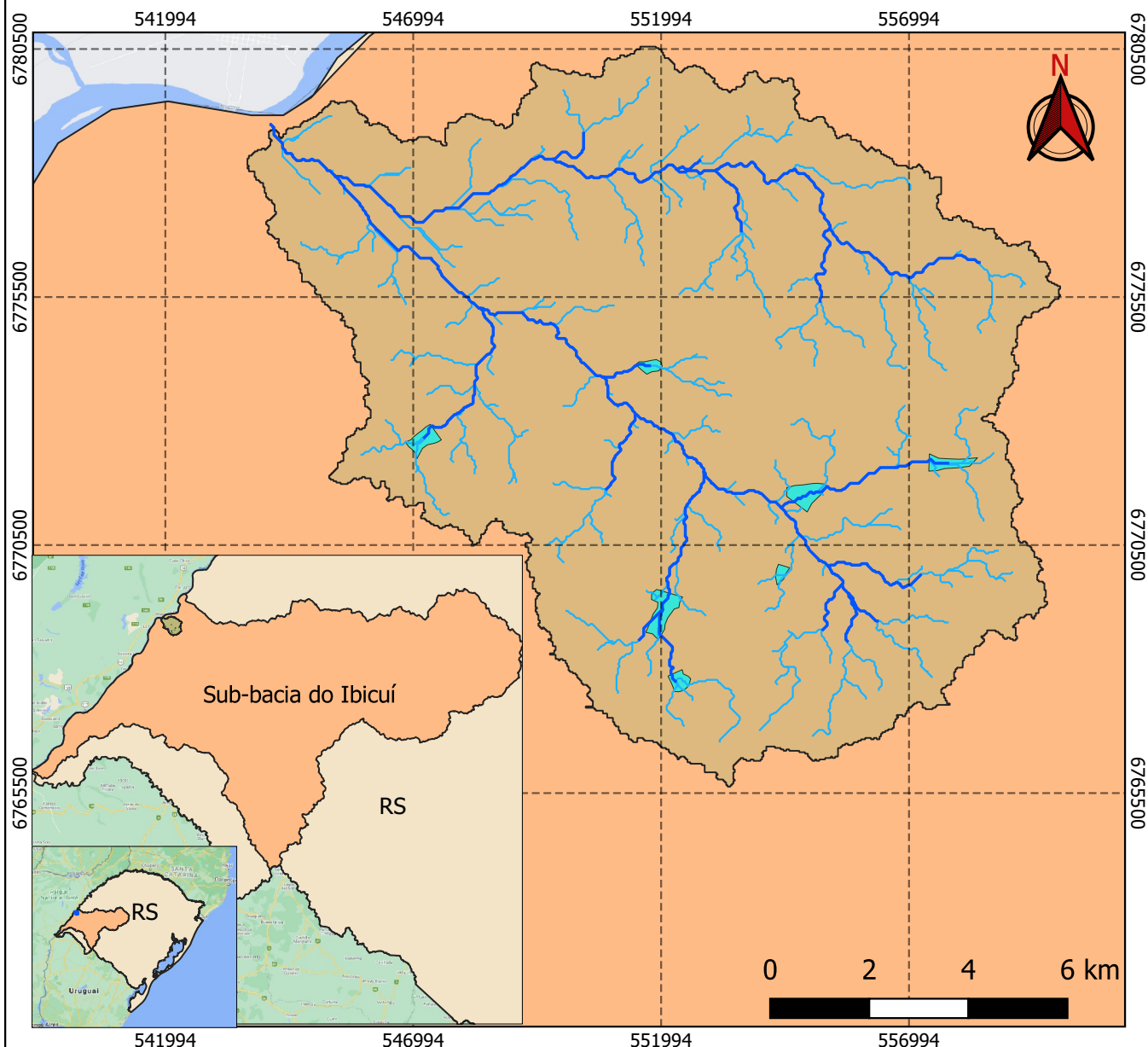
STRECK, E.V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C. do; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L.F.S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2.ed. rev. e ampl. Porto Alegre: Emater/RS, 2008. 222p.

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.

TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos**. Porto Alegre – RS. Ed. Universidade UFRGS. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. p. 652. 1998.

APÊNDICES

Mapa Localização da microbacia do Cambaí



Dados da bacia

— Leito principal (Streams)

— Afluente (Channels)

■ Barragem (lakes)

■ Microbacia do Cambaí

■ Sub-bacia do Ibicuí

■ Estado do Rio Grande do Sul

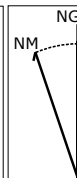


Formato: A4
210x297mm

Escala:
1/88980

Título: Mapa localização da microbacia do arroio Cambaí.

Descrição: O mapa representa a localização da microbacia do arroio Cambaí, estando localizada na fronteira oeste do Rio Grande do Sul, pertencendo a bacia do Uruguai e a subbacia do Ibicuí.



Declinação magnética
13° 55' W ± 0° 24'
Data: 23/04/2021
Modelo usado: WMM-2020
Latitude: 29°7'17" S
Longitude: 56°33'23" W
Mudando em 0°10' W/ ano

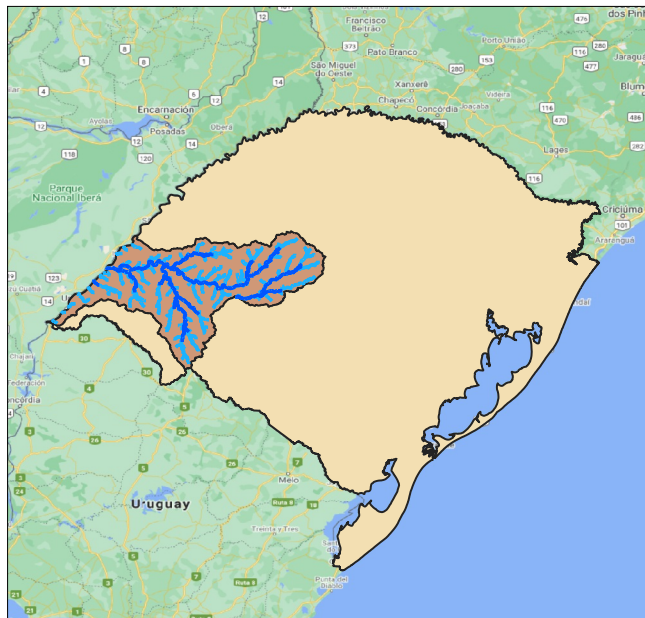
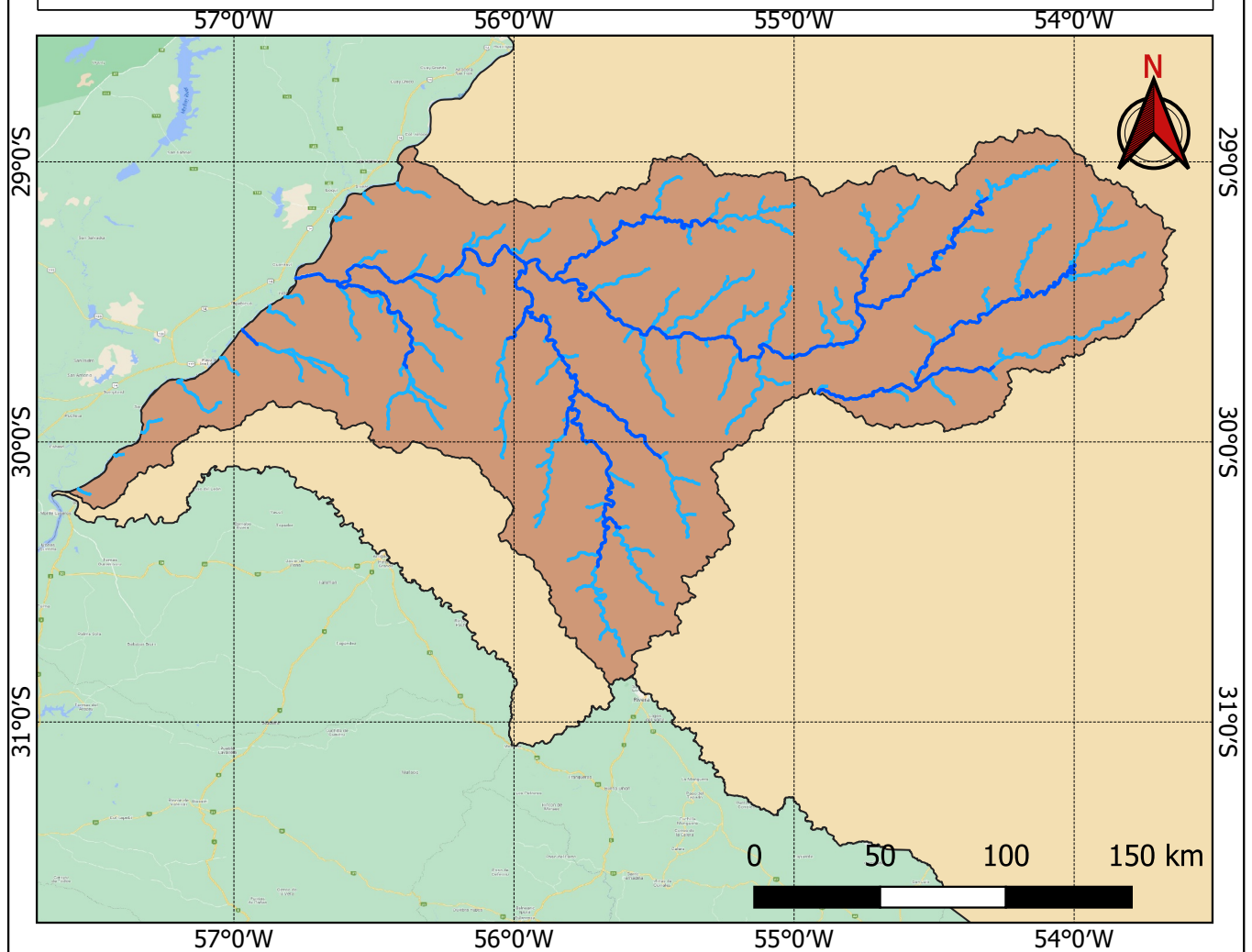
Projeção: UTM Datum: Sirgas 2000 Fuso: 21S

Fonte de dados: IBGE (2010).

Elaborado por:
Juliomar Santos

Local e data:
Itaqui - RS,
10/03/2021

Mapa de localização da sub-bacia do Ibicuí



Dados da bacia

- Leito principal
(Streams)
- Afluente
(Channels)
- Limite da bacia
- Rio Grande do Sul



Formato: A4
210x297mm

Escala:
1/24000

Título: Mapa de localização da sub-bacia do rio Ibicuí

O mapa representa a localização da sub-bacia do Ibicuí, estando localizada na fronteira oeste do Rio Grande do Sul, pertencendo a bacia do Uruguai.

Projeção: Sirgas 2000 (geográfico)

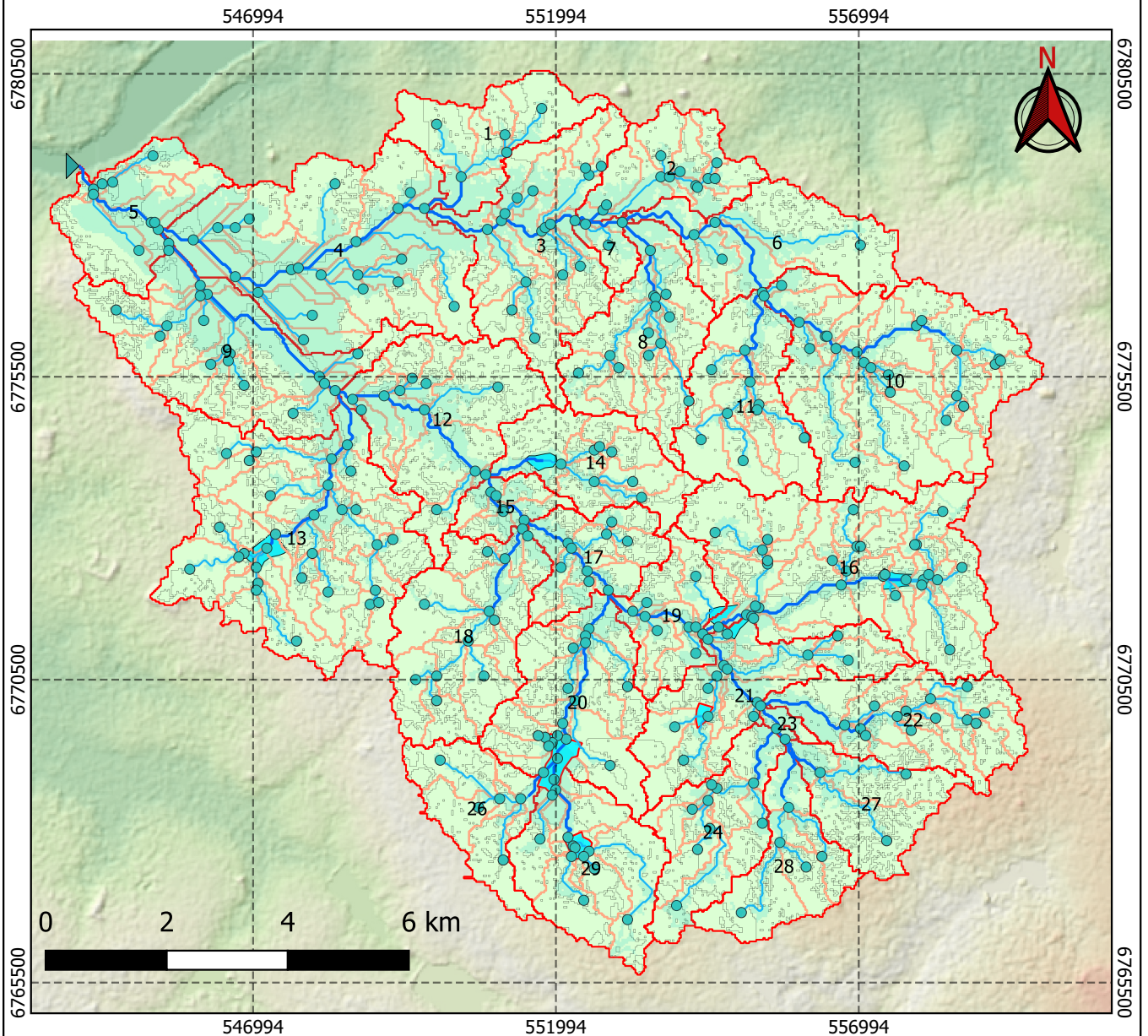
Fonte de dados: IBGE (2010)

Declinação magnética
 $14^{\circ} 12' W \pm 0^{\circ} 25'$
 Data: 03/05/2021
 Modelo usado: WMM-2020
 Latitude: $29^{\circ} 47' 3'' S$
 Longitude: $55^{\circ} 47' 28'' W$
 Mudando em $0^{\circ} 10' W$ / ano

Elaborado por:
Juliomar Santos

Local e data:
Itaqui - RS,
10/04/2021

Mapa das estruturas da microbacia do Cambaí



Dados da bacia

- Planície de inundação (Várzea)
- Ponto de nascente e confluência
- Exutório
- Leito principal (Streams)
- Afluente (Channels)
- Barragem (lakes)
- Sub-bacia (Subbasins)

Unidades de paisagem (LSUs)

Unidade de resposta hídrica (HRUs)

Modelo digital de elevação (mde)

- 43
- 65.5
- 88
- 111
- 133



Formato: A4
210x297mm

Escala:
1/88980

Título: Mapa das estruturas da microbacia do arroio Cambaí

Descrição: O mapa representa as estruturas da microbacia do arroio cambaí, sendo seu leito principal o arroio Cambaí e o secundário arroio Chocolate, e seu ponto de exutório está localizado junto ao rio Uruguai.

Declinação magnética
13° 55' W ± 0° 24'
Data: 23/04/2021
Modelo usado: WMM-2020
Latitude: 29°7'17" S
Longitude: 56°33'23" W
Mudando em 0°10' W/ ano

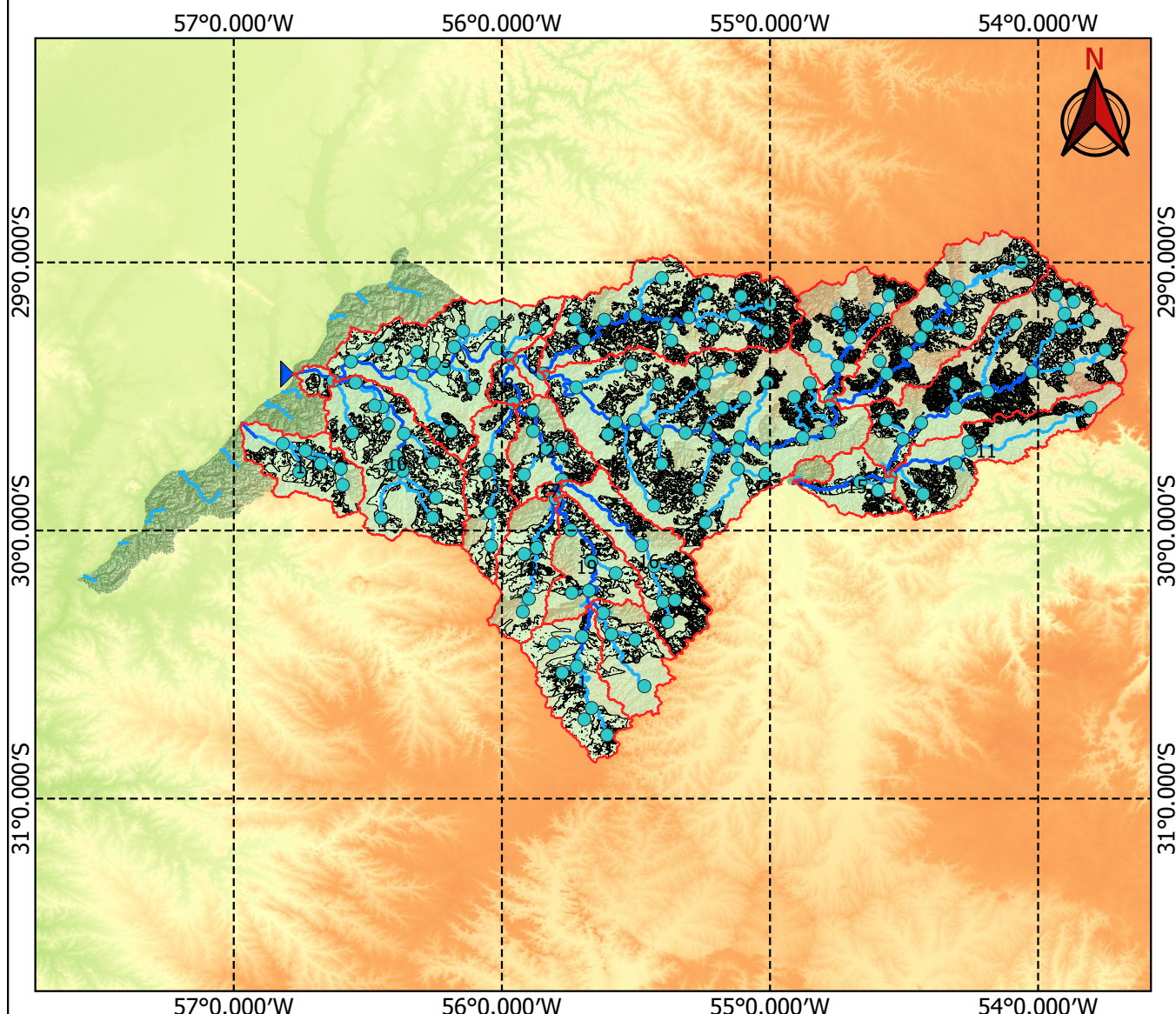
Projeção: UTM Datum: Sirgas 2000 Fuso: 21S

Fonte de dados: IBGE (2010).

Elaborado por:
Juliomar Santos

Local e data:
Itaqui - RS,
10/03/2021

Mapa das estruturas da sub-bacia do Ibicuí



Dados da bacia		Modelo digital de elevação (mde)	
Planície de inundação (várzea)	Unidades de resposta hídrica (HRUs)	0	
Ponto de nascente e confluência		4	
Exutório		96	
Leito principal (Streams)		238	
Afluente (Channels)		1817	
Sub-bacia (Subbasins)			
Unidade de paisagem (LSUs)			



Formato: A4
210x297mm

Escala:
1/24000

Título: Mapa das estruturas da sub-bacia do rio Ibicuí

Descrição: O mapa representa as estruturas da sub-bacia do rio Ibicuí, sendo seu leito principal o rio Ibicuí e o seguido do rio Ibirapuitã e seu ponto de exutório está localizado junto ao rio Uruguai.

Declinação magnética
14° 12' W ± 0° 25'
Data: 03/05/2021
Modelo usado: WMM-2020
Latitude: 29°47'3" S
Longitude: 55°47'28" W
Mudando em 0°10' W/ ano

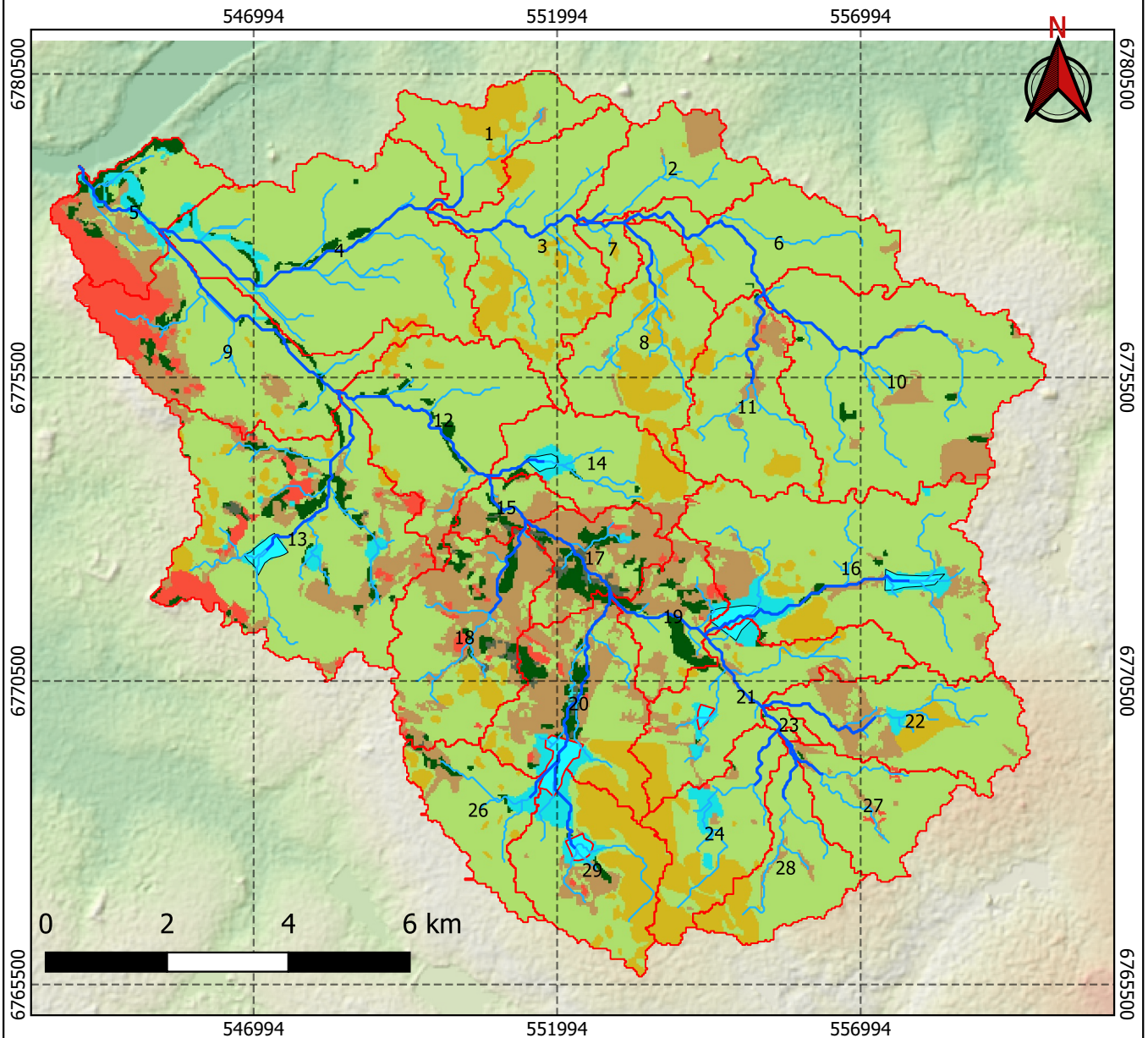
Projeção: Sirgas 2000 (geográfico)

Fonte de dados: IBGE (2010).

Elaborado por:
Juliomar Santos

Local e data:
Itaqui - RS,
10/04/2021

Mapa de uso e ocupação do solo da microbacia do Cambaí



Dados da bacia	Classes	Modelo digital de elevação (mde)
Leito principal (Streams)	Formação florestal	43
Afluente (Channels)	Formação natural não florestal	65.5
Barragem (lakes)	Formação campestre	88
Sub-bacia (Subbasins)	Infraestrutura urbana	111
	Rio, lago e barragem.	133
	Soja	
	Outras lavouras temporárias	



Formato: A4
210x297mm

Escala:
1/88980

Título: Mapa de uso e ocupação do solo da microbacia arroio do Cambaí

Descrição: O mapa representa o uso e ocupação do solo da microbacia do arroio Cambaí, tendo como sua maior parcela constituída por lavouras temporárias oriundas de produção orizícola.

Declinação magnética
13° 55' W ± 0° 24'
Data: 23/04/2021
Modelo usado: WMM-2020
Latitude: 29°7'17" S
Longitude: 56°33'23" W
Mudando em 0°10' W/ ano

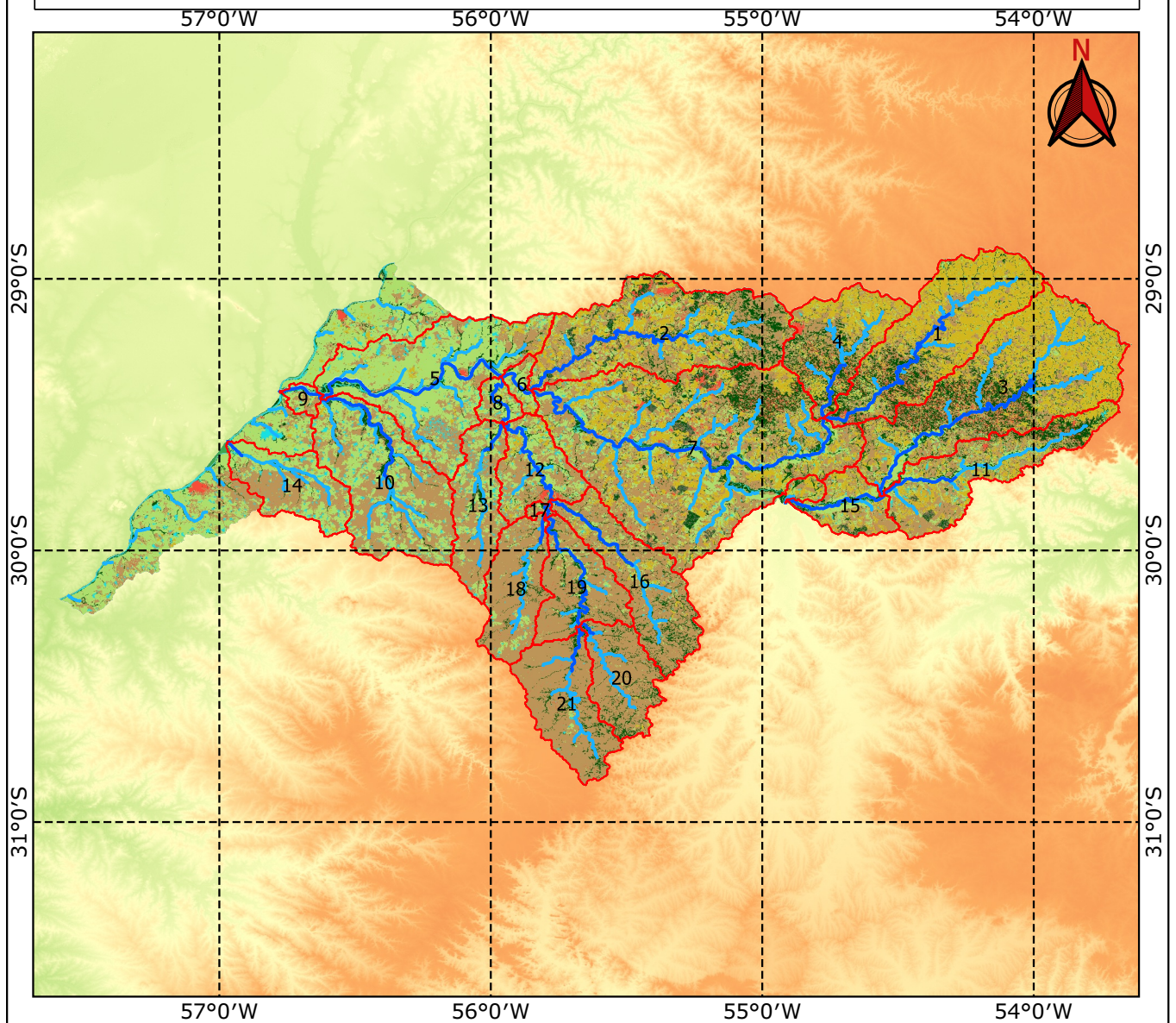
Projeção: UTM Datum: Sirgas 2000 Fuso: 21S

Fonte de dados: IBGE (2010), MapBiomias (2019)




Elaborado por:
Juliomar Santos

Local e data:
Itaqui - RS,
10/03/2021








Mapa de uso e ocupação do solo da sub-bacia do Ibicuí.








Dados da bacia

-  Leito principal
(Streams)
-  Afluente
(Channels)
-  Sub-bacia
(Subbasins)

Classes

-  Formação florestal
-  Formação natural
não florestal
-  Formação campestre
-  Infraestrutura urbana
-  Rio, lago e barragem
-  Soja
-  Outras lavouras
temporárias

Modelo digital de elevação (mde)

-  0
-  4
-  96
-  238
-  1817

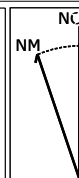


Formato: A4
210x297mm

Escala:
1/24000

Título: Mapa de uso e ocupação do solo da sub-bacia do rio Ibicuí.

Descrição: O mapa representa o uso e ocupação do solo da sub-bacia do rio Ibicuí, tendo como sua maior parcela constituída por formação campestre, seguido da cultura de soja.



Declinação magnética
14° 12' W ± 0° 25'
Data: 03/05/2021
Modelo usado: WMM-2020
Latitude: 29°47'3" S
Longitude: 55°47'28" W
Mudando em 0°10' W/ ano

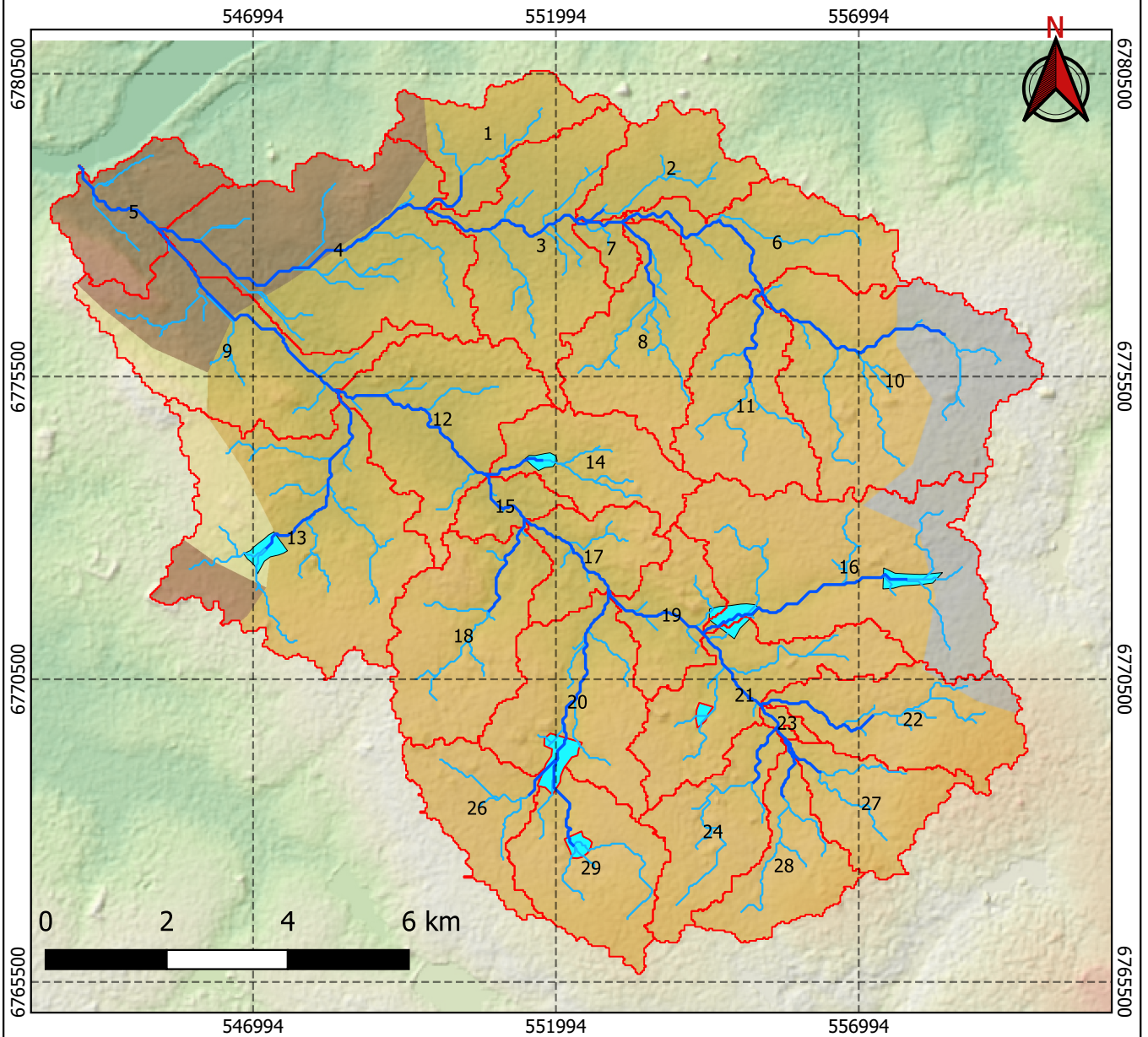
Projeção: Sirgas 2000 (geográfico)

Fonte de dados: IBGE (2010), MapBiomias (2019)

Elaborado por:
Juliomar Santos

Local e data:
Itaqui - RS,
01/03/2021

Mapa pedológico da microbacia do Cambaí



Dados da bacia	Classe	Modelo digital de elevação (mde)
Leito principal (Streams)	Luvissole	43
Afluente (Channels)	Chernossolo	65.5
Barragem (lakes)	Afloramento rochoso	88
Sub-bacia (Subbasins)	Neossolo	111
		133

Universidade Federal do Pampa

Formato: A4
210x297mm

Escala:
1/88980

Título: Mapa pedológico da microbacia do arroio Cambaí

Descrição: O mapa representa a formação pedológica da microbacia do arroio Cambaí, tendo como sua maior parcela constituída por luvissole.

Declinação magnética
13° 55' W ± 0° 24'
Data: 23/04/2021
Modelo usado: WMM-2020
Latitude: 29°7'17" S
Longitude: 56°33'23" W
Mudando em 0°10' W/ ano

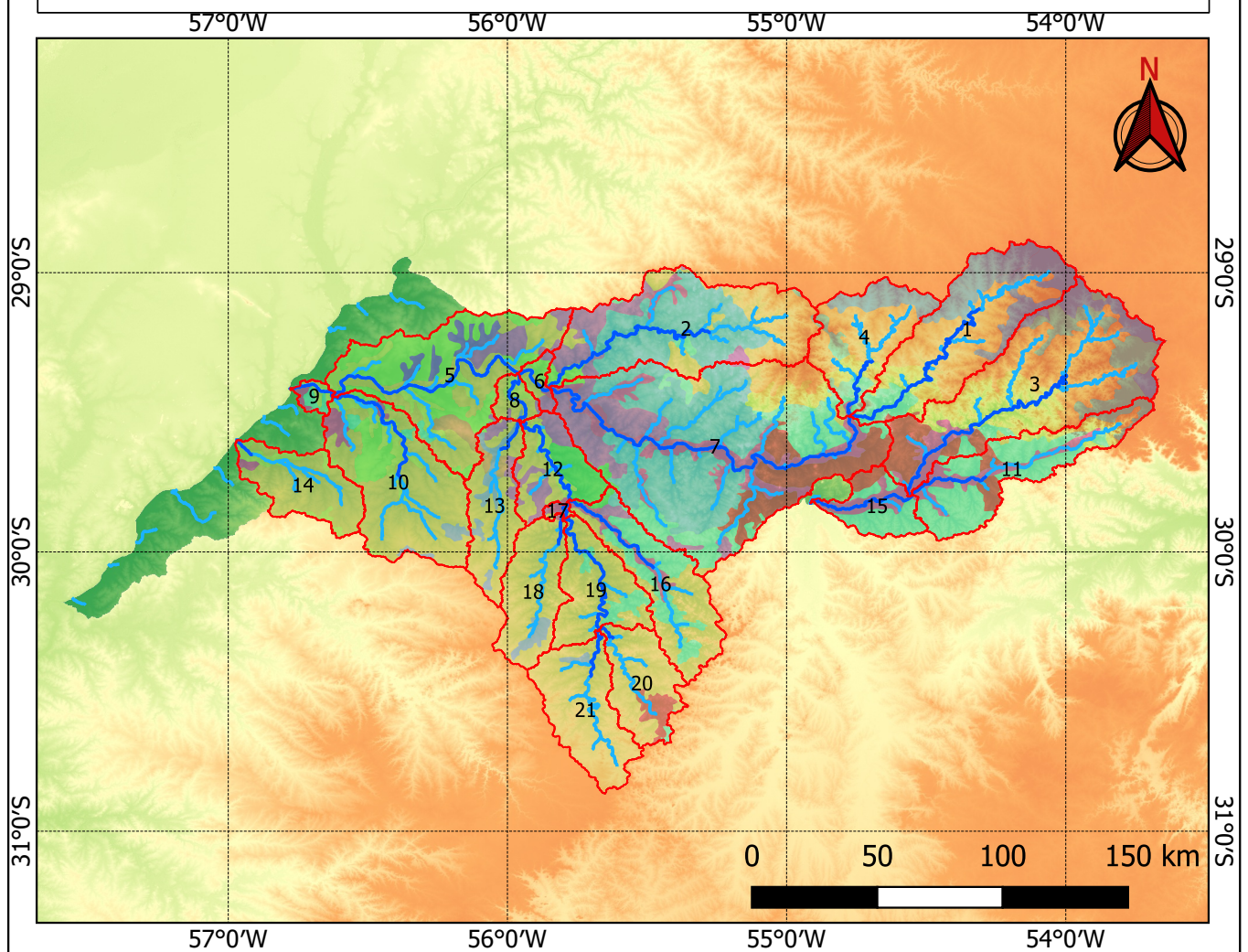
Projeção: UTM Datum: Sirgas 2000 Fuso: 21S

Fonte de dados: IBGE (2010), Streck et al (2008)




Elaborado por:
Juliomar Santos

Local e data:
Itaqui - RS,
10/03/2021

Mapa pedológico da sub-bacia do Ibicuí








Dados da bacia

-  Leito principal (Streams)
-  Afluente (Channels)
-  Sub-bacia (Subbasins)

Classes

-  AFLORAMENTO ROCHOSO
-  ALISSOLO
-  ARGISSOLO
-  CHERNOSSOLO
-  GLEISSOLO
-  LATOSSOLO
-  LITÓLICO
-  LUVISSOLO
-  NEOSSOLO
-  NITOSSOLO
-  PLANOSSOLO
-  VERTISSOLO

Modelo digital de elevação (mde)

-  0
-  4
-  96
-  238
-  1817

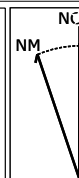


Formato: A4
210x297mm

Escala:
1/24000

Título: Mapa pedológico da sub-bacia do rio Ibicuí

Descrição: O mapa representa a formação pedológica da sub-bacia do rio Ibicuí, tendo como sua maior parcela constituída por chernossolo.



Declinação magnética
14° 12' W ± 0° 25'
Data: 03/05/2021
Modelo usado: WMM-2020
Latitude: 29°47'3" S
Longitude: 55°47'28" W
Mudando em 0°10' W/ ano

Projeção: Sirgas 2000 (geográfico)

Fonte de dados: IBGE (2010), MapBiomias (2019)

Elaborado por:
Juliomar Santos

Local e data:
Itaqui - RS,
10/04/2021