

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

DANIELA RODRIGUES RIBEIRO

**APRESENTAÇÃO DO SWAT COMO FERRAMENTA DE GESTÃO DE RECURSOS
HÍDRICOS. ESTUDO DE CASO: RIO SÃO JOSÉ DOS DOURADOS**

Ilha Solteira
2021

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO E REGULAÇÃO
DE RECURSOS HÍDRICOS – ProfÁgua**

DANIELA RODRIGUES RIBEIRO

**APRESENTAÇÃO DO SWAT COMO FERRAMENTA DE GESTÃO DE
RECURSOS HÍDRICOS. ESTUDO DE CASO: RIO SÃO JOSÉ DOS
DOURADOS**

Dissertação apresentada à
Faculdade de Engenharia de Ilha
Solteira – UNESP como parte dos
requisitos para obtenção do título de
Mestre em Gestão e Regulação de
Recursos Hídricos.

Prof. Dra. Liliane Lazzari Albertin
Orientadora

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

R484a Ribeiro, Daniela Rodrigues.
Apresentação do SWAT como ferramenta de gestão de recursos hídricos.
estudo de caso: Rio São José dos Dourados / Daniela Rodrigues Ribeiro. -- Ilha
Solteira: [s.n.], 2021
107 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de
Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Gestão e Regulação de
Recursos Hídricos, 2021

Orientador: Liliane Lazzari Albertin
Inclui bibliografia

1. Gestão de Recursos Hídricos. 2. Modelagem hidrológica. 3. Sedimentos. 4.
Assoreamento.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: APRESENTAÇÃO DO SWAT COMO FERRAMENTA DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS. ESTUDO DE CASO: RIO SÃO JOSÉ DOS DOURADOS

AUTORA: DANIELA RODRIGUES RIBEIRO

ORIENTADORA: LILIANE LAZZARI LBERTIN

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em GESTÃO E REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS, área: Regulação e Governança de Recursos Hídricos pela Comissão Examinadora:



Profª. Drª. LILIANE LAZZARI ALBERTIN

Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP



Profª. Drª. FRANCIANE MENDONÇA DOS SANTOS

Engenharia Sanitária / Universidade Federal de São Carlos – UFSCAR



Prof. Assessor Frederico Fábio Mauad
Coordenador
Programa de Pós-Graduação
Câmpus de Engenharia Ambiental
CEIS - USP
UF 275-000

Prof. Dr. FREDERICO FÁBIO MAUAD

Hidráulica e Saneamento / UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP

Ilha Solteira, 11 de fevereiro de 2021

Dedico este trabalho aos meus pais, a quem devo tudo o que sou. A orientação e o amor sem fim fizeram-me chegar até aqui e permanecer seguindo, sem nunca desistir.

AGRADECIMENTOS

Chegar até aqui, em momentos difíceis pelos quais passamos, traz a mais genuína gratidão. Afinal, o que seria de mim, ou de nós, sem todo o apoio e suporte que recebemos? Por essa razão, quero agradecer, de coração:

A Deus, que me permitiu chegar aqui e concluir este trabalho, providenciando as condições possíveis e impossíveis para que isso acontecesse. Obrigada por mais este presente, meu Jesus! O Senhor me viu quando ninguém mais me viu e, carinhosamente, disse-me: “Entregue suas preocupações ao Senhor, e ele o ajudará; ele nunca deixa que fracasse a pessoa que lhe obedece” (Sl 55:22). Obrigada por me amar e por estar comigo; isso sempre vai bastar.

À minha família. Vocês são minha vida, minha motivação, àqueles por quem quero caminhar, crescer e vencer. Obrigada pelo apoio de sempre. Eu tenho a melhor família do mundo. Sou grata demais por tê-los: Pai, Mãe, Vó, Lá, Júlio, Felipe, Olívia, Gá, Mari, Tio, Ti e Gabi. Amo-os sem fim!

A Ilha Solteira, a cidade que me encantou, me marcou, me amadureceu, me acolheu e me deu a possibilidade de estudar numa das melhores Universidades do País – UNESP. Foram 8 anos nesse cantinho que eu amo.

Às amigas preciosas que torceram por mim e me incentivaram diariamente na execução com excelência deste mestrado: Mari e Simone. Tê-las na minha caminhada é um presente que sempre levarei comigo. Amo vocês.

À amiga que só cresce no meu coração: Chimite. Obrigada pela amizade, pela companhia da vida e também de profissão. Ao amigo que me ajudou cedendo um curso muito proveitoso do SWAT, Olavo. Agradeço também à minha amiga das águas que sabe tudo e sempre explica com didática e paciência: Lud.

À Geometrisa, que durante 1 ano cedeu-me horas semanais para frequentar as aulas do mestrado, acreditando que essa capacitação me faria uma melhor profissional.

Ao Professor Jefferson Nascimento de Oliveira, que, por acreditar em um Brasil com mais respeito na gestão das águas, veste a camisa do ProfÁgua com muito empenho técnico, zelo e dedicação.

À Professora Liliane Lazzari Albertin, pela orientação, amizade e incentivo. Esses são detalhes que fizeram toda a diferença e me trouxeram confiança.

À Professora Franciane Mendonça dos Santos, que, com paciência e simpatia, sempre se dispôs a me ajudar. Fez-me entender desde o básico ao complexo do SWAT. Sem você esses entendimentos teriam sido muito mais penosos. Obrigada! Ao professor Frederico Fábio Mauad, que prontamente aceitou o convite para participar da banca deste trabalho; senti-me honrada.

Ao colaborador da ANA, Eng. Pedro Cunha, que, de prontidão, cedeu-me importantes dados para a execução deste trabalho.

A todos aqueles profissionais que, gentilmente, cedem parte de seu tempo para tentar auxiliar os “desesperados” e “perdidos” usuários do SWAT nos grupos do Google e por meio dos vídeos gravados pelo Youtube.

Ao apoio técnico científico da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Agradeço, também, ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE Nº. 2717/2015.

“Sê humilde para evitar o orgulho, mas voa alto para alcançar a sabedoria.”

Santo Agostinho

RESUMO

O gerenciamento de recursos hídricos fundamenta-se em informações disponíveis que direcionam esforços técnicos e investimentos financeiros. Essa gestão é feita, em sua maior parte, com base em informações obtidas em campo, mas que, muitas vezes, é dificultada pelo acesso ao local, pela escassez de recursos financeiros ou humanos. O presente trabalho visa apresentar o SWAT como uma ferramenta complementar de gerenciamento de bacias hidrográficas. Esse apresenta-se como um instrumento a ser utilizado em bacias não instrumentadas e, com maior eficácia e assertividade, em bacias já instrumentadas. Sua aplicação remota, com reconhecimento de cenário atual e de previsão de cenário futuro, traz insumos para uma gestão apropriada e direcionada dos recursos para locais de interesse. Para o presente trabalho, tomou-se como estudo de caso o rio São José dos Dourados, situado no estado de São Paulo. Integrante da UGRHI 18, a bacia hidrográfica do rio São José dos Dourados foi estudada pelo SWAT, obtendo-se sua caracterização ambiental, hidrológica, climática e pedológica. Por meio da aplicação do estudo sedimentológico realizado pelo SWAT, foram identificados os locais com maior produção de sedimentos, evidenciando-se a importância de haver uma gestão direcionada na bacia, visto que o exutório deste rio encontra-se no Reservatório de Ilha Solteira.

Palavras-chave: Gestão de Recursos Hídricos, Modelagem Hidrológica, Sedimentos, Assoreamento.

ABSTRACT

Water resource management is based on available information that guides technical efforts and financial investments. This management is done, for the most part, based on information obtained in the field, but which is often hampered by access to the site, by the scarcity of financial or human resources. This paper aims to present SWAT as a complementary tool for watershed management. This presents itself as an instrument to be used in non-instrumented basins and, with greater efficiency and assertiveness, in already instrumented basins. Its remote application, with recognition of the current scenario and forecast of the future scenario, brings inputs for an appropriate and targeted management of resources to places of interest. For the present work, the São José dos Dourados river, located in the state of São Paulo, was taken as a case study. A member of UGRHI 18, the São José dos Dourados river basin was studied by SWAT, obtaining its environmental, hydrological, climatic and pedological characterization. Through the application of the sedimentological study carried out by SWAT, the locations with the highest sediment production were identified, showing the importance of having an intentional management in the basin, since the exutory of this river is found in the Ilha Solteira Reservoir.

Keywords: Water Resources Management, Hydrological Modeling, Sediments, Siltation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – UGRHI 18	39
Figura 2 – Bacia Hidrográfica do Rio São José dos Dourados	40
Figura 3 – Reservatório da UHE de Ilha Solteira e Rio São José dos Dourados	44
Figura 4 – Etapas do modelo SWAT	46
Figura 5 – Precipitação média anual na região da BH-SJD	53
Figura 6 – Locação das estações pluviométricas e climáticas na BH-SJD	55
Figura 7 – Tela de entrada do WGEN	56
Figura 8 - Perfil longitudinal do rio São José dos Dourados	58
Figura 9 – Elevação do Terreno na Bacia Hidrográfica do Rio São José dos Dourados	59
Figura 10 – Sub-bacias da Bacia Hidrográfica do Rio São José dos Dourados	60
Figura 11 - Uso e Ocupação do Solo da Bacia do rio São José dos Dourados	61
Figura 12 – Evolução das Classes de Uso e Ocupação do Solo	64
Figura 13 – Mapa Pedológico da Bacia Hidrográfica do rio São José dos Dourados	65
Figura 14 – Estação Telemétrica – Fazenda Palmeirinha	69
Figura 15 – Réguas linimétricas – Fazenda Palmeirinha	70
Figura 16 – Pluviômetro – Fazenda Palmeirinha	70
Figura 17 – Locação dos postos fluviométricos na BH-SJD	71
Figura 18 – Soluções para correção de vazão simulada.	75
Figura 19 – Correlação de vazão e parâmetros estatísticos	78
Figura 20 – Descarga de Sedimentos em Suspensão	80
Figura 21 – Sub-bacias em destaque com maiores produções de sedimentos	85
Figura 22 – POP N°01/02 – Requisitos para Elaboração de Projetos no SWAT	93
Figura 23 – POP N°02/02 – Orientações para a Modelagem – SWAT	94
Figura 24 – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)	104

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classes de uso e ocupação do solo na Bacia do rio São José dos Dourados	63
Tabela 2 – Pedologia da Bacia do rio São José dos Dourados	66
Tabela 3 – Parâmetros climáticos obtidos – Estação Climática de Ilha Solteira	72
Tabela 4 – Parâmetros climáticos obtidos – Estação Climática de Marinópolis	72
Tabela 5 – Parâmetros Calibrados - Vazão	76
Tabela 6 – Parâmetros Calibrados - Sedimentos	79
Tabela 7 – Comparativo – Descarga Sólida	80
Tabela 8 – HRUs com maiores produção de sedimentos e características físicas	83

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Municípios integrantes da Bacia Hidrográfica do Rio São José dos Dourados	41
Quadro 2 – Postos Fluviométricos na Bacia Hidrográfica do São José dos Dourados	51
Quadro 3 – Postos Pluviométricos na Bacia Hidrográfica do São José dos Dourados	52
Quadro 4 – Estações Climatológicas da BH-SJD adotadas	54
Quadro 5 – Parâmetros do Gerador Climático WGEN	57
Quadro 6 – Correlação de classes de uso e ocupação do solo	62
Quadro 7 – Parâmetros pedológicos explorados	68
Quadro 8 – Valores de Produção de Sedimentos Aceitáveis	89

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVO	17
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1. GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS DO PONTO DE VISTA CONTROLE DE SEDIMENTOS	17
3.2. REDE HIDROMETEOROLÓGICA NACIONAL (RHN) E OS POSTOS SEDIMENTOMÉTRICOS	20
3.3. SEDIMENTOS	23
3.3.1. Processos de Erosão, Transporte e Depósito de Sedimentos	23
3.3.2. Equação Universal de Perda dos Solos Modificada (MUSLE)	25
3.3.3. Descarga Sólida Total - Sedimentos de Fundo e em Suspensão	28
3.4. ASSOREAMENTO DOS RIOS	29
3.4.1. Causas	29
3.4.2. Assoreamento de Reservatórios	30
3.5. MÉTODOS DE CALCULAR OS SEDIMENTOS	30
3.5.1. Hidrometria – Serviços de Campo	30
3.5.2. Modelagem Computacional	32
3.6. SIG	32
3.6.1. Informações Gerais	32
3.6.2. SWAT	33
4. MATERIAIS E MÉTODOS	39
4.1. ÁREA DE ESTUDO	39
4.1.1. Localização	39
4.1.2. Caracterização Sedimentológica	42
4.2. RESERVATÓRIO DE ILHA SOLTEIRA	43
4.3. SOFTWARES NECESSÁRIOS	44
4.4. SÍNTESE DE FUNCIONAMENTO DO SWAT	45
4.5. DADOS DE ENTRADA SWAT	47
4.5.1. Banco de Dados inicial	47
4.5.2. Modelo Digital de Elevação (MDE)	48
4.5.3. Mapa de Uso e Ocupação do Solo da Bacia Hidrográfica do Rio São José dos Dourados	48

4.5.4. Dados Pedológicos	50
4.5.5. Dados Fluviométricos	50
4.5.6. Dados Climáticos	51
5. ESTUDO DE CASO	58
5.1. Descrição Geral	58
5.2. Dados de Elevação (MDE) e Delimitação Automática da Bacia Hidrográfica	59
5.3. Uso e Ocupação do Solo	60
5.4. Pedologia	64
5.5. Vazão e Sedimentos	68
5.6. Clima	71
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	73
6.1. CONDIÇÕES DE SIMULAÇÃO	73
6.2. CALIBRAÇÃO	73
6.2.1. Calibração da Vazão	73
6.2.2. Calibração da Produção de Sedimentos	78
6.3. ÁREAS DE MAIOR PRODUÇÃO DE SEDIMENTO E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NO RIO SÃO JOSÉ DOS DOURADOS	81
6.4. RELAÇÃO PRECIPITAÇÃO E PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS	87
6.5. INFLUÊNCIA DOS SEDIMENTOS NO RESERVATÓRIO DE ILHA SOLTEIRA	88
6.6. SWAT COMO FERRAMENTA DE GESTÃO	90
7. PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO	91
8. CONCLUSÃO	95
9. SUGESTÕES PARA PRÓXIMAS PESQUISAS	96
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97
APÊNDICE	104
AGENDA 2030 E OS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS)	104

1. INTRODUÇÃO

Modelagens hidrológicas computacionais como o SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) têm, dentre outras finalidades, simular a perda de solos de uma bacia hidrográfica e, conseqüente, determinar os sedimentos produzidos pela bacia. Essas modelagens são uma importante ferramenta de gerenciamento, visto que podem ser utilizadas em regiões onde se deseja obter dados e não se têm facilidade de acesso, tempo útil para trabalho de campo ou, até mesmo, recursos financeiros disponíveis.

Para entidades públicas como ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico), ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) entre outras, o *software* pode ser uma importante ferramenta de gestão a ser adicionada aos planos de identificação e controle de assoreamento.

No entanto, softwares como o SWAT não devem ser vistos como substitutos dos serviços *in loco*, isso porque, como toda modelagem, é uma aproximação da realidade, podendo ser falha devido à qualidade e disponibilidade dos dados de entrada do programa. Destaca-se, também, que não é um software acessível ao público, pois seu manuseio depende de conhecimentos de geoprocessamento, hidrológicos e ambientais para a entrada de dados e para a análise dos resultados obtidos, devendo ser manuseado, portanto, por profissionais da área ambiental e com conhecimento computacional.

Os resultados obtidos pelo SWAT vêm a somar com os dados que já se tem de um determinado local, ou trazer informações de locais ainda escassos de conhecimento. Deste modo, pode-se ter subsídios para tomadas de decisão em caráter preventivo e corretivo, devido à realização de mapeamentos e caracterização de regiões. Assim, pode-se monitorar o meio ambiente frente às mudanças temporais ocorridas, prevenindo a integridade dos recursos hídricos e do ecossistema, de um modo geral.

A importância de se realizar uma gestão adequada de bacias hidrográficas, visando o controle da produção dos sedimentos, é a fim de se evitar o assoreamento dos corpos hídricos.

Em rios não represados, o assoreamento causa a diminuição da calha dos corpos hídricos, de tal modo que há um aumento da tendência a inundações e dificuldades na navegabilidade; quanto aos reservatórios, há a diminuição de sua vida útil devido ao depósito de sedimentos no leito se aproximar da tomada d'água. Soma-se a essas questões o fato de o assoreamento causar a perda da vegetação subaquática e alterações nas condições de habitat para peixes e outros animais.

Sendo assim, neste trabalho, é apresentada a aplicação do SWAT como ferramenta de gestão de bacias hidrográficas a fim de se obter um controle adequado do meio ambiente no que diz respeito à prevenção do assoreamento.

Como estudo de caso, tem-se o rio São José dos Dourados, localizado no Estado de São Paulo. Este é um rio de grande extensão, cuja bacia hidrográfica é caracterizada por regiões urbanizadas e com grandes áreas de pecuária e agricultura. Devido às rotações de cultura com presença de solos expostos e à urbanização, têm-se a importância de se estudar os sedimentos produzidos, visto que, segundo o IPT (2008), a bacia em questão é caracterizada por ser um local com alta susceptibilidade a erosões.

A foz do rio São José dos Dourados localiza-se no reservatório da UHE de Ilha Solteira. Ou seja, a contribuição/aporte de sedimentos do rio São José dos Dourados têm como destino final o reservatório de Ilha Solteira. Reservatórios são locais com maior tendência ao assoreamento devido à baixa velocidade de fluxo da água, e o assoreamento pode trazer vários problemas às usinas hidrelétricas, tais como abrasão de turbinas e redução de vida útil do reservatório.

O diagnóstico da produção de sedimentos obtido pelo SWAT na Bacia do rio São José dos Dourados é proveitoso para manejo ambiental de sua bacia hidrográfica a fim de serem estabelecidas medidas de controle de erosões. Deste modo, também será evitada o abreviamento da vida útil do reservatório da UHE de Ilha Solteira.

O presente estudo visa apresentar a viabilidade de se utilizar o SWAT como uma ferramenta de gestão ambiental e de recursos hídricos. A razão pela qual se justifica seu uso é que o SWAT pode trazer uma série de informações muito grandes, para diferentes aplicações. As informações por ele obtidas traspassam limitações geográficas pelo fato de ser uma ferramenta remota, e ultrapassam, também, limites temporais - sendo possível fazer análises de cenários futuros.

Salienta-se que o estudo vem ao encontro da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas – ONU para o desenvolvimento sustentável do planeta, por meio dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). No Apêndice deste trabalho, tem-se a contribuição do presente projeto para o cumprimento da Agenda 2030.

2. OBJETIVO

Apresentar a aplicação do modelo computacional SWAT como ferramenta de gestão de bacia hidrográfica a ser utilizada pelos gestores de recursos hídricos para análises ambientais, dentre as quais para a simulação da produção de sedimentos. Adicionalmente, realizar, por meio do SWAT, o estudo hidrossedimentológico para a Bacia Hidrográfica do Rio São José dos Dourados, cujo exutório é no reservatório da UHE de Ilha Solteira.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS DO PONTO DE VISTA CONTROLE DE SEDIMENTOS

A Lei Federal 9.433/1997, dentre outras finalidades, instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH). Cabe ao SINGREH, entre outras incumbências, coordenar a gestão integrada das águas, planejar, regular e controlar o seu uso.

O capítulo III, Art. 3º, incisos I a IV, da referida Lei (BRASIL, 1997) descreve sobre a gestão das águas. Para que se faça uma gestão adequada dos recursos hídricos, deve-se manter um monitoramento não só de sua quantidade, mas também de sua qualidade. Neste aspecto, o controle dos sedimentos deve ser realizado para que seja assegurada a qualidade das águas dos rios.

Segundo o Guia de Práticas Sedimentométricas (CARVALHO et al., 2000b), os sedimentos não são somente um dos maiores poluentes da água, mas também servem como catalisadores, carreadores e como agentes fixadores para outros agentes poluidores. O sedimento sozinho degrada a qualidade da água para consumo humano, para recreação, para o consumo industrial, infraestruturas hidrelétricas e vida aquática. Dessa forma, as partículas de sedimento agem como um potencializador dos problemas causados por pesticidas, agentes químicos, resíduos tóxicos, nutrientes, bactérias patogênicas, vírus, etc.

Além de serem poluidores em potencial, os sedimentos, ao se depositarem no fundo dos rios, causam o assoreamento. O assoreamento é um processo de sedimentação das partículas em suspensão que são transportadas por um rio. Rios em trechos de alta velocidade tendem a erodir o seu leito e margens, enquanto que nos trechos de baixa velocidade – como reservatórios, por exemplo – tende a ocorrer a sedimentação e o assoreamento.

A gestão adequada do meio ambiente com vista ao controle de sedimentos é prevista por lei. Dentre as disposições preliminares da Lei Estadual Nº 7.663, artigo 3º, inciso V (SÃO PAULO, 1991), tem-se a premissa de combater e prevenir as causas e os efeitos da erosão do solo e o assoreamento dos corpos d'água. Assim como, dentre as diretrizes política da referida Lei (Art. 4º, inciso VII), tem-se a prevenção da erosão do solo nas áreas urbanas e rurais, com vista à proteção contra o assoreamento dos corpos d'água.

Segundo Carvalho (2014), o desequilíbrio no aporte de sedimentos é prejudicial ao meio ambiente, a projetos e operações de obras hidráulicas, bem como à conservação do solo e da água. No Brasil, o seu estudo tem grande relevância por conta das interferências antrópicas, causando diversos problemas pela erosão, transporte de sedimentos nos rios e depósito em locais indesejáveis, gerando o assoreamento.

O assoreamento de um rio não represado traz a mudança de seu talvegue com a diminuição de seu volume útil e, conseqüentemente, este se torna mais propenso ao transbordamento e inundações das comunidades

ribeirinhas. Tem-se, também, prejuízo quanto à navegabilidade devido à formação de bancos de areias e redução da vida aquática devido à alteração do habitat dos animais aquáticos.

Quanto aos rios represados, a sedimentologia fluvial, com ênfase na análise de erosões e assoreamentos em reservatórios, são estudos de extrema importância, visto que, segundo Carvalho (2008), no Brasil, a perda anual de volume dos reservatórios é de aproximadamente 0,5% devido ao assoreamento.

Levando-se em consideração o assoreamento em reservatórios, tem-se a Resolução Conjunta Nº 3 de 10 de agosto de 2010 da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL e da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA. Essa estabelece as condições e os procedimentos a serem observados pelos concessionários e autorizados de geração de energia hidrelétrica para a instalação, operação e manutenção de estações hidrométricas visando ao monitoramento pluviométrico, limnimétrico, fluviométrico, sedimentométrico e de qualidade da água associado a aproveitamentos hidrelétricos.

Em se tratando de monitoramento sedimentométrico, o parágrafo 4º da referida resolução diz respeito ao conjunto de ações e equipamentos destinados ao levantamento de dados de sedimentos em suspensão e de fundo, que permitam quantificar a descarga sólida total.

O acompanhamento do transporte de sedimentos em um rio, por meio de medições feitas nos postos de monitoramento fluviossedimentométricos, é de suma importância que ocorra. A medição da descarga sólida deve existir para um melhor acompanhamento e diagnóstico das condições do corpo hídrico em questão. No entanto, no Brasil, a quantidade de postos de monitoramento é pequena, dificultando a gestão de recursos hídricos por não se ter conhecimento da situação de diversos rios brasileiros.

Muitas vezes, quantificar os sedimentos *in loco* é inviável por questões de localização do rio, ausência de investimentos financeiros e carência de pessoal qualificado. Dessa maneira, justifica-se que os gestores de bacia hidrográfica devem também investir em modelos computacionais que quantifiquem os sedimentos de modo remoto, ou seja, afastado, distanciado.

Segundo Santos (2018a), os modelos computacionais distribuídos (a exemplo do *software* a ser utilizado no presente trabalho) de bacias hidrográficas descrevem os processos hidrológicos que ocorrem na bacia e têm o potencial de reproduzir fluxos de água e de contaminantes que variam no espaço-tempo para diferentes condições climáticas e ambientes hidrológicos. Desta maneira, tem-se uma importante ferramenta para os gestores de recursos hídricos que precisam antever as condições futuras e tomar decisões para diferentes cenários.

Além do fato de as modelagens serem capazes de quantificar a carga de sedimentos de uma bacia hidrográfica, outra razão pela qual a gestão de recursos hídricos pode-se beneficiar de modelagens computacionais é devido ao fato de ser possível simular diferentes cenários. Devido a diversas e possíveis hipóteses de alteração do uso e ocupação do solo, pode-se obter o impacto tanto na vazão quanto na produção de sedimentos frente a essas mudanças. As diferentes respostas obtidas por diferentes coberturas do solo são uma ferramenta para predizer cenários, a fim de conjecturar o impacto causado e garantir um adequado manejo da bacia.

Conforme exposto, quantificar os sedimentos transportados por um rio, seja por medições *in loco* ou por modelagens computacionais, é um insumo para melhor gestão ambiental e dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica e também para evitar o avanço do processo de assoreamento em reservatórios.

3.2. REDE HIDROMETEOROLÓGICA NACIONAL (RHN) E OS POSTOS SEDIMENTOMÉTRICOS

Segundo exposto em Evolução da Rede Hidrometeorológica Nacional - RHN (ANA, 2007), como forma de se obter uma gestão adequada das águas, o governo federal, entre 1900 a 1920, incorporou o monitoramento das águas como serviço federal. Após este período, o monitoramento pertenceu a entidades como: Comissão de Estudos de Forças Hidráulicas em 1920, DNPM (Departamento Nacional da Produção Mineral) em 1934, DNAE (Departamento Nacional de Águas e Energia) em 1965, DNAEE (Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica) em 1968 e CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais) em 1969. Foi então que, no ano 2000, o monitoramento da

Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN) passou a ser responsabilidade da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA, por meio da Superintendência de Administração da Rede Hidrometeorológica – SAR.

Segundo o Portal Hidroweb (ANA, 2019), a RHN é um sistema que hoje abriga 4.641 pontos de monitoramento no país divididos em estações que monitoram parâmetros relacionados aos rios (1.874) - como níveis, vazões, qualidade da água e transporte de sedimentos, e outros que monitoram principalmente as chuvas (2.767).

Ainda segundo o portal Hidroweb (ANA, 2019), as estações hidrometeorológicas são operadas por entidades parceiras ou contratadas pela ANA, que é a responsável pelo planejamento, normatização de procedimentos e equipamentos, fiscalização, organização dos dados hidrometeorológicos e sua publicação.

Neste contexto, uma empresa responsável por uma Usina Hidrelétrica, por exemplo, pode ser responsável pelo monitoramento hidrossedimentológico de um rio onde o empreendimento encontra-se instalado, ou de um rio afluente a este reservatório. É o caso, por exemplo, da empresa Chinesa CTG (China Three Gorges) que opera as estações de código (ANA) 60927000, 60955000, 60975000 e 60975000 para o monitoramento hidrossedimentológico da UHE Ilha Solteira.

Além da ANA e de empresas privadas, pode-se citar como responsáveis pela operação da Rede (RHN), o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e o Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo (DAEE/SP) - para o estado de São Paulo, entre outros (ANA, 2019).

Instalar e operar um posto de medição exige investimentos financeiros e disposição de pessoal técnico para operar e realizar a manutenção. Por essa razão, apesar da vasta rede de postos de medição hidrometeorológicos espalhados pelo Brasil, destaca-se a carência em locais com mais dificuldades de acesso e impedimento financeiro.

O Guia de Orientações para Operação das Estações Hidrométricas (ANA, 2012) apresenta algumas condições mínimas para a operação de um posto hidrométrico. Expõe que deve haver manutenção preventiva e corretiva das estações convencionais e automáticas, de tal forma que todos os equipamentos de medição estejam em pleno funcionamento. Além disso, o Guia cita que a equipe de campo responsável pela coleta das leituras nos postos deve ser composta por um hidrometrista com pleno conhecimento sobre instalações e manutenções de estações hidrométricas, um técnico com conhecimento de eletrônica e informática e um motorista, além da equipe de escritório que deve dar suporte à equipe de campo.

Segundo Santos (2018a), devido ao alto custo, é difícil de manter o monitoramento de bacias hidrográficas de forma contínua e por um longo prazo, especialmente aqueles em que é difícil automatizar a medição, como é o caso da produção e transporte de sedimentos e alguns parâmetros da qualidade de água.

Tratando-se especificamente das medições sedimentométricas, segundo Yuqian (1989) citado por Carvalho (2008), essas devem ser realizadas em cursos d'água de regime natural quanto em rio com regimes modificados por obras hidráulicas, devendo ser medidas a carga sólida em suspensão e a carga do leito. Postos devem ser instalados especialmente em bacias ou regiões sujeitas a fortes erosões ou a precipitações intensas.

“Os postos sedimentométricos serão instalados nos mesmos locais dos postos fluviométricos. Numa determinada bacia, os postos deverão ser instalados nos cursos d'água que apresentarem maior transporte de sedimentos.” (CARVALHO, 2008, p. 84).

Devido ao fato de o posto sedimentométrico ter que ser instalado onde já existe um posto fluviométrico, o nome deste local passa a ser posto fluviossedimentométrico. Este necessita de uma operação regular e cuidadosa e que envolva vários profissionais.

Conforme afirma Santos (2018a), devido a lacunas de dados em redes de monitoramento incipientes ou mesmo inexistente, compreender e avaliar os processos naturais que ocorrem uma bacia hidrográfica são desafios contínuos para os profissionais que atuam na área.

Neste aspecto, em locais onde instalar postos de medições e quantificar o transporte de sedimentos é inviável por questões financeiras, de acesso ou de pessoal capacitado, modelos computacionais visam suprir essa necessidade, dando algum insumo de informações sedimentológicas e das condições da bacia hidrográfica de modo remoto, ou seja, distante.

3.3. SEDIMENTOS

3.3.1. Processos de Erosão, Transporte e Depósito de Sedimentos

Sedimento é a partícula derivada da fragmentação da rocha, ou de materiais biológicos, por processo físico ou químico, e que é transportada pela água ou pelo vento do lugar de origem aos rios e aos locais de deposição; é o material sólido em suspensão na água ou depositado no leito. (CARVALHO, 2008).

Os sedimentos ocupam lugar de destaque na gestão das bacias hidrográficas, seja desde sua origem da fragmentação das rochas, até seu transporte e decorrente deposição.

Uma das maneiras de se conduzir uma boa gestão das águas de uma bacia é conhecer a origem dos sedimentos, quais são os locais da bacia em que mais os produzem, o uso do solo que, predominantemente, ocorrem as erosões e as propriedades desse material.

Lelis et al. (2012, p. 624) afirmam que “a gestão ambiental eficiente dos recursos naturais de uma bacia hidrográfica passa pelo entendimento dos processos que se relacionam direta ou indiretamente com o processo erosivo”.

Segundo Santos (2018a), a identificação das fontes de sedimentos pode fornecer um entendimento e uma avaliação do impacto do uso e manejo do solo nos processos hidrossedimentológicos, e assim contribuir para a qualidade ambiental da bacia hidrográfica e para conservação e preservação dos recursos hídricos.

Os sedimentos são originados pela desagregação do solo – erosão. Esse é um processo tão antigo quanto a própria Terra, sendo oriundo de fenômenos naturais que agem continuamente na crosta terrestre, como ocorrência normal do processo de modificação desta e constituindo processo benéfico para a formação do próprio solo (PRUSKI, 2006).

No entanto, apesar de ser oriundo de um fenômeno natural, segundo o Guia de Práticas Sedimentométricas (CARVALHO et al., 2010b), as atividades humanas introduzem uma profunda influência na erosão. Sob determinadas circunstâncias, as taxas de erosão são 100 vezes maiores com a interferência humana do que seria apenas considerando-se em termos geológicos. A erodibilidade do material natural recebe forte interferência de perturbações na estrutura do solo por tratamento inadequado, seja em práticas agrícolas ou em uso para obras de engenharia.

Devido à influência da interferência humana no processo de erosão, como citado, deve-se estudar as mudanças que ocorrem no uso e ocupação dos solos, as práticas agrícolas e o uso que se faz no solo, a intensidade das chuvas que causam mais ou menos erosões, o tipo de solo e sua facilidade em se fragmentar, entre outros enfoques.

A erosão é um tanto mais intensa quanto menor for a proteção do solo, visto que a partícula solta é deslocada de sua posição e é transportada pelas enxurradas para os cursos d'água. Exemplo de solo exposto tem-se quando há a rotação de culturas na agricultura, desgaste da cobertura vegetal nas pastagens e quando há o desmatamento. Segundo Defersha e Melesse (2012), em estudo de monitoramento realizado na bacia hidrográfica do Rio Mara, no Quênia, a alteração do uso do solo de pastagens para solo exposto aumentou a produção de sedimentos em 177,4%.

Pruski (2006), em seu livro sobre controle de erosões hídricas, descreve que, em ambientes tropicais, a erosão hídrica assume importância muito maior do que a eólica. O processo inicia-se com a precipitação, cujas gotas já têm energia suficiente para quebrar agregados do solo ou iniciar o selamento superficial deste. Caso a intensidade de precipitação exceda a de infiltração,

gera-se o principal componente do processo erosivo: o escoamento superficial. Este promove o transporte das partículas do solo, que, posteriormente, sofrem deposição.

A erosão, o transporte de sedimento nos cursos d'água, o depósito e a compactação desses sedimentos devem ser objetos de estudo quando se trata do assoreamento (CARVALHO, 2008).

Conforme Tucci et al. (1997) o transporte ocorre, principalmente, conforme dois tipos de deslocamentos: por rolamento (no fundo, pelas partículas mais pesadas) e por saltos curtos e deslizamentos (partículas menores).

Carvalho (2008) aponta que o deslocamento e o transporte de sedimento dependem da forma, tamanho, peso da partícula e das forças exercidas pela ação do escoamento. A deposição ocorre quando essas forças se reduzem e não podem mais continuar a deslocar a partícula. Esse depósito pode ser transitório ou permanente, caso seja permanente, ocorre o processo do assoreamento.

3.3.2. Equação Universal de Perda dos Solos Modificada (MUSLE)

A Equação Universal de Perda de Solos Modificada (MUSLE) é o meio pelo qual o *software* SWAT – a ser utilizado neste trabalho - emprega para estimar a produção de sedimentos.

Para quantificar a perda de solos em uma bacia hidrográfica e se conhecer a Equação Universal de Perda de Solos Modificada (MUSLE), deve-se, inicialmente, conhecer a equação que a gerou, a Equação Universal de Perda dos Solos, conhecida como USLE. Esta tem como finalidade o cálculo da erosão em termos médios anuais e foi desenvolvida por Wischmeier e Smith em 1965 (WISHEMEIER e SMITH, 1965).

A USLE foi o aperfeiçoamento de estudos anteriores já realizados com base em interpretações analíticas de solo e água em várias regiões dos EUA. Neste estudo, foram incluídas na equação melhorias tais como: índice de erosão de chuva; método de avaliar os efeitos do manejo de uma cultura com vistas às condições climáticas locais; um fator quantitativo de erodibilidade do solo;

método que leva em conta os efeitos de interpretações de certas variáveis, tais como nível de produtividade, sequência de culturas e manejo dos resíduos (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2010 citado por GONÇALVES, 2014).

No entanto, o modelo USLE não considera diretamente o escoamento superficial e as erosões causadas decorrentes deste escoamento. E então, por conta das limitações, a USLE sofreu várias modificações, dando origem a modelos como a MUSLE. Neste, o índice de erosividade da chuva é substituído por informações do hidrograma produzido por uma chuva isolada, originando como resultado o aporte de sedimentos no exutório da bacia por evento pluviométrico (CHAVES, 1996 citado por ADRIOLO, 2008).

Asce (1970), Williams (1975), Sadeghi et al. (2004b), Hrisanthou 2005, Williams (1975) e Williams e Berndt (1977) desenvolveram uma versão modificada do USLE (MUSLE) para derivar um modelo de estimativa de produção de sedimentos com base nas características do escoamento, como o melhor indicador único para previsão de produção de sedimentos (citado por SADEGHI; MIZUYAMA; VANGAH, 2006). Essa equação de USLE modificada é chamada de MUSLE - Equação Universal de Perda dos Solos Modificada.

Conforme Sadeghi, Mizuyama e Vangah (2007) relatam, atualmente, apenas o modelo de MUSLE é aplicado na previsão de produção de sedimentos oriundos de tempestades. Isso se deve à falta adequada de dados sobre chuvas, geometria do canal e a hidráulica dos fluxos, que em outros casos são requeridas. O modelo de MUSLE, portanto, otimiza os parâmetros do modelo hidrológico a fim de estimar a produção de sedimentos.

O *software* SWAT utilizado neste trabalho, emprega a Equação Universal de Perda de Solos Modificada (MUSLE) para estimar a produção de sedimentos. Tem-se, portanto, a importância de identificar e entender cada parâmetro que rege a presente equação.

Segundo Williams (1975) e exposto também por Andriolo et al. (2008) e Silva, Henrique e Cazé (2018), a equação que define o aporte de sedimentos no exutório de uma determinada bacia hidrográfica e em um dado evento, é dada de acordo com a Equação 1 a seguir.

A formulação MUSLE difere da USLE no que se refere ao termo R, segundo apresentado na Equação 2. Na equação modificada, o termo R contém informações relativas à expectativa de escoamento superficial da água “runoff” (WILLIAMS, 1975; PINTO, 1994).

$$P_{sed} = R.K.C.P.LS.CFRG \quad (1)$$

$$R = 11,8.(Q_{surf}.Q_{peak}.Área_{HRU})^{0,56} \quad (2)$$

Portanto, inserindo os parâmetros da Equação 2 na Equação 1, tem-se que:

$$P_{sed} = 11,8.(Q_{surf}.Q_{peak}.Área_{HRU})^{0,56}.K.C.P.LS.CFRG \quad (3)$$

As definições dos parâmetros das três equações supracitadas são apresentados a seguir.

- R – erosividade da chuva;
- P_{sed} - produção de sedimentos em toneladas (t);
- Q_{surf} - volume do escoamento superficial em milímetros por hectare (mm/ha);
- Q_{peak} - pico de escoamento superficial em metros cúbicos por segundo (m³/s);
- $Área_{HRU}$ - área da unidade de resposta hidrológica, em hectare (ha);
- K - fator erodibilidade do solo;
- C - fator de uso e manejo do solo;
- P - fator de práticas conservacionistas;
- LS - fator de topografia; e
- $CFRG$ – fator que considera o afloramento de rocha na área (fator de aspereza).

Os parâmetros apresentados são determinados por outras equações, conforme apresentado no livro Conservação do Solo, de Bertoni e Lombardi (2010). Como exemplo, tem-se o “ Q_{peak} ”, que depende do “C” (coeficiente de escoamento superficial), do “i” – intensidade da chuva para o tempo de concentração da bacia, e do “A” (área de drenagem da bacia).

De um modo geral, MUSLE depende de fatores topográficos, geológicos e hidrológicos. Estes parâmetros foram determinados neste trabalho por meio de pesquisas em entidades públicas, como EMBRAPA - no Sistema de Informações de Solos Brasileiros -, IBGE (Mapa de Solos), ANA (Hidroweb para os dados climáticos), em publicações em artigos, revistas e congressos e livros disponíveis na literatura.

Salienta-se que o MUSLE foi aplicado no SWAT em todas as HRU (Unidade de Resposta Hidrológica) geradas. Desta maneira, foi gerado um somatório da contribuição de sedimentos gerados pelas HRUs que formam a sub-bacia que são transportados e propagados pelo canal de drenagem até o exutório final da área de estudo (FERNANDES, 2015).

3.3.3. Descarga Sólida Total - Sedimentos de Fundo e em Suspensão

Os sedimentos oriundos da erosão e transportados até um curso hídrico, podem ser de suspensão ou de fundo. A soma dos sedimentos em suspensão e de fundo (depositadas no leito) consistem nos sedimentos totais de um rio.

A descarga sólida total, segundo apresentado no glossário de termos do Guia de Práticas Sedimentométricas (CARVALHO et al., 2000b), é a quantidade de sedimento (de suspensão ou de fundo - leito) que é transportada passando em uma seção transversal de um curso d'água numa unidade de tempo.

Segundo Carvalho et al. (2010b), o conhecimento da descarga sólida é necessário para análises de degradação de uma bacia, verificação da qualidade d'água para abastecimento, estudos de assoreamento de rios e reservatórios, estudos de assoreamento na posição de obras fluviais, bem como para diversas outras pesquisas ambientais e de engenharia.

A fim de se determinar em campo a medição da descarga sólida, necessita-se a medida da descarga líquida (vazão), amostragem do sedimento em suspensão, amostragem de material do leito, medida da temperatura da água, medida da declividade do gradiente energético da linha d'água, conforme exposto por Carvalho et al. (2000b, pg. 6).

Comumente, a descarga sólida é determinada por meio de trabalhos em campo, com coleta de sedimentos e medição de descarga líquida (vazão). No presente trabalho, a descarga sólida total foi determinada por modelagem computacional no exutório da bacia do São José dos Dourados, cujo aporte é no reservatório de Ilha Solteira, estado de São Paulo.

3.4. ASSOREAMENTO DOS RIOS

3.4.1. Causas

A alteração no uso e ocupação do solo é, em sua maior parte, a retirada de cobertura vegetal e sua impermeabilização, causando a ampliação do escoamento superficial direto. O escoamento das águas superficiais causa as erosões.

Tem-se, também, a retirada da cobertura vegetal com consequente aumento da área de solos expostos, promovendo uma maior susceptibilidade deste a erosões.

Destaca-se que a erosão é um elemento potencializador do assoreamento visto que as partículas retiradas do solo por meio da erosão são carregadas e depositadas nos rios por meio das chuvas. Destaca-se que os casos de assoreamento têm se multiplicado com o aumento da erosão nas bacias hidrográficas (CARVALHO et al., 2000a).

A cobertura vegetal, principalmente as matas ciliares (Áreas de Preservação Permanente – APP), retardam o processo de assoreamento visto que essas “retêm” os sedimentos que seriam levados ao fundo dos rios por meio do escoamento pluvial. Logo, a retirada dessas, além de deixar o solo exposto estando este susceptível a erosões, permite que os sedimentos sejam carregados para os rios.

As APPs de margens de rios, uma vez desmatadas, degradadas e/ou indevidamente ocupadas, perdem a proteção conferida pela vegetação ciliar, ficando sujeitas aos efeitos de desbarrancamentos e deslizamentos de solo ou rochas e o consequente carreamento de sedimentos para o leito dos rios, promovendo seu assoreamento (MMA, 2011).

O planejamento territorial em escala de bacia hidrográfica pode assegurar a aplicação das melhores de uso e ocupação do solo para controlar os processos erosivos e a produção de sedimentos que atingem os cursos d'água, e, desta forma, contribuir para a conservação da qualidade dos recursos naturais (SANTOS, 2018b).

3.4.2. Assoreamento de Reservatórios

A redução da correnteza é um dos principais impactos devido ao estabelecimento de um reservatório com a construção de uma barragem (CUNHA et al., 2013), resultando em maior tendência à deposição de sedimentos, e, conseqüentemente, no assoreamento.

No reservatório formado, há a perda gradual da capacidade de armazenamento devido à retenção de sedimentos afluentes. Com essa redução de armazenamento, nos reservatórios de acumulação, há prejuízos para o abastecimento devido à diminuição do volume de água disponível, além de ocorrer uma possível alteração na qualidade da água, acarretando em desequilíbrios ecológicos e afetando a qualidade da água para consumo humano. Quando se trata de reservatórios de geração energética, tem-se uma redução no potencial de geração, podendo ocasionar no fim da operacionalidade do reservatório, abreviando sua vida útil.

Sob o ponto de vista sedimentológico, a vida útil do reservatório cessa quando o assoreamento passa a prejudicar a operação do aproveitamento hidrelétrico. A problemática pode acarretar na perda da capacidade do reservatório, e conseqüentemente, a geração de energia elétrica (ELETROBRAS, 2003).

3.5. MÉTODOS DE CALCULAR OS SEDIMENTOS

3.5.1. Hidrometria – Serviços de Campo

Os postos sedimentométricos têm como finalidade medir os sedimentos em suspensão.

Os ensaios em campo são, muitas vezes, de difícil execução pela dificuldade no acesso ao local dos ensaios ou devido ao seu elevado custo financeiro - em detrimento a modelagens computacionais.

Como um mecanismo preventivo e de identificação das condições de transporte e aporte de sedimentos em um reservatório, têm-se os estudos sedimentométricos. Estes são essenciais para determinar a quantidade e a caracterização de sedimentos transportados pelos cursos d'água. A carga sólida medida se refere à argila, silte e areia transportada, não incluindo pedregulhos e pedras e matacões.

Destaca-se que, segundo Carvalho et al. (2000a), estudos sedimentológicos devem ser realizados em todas as fases do aproveitamento, desde o planejamento (inventário, viabilidade e projeto básico) até a fase de operação.

Segundo o Guia de Práticas Sedimentométricas (CARVALHO et al., 2000b) norteia, a sedimentometria pode ser realizada por amostragem de sedimento, análise no laboratório, obtenção da curva granulométrica do material do leito e cálculos de obtenção da descarga sólida. Os trabalhos de sedimentometria são sempre efetuados no posto fluviométrico, sendo necessário o conhecimento de medidas como o nível d'água, a velocidade da corrente, a descarga líquida e outros.

Destaca-se que, com base nos estudos e monitoramentos sedimentométricos, conforme preconizado pela Resolução Conjunta Nº 3 - ANA /ANEEL (2010), buscam-se insumos pertinentes para a tomada de decisões em caráter preventivo.

A formação de uma base de dados sedimentométricos demanda planejamento, investimentos financeiros e de profissionais, como técnicos e engenheiros para administrar um posto hidrossedimentométrico. Neste contexto, em locais onde não é possível a instalação de um posto, ou que ainda não se encontram no planejamento da Rede Hidrometeorológica Nacional da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA, propõe-se que estudos remotos, com base em dados públicos, possam suprir a carência de informações.

3.5.2. Modelagem Computacional

Outro método de calcular os sedimentos é por meio de modelagens computacionais, como o SWAT – abordado e utilizado no presente trabalho.

A modelagem computacional pode ser uma importante ferramenta para este cálculo visto que simula, com elevada precisão – caso tenha sido calibrado, dados como a perda de solos e a vazão. Pode-se, portanto, simular quais áreas da bacia mais contribuem para a produção de sedimentos, de modo a fornecer informações que subsidiem planos de manejo e gestão de bacias.

Destaca-se, no entanto, que esta ferramenta não é totalmente independente de dados de campo, visto que, quanto mais informações coletadas em campo e quanto maior for a precisão dos dados de entrada adotados para simular o projeto, mais preciso e calibrado será o modelo.

3.6. SIG

3.6.1. Informações Gerais

O Sistema de Informação Geográfica – SIG – é o conjunto de programas (*softwares*), equipamentos (*hardware*), metodologias (procedimentos), dados e pessoas (usuário), perfeitamente integrados, de forma a tornar possível a coleta, o armazenamento, o processamento e a análise de dados georreferenciados, bem como a produção de informação derivada de sua aplicação (TEIXEIRA, 1995).

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) são ferramentas capazes de manipular as funções que representam os processos ambientais em diversas regiões de modo eficiente, economizando recursos e tempo. Com SIGs, torna-se possível a interação de dados de diversas fontes (imagens de satélite, modelos de elevação digital, mapas topográficos, mapas de solos, mapas de uso de solo, hidrografia, etc.) e em diferentes escalas. Os resultados finais geralmente são apresentados sob a forma de mapas temáticos com as informações desejadas (FERRIGO, 2011).

O presente trabalho utiliza o SIG para seu desenvolvimento em todas as etapas. Inicialmente, por meio dos equipamentos (hardwares) para aquisição de imagens de sensoriamento remoto e também para aquisição de imagens de satélite. Posteriormente, utiliza o programa (*software*) como o ArcGIS, a fim de manipular e tratar essas imagens (metodologias e procedimentos). O ArcGIS é também a interface do SWAT nesta pesquisa.

3.6.2. SWAT

3.6.2.1 Conceitos Gerais

O SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) é um *software* de domínio público, com suporte técnico no Texas, Estados Unidos da América. Foi desenvolvido conjuntamente pelo USDA Agricultural Research Service e pela Texas A&M AgriLife Research.

Sua popularização deve-se a possibilidade de integração do modelo com um Sistema de Informações Geográficas (SIG), o que permite uma maior facilidade na manipulação dos dados de entrada e de saída do modelo (SILVA et al., 2017).

O SWAT é um modelo hidrológico semidistribuído, ou seja, sua análise é feita em um pequeno nível de unidade, denominado de HRU (Unidade de Resposta Hidrológica) e integra os resultados em um nível de sub-bacias (SANTOS, 2018a). Essa divisão em sub-bacias, segundo Adriolo et. al. (2008), reflete as diferenças de tipo de solo, cobertura vegetal, topografia e uso do solo.

Conforme afirmam Adriolo et al. (2008), o SWAT tem como característica a base física, ou seja, o modelo incorpora equações que descrevem a relação entre as variáveis do sistema. Dessa maneira, o *software* modela processos físicos associados com movimento da água e de sedimentos, crescimento da vegetação, ciclagem de nutriente e a qualidade da água.

Com o SWAT pode-se prever cenários futuros de produção de sedimentos e também comparar com cenários passados, em uma determinada bacia hidrográfica. No entanto, segundo Santos (2018a), a capacidade de previsão de um modelo matemático depende da sua estrutura, da disponibilidade e qualidade de dados de entrada, bem como dos valores atribuídos aos parâmetros do modelo e que têm que ser estimados.

Almeida (2016) relata que, embora modelagens hidrológicas como o SWAT sejam facilitadoras da gestão de recursos hídricos, existe um entrave no desenvolvimento de modelos para as condições brasileiras devido à escassez de dados existentes. Por essa razão, uma base de dados endofoclimáticas (relativas ao clima e ao solo) consistentes, auxiliam na acurácia dos resultados.

Santos et al. (2018b) concluíram que, mesmo em locais com dados limitados para inserção no modelo – caso da bacia do rio Apeú, o modelo SWAT demonstrou que foi possível delinear a sua área e simular os componentes do balanço hídrico, em especial a vazão.

Salienta-se que uma maneira de reduzir as incertezas do modelo, é adotar um tempo T de anos no momento de executar o programa, chamado também de período de aquecimento. Segundo Sarmiento (2010), o propósito do período de aquecimento é isolar o período inicial de simulação – no qual as condições iniciais ainda não estão estabelecidas, e com isso reduzir o erro sistemático nas estimativas estatísticas. Neste período, portanto, os dados resultantes da modelagem não são considerados devido à transiência das condições iniciais.

O SWAT é composto por um conjunto de equações que representam de forma simplificada o movimento da água, sedimentos e nutrientes em um sistema natural, razão pela qual deve ser calibrado e validado a partir de dados observados (BLAINKI, 2017). No entanto, segundo Bressiani et al. (2015) apesar da grande quantidade de trabalhos que têm sido publicados a respeito do SWAT, a principal dificuldade para realizar a calibração e a validação de modelos é a ausência de séries de dados medidos nas bacias modeladas.

Em suma, o modelo denominado SWAT, segundo Junior (2014) afirma, é uma integração entre SIGs e modelagem hidrológica, o qual, por meio da interface ArcSWAT integrada ao SIG ArcGIS, executa análises espaciais e simulações de cenários temporais sobre aspectos quantitativos e qualitativos de bacias hidrográficas.

Pelo fato de poder serem obtidos dados ambientais referentes à bacia hidrográfica de estudo, o *software* mostra-se uma importante ferramenta de gestão. Segundo Fernandes (2015), o SWAT pode ajudar no desenvolvimento de políticas públicas pois pode ser utilizado para prever variáveis relativas ao transporte e acúmulo de sedimentos, quantidade de água no solo, níveis de reservatórios e informar acerca do crescimento das pastagens com diferentes hipóteses sobre quantidades de chuva, em anos de seca.

Destaca-se que modelos como o SWAT podem servir para avaliar os impactos de alterações da ocupação e do uso do solo e das práticas de conservação do solo na vazão e na qualidade de água, de tal modo que as entidades responsáveis pela gestão da água possam utilizar esses modelos de bacias hidrográficas (SANTOS, 2018a).

Segundo Silva, Chaves e Camelo (2011), modelos hidrossedimentológicos utilizados na gestão ambiental de bacias hidrográficas não monitoradas estão em constante aperfeiçoamento, buscando maior facilidade de aplicação e melhor acurácia.

Nesta lógica, um gestor que, à distância, almeja conhecer, identificar, qualificar e quantificar as condições de uma bacia hidrográfica sob vários aspectos – dentre eles o sedimentológico, pode-se utilizar de ferramentas computacionais, como o SWAT, visto que em muitas microbacias não são monitoradas, a modelagem hidrológica torna-se uma importante ferramenta de gestão.

Santos et al. (2018b) concluíram que o modelo SWAT tem se intensificado em estudos de rios brasileiros visto que há muitos afluentes existentes sem monitoramento devido às dificuldades de acesso a esses rios e pela falta de interesses em aplicar recursos voltados ao seu monitoramento.

3.6.2.2 Análise de Sensibilidade e Calibração

O SWAT divide a calibração em componentes do balanço hídrico, sedimento, nutrientes, pesticidas. Para que aconteça a calibração, é necessário ter valores reais de campo, sendo os principais dados de vazão – descarga líquida. Para o caso de calibração de sedimentos, deve-se ter dados de descarga sólida; para calibração de nutrientes, parâmetros relativos à qualidade da água.

A fim de se trabalhar com um modelo no SWAT, são necessários diversos parâmetros relativos ao solo e ao clima. Muitos deles, não se têm conhecimento preciso e são, por vezes, estimados, estando sujeito a erros de sensibilidade do operador, por exemplo.

Semelhante a isso, Lelis et al. (2012) afirmam que, devido à variabilidade espacial dos processos simulados pelo SWAT, muitos dos parâmetros de entrada podem não ser exatamente conhecidos. Dessa forma, a calibração é necessária para estimar esses valores ou reduzir sua incerteza, aumentando a confiabilidade dos resultados da modelagem.

Neste contexto, Sarmiento (2010) afirma que a calibração é o processo de modificação dos valores dos parâmetros, dentro de um aceitável intervalo, para obtenção de um modelo que replique condições previamente conhecidas do processo natural modelado.

A calibração pode ser realizada de maneira manual ou automática, com o auxílio do software SWAT-CUP. A calibração manual é mais trabalhosa pelo fato de ser necessário ir alterando individualmente cada parâmetro, até que o resultado da modelagem se aproxime dos dados observados. Já a calibração automática utiliza um algoritmo que ajusta os parâmetros. Veiga (2014) explana que a calibração automática se baseia no *Shuffled Complex Evolution Algorithm* da Universidade do Arizona (SCE-UA), em que as variáveis são otimizadas usando o critério de otimização global, tendo como referência os dados de entrada que compõem a calibração do modelo.

No entanto, a fim de calibrar o modelo, seja de modo automático ou manual, deve-se conhecer os parâmetros a fim de se ter sensibilidade para julgar os resultados obtidos. Alansi et al. (2009) afirmam que se deve compreender os parâmetros do modelo, verificar os vários componentes, tais como a razão chuva/escoamento, a evapotranspiração e contribuição do fluxo de base são importantes para garantir que os componentes principais sejam bem representados em uma bacia hidrográfica antes de iniciar uma calibração manual e automática.

Para o caso de ser realizada a calibração manual, conforme mencionado por Adriolo (2008), a calibração deve ser iniciada pelo escoamento, visto que esta é a parte básica do modelo e que controla os demais resultados da modelagem. Após essa etapa, pode-se iniciar a calibração de outras variáveis, tal como do sedimento.

A calibração da modelagem hidrossedimentológica do presente trabalho foi realizada de modo manual, pelo próprio *software* SWAT e com o auxílio do SWAT Calibration Helper, do desenvolvedor Sherestha (2017). O SWAT Calibration Helper é uma macro (VBA) em Excel que auxilia na comparação entre dados simulados e observados de vazão, apresentando gráficos ilustrativos e parâmetros estatísticos de correlação entre vazões.

Para a calibração da vazão utilizaram-se os dados de 3 postos fluviométricos; para a calibração dos sedimentos utilizou-se os dados de um posto fluviométrico. Esses postos foram apresentados no item 4.5.5 Dados Fluviométricos.

3.6.2.3 Aplicação em Bacias não Instrumentadas

As bacias hidrográficas não instrumentadas são aquelas que não possuem um monitoramento frequente das condições hidrológicas do rio. Muitas vezes, tem-se um monitoramento, mas com dados falhos, escassos e não confiáveis. Os dados de monitoramento são utilizados na etapa de abastecimento do SWAT com os dados de entrada e também na etapa de calibração do SWAT.

Quando os dados de entrada não são disponíveis devido à ausência de monitoramento, depara-se na questão de aplicação do modelo para outros países que não os Estados Unidos. O Brasil, por exemplo, possui dados públicos, mas que, por vezes, são escassos e incertos. Essa incerteza inicial pode dificultar a obtenção de bons valores iniciais na modelagem.

Quanto à ausência de dados para a calibração, sabe-se que o SWAT apresenta resultados mais refinados após ser submetido às análises de calibração e validação. No entanto, deve-se elucidar que o uso do SWAT não é restrito à calibração pós modelagem.

CAPRARIO et al. (2017) realizaram um estudo de escoamento superficial e produção de sedimentos, considerando o arraste de partículas do solo pelo impacto e escoamento da chuva durante um período pré-determinado. Concluíram que, apesar das restrições dos dados de entrada e da não calibração, o modelo demonstrou ser relativamente eficaz, pois permitiu relacionar dados topográficos, de uso e ocupação do solo e de tipos de solo com escoamento superficial e produção de sedimentos.

Para essas aplicações em que o modelo não poderá ser calibrado por escassez de dados, principalmente em aspectos qualitativos, o SWAT apresenta-se como uma boa ferramenta de uso.

É possível, por meio das simulações, identificar os locais com maiores produções de sedimentos e as características a eles associados, como topografia, tipos de solo, precipitação escoamento superficial, entre outros. Pode-se, também, analisar mudanças que ocorrem no escoamento superficial e na produção de sedimentos e de outras variáveis com a alteração do uso do solo, de uma cultura ou urbanização.

Silva e Christofaro (2016) concluem em sua pesquisa que o modelo demonstra potencial para auxílio na tomada de decisão, ao representar adequadamente o comportamento hídrico sazonal. Afirmam que, embora haja limitações nos dados de entradas, os resultados obtidos indicam potencial do uso do modelo SWAT e do SWAT-CUP área a gestão de recursos hídricos na região.

Segundo estudo realizado por Useika (2009), para reprodução de escoamentos superficiais a modelagem trouxe resultados satisfatórios, em contrapartida, para simulações de produção de sedimentos a ausência da calibração não trouxe um bom desempenho devido há superestimação dos resultados.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

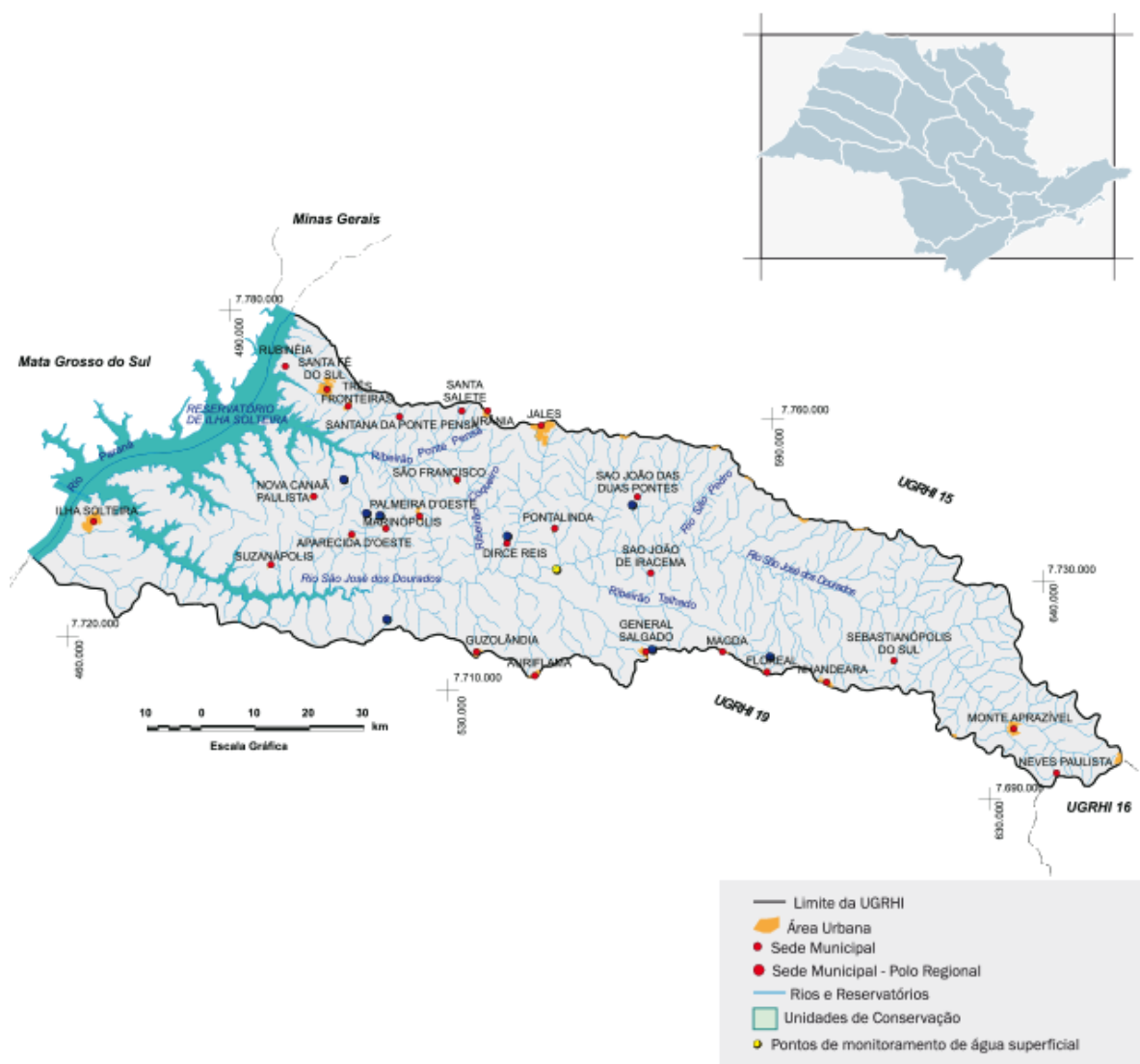
4.1. ÁREA DE ESTUDO

4.1.1. Localização

O local para o desenvolvimento do presente estudo de modelagem hidrossedimentológica é a Bacia Hidrográfica do rio São José dos Dourados (BH-SJD), localizada no noroeste do estado de São Paulo.

Destaca-se que a BH-SJD é parte principal integrante da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos, a UGRHI-18. A UGRHI-18 possui área de 6.805,20 km² (IPT, 2008) e encontra-se representada por meio da Figura 1.

Figura 1 – UGRHI 18



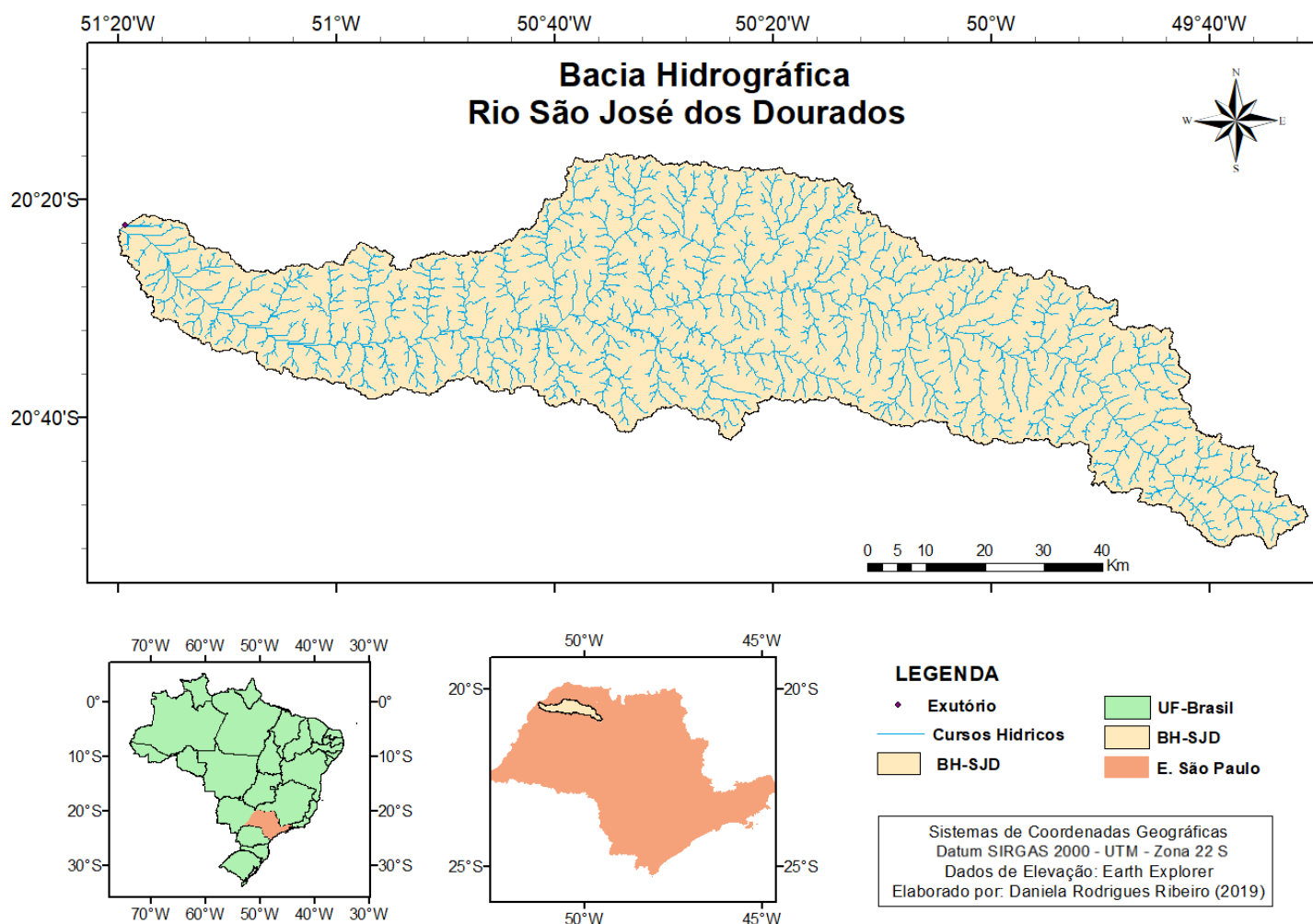
Fonte: SigRH (2019).

Segundo o IPT (2008, p. 41):

A Bacia Hidrográfica do Rio São José dos Dourados foi definida como a Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos 18 (UGRHI 18) pela Lei No 9.034/94, de 27.12.1994, que dispôs sobre o Plano Estadual de Recursos Hídricos para o biênio 1994/95. É constituída pelo Rio São José dos Dourados e seus tributários, além de porções de áreas drenadas diretamente para o Rio Paraná, situadas na porção oeste da Bacia.

A Bacia Hidrográfica do Rio São José dos Dourados (BH-SJD) foi traçada pelo autor e possui área aproximada de 5.161,44 km² e pode ser visualizada por meio da Figura 2.

Figura 2 – Bacia Hidrográfica do Rio São José dos Dourados



Fonte: Próprio autor (2019).

Pelo fato de a Bacia Hidrográfica do rio São José dos Dourados constituir parte majoritária da UGRHI-18, aproximadamente 78%, pode-se tomar informações gerais da UGRHI-18 para a presente bacia de estudo. Ou seja, os dados econômicos, ambientais, climáticos, físicos, geológicos e hidrográficos apresentados no Plano de Bacia Da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Rio São José Dos Dourados – UGRHI-18 (IPT, 2008) e na Atualização do Plano de Bacia da UGRHI-18 - São José dos Dourados (CBH-SJD, 2015) podem servir de referência para a bacia do Rio São José dos Dourados abordada neste trabalho.

Quanto aos municípios pertencentes à Bacia Hidrográfica do São José dos Dourados (BH-SJD), esses foram identificados por meio do shape de municípios brasileiros do estado de São Paulo, disponibilizado pelo site do IBGE (2019). Os municípios identificados são apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Municípios integrantes da Bacia Hidrográfica do Rio São José dos Dourados

Municípios do estado de São Paulo pertencentes a BH-SJD			
Aparecida D'Oeste	General Salgado	Monte Aprazível	São João das Duas Pontes
Auriflama	Guzolândia	Neves Paulista	São João de Iracema
Bálsamo	Ilha Solteira	Nhandeara	Sebastianópolis do Sul
Cosmorama	Jales	Palmeira D'Oeste;	Sud Mennucci
Dirce Reis	Magda	Pereira Barreto	Suzanápolis
Estrela D'Oeste	Marinópolis	Poloni	Tanabi
Fernandópolis	Meridiano	Pontalinda	Valentim Gentil
Floreal	Mirassol	São Francisco	Votuporanga

Fonte: Próprio autor (2019).

4.1.2. Caracterização Sedimentológica

A Bacia Hidrográfica do Rio São José dos Dourados foi escolhida para o presente estudo devido sua alta susceptibilidade a processos erosivos pois, segundo o IPT (2008, p. 34): “A UGRHI apresenta apenas 22.310 ha de vegetação natural remanescente, que representam 3,3% de sua superfície. Uma vinculação com essa deficiência é a erosão dos solos, constatando-se que a Bacia apresenta porções de muito alta suscetibilidade a processos erosivos em praticamente todo o seu território.”

O número de erosões ocorrentes na Bacia e a presença em todos os seus municípios permitem constatar que o problema é muito sério e que, provavelmente, são muito grandes os volumes de materiais que estão sendo depositados ou em contínuo transporte ao longo dos cursos d'água. (IPT, 2008).

A elevada taxa de crescimento da urbanização na Bacia do SJD também se constitui em uma problemática no que diz respeito ao aumento na produção de sedimentos. Segundo o CBH-SJD (2018), de 2007 a 2013 a UGRHI-18 apresentou uma taxa de crescimento da urbanização de 89,0%, sendo Jales de 94,1%, Ilha Solteira de 93,8% e Monte Aprazível de 91,8%. Ainda segundo o presente Plano de Bacia (CBH-SJD, 2018, p.26):

O conhecimento da evolução da taxa de urbanização é importante, uma vez que, a urbanização aumenta o desenvolvimento econômico e a competição pelos recursos naturais. A urbanização também aumenta as áreas impermeáveis e produção de sedimentos e resíduos sólidos que escoam para a drenagem, aumentando os riscos de poluição.

Outra razão por se ter escolhido essa região de estudo, é que ela contribui significativamente com a vazão afluente do reservatório de Ilha Solteira. E, segundo Yugian (1989) citado por Carvalho (2000a, p. 20), “os tributários que desaguam diretamente no lago que apresentem uma contribuição de sedimento maior que 10% do total afluente devem também ser monitorados”. Este estudo na bacia do São José dos Dourados visa, portanto, contribuir para a obtenção dessa informação quantitativa da sua afluência de sedimentos no reservatório.

Destaca-se que há um afluente/defluente artificial ao Rio São José dos Dourados, o Canal de Pereira Barreto. Este canal interliga os reservatórios da UHE de Três Irmãos - por meio do rio Tietê – e da UHE de Ilha Solteira, por meio do rio São José dos Dourados. A direção do fluxo deste canal flui para o sentido de menor cota de nível d'água, dependendo, portanto, das condições de afluência das duas bacias hidrográficas (do rio Tietê e do rio São José dos Dourados) e do nível do reservatório de Ilha Solteira (reservatório de regulação de vazão).

A contribuição dos sedimentos oriundos do rio Tietê que potencialmente poderiam passar pelo canal para o rio São José dos Dourados foi desconsiderada no presente trabalho. Esta exclusão se deu, primeiramente, por se tratarem de bacias hidrográficas distintas e, também, por não terem sido encontrados na literatura estudos neste nível de detalhamento de fluxo de sedimentos pelo canal.

4.2. RESERVATÓRIO DE ILHA SOLTEIRA

O reservatório de Ilha Solteira (Latitude 20°23' S, Longitude 51°21' O) é um dos maiores reservatórios do Brasil. Este reservatório é formado pelo barramento do Rio Paraná, para a geração energética da UHE Ilha Solteira (sexta maior do país em geração energética).

A montante do barramento, afluente pela margem esquerda deste reservatório, tem-se o Rio São José dos Dourados – objeto de estudo deste trabalho. A Figura 3 ilustra uma vista parcial do Reservatório da UHE de Ilha Solteira e a foz (exutório) do rio São José dos Dourados, na margem direita do reservatório.

Figura 3 – Reservatório da UHE de Ilha Solteira e Rio São José dos Dourados



Fonte: Google Earth (2019)

A importância de se estudar os sedimentos afluentes ao reservatório da UHE de Ilha Solteira se dá devido ao problema de assoreamento intrínseco a reservatórios, cujo o aumento acarreta na diminuição de sua vida útil.

4.3. SOFTWARES NECESSÁRIOS

Para desenvolver um projeto no software SWAT, este necessita de um *software* em SIG (Sistemas de Informações Geográficas) com interface em ArcGIS ou QGIS. Neste estudo, optou-se pelo ArcGIS.

Após instalar o ArcMap/ArcGis versão 10.3 (ArcGIS 10.3 for Desktop – Version 10.3.0.4322), instalou-se por meio do site <https://swat.tamu.edu/> o SWAT 2012, por meio da interface ArcSWAT versão 10.3 (compatível com a versão do ArcGIS).

Além dos *softwares* supracitados, há ferramentas que auxiliarão no desenvolvimento do projeto. Por exemplo, o formato de entrada no ArcSWAT no banco de dados é .txt, elaborado por meio de um bloco de notas. No entanto, o banco de dados (tanto de dados de solo como climáticos) pode ser organizado por meio do *Microsoft Access*, visto que este auxilia o usuário a inserir, processar e armazenar os dados a serem utilizados com o modelo SWAT.

4.4. SÍNTESE DE FUNCIONAMENTO DO SWAT

O funcionamento do SWAT segue etapas lógicas e sequenciais. Essas etapas são realizadas com a participação do usuário em todos os momentos em que se faz necessária a inserção de dados de entrada. A cada etapa, pode-se ir observando os resultados parciais, como por exemplo a delimitação da bacia hidrográfica, o número de sub-bacias e sua disposição dentro da bacia hidrográfica principal. Pode-se, também, verificar a divisão de cada Unidade de Resposta Hidrológica (HRU) e o relatório que contém a distribuição em área dos tipos de solo, do uso da terra e da declividade de cada HRU.

A etapa inicial conta com a delimitação automática da bacia por meio da inserção do Modelo Digital de Terreno (MDT). Então são definidos automaticamente os pontos de exutórios, sendo que esses podem ser editados pelo usuário. Caso existam reservatórios é nesta etapa que são locados. Salienta-se que o número de exutórios será o número de sub-bacias existentes na bacia hidrográfica principal.

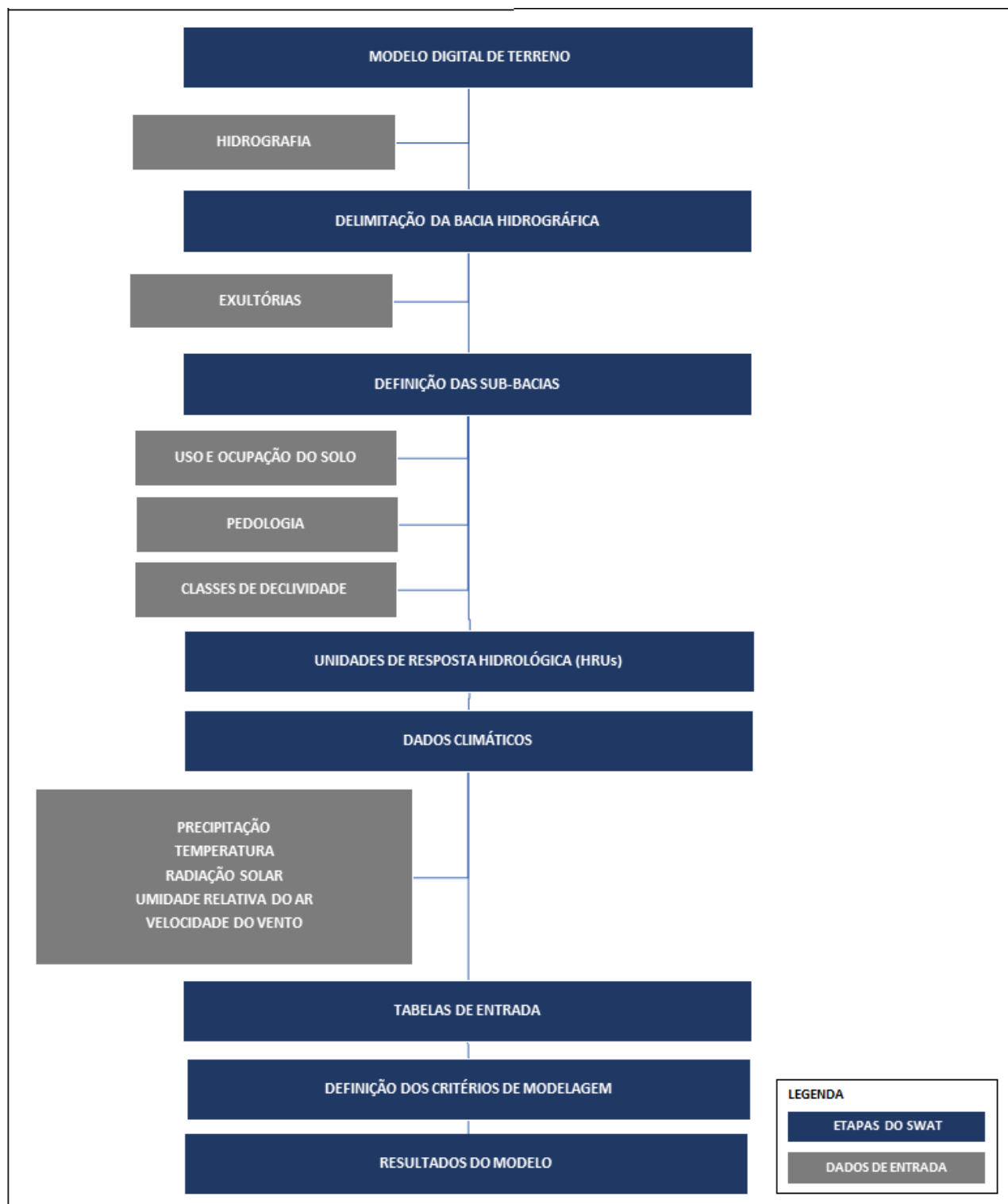
A etapa que se segue é a definição das HRUs (Unidades de Resposta Hidrológica) por meio da inserção dos tipos de solo, usos do solo e definição das declividades (*Land use* e *Soil and Slope Definition*). Segundo Srinivasan e Bressiani (2014), essa etapa permite que o usuário especifique essas entradas e, com base nesses dados de entrada, o SWAT divide a região estudada em HRU (Unidades de Resposta Hidrológica) em cada sub-bacia.

A etapa subsequente é onde se insere os dados climáticos por meio das estações de monitoramento que se têm disponíveis na bacia hidrográfica.

A etapa final envolve a definição dos critérios de modelagem, ou seja, quais anos a serem simulados e quais parâmetros se deseja obter para que, de fato, se inicie o processo de “rodar” o programa, a fim de se obter todos os resultados disponíveis. Estes resultados são quantitativos de parâmetros hidrológicos, sedimentológicos, ambientais e fitológicos.

O fluxograma a seguir, representado por meio da Figura 4, apresenta as etapas de execução de um projeto no SWAT e dos momentos em que são incluídos os diferentes dados de entrada.

Figura 4 – Etapas do modelo SWAT



Fonte: Próprio Autor (2020)

4.5. DADOS DE ENTRADA SWAT

4.5.1. Banco de Dados inicial

A fim de iniciar um novo projeto no ArcSWAT, necessita-se de um banco de dados inicial. Todos os dados de entrada necessários para iniciar o projeto do SWAT já vêm instalados no ArcSWAT. No entanto, trata-se de um banco de dados americano, com características fisiográficas distintas do Brasil; seja pelo clima temperado, pedologia, tipos de vegetação e agricultura distintas. Por essa razão, deve-se criar um banco de dados brasileiros, com características da bacia hidrográfica de estudo.

Como orientação para realizar essa etapa inicial de aquisição do banco de dados, Bressiani et al. (2015) explanam o modo pelo qual pode-se obter o banco de dados brasileiros, os desafios e perspectivas da aplicação do *software* no Brasil, com base em uma revisão de todos os trabalhos brasileiros publicados sobre o SWAT entre os anos de 1999 e 2015. Os autores apresentam os desafios de aplicar o SWAT no Brasil frente à vasta diversidade dos biomas, vegetações, fatores hidrológicos e climáticos.

De um modo geral, a fim de compor o banco de dados inicial para a montagem do projeto no SWAT, são necessários cinco tipos de dados distintos, sendo:

- 1) Dados de elevação – MDE (Modelo Digital de Elevação);
- 2) Mapa de Uso e Ocupação do Solo (dados de uso do solo);
- 3) Mapa pedológico (dados dos diferentes tipos de solo);
- 4) Dados de vazão; e
- 5) Dados climáticos.

Serão descritos nos tópicos subsequentes mais detalhadamente sobre cada um dos cinco itens supracitados e o modo pelo qual foram obtidos.

4.5.2. Modelo Digital de Elevação (MDE)

O Modelo Digital de Elevação (MDE) é uma superfície de elevação. É um modelo que representa parte da superfície da Terra levando em conta as altitudes do terreno.

A fim de traçar a bacia hidrográfica do rio São José dos Dourados, seriam necessárias imagens de sensoriamento remoto para gerar o MDE. Para essa escolha, tinham-se duas opções: imagens da SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) e imagens do ALOS/PALSAR - sensor PALSAR (Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar) a bordo do Satélite Japonês Advanced Land Observing Satellite – ALOS. Devido ao fato de o ALOS garantir uma melhor resolução (12,5 m) em detrimento do SRTM (90,0 m), optou-se pelo ALOS.

O uso de sensores de radar de abertura sintética (SAR), como os dados derivados do modelo digital de elevação (MDE) da SRTM e do sensor PALSAR superam as limitações dos sensores ópticos (BARRA ROCHA et al, 2017). Esses modelos permitem calcular diretamente volumes, áreas, desenhar perfis e seções transversais, gerar curvas de nível, declividade, perspectivas tridimensionais, modelos de sombreamento, dentre outras aplicações (INPE, 2017).

Para tanto, fez-se o cadastro no site <https://www.asf.alaska.edu/>. Este disponibiliza dados de sensores remotos, entre eles o Alos Palsar. Por meio da página da web, desenhou-se um polígono que equivaleria, aproximadamente, a bacia hidrográfica do SJD e baixou-se todas as imagens tipo *Hi-Res Terrain Corrected* no formato “TIF”.

4.5.3. Mapa de Uso e Ocupação do Solo da Bacia Hidrográfica do Rio São José dos Dourados

O Mapa de Uso e Ocupação do Solo da bacia de estudo é necessário como dado de entrada para a utilização do SWAT.

Para o mapa de entrada de uso e ocupação, tem-se a opção de buscá-lo pelo site do MapBiomass (www.mapbiomas.org), Embrapa e outras fontes.

Outra opção, é que o próprio pesquisador/usuário de SIG pode realizar a classificação do uso e ocupação do solo da bacia.

Neste presente trabalho, optou-se pela opção de obter o Mapa de Uso e Ocupação do Solo junto ao Projeto MapBiomias, segundo explanado a seguir:

O Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil é uma iniciativa que envolve uma rede colaborativa com especialistas nos biomas, usos da terra, sensoriamento remoto, SIG e ciência da computação que utiliza processamento em nuvem e classificadores automatizados desenvolvidos e operados a partir da plataforma *Google Earth Engine* para gerar uma série histórica de mapas anuais de cobertura e uso da terra do Brasil. (MapBiomias, 2020)

O MapBiomias é uma plataforma colaborativa, cujo trabalho vinculado é a instituições responsáveis por diversos biomas e possui parceria com o *Google Earth Engine*.

A escolha desta ferramenta se deu pelas imagens de elevada qualidade que podem ser baixadas. Pelo fato de o rio São José dos Dourados se encontrar em um bioma de Mata Atlântica, o MapBiomias utiliza como referência um levantamento realizado em 2013 pela Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS). Essas imagens possuem resolução espacial de 5,0 m e são extraídas do satélite *RapidEye*.

Para o caso de se adotar o método de classificação supervisionada, ter-se-iam, em média, 5 classes. Por exemplo, o IPT (2008) gerou quatro classes identificadas para a BH-SJD, registradas no Plano de Bacia do São José dos Dourados (IPT, 2008), sendo: Espelho D'Água, Vegetação Natural, Pastagens e Campos Antrópicos e Culturas Perene, Semiperenes e Temporárias.

Por outro lado, com a obtenção de mapas de uso do solo obtidas pelo Projeto MapBiomias, foram identificados 13 grupos distintos de uso e ocupação do solo, conferindo um maior nível de detalhamento para o estudo – a ser apresentado no item 5.3 Uso e Ocupação do Solo.

4.5.4. Dados Pedológicos

A fim de iniciar um novo projeto no ArcSWAT, necessita-se de um banco de solos brasileiros - da bacia hidrográfica de estudo (do rio São José dos Dourados). O SWAT já vem com um banco de dados instalado e inseridos no Microsoft Access (*Database – SWAT_US_Soils*), no entanto, como se trata de um programa norte americano, com características distintas de solo, necessita-se criar um banco de dados de solo brasileiro.

O início da construção da base de dados para o SWAT envolve o levantamento de dados de cada tipo de solo da bacia hidrográfica estudada. Para o Mapa de Solos da Bacia hidrográfica do rio São José dos Dourados, utilizou-se o “Mapa Pedológico do Estado de São Paulo: Revisado e Ampliado” de Márcio Rossi (SÃO PAULO, 2017).

Segundo o livro que acompanha o material, o mapa pedológico do Estado de São Paulo fornece elementos básicos para o direcionamento e adequação do uso da terra, permitindo a visualização de grandes áreas, abrangendo a distribuição espacial e a variação existente na população dos solos, o que define uma melhor interpretação quando de sua utilização (SÃO PAULO, 2017). Além do material explicativo do conteúdo, tem-se um *shapefile* da distribuição espacial de cada tipo de solo.

4.5.5. Dados Fluviométricos

Os dados de vazão foram utilizados na ocasião da calibração do modelo, em que se compara os valores de escoamento produzido pela precipitação no SWAT com os valores de vazão lidos pelos postos fluviométricos presentes na bacia hidrográfica.

Para a obtenção dos dados de vazão, foram selecionados postos fluviométricos por meio do portal do DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica), no Banco de Dados Hidrológicos (<http://www.hidrologia.daee.sp.gov.br/>). Salienta-se que se optou por utilizar os dados fluviométricos do DAEE em detrimento dos dados da ANA (Hidroweb), pelo fato de serem mais atualizados e completos.

Os dados de descarga sólida – sedimentos – também são apresentados pelos postos fluviométricos, caso esses façam a medição específica de sedimentos. Para o presente estudo, encontrou-se apenas um posto que possuía acompanhamento de sedimentos, sendo o posto de cód. ANA 62019700.

Os postos fluviométricos selecionados foram aqueles que se encontravam dentro da bacia do rio São José dos Dourados, conforme apresenta o Quadro 2. Destaca-se que os três postos apresentados possuem uma longa série histórica de dados, com registros superiores a 50 anos.

Quadro 2 – Postos Fluviométricos na Bacia Hidrográfica do São José dos Dourados

Nome	Código (DAEE)	Código (ANA)	Início das Leituras	Latitude (DD)	Longitude (DD)	Área (km ²)	Elevação (m)
UHE Ilha Solteira Fazenda Palmeirinha	7B-007	62019700	01/10/1969	-20,52	-50,59	3364,00	339,00
Nhandeara/Votuporanga	7B-006	62015500	01/01/1971	-20,54	-50,01	1287,00	411,00
Cabrito	6B-012	62015400	01/02/1993	-20,52	-50,00	39,40	438,00

* *Decimal Degree*, Grau Decimal.

Fonte: DAEE e ANA (2019). Organizado pelo autor.

4.5.6. Dados Climáticos

a) Estações Pluviométricas

Foram necessários dados climáticos da bacia hidrográfica do São José dos Dourados (SJD). Para os dados pluviométricos, foram identificados os postos pluviométricos existentes dentro da bacia hidrográfica do SJD por meio do portal do DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica), no Banco de Dados Hidrológicos (<http://www.hidrologia.dae.sp.gov.br/>). Salienta-se que utilizaram-se os dados do DAEE em detrimento dos dados disponibilizados pelo Hidroweb – ANA pelo fato de os do DAEE estarem mais atualizados.

A seleção dos postos pluviométricos da BH-SJD contabilizou nove postos pluviométricos cuja identificação e localização podem ser visualizadas por meio do Quadro 3. A locação em mapa desses postos de dados pluviométricos será apresentada juntamente com a locação das estações climáticas por meio da Figura 6.

Quadro 3 – Postos Pluviométricos na Bacia Hidrográfica do São José dos Dourados

Nome	Código (DAEE)	Início das Leituras	Latitude (DD*)	Longitude (DD*)	Elevação (m)
Votuporanga	B6-036	01/01/1965	-20.4397	-49.9775	513,00
Monte Aprazível	B6-039	31/12/1967	-20,77	-49,70	490,00
Sebastianópolis do Sul	B6-048	31/10/1969	-20,63	-49,95	479,00
Jales	B7-008	28/02/1959	-20,33	-50,55	440,00
Valentim Gentil	B7-011	28/02/1959	-20,43	-50,07	480,00
Pontalinda	B7-038	31/10/1969	-20,43	-50,53	396,00
Palmeira D'Oeste	B7-042	31/05/1970	-20,42	-50,77	430,00
Guzolândia	B7-053	31/01/1984	-20,65	-50,67	450,00
São Francisco	B7-055	30/04/1987	-20,57	-50,22	420,00

**Decimal Degree*, Grau Decimal.

Fonte: ANA (2019). Organizado pelo autor.

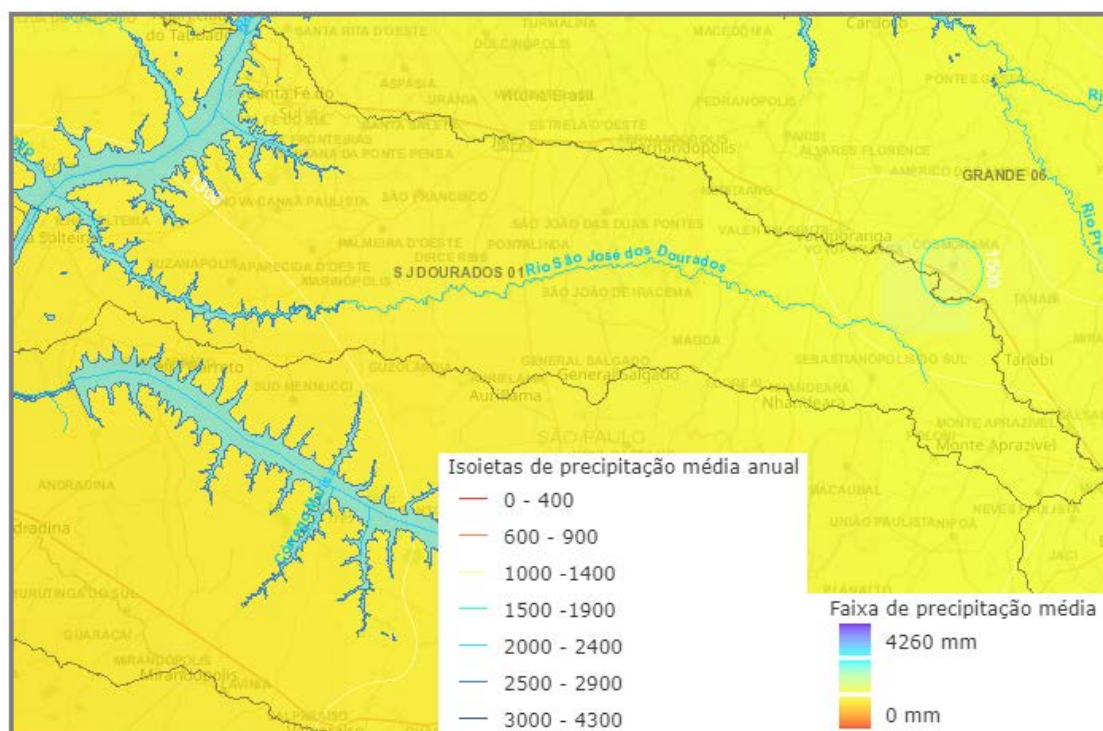
Os dados de precipitação correspondem a uma das principais entradas do modelo SWAT, a qual, por meio de sua interação com o ambiente modelado da bacia, será transformada em vazão (JUNIOR, 2014).

Segundo observa-se no trabalho de Alvares et al. (2013) que descreve a classificação climática proposta por Köppen com aplicação no Brasil, existe na Bacia do SJD um tipo climático, sendo:

- Clima Aw: tropical úmido com estiagem no inverno. O total de chuva no período seco é inferior a 30mm, a temperatura média no mês mais quente é superior a 22° C, e no mês mais frio superior a 18° C;

O regime de chuvas da BH-SJD, segundo o Portal do SNIRH (Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos) é de 1000 a 1400 mm, conforme observa-se por meio da Figura 5.

Figura 5 – Precipitação média anual na região da BH-SJD



Fonte: SNIRH (2021) – editado pelo autor.

Os dados pluviométricos obtidos por meio da seleção de postos tiveram suas falhas preenchidas. O preenchimento de falha foi o de Ponderação Regional. A equação de Preenchimento de Falhas por Ponderação Regional é descrita por Bertoni e Tucci (2007) e apresentada a seguir:

$$P_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{N_x}{N_i} P_i \quad \text{III}$$

Em que:

P_x = precipitação da estação a ter a falha na série preenchida (mm);

P_i = precipitação da estação vizinha de ordem “i” para o ano em que se verificou a falha (mm)

N_x e N_i = precipitações médias anuais das estações a ter a falha série preenchida e da vizinha de ordem “i”, respectivamente (mm); e

n = número de estações vizinhas.

Salienta-se que para os postos analisados considerou um $i = 3$. Ou seja, para cada posto pluviométrico, tomaram-se outros 3 postos próximos a este, e utilizaram os seus dados para fazer o preenchimento.

b) Estações Climáticas

As estações climáticas utilizadas neste trabalho foram obtidas por meio do Canal CLIMA da UNESP Ilha Solteira - Área de Hidráulica e Irrigação (<http://clima.feis.unesp.br/>). Essas estações contêm, além da precipitação, dados de radiação solar, umidade do ar, temperatura máxima e mínima e velocidade do vento.

Destaca-se que o manual de input/output do SWAT 2012 (ARNOLD et al., 2011) sugere que as extensões das séries históricas das variáveis climatológicas, que serão utilizadas para calcular os parâmetros do gerador climático, tenham no mínimo 20 anos.

A série histórica adotada para as simulações foi comum para todas as estações consideradas, tanto para as que continham somente dados de precipitação, quanto para as estações que contêm os demais parâmetros climatológicos. Adotou-se o período de dados de 6 de agosto de 1998 até 30 de setembro de 2019; sendo, portanto, um período de dados superior a 21 anos, cuja extensão é suficiente para gerar dados estatísticos com alto grau de confiabilidade.

As estações climatológicas consideradas para o presente são apresentadas no Quadro 4.

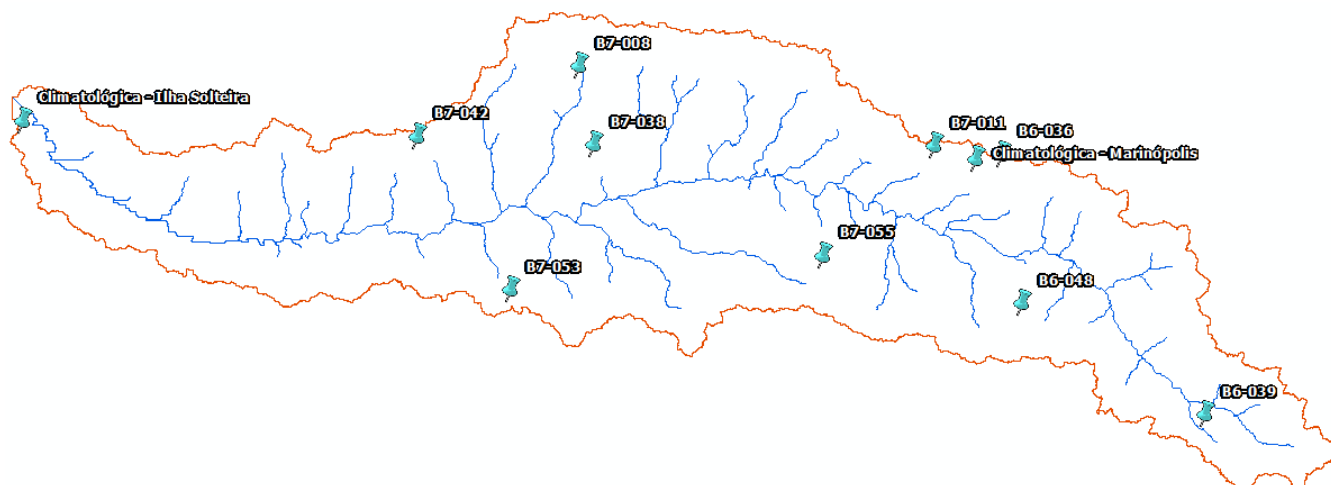
Quadro 4 – Estações Climatológicas da BH-SJD adotadas

Estação Climatológica	Início da Atividade	Latitude	Longitude	Elevação (m)
Ilha Solteira	20/08/1991	-20.4234	-51.3536	337,00
Marianópolis	06/08/1998	-20.4465	-50.0133	370,00

Fonte: Clima FEIS. Organizado pelo autor (2019).

A locação das estações pluviométricas e climáticas utilizadas neste trabalho pode ser visualizada por meio da Figura 6. Nota-se que a distribuição espacial das estações é adequada, com postos que abrangem praticamente toda a extensão da bacia, sendo capazes de gerarem informações representativas para a bacia do São José dos Dourados.

Figura 6 – Locação das estações pluviométricas e climáticas na BH-SJD

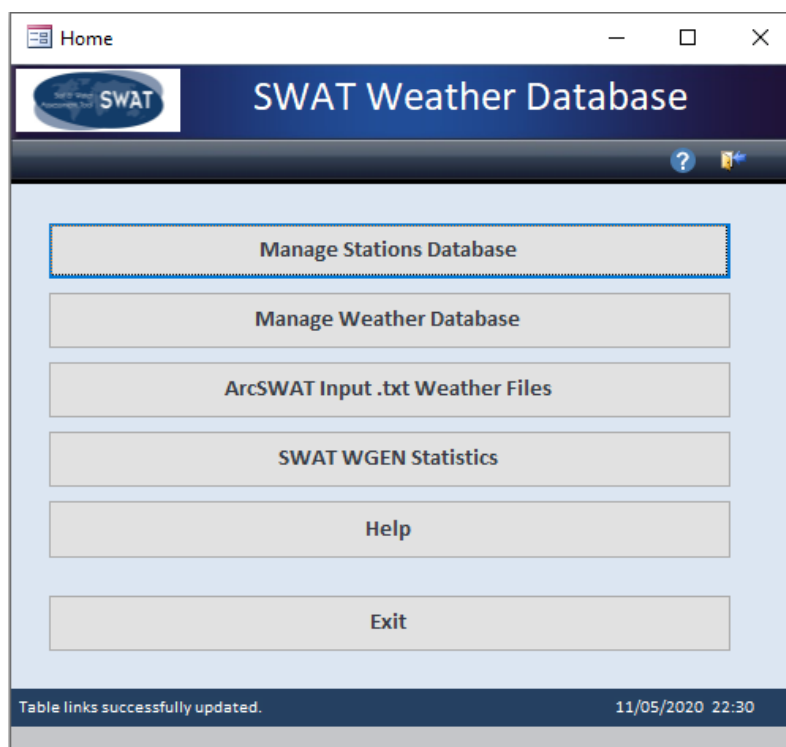


Fonte: Próprio Autor (2021).

O SWAT exige que pelo menos uma estação climática execute a função de gerador climático (WGN – *Weather Generator* ou WGEN – *SWAT Weather Database*), o qual possui uma série de dados estatísticos necessários para gerar dados climáticos representativos, não só a respeito da precipitação e da temperatura, mas também sobre a radiação solar, velocidade do vento e umidade relativa, para todas as sub-bacias do projeto (ARNOLD et al., 2012).

Para o presente trabalho, a ferramenta utilizada para a entrada de dados é o WGEN – *SWAT Weather Database*. O WGEN é uma macro com acesso em Access. Este software foi baixado pela plataforma do SWAT (<https://swat.tamu.edu/>) e sua apresentação (tela inicial do software) pode ser visualizada por meio da Figura 7.

Figura 7 – Tela de entrada do WGEN



Fonte: WGEN (2020).

As duas estações climatológicas supracitadas apresentam o histórico de dados das seguintes variáveis climáticas: Temperatura Mínima e Máxima (TMP), Umidade Relativa Média (HMD), Radiação Solar Global (SLR), Velocidade Média do Vento (WIND) e Pluviosidade (PCP). Essas variáveis são necessárias para a execução do WGEN.

A organização do banco de dados desses parâmetros climáticos supracitados foi realizada em Excel (formato .csv) para cada estação climática. O bloco de notas continha a identificação de cada estação (NAME), a latitude (LAT), longitude (LONG) e a elevação da estação (ELEVATION).

Para processar o WGEN, inseriu-se os dados preparados das duas estações climáticas e também dos nove postos pluviométricos presentes na bacia hidrográfica do rio São José dos Dourados. Salienta-se que os demais dados climáticos ausentes nas estações pluviométricas, foram obtidos por correlações com as duas estações climáticas que continham todos os dados climáticos de entrada.

Após a inserção dos dados climáticos completos e com o mesmo período de dados, o WGEN gerou características climáticas estatísticas. Esses parâmetros estatísticos obtidos pelo gerador climático foram obtidos mensalmente, portanto cada um dos itens varia de 1 a 12. Os parâmetros calculados, segundo o Guia do Usuário do SWAT (WINCHELL et al., 2013), são descritos por meio do Quadro 5 a seguir.

Quadro 5 – Parâmetros do Gerador Climático WGEN

Parâmetro	Descrição
TMPMX	Temperatura máxima média mensal (°C)
TMPMN	Temperatura mínima média mensal (°C)
TMPSTDMX	Desvio padrão da máxima temperatura mensal (°C)
TMPSTDMN	Desvio padrão da mínima temperatura mensal (°C)
PCPMM	Média da precipitação mensal (mm)
PCPSTD	Desvio padrão da precipitação diária no mês (mm)
PCPSKW	Coefficiente de assimetria para a precipitação diária no mês (%)
PR_W1_	Probabilidade de um dia chuvoso seguido de um dia seco no mês (%)
PR_W2_	Probabilidade de um dia chuvoso seguido de um dia chuvoso no mês (%)
PCPD	Média de dias com precipitação no mês
RAINHHMX	Máxima chuva em 0,5 h no mês (mm)
SOLARAV	Média de radiação solar diária no mês (MJ/m ² /dia)
DEWPT	Média de umidade relativa no mês (dec)
WNDVAV	Média da velocidade do vento (m/s)

Fonte: Winchell et al. (2013). Organizado pelo autor.

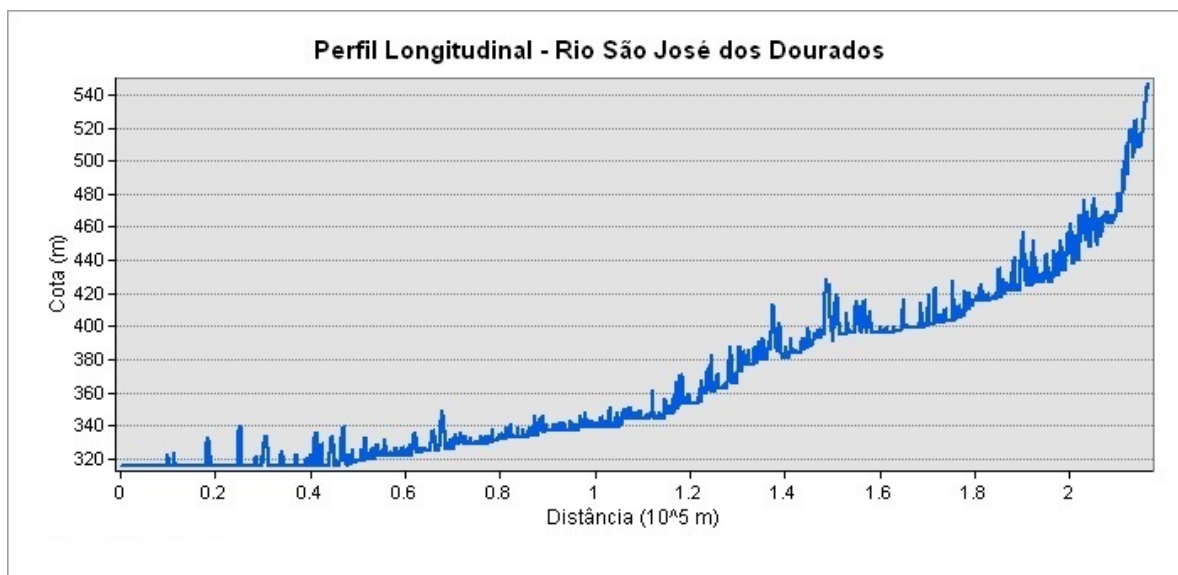
5. ESTUDO DE CASO

5.1. Descrição Geral

A Bacia Hidrográfica do Rio São José dos Dourados (BH-SJD) possui área aproximada de 5.161,44 km² e foi apresentada na Figura 2 do item 4.1.

A BH-SJD possui o rio principal com extensão aproximada de 220 km com elevação que varia de 310,00 m a 550,00 m. A declividade média do rio é de 0,1% e o perfil longitudinal do rio pode ser visualizado por meio da Figura 8. Nota-se, visualmente, que a maior declividade se encontra no alto curso do rio, local onde as velocidades de fluxo são mais altas e, portanto, maiores tendências a erosões do leito e margens.

Figura 8 - Perfil longitudinal do rio São José dos Dourados

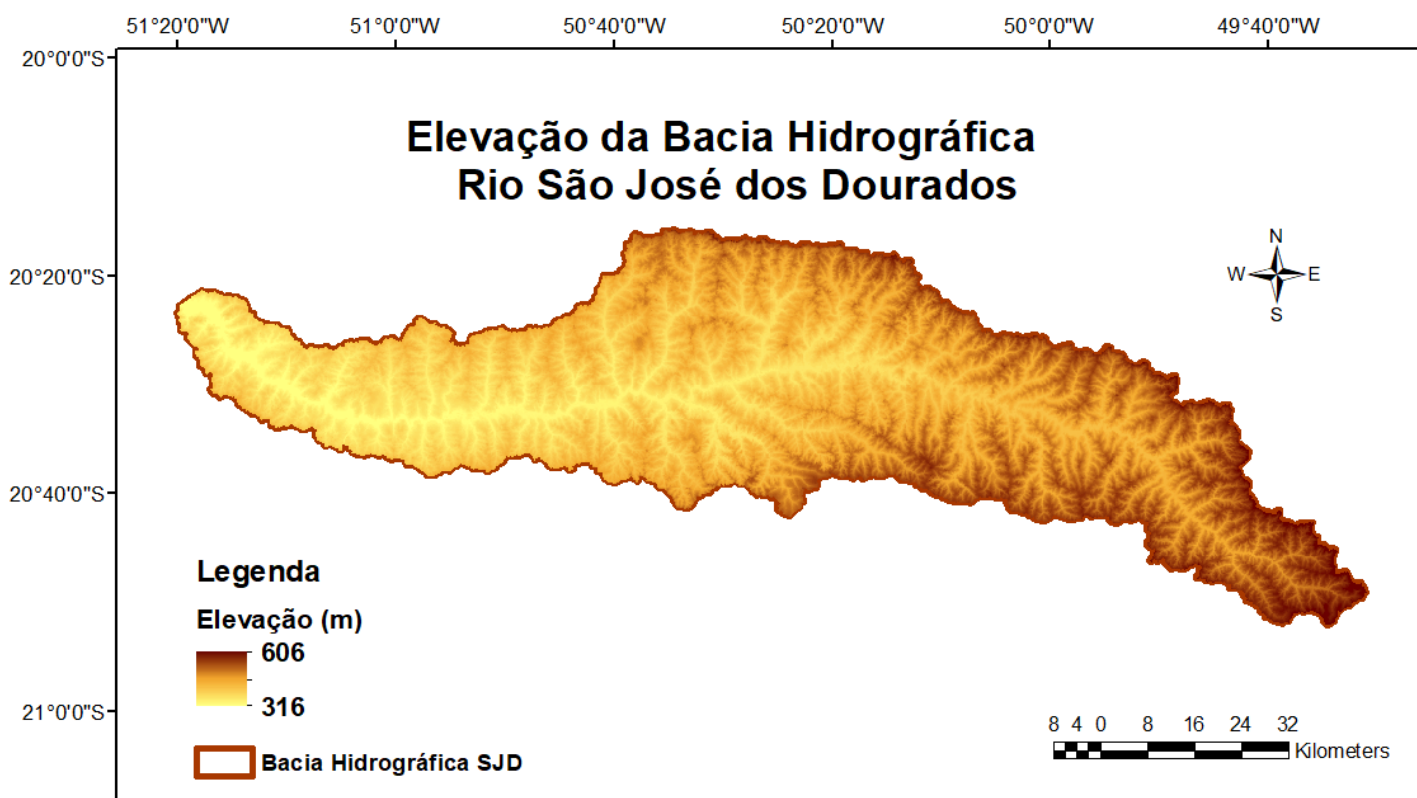


Fonte: Próprio autor (2021).

5.2. Dados de Elevação (MDE) e Delimitação Automática da Bacia Hidrográfica

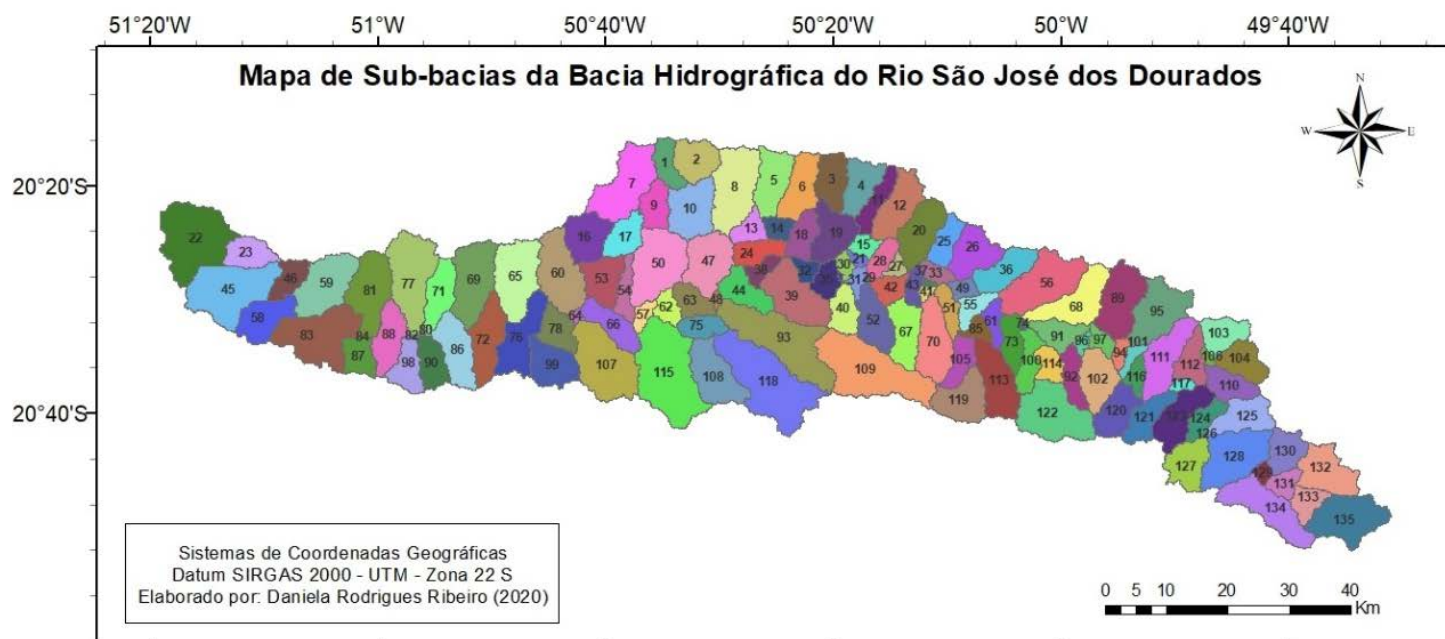
A inserção do MDE no ArcSWAT consiste na primeira etapa do projeto, a etapa de delimitação automática de bacia hidrográfica (*Watershed Delineation*), em que se define os exutórios (da bacia principal e das sub-bacias) e possíveis locais com presença de reservatórios. Dessa maneira, obteve-se a bacia hidrográfica do rio São José dos Dourados. A Figura 9 ilustra a bacia hidrográfica já delineada juntamente com informações de elevação do terreno. A Figura 10 apresenta a divisão em sub-bacias gerada.

Figura 9 – Elevação do Terreno na Bacia Hidrográfica do Rio São José dos Dourados



Fonte: Próprio autor (2019).

Figura 10 – Sub-bacias da Bacia Hidrográfica do Rio São José dos Dourados



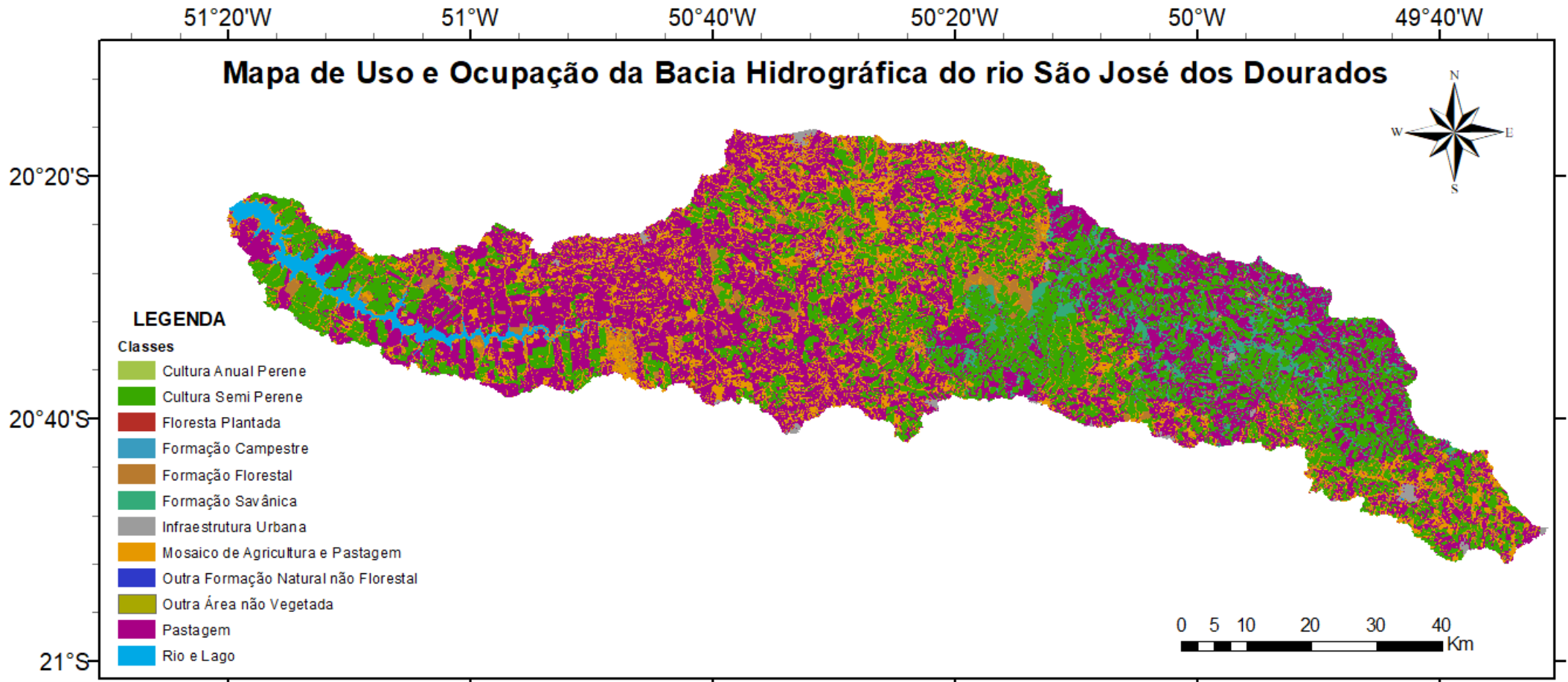
Fonte: Próprio autor (2020).

5.3. Uso e Ocupação do Solo

Por meio do Projeto MapBiomias, obteve-se o mapa de uso do solo para a bacia do SJD. Foram identificados 13 grupos distintos de uso e ocupação do solo com considerável nível de detalhamento para o estudo.

A Figura 11 apresenta os resultados obtidos com a classificação de Uso e Ocupação do Solo.

Figura 11 - Uso e Ocupação do Solo da Bacia do rio São José dos Dourados



Fonte: Próprio autor (2020).

Salienta-se que o SWAT necessita reconhecer as classes de uso e ocupação de solo inseridos no programa por meio de uma correlação com as classes já existentes no banco de dados do SWAT. Essa correlação cabe ao usuário do *software* e é executada no momento de inserir o mapa de uso do solo. A relação definida para o presente estudo foi a apresentada por meio do Quadro 6.

Quadro 6 – Correlação de classes de uso e ocupação do solo

USO SOLO (BH-SJD)	CORRESPONDÊNCIA (BANCO DE DADOS DO SWAT)
Pastagem	PAST – Pasture
Cultura Semiperene	SUGC – Sugar Cane
Mosaico de Agricultura e Pastagem	AGRL – Generic Agriculture
Formação Florestal	FRSE – Forest ever green
Formação Savânica	FRST – Forest mixed
Rios e Lagos	WATR - Water
Não Identificado	UIDO – Industrial
Infraestrutura Urbana	URBN – Urban
Formação Campestre	PEAS – Garden or canning peas
Floresta Plantada	EUCA – Eucalypt
Cultura Anual Perene	COFF – Coffee
Outra Formação Natural não Florestal	ORAN – Orange
Outra Área não Vegetada	URMD – Medium Density Urbanization

A Tabela 1 apresenta a contribuição, em porcentagem, de cada uma das classes de uso de solo para a BH-SJD, conforme apresentadas no mapa supracitado (Figura 11).

Tabela 1 – Classes de uso e ocupação do solo na Bacia do rio São José dos Dourados

CLASSES DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO – BH-SJD		
Classe	Área Contribuinte (Km²)	Área Contribuinte (%)
Pastagem	2066.832716	40.0437
Cultura Semiperene	1623.370421	31.451872
Mosaico de Agricultura e Pastagem	803.89	15.57
Formação Florestal	271.63	5.26
Formação Savânica	176.10	3.41
Rios e Lagos	97.02	1.88
Não Identificado	53.73	1.04
Infraestrutura Urbana	29.40	0.57
Formação Campestre	19.29	0.37
Floresta Plantada	8.59	0.17
Cultura Anual Perene	7.14	0.14
Outra Formação Natural não Florestal	2.98	0.06
Outra Área não Vegetada	1.45	0.03
TOTAL ACUMULADO	5161.43	100.00

Fonte: Próprio autor (2021).

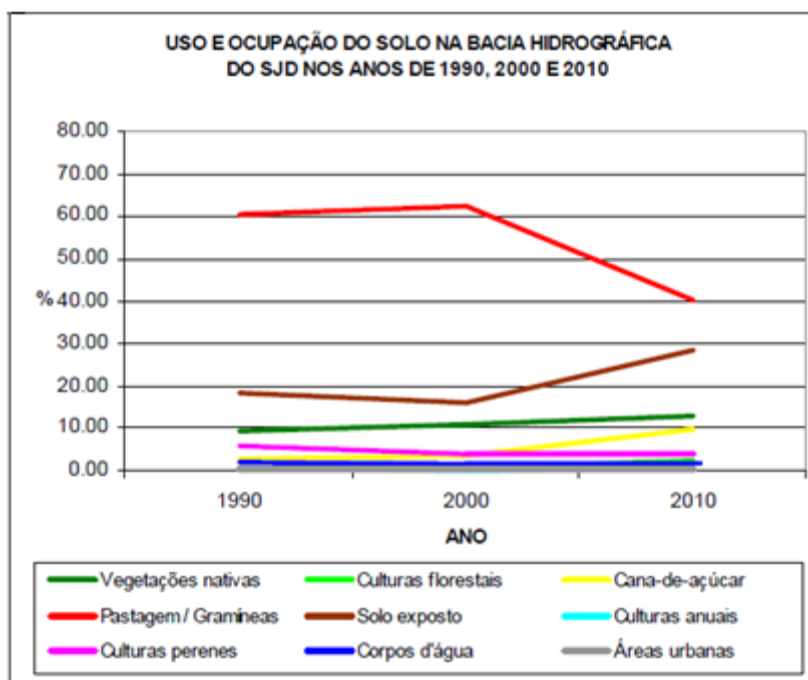
Observa-se uma maior contribuição de área de Pastagem (aproximadamente 40% do total da área da bacia do SJD), seguida por Cultura Semi Perene, representando 31,45 % do total. Como exemplos principais da cultura semiperene, têm-se a cana-de-açúcar, mandioca e banana.

A fim de controlar a erosão nessas culturas, deve-se investir em técnicas que aumentem a cobertura vegetal e a infiltração de água (controlar o tráfego, a compactação do solo etc.) e técnicas para controlar o escoamento superficial de água de enxurrada. Dentre as técnicas de controle do escoamento superficial destaca-se o terraceamento. O terraceamento é comumente utilizado na cultura semiperene da cana-de-açúcar.

Segundo publicado por São Paulo (2016), os terraços são constituídos de um canal e um dique de terra; esses controlam a erosão por meio da interceptação da enxurrada. Sua função é parcelar o comprimento da encosta ou da rampa, reduzindo o volume e a velocidade da enxurrada. Com isso, a desagregação e a quantidade de partículas individuais e agregados arrastada é menor, resultando em deposição dessas partículas na área entre terraços e redução no teor de sedimentos na água que escoar. A água de escoamento superficial é retida pelo terraço para infiltração e ou para condução segura para um leito de drenagem estável.

Segundo apresentado por Anselmo (2014), na bacia hidrográfica do rio São José dos Dourados, nas últimas décadas, tem ocorrido um decréscimo acentuado nas áreas de pastagens que têm cedido lugar ao aumento da classe de cana-de-açúcar, conforme se observa na Figura 12.

Figura 12 – Evolução das Classes de Uso e Ocupação do Solo



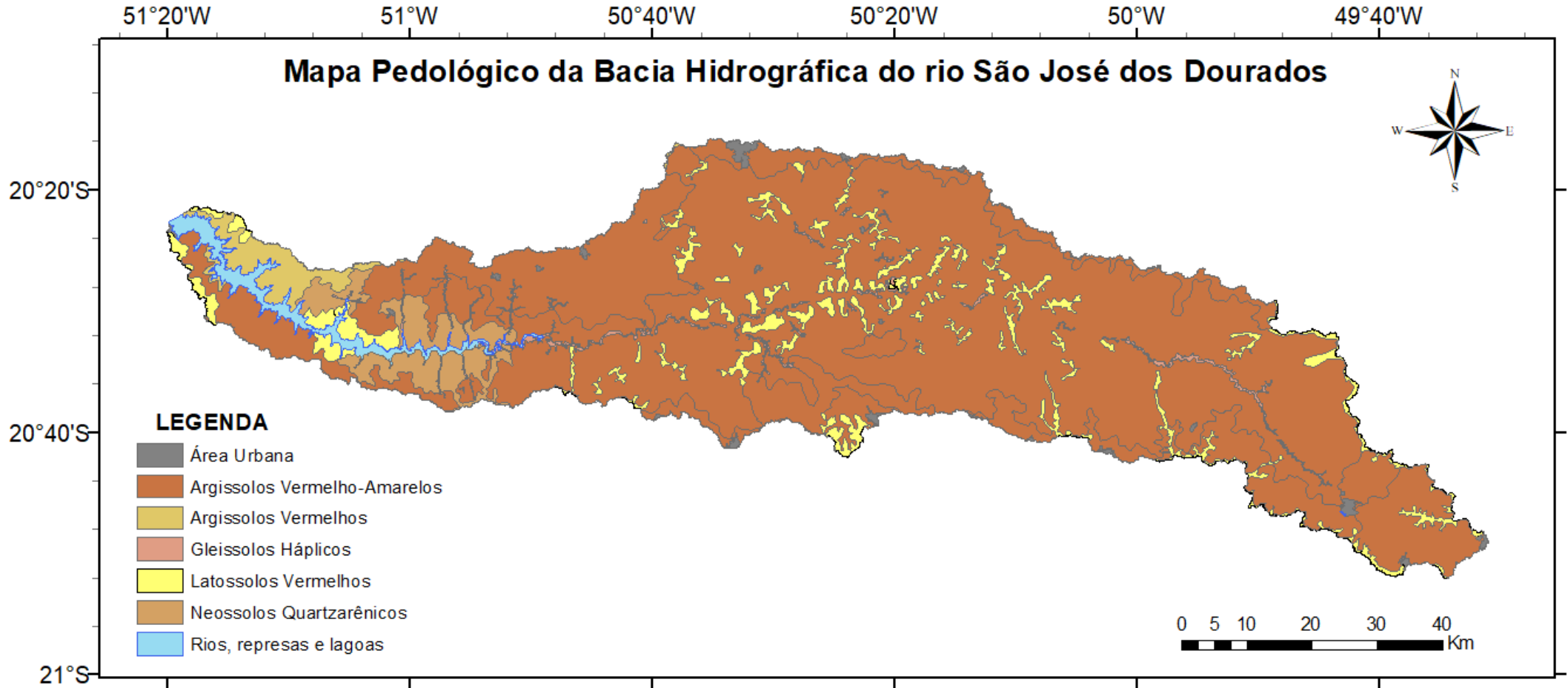
Fonte: ANSELMO (2014).

5.4. Pedologia

Conforme apresentado no item 4.5.4 Dados Pedológicos, para a obtenção do Mapa de Solos da Bacia hidrográfica do rio São José dos Dourados utilizou-se o “Mapa Pedológico do Estado de São Paulo: Revisado e Ampliado” de Márcio Rossi (SÃO PAULO, 2017).

O mapa de solos da bacia hidrográfica do rio São José dos Dourados resultante é apresentado conforme a Figura 13, e a Tabela 2 apresenta a contribuição em área e em porcentagem de cada um dos tipos de solo. Ressalta-se que para a elaboração do mapa optou-se por agrupar as subdivisões das subordens de solo; agrupou-se, por exemplo, o Argissolo Vermelho Amarelo (PVA 1, PVA 4 e PVA 10) com uma mesma representação em mapa.

Figura 13 – Mapa Pedológico da Bacia Hidrográfica do rio São José dos Dourados



Fonte: Próprio autor (2020).

Tabela 2 – Pedologia da Bacia do rio São José dos Dourados

PEDOLOGIA – BH-SJD				
Código	Subordem	Características	Área Contribuinte (Km ²)	% da Área da Bacia
PVA4	Argissolo Vermelho Amarelo	Associação de ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico típico A moderado + ARGISSOLO VERMELHO Distrófico e Eutrófico típico, ambos textura arenosa/média e média relevo suave ondulado.	3263.25	63.22
PVA1	Argissolo Vermelho Amarelo	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO ou VERMELHO Eutrófico arênico ou abruptico a moderado ou fraco textura arenosa/média, fase relevo suave ondulado e ondulado.	1012.44	19.62
LV21	Latossolo Vermelho	LATOSSOLO VERMELHO ou VERMELHO-AMARELO Distrófico típico A moderado ou fraco textura média álico ou não álico, fase relevo suave ondulado.	328.75	6.37
RQ3	Neossolo Quartzarênico	Associação de NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico, A moderado, álico + LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO/VERMELHO Distrófico típico, A moderado, textura média, ambos fase relevo ondulado e suave ondulado.	212.33	4.11
Água	Corpos d'água	-	135.25	2.62
PV4	Argissolo Vermelho	Associação de ARGISSOLO VERMELHO textura média/argilosa + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO textura arenosa/média, ambos Eutróficos típicos A moderado, fase relevo suave ondulado.	113.54	2.20
GX5	Gleissolo Háplicos	Complexo de GLEISSOLO HÁPLICO e NEOSSOLO FLÚVICO, ambos Distróficos típico A moderado ou proeminente textura indiscriminada, todos fase relevo plano.	52.01	1.01
LV20	Latossolo Vermelho	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, A moderado, textura argilosa ou muito argilosa, álico, relevo suave ondulado.	27.94	0.54
LV16	Latossolo Vermelho	Associação de LATOSSOLO VERMELHO Distro/Eutroférico típico, A moderado ou proeminente + LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, A moderado, álico, ambos textura argilosa ou muito argilosa, fase relevo ondulado e suave ondulado.	9.74	0.19
GX2	Gleissolo Háplicos	Complexo Indiscriminado de GLEISSOLO HÁPLICO ou MELÂNICO com ou sem ocorrência de ORGANOSSOLO, fase relevo plano.	6.18	0.12
PVA10	Argissolo Vermelho Amarelo	Associação de ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO ou VERMELHO Eutrófico abruptico léptico ou abruptico pouco profundo A moderado ou fraco textura arenosa/média + NEOSSOLO REGOLÍTICO Eutrófico léptico ou LITÓLICO, Psamíticos típicos ou eutrófico.	0.01	0.00
TOTAL ACUMULADO			5161.44	100.00

Fonte: Próprio autor (2019).

Nota-se predominância de Argissolos Vermelho Amarelo (PVA) na área da BH-SJD, contabilizando cerca de 83% da área. Este solo é caracterizado por ter a camada superior com 70% de areia (BALDISSERA, 2005). A areia, por ser um solo não coesivo, possui maior facilidade em desagregação quando submetido a precipitações intensas, fatores climáticos e topográficos desfavoráveis.

Este solo é bem drenado, possui uma porosidade total baixa e massa específica entre 1,32 a 1,63 g/cm³. Os argissolos originam-se de uma grande variedade de litologias. Os Eutróficos se relacionam tanto às litologias pré-cambrianas do Complexo Xingu, quanto aos arenitos (Formações Ponta Grossa, Aquidauana e Botucatu), aos siltitos (Formação Diamantino) e sedimentos recentes (Formação Pantanal) (BALDISSERA, 2005).

A Bacia Hidrográfica do Rio São Jose dos Dourados acha-se inserida inteiramente na Província do Planalto Ocidental Paulista. Esse Planalto corresponde aos derrames basálticos (Formação Serra Geral) que cobrem as unidades sedimentares do final do ciclo de deposição da Bacia do Paraná e as coberturas sedimentares que, por sua vez, foram depositadas na Bacia Bauru e correspondem aos grupos Caiuá (Formação Santo Anastácio) e Bauru (formações Vale do Rio do Peixe e São José do Rio Preto), que ocorrem acima desses basaltos. (CBH-SJD, 2018).

Para cada tipo de solo, deve-se pesquisar valores de parâmetros. Essas informações alimentarão o banco de dados do Microsoft Access, que será inserido no ArcSWAT. Os parâmetros pedológicos de cada solo pesquisados são apresentados por meio do Quadro 7.

Quadro 7 – Parâmetros pedológicos explorados

Parâmetro	Descrição
SNAM	Classificação do solo (nome dado a cada classe)
NLAYERS	número de <i>layers</i> de informação (número de horizontes)
HYDGRP	grupo de mínima saturação hidráulica (A, B, C e D)
SOL_ZMX	profundidade máxima de solo que a raiz alcança (mm)
ANION_EXCL	fração de porosidade do solo (fração)
SOL_Z	profundidade de cada horizonte (mm)
SOL_BD	densidade do solo (g/cm)
SOL_AWC	capacidade de água do solo (mm/mm)
SOL_K	condutividade hidráulica saturada (mm/h)
SOL_CBN	conteúdo de carbono orgânico do solo (% peso solo)
CLAY	porcentagem de argila no solo (% peso solo)
SILT	porcentagem de silte no solo (% peso solo)
SAND	porcentagem de areia no solo (% peso solo)
ROCK	porcentagem de cascalho no solo (% peso solo)
SOL_ALB	albedo do solo (fração)
USLE_K	fator de erodibilidade do solo (0,013 t.m ² .h/m ³ .t.cm).

Fonte: Baldissera (2005). Organizado pelo autor.

Pelo fato de esses dados serem obtidos empiricamente por meio de coleta de amostras e ensaios em laboratório, diferentes pesquisadores podem obter parâmetros distintos. Para o presente estudo, optou-se por utilizar dados de Lima et al (2013) para o Latossolo – LV e LVA, Gleissolo – GX e Neossolo – RQ e dados de Baldissera (2005) para o Argissolo – PV e PVA.

5.5. Vazão e Sedimentos

Foram selecionados 3 postos fluviométricos para o estudo, apresentados no item 4.5.5, sendo todos os 3 utilizados para a calibração da vazão.

Quanto ao acompanhamento sedimentométrico, o único que apresenta medição de sedimentos é o posto UHE Ilha Solteira Fazenda Palmeirinha (7B-007). Contudo, segundo apresentado no Relatório Anual 2017 da UHE ILHA SOLTEIRA em Atendimento à Resolução Conjunta ANA/ANEEL nº 03/2010, disponibilizado em 2019 pela ANA via e-mail, o acompanhamento sedimentométrico do Posto da Fazenda Palmeirinha foi interrompido em 2016.

Os dados de sedimentos utilizados para a calibração são limitados. Encontrou-se via documentos de acompanhamento apenas 5 dados de descarga sólida (sedimentos) entre os anos de 2013 e 2014. Salienta-se que esses dados não estão disponíveis na plataforma da ANA Hidroweb ou no Sistema Hidro – Telemetria, da Rede Hidrometeorológica Nacional.

O acompanhamento de chuva, nível e vazão da fazenda Palmeirinha (cód. ANA 62019700) é realizado por meio de equipamentos, dentre eles destaca-se uma estação telemétrica (Figura 14), régua limimétrica de acompanhamento de variação de nível (Figura 15) e pluviômetro (Figura 16). As imagens apresentadas foram disponibilizadas via e-mail pela ANA, por meio de seu colaborador, o Sr. Eng. Pedro Cunha.

Figura 14 – Estação Telemétrica – Fazenda Palmeirinha



Fonte: Disponibilizado por ANA (2019).

Figura 15 – Réguas linimétricas – Fazenda Palmeirinha



Fonte: Disponibilizado por ANA (2019).

Figura 16 – Pluviômetro – Fazenda Palmeirinha

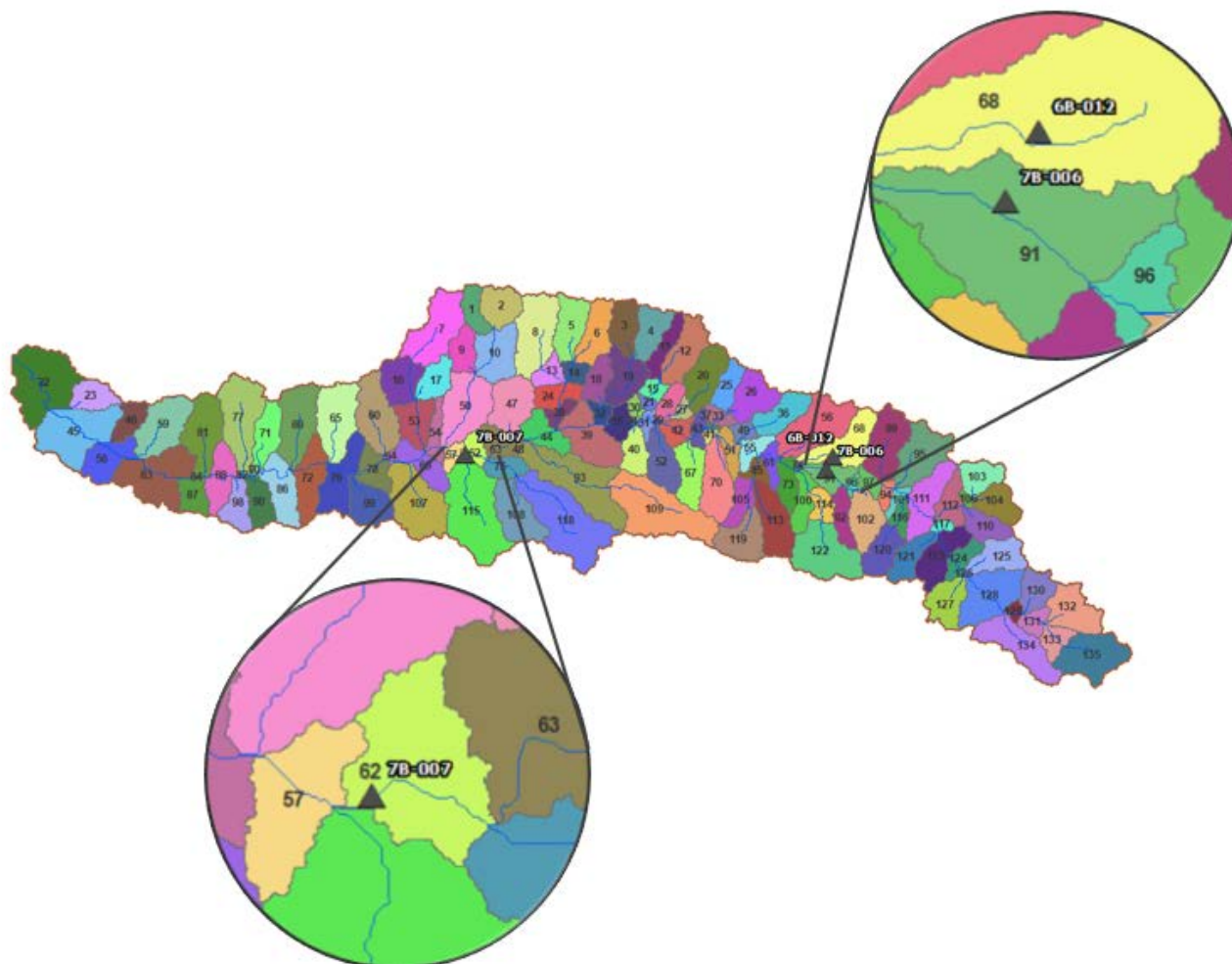


Fonte: Disponibilizado por ANA (2019).

A Figura 17 apresenta a localização dos postos fluviométricos do DAEE utilizados para a calibração na bacia hidrográfica do rio São José dos Dourados. Nota-se que os postos 7B-007, 7B-006 e 6B-012 localizam-se nas sub-bacias geradas pelo SWAT de números 62, 91 e 68, respectivamente. Destaca-se que as estações 7B-007 e 7B-006 encontram-se localizadas no rio principal, São José dos Dourados e a estação 6B-012 situa-se em um afluente do SJD, denominado Soledade/Cabrito.

A localização destes postos nas sub-bacias se faz necessária para o momento de se comparar as vazões lidas pelos postos e as obtidas pelo SWAT, tornando-se uma ferramenta de calibração manual realizada pelo ArcSWAT.

Figura 17 – Locação dos postos fluviométricos na BH-SJD



Fonte: Próprio autor (2020).

5.6. Clima

Foram gerados parâmetros climáticos com o auxílio do gerador climático para as 11 estações consideradas. No entanto, para fins de expositivos, apresenta-se apenas os parâmetros gerados para as estações climáticas de Ilha Solteira e de Marinópolis, conforme podem ser visualizados por meio da Tabela 3 e Tabela 4, respectivamente.

Tabela 3 – Parâmetros climáticos obtidos – Estação Climática de Ilha Solteira

PARÂMETROS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
TMPMX	32.43	32.79	32.62	32.02	28.95	28.66	29.01	31.08	32.37	33.10	32.44	32.77
TMPMN	22.06	21.98	21.78	20.42	16.97	16.08	15.33	16.74	18.80	20.61	21.21	21.92
TMPSTDMX	2.74	2.37	2.45	2.82	3.66	3.58	4.13	4.35	4.80	3.92	2.97	2.67
TMPSTDMN	1.34	1.55	1.38	2.56	3.25	2.95	3.11	3.19	3.05	2.32	2.01	1.72
PCPMM	252.52	181.81	167.66	71.02	60.95	28.69	19.75	31.60	64.85	103.06	160.38	195.06
PCPSTD	15.98	12.98	12.28	8.84	6.48	4.81	3.21	5.09	6.28	8.55	11.84	12.66
PCPSKW	3.55	2.76	3.09	5.81	4.18	8.67	7.18	7.38	4.15	3.59	2.98	2.97
PR_W1	0.37	0.35	0.23	0.13	0.11	0.07	0.05	0.06	0.15	0.24	0.29	0.35
PR_W2	0.76	0.65	0.67	0.52	0.56	0.53	0.46	0.52	0.52	0.54	0.62	0.68
PCPD	18.71	14.29	12.52	6.57	6.33	3.95	2.81	3.55	7.23	10.67	13.05	16.33
RAINHHMX	21.29	16.04	14.88	12.18	7.84	4.88	3.46	5.37	7.47	11.55	14.80	16.25
SOLARAV	20.10	20.80	19.38	17.66	14.59	13.14	14.46	16.96	18.24	20.13	21.47	21.33
DEWPT	0.78	0.77	0.76	0.71	0.71	0.69	0.62	0.55	0.57	0.65	0.70	0.74
WNDVAV	1.15	1.08	1.05	1.14	1.23	1.25	1.47	1.69	1.80	1.57	1.45	1.23

Fonte: Próprio autor (2021).

Tabela 4 – Parâmetros climáticos obtidos – Estação Climática de Marinópolis

PARÂMETROS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
TMPMX	32.45	32.82	32.51	32.07	28.99	28.72	29.13	31.25	32.51	33.20	32.37	32.54
TMPMN	21.64	21.47	21.11	19.00	15.37	14.47	13.52	15.00	17.66	19.88	20.46	21.53
TMPSTDMX	2.70	2.37	2.53	3.07	3.63	3.43	3.96	4.14	4.65	3.82	2.93	2.72
TMPSTDMN	1.29	1.29	1.51	2.54	3.30	3.02	3.27	3.31	2.84	2.35	1.96	1.44
PCPMM	227.36	163.68	155.11	53.02	62.39	26.79	19.64	23.76	60.78	83.95	132.36	180.02
PCPSTD	13.72	13.14	11.96	6.57	7.15	4.72	3.32	3.88	6.82	8.14	10.01	11.89
PCPSKW	3.45	3.50	4.18	5.20	5.14	7.92	7.35	8.03	4.74	4.23	3.48	2.97
PR_W1	0.40	0.33	0.26	0.13	0.13	0.08	0.06	0.06	0.13	0.18	0.27	0.36
PR_W2	0.72	0.60	0.63	0.51	0.50	0.48	0.45	0.52	0.54	0.50	0.58	0.63
PCPD	18.14	12.81	12.95	6.14	6.33	3.81	3.05	3.27	6.41	8.33	11.67	15.29
RAINHHMX	17.40	16.26	14.51	8.55	10.20	4.31	3.80	4.21	8.10	10.56	12.11	13.82
SOLARAV	18.79	19.76	18.81	16.96	14.47	13.07	14.34	17.05	17.66	19.07	20.16	19.86
DEWPT	0.82	0.80	0.81	0.77	0.76	0.73	0.65	0.57	0.60	0.68	0.75	0.78
WNDVAV	1.43	1.27	1.14	1.06	1.09	1.14	1.41	1.60	1.79	1.64	1.56	1.49

Fonte: Próprio autor (2021).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. CONDIÇÕES DE SIMULAÇÃO

Após a entrada no SWAT com todos os dados de entrada supracitados, escolheram-se as condições de simulação.

A modelagem hidrológica no SWAT ocorreu em um período total de 8 anos, sendo 3 anos considerados para o aquecimento do modelo – de 2011 a 2013 – e 5 anos considerados para a obtenção de resultados, sendo esses entre 01 de janeiro de 2014 e 31 de dezembro de 2018.

Os resultados obtidos foram valores de médias mensais. A razão pela qual optou-se por dados mensais e não diários é devido às falhas existentes nos dados diários de vazão dos postos fluviométricos. Dessa maneira, o processo de calibração foi realizado comparando-se médias mensais.

A bacia hidrográfica a qual foi realizada a modelagem possui uma área aproximada 5.161,44 km², e dela foram geradas 135 sub-bacias e 2438 HRUs (Unidades de Resposta Hidrológica).

6.2. CALIBRAÇÃO

6.2.1. Calibração da Vazão

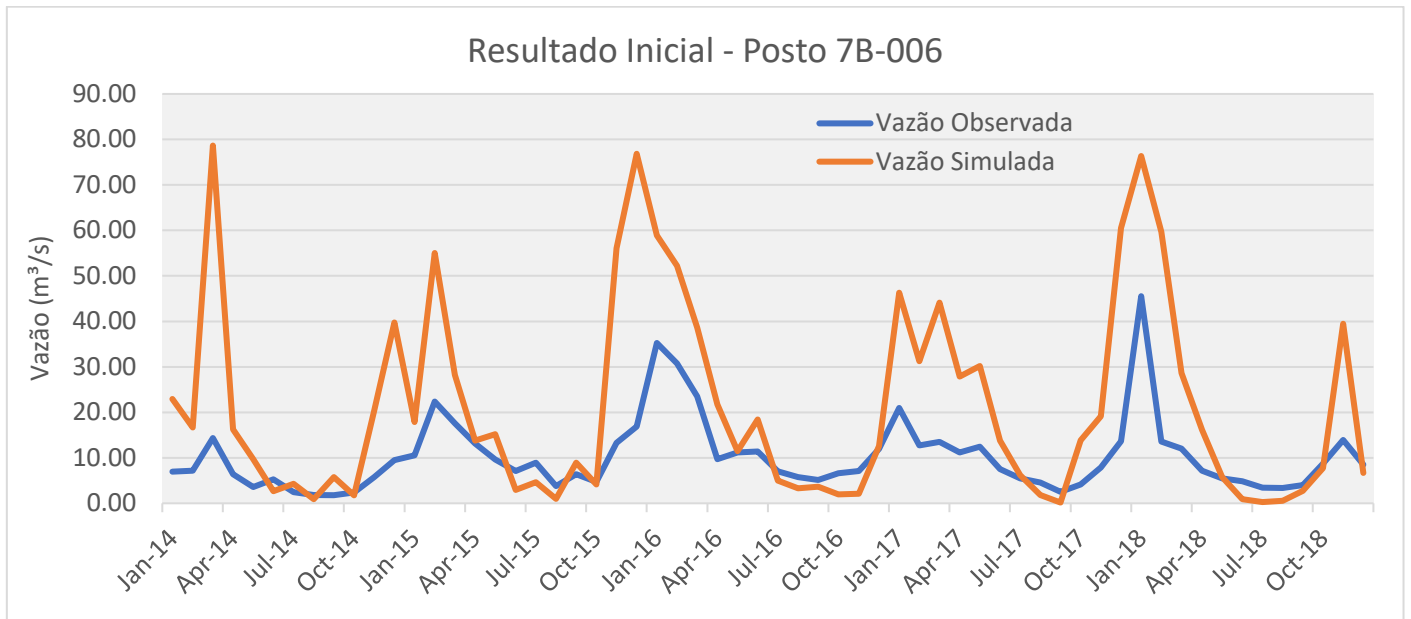
Neste trabalho, o processo de calibração foi realizado manualmente com o auxílio do SWAT. Inicialmente, alteraram-se valores dos parâmetros considerados mais sensíveis ao escoamento superficial e, posteriormente, os parâmetros mais sensíveis relativos à produção de sedimentos.

Para a calibração da vazão, considerou-se dados de 3 postos fluviométricos, conforme descrito no item 4.5.5 Dados Fluviométricos. Para cada posto, foi identificado a sub-bacia correspondente, de acordo com a modelagem no SWAT.

Ao compararam-se os valores de campo com os da modelagem do SWAT, observou-se que a execução inicial do SWAT gerou valores superestimados de vazão nos picos.

Dado o fato de que primeiramente deve-se iniciar a calibração pelos dados de vazão, o Gráfico 1 a seguir apresenta o resultado obtido para a primeira simulação. Salieta-se que se optou por apresentar apenas o gráfico que apresenta a relação do Posto 7B-006 com a sub-bacia 91, pois esse posto possuía suas vazões já consistidas. Os demais encontravam-se com incoerências.

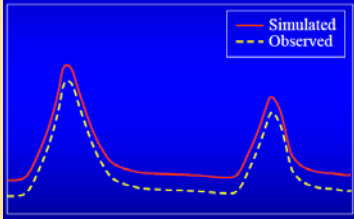
Gráfico 1 – Resultado Inicial Obtido – Comparativo de Vazões



Fonte: Próprio autor (2021).

Devido ao fato de os dados de vazão simulada estarem superestimados, adotaram-se como soluções as indicadas por Shrestha (2017), no material SWAT Calibration Helper – for Monthly Simulations v1.0, conforme a Figura 18 apresenta.

Figura 18 – Soluções para correção de vazão simulada.

<p>Issue 2: Overprediction of flow</p> 	<p>Solutions: (2.1) Decrease curve number (CN_2) for land use types</p>
<p>Causes:</p> <p>2.1 High Surface flow than reality</p> <p>2.2 Higher Baseflow than reality</p> <p>2.3 Less evapotranspiration losses than reality</p>	<p>Solutions: (2.2)</p> <p>Increase deep percolation loss (GWQMN)</p> <p>Increase groundwater revap coefficient (GW_REVAP)</p> <p>Decrease threshold depth of water in shallow aquifer for revap to occur (REVAPMIN)</p>
	<p>Solutions: (2.3)</p> <p>Check hydrograph's response for the parameters - Soil available water (SOL_AWC) and Soil Evaporation Compensation factor (ESCO)</p> <p>Note: In case of opposite problem, try same solutions changing values in opposite manner</p>

Fonte: SHRESTHA (2017) – Adaptado pelo autor.

Em coerência com o exposto, também se tomou como orientação para a alteração de parâmetros mais sensíveis à vazão pesquisas de outros autores. A escolha desses parâmetros foi realizada com base na literatura, tais como Santos (2018a), Sarmiento (2010), Kuwajima (2012), Manual do SWAT (ARNOLD et al., 2011) entre outros.

Dessa maneira, a fim de reduzir os picos de vazão, os parâmetros escolhidos para serem alterados manualmente e as ações correspondentes foram:

- CN2: Redução dos “números de curva” para que fosse aumentada a infiltração e o fluxo de água subsuperficial (fluxo de base);

- SOL_AWC: Redução da “capacidade de retenção” de água no solo a fim aumentar o fluxo de água subterrânea e retardar o tempo com que essa chega ao rio;

- ESCO: Redução do “fator de compensação da evaporação do solo” a fim de promover a demanda evaporativa das camadas inferiores do solo. Conforme esse valor é reduzido, o modelo se torna mais apto a evaporar água nas camadas inferiores do solo;

- GW_REVAP: Aumento do coeficiente de “capacidade de mobilizar a água do aquífero pouco profundo para a zona de solo não saturado sobreposto” a fim de aumentar a disponibilidade de água para a descarga do fluxo de base.

- REVAPMN: Redução na lâmina d’água do “aquífero raso que retorna à zona da raiz devido a um déficit de umidade” a fim de que ocorra o fluxo de retorno para a zona de raiz.

Os parâmetros alterados foram aplicados igualmente para todas as sub-bacias. A Tabela 5 apresenta os parâmetros e seus respectivos valores calibrados.

Tabela 5 – Parâmetros Calibrados - Vazão

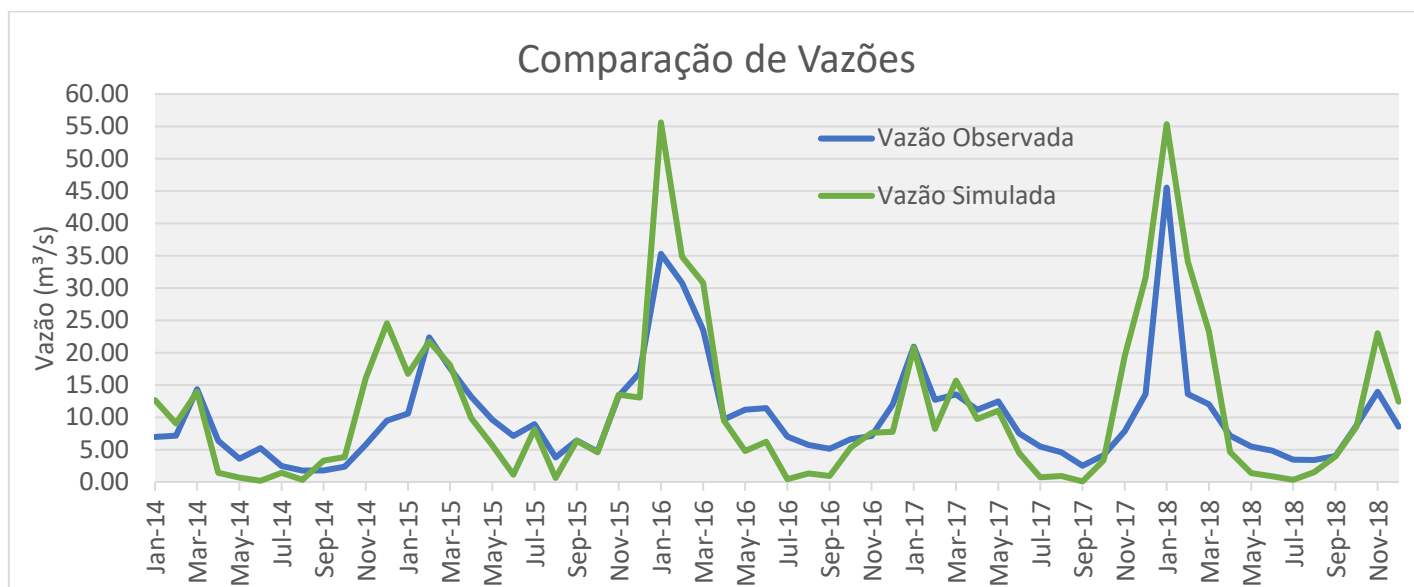
Parâmetro	Unidade	Intervalo	Valor Original	Valor Calibrado
CN2	NA	0-100	-	0,7*
SOL_AWC	mm/mm	0-1	-	0,8*
ESCO	NA	0.01-1	0,95	0,4
GW_REVAP	NA	0,02-0,2	0,02	0,12
REVAPMN	mm	0-1000	750	300

*Multiplicado

Fonte: Próprio autor (2021).

O Gráfico 2 apresenta a correlação de vazões após realizada a calibração manual. Salienta-se que as vazões apresentadas como vazão observada são referentes ao Posto Fluviométrico 7B-006 (DAEE), e as vazões representadas como “vazão simulada” são referentes à sub-bacia 91.

Gráfico 2 – Correlação de vazão - Pós calibração



Fonte: Próprio autor (2021).

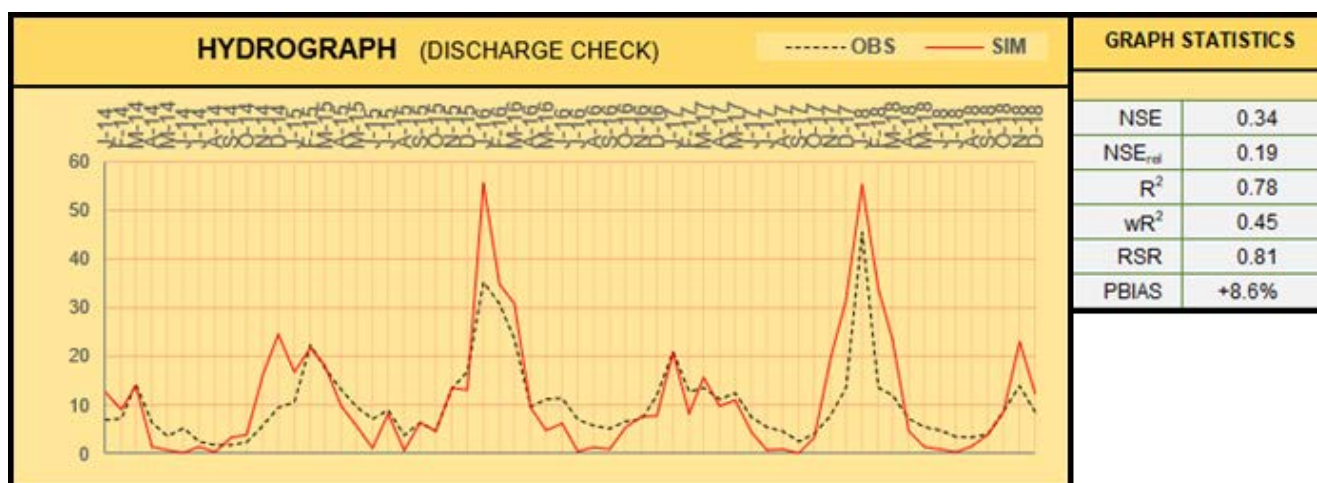
Conforme o Gráfico 2 apresentado, com o auxílio do SWAT Calibration Helper gerou-se um gráfico semelhante, já com as estatísticas calculadas que verificam a assertividade da modelagem, conforme podem ser visualizados na Figura 19. A figura apresenta parâmetros estatísticos calculados ao se compararem as duas curvas, sendo indicadores do desempenho do modelo. Os mais utilizados e apresentados a seguir são o NSE, R^2 e PBIAS.

O Coeficiente de eficiência, representado como NSE, é uma estatística confiável usada amplamente na avaliação da eficácia de ajuste em modelos hidrológicos. Os valores de NSE variam de 1 até $-\infty$, em que $NSE=1$ indica uma combinação perfeita entre os dados medidos e observados; $NSE=0$ corresponde aos valores simulados pelo modelo como sendo iguais as médias dos valores medido; já um valor negativo para NSE demonstra que os valores simulados são inadequados em relação aos observados (KUWAJIMA, 2012). O valor obtido nesta modelagem foi de 0,34, sendo considerado um valor satisfatório por ser acima de 0.

De forma análoga, o coeficiente de Correlação de Pearson também avalia a eficácia do modelo, comparando os dados obtidos e simulados por meio da sua dispersão. O índice é conhecido como “R²”, sendo variável de 0 a 1. O valor é considerado um resultado perfeito, enquanto que o 0 representaria um modelo não validado. O valor obtido na presente simulação, pós calibração, foi de 0,78, sendo considerado um valor satisfatório visto que, comumente, define-se valores acima de 0,5 como aceitáveis.

Outro parâmetro estatístico obtido é o PBIAS. Esse é a diferença média entre os valores calculados e medidos. Os valores podem variar de 0 a 100%, sendo que os valores menores e mais próximos de zero apresentam maior correlação. O valor obtido foi de 8,6% e é considerado satisfatório.

Figura 19 – Correlação de vazão e parâmetros estatísticos



Fonte: SWAT Calibration Helper - for Monthly Simulations v1.0 – Editado pelo Autor (2021).

6.2.2. Calibração da Produção de Sedimentos

A fim de trazer mais confiabilidade no modelo gerado no que diz respeito à produção de sedimentos, faz-se necessária sua calibração.

O processo de calibração da produção de sedimentos é iniciado quando se alteram os parâmetros de vazão, visto que o maior escoamento superficial tende a erodir mais o solo e produzir maior carga de sedimentos. Após alterarem-se os parâmetros da vazão, os valores de sedimentos já são ajustados automaticamente. No entanto, pode-se ainda aprimorar o resultado alterando-se parâmetros específicos da produção de sedimentos.

Os parâmetros escolhidos para a calibração foram:

- USLE_P: Parâmetro relativo às práticas conservacionistas. Este teve seu valor reduzido por se considerar que há práticas conservacionistas no uso do solo; a diminuição no valor deste parâmetro acarreta em diminuição na produção de sedimentos.

- LAT_SED: Concentração de Sedimentos na lateral e leito do fluxo. Este parâmetro não contribui significativamente para a produção total de sedimentos.

- SPCON: Parâmetro que calcula o máximo de sedimento transportado;

Os parâmetros alterados foram aplicados igualmente para todas as sub-bacias. A Tabela 6 apresenta os parâmetros e seus respectivos valores calibrados.

Tabela 6 – Parâmetros Calibrados - Sedimentos

Parâmetro	Unidade	Intervalo	Valor Original	Valor Calibrado
USLE_P	NA	0,1	1	0,6
SPCON	NA	0,0001-0,01	0,0001	0,01
LAT_SED	mg/L	0-5000	0	3000

Fonte: Próprio autor (2021).

Os valores de referência para a calibração da produção de sedimentos foram os dados obtidos de 1 posto fluviométrico, o posto de código ANA – 62019700 – descrito no item 4.5.5 Dados Fluviométricos Os dados disponibilizados oriundos deste posto. possuem apenas 4 registros medições. Esses valores de campo são do ano de 2014 e foram comparados com a simulação do SWAT pós calibração.

Os valores do SWAT tomados para comparação são do arquivo output.rch, denominados SED_OUT. O SED_OUT se refere ao transporte de sedimentos nos trechos dos rios de cada sub-bacia. Para essa comparação, tomou-se os dados gerados para a sub-bacia 62 – local onde se encontra instalado o posto fluviométrico 62019700.

A Tabela 7 apresenta a comparação de valores simulados e observados. Salienta-se que os resultados apresentados geraram diferenças percentuais de até 70%.

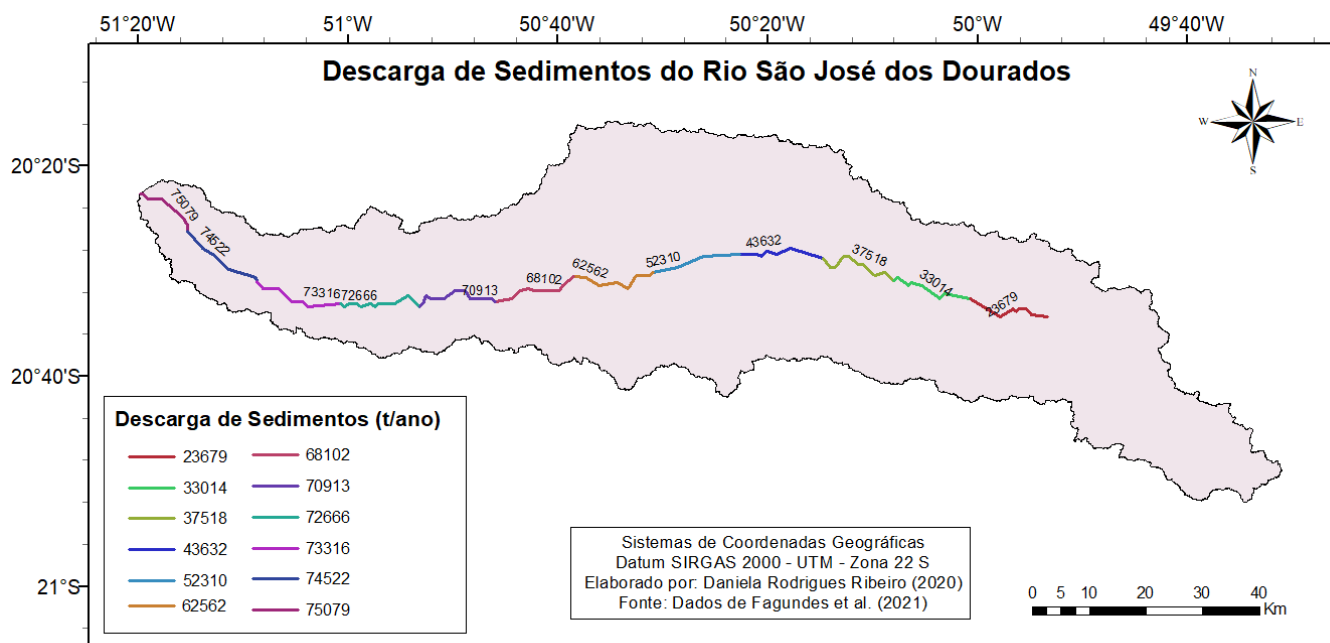
Tabela 7 – Comparativo – Descarga Sólida

Data	Descarga Sólida (t/mês)		Diferença (%)
	Simulada	Observada	
Março - 2014	7978	5934.33	25.62
Julho - 2014	617.2	183.83	70.22
Outubro -2014	1498	440.82	13.25
Novembro-2014	6888	3503.7	49.13

Fonte: Próprio autor (2021).

Devido ao fato de os dados observados de sedimentos serem bastante escassos, considerou-se, também, como referência, a recente publicação de Fagundes et al. (2021). Neste estudo, os pesquisadores simularam descarga de sedimentos em suspensão em toda a América do Sul utilizando modelagem hidrológica-hidrocinâmica diária. A descarga de sedimentos na bacia do BH-SJD pode ser visualizada por meio da Figura 20.

Figura 20 – Descarga de Sedimentos em Suspensão



Fonte: FAGUNDES et al. (2021) – organizado pelo autor.

Segundo o estudo de Fagundes et al. (2021), no alto curso do rio SJD a descarga de sedimentos é de 23.679 t/ano, enquanto que no baixo curso do rio SJD – próximo ao exutório, sua taxa de produção é de 75.079 t/ano.

Esses dados, por serem referentes a trechos do rio analisado, podem ser comparados com o SED_OUT gerado pelo SWAT. Ao tomar-se como exemplo o trecho final do rio, o transporte de sedimentos é de 75.079 t/ano (FAGUNDES et al., 2021). Salienta-se que esse trecho do rio pode ser comparado com a sub-bacia 22 gerada pelo SWAT.

Com base em medições realizadas pelo ArcMap, o comprimento aproximado do rio SJD na sub-bacia 22 é de 14 km. Já o comprimento medido do trecho final do rio apresentado pelos pesquisadores é cerca de 11,50 km. Tem-se, portanto, que este último é equivalente a cerca de 82% do comprimento do rio SJD na sub-bacia 22 gerada pelo SWAT.

Considerando, portanto, 82% da carga de sedimentos transportada pelo rio SJD (SED_OUT) na sub-bacia 22, segundo a modelagem, obtém-se um valor de 70.633,93 t/ano.

Tem-se, portanto, que o modelo gerado neste trabalho apresentou resultados satisfatórios, com uma divergência de valores de apenas 5,92% dos resultados da referida publicação de Fagundes et al. (2021).

6.3. ÁREAS DE MAIOR PRODUÇÃO DE SEDIMENTO E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NO RIO SÃO JOSÉ DOS DOURADOS

O SWAT traz como resultados diversas variáveis que podem ser analisadas. Quanto à produção e transporte de sedimentos, dentre outras variáveis, destacam-se:

- SED_OUT: Sedimento transportado com a água para fora da sub-bacia em um intervalo de tempo, em toneladas.

- SYLD: Produção de sedimentos, em t/ha. Representa o sedimento advindo de cada HRU que é transportado para um canal principal durante um intervalo de tempo. Estes dados são calculados por meio da equação de MUSLE.

- USLE: Perda de solo, em t/ha, durante um intervalo de tempo. Calculado por meio da equação de USLE.

Os resultados de SYLD e USLE são proporcionais. Os locais em que encontram maiores taxas de SYLD, são também encontradas maiores taxas de perda de solo. No entanto, apenas uma parte do solo desprendido (USLE) percorre até o canal principal do rio (SYLD). Por essa razão apresentada, considerou-se o SYLD para analisar os sedimentos produzidos em cada HRU/sub-bacia em detrimento do USLE. E, para se comparar com os valores obtidos na medição de sedimentos em campo, por meio do posto fluviométrico, utilizou-se o SED_OUT – conforme apresentado no item 6.2.2 Calibração da Produção de Sedimentos.

Ao encontro desta afirmação, tem-se o descrito no Manual do SWAT: Cargas de sedimentos originados nas HRUs e sub-bacias podem ser calculados somando-se os valores de SYLD. A quantidade de sedimento que deixa o rio pode ser obtida pelos valores registrados em SED_OUT (ARNOLD et al., 2011).

. Após simular em *software* a produção de sedimentos na Bacia Hidrográfica do rio São José dos Dourados, foi realizada uma análise das regiões da bacia em que há maior produção de sedimentos. Foram tomadas 30 HRUs (Unidades de Resposta Hidrológica) que possuíam maior produção de sedimentos. Salienta-se que o número 30 foi definido pelo autor por ponderar que este seria um valor representativo do comportamento de toda a bacia.

A Tabela 8 apresenta, em ordem decrescente, as 30 HRUs que possuem maior produção de sedimentos por mês. A tabela também apresenta características físicas da HRU, como a sub-bacia correspondente, a área da HRU, o uso do solo, a pedologia (tipo de solo) e a declividade do terreno.

Tabela 8 – HRUs com maiores produção de sedimentos e características físicas

ORDEM	PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS (SYLD) (t/ha)	HRU Nº	SUB-BACIA CORRESPONDENTE	ÁREA (Km ²)	USO SOLO	TIPO DE SOLO	DECLIVIDADE (°)
1	29,28	1060	55	3,04	Pastagem	PVA	>8
2	29,145	1060	55	3,04	Pastagem	PVA	>8
3	24,28	2043	20	5,83	Pastagem	PVA	>8
4	24,145	346	20	4,01	Agricultura	PVA	>8
5	23,361	1688	89	10,40	Pastagem	PVA	>8
6	22,924	339	20	8,48	Pastagem	PVA	>8
7	22,833	339	20	8,48	Pastagem	PVA	>8
8	22,407	660	36	10,60	Pastagem	PVA	>8
9	22,359	59	4	4,93	Agricultura	PVA	>8
10	22,318	660	36	10,60	Pastagem	PVA	>8
11	22,194	59	4	4,93	Pastagem	PVA	>8
12	22,176	454	26	7,81	Pastagem	PVA	>8
13	22,088	454	26	7,81	Pastagem	PVA	>8
14	22,071	180	12	4,40	Agricultura	PVA	>8
15	21,909	180	12	4,40	Agricultura	PVA	>8
16	21,481	1443	76	7,30	Agricultura	PVA	>8
17	21,389	52	4	4,72	Pastagem	PVA	>8
18	21,338	1320	68	2,29	Pastagem	PVA	>8
19	21,305	52	4	4,72	Pastagem	PVA	>8
20	20,857	437	25	7,66	Pastagem	PVA	>8
21	20,774	437	25	7,66	Pastagem	PVA	>8
22	20,517	172	12	4,39	Pastagem	PVA	>8
23	20,484	1383	72	2,71	Agricultura	PVA	>8
24	20,467	1193	61	3,06	Pastagem	PVA	>8
25	20,436	172	12	4,39	Pastagem	PVA	>8
26	20,404	249	16	10,62	Pastagem	PVA	>8
27	20,386	1193	61	3,06	Pastagem	PVA	>8
28	20,006	160	11	5,17	Pastagem	PVA	>8
29	19,926	160	11	5,17	Pastagem	PVA	>8
30	19,846	1688	89	10,37	Pastagem	PVA	>8

Fonte: Próprio autor (2021).

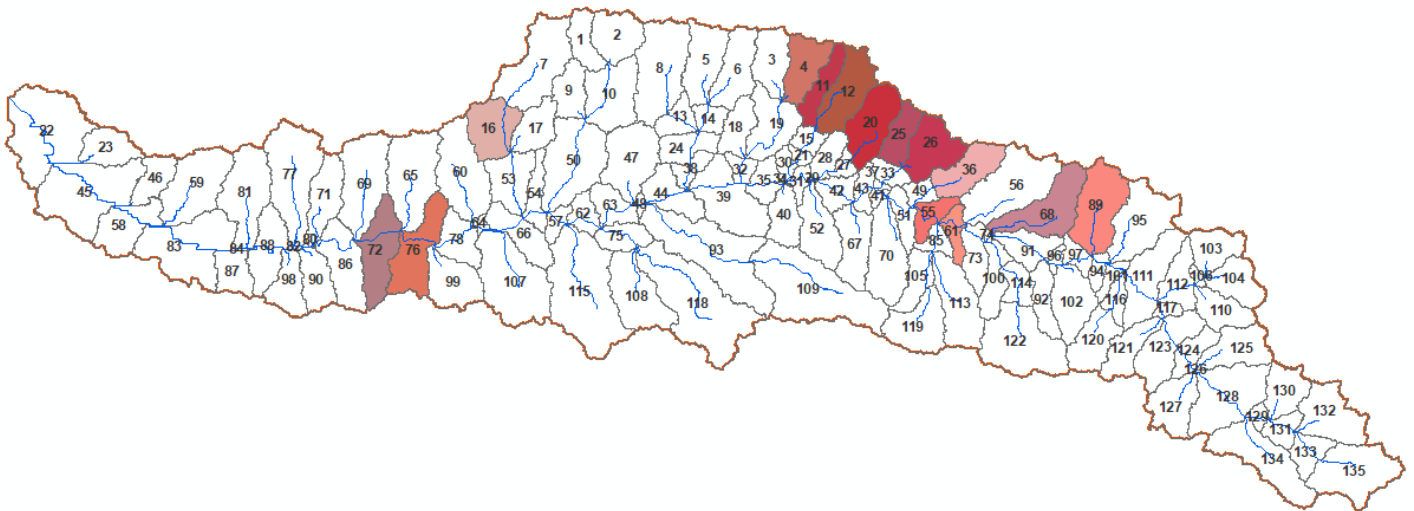
Tendo-se como referência a Tabela 8 supracitada, nota-se que, predominantemente, que o uso do solo que se tem nesses locais os locais com maior produção de sedimentos é, essencialmente, de pastagem, seguido por agricultura genérica. A pastagem, apesar de ter sua cobertura superficial vegetal, esta, com o tempo, tem suas características originais destruídas gradativamente. A compactação superficial causada pela pastagem impede a infiltração de água e a penetração de raízes, e com o tempo podem-se ir formando erosões. Destaca-se também o fato de que se houver um excesso de carga animal neste solo, tem-se a desfolha exagerada do capim, fazendo com que sua rebrota seja prejudicada (EMBRAPA, 2011).

O tipo de solo predominante é o Argissolo, e a declividade do solo encontrada nessas HRUs é de superior a 8°. Pode-se perceber que quanto mais inclinado é o solo, maior é sua tendência à dessegregação e, conseqüente, produção de sedimentos.

Com intuito ilustrativo e de melhor entendimento da produção de sedimentos na bacia hidrográfica do SJD, elaborou-se um mapa com destaque para as sub-bacias correspondentes às HRUs supracitadas, conforme apresenta a Figura 21.

Destaca-se que há sub-bacias com mais de 1 HRU contabilizada; é o caso da sub-bacia 4, 11, 12, 20, 25, 26, 55, 89. Essas, portanto, possuem produção de sedimentos mais significativa. Por essa razão, apesar de estarem representadas 14 sub-bacias na imagem, essas não produzem necessariamente altas taxas de sedimento. A representação em cores na imagem é apenas para se ter uma locação geográfica representativa da Tabela 8 exposta anteriormente.

Figura 21 – Sub-bacias em destaque com maiores produções de sedimentos

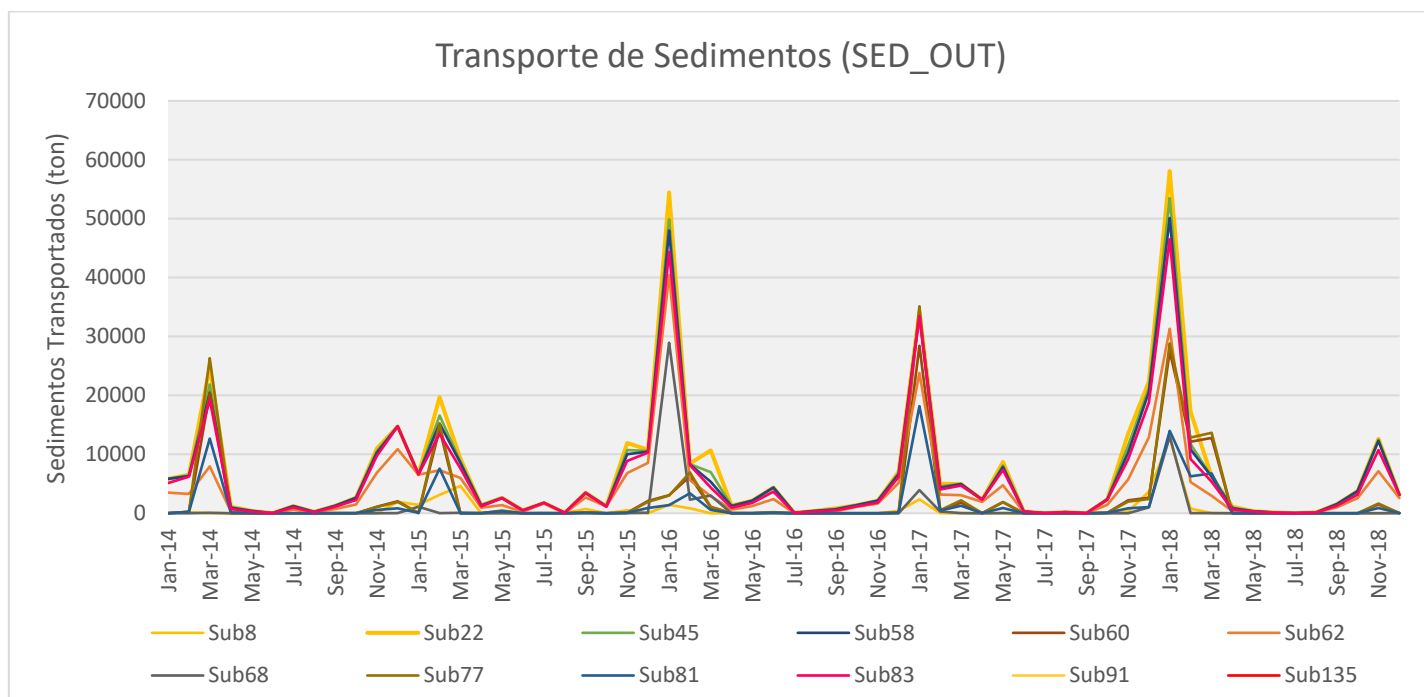


Fonte: Próprio autor (2021).

Com base na referida figura, nota-se que as sub-bacias correspondentes às HRUs que apresentaram a maior produção de sedimentos, são localizadas exatamente nos pontos mais altos – nos divisores topográficos - da bacia. Este resultado traz informações importantes para a gestão dos recursos hídricos nesta bacia.

Ações realizadas nos pontos mais altos da bacia têm impacto direto no baixo curso do rio. Esse fato pode ser confirmado pelo Gráfico 3 que apresenta os sedimentos transportados pelo rio São José dos Dourados em cada sub-bacia (SED_OUT), em que, com finalidade de exemplificação, foram apresentadas 12 sub-bacias. Salienta-se que se definiu uma espessura maior da linha para a representação da sub-bacia 22.

Gráfico 3 – Sedimentos transportados pelo rio SJD nas sub-bacias



Fonte: Próprio autor (2021).

As sub-bacias mais a jusante, localizadas em direção ao exutório e no baixo do curso do rio, são as que mais transportam sedimentos. Toda carga de sedimentos produzida nos locais a montante, vão sendo direcionadas ao curso principal do rio e sendo transportadas em locais mais a jusante; ou seja, a carga de sedimentos no rio principal é acumulativa ao longo da bacia. A sub-bacia 22, por exemplo, que está localizada a jusante das demais, é a que possui maior carga de sedimentos, em toneladas.

Os resultados de produção de sedimentos apresentados vêm a contribuir com a gestão adequada e direcionada de recursos hídricos. Neste caso específico da Bacia Hidrográfica do rio São José dos Dourados (BH-SJD), o apontamento dos locais com maior produção de sedimentos pode direcionar os investimentos do Comitê de Bacia deste rio, o CBH-SJD.

Nota-se que locais como no alto curso do rio devem receber mais investimentos de recuperação ambiental – caso necessário - e de preservação do solo com um controle de erosões, visto que são os locais mais sujeitos à produção elevada de sedimentos.

Além de trazer informações sobre os locais em que se deve programar ações ambientais, podem-se propor postos fluviométricos nestes locais. As regiões mais suscetíveis a degradação ambiental são locais estratégicos para serem monitorados os sedimentos, a qualidade da água e a vazão do rio.

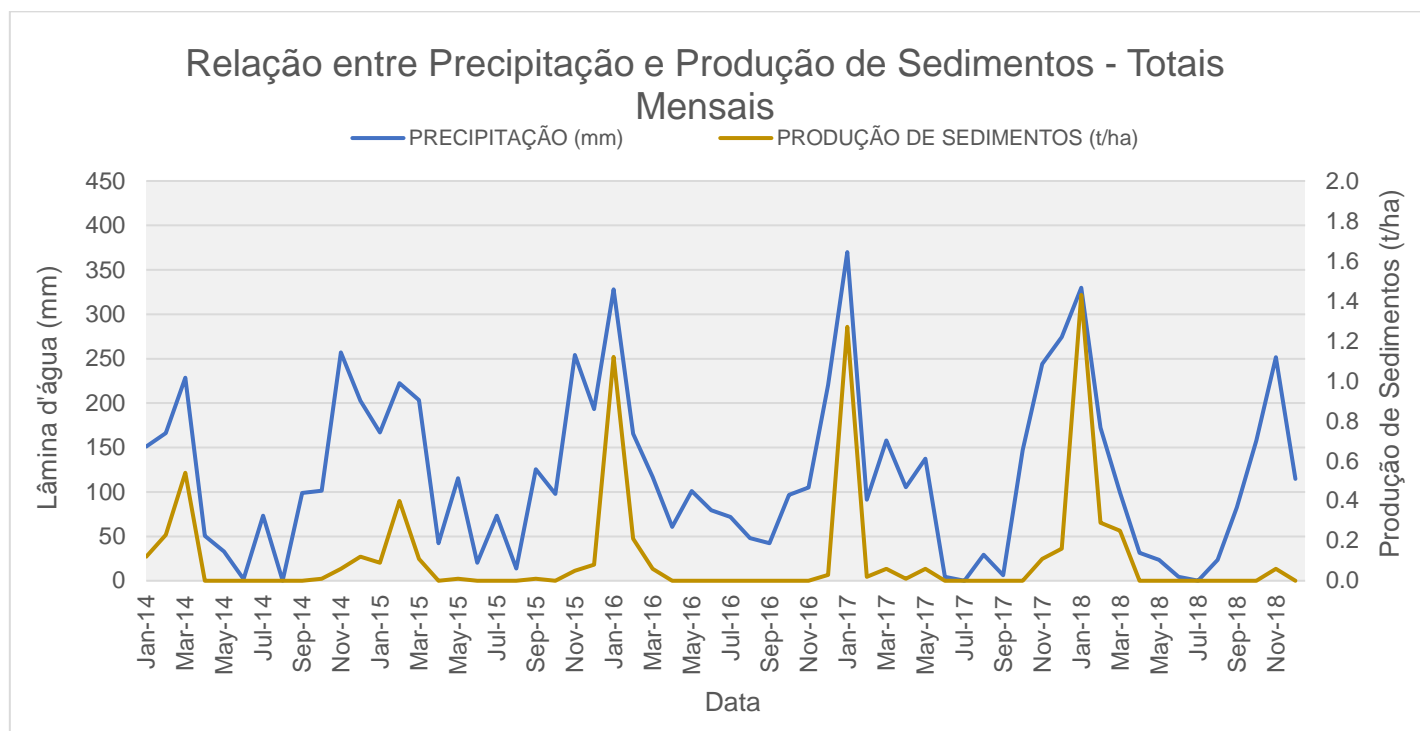
O FEHIDRO – Fundo Estadual de Recursos Hídricos tem por objetivo financiar programas e ações na área de recursos hídricos. Criado pela Lei 7.663 de 30 de dezembro de 1991 e regulamentado pelo Decreto nº 37.300, de 25 de agosto de 1993, posteriormente substituído pelo Decreto nº 48.896 de 26 de agosto de 2004, o FEHIDRO é a instância econômico-financeira de apoio à implantação da Política Estadual de Recursos Hídricos por meio do financiamento de programas e ações na área de recursos hídricos, de modo a promover a melhoria e a proteção dos corpos d'água e de suas bacias hidrográficas (SÃO PAULO, 2020).

Portanto, para planos que de recuperação de bacias hidrográficas que tenham sido já preconizados pelo Plano de Bacia e que poderão financiados pelo FEHIDRO, o SWAT auxiliará a localizar adequadamente os recursos, visto que seus resultados são espaciais. Com esses resultados, pode-se identificar corretamente os locais em que são mais suscetíveis a erosões e maior produção de sedimentos.

6.4. RELAÇÃO PRECIPITAÇÃO E PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS

Tem-se, também, como produto do SWAT, dados gerais para toda a bacia hidrográfica. Optou-se por elaborar um gráfico que relaciona às alterações na precipitação, em valores de totais mensais (mm), com a produção de sedimentos, em t/ha, conforme observa-se no Gráfico 4.

Gráfico 4 – Relação entre Precipitação e Produção de Sedimentos para a BH-SJD.



Fonte: Próprio autor (2021).

Nota-se que os picos de produção de sedimento foram, de maneira geral, proporcionais à precipitação mensal. Em períodos onde houve picos de registro pluviométrico, há elevação na produção de sedimentos. Esse comportamento é esperado devido à erosividade da chuva, fator R presente na equação de MUSLE de produção de sedimentos.

Este comportamento sazonal aponta para a necessidade de proteção do solo em períodos chuvosos. A gestão ambiental, da agricultura, por exemplo, deve adequar – na medida do possível – a prática das culturas evitando terem-se solos expostos em períodos chuvosos.

6.5. INFLUÊNCIA DOS SEDIMENTOS NO RESERVATÓRIO DE ILHA SOLTEIRA

Sabe-se que o exutório do rio São José dos Dourados se localiza no reservatório de Ilha Solteira e que elevadas taxas de produção de sedimentos podem afetar diretamente na vida útil do reservatório.

O reservatório de Ilha Solteira não possui descrições relevantes de problemas com assoreamento, devido ao fato de ser um reservatório muito

grande, com 1.195 km² de extensão e um barramento de 5.605 km de comprimento.

Sabe-se, também, que a UHE de Ilha Solteira cumpre adequadamente a Resolução Nº 03/2010 – ANA/ANEEL, com emissão de Relatório Anuais de acompanhamento sedimentométrico. Esse acompanhamento que o empreendimento realiza conta com coleta de sedimentos de leito e em suspensão, nas estações hidrometeorológicas e também em pontos do reservatório, com posterior análises laboratoriais dos sedimentos (Art. 4º). Realiza, também, atualização das curvas cota-área-volume (Art. 8º) a cada 10 anos, e, nesse ínterim, com um monitoramento a cada 2 anos de seções de controle batimétricas no reservatório.

O Guia de Assoreamento de Reservatórios (CARVALHO et al., 2000a) apresenta uma discriminação de valores de produção sedimentos afluentes ao reservatório consideradas “baixa”, “moderada” ou “alta”, conforme apresenta o Quadro 8.

Quadro 8 – Valores de Produção de Sedimentos Aceitáveis

TOLERÂNCIA	PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS	
	ton/ (mi ² .ano)	t/ (km ² .ano)
Alta	> 500	175
Moderada	200 a 500	70 a 175
Baixa	< 100	35

Fonte: Carvalho et al. (2010a).

O resultado da produção de sedimentos (SYLD) modelada pelo SWAT em toda a bacia hidrográfica do rio São José dos Dourados é de 3.933,9086 t/ha.ano ou 393.390,86 t/km².ano. E, de acordo com o Quadro 8, essa seria uma elevada taxa para o reservatório, acima do aceitável.

No entanto, da produção total de sedimentos da bacia hidrográfica do São José dos Dourados, uma parcela se deposita no próprio solo da bacia, parte

fica retida nos tributários, outra parte percorre até o rio e se deposita no leito e, apenas uma parcela, percorre pelo rio e atinge o exutório.

A quantidade efetivamente da produção de sedimentos que se desloca até o exutório depende da granulometria dos sedimentos, do peso específico das partículas, das características morfológicas do rio, da inclinação do canal principal, de condições climáticas, de velocidade de fluxo, entre outros fatores. São diversas variáveis que, apesar da complexidade, podem ser estudadas pelo SWAT.

O SWAT apresenta-se como uma ferramenta potencial para calcular todos esses elementos em estudos mais detalhados, principalmente quando aliado a resultados obtidos de serviços *in loco*.

6.6. SWAT COMO FERRAMENTA DE GESTÃO

Espera-se, como produto do presente trabalho, que gestores de bacias hidrográficas (como as câmaras técnicas dos comitês de bacias), agências reguladoras (ANA, ANEEL, DAEE entre outros) e autarquias (DAEE, CETESB, SABESP – para o estado de São Paulo) passem a utilizar o SWAT como auxílio na gestão de bacias hidrográficas no que diz respeito a questões ambientais e, principalmente, à produção de sedimentos.

Essa contribuição do *software* à gestão é devido aos diversos resultados hidrológicos que podem trazer algum nível de informação para uma bacia hidrográfica que seja escassa de conhecimento e dados hidrométricos; sejam dados de vazão, parâmetros de qualidade da água ou de produção de sedimentos obtidos pela modelagem. E, para bacias em que já se possui um histórico de dados hidrométricos considerável, o *software* virá a somar com as informações já existentes, provendo mais insumos para o gerenciamento e tomadas de decisão para os gestores da bacia.

Destaca-se que, apesar de o modelo SWAT já ter sido aplicado para várias bacias hidrográficas brasileiras por meio de pesquisas acadêmicas, pretende-se que entidades públicas passem a utilizá-lo com maior frequência. Por essa razão, o presente material será enviado a órgãos públicos como modelo a ser replicado em outras bacias. Será também enviado ao Comitê de Bacia do

São José dos Dourados (CB-SJD) como um material complementar ao banco de dados já existentes do rio em questão. Aos responsáveis privados pela UHE Ilha Solteira também será endereçado.

Destaca-se que o Procedimento Operacional Padrão (POP) a ser apresentado no item seguinte 7 PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO irá auxiliar as entidades públicas para se verificar a viabilidade de se utilizar o SWAT.

7. PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO

O Procedimento Operacional Padrão (POP) é um documento organizacional que demonstra o planejamento de um trabalho a ser executado. Esse é formado por um conjunto de instruções que descreve todas as etapas de um determinado processo.

Propõe-se como produto do presente trabalho de utilização do SWAT como ferramenta de gestão de recursos hídricos, o POP Nº 01/02 e o POP Nº 02/02, denominados Requisitos para Elaboração de Projetos no SWAT e Orientações para a Modelagem, respectivamente. Além da finalidade de padronização do uso do software, os presentes Procedimentos Operacionais Padrão (POPs) têm como intuito orientar gestores de bacias hidrográficas à correta utilização do SWAT e apresentar os requisitos para a sua aplicabilidade em bacias hidrográficas.

Em um primeiro momento, os gestores devem ler o POP Nº 01/02 - Requisitos para Elaboração de Projetos no SWAT, que discorre sobre os requisitos de aplicabilidade do SWAT. Esses requisitos tratam-se das condições mínimas necessárias para que se utilize o SWAT, tais como hardware necessário, softwares anexos a serem baixados, capacitação inerente do usuário, dados básicos de entrada no programa e dados desejáveis para a calibração do modelo.

Caso o gestor e/ou órgão de gestão de recursos hídricos possuam essas condicionantes, deve-se prosseguir para o POP Nº 02/02 - Diretrizes para a Modelagem. Esse apresenta, de modo resumido, os objetivos da modelagem, os resultados possíveis de serem obtidos, algumas das possibilidades de erros que

podem acontecer no momento de executar o programa, locais onde buscar por ações corretivas, e os principais materiais orientativos de consulta.

Os POPs elaborados encontram-se dispostos na Figura 22 e Figura 23 apresentadas a seguir. Esses serão enviados a órgãos gestores de recursos hídricos que tenham interesse em aplicar o SWAT em rios brasileiros, tais como para a ANA, autarquias estaduais e para Comitês de Bacias Hidrográficas.

Figura 22 – POP N°01/02 – Requisitos para Elaboração de Projetos no SWAT

	Procedimento Operacional Padrão		
POP N° 01/02	Requisitos para Elaboração de Projetos no SWAT	Elaborado em	8/11/2020
		Revisado em	8/11/2020
Hardware			
Computador pessoal Processador de 2 gigahertz e 2 gigabytes de RAM 3 gigabytes de memória para instalação 5 gigabytes de memória para armazenamento de dados			
Softwares Necessários			
ArcGIS - software pago ou QGIS - software livre SWAT (ArcSWAT ou QSWAT) - software livre SWAT-CUP - software livre (uso opcional) Microsoft Windows Microsoft Excel e Access			
Usuários			
Conhecimento em Informática Conhecimento em Software de Geoprocessamento (ArcGIS ou QGIS) Conhecimento em Hidrologia Nível de Inglês Intermediário Disponibilidade de tempo de dedicação			
Dados de Entrada			
Dados de Elevação - MDE (Modelo Digital de Elevação) Mapa de Uso e Ocupação do Solo Mapa Pedológico Dados Climáticos (Precipitação, Temperatura Máx. e Mín., Radiação Solar, Umidade e Vento)			
Dados Adicionais Desejáveis para Calibração do Modelo			
Dados de Medição de Vazão Dados de Medição de Sedimentos Dados de Qualidade da Água			
			Folha 1/1

Fonte: Próprio autor (2020).

Figura 23 – POP N°02/02 – Orientações para a Modelagem – SWAT

	Procedimento Operacional Padrão		
POP N° 02/02	Orientações para a Modelagem - SWAT	Elaborado em	8/11/2020
		Revisado em	8/11/2020
Resultados Possíveis			
<p>Obtenção de parâmetros hidrológicos e valores do ciclo hidrológico</p> <p>Obtenção da produção de sedimentos</p> <p>Obtenção dos valores do Ciclo do Nitrogênio</p> <p>Obtenção dos valores do Ciclo do Fósforo</p> <p>Obtenção dos parâmetros para o crescimento das plantações (nutrientes, temperatura, água etc.)</p> <p>Perdas de Nutirentes</p> <p>Parâmetros hidrológicos e do solo para cada uso principal da terra</p> <p>Identificação de locais no rio com tendência à erosão e com tendência à deposição</p> <p>Análise geral da presença dos reservatórios, como perda d'água por evaporação e sedimentos depositados</p> <p>Projeção futura dos dados</p> <p>Simulação do impacto das mudanças climáticas na natureza</p> <p>Simulação do impacto pela alteração no uso e ocupação do solo na natureza</p>			
Possibilidade de Erros			
<p>Computador não configurado para o sistema americano</p> <p>Incompatibilidade da versão do ArcSWAT/QSWAT com o ArcGIS/QGIS</p> <p>Dados com separador decimal com "," e separador de milhar com "."</p> <p>Dias com ausência de dados climáticos podem apresentar erros ao utilizar o código "-99", devendo-se considerar o preenchimento manual de falhas</p> <p>Dados climáticos com números de linha diferentes nos arquivos .txt</p> <p>Dados climáticos com períodos distintos de início e fim</p>			
Ações Corretivas			
<p>Buscar soluções para os erros nos Manuais do SWAT</p> <p>Solicitar auxílio em Grupos do Google, ex: SWAT-BR, SWAT-USER, ArcSWAT e SWAT-CUP</p> <p>Ler o "ArcSWAT Frequently Asked Questions".</p> <p>Entender em qual tipo (extensão) de dados se encontra o erro e rever os dados</p>			
Referências Bibliográficas			
<p>[1] ArcSWAT Interface for SWAT 2012 - User's Guide - WINCHELL, M.; SRINIVASAN, R.; DI LUZIO, M.; ARNOLD, J. - Blackland Research and Extension Center – Texas AgriLife Research. Temple, Texas. 2013</p> <p>[2] Soil and Water Assessment Tool. Input/Output File Documentation - ARNOLD, J. G.; KINIRY, J. R.; WILLIAMS, J. R.; HANEY, E. B.; NEITSCH, S. L. - Version 2009. Texas Water Resources Institute Technical Report N° 365. 2011.</p> <p>[3] SWAT: Model use, calibration, and validation - ARNOLD, J.G.; ABBASPOUR, K.C.; GASSMAN, P.W.; HARMEL, R.D.; JHA, M.K.; KANNAON, N.; MORIASI, D.N.; SANTHI, C.; SRINIVASAN, R.; VAN GRIENSVEN, A.; VAN LIEW, M. W.; WHITE, M.J -Transactions of the ASABE. 2012.</p>			
			Folha 1/1

Fonte: Próprio autor (2020).

8. CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou algumas das aplicações do software SWAT e as vantagens ao aplicá-lo para a gestão de recursos hídricos, tanto em bacias instrumentadas, como para bacias hidrográficas que não possuem uma rede de monitoramento eficaz. Para os rios monitorados, o SWAT apresenta resultados calibrados e com um grau de confiabilidade maior do que para locais em que não se tem um acompanhamento de campo adequado.

Órgãos públicos e privados podem-se beneficiar desta ferramenta. Pois, além de ser gratuita, poderá trazer informações que transcendem barreiras geográficas ou temporais. Salienta-se, no entanto, que este não é um software de simples execução, e demanda vários requisitos para seu implemento, sendo alguns deles apresentados nos Procedimentos Operacionais Padrão (POP). Os POPs orientarão, de modo resumido, a viabilidade ou não de um órgão gestor aplicar o SWAT para estudo de uma bacia hidrográfica.

A modelagem do rio São José dos Dourados originou uma área da bacia de 5.161,44 km², e dela foram geradas 135 sub-bacias e 2438 HRUs (Unidades de Resposta Hidrológica).

Os valores de vazão simulados e obtidos apresentaram uma correlação considerada satisfatória, com um R² de 0,78, evidenciando-se a funcionalidade do modelo e validando sua aplicação para o rio São José dos Dourados.

Dentre os resultados obtidos pelo SWAT para a bacia do SJD, destaca-se a identificação de locais na bacia hidrográfica que mais produzem sedimentos. Essa informação possibilita direcionar investimentos de recuperação e proteção ambiental dos solos e corpos hídricos. Sugere, também, locais preferenciais para instalação de postos de monitoramento.

Observou-se que maiores produções de sedimentos na BH-SJD são relacionadas ao solo argissolo vermelho amarelo, às pastagens, a grandes inclinações (maiores que 8%) e a períodos com maior incidência pluviométrica.

Recomenda-se que sejam realizados estudos adicionais na bacia hidrográfica do rio SJD com pesquisas e medições de campo a fim de garantir uma calibração do modelo mais apurada.

9. SUGESTÕES PARA PRÓXIMAS PESQUISAS

Sugere-se aperfeiçoar o modelo de calibração e validação para o rio São José dos Dourados, principalmente referente à produção de sedimentos. A calibração pode ser realizada utilizando dados diários ao invés de mensais – caso disponíveis. Sugere-se que a calibração seja realizada com o auxílio do SWAT-CUP a fim de identificar os parâmetros mais sensíveis e intervalos possíveis de alteração dos parâmetros.

Além da validação tradicional que se pode fazer com o SWAT tomando-se uma série temporal de dados não utilizada anteriormente na calibração, pode-se validar o modelo por meio de pesquisas *in loco*, com medições em campo. Essas medições podem ser por meio do acompanhamento das vazões e sedimentos em pontos estratégicos.

Em toda a bacia hidrográfica foi identificado apenas um ponto de coleta de sedimentos, cuja medição foi interrompida em 2017. A realização de campanhas em períodos secos e chuvosos de coleta de sedimentos em suspensão e de fundo, ou o acompanhamento da calha do rio por meio de batimetria, trará importantes informações que auxiliarão na calibração e validação do modelo computacional.

Pelo fato de o rio São José dos Dourados ser um grande e, portanto, relevante afluente do reservatório de Ilha Solteira, sugere-se estudar quantitativamente o aporte de sedimentos no lago e sua deposição no volume morto, de tal maneira a aprimorar os estudos de vida útil do reservatório.

Quanto aos Procedimentos Operacionais Padrão (POP) desenvolvidos neste trabalho, incentiva-se o aprimoramento destes POPs, com eventuais informações faltantes e revisões conforme houver atualizações relativas ao uso do SWAT.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADRIOLO, M. V.; dos SANTOS, I.; GILBERTONI, R. C.; de CAMARGO, A. S. G. Calibração do modelo SWAT para a produção e transporte de sedimentos. **Comitê Brasileiro de Barragens. VI Simpósio Brasileiro Sobre Pequenas e Médias Centrais Hidrelétricas**. Belo Horizonte-MG, 2008.

ALANSI, A. W.; ALMIN, M. S. M.; ABDUL HALIM, G.; SHAFRI, H. Z. M.; ALMRUN, W. **Validation of SWAT model for stream flow simulation and forecasting in Upper Bernam Humid Tropical River Basin, Malaysia**. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 6, 7581–7609, 2009.

ALMEIDA, R. A. **Modelagem Hidrológica na Bacia do Rio Mucuri com a Utilização do Modelo SWAT**. 2016. 101 p. Tese de Doutorado da Universidade Federal de Viçosa. Viçosa-MG, 2016

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Vol. 22, No. 6, 711–728. Stuttgart, 2013.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos**. HIDROWEB. Sistema de Informações Hidrológicas. <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb>>. Acesso em: 24 de novembro de 2019.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Evolução da Rede Hidrometeorológica Nacional**, Brasília, v. 1, n.1, p. 1-15. abr. 2007.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Orientações para Operação das Estações Hidrométricas**. Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica. Brasília. 2012

ANA; ANEEL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico; Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Conjunta Nº 3, de 10 de agosto de 2010**.

ANSELMO, M. F. **Análise Temporal da relação entre uso e ocupação do solo e situação das Áreas de Preservação Permanente (APPs) marginais, na bacia hidrográfica do rio São José dos Dourados, SP**. 2014. 119 p. Tese de Mestrado em Ciências da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba–SP, 2014.

ARNOLD, J.G.; ABBASPOUR, K.C.; GASSMAN, P.W.; HARMEL, R.D.; JHA, M.K.; KANNAN, N.; MORIASI, D.N.; SANTHI, C.; SRINIVASAN, R.; VAN GRIENSVEN, A.; VAN LIEW, M. W.; WHITE, M.J. **SWAT: Model use, calibration, and validation**. *Transactions of the ASABE*. v.55, n.4, p. 1491-1508, 2012.

ARNOLD, J. G.; KINIRY, J. R.; WILLIAMS, J. R.; HANEY, E. B.; NEITSCH, S. L. **Soil and Water Assessment Tool. Input/Output File Documentation. Version 2009**. 662 p. Texas Water Resources Institute Technical Report N° 365, Set/2011.

BALDISSERA, G. C. **Aplicabilidade do Modelo de Simulação Hidrológica SWAT (Soil and Water Assessment Tool), para a Bacia Hidrográfica do Rio CuiabáMT**. Setembro, 2005. 148 p. Dissertação de Mestrado em Física e Meio Ambiente, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá-MT, 2005.

BARRA ROCHA, C. H.; VASCONCELOS, D.; SOUZA, L. V.; SILVEIRA, F. J.; MACHADO, M. M. M.; ALMEIDA, L. L. **Comparação de Modelos Digitais de Elevação Obtidos a Partir de Diferentes Bases de Dados - Curvas de Nível e Pontos Cotados IBGE, LIDAR, SRTM e ALOS**. Juiz de Fora, MG, UFJF, Brasil, 2017.

BERTONI, J. C.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 7. ed. São Paulo: Ícone, 2010. 355 p.

BERTONI, J; TUCCI, C. E. M. **Precipitação**. Hidrologia: Ciência e Aplicação. Porto Alegre. UFRGS, 2007. P.177-241

BLAINSKI, E.; ACOSTA, E.; NOGUEIRA, P. C. P. Calibração e validação do modelo SWAT para simulação hidrológica em uma bacia hidrográfica do litoral norte catarinense. **Revista Ambiente e Água** vol. 12 n. 2 Taubaté – Mar. / Apr. 2017.

BRASIL. Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Presidência da República – Casa Civil – Subchefia para Assuntos Jurídicos**. Brasília, DF, 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm>. Acesso em: 24 out. 2019.

BRESSIANI, D. A.; GASSMAN, P. W.; FERNANDES, J. G.; GARBOSSA, L. H.; SRINIVASAN, R.; BONUMÁ, N. B.; MENDIONDO, E. M. Review of Soil and Water Assessment Tool (SWAT) applications in Brazil: Challenges and Prospects. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 8, n. 3. 9-35. Jun/2015.

CAPRARIO, J.; RECH, A. S.; CAPRARIO, G. N.; FINOTTI, A. R. Simulação Hidrossedimentológica da Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze, Francisco Beltrão (Paraná, Brasil). **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**. Vol 40 – 1/2017 p.102-114.

CARVALHO, F. H. **Uso do Modelo Swat na Estimativa da Vazão e da produção de Sedimentos em Bacia Agrícola do Cerrado Brasileiro**. 2014. 152 p. Dissertação de Mestrado em Agronomia da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Publicação 72/2014. Brasília, DF, 2014.

CARVALHO, N.O; FILIZOLA JÚNIOR, N.P; SANTOS, P.M.C; LIMA, J.E.F.W. **Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios**. Brasília: ANEEL. 2000. 140p. [a]

CARVALHO, N.O.; FILIZOLA JÚNIOR, N.P.; SANTOS, P.M.C.; LIMA, J.E.F.W. **Guia de práticas sedimentométricas**. Brasília: ANEEL. 2000. 154p. [b]

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia Prática** – 2ª ed., atual. e ampliada. – Rio de Janeiro: Interciência, 2008.

CBH-SJD. Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São José dos Dourados. **Plano de Bacia da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Rio São José dos Dourados** - UGRHI - 18. Jales, SP, 2015.

CBH-SJH. Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São José dos Dourados. **UGRHI-18 – Fundamentos da Cobrança pelo Uso dos Recursos Hídricos dos Usuários Urbanos e Industriais**. 2018.

CUNHA, A. C. **Revisão descritiva sobre ecossistemas aquáticos na perspectiva da modelagem da qualidade da água**. Biota Amazônia, v. 3, p. 124-143, 2013.

DEFERSHA, M.B.; MELESSE, A.M. **Field-scale investigation of the effect of land use on sediment yield and runoff using runoff plot data and models in the Mara River basin, Kenya**. v. 89, p. 54-64, 2012.

ELETROBRAS. Centrais Elétricas Brasileiras. **Critérios de Projeto Civil de Usinas Hidrelétricas**. CBDB/CIGB-ICOLD. 2003

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Portal Dia de Campo. **Erosão em Pastagens**. 2011. Disponível em: <
<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/26838/1/ErosAEo-em-pastagens-Portal-Dia-de-Campo.pdf>> Acesso em 24 de janeiro de 2021.

FAGUNDES, H.; FAN, F.; PAIVA, R.; SIQUEIRA, V.; BUARQUE, D.; KORNOWSKI, L.; LAIPELT, L.; COLLISCHONN, W. **Simulated Suspended Sediment Discharge for South America Rivers (MGB-SED AS) – V1.0**, Mendeley Data, V1, doi: 10.17632/k7c5482fsm.1. 2021.

FERNANDES, J. G. **Estimativa de vazão e produção de sedimentos na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, Utilizando o Modelo SWAT**. 2015. 186 p. Tese de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, 2015.

FERRIGO, S. **Utilização do modelo SWAT na estimativa de produção de sedimentos na bacia do córrego capão comprido no Distrito Federal.** Junho, 2011. 91 p. Trabalho de Conclusão de Curso em Agronomia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC. 2011.

GONÇALVES, R. J. **Modelagem do Transporte de Sedimentos na Alta Bacia do Córrego Cachoeirinha (Rio Claro, SP) através do Software “Soil and Water Assessment Tool” (SWAT).** 2014. 57 p. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro-SP, 2014.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Bases Cartográficas – Malha Digital.** Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/malhas_territoriais/malhas_municipais/municipio_2015/UFs/SP/>. Acesso em 19 de novembro de 2019.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2017. **Manuais: Tutorial de Geoprocessamento. Modelagem Numérica de Terreno. Divisão de Processamento de Imagens.** Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/modelagem.html>>. Acesso em: 19 out. 2019.

IPT. INSTITUTO DE PESQUISAS TÉCNOLÓGICAS. **Plano de Bacia da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Rio São José Dos Dourados - UGRHI-18.** Relatório Técnico Nº 87 018–205. Dezembro de 2008.

ITAIPU BINACIONAL. **Agenda 2030.** <https://www.itaipu.gov.br/responsabilidade-social/agenda-2030>. Acesso em 22 de dezembro de 2020 [a].

ITAIPU BINACIONAL. **Itaipu Binacional e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030: relatório de síntese / Itaipu Binacional.** Dirección de Coordinación Ejecutiva, Directoria de Coordenação. Central Hidroelétrica de Itaipu: Itaipu Binacional. 80 p.: il.; 29,5x21 cm. 2020 [b].

ITAMARATY. Ministério das Relações Exteriores. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).** Brasil, 2016. Disponível em: <<http://www.itamaraty.gov.br/pt-BR/politica-externa/desenvolvimento-sustentavel-e-meio-ambiente/134-objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel-ods>> Acesso em 17 de outubro de 2020.

JUNIOR, J. L. B.; **Análise da Disponibilidade Hídrica da Bacia do Rio Jundiá por meio de Simulações Hidrológicas de Cenários Prováveis.** 2014. 188 p. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Campinas, Campinas-SP, 2014.

KUWAJIMA, J. I. **Análise do Modelo SWAT como Ferramenta de Estimativa de Prevenção e de Estimativa de Assoreamento no Reservatório do Lobo (Itirapina/Brotas/SP)**. 2012. 158 p. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos-SP, 2012.

LELIS, T. A.; CALIJURI, M. L.; SANTIAGO, A. F.; LIMA, D. C.; ROCHA, E. O. **Análise de Sensibilidade e Calibração do Modelo SWAT Aplicado em Bacia Hidrográfica da Região Sudeste do Brasil**. R. Bras. Ci. Solo, 36:623-634, 2012.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Áreas de preservação permanente e unidades de conservação x áreas de risco: o que uma coisa tem a ver com a outra?** Relatório de inspeção da área atingida pelas tragédias das chuvas na Região Serrana do Rio de Janeiro. Brasília-DF, 2011.

PORTAL DO DAEE. Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Banco de Dados Hidrológicos**. Disponível em: < <http://www.hidrologia.daee.sp.gov.br> >. Acesso em 15 outubro de 2019.

PORTAL SIGRH. **Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. CBH – SJD, apresentação**. Disponível em: < <http://www.sigrh.sp.gov.br/cbhsjd/apresentacao> >. Acesso em: 19 jun. 2019.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO (PNUD). **Objetivos De Desenvolvimento Sustentável. 2020**. Disponível em: < <https://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/sustainable-development-goals.html> >. Acesso em 15 outubro de 2020.

PROJETO MAPBIOMAS – **Mapeamento de uso da terra para o Cerrado e Mata Atlântica**. Coleção 4 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil – FBDS. Acessado em abril de 2020. Disponível em: <https://mapbiomas.org/pages/database/reference_maps>

PRUSKI, F.F. **Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. Viçosa: Ed. UFV, 280 p. 2006.

SADEGHI, S. H.; MIZUYAMA, T. e VANGAH, B. G. Conformity of MUSLE Estimates and Erosion Plot Data for Storm-Wise Sediment Yield Estimation. **Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences**, Vol. 18, No. 1, 117-128, 2007.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente. **FEHIDRO**. Disponível em: <<https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/fundo-estadual-de-recursos-hidricos/>>. Acesso em 12 de dezembro de 2020.

SÃO PAULO (Estado). Lei nº 7.663, 30 de dezembro de 1991. Estabelece normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos. **Assembleia**

Legislativa do Estado de São Paulo. São Paulo, 1991. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/1991/lei-7663-30.12.1991.html>>. Acesso em 23 de novembro de 2019.

SÃO PAULO (Estado). **Boletim de Recomendações Gerais para a Conservação do Solo na Cultura da Cana-de-açúcar.** Secretaria de Agricultura e Abastecimento. Campinas, SP, 2016.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente, Instituto Florestal. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo: revisado e ampliado.** Márcio Rossi. – São Paulo: Instituto Florestal, 2017. 118p.: il. color; mapas. 42x29,7 cm. Disponível também em: <http://www.iflorestal.sp.gov.br>. ISBN: 978-85-64808-16-4

SANTOS, F. M. **Modelagem concentrada e semi-distribuída para a simulação de vazão, produção de sedimentos e de contaminantes em bacias hidrográficas do interior de São Paulo.** 14 ago. 2018, 180p. Tese de Doutorado Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, SP, 2018. [a]

SANTOS, J. T. S.; NUNES, H. G. G. C., PONTES, A. K. S., SOUSA, A. M, L. O Modelo SWAT como Ferramenta para a Gestão de Recursos Hídricos: Um Exemplo Aplicado no Rio Apeú, Castanha/PA. 13 p. **REGA - Revista de Gestão de Água da América Latina** - ISSN 2359-1919. Abril, 2018. [b]

SARMENTO, L. **Análise de incertezas e avaliação dos fatores influentes no desempenho de modelos de simulação de bacias hidrográficas.** 2010. 241 p. Tese de Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH. TD – 07/10, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2010.

SHRESTHA, P. K. **SWAT Calibration Helper – for Monthly Simulations v 1.0 (2017).** Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/317345023_SWAT_Calibration_Helper_-_Monthly_v10> Acesso em 31 de janeiro de 2021.

SNIRH - Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos. **Mapa de Chuva.** Disponível em: <portal1.snirh.gov.br/ana/apps/webappviewer/index.html?id=da8c9edf91804682b269e9d631117619>. Acesso em 9 de janeiro de 2021.

SILVA, A. M.; SILVA, J. F. C. B. C.; HENRIQUES, I. G. N.; da SILVA, R. M. Estimativa da Produção de Sedimentos na Bacia do Reservatório Epitácio Pessoa – PB. **Revista OKARA: Geografia em debate**, v.11, n.2, p. 225-236, 2017. ISSN: 1982-3878. João Pessoa, PB, DGEOC/CCEN/UFPB.

SILVA, N. D. M.; CHISTOFARO, C. **Calibração do modelo hidrológico SWAT para estimativa da vazão em sub-bacia hidrográfica do Rio Jequitinhonha**. II Simpósio Modelagem de Sistemas Ambientais e Gestão de Paisagem. Desafio e aplicações. Belo Horizonte, 2016.

SILVA, R. S.; CHAVES, H. M. L.; CAMELO, A., P. Calibração e Validação da Equação Universal de Perda de Solos Modificada (Musle) Utilizando Dados Hidrossedimentológicos Locais. **Revista Brasileira de Ciências**. Solo, 35:1431-1439, 2011.

SILVA, R. M.; HENRIQUE, I. G. N.; CAZÉ, J. F. Simulação das Mudanças de Uso e Ocupação do Solo e Seus Efeitos nas Características Hidrossedimentológicas em uma Bacia do Bioma Caatinga. **Revista de Geografia**. Recife, V. 35, No. 1, 2018.

SRINIVASAN, R.; BRESSIANI, D. **ArcSWAT – Interface em ArcGIS para o modelo Soil and Water Assessment Tool (SWAT)**. Workshop Introductório em Português. SWAT 2014. Conference Pernambuco, PE, Brazil.

TEIXEIRA, A. L. A.; MATIAS, L. F.; NOAL, R. H.A. e MORETTI, E. “**Qual a Melhor Definição de SIG**”. Fator GIS, v.3, n.l 1, Outubro-Dezembro, p.20-24. 1995.

TUCCI, C. E. M. et al. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 2a edição. Porto Alegre. Editora da UFGRS/ABRH, 1997. 943 p.

USEIKA, T. **Aplicabilidade do Modelo SWAT na Simulação da Produção de Sedimentos em uma Pequena Bacia Hidrográfica Rural**. Julho, 2009. Tese de Mestrado da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS, 2009.

VEIGA, A. M. **Calibração do Modelo Hidrossedimentológico SWAT na Bacia Hidrográfica do Córrego Samambaia, Goiânia – GO**. Maio, 2014. 132 p. Tese de Mestrado do Programa de Pós Graduação em Engenharia do Meio Ambiente – PPGEMA, Universidade Federal de Goiás, Goiânia-GO, 2014.

WILLIAMS, J. R. **Sediment yield prediction with Universal Equation using runoff energy factor**. Agricultural Research Service, US Department of Agriculture, 1975.

WINCHELL, M.; SRINIVASAN, R.; DI LUZIO, M.; ARNOLD, J. **ArcSWAT Interface for SWAT 2012 - User’s Guide**. Blackland Research and Extension Center – Texas AgriLife Research. Temple, Texas. Março, 2013.

WISCHMEIER, W.H., SMITH, D.D. **Predicting Rainfall-Erosion Losses From Cropland East of the Rocky Mountains**. USDA. Agr. Handbk. No. 282, 47 p. 1965.

APÊNDICE

AGENDA 2030 E OS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS)

A prevenção da qualidade e da quantidade de água, além de prevista pela Lei Federal Nº 9.433 (BRASIL, 1997), vem ao encontro de um desenvolvimento sustentável que deve ocorrer no Brasil e no mundo. E, dentre outros objetivos a serem alcançados para que haja um desenvolvimento sustentável mundial, os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) visam a proteção dos recursos naturais, como a água.

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) foram estabelecidos em setembro de 2015 pelos 193 países membros da ONU (Organização das Nações Unidas). A reunião dos líderes mundiais se deu na sede da ONU, em Nova York.

Na ocasião da reunião, foi decidida uma nova agenda: a Agenda 2030. Essa agenda estabelece objetivos para serem alcançadas até o ano de 2030, os ODS. Segundo o PNUD (2020), os ODS são um chamado universal para ação contra a pobreza, proteção do planeta e para garantir que todas as pessoas tenham paz e prosperidade. A fim de atingir essas metas, a Agenda 2030 contém o conjunto de 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), conforme se observa na Figura 24.

Figura 24 – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)



Fonte: Itamaraty (2016).

Com a finalidade de se obter um desenvolvimento sustentável, dentre outras ações, deve-se atentar para o manejo da água, dos resíduos líquidos e sólidos, da produção de sedimentos, da manutenção de parâmetros dos ecossistemas nas bacias hidrográficas e da qualidade e quantidade de água disponível.

Visando essa gestão adequada, dentre os 17 ODS, separaram-se 2 que dizem respeito à temática da água e seu uso sustentável, destacando-se também algumas ações necessárias para atingir essas metas, segundo acordado entre as partes (países participantes).

- **ODS 6** - Água potável e saneamento: Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos. A fim de atingir essas metas, têm-se passos para serem percorridos até 2030, destacando-se:
 - Melhorar a qualidade da água, reduzindo a poluição, eliminando despejo e minimizando a liberação de produtos químicos e materiais perigosos, reduzindo à metade a proporção de águas residuais não tratadas e aumentando substancialmente a reciclagem e reutilização segura globalmente;
 - Implementar a gestão integrada dos recursos hídricos em todos os níveis, inclusive via cooperação transfronteiriça, conforme apropriado; e
 - Apoiar e fortalecer a participação das comunidades locais, para melhorar a gestão da água e do saneamento.

- **ODS 15** - Vida terrestre: Proteger, restaurar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, travar e reverter a degradação dos solos e travar a perda da biodiversidade.
 - Até 2020, promover a implementação da gestão sustentável de todos os tipos de florestas, deter o desmatamento, restaurar florestas degradadas e aumentar substancialmente o florestamento e o reflorestamento globalmente.

Visando exercer a correta gestão de bacias hidrográficas, que abrangem os corpos hídricos da bacia e o solo presente nessa região, a proposta deste trabalho vem ao encontro dos ODS. Deve-se gerir em escala menor (no âmbito das bacias hidrográficas), para que possa ser alcançado um nível global de desenvolvimento sustentável, com a proteção adequada dos recursos naturais.

A exemplo disso, a Itaipu Binacional e o Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais das Nações Unidas (UNDESA) lançaram, em março de 2018, em Nova York, a parceria de Soluções Sustentáveis em Água e Energia, uma aliança que tem como objetivo promover boas práticas que contribuam com a implementação dos ODS (ITAIPU BINACIONAL 2020a). Essa parceria lançou, durante a COP 25, produtos técnicos que contribuem diretamente para as metas de cada um dos 17 ODS. Neste contexto, destaca-se o monitoramento de sedimentos descrito no produto referente ao ODS 6.

No Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6, por meio da Prática de Conservação da Água e do Solo, a Itaipu trabalha para a redução de entrega de sedimentos nos rios e no reservatório, aumentando a infiltração de água no solo e recarregando aquíferos subterrâneos e reduzindo a sedimentação de canais. Além disso, têm-se as atividades de Monitoramento Ambiental de água e Sedimentos, que constituem parte do programa de gestão integrada de recursos hídricos. Esse monitoramento é realizado por meio de levantamentos batimétricos e hidráulicos e monitoramento da qualidade da água de micropoluentes e de água subterrânea. O monitoramento conta também com 15 estações que determinam as descargas sólidas e estimam a produção de sedimentos na bacia (ITAIPU BINACIONAL, 2020b).