

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**FERNANDO HENRIQUE SEVERINO DOS SANTOS**

**AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO EM AMBIENTE SIG PARA IDENTIFICAÇÃO DE  
ÁREAS DE RISCO À EROÇÃO NA BACIA SÃO JOSÉ DOS DOURADOS-SP**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PATO BRANCO**

**2021**

**FERNANDO HENRIQUE SEVERINO DOS SANTOS**

**AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO EM AMBIENTE SIG PARA IDENTIFICAÇÃO DE  
ÁREAS DE RISCO À EROSÃO NA BACIA DO SÃO JOSÉ DOS DOURADOS - SP**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito parcial para a conclusão do curso de engenharia civil na da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Vaneza Andrea Lima de Freitas

Pato Branco

2021

# Termo de aprovação



Ministério da Educação  
**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
DEP. ACADEMICO DE CONSTR. CIVIL DACOC-PB

## TERMO DE APROVAÇÃO

### TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - TCC

#### AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO EM AMBIENTE SIG PARA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS SUSCEPTÍVEIS A EROÇÃO NA BACIA DO SÃO JOSÉ DOS DOURADOS-SP


Por  
FERNANDO HENRIQUE SEVERINO DOS SANTOS


Monografia apresentada 19 de agosto de 2021, às 15h50min, no Campus PATO BRANCO da UTFPR, como requisito parcial, para conclusão do Curso de ENGENHARIA CIVIL da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação e conferidas, bem como achadas conforme, as alterações indicadas pela Banca Examinadora, o trabalho de conclusão de curso foi considerado APROVADO.

Banca examinadora:

|   |                                |
|---|--------------------------------|
| Prof. Msc. NORMELIO VITOR FRACARO         | Membro                         |
| Prof. Dr. MURILO CESAR LUCAS              | Membro                         |
| Profª. Msc. VANEZA ANDREA LIMA DE FREITAS | Orientador                     |
| Profª. Drª. ELIZANGELA MARCELO SILIPRANDI | Professor(a) responsável TCCII |

 Documento assinado eletronicamente por (Document electronically signed by) **MURILO CESAR LUCAS, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em (at) 19/08/2021, às 11:41, conforme horário oficial de Brasília (according to official Brasília-Brazil time), com fundamento no (with legal based on) art. 4º, § 3º, do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

 Documento assinado eletronicamente por (Document electronically signed by) **NORMELIO VITOR FRACARO, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em (at) 19/08/2021, às 11:41, conforme horário oficial de Brasília (according to official Brasília-Brazil time), com fundamento no (with legal based on) art. 4º, § 3º, do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

 Documento assinado eletronicamente por (Document electronically signed by) **VANEZA ANDREA LIMA DE FREITAS, PROFESSOR(A) ORIENTADOR(A)**, em (at) 19/08/2021, às 12:41, conforme horário oficial de Brasília (according to official Brasília-Brazil time), com fundamento no (with legal based on) art. 4º, § 3º, do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

 Documento assinado eletronicamente por (Document electronically signed by) **ELIZANGELA MARCELO SILIPRANDI, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em (at) 19/08/2021, às 14:23, conforme horário oficial de Brasília (according to official Brasília-Brazil time), com fundamento no (with legal based on) art. 4º, § 3º, do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

 A autenticidade deste documento pode ser conferida no site (The authenticity of this document can be checked on the website) [https://sei.utfpr.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orcao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.utfpr.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orcao_acesso_externo=0), informando o código verificador (informing the verification code) **2183976** e o código CRC (and the CRC code) **285F40E4**.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à Deus, à minha família, aos professores e amigos que me ajudaram a concluir esse objetivo.

*“tudo que devemos decidir é o que fazer com  
o tempo que nos é dado.”*

*(Gandalf)*

## RESUMO

SANTOS, Fernando Henrique Severino. Avaliação multicritério em ambiente sig para identificação de áreas de risco na bacia do São José dos Dourados - sp. 63pg. Trabalho de Conclusão de Curso Engenharia Civil – Departamento Acadêmico de Construção Civil – Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/Pato Branco.

A atuação humana na bacia do rio São José dos Dourados no estado de São Paulo acelerou os processos erosivos no solo e, conseqüentemente, o assoreamento de rios e lagos. Diante disso, este trabalho objetivou identificar e hierarquizar as áreas mais suscetíveis aos processos erosivos por meio de técnicas de geoprocessamento e de análise de dados. Para isso foram utilizados dados SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) e mapas temáticos disponibilizados pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), MapBiomas, DataGeo, INDE (Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais) e o software QGIS para o processamento. Foram coletados os mapas de uso e ocupação do solo, declividade, NDVI, hipsometria e pedologia, atribuindo um valor de risco para cada item de suas legendas de acordo com seu grau de influência nos processos erosivos. Em seguida, foi aplicado o método do Processo de Análise Hierárquica (AHP) para estabelecer uma relação de importância relativa entre os fatores analisados representados pelo tema de cada mapa, essa hierarquia foi traduzida matematicamente através de pesos atribuídos para cada um dos mapas. Utilizando a Álgebra de Mapas com cada um deles devidamente ponderados, foi construído o mapa de risco de erosão hídrica integrando os mapas de uso e ocupação do solo, declividade, NDVI, hipsometria e pedologia. A partir da análise dos resultados foi constatado que a bacia do rio São José dos Dourados apresenta um alto potencial de erosão, cerca de 69,45% de sua área total se encontra em região de alto potencial erosivo e 17,52% da área apresenta potencial erosivo muito alto. Essa vulnerabilidade muito alta está associada às características do solo, tanto do tipo de solo, Argissolo Vermelho-Amarelo que apresenta baixa resistência à erosão e o ocupa a maior parte da área da bacia, quanto ao seu uso e ocupação, caracterizado pela intensa atividade humana como em culturas de cana de açúcar, soja, laranja e também como na pecuária. A metodologia aplicada mostrou-se eficiente e adequada, uma vez que os resultados vão de encontro aos obtidos pelo Relatório de Situação de Recursos Hídricos UGRHI 18 (2018) que classificou a região em relação ao seu risco de erosão, porém de maneira mais generalizada que o presente trabalho, não diferenciando variações intrarregional. Desta maneira, os produtos obtidos são ferramentas técnico-gerenciais de auxílio à tomada de decisão necessária à atenuação dos impactos socioambientais decorrentes da perda de solo. Nesse sentido, sugere-se a sobreposição da rede de drenagem e de águas subsuperficiais no mapa de risco gerado para a proteção dessas áreas da rede de drenagem prioritariamente, bem como a contenção de encostas, medidas já bastante debatidas e reconhecidas pela literatura científica para evitar, recuperar, gerenciar, minimizar e monitorar os processos erosivos em áreas urbanas ou rurais.

Palavras-chaves: EROSÃO.SOLO.RISCO

## **ABSTRACT**

**SANTOS, Fernando Henrique Severino.** Multicriteria assessment in a sig environment to identify risk areas in the são José dos dourados basin. 63pg. Course Conclusion Work Civil Engineering – Academic Department of Civil Construction – Federal Technological University of Paraná – UTFPR/Pato Branco.

Human activity in the São José dos Dourados river basin in the state of São Paulo accelerated the erosion processes in the soil and, consequently, the siltation of rivers and lakes. Therefore, this work aimed to identify and rank the areas more susceptible to erosive processes using geoprocessing and data analysis techniques. For this, SRTM data (Shuttle Radar Topography Mission) and thematic maps provided by INPE (National Institute for Space Research), MapBiomass, DataGeo, INDE (National Spatial Data Infrastructure) and the QGIS software for processing were used. The maps of land use and occupation, slope, NDVI, hypsometry and pedology were collected, assigning a risk value to each item in its legends according to its degree of influence on erosive processes. Then, the Hierarchical Analysis Process (AHP) method was applied to establish a relationship of related importance between the factors represented by the theme of each map, this hierarchy was translated mathematically through weights assigned to each of the maps. Using a Map Algebra with each one duly weighted, the water erosion risk map was built, integrating the maps of land use and occupation, slope, NDVI, hypsometry and pedology. From the analysis of the results, it was found that the São José dos Dourados river basin has a high erosion potential, about 69.45% of its total area is in a region of high erosion potential and 17.52% of the area has very high erosive potential. This very high vulnerability is associated with soil characteristics, both the type of soil, Red-Yellow Argisol, which has low erosion resistance and occupies most of the basin area, as well as its use and occupation, advanced by intense human activity as in sugarcane, soy, orange and also in livestock. The methodology was applied efficiently and appropriately, since the results meet the requirements of the Water Resources Situation Report UGRHI 18 (2018), which classified the region in relation to its erosion risk, but more generally than the present work, not differentiating intraregional variations. In this way, the products obtained are technical and managerial tools to aid the decision-making necessary to mitigate the socio-environmental impacts resulting from the loss of soil. In this sense, it is necessary to superimpose the drainage network and subsurface waters in the risk map generated for the protection of these areas of the drainage network as a priority, as well as the containment of slopes, measures already debated and recognized in the scientific literature to avoid , recover, manage, minimize and monitor erosion processes in urban or rural areas.

Keywords: EROSION.SOIL.RISK

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1: Grau de erodibilidade.....                                      | 36 |
| Tabela 2: Risco por componente de legenda.....                            | 44 |
| Tabela 3: Escala de importância.....                                      | 45 |
| Tabela 4: Matriz de comparação pareada.....                               | 45 |
| Tabela 5: Operação matricial.....   | 46 |
| Tabela 6: Índice Randômico Médio do AHP em função da ordem da matriz..... | 47 |
| Tabela 7: Pesos dos fatores.....  | 47 |
| Tabela 8: Pedologia da BJSD.....  | 48 |
| Tabela 9 : Declividade da BJSD.....                                       | 49 |
| Tabela 10: Uso do Solo e NDVI da BJSD.....                                | 49 |
| Tabela 11: Hipsometria da BSJD.....                                       | 50 |



## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 4: Bacia hidrográfica.....                                 | 9  |
| Figura 5: Matriz de funcionamento do SINGREH.....                 | 14 |
| Figura 6: Localização da bacia do Rio São José dos Dourados. .... | 29 |
| Figura 7: Pedologia.....  | 35 |
| Figura 8: Declividade da BSJD. ....                               | 37 |
| Figura 9: Uso e ocupação do solo da BSJD. ....                    | 39 |
| Figura 10: NDVI da BSJD. ....                                     | 40 |
| Figura 11: Hipsometria da BSJD.....                               | 41 |
| Figura 12: Risco de degradação. ....                              | 51 |
| Figura 13: Criticidade à erosão.....                              | 53 |

## SUMÁRIO

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO</b>  | <b>4</b>  |
| 1.1      | OBJETIVO   | 5         |
| 1.1.1    | Objetivo Geral   | 5         |
| 1.1.2    | Objetivos Específicos  | 5         |
| 1.2      | JUSTIFICATIVA  | 6         |
| <b>2</b> | <b>REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO</b>                                   | <b>7</b>  |
| 2.1      | CICLO HIDROLÓGICO  | 7         |
| 2.2      | A BACIA HIDROGRAFICA   | 9         |
| 2.2.1    | O conceito de bacia hidrográfica                                   | 9         |
| 2.2.2    | a bacia hidrográfica como limite territorial para gestão ambiental | 10        |
| 2.3      | SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS E ANÁLISE AMBIENTAL            | 14        |
| 2.4      | AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIOS APLICADA NO AMBIENTE SIG                  | 16        |
| 2.4.1    | TOMADA DE DECISÃO MULTICRITÉRIO E SIG                              | 21        |
| 2.4.2    | Geoprocessamento como ferramenta de licenciamento ambiental        | 25        |
| <b>3</b> | <b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>   | <b>28</b> |
| 3.1      | LOCALIZAÇÃO  | 28        |
| <b>4</b> | <b>CARACTERÍSTICAS</b>   | <b>30</b> |
| 4.1      | CONJUNTURA SOCIOECONÔMICA  | 30        |
| 4.2      | ÁGUAS  | 30        |
| 4.3      | PROBLEMAS  | 31        |
| 4.4      | CLIMA  | 32        |
| <b>5</b> | <b>FATORES DE AVALIAÇÃO</b>  | <b>33</b> |
| 5.1      | SOLOS  | 33        |
| 5.2      | DECLIVIDADE  | 36        |
| 5.3      | USO E OCUPAÇÃO   | 38        |
| 5.4      | NDVI   | 39        |
| 5.5      | HIPSOMETRIA  | 41        |
| 5.6      | MATA CILIAR E PROTEÇÃO DE NASCENTES                                | 42        |
| <b>6</b> | <b>MÉTODOS</b>   | <b>43</b> |
| 6.1      | TABELA DE RISCOS   | 43        |
| <b>7</b> | <b>RESULTADO E DISCUSÕES</b>                                       | <b>48</b> |

|     |                          |           |
|-----|--------------------------|-----------|
| 7.1 | RISCO DE DEGRADAÇÃO..... | 51        |
| 8   | <b>DISCUSÕES .....</b>   | <b>54</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

A erosão hídrica é uma das principais razões da depreciação do solo no mundo, com taxas de retirada muito superiores as taxas naturais de reposição geradas pela ação do intemperismo nas rochas matrizes (Needelman, 2013). Técnicas de manejo inadequadas e a remoção da cobertura vegetal fazem com que os solos fiquem mais vulneráveis aos processos erosivos, intensificando assim o carreamento de partículas do solo, adubos, sementes e agrotóxicos para os corpos hídricos (Andrade et al., 2010) o que desencadeia problemas como o assoreamento, a contaminação de corpos hídricos e a perda da biodiversidade devido o carreamento de partículas do solo. Esse processo compromete a produtividade agrícola pois o decaimento das qualidades mecânicas e químicas do solo vão exigir compensação em adição de nutrientes e obras de contenção no solo degradado, elevando assim os custos de produção (FAO, 1983). A erosão é responsável pela perda de 25 a 40 bilhões de toneladas de solo por ano no mundo todo, sendo, portanto, um problema em escala global FAO (2015).

Processos erosivos são as ações de intemperismo que promovam a desagregação e remoção das partículas do solo e de fragmentos de partículas de rochas, pela ação conjunta da gravidade e da água. Estes processos são desencadeados principalmente pelo desprendimento das partículas do solo devido o impacto e transporte impressos pela ação das gotas de chuva (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990). Após o desprendimento dessas partículas, os materiais removidos por estes processos podem dar origem a outros processos, como o escoamento superficial concentrado (gerando sulcos, ravinas e boçorocas), e deposição de materiais no leito dos rios (assoreamento), além de enchentes e inundações (RIDENTE JÚNIOR, 2000).

Para fins de mapeamento do grau de susceptibilidade ao desencadeamento desses processos supra citados dentro de uma bacia, região ou recorte territorial, um termo mais genérico pode ser empregado, podendo ser classificados então como “Processos de Dinâmica Superficial” como o descrito pela CETESB (2014) e pelo IBAMA (2013), essa denominação vem do fato de que para toda partícula de solo ou rocha que é desagregada e lixiviada, uma região de depósito desses sedimentos poderá ser criada, ou seja, são processos que ocorrem em cadeia.

A intensidade dos processos erosivos é influenciada pela erodibilidade dos tipos de solos/rochas, pela intensidade das chuvas, pelo tipo de cobertura vegetal e da topografia da bacia que determina o tamanho e o comprimento das vertentes de escoamento Guerra (1998). Nesse sentido, a ação humana constitui uma das principais causas dos processos erosivos, desde os impactos iniciais causados pelo desmatamento e manejo inadequado do solo até todo desequilíbrio natural do meio físico que tais atividades causam (MAGALHÃES, 2001)

Para uma análise adequada de susceptibilidade e vulnerabilidade a erosão, é necessário levar em consideração as variáveis da área de estudo que influenciam nesse processo. Com o Sistema de Informações Geográficas (SIG) é possível produzir mapas temáticos com maior precisão, velocidade, a baixo custo e com facilidade de atualização constantes. A construção das imagens pode ser feita a partir da compilação de mapas secundários, da interpretação visual ou matemática do analista sobre um determinado tema ou através da álgebra de mapas. Dessa maneira o SIG representa uma ferramenta fundamental para a compreensão e análise de fenômenos geoespaciais, incluindo para a identificação de focos de erosão.

## 1.1 OBJETIVO

### 1.1.1 Objetivo Geral

Gerar mapas de risco a erosão de dinâmica superficial na bacia São José dos Dourados.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Coletar dados referentes ao uso e ocupação da bacia, cobertura vegetal, relevo, qualidade e composição do solo da bacia em estudo;
- Mapear a região da bacia do São José dos Dourados classificando de acordo com o grau de susceptibilidade a processos de dinâmica superficial;

- Propor áreas de intervenção para prevenção ou mitigação dos danos causados pela desagregação do solo;

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Considerando as consequências econômicas, ambientais e também sociais da perda de solo pela erosão hídrica, conforme o argumentado pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO, 2015), ter ferramentas que ajudem identificar e mapear os focos de erosão nos confere mais eficiência em nossas ações, evitando que recursos escassos sejam desperdiçados no monitoramento de áreas seguras.

## 2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

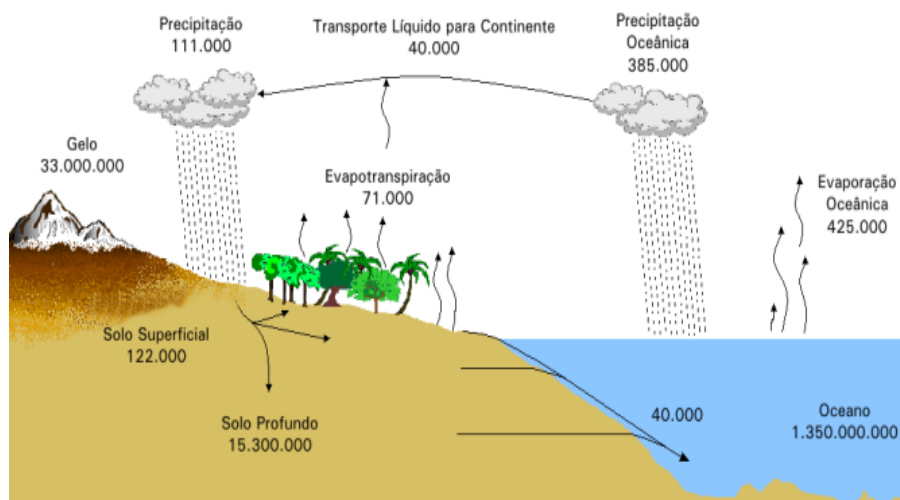
Frase introdutória

### 2.1 CICLO HIDROLÓGICO

Ciclo hidrológico pode ser definido como o mecanismo pelo qual as águas circulam do oceano para os continentes, de onde retornam superficialmente o subterraneamente. Esse mecanismo é regido pela energia solar associada a gravidade e a rotação terrestre, bem como a cobertura vegetal, as características atmosféricas, temperatura e superfície líquidas de lagos, rios, mares e oceanos. Esse ciclo pode acontecer em dois sentidos: a) no sentido superfície-atmosfera através da evaporação das águas na superfície e da transpiração dos seres vivos, onde a água circula no estado físico de vapor; b) no sentido atmosfera-superfície por meio das formas mais comuns como chuva e neve (TUCCI, 2000).

As etapas do ciclo hidrológico podem ser observadas na Figuras 1, ela representa um esquema do fluxo hidrológico através da atmosfera, do solo/sub-solo e oceanos, no esquema se destaca duas direções sendo uma vertical e outra longitudinal.

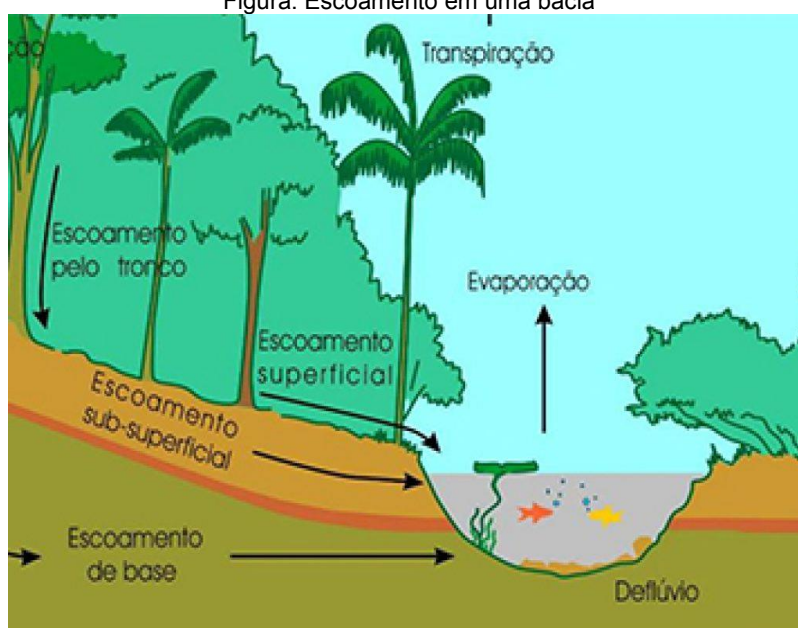
Figura 1: Ciclo Hidrológico com representação dos principais estoques e fluxos do ciclo global de água em km<sup>3</sup>/ano



Fonte: Aduan, Júnior, Vilela (2004)

É importante destacar o papel que exerce a vegetação no ciclo hidrológico, esta possui um papel regulador do escoamento superficial através das camadas de folhas, galhos e outros restos vegetais, que proporcionam grande rugosidade, reduzindo o escoamento superficial das águas para as partes mais baixas do terreno e assim favorecendo sua infiltração no solo, diminuindo o impacto da água ao cair no solo e a velocidade desse escoamento superficial o que dificulta processos lixiviadores e erosivos do solo. A matéria orgânica decomposta é incorporada ao solo e proporciona uma excelente porosidade e, conseqüentemente também eleva a capacidade de infiltração (Ranzini, 2015).

Figura: Escoamento em uma bacia



Fonte: Secretária de Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo (2015)

Os maiores reservatórios de água na terra, segundo o documento 119 da Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), são em ordem decrescente: os oceanos com 1.350.000.000 km<sup>3</sup>, as geleiras com 33.000.000 km<sup>3</sup> e as águas subterrâneas com 15.300.000 km<sup>3</sup>, enquanto estima-se que os solos detém cerca de 121.800 km<sup>3</sup> de água, mas apenas um montante de 58.100 km<sup>3</sup> estaria disponível para as raízes das plantas e 13.000 km<sup>3</sup> para a sobrevivência e para as atividades econômicas humanas, provenientes do escoamento superficial (ADUAN et al., 2004).

É na regulação do fluxo solo/atmosfera que reside a importância da vegetação, ao funcionar como interceptadora da água que vem da atmosfera e devido ao sua atuação como retentora da água no solo, a cobertura vegetal aumenta o tempo de concentração da água no continente e promove sua infiltração no solo, o que



promove uma redistribuição da água no continente e evita perdas para o oceano, aumentando assim sua disponibilidade para o uso humano, portanto é através da modificação dessa cobertura que a atividade humana pode interferir intensamente no ciclo e no balanço global da água (ADUAN et al.,2004).

## 2.2 A BACIA HIDROGRAFICA

### 2.2.1 O conceito de bacia hidrográfica

Para Barrella, W *et al* (2007) a bacia hidrográfica pode ser entendida como um conjunto de terras drenadas por um rio principal e seus afluentes, nas regiões mais altas do relevo estão os divisores de água onde as águas das chuvas, ou escoam superficialmente formando os riachos e rios, ou infiltram no solo para a formação de nascentes do lençol freático. As cabeceiras são formadas por riachos que brota de terrenos íngremes como serras e montanhas e à medida que as águas descem no relevo da bacia, os riachos encontram outros riachos e assim aumenta de volume formando rios que continuam em seus trajetos recebendo águas de outros tributários e assim vão formando rios cada vez maiores até desembocar no oceano.

As bacias podem ser desmembradas em um número qualquer de sub bacias, dependendo do ponto de saída considerado ao longo do seu eixo-trinco ou canal coletor, portanto sub bacia é a área de drenagem de um rio tributário de um rio principal. Cada bacia hidrográfica interliga-se com outra de ordem hierárquica superior, sendo assim uma sub bacia da última. Assim, os termos bacia e sub bacia hidrográficas são relativos (SANTANA, 2004).

Figura 1: Bacia hidrográfica



Fonte: Thinglinks (2015)

### 2.2.2 a bacia hidrográfica como limite territorial para gestão ambiental

Para Lanna (1995) a adoção da bacia hidrográfica como unidade territorial para o planejamento e gestão ambiental dos recursos naturais apresenta vantagens e desvantagens. Dentre as vantagens argumenta que a rede de drenagem da bacia pode explicitar relações de causa e efeito entre atividades que acontecem dentro da unidade territorial da bacia e seu estado atual de conservação por trechos. Enquanto as desvantagens destacam-se que nem sempre os limites municipais e estaduais respeitam os divisores de bacia

A bacia hidrográfica age como um sistema “multinível”, no qual todas as ações e práticas, políticas, econômicas, culturais e etc, sejam internas ao seu território ou mesmo externas a ele, refletem assim em sua totalidade espacial como argumentam Barbosa et al (1997, p. 258).

Nascimento e Vilaça (2008) defendem que as bacias hidrográficas constituem uma unidade espacial de fácil reconhecimento e caracterização, destacando que não há nenhuma área de terra que não se integre a uma bacia, sendo possível avaliar de forma integrada as ações humanas sobre o ambiente e suas consequências no equilíbrio ambiental presente na rede de uma determinada bacia uma vez que essas atravessam barreiras políticas tradicionais (municipais, estaduais ou federais) e constituem segundo seus próprios limites naturais uma unidade física de gerenciamento e desenvolvimento econômico e social.

A adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento para recursos hídricos não é uma unanimidade entre os países como apontam *Bourlon & Berthon*

(1993), diversos países do continente europeu, como por exemplo Áustria, Alemanha, Bélgica, Dinamarca e Suécia, adotam os limites administrativos no para gestão de recursos hídricos invés dos limites das bacias. Entre os países que adotam os limites definidos pela topografia das bacias hidrográficas estão Espanha, Estados Unidos, França, Grécia, Reino Unido e Portugal.

Para Setti (1996), nos Estados Unidos apesar de desde 1965 ser definido por lei que as bacias hidrográficas são as unidades de planejamento ambiental e de gerenciamento dos recursos hídricos, a grande autonomia dos estados americanos faz com que ocorram dificuldades para a implantação e execução deste do sistema.

Na França, a bacia hidrográfica como unidade básica de planejamento e gestão foi estabelecida por legislação em 1964. Segundo Lanna (1995) e Setti (1996) a política de águas na França é controlada por três entidades: a *Agência de Bacia*, um órgão público de personalidade civil e com autonomia financeira, cujo a ele é atribuída a responsabilidade de cobrança pelo uso da água, concessão de subsídios e empréstimos para realização de obras de interesse público e pesquisas na área; o Comitê de Bacia que possui um caráter jurídico na resolução de conflitos de interesse sobre o uso, conservação e distribuição da água, funcionando assim como um “parlamento” da água; as Comunas e Departamentos, estas estabelecem parâmetros de qualidade para os cursos d’água e executam obras públicas na bacia. Nesse sistema o Estado está acima dessas três entidades agindo como tutor das agências e comitês, por meio de uma coordenação interministerial o Estado monitora fontes poluidoras e consumidoras de água para fazer valer o que foi decidido por essas três entidades.

No Brasil esse sistema começou a ser implementado na década de 70 quando surgiu as primeiras discussões acerca da necessidade de preservação dos recursos hídricos e suas consequências, como destacado por *Rosa e Guarda (2019)* que lembram da Conferência das Nações Unidas sobre a água, em 1977, em Mar Del Plata (Uruguai) que foi a primeira conferência internacional criada especificamente para tratar de questões relacionadas a recursos hídricos. No Brasil esse momento marca uma fase de rompimento do conceito de preservação dos recursos hídricos do ponto de vista exclusivamente economicista, dando início assim a uma objetivação de alcançar o meio ambiente ecologicamente equilibrado.

Nessa fase foi aprovada a Lei n. 6.938 de 1981 que iniciou a Política Nacional do Meio Ambiente, que versa por uma visão única e integrada do meio ambiente,

objetivando assim a preservação de todos os recursos naturais de forma única e completa, para tanto inicia um novo sistema integrado de proteção do meio ambiente. A Lei 6.938 institui o Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA) que é um instrumento para gestão ambiental no Brasil, e é formado por órgãos e entidades da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios responsáveis pela proteção, melhoria e recuperação da qualidade ambiental no Brasil, o órgão central do SISNAMA é o Ministério do Meio Ambiente (MMA) que tem como função promover a articulação e a integração intra e intergovernamentais entre órgãos locais, municípios, ou órgãos seccionais, estados, objetivando a implementação de políticas públicas de meio ambiente, incentivando a descentralização da gestão ambiental e a repartição de competências. O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) é órgão consultivo e deliberativo do SISNAMA, ficando sob sua responsabilidade o estabelecimento de diretrizes para as políticas governamentais quanto a exploração e preservação do meio ambiente e dos recursos naturais nos estados e municípios, os órgãos executores dessas diretrizes dentro do SISNAMA são os Ibama e ICMBio que agem como fiscalizadores e fazem cumprir tais as leis ambientais e deliberações, já o órgão superior é o Conselho de Governo cujo a função é assessorar o Presidente da República na formulação da política nacional e nas diretrizes governamentais para o meio ambiente.

A constituição de 1988 veio para reafirmar aspecto essencial da água para além de um produto de mercado, ela modificou através do Art. 22 o Código das Águas de 1934 extinguindo assim as águas particulares. Todas são a partir de então consideradas recursos do povo, sendo da União o dever de legislar sobre elas. Desse modo, a atribuição de legislar continuou sendo centralizada, mas a gestão passou a ser compartilhada (ROSA e GUARDA, 2019).

O domínio das águas foi repartido entre União e os estados. Os lagos, rios, e outras correntes encontrados em áreas da União são de seu domínio, assim como os corpos hídricos que possuem potencial hidroelétrico, o mar territorial, bem como os que atravessam divisas estaduais ou fazem fronteiras com territórios estrangeiros, os depósitos de água decorrentes de obras da União também são. Sob o domínio dos estados se encontram as águas subterrâneas e as que não estão em domínios da união e não atravessam o domínio de mais de um estado.

A Lei das Águas (lei nº 9.433) foi instituída em 1997 e com ela foi implementado o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos

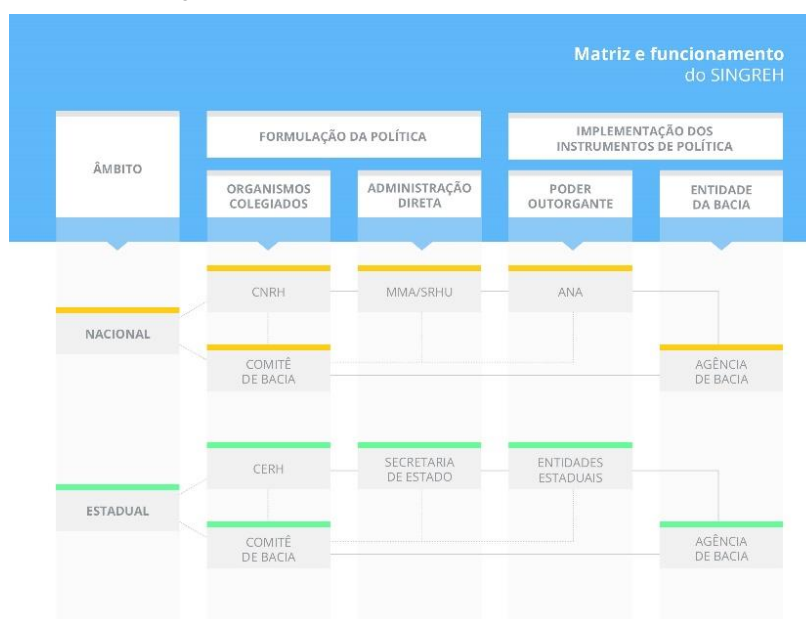
(SINGREH) que é um conjunto de órgãos e colegiados que elabora e implementa a Política Nacional das Águas, essa tendo como foco uma gestão democrática e participativa. Os principais objetivos do SINGREH são: coordenar a gestão integrada das águas; arbitrar administrativamente os conflitos relacionados aos recursos hídricos; planejar, regular e controlar o uso, bem como a recuperação dos corpos d'água; promover a cobrança pelo uso da água. O SINGREH é composto por:

- **Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH):**, é a instância máxima do SINGREH, possui natureza jurídica, é um órgão colegiado, consultivo e deliberativo que define a Política Nacional de Recursos Hídricos e regras gerais para gestão das águas, além de arbitrar conflitos sobre o uso dos recursos hídricos e analisar propostas de alteração da legislação;
- **Secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental (SRQA):**, que tem como atribuição ajudar à formular e subsidiar a Política Nacional de Recursos Hídricos e o Orçamento Geral da União (OGU) para atender as necessidades da pasta;
- **Agência Nacional de Águas Saneamento Básico (ANA):** criada em 2000 pela Lei nº 9.984, ela é a agência reguladora dedicada a fazer cumprir os objetivos e diretrizes da Lei das Águas (9.433/1997), para isso ela regula o acesso e o uso dos recursos hídricos da União, bem como fiscaliza e emite outorga. A ANA também é responsável pelo monitoramento da situação dos recursos hídricos do Brasil coordenando a Rede Hidrometeorológica Nacional podendo assim prever eventos críticos e ajudar no planejamento de Planos de Bacias Hidrográficas com base em Relatórios de Conjuntura dos Recursos Hídricos;
- **Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos (CERH):** todos os estados brasileiros possuem estes conselhos ou entidades equivalentes, eles são compostos, na sua maioria, por representantes do poder público, da sociedade civil e dos usuários de água. Cabem a eles deliberar, acompanhar a execução do plano estadual dos recursos hídricos, promover articulação das políticas setoriais relacionadas a água, arbitrar conflitos pelo da água de domínio estadual;
- **Comitês de Bacia Hidrográficas:** são grupos compostos por representantes dos três níveis de poderes (federal, estadual e municipal), usuários de água e

sociedade civil, é por meio das discussões dentro desses comitês que se avalia os reais e diferentes interesses sobre os usos de águas dentro de suas respectivas bacias hidrográficas. Dentre suas atribuições temos a aprovação e o acompanhamento da elaboração do Plano de Recursos Hídricos da Bacia, arbitrar conflitos pelo uso da água em primeira instância e estabelecer mecanismos para sugerir valores de cobrança pelo uso da água;

- **Agências de Água:** são entidades criadas para dar suporte técnico aos Comitês de Bacia, a criação dessas agências devem ser solicitadas pelo Comitê de Bacia Hidrográfica e autorizada pelo Conselho Nacional. Dentre as atribuições das Agências de Água estão a atualização do cadastro de usuários de água, elaboração de propostas para os Planos de Recursos Hídricos e a criação de estudos técnicos que possam subsidiar decisões do Comitê.

Figura 2: Matriz de funcionamento do SINGREH



Fonte : Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2020)

## 2.3 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS E ANÁLISE AMBIENTAL

Um Sistema de Informação Geográficas (SIG) é formado por um conjunto de dispositivos, softwares e técnicas especializadas em adquirir, armazenar, recuperar, transformar e emitir informações espaciais. Tais dados geográficos descrevem objetos

reais quanto ao seu posicionamento, em relação a um sistema de coordenadas, seus atributos não aparentes (como a cor, pH, custo, incidência de pragas, etc) e das relações topológicas existentes. Portanto, um SIG pode ser analisado em análises espaciais para estudos sobre preservação ambiental, ocupação da terra, escolhas da localização de obras públicas, na agricultura de alta precisão, na pesquisa da previsão de determinados fenômenos ou como um grande ferramenta de análise espacial para auxiliar na tomada de decisões e planejamento, uma vez que os dados armazenados são um modelo digital do mundo real, (BURROUGH, 1986).

Para Aronoff (1989) um SIG possui quatro funcionalidades que permitem a manipulação descritiva dos dados georreferenciados: entrada, gerenciamento, manipulação e análise, e saída. Para que os dados sejam georreferenciados é necessário que estes possuam duas características fundamentais: dimensão física e localização espacial. Para resumir, o SIG possui como características principais:

- **Integrar**, numa única base de dados, informações espaciais presentes em dados cartográficas, dados dos de censo e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno;
- **Agrupar**, combinar e operar as diversas informações de natureza distintas, através de algoritmos de manipulação, para permitir melhor visualização dos dados ou mesmo gerar mapeamento derivados da combinação de informações;
- **Exibir**, consultar, recuperar e plotar o conteúdo da base de dados geocodificados;

Como exemplos de dados que são processados em SIG's temos: imagens de satélite, modelos digitais de terreno, mapas temáticos de censo ou geológicos, redes e dados tabulares.

A características que mais distingue o SIG de um sistema CAD é sua capacidade de armazenar a topologia de um mapa e possibilidade de trabalhar diversas projeções cartográficas. O Armazenamento da topologia permite aplicações em estudos e análises geográficas e de redes, constrói um banco de dados espaciais que não poderiam ser consultados de outra maneira (ORTIZ, 2020).

Com as supra citas funcionalidades, o SIG já demonstrou possuir diversas áreas de aplicação, dentre elas podemos citar: manejo florestal (LIU, DUNNING E

PULLIAM, 1995; BARRET, SAHAY E WALSHAM, 2001), seleção de áreas seguras e com grande potencial hidroelétrico (CUYA *et al*, 2013), avaliação de risco e previsão de incêndios florestais (BUI, HUNG *et* HOANG, 2018; M. H. NAMI *et al*, 2017), zoneamento agrícola (KAZEMI *et al*, 2015; HARTKAMP, WHITE E HOOGENBOOM, 1999), gerenciamento de recursos hídricos (MCKINNEY, CAI, 2006; P. SINGH, GUPTA, M. SINGH, 2014; CHOWDARY *et al*, 2009), planejamento de áreas verdes urbanas (KONG, YIN, NAKAGOSHI, 2007; SENANAYAKE, WELIVITIYA, NADEEKA, 2013), mapeamento de áreas com potencial para desertificação (HUAPENG *et al*, 2007; BARZANI, KHAIRULMAINI, 2013), seleção de áreas prioritárias para conservação (PHUA, MINOWA, 2005; EGOH *et al*, 2001; JESUS, KIOTI MIURA, 2009; GAISBERGER *et al*, 2017).

#### 2.4 AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIOS APLICADA NO AMBIENTE SIG

É comum que nas aplicações do SIG em análises ambientais se utilize a abordagem multicriterial para poder mesurar objetivos diferentes e muitas vezes conflitantes. É a chamada Avaliação Multicritérios (AMC). Para o presente trabalho a AMC ajuda a linearizar e ponderar as variáveis da área que exercem influência nos processos erosivos, tais como: pedologia, uso e cobertura do solo, NDVI e declividade

Malczewski (2004) argumenta que implementar técnicas de avaliação multicritérios, dotadas de pesos e importâncias para os diferentes aspectos analisados, como por exemplo na adequação de uso de terra, representa um avanço perante as abordagens convencionais de sobreposição (overlay) de mapas, para Malczewski a AMC numa plataforma SIG pode ser entendida um método de transformação de dados espaciais e não espaciais (entrada) em uma decisão resultante da importância de cada um desses dados (saída). Por envolverem dados geográficos, as importâncias atribuídas pelos tomadores de decisões devem se basear na literatura pois muitas vezes é muito subjetivo estabelecer fatores determinantes para um determinado fenômeno que depende da interação de diversos fatores. Desse duas considerações são fundamentais para a AMC: (1) a capacidade do SIG de adquirir, armazenar, recuperar, manipular e analisar os dados, e (2) a



representatividade dos métodos de tomada de decisão multicritérios (TDMC) e suas capacidades de combinar os dados geográficos com os critérios de preferências ou importâncias estabelecidos pelos tomadores de decisão em valores unidimensionais com decisões alternativas.

Os métodos multicritérios facilitam a estruturação de problemas com um grande número de atributos por sua capacidade de conjugar aspectos objetivos (quantitativos), como por exemplo valores altimétricos, uso e ocupação do solo, índice pluviométrico e etc, com aspectos subjetivos (qualitativos), dois quais podemos citar as classes de resistência de cada tipo de solo, o nível de proteção que cada tipo de vegetação representa para o solo, a importância socio econômica de cada região da área estudada e etc (ALENCAR, A. P. A. D.; SOUZA, F. D, 2007).

Zhou e Civco (1996) argumentam que os métodos tradicionais de análise para adequação de terras em SIG, seja a sobreposição de planos de informação (overlay) ou, o mais avançado, a avaliação multicritério (AMC), ambos apesar de muito utilizadas apresentam, pelo menos, três problemas: (1) interfaces tipicamente não intuitivas ou amigáveis ao usuário; (2) imprecisões quanto a exatidão de dados espaciais devido a múltiplas escalas de medição e dependência de fatores; (3) necessidade de conhecimentos prévios para estabelecer critérios, determinar preferências, estabelecer relações de importância e selecionar as funções de agregações.

A AMC em uma plataforma SIG pode ser aplicada por meio de diferentes abordagens, como a Booleana e a Combinação Linear Ponderada (CLP) e a Média Ponderada Ordenada (MPO), como vem sendo aplicado nos mais variados estudos, como será apresentado a seguir.

Um dos exemplos que podem ser citados como aplicação do uso da AMC em ambiente SIG é o trabalho realizado por Yao *et al* (2014) que utilizou a Avaliação Multicritérios para identificar o potencial de água subterrânea da bacia hidrográfica do rio Lobo na Costa do Marfim. O objetivo do referido trabalho foi identificar regiões de maior potencial hídrico através de dados e estudos de satélite, geoestatística e geofísica que apontam que grandes potenciais de extração hídrica estão ligados a fraturas de extensão quilométricas, de intersecção de fraturas e as redes de fraturas com forte interconexão, e assim evitar perfurações e trabalhos de campo improdutivos visto que boa parte das perfurações foram improdutivas, segundo os autores, e dentre

os que alcançaram a água, 45% deles apresentaram extração inferior a  $1\text{m}^3/\text{h}$ . Para realizar a AMC e identificar as áreas de maior potencial hídrico foram estabelecidos os seguintes critérios:

- **Indicador de disponibilidade:** esse indicador traduz a noção de existência ou não de um aquífero na região visada, ele resulta da associação de parâmetros tais como a declividade do terreno, a densidade de drenagem da rede da bacia, a densidade das fraturas e as taxas de infiltração. Tais dados podem ser obtidos por imagens de satélite e trabalhos de campo das quais podemos extrair a topografia da bacia, a rede hidrográfica e a taxa de infiltração;
- **Indicador de acessibilidade:** as reservas de água são verdadeiramente utilizáveis apenas quando alguns parâmetros reunidos tornam possível seu acesso, dentro deles temos a profundidade total de perfuração, o índice de sucesso de uma perfuração;
- **Indicador de extração:** as fontes de águas apenas são exploráveis se a taxa de extração é significativa, isso significa ser maior que  $1\text{m}^3/\text{h}$ , tal indicador está condicionado pela quantidade de água no reservatório subterrâneo;

Os critérios de decisão foram ponderados pelo método de combinação linear baseada na técnica de comparação pelo par de acordo com o Processo da Análise Hierárquica (Analytical Hierarchy Process, AHP). A realização do trabalho por Yao *et al* (2014) permitiu identificar que a bacia hidrológica de Lobo representa uma fonte de água subterrânea de grande importância, cerca de 72% da bacia possui uma boa reserva de água subterrânea com um declividade relativamente baixa que permite uma boa reposição dos reservatórios naturais, essas regiões da bacia são lugares convenientes para implantação de obras de extração de água capazes de fornecer um grande volume com fácil acessibilidade visto que a profundidade do lençol freático nessa região é baixa.

Outro exemplo da aplicação da AMC para gestão de recursos naturais é o trabalho de Dragan *et al.* (2003), realizado na Etiópia, distrito de Adwa, o trabalho utilizou de um sistema espacial de apoio à decisão (SEAD) baseado em análise multicritério para realocação de lavouras de acordo com suas respectivas capacidades de proteção do solo e assim reduzir a erosão do solo através da priorização da proteção de regiões mais sensíveis do solo. O SEAD foi implantado usando o *software* IDRISI 32 e a ajuda da população local para definir os fatores e

limitações do estudo. Os fatores analisados foram: uso e cobertura do solo, altitude, potencial de erosão, proximidade de rodovias, água e a relativa capacidade de proteção do solo que possui cada espécie cultivada. Como conclusão os autores estimaram que seria possível uma redução de  $4,5 \text{ t. há}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  para valores inferiores a  $1 \text{ t.ha}^{-1} .\text{ano}^{-1}$  de perda média de solo ao ano, abaixo do limite de risco para a degradação do solo.

Um exemplo do uso da AMC como auxílio no tratamento ou destinação de águas residuárias está representando pela pesquisa de Kallali *et al* (2007) que determinou o potencial de tratamento de aquíferos dos solos do aquífero Hammamet-Nabeul localizado em 'Cap Bon', península no nordeste da Tunísia. Os locais de maior potencial para a recarga do aquífero foram identificados com base em análise multicritério de objetivo único. Todos os critérios assumidos foram tomados também como restrições, essas estabelecidas com base em valores críticos últimos de acordo com padrões observados em diretrizes internacionais e documentos técnicos. Os critérios adotados são características do solo que facilitam a percolação e a infiltração da água no solo, explicitando assim as áreas de maior potencial de recarga do aquífero, esses cinco critérios adotados foram: declividade, textura do solo, salinidade do solo, geologia e profundidade do lençol freático na área avaliada. Com base nos valores limites aceitáveis, todos os critérios foram expressos em um mapa de análise Booleana: áreas fora dos limites dos critérios, portanto fora dos requisitos, foram codificadas com 0 e as que ficaram abertas para consideração foram codificadas com 1. A avaliação multicritério foi feita combinando todos os mapas booleanos através da intersecção dos atributos para identificar áreas que satisfazem todos os critérios. O mapa resultante da análise multicritério mostra um extenso potencial de áreas de solo do aquífero Hammamet-Nabeul para o tratamento e recarga de água do aquífero, excedendo 1000ha, o que indica até mesmo a possibilidade do uso de esgoto tratado para a recarga do lençol freático; 8 ha são supridos pela planta Hammamet Sul, 764 há pela SE3 e 347 ha pela SE4. 109 ha poderiam ser supridos tanto pela SE3 quanto pela SE4. Tais áreas potenciais áreas são mais frequentemente encontradas nas margens dos rios, no entorno da área urbana de Grand-Nabeul, em alguns domínios agrícolas e nas dunas costeiras da região.

Aminu *et al* (2012) utilizaram a análise multicritério para desenvolver um sistema espacial de apoio a decisão (SEAD) para auxiliar no planejamento e escolha de áreas propícias ao turismo sustentável em Johor Ramsar, Malásia. Como primeiro

passo do estudo foram estabelecidos critérios para avaliar o estado de conservação da biodiversidade das zonas húmidas, os critérios escolhidos foram: classe de idade das árvores; estação de colheita; áreas de fauna degradada; proximidade da zona húmida do seu uso/cobertura natural; área de habitat e qualidade da água. Como restrição foi adotado o critério de alta biodiversidade e área ambientalmente sensível para desconsiderar áreas que mesmo o turismo ecológico poderia causar mais danos que benefícios. Depois dos critérios estabelecidos, foram determinados as prioridades e os respectivos pesos de cada critério para estabelecer assim uma relação de importância. Após todos os critérios e importância terem sido estabelecidos, foi feita a geração dos mapas de conservação/desenvolvimento em diferentes cenários, estes foram comparados com outros mapas que representariam a opinião de experts e moradores locais com a finalidade de destacar a robustez da solução proposta SEAD, os cenários foram comparados aos pares utilizando método booleano. O cruzamento dessas informações possibilitou a geração de mapas cujo o cenário permite identificar áreas que não possuem restrições ambientais e nem econômicas para implantação do ecoturismo.

Svoray; Ben-Said (2009) utilizaram a AMC em um ambiente SIG para detectar áreas da bacia de Harod, no norte de Israel, que estão propensas a degradação ambiental, sujeitas a perda de solo, represamento de água e deposição de sedimentos como consequências da intensidade de precipitação e uso do solo na região que é utilizado a mais de 80 anos para agricultura intensiva. Para realizar essa avaliação os autores utilizaram três tipos de dados, dados ambientais: declividade; aspecto; área de contribuição; cobertura vegetal e cobertura rochosa. Como variável climática foi adotado a intensidade de precipitação. Como variáveis da atividade humana foram estabelecidos: direção das lavouras; tipo de cultura e traçados de rodovia. Após estabelecer os critérios, os autores pediram para que outros quatro especialistas propusessem pesos e importâncias pros respectivos critérios. Como resultado foi constatado que: o efeito do uso do solo foi a principal causa de perda do solo, com cerca de 33% de perda na área de maior risco quando 92% da agricultura era composta de lavouras e 8% dela composta por pomares.

#### 2.4.1 TOMADA DE DECISÃO MULTICRITÉRIO E SIG

É assumido que a análise multicritério (AMC) é originária do começo dos anos sessenta. Muito dos estudiosos da AMC consideram que este método de auxílio a tomada de decisões ganhou mais notoriedade e se desenvolveu após os trabalhos de programação e pesquisa de Simon H. A. (1997) que sugeriu uma estrutura para analisar o processo de tomada de decisões do ser humano através da diferenciação entre as fases de *inteligência*, *design* e *escolha*.

Como o descrito por Malczewski J. (2004), todo processo de decisão começa com o reconhecimento do problema a ser estudado. Na fase de inteligência, o problema é examinado perante suas condições que podem por vez exigir diferentes decisões. Na fase de design, os tomadores de decisão desenvolvem soluções para o problema já identificado. Normalmente, um modelo formal é utilizado como suporte para os tomadores de decisão conseguirem visualizar o grupo de alternativas disponíveis. Já na fase de escolha, os tomadores de decisão avaliam as alternativas e escolhe a que consideram melhor dentre elas.

Um sistema de informações geográficas (SIG) é mais que um dispositivo para entrada, armazenamento, recuperação, manipulação, análise e saída de dados espaciais. Essa definição é muito simplista e ignora a capacidade do SIG de resolver problemas ou fornecer subsídio pra uma melhor compreensão do processo de tomada decisão (FAO, 1976; Goodchild M. F., 1987; Grimshaw D. J., 1994). Em geral o SIG possui três componentes principais sendo ele um *sistema computacional* que inclui hardware, software e técnicas apropriadas para a gestão de dados espaciais, além de se destacar pelo uso de *dados espaciais georreferenciados* e por possuir vários aplicativos para a *gerenciamento e análise* de operações desses dados. Por facilitarem a organização, a apresentação e análise eficiente dos dados, através da integração com outros dados ou a criação de novos que podem ser operados, o SIG se mostrou como útil ferramenta de apoio a tomada de decisões (Hywood I., S. Cornelius, S. Carver, 2002). Informação geográfica, em um ambiente SIG, pode ser definida como dados georreferenciados que foram processados numa forma que traz maior significado do mundo real ou na percepção dos envolvidos no processo de decisão, em geral, a avaliação multicritério em SIG deveria ser vista como uma processo de conversão de dados para informações que agrega valor extra aos dados originais (Malczewski J, 1999; Malczewski J., 2004).

Problemas de avaliações multicritérios podem ser classificados de acordo com a natureza dos componentes de análise: análise de decisão *multiobjetivo* (ADMO) versus análise de decisão *multicritério* (ADMC), problemas de decisão *individual* ou *grupo*, e decisão *certas* ou *incertas*. A diferença entre ADMO e ADCMC é baseada na classificação da avaliação de critérios da ADCMC que são atributos à ser considerados enquanto na ADMO são objetivos que se pretende alcançar.

Um critério é a base de decisão e pode ser mensurado e avaliado. No caso de problemas como os trazidos pelo presente trabalho, áreas de florestas prioritárias pra conservação na UGRHI 18 como medida de proteção aos recursos hídricos, os atributos são de propriedade geográficas, mais precisamente, um atributo nesse caso é uma quantidade mensurável ou qualitativa de um aspecto geográfico ou a relação entre os aspectos geográficos da região estudada, no referido caso a UGRHI 18.

Um atributo é a um valor concreto e descritivo, uma característica mensurável de uma propriedade, incluindo a interrelação entre as diferentes propriedades. Técnicas multiatributos são definidas como discretas por assumirem que o numero de alternativas é explícito. Isso implica que o as relações atributo-objetivo são específicas de uma forma que atributos podem ser vistos tanto como objetivos como variáveis da decisão. Atributos são usados tanto como variáveis de decisão quanto critérios de decisão (Malczewski J, 1999).

Objetivos são funcionalmente relacionados, ou derivados de um grupo de atributos. Um objetivo indica a direção de mudança de um ou mais atributos. Para um dado objetivo, vários diferentes atributos podem ser necessários para fornecer uma completa avaliação do status que deverão estar os atributos para que o objetivo possa ser atingido. No caso do trabalho, investigaremos em qual status precisarão estar a conservação da cobertura vegeta para que a preservação dos recursos hídricos seja garantida. Se houver uma correspondência direta entre atributos e objetivos, o problema multiobjetivo se torna um problema multiatributo. Em análise de decisões multiatributos, os atributos são usados tanto como variáveis de decisão quanto critério de decisão. Genericamente falando, a abordagem ADCMC são pesquisas baseadas em SIG, elas utilizam a estrutura de dados raster, enquanto ADMO são abordagens baseadas em escolhas e utilizam estruturas vetoriais (Malczewski, 1999; Malczewski, 2006).

O processo de tomada de decisão é uma sequência de atividades que começam com o reconhecimento de um problema e terminam com uma

recomendação, e eventualmente com uma escolha final de alternativa. Como a capacidade de armazenamento e processamento da memória humana é limitada, humanos desenvolveram atalhos simplificados ou regras de processamento para resolver problemas complexos (Diaz III J., Hansz, 2007).

Conforme defendido por Keeney (1993), existem duas abordagens mais utilizadas para a tomada de decisão, a abordagem focada na alternativa, que prioriza gerar alternativas de decisão, e a abordagem com foco no valor, que usa os valores (critérios de avaliação) como um elemento fundamental na análise de decisão. A diferença entre as duas abordagens está relacionada com a questão de se alternativas devem ser geradas primeiro, seguidas da especificação dos valores estruturais, ou o contrário, se as alternativas deveriam derivar dos valores estruturais de avaliação.

Qualquer processo de tomada de decisão começa pelo reconhecimento e definição do problema, que é percebido como a diferença entre o desejado e o estado atual existente do sistema. A fase de inteligência do processo de tomada de decisão envolve pesquisar o ambiente de decisão pelas condições requeridas: dados são obtidos, processados e examinados por postas que possam identificar oportunidades ou problemas.

Uma grande quantidade de problemas humanos possui aspectos geográficos. A ciência estuda a tomada de decisão como disciplina muito antes do SIG. No vasto campo da pesquisa de decisão, computadores têm sido utilizados para o desenvolvimento de sistemas de apoio a decisão (SAD). O SIG vem sendo referido na literatura como um sistema específico de apoio a tomada de decisão especializado em problemas que possuem um alto grau de espacialidade (Hywood, Cornelius, Carver, 2006), um sistema que pode prover uma estrutura para o desenvolvimento de sistema espacial de apoio a decisão (SEAD), mesmo que seja utilizado em parceria com outro software. O sistema espacial de apoio a tomada de decisão e o sistema de apoio a decisão partilham das mesmas características, mas o SEAD apresenta extensão de análise multicritério.

Uma das regras mais importantes que governam o uso do SIG para SEAD é que o SIG por si só não toma decisão – pessoas sim. No SEAD o foco está em utilizar os dados espaciais enquanto no SIG o foco é de servir como suporte para tomadores de decisão durante o processo de escolha da alternativa (decisão) que representaria a melhor solução para o problema que precisa ser resolvido.

A figura 5 mostra a sequência de ações em uma abordagem clássica de tomada de decisões espaciais e uma abordagem SIG de tomada de decisão espacial. Embora a abordagem com foco na alternativa seja mencionada em conexão com a geração de alternativas, os critérios de avaliação são mais fundamentais que as alternativas em respeito ao problema de decisão. Em outras palavras, as alternativas são meios para alcançar os critérios de avaliação (valores) mais fundamentais. Uma vez o problema de decisão estabelecido, a análise espacial multicritério foca em avaliar critérios, o que significa especificar um grupo compreensivo de objetos que refletem todas as preocupações relevantes do problema de decisão, e medidas para atingir tais objetivos. Tais medidas são chamadas de atributos. O grau de adequação aos objetivos, como determinados pelos atributos, é a base para se comparar as alternativas. Os critérios de avaliação estão associados a dados geográficos e as relações entre eles, portanto podem ser representados na forma de mapas, seja um modelo raster ou vetorial. A capacidade do SIG de gestão de dados e análise são utilizadas para gerar entradas para a análise de tomada de decisão multicritério (Malczewski, 1999).

Durante o processo de tomada de decisão multicritério, uma variável de decisão é atribuída para cada alternativa. Variáveis ou “atributos” são usados pelos tomadores de decisão para mensurar a performance das decisões. Com respeito aos critérios de avaliação, as preferências dos tomadores de decisão são incorporadas no modelo analisado. As preferências são tipicamente expressas em termos de pesos e importância relativa atribuídos ao critério de avaliação sob consideração. Dado um grupo de alternativas, atributos e pesos associados, os dados de entrada podem ser organizados na forma de matriz de decisão ou tabelas. Eventualmente, as medidas unidimensionais (em camadas de dados geográficos no SIG) e julgamentos (preferências e incertezas) precisam estar integradas para prover um estabelecimento geral de alternativas. Isso é realizado por uma regra de decisão adequada ou função de agregação. Dados que a regra de decisão promove uma ordem adequada para todas as alternativas de acordo com sua performance, em respeito ao grupo de critérios de avaliação, o problema de decisão depende da seleção da melhor saída (ou um grupo ordenado de saídas) e na identificação das alternativas de decisão que conduzem para esta saída (Malczewski, 1999).

Depois de obter um ranque de alternativas, uma análise de sensibilidade deve ser performada para determinar a confiabilidade da análise. Esta análise é feita



objetivando identificar os efeitos das mudanças das entradas de dados (dados geográficos e preferências dos tomadores de decisão) nas saídas (rank de alternativas). Isso ajuda a apreender como os elementos de decisão interagem para determinar a alternativa preferida e quais os elementos são fontes de desacordo entre os tomadores de decisão do grupo. Tomadas de decisão espacial envolvem frequentemente um grande número de alternativas avaliadas, possivelmente critérios conflitantes, e alguns métodos sistêmicos para identificar as melhores alternativas e estabelecer um rank.

O resultado final do processo de decisão é uma recomendação para ação futura. A decisão ou recomendação deve ser baseada no ranking de alternativas e na análise de sensibilidade. Podendo incluir a descrição da melhor alternativa ou de um grupo de alternativas candidatas para implementação. Mapas desempenham um papel de grande importância na apresentação e comunicação dos resultados de maneira mais clara e objetiva para os grupos de interesse (Malczewski, 1999).

#### 2.4.2 Geoprocessamento como ferramenta de licenciamento ambiental

Com a crescente preocupação com as mudanças climáticas e os impactos ambientais causados por empreendimentos de pequeno, médio e grande porte, a legislação brasileira se adaptou para incorporar essas premissas através da formulação de políticas públicas que vigoram e são atualizadas até hoje. A Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) foi instituída através da Lei. nº 6.938/81, com ela foram estabelecidas diretrizes, instrumentos e atribuições para os entes da federação perante o licenciamento ambiental ou da sua dispensa. A PNMA também criou o Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) que é responsável pelas resoluções normativas e os instrumentos do processo de licenciamento ambiental, dois exemplos disso são as Resoluções nº001/1986 e nº009/1987, que estabelecem a necessidade do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e do Relatório de Impacto Ambiental (Rima) para empreendimentos de grande porte.

O licenciamento ambiental é portanto um instrumento da PNMA, ele representa uma autorização emitida pelo órgão público competente (Federal, Estadual ou Municipal), concedida ao empreendedor para que o mesmo exerça

seu direito de livre iniciativa, desde que resguardado o direito coletivo ao meio ambiente ecologicamente equilibrado. É importante ressaltar que nem sempre o licenciamento ambiental é exigido pelo órgão competente, a exigência ou a dispensa fica a caráter do porte e dos danos potenciais dos empreendimentos em análise, no entanto tanto o licenciamento quanto a concessão de dispensas ficam subordinados a apresentação de estudos que caracterizem o empreendimento conforme seu potencial danoso, estudos como:

**Estudo de Impacto Ambiental (EIA)** – Documento de natureza técnica, que tem como objetivo avaliar possíveis impactos ambientais no meio físico, químico e biótico onde empreendimento analisado está inserido. Deve contemplar proposições de medidas mitigatórias e de controle ambiental, garantindo assim o uso sustentável dos recursos naturais

**Relatório de Impacto Ambiental (RIMA)** – Deve se embasar nas conclusões do EIA, apresentando de forma mais objetiva e de fácil compreensão as possíveis consequências ambientais da implantação de um empreendimento, através de mapa, tabelas e gráficos que visam ilustrar a situação, as vantagens e desvantagens do empreendimento.

**Relatório de Controle Ambiental – RCA:** Documento exigido pelo órgão ambiental competente em casos onde o porte ou dano potencial do empreendimento permita a dispensa da licença ambiental. Será por meio do RCA que o empreendedor irá registrar os danos efetivos ou potenciais do empreendimento no meio ambiente

**Plano de Controle Ambiental – PCA:** É um documento no qual o empreendedor propõe medidas mitigatórias ou de compensação dos impactos ambientais causados pela instalação do empreendimento, em forma de planos e projetos. O PCA é requerido durante a licença de instalação, independente da necessidade ou não de EIA/Rima.

**Autorização Ambiental de Funcionamento – AAF:** Obrigatória para empreendimentos categorizados nas classes 1 e 2, com menor área e impacto ambiental. O Conselho Estadual de Política Ambiental é o responsável pela classificação dos empreendimentos através da Deliberação Normativa nº 74

Nesse contexto de exigência de estudos ambientais para implantação de empreendimentos, muitos autores destacam as técnicas de geoprocessamento como uma ferramenta indispensável para o licenciamento

ambiental. Nascimento e Montañó (2011, p. 8820) afirmam o caráter multifacetado do licenciamento ambiental “os estudos ambientais além do caráter interdisciplinar são interdependentes, portanto devem ser apreciados conjuntamente”. Já Souza, Lollo e Almeida Filho (2019) propuseram um modelo de suscetibilidade à erosão aplicado ao gerenciamento de linhas férreas, um estudo de caso na malha paulista, através da aplicação da AHP os autores conseguiram classificar os de suscetibilidade a erosão do terreno ao longo do traçado da malha, tal resultado foi obtido através de uma abordagem multidisciplinar proporcionada pelo método.

Alguns são os órgãos estaduais competentes que exigem um o levantamento de susceptibilidade a erosão para o licenciamento de empreendimento, podemos citar a CETESB (SP) através “Manual para Elaboração de Estudos para o Licenciamento com Avaliação de Impacto Ambiental”, a SEMAD (GO) através do seu “Manual de Licenciamento Ambiental”

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

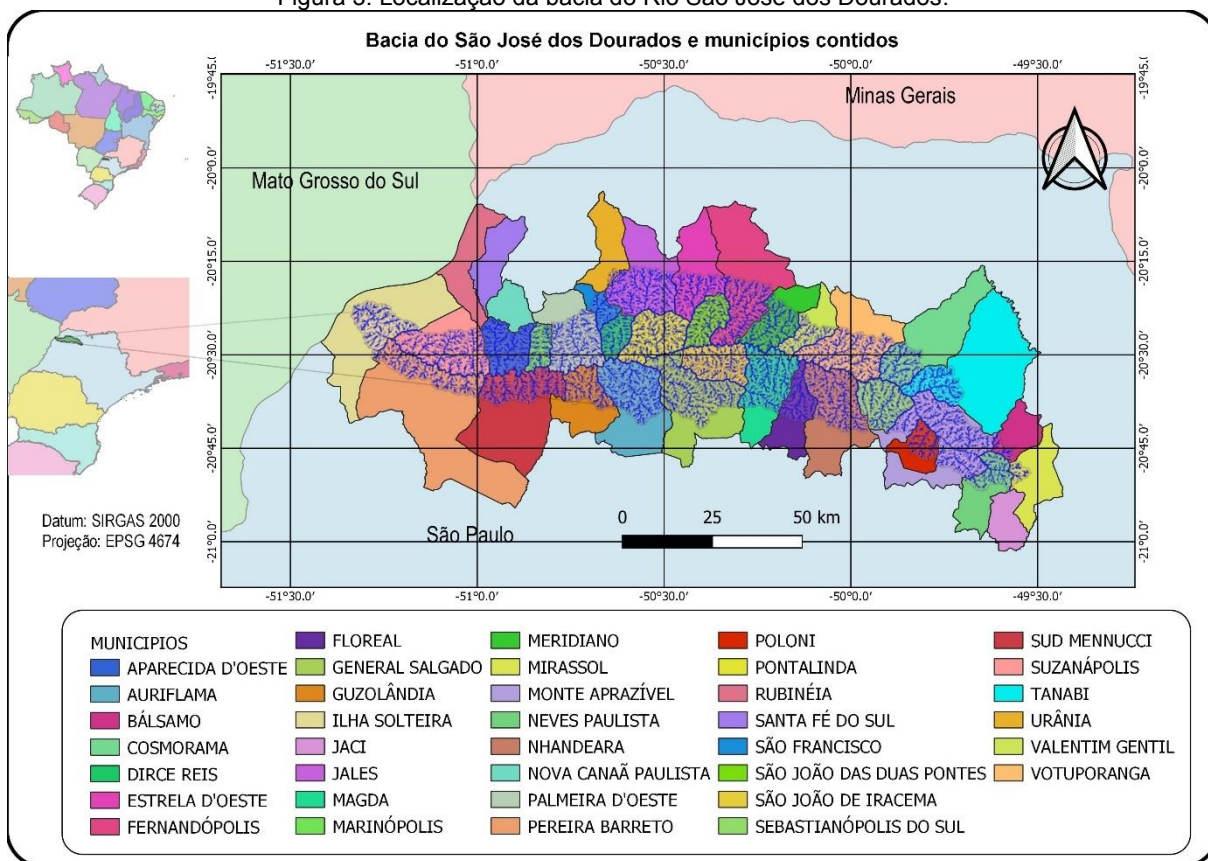
#### Área de estudo

##### 3.1 LOCALIZAÇÃO

A bacia formada pelo rio São José dos Dourados que compõe a UGRHI 18 tem sua nascente localizada no município de Mirassol e desagua no rio Paraná, através do canal de Pereira Barreto, localizada no noroeste do estado de São Paulo entre os paralelos O 51°20'21" e O 49°30'53" e os meridianos S 20°15'41" e S 20°41'13", a bacia tem área de aproximadamente de 5174,4 km<sup>2</sup>, apresenta um perímetro de 746,5 km, com maior extensão norte-sul de 46,69km e maior distância leste-oeste de 190,12 km.

A UGRHI 18 é a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos na qual bacia do São José dos Dourados está inserida, ocupando a maior parte do seu território, no qual está incluído também sub-bacias do rio Paraná.

Figura 3: Localização da bacia do Rio São José dos Dourados.



Fonte: O autor.

## 4 CARACTERISTICAS

### 4.1 CONJUNTURA SOCIOECONÔMICA

A Bacia do São José dos Dourados (BSJD) comporta em sua maioria municípios com população inferior a 5mil habitantes, 64% dos municípios da bacia possuem esse porte demográfico. Mirassol é o maior município e mais populoso da BSJD, com uma população de 60.303 habitantes. A população total da bacia foi de 223 mil habitantes em 2000, sendo que apenas 84,3% estão em áreas urbanas, uma proporção muito baixa quando comparada com outras unidade de gestão de recursos hídricos.

As atividades ligadas ao setor primário são as que mais movimentam a economia da BSJD, com destaque para as culturas de cana-de-açúcar, laranja e a produção de carne bovina. O setor secundário apresenta um importante papel com a agroindústria, com destaque as usinas de açúcar e álcool e curtumes.

### 4.2 ÁGUAS

Segundo o Plano Estadual de Recursos Hídricos (2004-2007), a BSJD possui dentro de seus limites a seguintes vazões características de sua produção hídrica superficial:

- $Q_{LP}$  (vazão média) =  $51\text{m}^3/\text{s}$

- $Q_{7,10}$  (vazão mínima média de 7 dias consecutivos e 10 anos de período de retorno) =  $12\text{ m}^3/\text{s}$

Os principais sistemas aquíferos que estão presentes na região da BSJD são: Aquífero Bauru, Aquífero Guarani e o Aquífero da Serra Geral. Segundo o Relatório Situação dos Recursos Hídricos da Bacia do São José dos Dourados (1999), são 136 poços cadastrados e instalados na bacia, produzindo cerca de  $0,464\text{ m}^3/\text{s}$  para suprir a demanda, o mesmo relatório estima que a disponibilidade hídrica subterrânea é de  $4,4\text{ m}^3/\text{s}$ .

Na UGRHI 18 está localizado o reservatório da UHE de Ilha Solteira (3.230 MW instalados) com um volume útil de  $12.828\text{ hm}^3$  no rio Paraná, onde está a foz do

rio São José dos Dourados, apresentando um estirão se prolonga no extremo de montante, na confluência dos rios Grande e Paranaíba, que formam o rio Paraná. O reservatório de Ilha Solteira está interligado com o de Três irmãos no rio Tietê (UGRHI 19), através do canal de Pereira Barreto.

Segundo o PERH (2004) as estimativas das demandas de águas, tanto superficiais quanto subterrâneas, em 2004 foram: uso urbano 0,45 m<sup>3</sup>/s, uso industrial 0,28 m<sup>3</sup>/s e irrigação 1,57 m<sup>3</sup>/s.

#### 4.3 PROBLEMAS

De acordo com o Relatório de Situação dos Recursos Hídricos da Bacia do São José dos Dourados (2019), entre 2017 e 2018, a vazão outorgada para captações subterrâneas apresentou um aumento de 108,33%, esse aumento está associado a dispensa de outorga aos dados, a regularização das captações devido ao aumento dos limites de vazões para dispensa de outorgas e a implantação do Sistema de Outorga Eletrônica, sendo 58% desse aumento destinado ao uso rural. Esse aumento já colocou a disponibilidade hídrica da sub-bacia 2 em situação crítica e a dos municípios de Suzanápolis e Ponte Pensa em situações crítica e ruim, respectivamente. A estiagem de 2020 evidenciou esse problema, municípios como Suzanápolis, Votuporanga e Mirassol tiveram que realizar racionamento de água (Municípios da região noroeste paulista fazem racionamento de água por causa da estiagem. G1, 2020. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sao-paulo/videos/v/municipios-da-regiao-noroeste-paulista-fazem-rationamento-de-agua-por-cao-da-estiagem/8930312/>>. Acesso em: 20 de nov. de 2020.)

Outros problemas apresentados pelo relatório de situação são: terrenos com alta a muito alta susceptibilidade à erosão; não apresenta unidades de conservação, somente 2% de da área da BSJD possui vegetação nativa preservada.

#### 4.4 CLIMA

O clima da região onde está localizada a bacia, é classificado de acordo com Köpen como Aw, tropical úmido com estiagem durante o inverno, quando o total de chuvas é inferior 30mm. No mês mais frio as temperaturas são superiores a 18°C, enquanto no mês mais quente a média é superior a 22°C. A região da bacia possui totais anuais médios de 1.300 a 1.800mm.

Clima Aw: Tropical úmido com estiagem no inverno. Durante a estiagem o total de chuva é menor que 30mm, no mês mais frio as temperaturas são superiores a 18°C, enquanto no mês mais quente a média de temperatura é superior a 22°C (CPTI, 2016).



## 5 FATORES DE AVALIAÇÃO

### 5.1 SOLOS

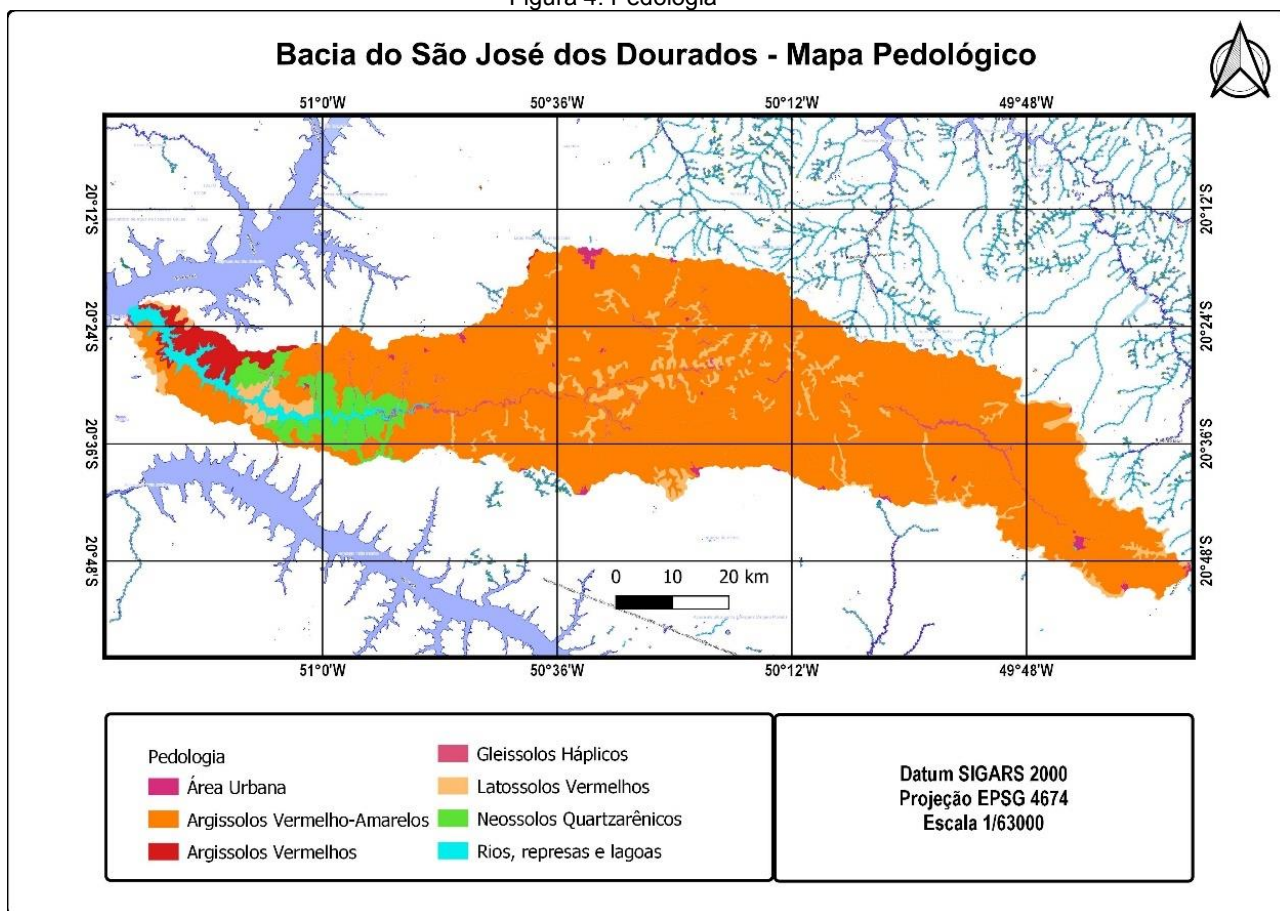
De acordo com o levantamento realizado pela Embrapa (2011), os tipos de solos encontrados na região da UGRHI 18 são:

- **Neossolos Quartzarênicos:** são solos não hidromórficos, profundos ou muito profundos. Possuem horizonte A moderado com pouca presença de minerais suscetíveis a processos de intemperismo. Apresentam cores claras e avermelhadas do horizonte A ao C. Se desenvolvem a partir de sedimentos arenosos em relevo plano ou suave ondulado. Apresentam baixas taxas de saturação por bases, com a presença em grandes quantidades de alumínio trocável
- **Latossolo Vermelho Escuro:** São solos bastante heterogêneos em relação a seu material originário, podendo se desenvolver a partir de arenitos, calcários, gnaisses, materiais de cobertura detrito-laterítica e outros, por essa razão também possuem uma grande variabilidade de texturas indo de franco arenosa até muito argilosa, podendo ser também distróficos ou eutróficos, os teores de  $Fe_2O_3$  variam de 8 a 18,0% em sua maioria. Ocorrem em sua grande maioria em regiões de relevo plano e suave ondulado, o que propicia a mecanização agrícola, são responsáveis por grande parte da produção de grãos do país, em especial nas regiões Centro-Oeste e Sul.
- **Argissolo Vermelho Escuro:** são solos minerais, em sua maioria não hidromórficos, caracterizados por um horizonte B de coloração vermelho escura dada pelo predomínio da caulinita, óxidos de ferro e com argila de atividade baixa em sua maioria. Nessa classe é possível encontrar perfis eutróficos, distróficos ou álicos, embora a maioria dos casos seja representada por solos distróficos ou álicos. A textura também é muito variada, podendo haver grande incremento de argila em profundidade. São originários de uma grande variedade de rochas exceto das rochas básicas ou ultrabásicas, devido a esse fato os teores

de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  variam entre 5 e 15,0%, ocorrendo em áreas de relevo suave ondulado até forte ondulado.

- **Argissolo Vermelho Amarelo:** São solos minerais, não hidromórficos, variam entre pouco profundos a profundos (50-200cm). Geralmente apresentam um horizonte A moderado, de cor clara devido a perda de argila e materiais corantes para horizonte B, esse último por sua vez apresenta acúmulo de argila, com ou sem cerosidade. Podem apresentar inúmeras variações de texturas, arenosa/média, arenosa/argilosa, média/argilosa ou mesmo textura argilosa no A ou B. A fertilidade desse solo é bastante variável, porém a maioria deles são distróficos ou álicos, apresentando argila de atividade baixa (Tb). Nessa classe também se encontram solos provenientes de diferentes tipos de rocha, porém nunca se desenvolvem a partir de rochas básicas, como basalto por exemplo, como consequência seus teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  variam entre 5 a 10,0%
- **Gleissolo Háptico:** São solos minerais de texturas variáveis, podendo ser argilosa ou arenosa, de baixa ou alta fertilidade. São formados em condições de saturação de água, ocorrendo com mais frequência em planícies ou regiões de várzeas. Por consequência de cheias ou elevação do lençol freático, permanecem saturados por um longo período. Sua coloração é pouco viva, tendendo para tons acinzentados causados pela redução do ferro causada por microrganismos.

Figura 4: Pedologia



Fonte 1: O autor.

A composição química do solo, sua mineralogia, a natureza da rocha que o originou, bem como seu estado físico de fraturamento, são características que influenciam no grau de erodibilidade do solo. Isso significa que para solos expostos a condições semelhantes de topografia, chuva e cobertura vegetal, pedologia diferentes podem resultar em taxas de perda de solos diferentes (Bertoni e Lombardi Neto, 2005).

Para estimar essa diferença, foi adotada a metodologia aplicada por SALOMÃO (1999) e ROSS (2005), representada na Tabela 1 à seguir:

Tabela 1: Grau de erodibilidade.

| Grau de erodibilidade | Unidades Pedológicas  |
|-----------------------|---|
| Muito Fraco           | Latossolo Roxo, Latossolo Vermelho Escuro e Vermelho Amarelo de Textura Argilosa, Solos Hidromórficos em Relevo Plano, Gleissolos, Planossolos, Organossolos, Neossolos Quartzarênico em Relevo Plano |
| Fraco                 | Latossolo Amarelo e Vermelho Amarelo de Textura Média Argilosa; Terra Roxa Estruturada; Latossolo Vermelho Escuro.  |
| Médio                 | Argissolos Vermelho Amarelo e Argissolo Vermelho Escuro, Textura Argilosa, Latossolo Vermelho Amarelo, Textura Argilosa e Média; Latossolo Vermelho Amarelo; Terra Bruna                              |
| Forte                 | Argissolo Vermelho Amarelo não abrupto, textura média – argilosa e média; Cambiossolos; Argissolos Vermelho Amarelo de textura médio-arenosa, Plintossolos  |
| Muito Forte           | Cambiossolos, Neossolos Litólicos, Argissolos Vermelho Amarelo e Vermelho Escuro abruptos, textura arenosa-média; Neossolos Quartzarênicos em relevos suave-ondulado e ondulado                       |

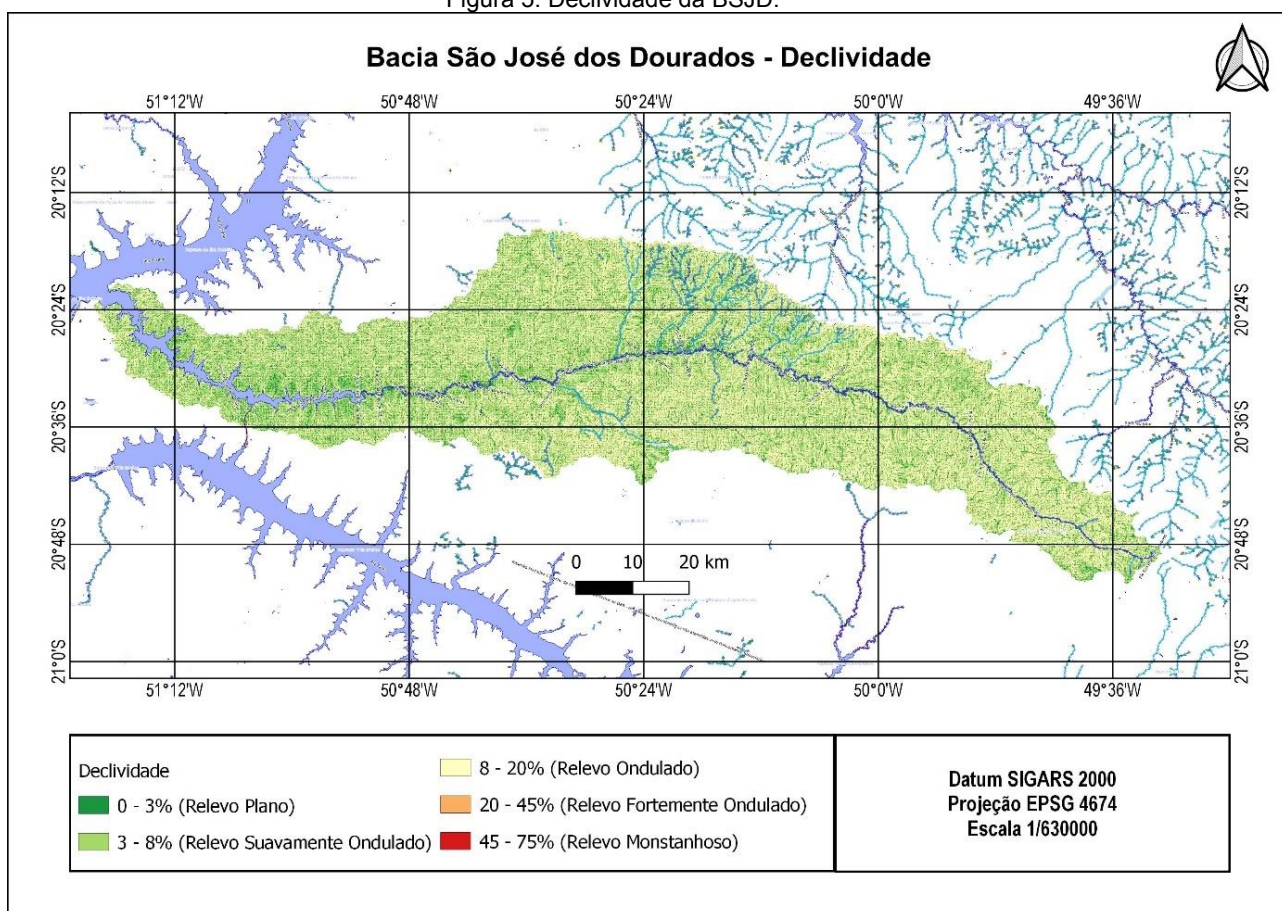
Fonte 2: Adaptado de SALOMÃO (1999) e ROSS (2005).

## 5.2 DECLIVIDADE

O relevo também exerce uma influência sobre a intensidade dos processos erosivos uma bacia hidrográfica, isso se dá através da inclinação e dos

comprimentos de rampa, de encostas ou vertentes, que quanto mais acentuados são mais intensificam a velocidade de escoamento superficial das águas das chuvas. Maiores velocidades de escoamento superficial estão associadas com maiores forças de arrasto e lixiviação que carregam pequenas parcelas do solo e aceleram os processos erosivos, porém terrenos com baixa declividade e comprimento de rampa grandes podem também estar associados a alta intensidade erosiva quando submetidos a chuvas de grande intensidade (Infanti Jr. e Fornasari Filho, 1998).

Figura 5: Declividade da BSJD.



Fonte: O autor.

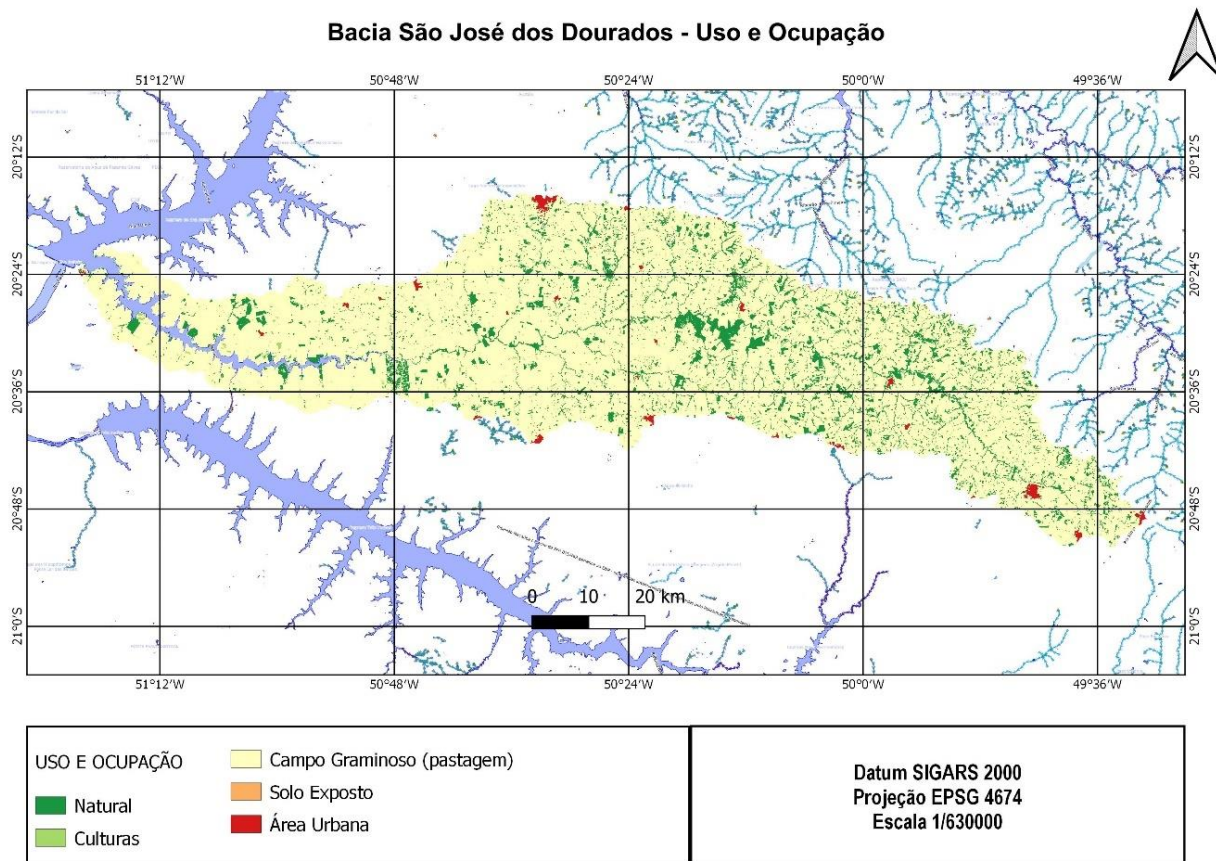
### 5.3 USO E OCUPAÇÃO

Outro fator de grande influência sobre o a perda de solos é seu respectivo estado de uso e ocupação. Dependendo do tipo de cobertura, o solo pode perder consideravelmente sua capacidade de infiltração, assim como em situações de submissão a técnicas de manejos inadequadas, tais situações podem danificar a estrutura e coesão do solo, facilitando assim a perda de sedimentos (PERUSI & CARVALHO, 2008).

A erosão é acelerada por modificações na cobertura vegetal e o emprego de técnicas de manejo inadequadas. A vegetação aumenta a resistência do solo contra a erosão, pois fornece matéria orgânica, reduz o impacto direto da precipitação, favorece uma melhor distribuição da água no solo, facilita a evaporação da água atingir a superfície (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2008). A presença da vegetação também implica num aumento da rugosidade do solo, servindo assim de obstáculos para criação de enxurradas, tal característica aumenta a infiltração da água no solo, onde ela pode ser retida pelas raízes e alimentar o lençol freático, possibilitando que o rio tenha vazão regular ao longo do ano, mesmo durante a estiagem (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2008), em microbacias esse escoamento é responsável por cerca de 80% do volume de toda água escoada do rio.

O Mapa a seguir foi elaborado a partir de dados fornecidos pelo Mapbiomas na coleção 5.

Figura 6: Uso e ocupação do solo da BSJD.



Fonte 3: O autor.

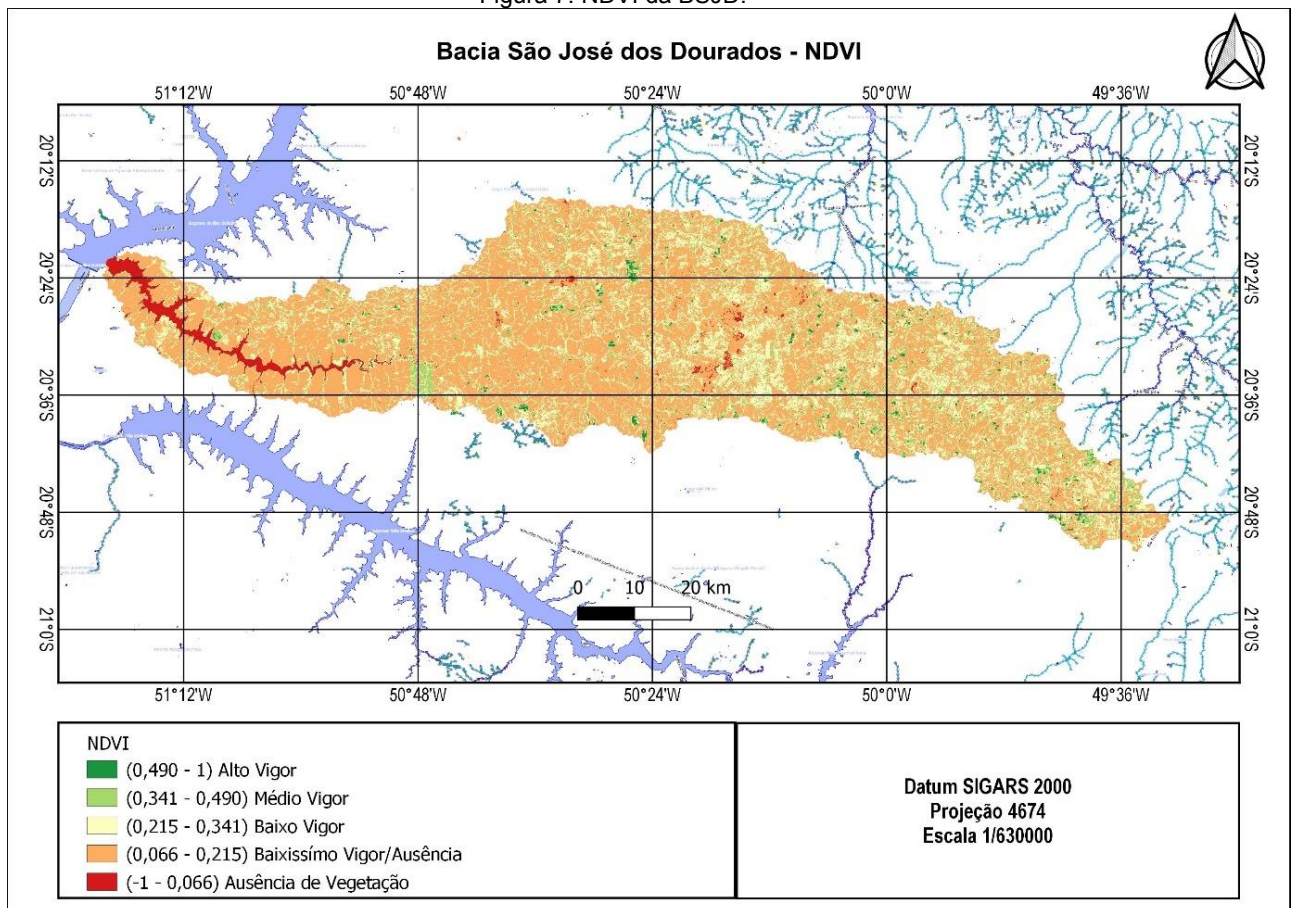
#### 5.4 NDVI

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index-NDVI*) é gerado a partir da razão entre a diferença da refletividade do infra vermelho próximo (banda 5 do Landsat 8 com resolução de 30m) e do vermelho (banda 4 do Landsat 8 com resolução de 30m), e a soma das mesmas:

$$NDVI = \frac{(NRED - RED)}{(NRED + RED)} \quad (1.1)$$

O NDVI é indicador que auxilia na redução de diversos ruídos presentes nas múltiplas bandas de um satélite (sombra das nuvens, diferença de iluminação, variações na topografia, atenuações atmosféricas). O resultado é uma imagem raster cujo os pixels variam de -1 a 1, para superfícies com vegetação varia de 0 a 1, quanto mais próximo de 1 mais densa é a vegetação, o NDVI é geralmente menor que 0 para água e nuvens (JENSEN, 2009, p.388).

Figura 7: NDVI da BSJD.



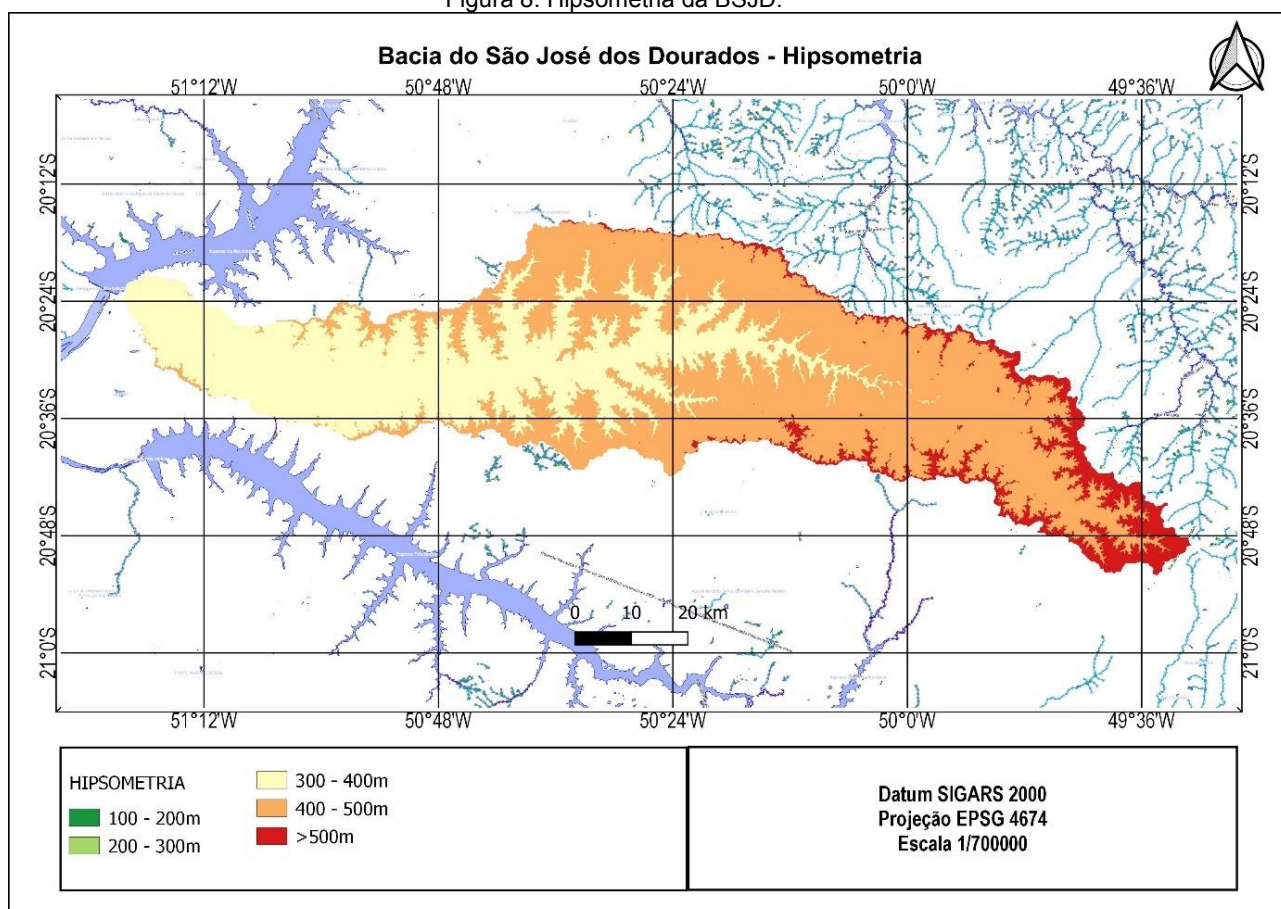
Fonte : O autor.



## 5.5 HIPSOMETRIA

A hipsometria é uma características topográfica do terreno que serve para determinar as regiões onde a velocidade de escoamento tendem ser maiores ou menores, dependendo do comprimento de rampa que são as faixas do solo que estão dentro de um mesmo intervalo altimétrico, uma vez que para maiores comprimentos de vertentes são observadas maiores velocidades de escoamento, bem como uma concentração maior do volume de chuva já que água no interior de uma bacia esco das regiões mais altas entorno dela, saindo com maior velocidade, até uma região de convergência de menor altitude e próxima da foz, onde chega com menor velocidade e carreando mais material sedimentado (BERTONI; LOMBARDI, 2010).

Figura 8: Hipsometria da BSJD.



Fonte 4: O autor.

## 5.6 MATA CILIAR E PROTEÇÃO DE NASCENTES

A importância da mata ciliar na conservação dos recursos hídricos de uma bacia já foi apontada por diversos autores. São inúmeros os serviços prestados por esse tipo de vegetação que se encontra nas margens de um rio, principalmente no que se diz respeito a conservação dos corpos hídricos, dentre eles é possível apontar a diminuição do surgimento de escoamento superficial e picos de cheia (TUCCI; CLARKE, 1997; TABACCHI et al. 2000; MATSUMURA-TUNDISI, 2010), consequentemente a prevenção e a recuperação contra processos erosivos e de assoreamento dos rios, evitando também que a deposição de sedimentos no vale dos rios promova a agradação dos mesmos ou a formação de terraços fluviais (ELMORE; BESCHA, 1987)

## 6 MÉTODOS

### 6.1 TABELA DE RISCOS

Após a elaboração dos mapas de pedologia, declividade, uso e ocupação do solo e NDVI da bacia do rio São José dos Dourados, todos foram reprojeto para o Sistema de Projeção EPSG – Geodetic Parameter Dataset, Datum Sigas 2000 4674.

O mapa de declividade foi calculado a partir dos dados altimétricos obtidos através do projeto Topodata do Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil, disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Já o mapa de pedologia foi obtido através do site da Divisão de Processamento de Imagens também fornecidos pelo INPE. O mapa de uso e ocupação do solo foi recortado a partir do mapa fornecido pelo projeto MapBiomas da coleção 5, referente ao ano de 2019. O NDVI foi elaborado através da operação acima descrita entre imagens da banda 5 e 4 do satélite Landsat 8, disponibilizadas pelo INPE. Já o mapa de estradas foi obtido através do Datageo, site da infraestrutura de dados espaciais ambientais do Estado de São Paulo.

Após a estruturação dos mapas, foram atribuídos os pesos a cada uma das classes, numa escala de 1 à 5 de acordo com a capacidade de degradação do solo, sendo 1 o grau menos influente na degradação e 5 o mais influente. Essas ponderações foram estabelecidas de acordo com a escala e prioridades apontadas por literatura (SARTORI, ZIMBACK, 2011; BARBOSA, FURRIER, LIMA, 2012).

Tabela 2: Risco por componente de legenda.

| Variável               | Componente de Legenda                    | Risco |
|------------------------|--|-------|
| Declividade (%)        | 0-2%                                     | 1     |
|                        | 2-6%                                     | 2     |
|                        | 6-20%                                    | 3     |
|                        | 20-50%                                   | 4     |
|                        | >50%                                     | 5     |
| Classe do solo         | Gleissolos Háplicos                      | 1     |
|                        | Latosolos Vermelhos                      | 2     |
|                        | Agilosolos Vermelhos                     | 3     |
|                        | Argilosolos Vermelho-Amarelo             | 4     |
|                        | Neossolos Quartzarênicos                 | 5     |
| Uso e ocupação do solo | Floresta, Floresta Plantada              | 1     |
|                        | Lavoura Temporária, Lavoura Perene, Soja | 2     |
|                        | Cana de Açúcar, Pasto/Lavoura, Pasto     | 3     |
|                        | Solo Exposto                             | 4     |
|                        | Estrutura Urbana                         | 5     |
| NDVI                   | Alto Vigor (0,490-1)                     | 1     |
|                        | Médio Vigor (0,341-0,490)                | 2     |
|                        | Baixo Vigor (0,215-0,341)                | 3     |
|                        | Baixíssimo Vigor (0,066-0,215)           | 4     |
|                        | Ausência (-1-0,066)                      | 5     |
| Hipsometria            | 100-200m                                 | 1     |
|                        | 200-300m                                 | 2     |
|                        | 300-400m                                 | 3     |
|                        | 400-500                                  | 4     |
|                        | >500                                     | 5     |

Fonte : (SARTORI, ZIMBACK, 2011; BARBOSA, FURRIER, LIMA, 2012)

Após atribuição do risco em cada item de legenda dos mapas, foi estabelecida uma relação de importância relativa entre os fatores que representam cada mapa de declividade, uso e ocupação, NDVI, hipsometria e pedologia. Essa relação foi determinada através do Processo de Análise Hierárquica (AHP), construindo uma matriz quadrada de comparação pareada entre os fatores, estabelecendo uma

hierarquia dentre eles onde os maiores valores representam os maiores riscos para a bacia. Os fatores nessa matriz são organizados de modo que o último valor da coluna esquerda representa o fator de maior importância relativa, que mais influência no risco a degradação da bacia, o valor do topo da coluna esquerda é o de menor influência, o valor expresso em casa célula é uma comparação da linha correspondente em relação a coluna correspondente, o valor da célula expressa a importância relativa do fator da linha sobre o fator da coluna conforme a Tabela 3, já as diagonais são unitárias pois um fator comparado a ele mesmo é igualmente importante, esse valor (Saaty, 1994).

Tabela 3: Escala de importância.

| <b>Peso</b> | <b>Descrição</b>   |
|-------------|--|
| <b>1</b>    | Extra baixo-elementos de igual importância                     |
| <b>2</b>    | Muito baixo  |
| <b>3</b>    | Baixo – importância moderada de um dos elementos sobre o outro |
| <b>4</b>    | Pouco baixo  |
| <b>5</b>    | Médio – forte importância de um elemento sobre o outro         |
| <b>6</b>    | Pouco alto   |
| <b>7</b>    | Alto – importância muito forte de um elemento sobre o outro    |
| <b>8</b>    | Muito alto   |
| <b>9</b>    | Extra alto - extrema importância de um elemento sobre o outro  |

Fonte - Saaty (1991)

Tabela 4: Matriz de comparação pareada.

| <b>Fator</b>   | <b>NDVI</b> | <b>hipsometria</b> | <b>Declividade</b> | <b>Uso do solo</b> | <b>Classe do solo</b> |
|----------------|-------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|
| NDVI           | 1           | 1/2                | 1/3                | 1/5                | 1/7                   |
| Hipsometria    | 2           | 1                  | 1/2                | 1/4                | 1/6                   |
| Declividade    | 3           | 2                  | 1                  | 1/3                | 1/5                   |
| Uso do solo    | 5           | 4                  | 3                  | 1                  | 1/3                   |
| Classe do solo | 7           | 6                  | 5                  | 3                  | 1                     |

Fonte: O autor.

Depois de estabelecer os pesos de cada variável por meio da matriz de comparação, é calculado o autovalor máximo ( $\lambda_{\max}$ ). O  $\lambda_{\max}$  é definido como uma média do vetor coluna lambda ( $\lambda_w$ ), cujo os valores são o produto vetorial entre matriz de comparação e o autor vetor w. O autor vetor w é calculado a partir do somatório

de cada uma das cinco linhas (n) da matriz de comparação dividido pelo somatório de todas as linhas, cada linha representando uma variável. O produto vetorial entre a matriz e os valores de w nos dão os valores do vetor  $\lambda_w$ .

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{1}{n} \sum \frac{\lambda_w}{w} \quad (2.1)$$

Com o valor de  $\lambda_{max}$ , calcula-se o índice de consistência (IC) da matriz conforme a equação (2.2). A razão de consistência determina se a matriz quadrada de comparação pareada está devidamente montada, se as relações de prioridade obedecem de fato a uma regra hierárquica, para que isso seja verificado, a razão de consistência precisa apresentar um valor menor que 0,1, essa razão de consistência é calculada dividindo-se o índice de consistência pelo índice de consistência randômico médio, que é função como do número de fatores avaliados (Saaty, 1991).

$$IC = \frac{\lambda_{m\acute{a}x} - n}{n - 1} \quad (2.2)$$

Tabela 5: Operação matricial.

|                       | $\Sigma$ das linhas | auto vetor | n     | p. vetorial | $\lambda_w$ | $\lambda_{m\acute{a}x}$ | IC    | IR    | RC    |
|-----------------------|---------------------|------------|-------|-------------|-------------|-------------------------|-------|-------|-------|
| <b>hipsometria</b>    | 2,176               | 0,045      | 5,000 | 0,253       | 5,570       | 5,186                   | 0,046 | 1,120 | 0,041 |
| <b>NDVI</b>           | 3,917               | 0,082      |       | 0,386       | 4,733       |                         |       |       |       |
| <b>Classe do solo</b> | 6,533               | 0,136      |       | 0,620       | 4,552       |                         |       |       |       |
| <b>Uso do solo</b>    | 13,333              | 0,278      |       | 1,393       | 5,011       |                         |       |       |       |
| <b>Declividade</b>    | 22,000              | 0,459      |       | 2,782       | 6,064       |                         |       |       |       |
| $\Sigma$              | 47,960              |            |       |             |             |                         |       |       |       |

Fonte: O autor.

Ao final do método AHP foi encontrada uma razão de consistência de 0,041, utilizando a equação (2.3) e o valor de do Índice Randômico (IR) de 1,12 para uma matriz quadrada de ordem 5, conforme a Tabela 6 do método de Saaty (1991), o valor para  $\lambda_{max}$  foi de 5,186. Com o cálculo da matriz, geraram-se os pesos estatísticos de

cada variável considerada para a confecção do mapa de risco de erosão hídrica, nota-se que esses valores são representados pelo vetor  $\lambda_w$ :

Tabela 6: Índice Randômico Médio do AHP em função da ordem da matriz

| 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0,00 | 0,00 | 0,58 | 0,90 | 1,12 | 1,24 | 1,32 | 1,41 | 1,45 | 1,49 | 1,51 | 1,48 | 1,56 | 1,57 | 1,59 |

Fonte: Saaty (1991)

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (2.3)$$

Tabela 7: Pesos dos fatores

| Mapa           | Pesos |
|----------------|-------|
| NDVI           | 0,045 |
| Hipsometria    | 0,082 |
| Declividade    | 0,136 |
| Uso do solo    | 0,278 |
| Classe do solo | 0,459 |

Fonte 5: O autor.

A matriz de comparação pareada foi montada a partir dos critérios observados em literatura, baseados em na entrevista de especialistas sobre o tema, como os presentes nos trabalhos de SOUZA, LOLLO, ALMEIDA FILHO (2019); VETTORAZZI (2006).

$$RD = (Px0,459) + (Dx0,136) + (Ux0,278) + (Nx0,045) + (Hx0,082) \quad (2.4)$$

Essa operação resultou no mapa de risco de degradação, objeto de estudo desse trabalho, retornando um mapa que evidência regiões da bacia com maior probabilidade de ser afetada por processos erosivos, sendo classificados em muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto risco de erosão.

## 7 RESULTADO E DISCUSÕES

O fator que apresentou predominância foi o de classe do solo (45,9%), sua escolha foi baseada na literatura e na observação da distribuição dos fatores ao longo da bacia. Propriedades do solo tais como: densidade, estrutura, textura, densidade, permeabilidade, mineralogia, textura, propriedades químicas e biológicas, exercem uma grande influência nos processos erosivos da bacia, um solo com grande capacidade de absorção de água está menos propício à erosão hídrica, por exemplo (FAVIS-MORTLOCK; GUERRA, 1999). As classes dos solos presentes na bacia do São José dos Dourados mostraram grande variabilidade espacial e característica, fazendo que haja uma diferença muito grande de uma região pra outra no nível de risco a degradação, embora a maior parte dela seja composta Argissolos Vermelho-Amarelo de alto grau de erodibilidade (Tabela), porém uma parcela muito significativa de Latossolos Vermelhos de baixa erodibilidade está concentrada mais ao oeste da bacia e ao longo do leito do rio.

Tabela 8: Pedologia da BJSD.

| <b>Pedologia</b>              | <b>Área</b>            |
|-------------------------------|------------------------|
| Argissolos Vermelhos-Amarelos | 4280,28km <sup>2</sup> |
| Argissolos Vermelhos          | 114,149km <sup>2</sup> |
| Gleissolos Hápicos            | 58,223km <sup>2</sup>  |
| Latossolos Vermelho           | 373,187km <sup>2</sup> |
| Neossolos Quartzarênicos      | 212,537km <sup>2</sup> |

Fonte: O autor.

O fator declividade (13,6%), apesar de poder exercer grande influência sobre a erosão do solo, pois declividades maiores aumentam a energia cinética do escoamento superficial e sua capacidade de transporte (CREPANI et al., 2001), no caso da bacia do São José dos Dourados as regiões que atingem as mais acentuadas declividades, conforme a classificação da EMBRAPA, estão bem distribuídas por



todas as regiões da bacia e ainda assim não representam uma parcela muito grande do seu relevo (TABELA).

Tabela 9 : Declividade da BJSD

| <b>Declividade</b> | <b>Área</b>            |
|--------------------|------------------------|
| 0-2%               | 569,81km <sup>2</sup>  |
| 2-6%               | 2450,07km <sup>2</sup> |
| 6-20%              | 2101,32km <sup>2</sup> |
| 20-50%             | 25,25km <sup>2</sup>   |
| >50%               | 0,039km <sup>2</sup>   |

Fonte: O autor.

O uso do solo foi o segundo fator de maior importância (27,8%) e o NDVI o quinto (4,5%), ambos escolhidos com o objetivo de mensurar a área de cobertura vegetal, localização, presença, ausência e nível de vigor pois a cobertura vegetal desempenha um papel importante não só na redução da erosão e do assoreamento da bacia, por meio da interceptação e redução da energia cinética do escoamento, mas também na retenção de água no lençol freático através da absorção pelas raízes. Foi possível observar que a parcela de vegetação presente na bacia não é muito grande, com predomínio de pastagem ou campos de vegetação de pequeno porte e lavouras. Boa parte do solo já está ausente de vegetação o que indica que processos erosivos já acontecem na bacia.

Tabela 10: Uso do Solo e NDVI da BJSD.

| <b>Uso do solo</b> | <b>Área</b>           | <b>NDVI</b>              | <b>Área</b>           |
|--------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|
| Mata/Natural       | 548,28km <sup>2</sup> | Alto Vigor (0,49-1)      | 51,711km <sup>2</sup> |
| Culturas           | 21,58km <sup>2</sup>  | Médio Vigor (0,341-0,49) | 349,53km <sup>2</sup> |

|                 |                      |                                |                        |
|-----------------|----------------------|--------------------------------|------------------------|
| Campo Graminoso | 4472km <sup>2</sup>  | Baixo Vigor (0,215-0,341)      | 1316,03km <sup>2</sup> |
| Solos Expostos  | 2,039km <sup>2</sup> | Baixíssimo Vigor (0,066-0,215) | 3336,39km <sup>2</sup> |
| Área Urbanizada | 35,56km <sup>2</sup> | Ausência (-1-00,066            | 117,3km <sup>2</sup>   |

Fonte: O autor.

A bacia do São José dos Dourados não possui uma grande variação de comprimentos de rampa, o que demonstra uma menor energia potencial cinética para seu escoamento, uma vez que da sua nascente até sua foz existe pouca variação altimétrica, estando 50,01% dos valores altimétricos concentrados na faixa de 400-500m e 40,78% concentrados na faixa de 300 – 400m, portanto a hipsometria da bacia não é um dos fatores mais preponderantes pra determinação dos processos erosivos dentro da mesma, visto que além de apresentar uma baixa amplitude altimétrica, seus maiores valores altimétricos não ultrapassam 600m.

Tabela 11: Hipsometria da BSJD

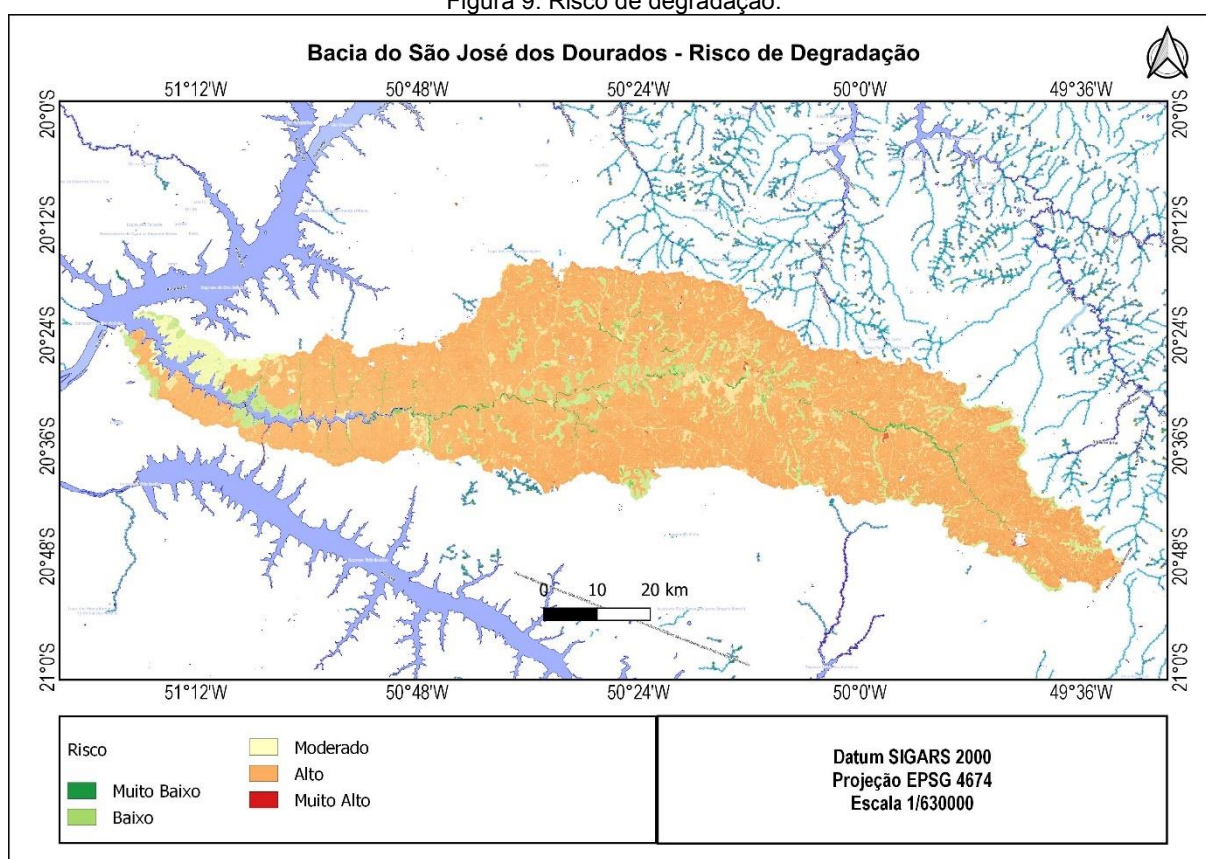
| Hipsometria | Área                   |
|-------------|------------------------|
| 100-200m    | 0,0km <sup>2</sup>     |
| 200-300m    | 0,075km <sup>2</sup>   |
| 300-400m    | 1864,13km <sup>2</sup> |
| 400-500m    | 2286,55km <sup>2</sup> |
| >500m       | 420,41km <sup>2</sup>  |

Fonte: O autor.

## 7.1 RISCO DE DEGRADAÇÃO

Após a integração dos mapas com os devidos pesos calculados através da matriz de comparação pareada, foi gerado o mapa de risco de degradação para a bacia do rio São José dos Dourados:

Figura 9: Risco de degradação.



Fonte: O autor.

O mapa classifica as áreas da bacia quanto ao risco de perda de solo devido a processos erosivos. No mapa resultante as áreas de lagos, rios e áreas urbanas foram suprimidas, uma vez que o objetivo é focar nas áreas onde é possível a recuperação da mata nativa ou do solo já erodido.

A bacia do São José dos Dourados apresenta alta susceptibilidade a processos erosivos, 69,45% (3593,6km<sup>2</sup>) da sua área está na faixa de alto risco, 17,52% (906,58km<sup>2</sup>) está na faixa de risco muito alto enquanto apenas 9,85% da área

está sob médio risco (435,927km<sup>2</sup>) ou baixo risco (73,69km<sup>2</sup>) de degradação. Esse resultado não difere muito do que foi constatado pelo IPT (2016) conforme Figura (), as diferenças estão concentradas mais na região que coincide com a rede de drenagem do rio São José dos Dourados ou regiões onde a floresta foi preservada, nessas regiões onde o risco é baixo se deve ao fato de uma melhor preservação da mata ciliar, o que reduz significativamente o a susceptibilidade a erosão, no entanto uma sobreposição simples do mapa de risco com o mapa da rede drenagem ou o RGB da bacia, mostra que diversos trechos da rede de drenagem não possui mata ciliar preservada. As regiões próximas da foz do São José dos Dourados apresentaram risco médio de degradação, porém elas também merecem atenção pois são regiões de menores altitudes da bacia, regiões de convergência dos fluxo, o que pode dificultar os processos erosivos mas ao mesmo tempo acentuar o assoreamento dos rios, uma vez que se trata de uma região de convergência do escoamento, carreamento e deposição dos sedimentos

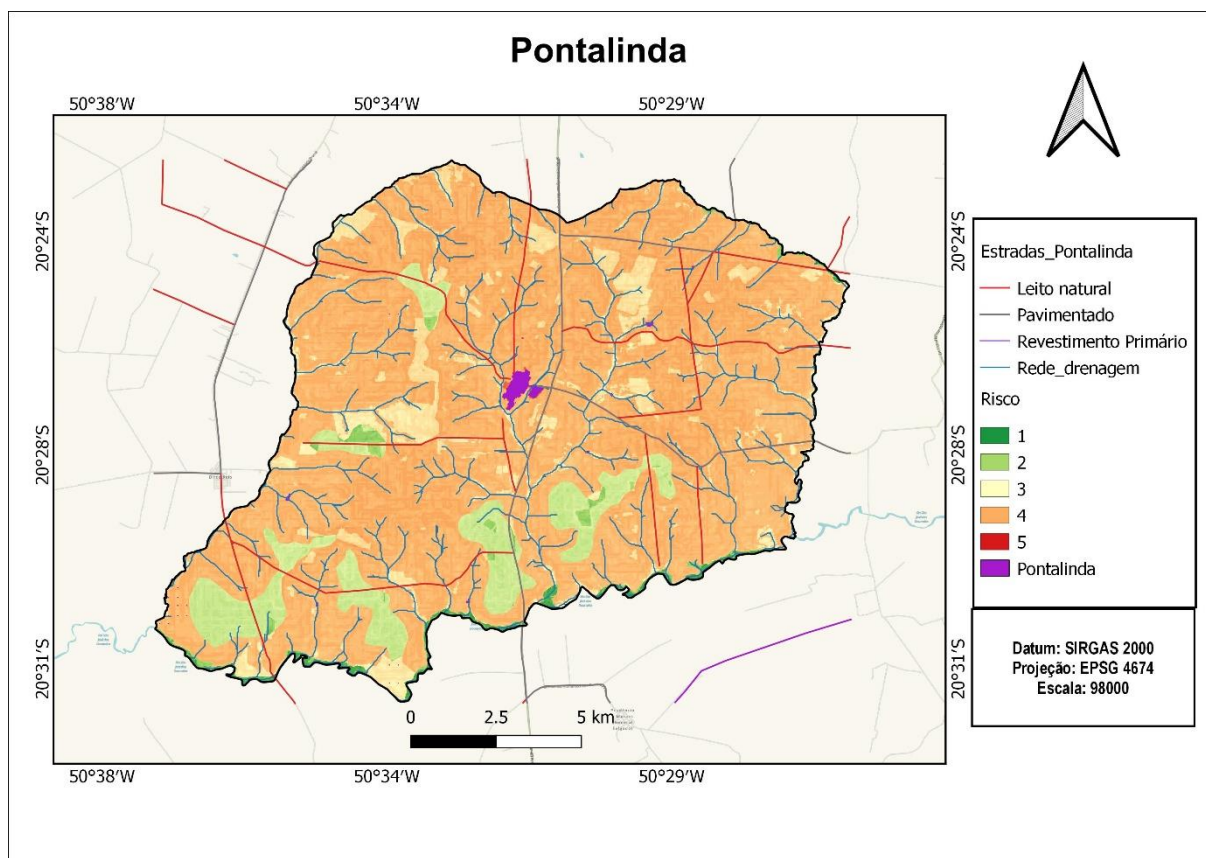


## 8 DISCUSÕES

Pelo fato da bacia do rio São José dos Dourados abranger uma área muito grande e a maior parte do seu território apresentar alta susceptibilidade a processos erosivos, as ações de mitigação serão mais facilmente implementadas se forem tomadas de maneira descentralizada e de acordo com as prioridades de cada um dos 44 municípios que estão presentes na bacia, uma vez que uma área de aproximadamente 6.805km<sup>2</sup> pode demandar uma quantidade de recursos acima da capacidade que o estado tem de fornecer.

Vejam os exemplos do município de Pontalinda que possui 4.628 habitantes, sendo 693 desses moradores da área rural, e uma área de 210,2km<sup>2</sup> (IBGE, 2010). Em 2017 o então prefeito do município liberou através da abertura de crédito adicional especial o valor de 670.000 R\$ (Lei Nº 854/2.017) destinados às obras de reabilitação de trechos críticos nas estradas rurais do município. A quantidade de sedimentos transportados nas faixas de rolagem de estradas rurais é muito grande. Grace et al.(1988) diz que quando circundadas por florestas, as estradas rurais transportam cerca de 90% do total de sedimentos produzidos nessa área, já Bigarella e Mazushowski (1985) afirmam que no noroeste do Paraná, 20% de todo material carregado nas bacias tem origem no sistema viário.

Com o auxílio da Análise Hierárquica Prioritária desenvolvida nesse trabalho, foi possível identificar as áreas no município que apresentam maior susceptibilidade a processos erosivos de acordo com os critérios mencionados nos tópicos anteriores e citados em literaturas. Isso nos permite agora sobrepor os trechos da malha viária de Pontalinda ao mapa de risco de degradação e assim identificar mais facilmente os trechos que estão em regiões mais ou menos críticas do ponto de vista em relação a produção de sedimentos que está deteriorando a qualidade das vicinais e ameaçando de assoreamento os rios do município.



As vicinais estão representadas pelas linhas em vermelho, assim podemos observar que nem todos os trechos das mesmas estão contidos em regiões de alta ou muito alta susceptibilidade erosiva (tons de vermelho e laranja), uma quantidade expressiva está sob região de baixo grau de erodibilidade. Levando em consideração a finitude de recursos, o mapa apresentado pode indicar trechos prioritários para as intervenções da prefeitura de Pontalinda, sendo essas as regiões de alta susceptibilidade a erosão pelas quais atravessam as estradas rurais.

É importante lembrar que a AHP não dispensa a visita in loco, ficando a cargo dos agentes públicos a confirmação do observado no mapa por meio da visitação. Nesse sentido a elaboração de um mapa de risco tem como objetivo poupar o tempo e os recursos ao concentrar e ponderar uma grande quantidade de informações em um único mapa, focalizando assim as ações de uma maneira mais eficientes, no entanto tais informações não representam necessariamente a totalidade de variáveis que explicam um fenômeno. Pra o caso da erosão que acontece nas pistas de rolagem nas estradas rurais, Luce e Black (1993) argumentam que o principal motivo do carreamento do solo em pistas rurais é dado pela má drenagem, muitas vezes relacionada aos comprimentos e o aumento da declividade, o que aumenta a energia

cinética e o escoamento superficial na pista. Já nos barrancos das estradas existe a influência direta das respectivas alturas dos mesmos, da cobertura vegetal e da concentração do fluxo de água (OLIVEIRA et al., 1999).



## Referências

- AKOSSI, O. Contribution of Remote Sensing and Geographic Information System to Identify Potential Areas of Groundwater in the Department of M'Bahiakro (Central-East of Côte d'Ivoire). **British Journal of Applied Science & Technology**, v. 4, n. 18, p. 2551–2575, 2014.
- ALENCAR, A. P. A. D.; SOUZA, F. D. Uso De Um Sig Na Análise Da Distribuição Da Infra-Estrutura Na Cidade De Maceió, Alagoas. **VII Seminário Internacional da LARES**, 2007.
- AMINU, M. et al. A spatial decision support system (SDSS) for sustainable tourism planning in Johor Ramsar sites, Malaysia. **Environmental Earth Sciences**, v. 70, n. 3, p. 1113–1124, 2013.
- ARONOFF, S. **GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS: A MANAGEMENT PERSPECTIVE**. OTTAWA: DL PUBLICATIONS, 1989. 249P
- BARRETT, M., SAHAY, S., & WALSHAM, G. (2001). Information technology and social transformation: GIS for forestry management in India. **The Information Society**, 17(1), 5–20p
- BARZANI, M. M.; KHAIRULMAINI, O. S. Desertification risk mapping of the Zayandeh Rood Basin in Iran. **Journal of Earth System Science**, v. 122, n. 5, p. 1269–1282, 2013.
- BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F.L. (2005) **Conservação do solo**. 5 ed. São Paulo: Ed. Ícone. 355p.
- Bertoni, J. e Lombardi Neto, F. (2005) **Conservação do Solo**. 5.ed. São Paulo. 355p.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 7.ed. São Paulo: Ícone, 2010
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. São Paulo: Ícone, 2008. 368p.
- BOURLON, N.; BERTHON, D. Desenvolvimento sustentável e gerenciamento das bacias hidrográficas na América Latina. **A Água em Revista**.
- BOSCH, J.M., HEWLETT, J.D., 1982. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. **J. Hydrol.** 55, 3–23
- BRASIL (Estado), Decreto-lei nº 6.398, de 31 de agosto de 1981. Art.1. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l6938.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm)>. Acesso em: 21 de jul. de 2021.
- BRASIL (CONAMA), CONAMA Resolução nº 1, Diário Oficial da União, de 23 de janeiro de 1986. 2548-2549p. Disponível em: <<http://www.ima.al.gov.br/wizard/docs/RESOLU%C3%87%C3%83O%20CONAMA%20N%C2%BA001.1986.pdf>>. Acesso em: 22 de jul. de 2021.
- BRASIL (CONAMA), CONAMA RESOLUÇÃO Nº 9, DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO, DE 3 DE DEZEMBRO DE 1987, 12945P. DISPONÍVEL: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=60>>. ACESSO EM: 22 DE JUL. DE 2021.

BRASIL (ESTADO), CONSTITUIÇÃO DA REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL, DE 5 DE OUTUBRO DE 1988, ART. 22. DISPONÍVEL EM: <  
[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm)>. ACESSO EM: 22 DE JUL. DE 2021.

BRASIL (ESTADO), LEI Nº 9.433, DE 8 DE JANEIRO DE 1997, ART. 1º. DISPONÍVEL EM: <  
[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm)>. ACESSO EM 22 DE JUL. DE 2021.

BRASIL (ESTADO), LEI Nº 9.984, DE 17 DE JULHO DE 200, ART 1º. DISPONÍVEL EM: <  
[www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9984.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9984.htm)>. ACESSO EM 22 DE JUL, DE 2021.

BURROUGH, P.A. **PRINCIPLES OF GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS FOR LAND RESOURCES ASSESSMENT**. OXFORD, CLARENDON PRESS, 1986. 193 P

CÂMERA, G.; ORTIZ, M. **SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA PARA APLICAÇÕES AMBIENTAIS E CADASTRAIS: UMA VISÃO GERAL**

CAMPAGNOLI, F. (2005). The Brazilian lands: rates of potential production of sediments. **Sediment Budgets Symposium** . VII IAHS Scientific Assembly.

CARVALHO, N. O; FILIZOLA Jr., SANTOS, P. M. C; LIMA, J. E. F. W. - Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios **Brasília : ANEEL**, 185p. 2000.  
 CARVALHO, N.O. assoreamento de reservatórios – conseqüências e mitigação dos efeitos. In: **IV Encontro Nacional de engenharia de Sedimentos**. Santa Maria-RS. Cdrom. 1-22p. 2000.

CUYA, D. G. PALOMINO ET AL. **A GIS-BASED ASSESSMENT OF MAXIMUM POTENTIAL HYDROPOWER PRODUCTION IN LA PLATA BASIN UNDER GLOBAL CHANGES**. **RENEWABLE ENERGY** **50**, 2013, PG 103-114.

DANG, V.-H. ET AL. ENHANCING THE ACCURACY OF RAINFALL-INDUCED LANDSLIDE PREDICTION ALONG MOUNTAIN ROADS WITH A GIS-BASED RANDOM FOREST CLASSIFIER. **BULLETIN OF ENGINEERING GEOLOGY AND THE ENVIRONMENT**, v. 78, N. 4, P. 2835–2849, 2018.

DANG, V.-H. et al. Enhancing the accuracy of rainfall-induced landslide prediction along mountain roads with a GIS-based random forest classifier. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, v. 78, n. 4, p. 2835–2849, 2018

DIAZ, J.; HANSZ, A. Understanding the Behavioural Paradigm in Property Research. **Pacific Rim Property Research Journal**, v. 13, n. 1, p. 16–34, 2007.

DRAGAN, M. et al. Application of a spatial decision support system (SDSS) to reduce soil erosion in northern Ethiopia. **Environmental Modelling & Software**, v. 18, n. 10, p. 861–868, 2003.

EGOH, B. et al. Integrating ecosystem services into conservation assessments: A review. **Ecological Economics**, v. 63, n. 4, p. 714–721, 2007.

ELMORE, W.; BESCHTA, R. L. **Riparian Areas: Perceptions in Management**. **Rangelands** v. 9, n. 6, p. 260- 265, 1987.

FAO, 1976. A framework for land evaluation: FAO Soils Bulletin No. 32, **Food and Agriculture Organization of The United Nations**.

GAISBERGER, H. et al. Spatially explicit multi-threat assessment of food tree species in Burkina Faso: A fine-scale approach. **Plos One**, v. 12, n. 9, 2017.

GOODCHILD, M.F., 1987. Towards an enumeration and classification of SIG functions. In: **International Geographic Information Systems (ISIG) Symposium**. The Research Agenda Proceedings, 1987, pp. 67–77

GREGORY, S. V.; SWANSON, F. J.; McKEE, A. W.; CUMMINS, K. W. An Ecosystem Perspective of Riparian Zones: **Focus on links between land and water**. **BioScience**, Washington, v. 41, n. 8, p. 540-550, 1991.

GRIMSHAW, D.J. (1994) Bringing Geographical Information Systems in **Business**, Longman, 100-111.

GUERRA, A.J.T. O início do processo erosivo. In: GUERRA, A.J.T; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: **Bertrand Brasil**, 1999. p 17 –55

HARTKAMP, A. D.; WHITE, J. W.; HOOGENBOOM, G. Interfacing Geographic Information Systems with Agronomic Modeling: A Review. **Agronomy Journal**, v. 91, n. 5, p. 761–772, 1999.

HEYWOOD, I., Cornelius, S., Carver, S., 2002. In: An Introduction to Geographical Information Systems. **Prentice Hall**, Harlow 295 pp.

HUAPENG, Z. et al. Urban Green Space Pattern Analysis and Environmental Impacts Assessment Based on RS and GIS; --Taking Xuzhou City as an example. **2007 Urban Remote Sensing Joint Event**, 2007.

Impactos Antrópicos e Biodiversidade Aquática', in J. A. Paula (ed.), Biodiversidade, População e Economia; uma região de Mata Atlântica

JENSEN, J., Sensoriamento remoto do ambiente : uma perspectiva em recursos terrestre. Tradução: José Carlos Neves Epiphanyo (coordenador) et al. São José dos Campos, SP: **Parêntese**, 2009.

KAZEMI, H. Ecological Zoning for Wheat Production at Province Scale Using Geographical Information System. **Advances in Plants & Agriculture Research**, v. 2, n. 1, 2015.

KONG, F.; YIN, H.; NAKAGOSHI, N. Using GIS and landscape metrics in the hedonic price modeling of the amenity value of urban green space: A case study in Jinan City, China. **Landscape and Urban Planning**, v. 79, n. 3-4, p. 240–252, 2007.

LAL, R. 1982. Effect of slope length and terracing on runoff and erosion on a tropical soil. IAHS Publication 137:23-31.

LAL, R. 1983. No-till farming: Soil water conservation management in the humid and subhumid tropics. **IITA Monograph No. 2**. Ibadan: **International Institute of Tropical Agriculture**.

LANNA, Antônio Eduardo. A inserção da gestão das águas na gestão ambiental. In MUNOZ, Hector Raúl (org.). **Interfaces da Gestão de Recursos Hídricos**. Brasília: **Secretaria de Recursos Hídricos**, 2000.

LIU, J., J. B. DUNNING, JR., AND H. R. PULLIAM. 1995. POTENTIAL EFFECTS OF A FOREST MANAGEMENT PLAN ON BACHMAN'S SPARROWS (*AIMOPHILA AESTIVALIS*): LINKING A SPATIALLY EXPLICIT MODEL WITH GIS. **CONSERVATION BIOLOGY** 9:62-75.

MALCZEWSKI, J. GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. **Progress in Planning**, v. 62, n. 1, p. 3–65, 2004.

NAMI, M. H. ET AL. SPATIAL PREDICTION OF WILDFIRE PROBABILITY IN THE HYRCANIAN ECOREGION USING EVIDENTIAL BELIEF FUNCTION MODEL AND GIS. **INTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENTAL SCIENCE AND TECHNOLOGY**, v. 15, n. 2, p. 373–384, 2017.

NASCIMENTO, W. M.; VILLAÇA, M. G. Bacias Hidrográficas: Planejamento e Gerenciamento. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros – Seção Três Lagoas**, Três Lagoas, v. 5, n.7, p. 102-121, 2008.

PANDEY, A.; CHOWDARY, V. M.; MAL, B. C. Sediment yield modelling of an agricultural watershed using MUSLE, remote sensing and GIS. **Paddy and Water Environment**, v. 7, n. 2, p. 105–113, 2009.

PERUSI, M. C.; CARVALHO, W. A. Comparação de Métodos para Determinação da Estabilidade de Agregados por Vias Seca e Úmida em Diferentes Sistemas de Uso e Manejo do Solo. **GEOCIÊNCIAS, SÃO PAULO**, v. 27, n. 2, p. 197-206, 2008.

PHUA, M.-H.; MINOWA, M. A GIS-based multi-criteria decision making approach to forest conservation planning at a landscape scale: a case study in the Kinabalu Area, Sabah, Malaysia. **Landscape and Urban Planning**, v. 71, n. 2-4, p. 207–222, 2005.

RELATÓRIO DE SITUAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS UGRHI 18. Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São José dos Dourados. **Relatório**. São José do Rio Preto, 2019. Relatório.

ROSA, ALEXSANDRA; GUARDA, VERA. **GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL: UM HISTÓRICO**. **REVISTA DIREITO AMBIENTAL E SOCIEDADE**, v. 9, n. 2, MAIO/AGO. 2019 (P. 197-220)  
SAATY, T.L. How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. **The Institute for Operations Research and the Management Sciences**. Interfaces, v. 24, n. 6, p. 19-43, 1994.

SAATY, T.L. Método de análise hierárquica. São Paulo: **McGraw-Hill Publisher**, 367 p., 1991.

SENANAYAKE, I.; WELIVITIYA, W.; NADEEKA, P. Urban green spaces analysis for development planning in Colombo, Sri Lanka, utilizing THEOS satellite imagery – A remote sensing and GIS approach. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 12, n. 3, p. 307–314, 2013.

SIMON, H.A., 1976. From substantive to procedural rationality. In: Latsis, J.S. (Ed.), Methods and Appraisal in Economics. **Cambridge University Press**, Cambridge

STANFORD, J. A. Landscape and Riverscape. In: HAUER, F; LAMBERTI, G (E.). Methods in stream ecology. 2ªed. Elsevier, 2007. Capítulo 1, p.3-22.

TABACCHI, E.; LAMBS, L.; GUILLOY, H.; PLANTY-TABACCHI; A.M.; MULLER, E.;

DECAMP, H. **Impacts of riparian vegetation on hydrological process**. **Hydrological Processes**, v. 14. n.16-17, p. 2959-2976, 2000.

THOMAZ, E. L. **Processos Hidrogeomorfológicos e o Uso da Terra em Ambiente Subtropical** – Guarapuava-PR. São Paulo: USP. Tese (Doutorado), 2005

Tucci, C. 2000. (org.) Hidrologia – ciência e aplicação. **Editora da Universidade, ABRH**, Porto Alegre.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. As mudanças da cobertura vegetal no escoamento: Revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre (RS), v. 2. n.1, p.135-152, 1997

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. M. **Impactos potenciais das alterações do Código Florestal nos recursos hídricos**. Biota Neotropica, São Carlos, v.10, n.4, p. 67-76, 2010.

ZHOU, J.; CIVCO, D. L. Using genetic learning neural networks for spatial decision making in GIS. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, v. 62, n. 11, p. 1287-1295, 1996.

KALLALI, H. et al. GIS-based multi-criteria analysis for potential wastewater aquifer recharge sites. **Desalination**, v. 215, n. 1-3, p. 111–119, 2007.

KEENEY, R. L. Creativity in MS/OR: Value-Focused Thinking—Creativity Directed toward Decision Making. **Interfaces**, v. 23, n. 3, p. 62–67, 1993.

MALCZEWSKI, J. **GIS and multicriteria decision analysis**. Tradução . [s.l.] John Wiley & Sons, 1999.

MOLNÁR, D. K.; JULIEN, P. Y. Estimation of upland erosion using GIS. **Computers & Geosciences**, v. 24, n. 2, p. 183–192, 1998.

SVORAY, T.; BEN-SAID, S. Soil loss, water ponding and sediment deposition variations as a consequence of rainfall intensity and land use: a multi-criteria analysis. **Earth Surface Processes and Landforms**, 2009.

TUCCI, C.; CLARKE, R. Impactos das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 2, n. 1, p. 135–152, 1997.

SALOMÃO, F.X.T. Controle e prevenção dos Processos Erosivos. In GUERRA, A.J.T.;

SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. (orgs) 1999. **Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações**. Rio de Janeiro: **Bertrand Brasil**, 340p.

ROSS, J. L.S **Geomorfologia: Ambiente e Planejamento**. 2005. 8ed. São Paulo: Contexto, (Repensando a Geografia). 85p.

INFANTI JUNIOR, N. & FORNASARI FILHO, N. Processos de Dinâmica Superficial. In: OLIVEIRA, A.M.S. & BRITO, S.N.A. (Eds.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: **Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE)**, 1998. cap. 9, p.131-152.

JENSEN, John R., **Sensoriamento remoto do ambiente : uma perspectiva em recursos terrestre**. Tradução: José Carlos Neves Epiphanyo (coordenador) et al. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009.

BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 7.ed. São Paulo, Ícone, 2010. 355p.

TABACCHI, E., LAMBS, L., GUILLOY, H., PLANTY-TABACCHI, A.M., MULLER, E., DÉCAMPS, H. Impacts of riparian vegetation on hydrological processes. **Hydrol. Process.** v.14, 2959–2976p. 2000.

TUNDISI, J.G.; TUNDISI, T.M. Impactos potenciais das alterações do Código Florestal nos recursos hídricos. *Biotaneotropica*, vol. 10, no. 4, 2010

ELMORE, W. & BESCHTA, R.L. 1987. **Riparian areas: Perceptions in management.** *Rangelands* 9(6):260-265.

SARTORI, A. A. C.; ZIMBACK, C. R. L.Recomposição florestal visando à conservação de recursos hídricos na bacia dorio Pardo, SP. **Revistade Energia na Agricultura**, v.26, n.4, p.43-53, 2011.

BARBOSA, M. E. F.; FURRIER, M. Análise morfométrica do rio Guruji, litoral sul do Estado da Paraíba. Disponível em:<[http://www.geomorfologia.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos\\_completos/eixo3/068.pdf](http://www.geomorfologia.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos_completos/eixo3/068.pdf)>. Acessado em 29 de Novembro de 2020.

SAATY, T. **Método de análise hierárquica.** Tradução e revisão técnica Wainer da Silveira e Silva. São Paulo: Makron Books, 1991. 326p

VETTORAZZI, C.A. Comparação entre métodos de análise de sensibilidade, empregados na tomada de decisão com a avaliação multicriterial. **Comparação entre métodos de análise de sensibilidade, empregados na tomada de decisão com a avaliação multicriterial.** Piracicaba, 2006.

FAVIS-MORTLOCK, D. T.; GUERRA, A. J. The implications of general circulation model estimates of rainfall for future erosion: a case study from Brazil. **Catena**, v. 37, n. 3-4, p. 329–354, 1999.

SOUZA, N. D. C. Geotecnologias na análise da suscetibilidade e risco de processos erosivos em áreas de entorno de linhas férreas. Estudo de caso: malha paulista - SP (bacia do Tietê - Sorocaba). [s.d.].

PESQUISAS comprovam a importância da vegetação na produção de água. **Secretária de Infraestrutura e Meio Ambiente de São Paulo.** 2015. Disponível em: <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/2015/08/pesquisas-comprovam-a-importancia-da-vegetacao-na-producao-de-agua-com-qualidade/>>. Acesso em: 30, novembro de 2020

SIMON, Paula. Bacia Hidrográficas da Republica de Tuva e Kabarovsk. **Thinglink.** Disponível em:< <https://www.thinglink.com/scene/665930067095846912>>. Acesso em: 30, novembro de 2020.

O QUE É SINGREH. **Agência Nacional de Águas.** Disponível em: < <https://www.ana.gov.br/aguas-no-brasil/sistema-de-gerenciamento-de-recursos-hidricos/o-que-e-o-singreh>>. Acesso em: 30, novembro de 2020

NEEDELMAN, B.A., 2013. What are Soils?. **Nature [online] 4.** Disponível: <<http://www.nature.com/scitable/knowledge/library/what-are-soils-67647639>>. Acesso em: 30, .novembro de 2020

ANDRADE, A.G., Freitas, P.L., Landers, J., 2010. Aspectos Gerais Sobre o Manejo e Conservação do Solo e da Água e as Mudanças Ambientais, in: Prado, R.B., Turetta, A.P.D., Andrade, A.G. (Org.), Manejo e Conservação do Solo e da Água no Contexto das Mudanças Ambientais. **EMBRAPA Solos, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**, Rio de Janeiro, pp. 25-40

KELLEY, H.W. **Keeping the land alive: soil erosion: its causes and cures**. Rome: FAO, 1983. 79 p. (FAO. Soils Bulletin, 50)

FAO (2015) Status of the World's Soil Resources (SWSR) - Main Report. Food and Agriculture **Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils**, Rome, Italy 60 p.

GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 3a. ed. Rio de Janeiro: Bertand Brasil, 1998. 472p.

MAGALHÃES, Ricardo Aguiar. EROSÃO: DEFINIÇÕES, TIPOS E FORMAS DE CONTROLE. In: VII SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 7., 2001, Goiânia (go). **Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG**. Goiânia (go): Labogef, 2001. p. 01 - 02.

GRACE, J. M. et al. **Evaluation of erosion control techniques on forest roads**. Transactions of the ASAE, St Joseph, v. 41, n. 2, p. 383-391, 1998.

BIGARELLA, J. J.; MAZUCHOWSKI, J. Z. Visão integrada da problemática da erosão. In: III Simpósio Nacional de Controle da Erosão. **Anais...**Curitiba: ADEA/ABGE, 1985.

LUCE, C. H; BLACK, T. A. **Sediment production from forest roads in Western Oregon**. Moscow: USDA, 1993

OLIVEIRA, M. A. T. de et al. Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçorocas. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. do; BOTELHO, R. G. M. (orgs). **Erosão e conservação dos solos. Conceitos, temas e aplicações**.Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999