

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTE E GEODÉSIA  
ENGENHARIA DE AGRIMENSURA E CARTOGRÁFICA

PEDRO HENRIQUE BATISTA LYRIO

MODELAGEM ESPACIAL MULTICRITÉRIO PARA A DEFINIÇÃO DE ÁREAS  
SUSCETÍVEIS A INUNDAÇÕES – ESTUDO DE CASO: BACIA DO RIO  
CACHOEIRA (BA)

SALVADOR  
2022

PEDRO HENRIQUE BATISTA LYRIO

MODELAGEM ESPACIAL MULTICRITÉRIO PARA A DEFINIÇÃO DE ÁREAS  
SUSCETÍVEIS A INUNDAÇÕES – ESTUDO DE CASO: BACIA DO RIO  
CACHOEIRA (BA)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Departamento de Engenharia de Transporte e Geodésia  
da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia,  
como requisito parcial para obtenção do diploma de  
Engenheiro Agrimensor e Cartógrafo.

**Orientador:** Prof. Me. Fabiano Peixoto Freiman

SALVADOR  
2022

## RESUMO

Os eventos adversos naturais como inundações e enchentes estão ganhando proporções alarmantes nos últimos anos, tendo como consequência prejuízos sociais e econômicos. Por este fato, é importante a inserção de ferramentas que permitam conhecer o território e as suas nuances para auxiliar na gestão de eventos adversos. Ferramentas do Sistema de Informações Geográfica (SIG) associadas a processos de estimativas de suscetibilidades, como a aplicação de Métodos de Análise Multicritério (MAM) permitem a obtenção de um contexto geográfico de uma região a partir da Modelagem Espacial Multicritério (MEM), ferramenta que pode auxiliar o planejamento e a tomada de decisões. Neste âmbito, objetiva-se analisar o processo de MEM baseado no MAM *Analytical Hierarchy Process* (AHP) para a identificação de áreas suscetíveis a inundações em um estudo de caso na Bacia do Rio Cachoeira, localizada no Sul do Estado da Bahia, Brasil. O processo consistiu na adequação de uma base de dados geoespaciais composta por informações geomorfológicas, hidrológicas e de uso e ocupação do solo. Como resultado, obteve-se mapas de suscetibilidade a inundações para a região que em consequência fornece subsídios para tomadas de decisões. A principal contribuição é a aplicação de um método que emprega dados geoespaciais e softwares livres, o que permite a sua replicação em órgãos e secretarias governamentais com custos reduzidos para as instituições públicas.

Palavras-chave: AHP. SIG. Suscetibilidade a Inundação. Modelagem Espacial Multicritério.

## ABSTRACT

Natural adverse events like floods are taking alarming proportions in recent years, resulting in social and economic losses. For this reason, it is important to insert tools that allow knowing the territory and its nuances to assist in the management of adverse events. Geographic Information System (GIS) tools associated with susceptibility estimation processes, such as the application of Multicriteria Analysis Methods (MAM) allow obtaining a geographic context of a region from the Multicriteria Spatial Modeling (MEM), a tool that can help planning and decision making. In this context, the objective is to analyze the MEM process based on the MAM Analytical Hierarchy Process (AHP) for the identification of areas susceptible to flooding in a case study in the Cachoeira River Basin, located in the south of the State of Bahia, Brazil. The process consisted of adapting a geospatial database composed of geomorphological, hydrological and land use and occupation information. As a result, maps of susceptibility to flooding were obtained for the region, which consequently provides subsidies for decision making. The main contribution is the application of a method that uses geospatial data and completely free software, which allows its replication in government agencies and secretariats with low cost to public institutions.

Keywords: AHP. GIS. Flood Susceptibility. Multicriteria Spatial Modeling.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - NÚMERO DE PUBLICAÇÕES (2000 - 2020) .....	10
Figura 2 - ESTRUTURA HIERÁRQUICA GENÉRICA.....	16
Figura 3 - AUMENTO DO NÍVEL D'ÁGUA PROVOCADO PELA CHUVA .....	18
Figura 4 – PROCESSO DE ÁLGEBRA DE MAPAS NA MEM .....	19
Figura 5 - ARQUITETURA DO SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA .....	21
Figura 6 - REGIÃO DE PLANEJAMENTO E GESTÃO DAS ÁGUAS - LESTE.....	27
Figura 7 - BACIA DO RIO CACHOEIRA - BA .....	28
Figura 8 - BACIA DO RIO CACHOEIRA - BA .....	32
Figura 9 - ALGEBRA DE MAPAS.....	35
Figura 10 – PONDERAÇÃO DAS CLASSES EMPREGADAS NO PROCESSO DE MODELAGEM.....	37
Figura 11 - TODAS AS CAMADAS .....	38
Figura 12 - ALTITUDE DO TERRENO.....	39
Figura 13 - DECLIVIDADE .....	40
Figura 14 - CURVATURA HORIZONTAL.....	41
Figura 15 - CURVATURA VERTICAL .....	42
Figura 16 - ÍNDICES TOPOGRÁFICOS (a) TWI (b) SPI (c) STI .....	43
Figura 17 - USO E OCUPAÇÃO DO SOLO .....	44
Figura 18 - NDVI .....	45
Figura 19 - DISTÂNCIA DOS RIOS .....	45
Figura 20 - MAPA DE SUSCETIBILIDADE A INUNDAÇÃO BACIA DO RIO CACHOEIRA.....	46
Figura 21 - SOBREPOSIÇÃO SUPERFÍCIE DE SUSCETIBILIDADE X IMAGEM SATÉLITE .....	47
Figura 22 - SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO MUNICÍPIO DE ITABUNA-BA..	48
Figura 23 - SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO ANÁLISE GOOGLE EARTH....	49

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - CAUSAS E CONSEQUÊNCIA DA URBANIZAÇÃO SOBRE AS INUNDAÇÕES .....	24
Quadro 2 - FATORES CONDICIONANTES .....	29
Quadro 3 - GRAU DE SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO .....	33
Quadro 4 - ESCALA NÚMERICA DE SAATY .....	33
Quadro 5 - MATRIZ DE COMPARAÇÃO OU MATRIZ DE JULGAMENTO .....	34

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
CEPED	Centro de Estudos e Pesquisas Sobre Desastres
DETG	Departamento de Engenharia de Transportes e Geodésia
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GPS	<i>Global Position System</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
MAM	Métodos de Análise Multicritérios
MEM	Modelagem Espacial Multicritério
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
NIR	<i>Near Infrared</i>
ONU	Organização das Nações Unidas
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SRTM	<i>Shuttle Radar Topographic Mission</i>
SPI	<i>Stream Power Index</i>
STI	<i>Stream Transport Index</i>
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SR	Sensoriamento Remoto
TWI	<i>Topographic Wetness Index</i>

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>7</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	9
1.2 OBJETIVOS .....	12
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO.....	12
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>12</b>
2.1 MODELAGEM ESPACIAL MULTICRITÉRIO .....	12
2.1.1 Métodos de Análise Multicritério .....	13
2.1.2 Mapeamento de áreas suscetíveis a inundações .....	17
2.1.3 Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto .....	20
2.2 BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE PLANEJAMENTO .....	21
2.3 USO E COBERTURA DO SOLO E OCORRÊNCIA DE INUNDAÇÕES ....	22
2.3.1 Método baseado em especialistas.....	24
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>27</b>
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	27
3.2 MATERIAIS .....	29
3.2.1 Conjunto de dados.....	29
3.3.1 Álgebra de mapas.....	34
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>36</b>
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>50</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>51</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Os municípios brasileiros, em grande maioria, revelam uma forma desordenada de ocupação do território devido à falta de planejamento ou gestão adequada, trazendo como resultados, por exemplo, a deterioração ambiental. Esses fatores podem tornar os espaços urbanos susceptíveis a fenômenos como enchentes, inundações e deslizamentos que podem trazer prejuízos à população afetada. (OLIVEIRA, 2004). Em ambientes urbanos, enxurradas, enchentes e deslizamentos podem ser eventos adversos recorrentes. Segundo o Centro de Pesquisa de Epidemiologia dos Desastres (*Centre for Research on the Epidemiology of Disasters*), entre os anos de 1995 e 2015 as inundações lideraram o número de ocorrências ocasionando danos e prejuízos. Na América Latina e no Caribe, conforme relatório (*Latin American and Caribbean - Natural Disasters*) produzido pela Organização das Nações Unidas (ONU), houve dispêndios de US\$ 1 bilhão causados por danos em 12 enchentes ocorridas entre os anos de 2000 e 2019.

Segundo a ONU (2020), o Brasil aparece entre os 15 países com maior população exposta ao risco de inundações fluviais devido a aspectos relacionados ao crescimento desordenado e falta de gestão adequada.

O processo de urbanização, como a impermeabilização do solo e o aumento da quantidade de resíduos sólidos descartados no sistema de condutos, associados a precários serviços de esgotamento que favorece o entupimento do sistema, diminuindo a eficácia do escoamento de água pluvial (TUCCI, 2012).

Tehrany, Pradhan e Jebur (2014) mencionam que é uma tarefa complicada controlar as inundações, entretanto é possível minimizar os danos a partir de um planejamento estratégico para a identificação de áreas suscetíveis a inundações e geração de modelos espaciais precisos para auxiliar no processo de tomada de decisão e determinação de políticas públicas. Os avanços tecnológicos favoreceram o desenvolvimento de satélites de monitoramento terrestre que possibilitam em escala global, regional ou local, a coleta de dados quantitativos e qualitativos relativos ao meio ambiente, incluindo o acompanhamento do nível de poluição da água, da atmosfera e o crescimento das áreas urbanas (MASCARENHAS et al., 2009).

A Modelagem Espacial Multicritério (MEM) é um processo de generalização do mundo real a partir da utilização de dados geoespaciais. A MEM pode ser empregada no contexto da previsão de inundações, como uma ferramenta auxiliar em apoio ao processo de tomada de decisão e gestão do território urbano. A MEM permite a organização sistemática de dados de modo que o analista tenha em mãos ferramentas capazes de auxiliar na geração e compartilhamento de fundamentação para gestão operacional de desenvolvimento de políticas estratégicas. A MEM é um processo científico de simplificação da realidade e pode ser utilizada para prever comportamentos e testar hipóteses acerca de uma temática específica (Jakeman et al., 2008).

Neste âmbito, este trabalho tem por objetivo apresentar uma metodologia baseada no método *Analytical Hierarchy Process* (AHP), desenvolvido por Saaty (1970), para identificação de áreas suscetíveis a inundações por meio da integração de informações geográficas e o emprego de ferramentas do SIG para construção de modelos espaciais de previsão de suscetibilidade a inundações. A contribuição do estudo está relacionada a aplicação de um MAM para a identificação de áreas suscetíveis a inundações que pode ser utilizado em qualquer região, sem necessidade de dados históricos de ocorrências de enchentes. Para executar as tarefas, este trabalho baseia-se em um estudo de caso localizado na Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira - BA.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Segundo Tucci (1998), um modelo é a representação de um objeto ou sistema em uma linguagem ou forma de fácil acesso e uso, com objetivo de entendê-lo e buscar repostas para diferentes contextos. Rennó e Soares (2000) consideram que um modelo espacial é uma representação simplificada da realidade, auxiliando no entendimento de processos e no contexto de planejamento e tomada de decisão, e a complexidade de construção e representação está relacionado a complexidade do sistema analisado (TUCCI, 1998).

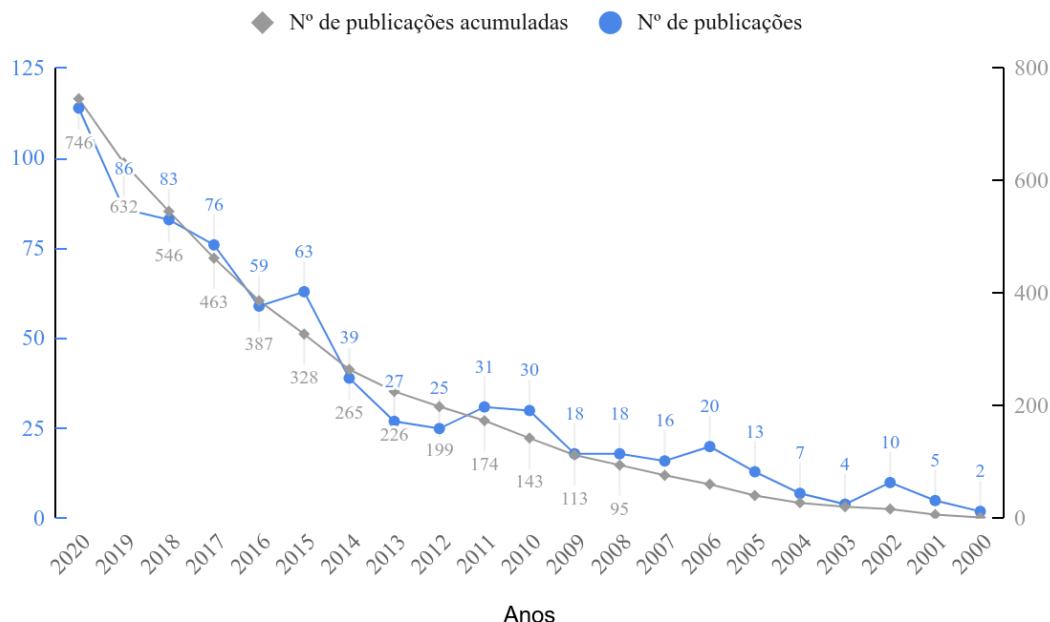
A construção de modelos para a execução de análises do comportamento hidrológico de uma bacia é complexa, pois envolve diferentes parâmetros que mudam conforme a localização de análise, sejam naturais (declividade, tipo de solo, curvatura do terreno, aspecto) ou antropizados (como por exemplo o uso e ocupação do solo da região de abrangência) e permite prever condições futuras e/ou simular condições hipotéticas relacionadas ao fluxo da água (ENOMOTO, 2004; RENNÓ e SOARES, 2000), auxiliando no processo de tomada de decisão e planejamento.

Devido a esta complexidade, pode-se observar na literatura, nacional e internacional, que o processo de identificação de áreas sujeitas a inundações é uma temática que vem sendo discutida a alguns anos devido a necessidade de aprimoramento de técnicas relacionadas ao processo de identificação de áreas suscetíveis a inundações, sendo uma questão prática e científica. Esta informação pode ser validada pelo número de publicações nos últimos anos que discutem o processo de inundações urbanas por meio de uma análise quantitativa da literatura científica na plataforma *Web of Science* (WoS) nos últimos 20 anos (2000 - 2020), recuperados a partir da análise do tópico *Flood vulnerability*.

No total 2387 trabalhos foram selecionados, entretanto um grande número de propostas não é relacionado à temática deste trabalho, enquadrando-se em áreas como a Medicina, Biologia e Química. Por isso aplicou-se as ferramentas de refinamento disponibilizadas pelo WoS para eliminar propostas que não pertencem a áreas correlatas ao processo de análise espacial e planejamento e gerenciamento urbano, restando um total de 759 trabalhos. Observa-se que os desenvolvimentos recentes relacionados à modelagem de áreas suscetíveis a inundações são

crescentes, conforme ilustrado na Figura 1 (pesquisa realizada em 27 de março de 2021).

Figura 1 - NÚMERO DE PUBLICAÇÕES (2000 - 2020)



Fonte: Os Autores (2022).

O gráfico da Figura 1 ilustra que no ano de 2000 o número de publicações acumuladas era menor que 10. Até o ano de 2012 demonstrou crescimento, entretanto houve flutuação no ano de 2014. Mesmo com essa flutuação se observa que a difusão da temática ocorreu rapidamente e no ano de 2018 a marca de 540 publicações é superada. Entre os anos de 2018 e 2019 também houve uma tendência flutuante, contudo no ano de 2020 a discussão voltou a crescer. Este crescimento ocorre devido aos eventos de inundações frequentes ao redor do mundo, fator que acarreta ao aumento da consciência global para mitigação de danos ocasionados por inundações, o que necessita do melhor entendimento das mudanças no regime de inundações e seus fatores (HALL et al., 2014) em uma escala geoespacial.

No contexto brasileiro, o Centro de Estudos e Pesquisas Sobre Desastres (CEPED) da Universidade Federal de Santa Catarina, elaborou com apoio do Banco Mundial um relatório de danos materiais e prejuízos decorrentes de desastres naturais no Brasil entre 1995 e 2014. Conforme o relatório, o Brasil gastou o equivalente a R\$182,7 bilhões, uma média de 800 milhões de reais por mês. No

Estado da Bahia foram gastos neste período R\$16,5 bilhões com danos e prejuízos decorrentes de desastres naturais, sendo o quarto estado com maior despesa.

A cidade de Itabuna (localizada no estado da Bahia), que se desenvolveu as margens do Rio Cachoeira - BA, possui histórico de ocorrências de cheias e inundações. Anualmente são noticiadas cheias que inundam trechos de ocupações subnormais ao longo do Rio Cachoeira - BA. De acordo com análises históricas, a cidade passa também (com menor frequência) por grandes cheias que ultrapassam as adjacências das margens do rio (GOMES e HORA, 2009). Em 27 de Dezembro de 1967 foi noticiada a pior enchente que a cidade passou até os dias atuais, em que praticamente todo o centro comercial da cidade ficou coberto por 1 metro de água, como é relatado pela Fundação Jupará e diversos outros meios de comunicação da região.

As cidades pertencentes a Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira - BA, localizada no Sul da Bahia, são constantemente atingidas por inundações (AMORIM e SILVA, 2019). Sendo assim, a criação de um modelo de suscetibilidade a inundações da Bacia do Rio Cachoeira - BA se faz necessário para mostrar as áreas suscetíveis a inundações, assim, auxiliando os gestores na tomada de decisão na minimização dos prejuízos provocados pelos desastres naturais.

Além disso, diante da complexidade de analisar e modelar os eventos que ocorrem na superfície terrestre é preciso conhecer as geotecnologias e os métodos para compreender as relações espaciais dos elementos e sua influência na ocorrência de inundações. Logo, estudos técnicos relacionados a esta temática que resultem em informações de qualidade são necessários para descrever metodologias que possam ser aplicadas em ambientes institucionais e governamentais com o intuito de apoiar a tomada de decisão e melhorar o processo de gestão territorial.

## 1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é a definição de áreas suscetíveis a inundações baseada em modelagem espacial multicritério. Para executar esta tarefa, os seguintes objetivos específicos devem ser alcançados:

- (a) Realizar o estudo da arte para identificar as variáveis relevantes no processo de definição da vulnerabilidade a inundações;
- (b) Propor um modelo conceitual para determinação de áreas suscetíveis a inundações baseado no método AHP e na revisão de literatura;
- (c) Avaliar os principais aspectos da exposição e da vulnerabilidade na Bacia do Rio Cachoeira - BA;
- (d) Identificar áreas suscetíveis a inundações ao longo da Bacia do Rio Cachoeira - BA.

## 1.3 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

Este trabalho está dividido em 5 Capítulos. O primeiro Capítulo refere-se à apresentação do tema a ser discutido, definição do problema e apresentação dos objetivos geral e específicos. No segundo Capítulo é realizado o levantamento e descrição dos principais conceitos relacionados a temática de estudo. No terceiro Capítulo são descritos os materiais utilizados e o método proposto para a identificação de áreas vulneráveis a inundações. No quarto Capítulo são apresentadas as discussões relacionadas aos resultados preliminares obtidos. No quinto e último Capítulo são apresentadas as conclusões e recomendações futuras.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Este Capítulo tem como objetivo apresentar a fundamentação teórica relacionada a temática deste trabalho. Primeiramente são apresentados os conceitos relacionados a processo de modelagem espacial multicritério e suas aplicações para a confecção de modelos hidrológicos (Seção 2.2). Por fim, são descritas as características da Bacia Hidrográfica e o processo de uso e ocupação do solo e sua influência no processo de ocorrências de inundações (Seção 2.3).

### 2.1 MODELAGEM ESPACIAL MULTICRITÉRIO

Quando se fala em modelo refere-se a uma abstração da realidade que se aproxima do comportamento observado em um sistema, mas que sempre deve ser mais simples do que o sistema real (ABDALLA et al, 2015). O termo modelar, pode ser considerado como a tentativa de representação da realidade de uma forma simplificada. Um modelo pode ser aceito, rejeitado ou modificado para ser novamente submetido a testes, dependendo dos resultados (SOARES-FILHO, 1998).

O método de tomada de decisão multicritério, ou Método de Análise Multicritério (MAM), aparece como uma importante ferramenta de auxílio na tomada de decisão e na escolha da melhor alternativa em situações que um conjunto de alternativas pré-selecionadas devem ser avaliadas (JANKOWSKI, 1995). Estes métodos, quando combinados com ferramentas do SIG compõem estratégias de Modelagem Espacial Multicritério (MEM), nas quais se acoplam as vantagens matemáticas relacionados aos MAMs com a possibilidade de gestão de informações geoespaciais.

Logo, a partir da MEM é possível considerar diferentes camadas de dados georreferenciados, acoplá-los e generalizar modelos espaciais para extração de informações que podem ser empregadas nos processos de apoio e tomada de decisão por parte de empresas ou órgãos governamentais. Neste processo, podem ser aplicados diferentes Métodos de Análises Multicritério, a depender dos tipos de informação e estratégia matemática que se deseja aplicar, conforme apresentado na Subseção 2.1.1.

### 2.1.1 Métodos de Análise Multicritério

A necessidade de combinar critérios tangíveis e intangíveis na tomada de decisão em diversos campos, seja ele ambiental, social, político e de mercado na avaliação de projetos econômicos, tem levado ao auge à utilização de métodos que auxiliam a análise multicritério (KEIKO et al., 2004).

As primeiras técnicas de análise multicritério surgiram na década de 60, como resposta às dificuldades de balancear as opiniões e a manipulação de grandes e complexas quantidades de informações no processo de tomada de decisão (MOSADEGHI et al., 2015). Segundo Simon (1960) o processo de tomada de decisão é dividido em três fases, são elas: I – inteligência, composta por examinar a área de estudo para identificar uma situação-problema ou oportunidade, relevante para fundamentar a pesquisa; II – projeto, onde se inicia, desenvolve e analisa os prováveis caminhos de ação, que envolvem aplicação de modelos de decisão para gerar solução, testar a viabilidade de tal modelo e analisar possíveis cenários; e III - escolha, na qual as opções das alternativas são avaliadas e seleciona-se o caminho específico da ação.

O objetivo da metodologia de análise multicritério é ajudar o tomador de decisão a organizar e sintetizar as informações coletadas de modo a adotar uma decisão com maior segurança e clareza, explicitando e administrando a subjetividade envolvida e, ao mesmo tempo, diminuindo a possibilidade de que uma decisão tomada seja ótima a um dos critérios avaliadores, mas seja inaceitável segundo outro (BELTON e STEWART, 2002).

Os MAMs são aplicados para auxiliar os analistas na escolha de uma solução viável. Esses métodos são divididos em duas etapas: (1) formulação de uma matriz de adequabilidade, formulada a partir da atribuição de pesos padronizados a cada critério utilizado na modelagem; e (2) formulação de um vetor de ponderação, formado a partir dos valores de prioridade associados a cada critério considerado. A matriz de adequabilidade ( $A$ ) e o vetor de ponderação ( $w$ ) são definidos matematicamente como segue:

$$A = \begin{bmatrix} a_{1,1} & \cdots & a_{1,j} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{l,1} & \cdots & a_{l,j} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$W = [w_1, \dots, w_j] \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^i w_{ij} = 1 \quad (3)$$

Em que  $a$  é a ponderação dos critérios,  $i$  é o conjunto de alternativas e  $J$  é o conjunto de critérios considerados na modelagem do problema.

Segundo Jankowsk e Richard (1994), os MAMs frequentemente utilizados realizam a ponderação com base em comparações pareadas a partir da utilização de uma escala de ponderação e os critérios são agregados por adição. A comparação pareada é baseada no cálculo da medida de concordância entre as análises, que representa o grau de dominância de uma alternativa  $i$  sobre a alternativa  $j$ . Segundo Jakeman et al. (2008), o processo de modelagem é realizado a partir da organização sistemática de dados, suposições, geração e compartilhamento de conhecimento para a gestão operacional ou desenvolvimento de políticas estratégicas. A modelagem é um processo científico de simplificação da realidade e podem ser utilizados para prever comportamentos e testar hipóteses acerca de uma temática específica.

Dentre os MAMs, no processo de modelagem multicritério espacial, destacam-se os seguintes métodos: o AHP (*Analytic Hierarchy Process*) (SAATY, 1980), o método ELECTRE (*Elimination et Choix Traudisant la Réalité*) (ROY; 1968), e o método PROMETHEE (BRANS, VINCKE; 1985) (*Preference Ranking Organization Method Enrichment Evaluations*). Dentre estes, o método AHP é frequentemente empregado, devido sua eficiência e simplicidade matemática. Na Subseção 2.1.1.1 é apresentado a descrição do método AHP.

### 2.2.1.1 Método *Analytic Hierarchy Process* (AHP)

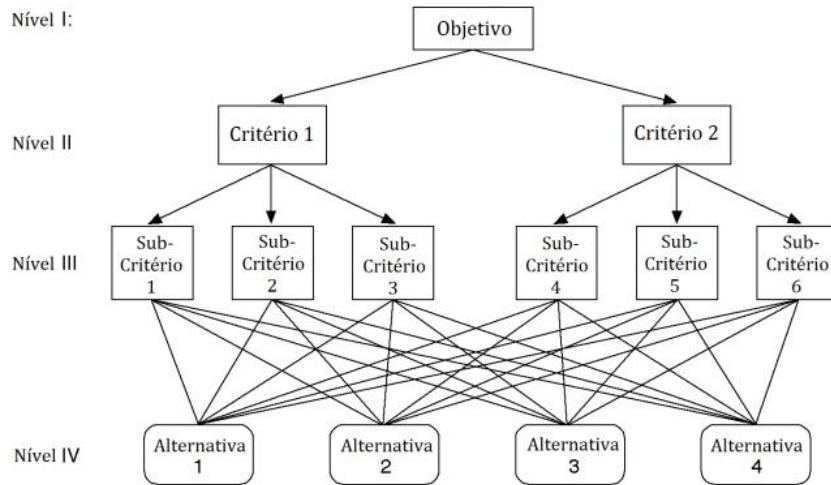
O método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) foi desenvolvido por Thomas L. Saaty em meados da década de 1970, com objetivo de promover a superação das limitações cognitivas dos tomadores de decisão (Abreu et al, 2000). O AHP baseia-se na capacidade humana de utilizar as informações e experiências para estimar

pesos relativos através de comparações par a par (*pairwise comparisons*) (TOMA e ASHARIF, 2003). Trata-se de uma abordagem flexível que utiliza a lógica aliada à intuição, com finalidade de obter julgamentos através de consenso. A utilização deste método é indicada para questões que envolvem a priorização de soluções potenciais através da avaliação de um conjunto de critérios (ASAHI, 1994).

Segundo Lucena (2008) e Keiko et al (2004), o método AHP é fundamentado em quatro etapas: Decomposição do problema em uma árvore hierárquica, comparação par a par dos elementos em cada nível do sistema, determinação das prioridades de cada elemento e agregação das prioridades relativas para a escolha final. No método AHP, Thomas L. Saaty resolveu a questão da complexidade dos problemas estabelecendo estruturas hierárquicas por níveis, o que permite uma melhor compreensão da relação entre os elementos e uma maior flexibilidade nas comparações entre vários cenários. O método utiliza a lógica aliada à intuição, com objetivo de obter uma análise através de consenso e interação dos grupos tomadores de decisão, permitindo assim resolver problemas com múltiplos critérios ainda que alguns se encontrem em conflito e com informação incompleta (RODRIGUEZ, 2008).

A modelagem AHP pode ser dividida em três etapas, sendo elas a decomposição, os julgamentos comparativos e a síntese de prioridades (SAATY & VARGAS, 2012). A primeira etapa consiste na estruturação do problema em níveis hierárquicos, onde o objetivo ocupa o primeiro nível, os atributos (critérios e subcritérios) ocupam os níveis intermediários e o último nível mostra alternativas a serem julgadas. A modelagem de um problema multicritério, utilizando a técnica de Saaty e Vargas, assume que deve existir uma dependência vertical entre os diferentes níveis, entretanto não apresenta dependência horizontal entre elementos do mesmo nível. A Figura 2 mostra uma estrutura hierárquica genérica com quatro níveis. Podemos observar no exemplo que o objetivo está ligado às alternativas através dos elementos explicativos intermediários (critérios e subcritérios).

Figura 2 - ESTRUTURA HIERÁRQUICA GENÉRICA



Fonte: Baldiotti (2014).

Na segunda etapa do desenvolvimento metodológico, etapa do julgamento comparativo, fica sob responsabilidade dos especialistas julgarem a relevância de cada atributo, dando pesos para cada elemento através de comparações. A comparação par a par ocorre entre os elementos que estão atrelados à mesma dependência vertical. Seguindo a estrutura hierárquica genérica apresentada, o critério 1 será comparado com o critério 2 em relação ao objetivo, isso é, deve-se identificar qual dos dois critérios é o mais relevante e o quanto, tendo como referência o elemento de nível superior e o mesmo ocorre com o nível III em relação ao nível II e o nível IV em relação ao nível III, todas usando o nível superior como referência. Ao todo serão necessárias  $\frac{n(n-1)}{2}$  comparações onde  $n$  é a quantidade de elementos a serem comparados.

A terceira etapa consiste na síntese de prioridades, que é o cálculo do valor final de cada alternativa. O cálculo é realizado através da multiplicação das matrizes de prioridades, o que significa que para cada alternativa, é a soma ponderada da importância relativa de cada atributo pelo nível importância de determinada alternativa em relação ao respectivo critério (SOUZA, 2013). No método AHP, cada alternativa receberá uma pontuação através de uma função de valor, descrita na equação (4) abaixo. As alternativas com maior valor serão as preferíveis (PASSOS, 2010)

$$F(a) = \sum_{j=1}^n w_j v_j \quad (4)$$

Em que:

$F(a)$  é o valor final de alternativa a.

$w_j$  é o peso do j-ésimo critério

$v_j$  é o desempenho da alternativa a em relação ao j-ésimo critério.

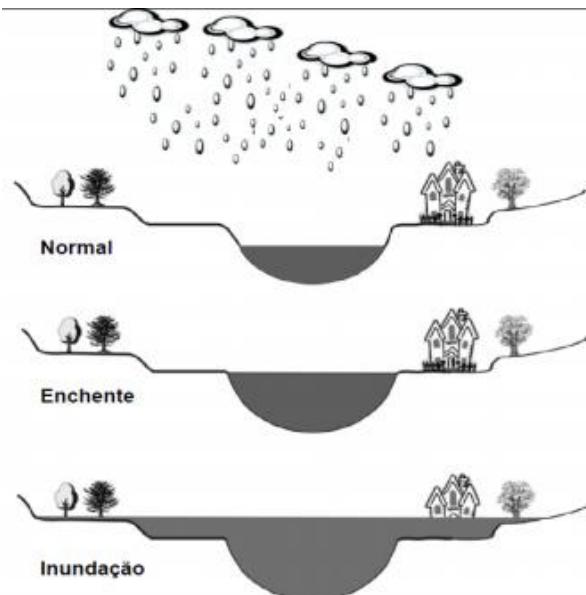
O intuito do AHP é destacar a importância que um determinado elemento exerce sobre todo o contexto. No âmbito geoespacial, ele é aplicado como uma ferramenta auxiliar para que seja possível reclassificar as variáveis geográficas e posteriormente combiná-las em um processo de álgebra de mapas (soma ponderada) para a confecção de uma superfície representativa da realidade com ênfase em um determinado fenômeno geoespacial, como por exemplo a identificação de áreas suscetíveis a inundações. O processo de identificação de áreas com suscetibilidade a inundações é apresentado na Subseção 2.1.2.

### 2.1.2 Mapeamento de áreas suscetíveis a inundações

O mapeamento sempre foi um dos focos centralizadores da Geografia e da Engenharia de Agrimensura e Cartográfica. Conforme a evolução de técnicas de análise, o mapeamento tornou-se uma ferramenta essencial e bastante utilizada para os mais variados fins. Uma das finalidades do mapeamento consiste na identificação de áreas de risco envolvendo efeitos adversos provocados por elementos naturais (FERNANDES, 2016), como por exemplo as enchentes.

A precipitação de água da chuva ao alcançar um curso de água aumenta a vazão do mesmo por um determinado período. Esse acréscimo no volume de água é chamado de cheia ou encheente. Quando o volume de um corpo hídrico for superior a capacidade de vazão, extravasando para as margens (planície de inundaçāo), ocorre o fenômeno de inundaçāo, demonstrada na Figura 3 (MACEDO et al., 2004).

Figura 3 - AUMENTO DO NÍVEL D'ÁGUA PROVOCADO PELA CHUVA



Fonte: Goerl e Kobyama (2005).

A necessidade de um mapeamento de áreas inundáveis se dá, muitas vezes, pelo número de casos de desastres relacionados às inundações, cujas são em ambientes urbanos associados a ações antrópicas que são as responsáveis diretas ou indiretas para tais ocorrências. A poluição de rios, das cidades, desmatamentos, construções irregulares, crescimento desordenado e sem planejamento das cidades são fatores que acabam por agravar os casos de inundações e desastres ambientais (FERNANDES, 2016).

Segundo Amaral e Ribeiro (2009) a probabilidade de ocorrência de inundaçāo, enchente e alagamento são analisadas de acordo com as condicionantes naturais e antrópicas. Dentre os fatores naturais, estão: a forma do relevo; as características da rede de drenagem da bacia hidrográfica; a intensidade, distribuição e frequência das precipitações; as características do solo e o teor de umidade; a presença ou ausência da cobertura vegetal. Os condicionantes antrópicos são: uso e ocupação irregular nas planícies e margens de cursos d'água; o descarte irregular de lixo nas proximidades dos cursos d'água; alteração nas características da bacia hidrográfica e dos cursos d'água; a erosão dos solos e de assoreamento dos cursos d'água.

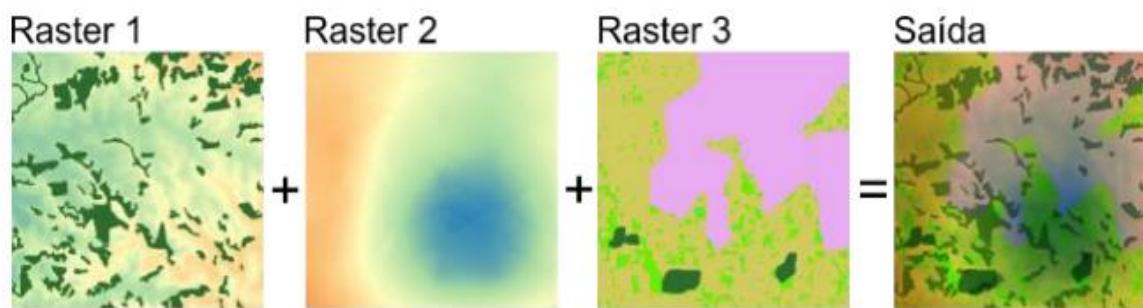
O mapeamento possibilita, por exemplo, a identificação de áreas de suscetibilidade, sobretudo, a inundações e cheias (CRISTO, 2002). Assim, é observado a importância dos mapas de risco no fornecimento de informações aos

órgãos de planejamento e na elaboração de banco de dados e mapas temáticos relacionados com ameaças, vulnerabilidade, suscetibilidade e riscos de desastres, os quais servem de embasamento para os Planos Diretores de Defesa Civil (CASTRO 1997).

O processo de MEM é uma tarefa auxiliar na identificação de áreas suscetíveis a inundações, que a partir da combinação de diferentes variáveis é possível determinar uma única superfície para identificar a partir de todo o conjunto de dados, geograficamente posicionados, áreas de alta, média e baixa suscetibilidade a ocorrência de inundações. A MEM é um processo que permite a obtenção de representações temáticas relacionadas ao fenômeno de interesse

Na Figura 4 é ilustrado o processo de sobreposição de classes intermediárias (fatores condicionantes) utilizadas para a construção do MEM em uma única superfície matricial, denominada neste trabalho de Superfície de Suscetibilidade (Saída). O objetivo é unir as informações da célula de cada camada matricial em uma única, usando o processo de álgebra de mapas a partir de uma soma ponderada simples. A superfície resultante é definida em uma grade matricial (NxM) com resolução espacial compatível com as classes empregadas no processo de confecção do modelo, em que cada célula da matriz que compõem o dado *raster* contém informações numéricas relacionadas a suscetibilidade a inundações. Quanto maior o valor associado ao pixel, maior a suscetibilidade de ocorrências de inundações naquela região.

Figura 4 – PROCESSO DE ÁLGEBRA DE MAPAS NA MEM



Fonte: O Autor (2022).

Ao arquivo de saída, pode-se construir representações cartográficas generalizando a realidade ou pode ser empregada em processos de análises

espaciais, correlacionando-a a outras variáveis geográficas empregando técnicas presentes em SIG.

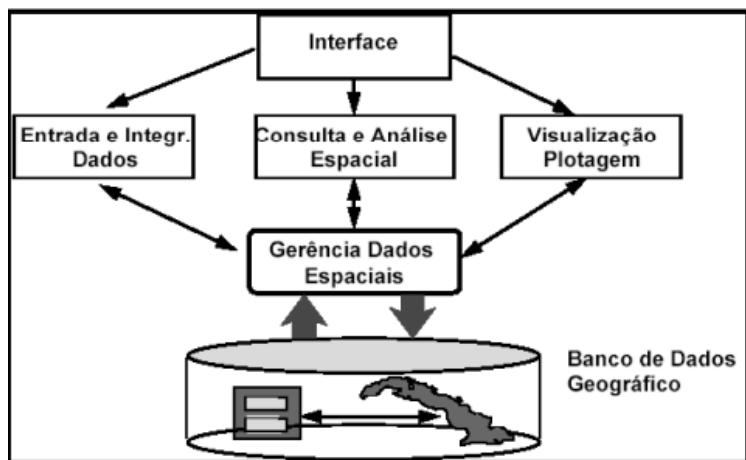
### 2.1.3 Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto

O Geoprocessamento tem como definição o conjunto de técnicas computacionais necessárias para coletar, tratar, manipular e apresentar informações espacialmente referenciadas. Sendo também considerada uma área do conhecimento dita multidisciplinar, como a Cartografia computacional, Geografia, Estatística, Sensoriamento Remoto, Fotogrametria e o SIG (SANTOS E BARCELLOS, 2006).

Dentre estas áreas uma de particular importância é o SIG, um sistema computacional que permite capturar, modelar, manipular, recuperar, consultar, analisar e apresentar dados geograficamente referenciados (CÂMARA, 1995). Ainda segundo Câmara (1995), a estrutura geral de um SIG é composta de uma interface com o usuário, entrada e integração de dados, funções de processamento gráfico e de imagens, visualização, plotagem, armazenamento e recuperação de dados (Figura 5)

Em um SIG, o fato mais relevante dos dados tratados é a natureza dual da informação, onde um dado espacial ou dado geográfico possui uma localização atrelada a uma posição e atributos descritivos representados em um banco de dados (CÂMARA, 1995). O SIG é comumente utilizado no tratamento de informações georreferenciadas, permitindo a manipulação e visualização de dados de diversas fontes. As informações apresentadas em um SIG podem servir como objetos de análises variadas, inclusive podem ser combinadas com modelos hidrológicos e utilizadas como ferramenta de apoio a decisão por órgãos gestores.

Figura 5 - ARQUITETURA DO SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA



Fonte: Câmara (1995).

Outra ferramenta importante para análise e tomada de decisão é o Sensoriamento Remoto, que é utilizado na obtenção de informações sobre um objeto ou fenômeno na superfície da terra, sem contato físico, através de sensores que são acoplados em plataformas geoespaciais (ROCHA, 2000).

O Sensoriamento Remoto é a técnica de aquisição à distância de dados da superfície terrestre realizada através de sensores instalados em plataformas terrestres, aéreas ou orbitais (satélites) (FLORENZANO, 2008). Novo (2010) define o Sensoriamento Remoto como a utilização em conjunto de sensores, equipamentos para processamento de dados e equipamentos de transmissão de dados colocados a bordo de aeronaves, espaçonaves ou outras plataformas, com a finalidade de estudar eventos, fenômenos e processos que ocorrem no planeta Terra a partir do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que a compõem.

Fernandes (2016) conclui que o Sensoriamento Remoto consiste na utilização de sensores para obtenção de informações sobre objetos ou fenômenos sem que haja contato direto com eles, auxiliando no processo de gestão e monitoramento de grandes áreas.

## 2.2 BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE PLANEJAMENTO

A bacia hidrográfica é uma região que recebe água da chuva e abrange um emaranhado de superfícies e vertentes e de redes de drenagem que formam os cursos d'água. Trata-se de um sistema físico onde a entrada é o volume de água

decorrente de precipitação e a saída é um volume de água escoado, considerando as perdas decorrentes da infiltração e da evapotranspiração (TUCCI, 2002).

As bacias hidrográficas são tidas na esfera do planejamento territorial como a unidade básica de análise para o desenvolvimento de ações e medidas estruturais e não estruturais com a perspectiva de integração entre a gestão dos recursos hídricos e a gestão ambiental (CARVALHO, 2020). No Brasil, este recorte territorial foi instituído através da Política Nacional de Recursos Hídricos, a partir da promulgação da lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, sendo posteriormente empregada na Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007; Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012 e em normativas derivadas da Lei nº 6938, de 31 de agosto de 1981.

Assim é evidente a importância das bacias hidrográficas no âmbito do planejamento urbano das cidades e é imprescindível a integração das atividades econômicas, industriais e sociais com a gestão dos recursos hídricos no contexto das bacias hidrográficas, tendo como objetivo utilização deste recurso de forma sustentável.

A demarcação deste território elaborada a partir de divisores de água, permite a análise de forma sistêmica, elementos, fatores, relações ambientais, sociais e econômicas a partir de demandas e ofertas existentes na região. Assim, este tipo de recorte espacial tem sido adotado na gestão hídrica como unidades físicas de reconhecimento, caracterização e avaliação, a fim de facilitar a abordagem sobre os recursos hídricos (VILAÇA et al, 2009).

### 2.3 USO E COBERTURA DO SOLO E OCORRÊNCIA DE INUNDAÇÕES

No estudo hidrológico de uma bacia hidrográfica a caracterização morfométrica auxilia a ilustração das várias questões referentes à dinâmica regional e local onde a bacia hidrográfica está inserida (TEODORO et al, 2007). As características geomorfológicas (forma do relevo, área, geologia, rede de drenagem, solo e cobertura vegetal) interferem no comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica (LIMA, 1976).

Nos processos do Ciclo Hidrológico, as características físicas e bióticas de uma bacia hidrográfica exerce um papel relevante na geração da infiltração, quantidade de água produzida como deflúvio, evapotranspiração, escoamentos superficiais e subsuperficiais. Além disso, Tonello (2005) menciona as influências

das ações antrópicas que interferem no meio natural, acarretando mudanças no Ciclo Hidrológico. Assim, o padrão de drenagem e do relevo representam características morfométrica que tem estreita relação com a litologia, estrutura geológica e a formação superficial dos elementos que formam a superfície da terra (PISSARA et al, 2004).

A disputa pelos recursos naturais (água e solo) dentro dos ambientes urbanos agravou a perda da biodiversidade natural e modificou o meio físico das bacias hidrográficas (TUCCI, 2008). A *European Environment Agency* (EEA) observou que o desenvolvimento urbano muda a morfologia e a hidrologia dos corpos hídricos, causando impactos no fluxo d'água consequentemente alterando o ambiente físico de uma bacia hidrográfica. A mudança do uso do solo através da expansão urbana e consequentemente a impermeabilização do solo por asfalto ou concreto faz com que a água busque novos caminhos para seu escoamento (EEA, 2012).

As mudanças do escoamento superficial são as maiores consequências da urbanização que interferem diretamente na drenagem urbana (TUCCI, 2012). Segundo Tucci (2012), o termo drenagem urbano pode ser entendido diante de um contexto mais amplo, como o conjunto de medidas que tem como objetivo minimizar os riscos e os prejuízos das inundações e contribuir com o desenvolvimento das cidades de forma harmoniosa, articulada e sustentável. No Quadro 1 estão reunidas as causas e consequências da urbanização que interfere no escoamento superficial causando as inundações (TUCCI, 2012).

Quadro 1 - CAUSAS E CONSEQUÊNCIA DA URBANIZAÇÃO SOBRE AS INUNDAÇÕES

Causas	Consequências
Impermeabilizações	Maiores picos e vazões das chuvas
Redes de Drenagem	Maiores picos a jusante dos cursos d'água
Resíduos sólidos	Degradação da qualidade da água Entupimento de bueiros e galerias
Redes de esgoto deficientes	Degradação da qualidade da água Doenças de veiculação hídrica Inundações
Desmatamento	Maiores picos e volumes das chuvas
Desenvolvimento Indisciplinado	Mais erosão Assoreamentos em canais e galerias
Ocupação das encostas	Maiores picos de vazão das chuvas Prejuízos quanto a deslizamentos de terras Maiores custos de utilidades públicas

Fonte: Adaptado Tucci (2012).

Ainda segundo Tucci, as inundações não ocorrem de forma homogênea ao longo do canal de drenagem de um rio e o extravasamento das águas é uma dinâmica natural de um canal de drenagem. Assim, a ocupação não é a causa da inundaçāo e os acidentes que ocorrem nessas áreas se dá devido a ocupação de áreas inundáveis.

### 2.3.1 Método baseado em especialistas

O processo de modelagem espacial é aplicado em diferentes áreas do conhecimento que buscam a identificação de áreas ou variáveis suscetíveis a uma determinada ocorrência. Este processo pode ser aplicado a partir da definição de parâmetros matemáticos e variáveis geográficas relacionadas ao evento que se deseja modelar. Atividades como a definição da adequabilidade de terras para instalações de infraestruturas, de plantações e de instalação de empreendimentos podem ser auxiliados com o processo de MEM. Ademais, processos de definição de regiões suscetíveis a eventos adversos como deslizamentos e enchentes são incrementos com esta metodologia.

No contexto de inundações, encontra-se uma vasta literatura associada a esta temática em que autores propõem a modificação de definição das ponderações matemáticas das variáveis geográficas ou definição destas para que a modelagem

possa generalizar adequadamente o ambiente de estudo. Neste contexto, Miranda et al (2019) empregou o método AHP associado ao SIG para a identificação de áreas alagáveis na bacia hidrográfica mista de Cuiabá - MT. Os autores propuseram para generalizar o modelo o emprego de variáveis relacionadas a morfologia e ocupação do solo e precipitação anual. Este processo de modelagem foi empregado para auxiliar no planejamento urbano e análise, sendo uma alternativa para auxiliar no processo de tomada de decisão na gestão municipal.

Ouma e Tateishi (2014) também empregaram o método AHP para a preparação de mapas de enchentes e estimativa de risco de inundações em áreas urbanas em crescimento. Os resultados são validados pelos autores com uma diferença média de 0,37 metros de profundidade de inundaçao e um erro máximo de 8% em relação a extensão de área inundável. Freiman e Carvalho (2020) também propuseram processo de MEM para a identificação de áreas alagadas na bacia do Rio Bengalas, no município de Nova Friburgo, empregando um método de análise multicritério híbrido a partir da associação do método AHP e a inferência Fuzzy para a realização das ponderações das variáveis empregadas. Segundo os autores o processo de modelagem de áreas suscetíveis a inundações não é uma tarefa trivial, devido as diferentes possibilidades de combinações de variáveis físicas e antrópicas, que mudam conforme localização geográfica.

Rosa et al (2008) utilizou o método AHP para determinação de um modelo matemático com a finalidade de mapear as áreas de riscos de inundaçao na bacia hidrográfica do rio Alegre, localizada no estado do Espírito Santo. Os autores empregaram classes de uso e ocupação do solo, associados a dados relativos à topologia do relevo da região, além de dados de precipitação pluviométrica para geração do MEM, gerando um modelo de risco a inundações para a região. Os produtos da pesquisa foram mapas que identificaram áreas de acordo com os riscos de inundaçao, chegando à conclusão de que 52,57% da área mapeada pertence a classe de médio risco e 32,39% de alto-médio risco de inundaçao.

Fernandes (2016) realizou um mapeamento de áreas suscetíveis à inundaçao no município de Santa Maria (RS), mais precisamente nas bacias hidrográficas dos Arroios Cadena e Picadinho. Foram adquiridos dados de curvas de nível, pontos cotados, hidrografia, tipo de solos e imagens de satélite (*RapidEye*). Por meio dos dados obtidos, realizou-se a MEM, na qual foram obtidos mapas para a identificação de áreas suscetíveis a ocorrências de inundaçao nas bacias

hidrográficas em questão. A autora também estipula em sua pesquisa a população que vive nas áreas de risco, dando assim subsídios à fiscalização da área de estudo.

Dentre as abordagens destacadas, observa-se que o método AHP é empregado constantemente no processo de modelagem de áreas suscetíveis a inundações e isto se justifica principalmente devido a facilidade matemática associada ao método e facilidade de aplicação em softwares de geoprocessamento para a construção do modelo de suscetibilidade ou de risco.

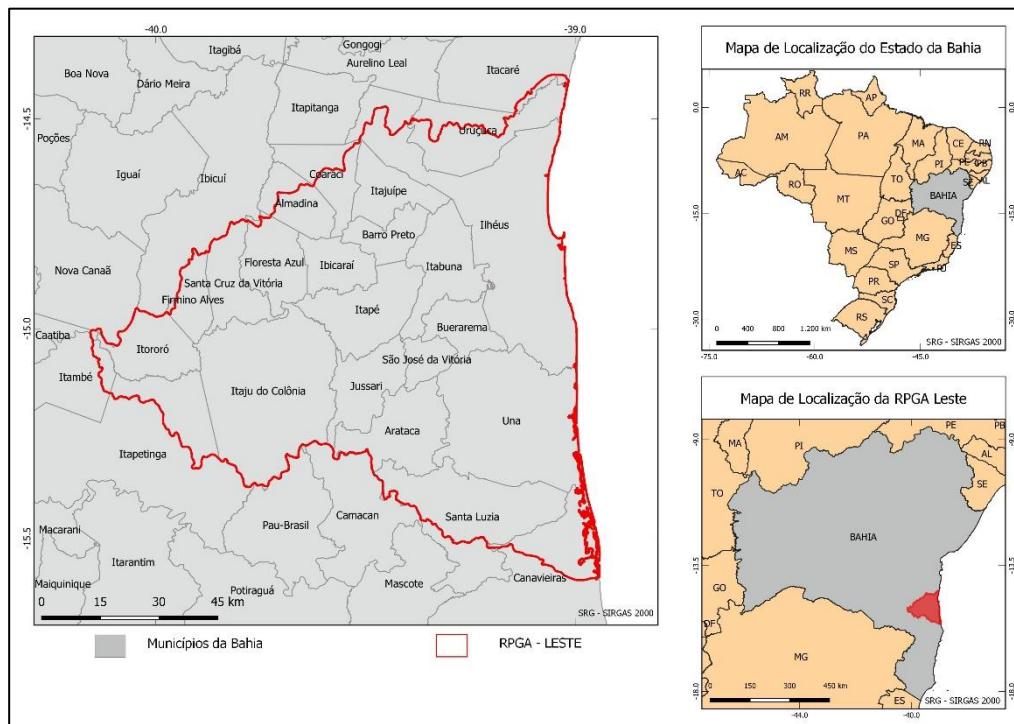
### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

A análise de suscetibilidade a inundação foi realizada a partir das características naturais e antropizadas próprias da região de estudo. Para o presente trabalho foram definidos fatores condicionantes a partir de análise da região de estudo e da aquisição de informações obtidas na revisão de literatura.

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica que abrange a área de estudo está localizada no sul do Estado da Bahia, na Região de Planejamento e Gestão das Águas (RPGA) Leste, que se estende entre 16.00°S e 14.00°S em latitude e 40.15°O e 38.90°O em longitude, com área aproximada de 9.500 Km<sup>2</sup> (Figura 6).

Figura 6 - REGIÃO DE PLANEJAMENTO E GESTÃO DAS ÁGUAS - LESTE

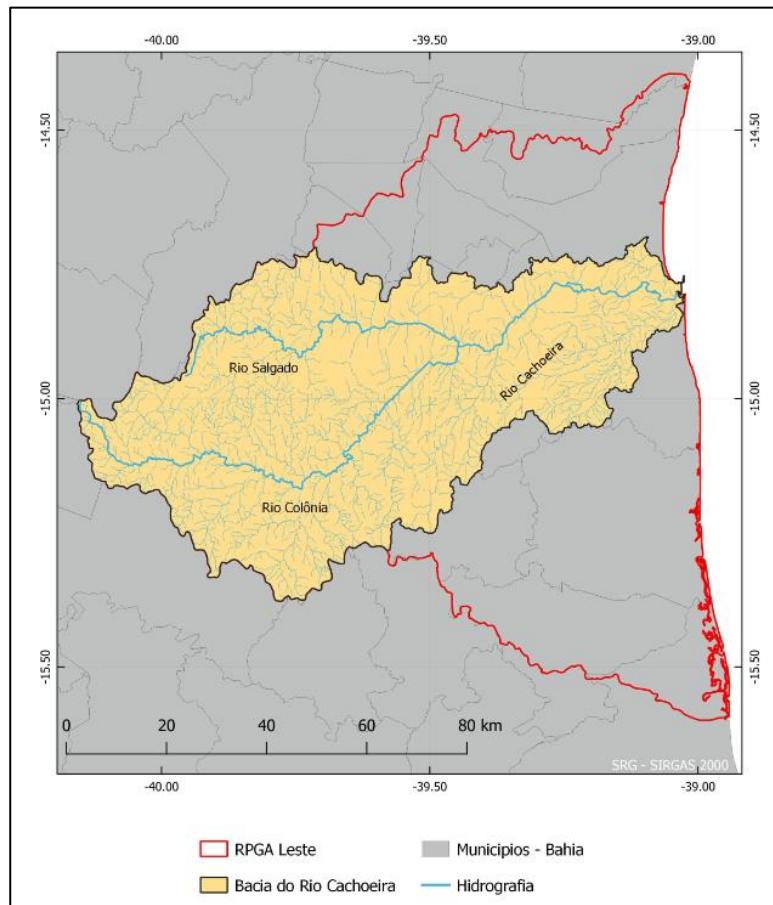


Fonte: O Autor (2022).

Compreendia sobre a RPGA do Leste, a bacia do Rio Cachoeira - BA estende-se entre 14.50°S e 15.50°S de latitude e 40.15°O e 39.50°O de longitude, com área aproximada de 4.600 Km<sup>2</sup> (Figura 7). A área de estudo é drenada pelos

rios principais da bacia, o rio Cachoeira, rio Colônia e rio Salgado. Meteorologicamente, encontra-se o clima predominante do tipo tropical, sendo quente e úmido próximo ao litoral, com características de florestas tropicais com precipitação acima de 1800 milímetros ao ano e temperatura média de 24°C com umidade relativa do ar em torno de 80%. Já a oeste da bacia, o clima é seco, exibindo vegetação xerófila e caducifólia e uma precipitação de 700 milímetros ao ano. O uso e ocupação da terra é predominantemente para agropecuária. O Rio Cachoeira - BA corta as principais cidades da região sul da Bahia como Itabuna e Ilhéus, e tem uma população média estimada de 500 mil habitantes IBGE (2012).

Figura 7 - BACIA DO RIO CACHOEIRA - BA



Fonte: O Autor (2022).

Na Subseção 3.2 são apresentados os materiais empregados neste trabalho.

### 3.2 MATERIAIS

Para realização deste trabalho foi utilizado um Microcomputador desktop, com processador AMD Ryzen 7, 32Gb de memória Ram e 500 Gb de espaço em disco. Foram utilizados os softwares gratuitos de código aberto QGIS 3.16.5 e GRASS 7.8.5.

#### 3.2.1 Conjunto de dados

A análise de suscetibilidade a inundação foi realizada com base nas características naturais e antropizadas da região de estudo (fatores condicionantes) que foram definidos conforme objetivos da pesquisa, empregando as variáveis condicionantes sugeridas por Freiman e Carvalho (2020), conforme listado no Quadro 2.

Quadro 2 - FATORES CONDICIONANTES

Dados	Formato	Escala
Altitude	matricial	1:60000
Declividade	matricial	1:60000
Uso do solo	matricial	1:60000
Distância dos rios	matricial	1:60000
NDVI	matricial	1:60000
Curvatura Vertical	matricial	1:60000
Curvatura Horizontal	matricial	1:60000
Índice topográfico de umidade	matricial	1:60000
Índice de potência de escoamento	matricial	1:60000
Índice de transporte de fluxo	matricial	1:60000

Fonte: O Autor (2022).

No processo de MEM empregado na definição de áreas suscetíveis a inundações, a topografia é uma das informações mais relevantes pois é a partir dos dados topográficos que são extraídas as variáveis morfométricas, delimitação da bacia, as redes de drenagem entre outros atributos hidrológicos como por exemplo o índice topográfico (Quinn et al., 1995; Rennó et al., 2008). Os dados relacionados a topografia do terreno foram obtidos com base nos dados do projeto *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM) da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), disponibilizados pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).

A partir das informações derivadas da SRTM, foram obtidas as seguintes camadas: Altitude do terreno, declividade, curvatura horizontal e vertical, Índice Topográfico de Umidade (TWI), Índice de Potência de Escoamento (SPI) e o Índice de Transporte de Fluxo (STI). Estas classes de informações permitem modelar as condições do fluxo, escoamento e acúmulo da água nas regiões compreendidas na bacia hidrográfica, fatores determinantes na ocorrência de inundações.

A declividade e a altitude são os elementos básicos da modelagem e além de terem sido aplicadas diretamente no processo de espacialização de áreas alagáveis, são camadas de entrada para a definição das classes morfológicas, como a definição da área de contribuição da bacia ( $A_s$ ) onde foi estimado o STI e o SPI, além de aspectos como a curvatura horizontal e vertical do relvo do terreno. Valeriano e Carvalho (2003) dizem que a primeira derivação de uma superfície é o vetor de duas componentes, declividade e a orientação (aspecto). A segunda derivada representa a curvatura do terreno, expressa em curvatura horizontal e vertical. Segundo Khosravi et al., 2019, a curvatura do terreno reflete a forma da área analisada e a curvatura horizontal está relacionada ao processo de migração e acúmulo de água no solo através da superfície, proporcionado pela gravidade. A classificação da camada de curvatura horizontal se deu de forma manual, conforme Valeriano e Carvalho (2003) em: côncavo (valores negativos), convexo (valores positivos) e plano (valores próximos de zero).

O Índice Topográfico de Umidade, do inglês *Topographic Wetness Index* (TWI) é um parâmetro geomorfológico utilizado para avaliar o escoamento de água em estudos relacionados a inundação. Beven e Kirby (1979) definem o TWI como uma função logarítmica da declividade e da área de contribuição, conforme apresentado na Equação 5, em que  $A_s$  é a área de contribuição e  $B$  é a declividade do terreno (expressa em radianos).

$$TWI = I_n \left( \frac{A_s}{\tan B} \right) \quad (5)$$

O Índice de Potência de Escoamento, do inglês *Stream Power Index* (SPI) representa o potencial da topografia para concentrar grandes quantidades de água superficial (Wilson; Gallint, 2000). O SPI é obtido conforme apresentado na Equação 6.

$$SPI = A_s \tan B \quad (6)$$

O Índice de transporte de Fluxo, do inglês *Stream Transport Index* (STI), de acordo com Wilson Gallant (2000) caracteriza a capacidade de transporte de sedimentos do terreno. O STI é comumente utilizado para avaliar a erosão do solo e é responsável pela convergência e divergência do fluxo de água e consequentemente afeta a ocorrência de inundações. Segundo Wilson e Gallant (2000) o STI pode ser determinado a partir da Equação 7:

$$STI = \left( \frac{A_s}{22,13} \right)^{0,6} \left( \frac{\operatorname{sen} B}{0,0896} \right)^{1,3} \quad (7)$$

Além dos fatores morfológicos da região, foi constituído um mapa de uso e de ocupação do solo a partir de imagens de satélites Landsat, com resolução espacial de 30 metros, obtidas no site do Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil (MapBiomass) (<https://mapbiomas.org/>). A camada de uso do solo é importante para o processo de definição de áreas suscetíveis a inundações devido a possibilidade de identificar áreas com altos níveis de impermeabilização do solo, motivo que dificulta o processo de escoamento e infiltração da água. Segundo Kazakis, Kougias e Patsialis (2015), enquanto áreas com florestas auxiliam no processo de infiltração da água no solo, áreas urbanas e de pastagem são suscetíveis ao escoamento superficial.

A partir de imagens de satélite Landsat 8, será possível também construir uma camada do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada, do inglês *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), obtida através da Equação 8, como segue:

$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)} \quad (8)$$

Em que o NIR, do inglês *Near Infrared*, é a reflectância da banda do infravermelho próximo (banda 8) e R a refletância da banda do vermelho (banda 4). O NDVI foi utilizado para realização de análises das áreas que apresentam um nível maior de vegetação, que pode auxiliar na minimização da ocorrência de inundações.

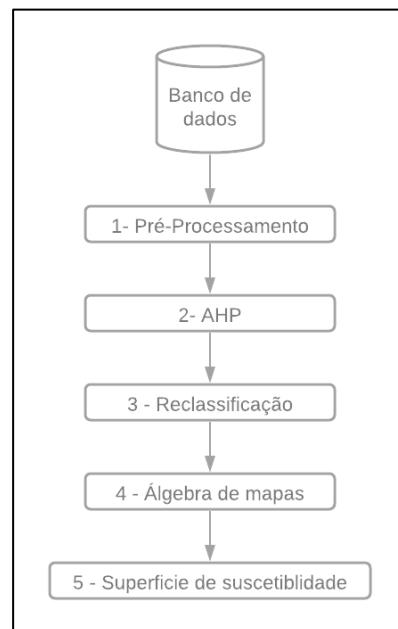
Também foi utilizada uma camada relacionada a distâncias dos principais rios da região de interesse, uma vez que áreas mais próximas de rios apresentam uma maior suscetibilidade a inundações.

Na Subseção 3.3 é descrito o método empregado neste trabalho.

### 3.3 MÉTODOS

A metodologia empregada neste trabalho segue o fluxo ilustrado na Figura 8. O método proposto subdividido em 6 etapas.

Figura 8 - BACIA DO RIO CACHOEIRA - BA



Fonte: O Autor (2022)

A primeira etapa da metodologia consiste na realização do pré-processamento dos dados obtidos de forma gratuita em plataformas online. Nesta etapa foi realizado a compatibilização do Sistema de Referência e da Projeção Cartográfica dos dados obtidos, além dos processamentos preliminares para a obtenção dos critérios utilizados para a construção do modelo de suscetibilidade a inundações. Após a montagem e a preparação do banco de dados geográfico, iniciou-se o processo de modelagem AHP. A partir das ponderações realizada por especialistas foi executado o processo de reclassificação dos critérios apresentados

no Quadro 2. O modelo final foi construído a partir da soma ponderada (aplicação do processo de álgebra de mapas) de todas as camadas consideradas.

Para aplicar o método AHP, é necessário que todas as variáveis utilizadas estejam reclassificadas e que para cada classe seja atribuído um peso, de acordo com o objetivo. A presente pesquisa tem como objetivo identificar áreas com suscetíveis à inundação, neste modo, cada classe de cada variável recebeu um peso de acordo com a sua influência na ocorrência de inundações, conforme o Quadro 3.

Quadro 3 - GRAU DE SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO

<b>Suscetibilidade à inundaçāo</b>	<b>Pesos</b>	<b>Grau de suscetibilidade</b>
Menos suscetível	0	Menos Suscetível
Mais suscetível	10	Mais suscetível

Fonte: O Autor (2022).

O método AHP é baseado no fato de que todos os critérios são relevantes para uma decisão, e são comparáveis entre si em uma matriz de comparação de pares. Diante disso, pesos foram atribuídos a cada variável. Saaty (1980) sugeriu uma escala para efeitos de comparação, visto que os julgamentos humanos tendem à inconsistência. A escala proposta por Saaty consiste em valores que variam de 1 a 9 e que retratam a importância de um atributo em relação a outro. O valor 1 expressa “igual importância” enquanto o valor 9 é dado aos atributos que possuem “extrema importância”, como mostra o Quadro 4.

Quadro 4 - ESCALA NÚMERICA DE SAATY

<b>Intensidade de Importância</b>	<b>Descrição</b>
1	Importância igual
3	Moderada importância de um fator sobre o outro
5	Forte importância de um fator sobre o outro
7	Importância muito forte de um fator sobre o outro
9	Extrema importância de um fator sobre o outro
2, 4, 6, 8	Valores intermediários

Fonte: Saaty (1980).

Saaty (1980) observa que a hierarquia entre os critérios é uma importante ferramenta no processo de tomada de decisão, uma vez que ela em si representa as relações entre os diferentes critérios e subcritérios definidos em um problema. A

ponderação dos critérios, subcritérios e alternativas é obtida através de comparações em pares. O Quadro 5 mostra a aplicação e construção da matriz de comparação ou matriz de julgamento, no qual os critérios são comparados entre si. Na comparação dos critérios 1 e critérios 4, por exemplo, o critério 1 é considerado fortemente mais importante que o critério 4; sendo assim, o valor 5 foi atribuído à posição correspondente da matriz.

Quadro 5 - MATRIZ DE COMPARAÇÃO OU MATRIZ DE JULGAMENTO

	Critério 1	Critério 2	Critério 3	Critério 4
Critério 1	1	2	3	5
Critério 2	1/2	1	2	4
Critério 3	1/3	1/2	1	3
Critério 4	1/5	1/4	1/3	1

Fonte: Saaty (1980).

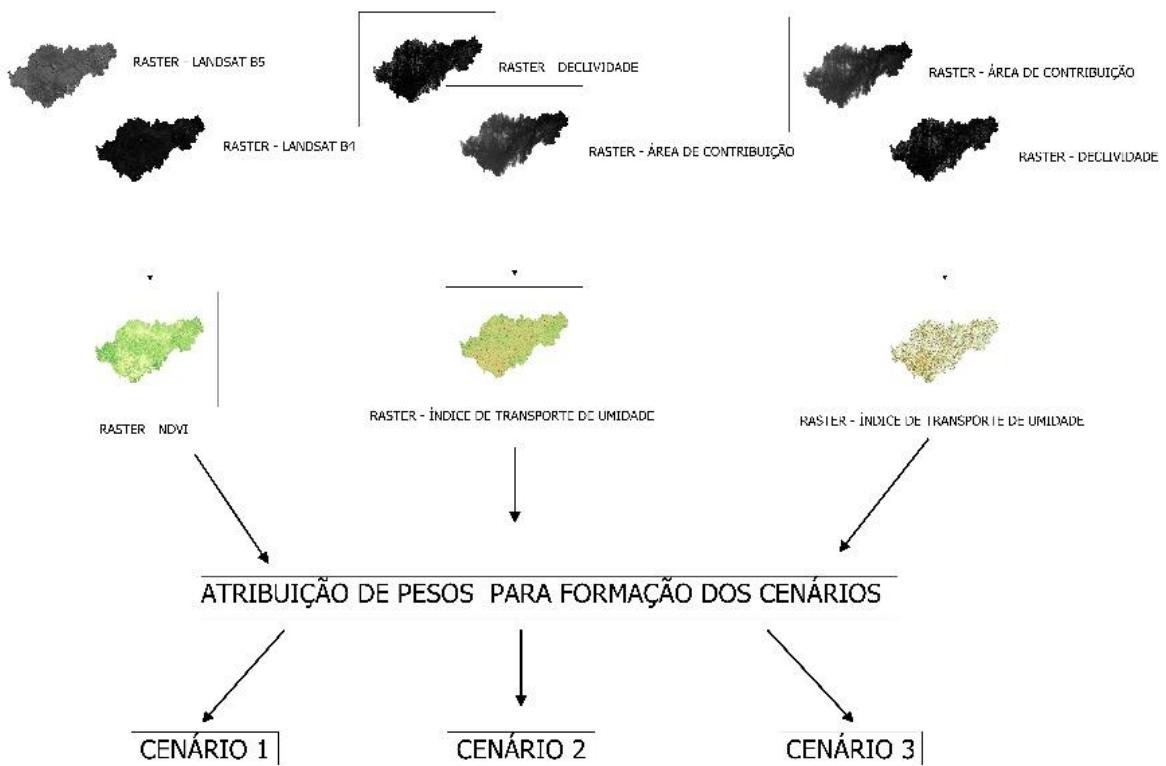
Freiman e Carvalho (2020) dizem que o processo de construção do modelo espacial considera uma superfície de suscetibilidade a inundações em formato matricial (raster), onde cada célula desta superfície irá representar um valor de suscetibilidade a inundações de uma determinada posição. Para realizar a análise multicritério (AM) todos os arquivos devem estar no formato matricial, pois é a partir dos valores dos *pixels* que a álgebra de mapas é capaz de calcular a probabilidade conforme o objetivo da proposta (Fernandes, 2016). Deste modo, os dados a serem utilizados no presente trabalho deverão ser convertidos em forma matricial e devem estar compatibilizados na pior resolução dentre os arquivos de base empregados. Neste caso, a escala de análise é de 1:60.000.

### 3.3.1 Álgebra de mapas

Segundo Joseph K. Berry (1993), o conceito de álgebra de mapas ou álgebra de campos pode ser visto como uma extensão da álgebra tradicional, com um conjunto de operadores em que cada variável manipulada são campos geográficos. Este processo será realizado a partir da aplicação da calculadora raster, disponibilizado no software QGIS. Para empregar esta ferramenta todos as camadas de dados devem estar compatibilizadas em um mesmo sistema de coordenadas e em resoluções espaciais idênticas, uma vez que a álgebra de mapas é o processo realizado sobre dados matriciais.

A partir de uma soma ponderada, todos os critérios e subcritérios definidos foram agrupados em uma única camada. Nas células em que há suscetibilidade a inundações são representadas pelos valores inseridos em cada pixel do modelo gerado, em que os valores são diretamente proporcionais a suscetibilidade a inundações da região compreendida em cada célula. A Figura 9 mostra de forma genérica como se dá o processo de Álgebra de Mapas.

Figura 9 - ALGEBRA DE MAPAS



Fonte: O Autor (2022).

No Capítulo 4 são apresentados os resultados e as discussões.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O processo de modelagem ocorre em várias etapas, conforme descrito na metodologia proposta neste trabalho. O primeiro passo consiste na definição das classes a serem empregadas no processo de modelagem, bem como a organização de suas subclasses. Em seguida, os especialistas definem o grau de relevância das subclasses e das classes utilizando a escala numérica de Saaty (1980) e em seguida as classes foram reclassificadas.

Após a configuração das camadas e organização do banco de dados a ser empregado foi realizado o processo de ponderação de cada classe empregando a metodologia e a implementação em tabela eletrônica proposta por Goepel (2013). Destaca-se que cada camada empregadas no processo de modelagem influencia no processo de inundações, sejam aspectos naturais ou antropizados.

As camadas referentes a geomorfologia inserem propriedades ao modelo referentes a direção, velocidade e fluxo de água no terreno, além de possibilitar a identificação de áreas suscetíveis ao acúmulo de água naturalmente. Por exemplo, regiões com baixas altitudes e declividade (planas) apresentam maior suscetibilidade ao acúmulo de água que quando associado a aspectos de fluxo e escoamento de águas pluviais inserem as características necessárias para a definição de áreas suscetíveis a inundações. Propriedades geomorfológicas associadas a aspectos de antropização auxiliam na consideração de modificações não naturais na região de análise, como o desmatamento das regiões e a impermeabilização do solo, fatores que influenciam no tempo de concentração da contribuição do escoamento superficial dentro dos limites de uma bacia hidrográfica.

### 4.1 PROCESSO DE PONDERAÇÃO

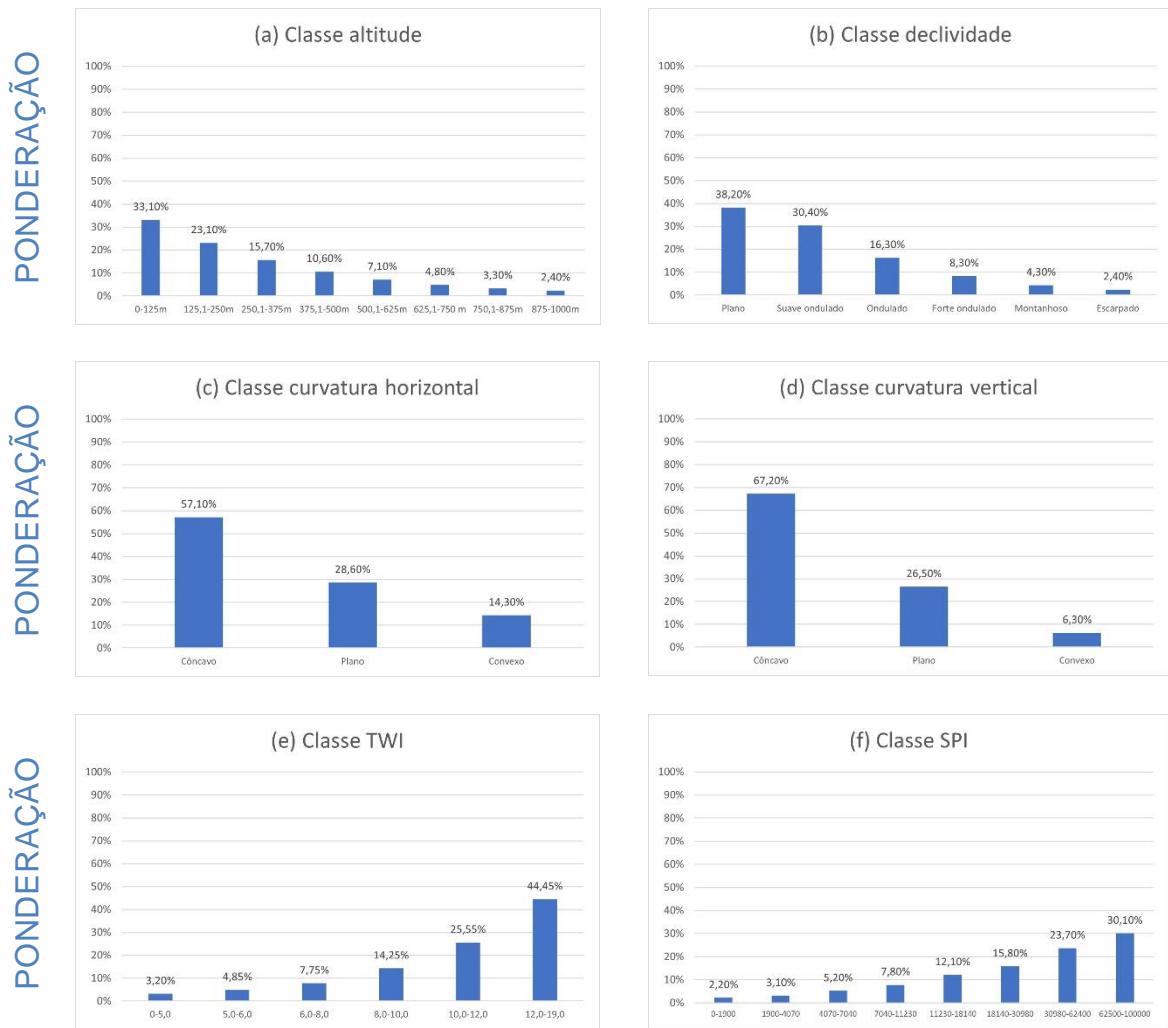
Como já mencionado, o processo de ponderação consistiu na análise das 11 camadas empregadas para a modelagem multicritério por dois especialistas da área ambiental. Cada um dos colaboradores desse trabalho, preencheu 11 tabelas para realização do processo de ponderação conforme método AHP (ANEXO A).

A partir do processo de ponderação foi possível a definição de pesos para cada camada e também para os seus respectivos subcritérios, como ilustrado nos

gráficos da Figura 10. As ponderações determinadas para cada uma das 11 classes analisadas foram multiplicadas pelos valores ponderados para cada uma de suas subclasses, obtendo uma escala de importância final para cada elemento que será utilizado no processo de criação do modelo de suscetibilidade a inundações. Os valores foram convertidos para uma escala de 1 a 100 para facilitar o processo de reclassificação das camadas e eliminar a problemática de superestimação de camadas que apresentam menos subclasses.

A partir desta ponderação foi confeccionado no software QGIS as camadas classificadas de acordo com a opinião dos especialistas.

Figura 10 – PONDERAÇÃO DAS CLASSES EMPREGADAS NO PROCESSO DE MODELAGEM

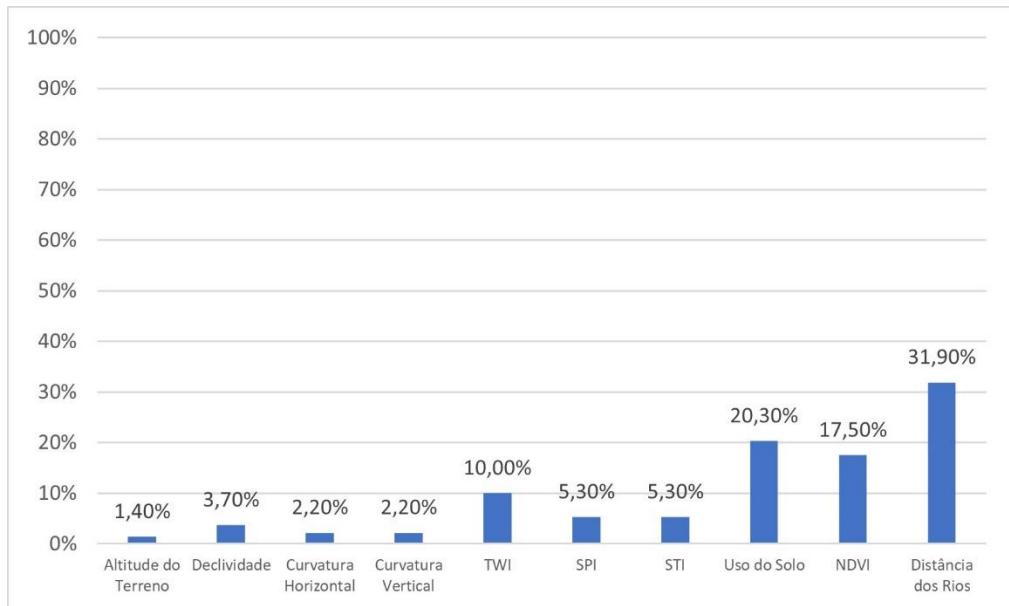




Fonte: O autor (2022)

A Figura 10 corresponde a ponderação intraclasse, ou seja, entre as subclasses de uma determinada camada que compõem a superfície de suscetibilidade. Além deste processo, realizou-se a ponderada entre classes, obtendo os resultados apresentados na Figura 11.

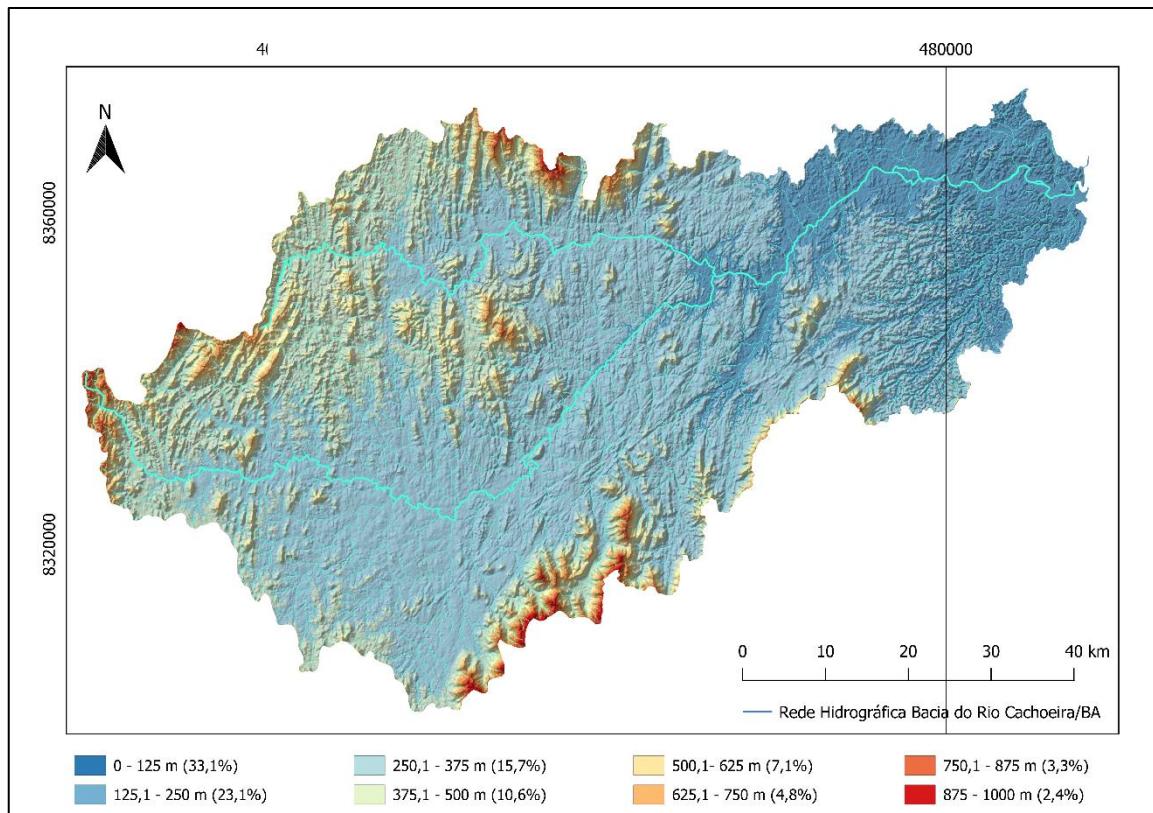
Figura 11 - TODAS AS CAMADAS



Fonte: O Autor (2022).

A partir dos valores de ponderação obtidos pela experiência dos especialistas foi confeccionado no software QGIS as camadas classificadas de acordo com a opinião dos especialistas. Na Figura 12, ilustra-se a classe altitude do terreno que descreve a distância vertical entre a superfície física do terreno e o nível médio dos mares. Atributo extraído do MDE, a altitude do terreno possui influência no clima, vegetação e na energia potencial de escoamento superficial.

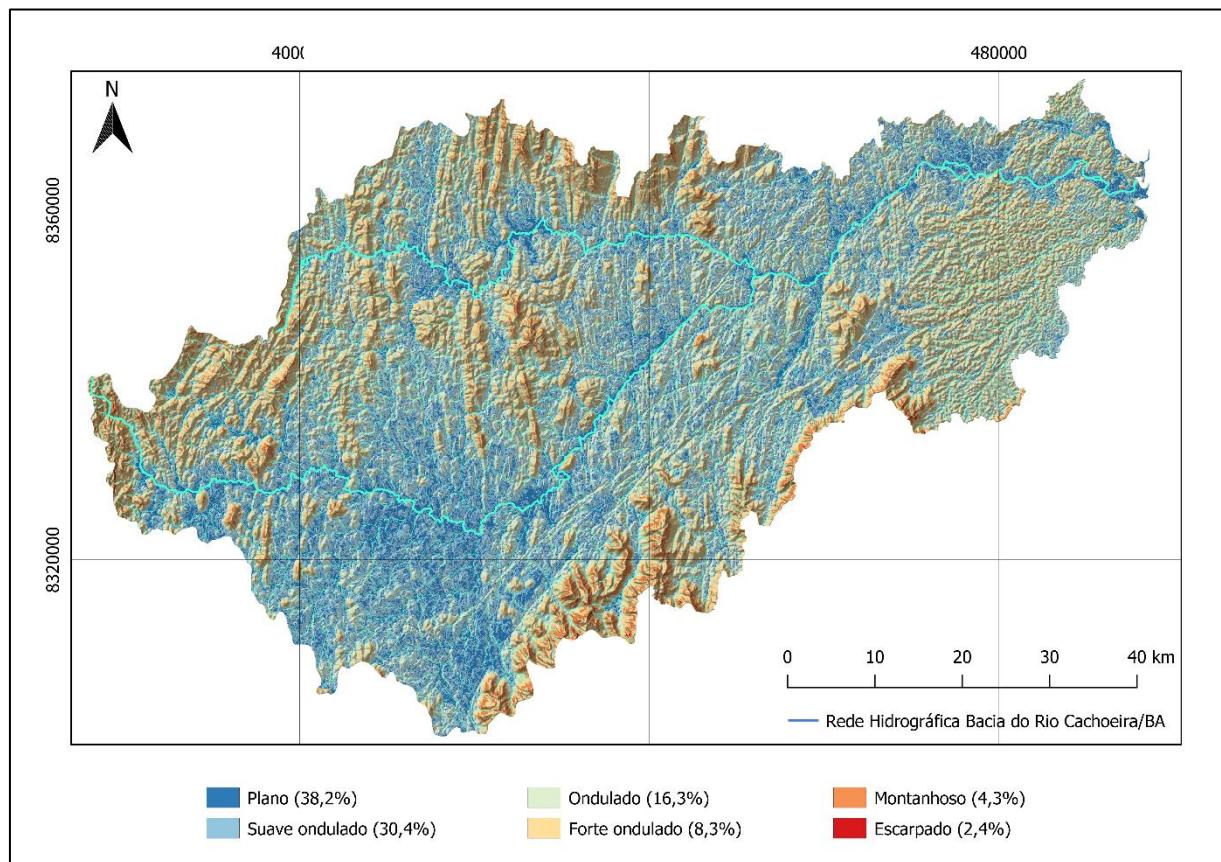
Figura 12 - ALTITUDE DO TERRENO



Fonte: O Autor (2022).

A segunda classe analisada é a declividade (Figura 13) que descreve o gradiente ou a taxa de mudança da elevação entre as células. A declividade é um atributo que representa a primeira derivada da superfície de elevação e possui a influência sobre a velocidade dos fluxos superficiais e subsuperficiais, o que acaba influenciando diretamente o conteúdo de água no solo, a taxa de erosão e a formação do solo.

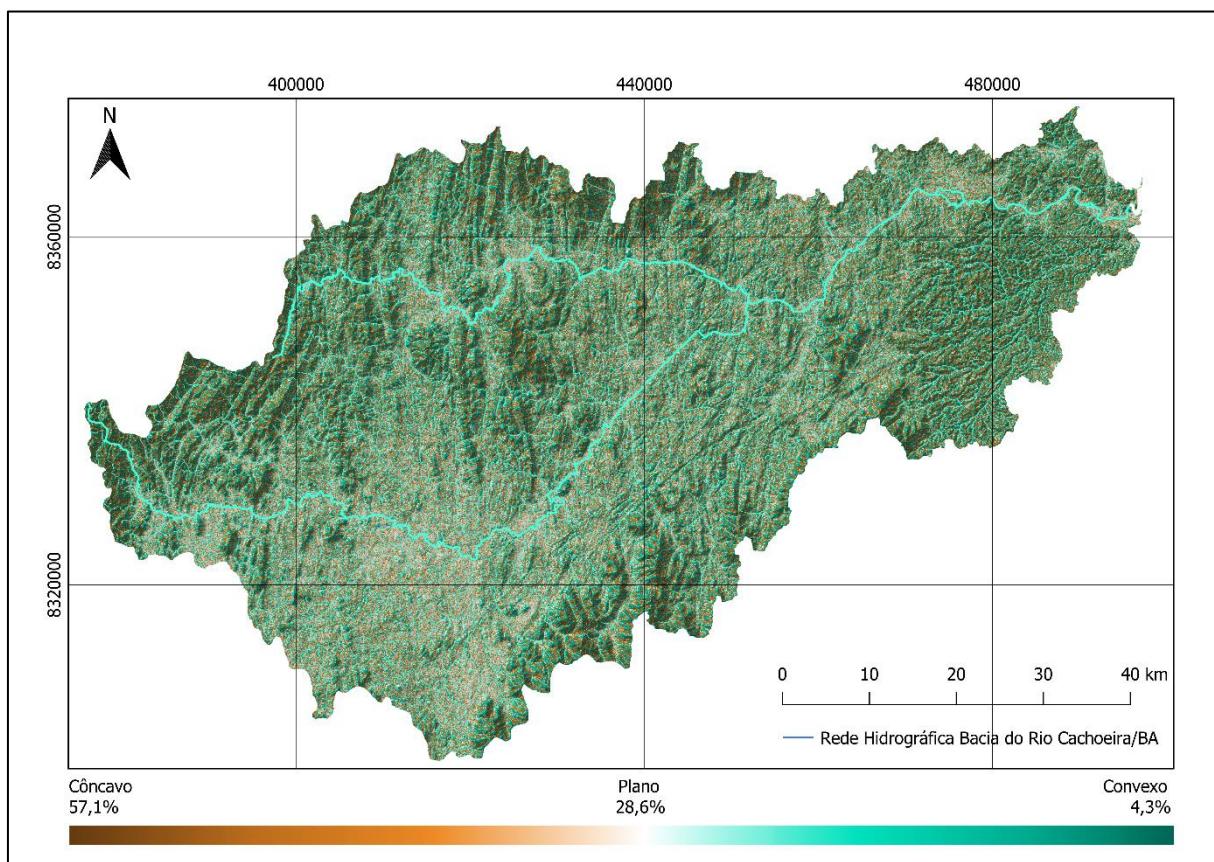
Figura 13 - DECLIVIDADE



Fonte: O Autor (2022).

A curvatura horizontal (Figura 14) e vertical (Figura 15) também são elementos importantes na definição de áreas suscetíveis a inundações. A horizontal descreve a forma geral da vertente em todas as direções (côncava, retilínea ou convexa). A curvatura horizontal, descreve a forma da vertente no plano horizontal, onde valores positivos descrevem curvaturas convexas, valores negativos descrevem curvaturas côncavas. A influência deste atributo se encontra na concentração (convergência) ou dispersão (divergência) dos fluxos na paisagem, o que influencia no conteúdo de água no solo e suas características.

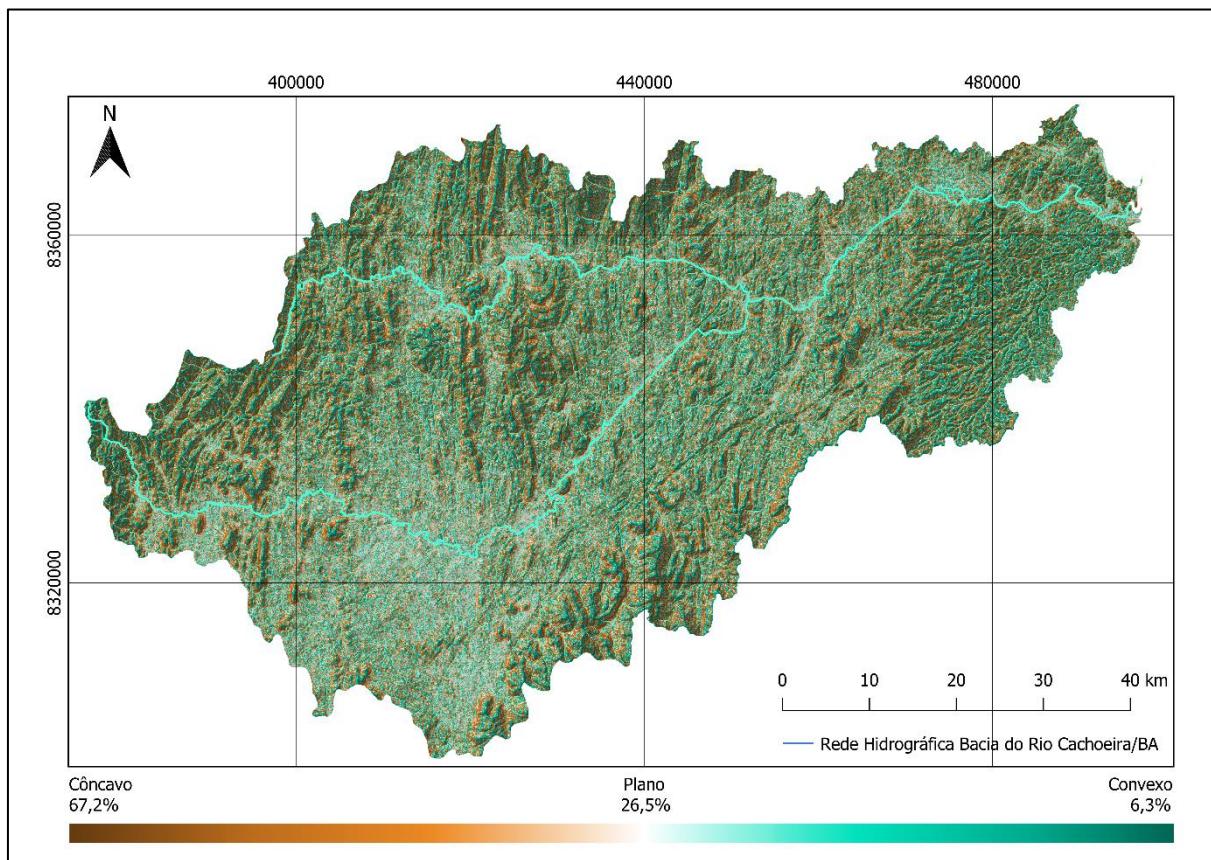
Figura 14 - CURVATURA HORIZONTAL



Fonte: O Autor (2022).

A curvatura vertical (Figura 15) é o atributo que representa a primeira derivada da declividade, onde valores positivos descrevem curvaturas convexas e valores negativos descrevem curvaturas côncavas. A curvatura vertical possui a influência sobre a velocidade do fluxo superficial, a taxa de erosão e a geomorfologia.

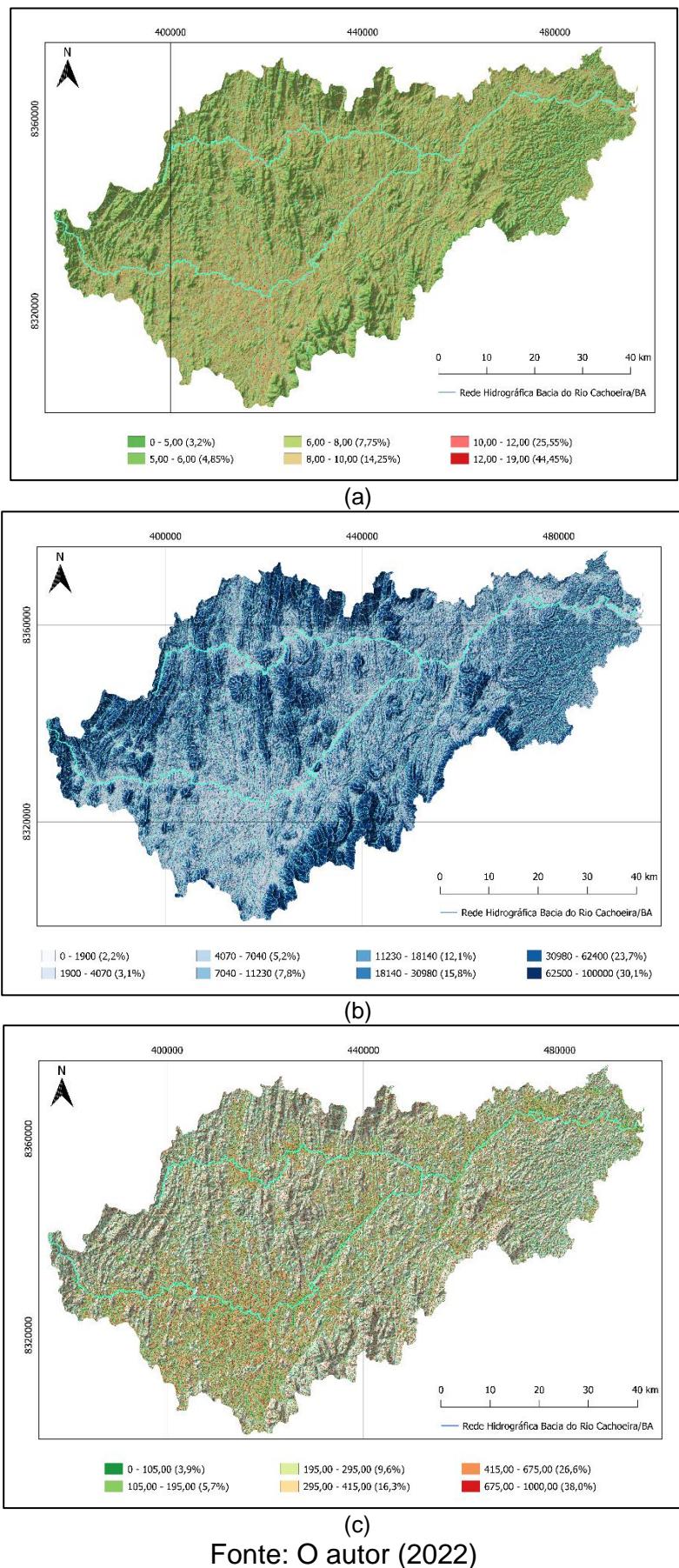
Figura 15 - CURVATURA VERTICAL



Fonte: O Autor (2022).

Os índices Topográficos também são informações relevantes no contexto da análise da Suscetibilidade a inundações. O índice topográfico de umidade (Figura 16a) descreve a tendência de uma célula acumular água, logo maiores valores do índice topográfico de umidade indicam maior tendência de acumular água, portanto, maior conteúdo de água no solo. O índice de potência de escoamento (Figura 16b) descreve o potencial de acumulação do fluxo hídrico e de escoamento superficial. Este índice é um atributo que se trata de uma medida do potencial erosivo da enxurrada. O índice de transporte de fluxo (Figura 16c) representa a capacidade de transporte de sedimentos do terreno e é utilizado para avaliar a erosão do solo, sendo responsável pela convergência e divergência do fluxo de água e assim afetando a ocorrência de inundações.

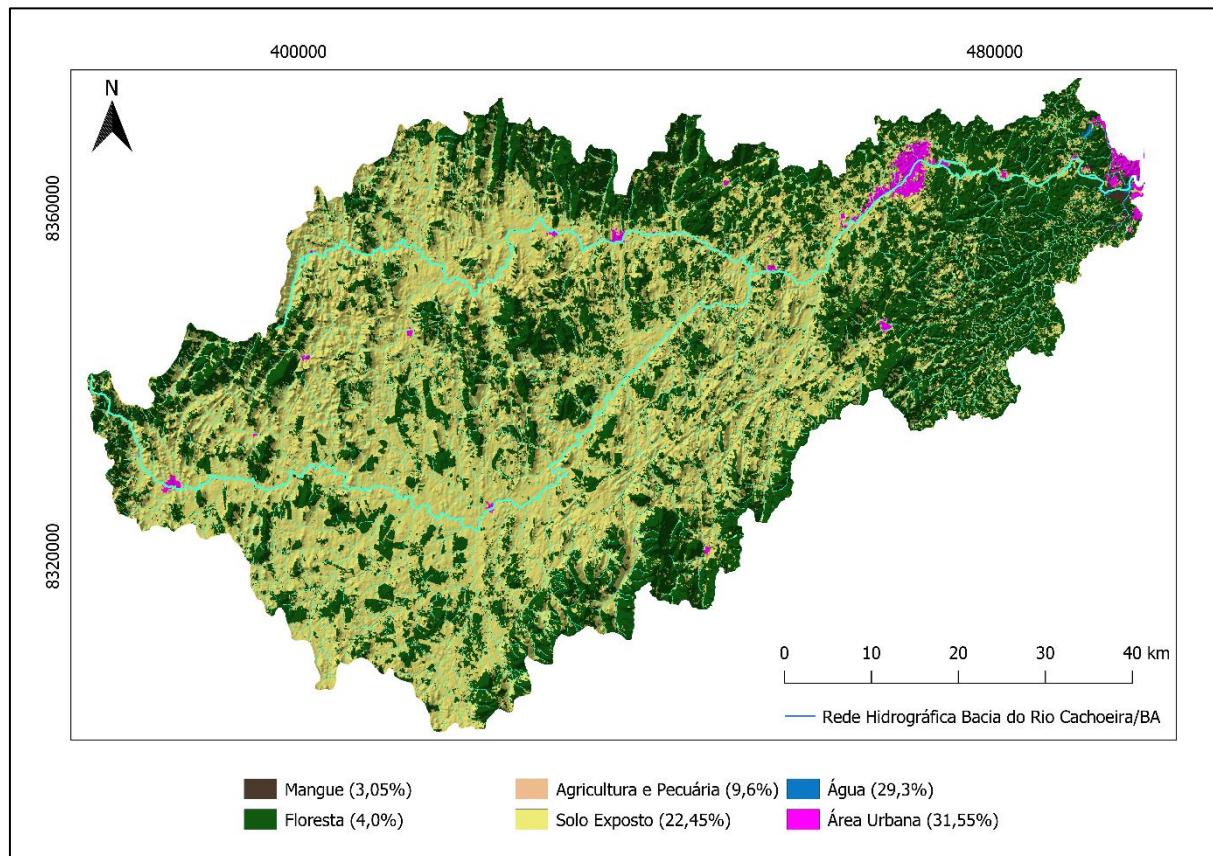
Figura 16 - ÍNDICES TOPOGRÁFICOS (a) TWI (b) SPI (c) STI



Fonte: O autor (2022)

Propriedades geomorfológicas associadas a aspectos de antropização auxiliam na consideração de modificações não naturais na região de análise, como por exemplo o desmatamento das regiões e a impermeabilização do solo, fatores que influenciam no tempo de concentração da contribuição do escoamento superficial dentro dos limites de uma bacia hidrográfica

Figura 17 - USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

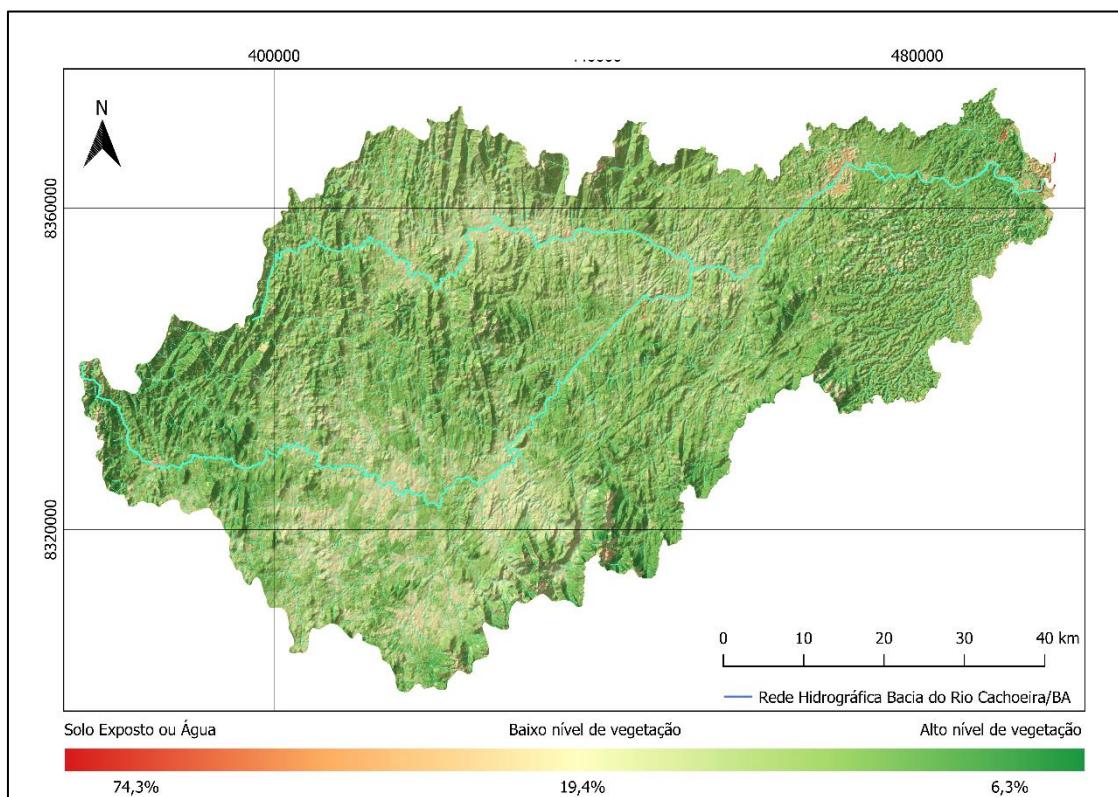


Fonte: O Autor (2022).

Classes de uso e ocupação do solo e a taxa de vegetação presente na área de estudo também são fatores predeterminantes de inundações e forma inseridas no contexto desta análise. Uso e ocupação do solo (Figura 17) é o atributo que permite identificar áreas com altos níveis de impermeabilização do solo, ponto que dificulta o processo de escoamento e infiltração da água.

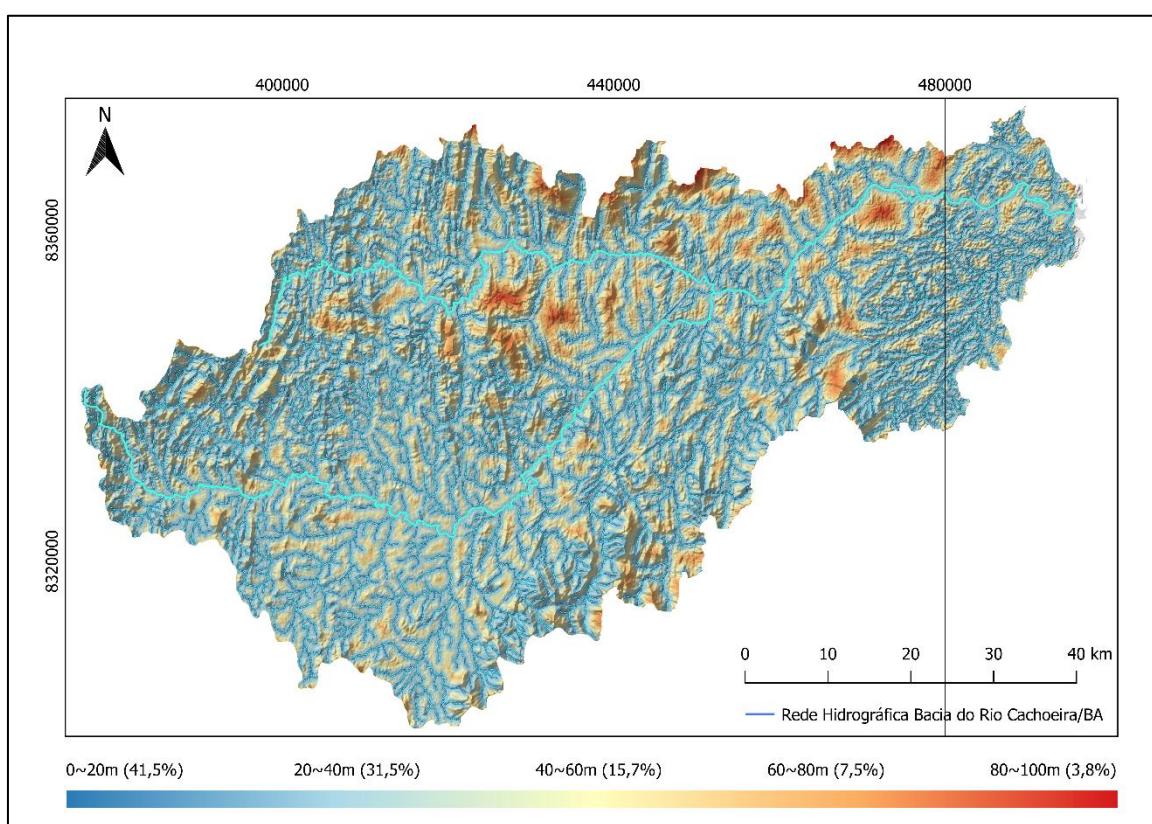
O NDVI (Figura 18), permite analisar áreas com remanescentes florestais que minimizam principalmente o escoamento superficial de águas pluviais. O atributo distância dos rios (Figura 19), como o nome já diz, identifica a distância entre os rios próximos da região, uma vez que áreas mais próximas apresentam maior suscetibilidade a inundações.

Figura 18 - NDVI



Fonte: O Autor (2022).

Figura 19 - DISTÂNCIA DOS RIOS



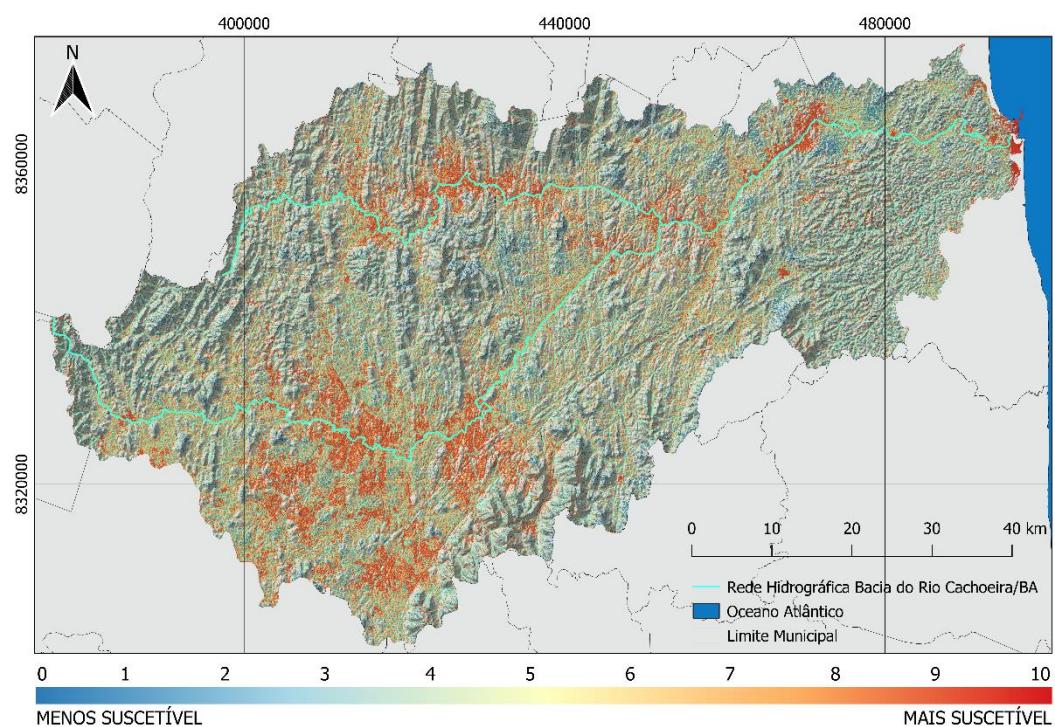
Fonte: O Autor (2022).

Com as camadas construídas e ponderadas, iniciou-se o processo de álgebra de mapas e construção da superfície de suscetibilidade.

#### 4.2 SUPERFÍCIE DE SUSCETIBILIDADE

O processo de mapeamento de suscetibilidade a inundações auxilia na gestão eficaz, em termos de custos e tempo, de áreas sensíveis a estas ocorrências sendo de possível aplicação em processos de tomada de decisão a fim de reduzir custos e danos futuros. Segundo Das e Gupta (2020), um mapa de suscetibilidade a inundações auxilia no planejamento da minimização de efeitos adversos a partir de um planejamento estratégico. Segundo os mesmos autores, a estimativa da suscetibilidade depende de fatores condicionantes que devem ser combinados adequadamente, o que é alcançado com o emprego de uma avaliação multicritério de forma sistemática, agrupando-os e simplificando o processo de análise espacial. Com base no processo de álgebra de mapas, construiu-se a superfície de suscetibilidade, ilustrada na Figura 20.

Figura 20 - MAPA DE SUSCETIBILIDADE A INUNDAÇÃO BACIA DO RIO CACHOEIRA

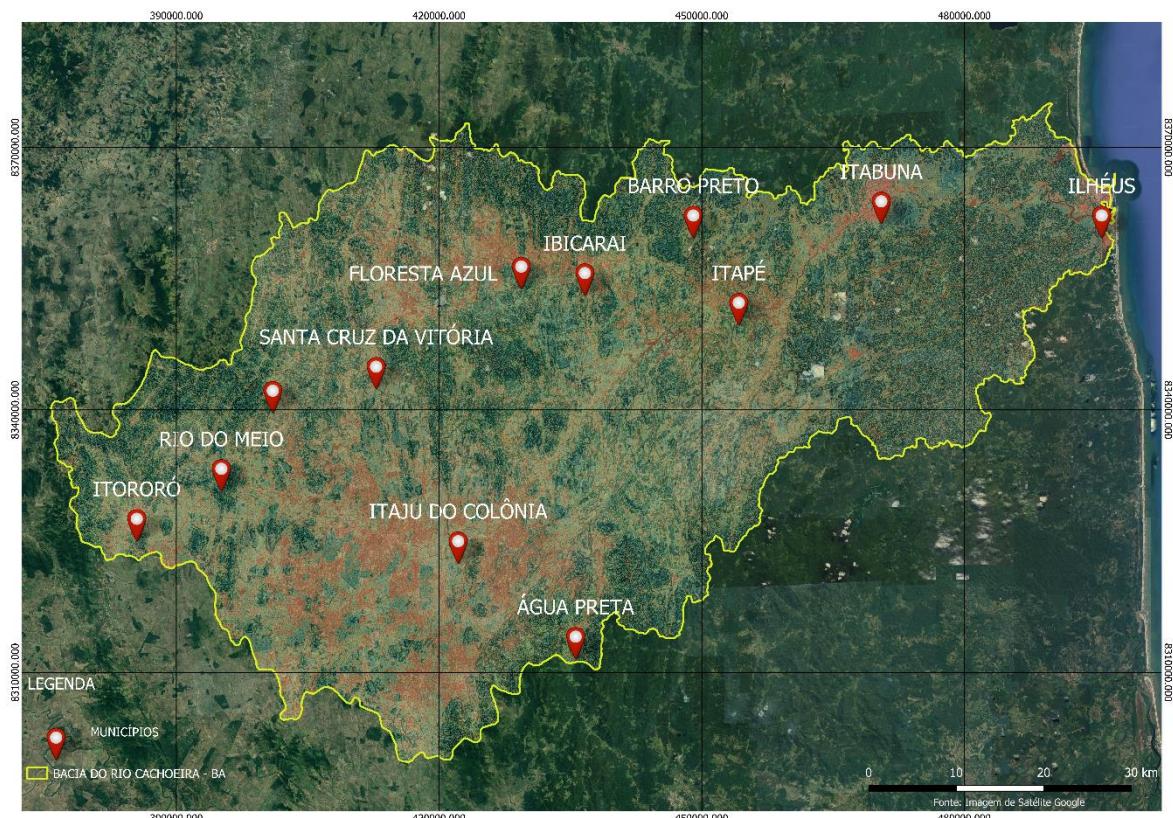


Fonte: O Autor (2022).

Após realizar a Álgebra de Mapas das camadas com as ponderações dos especialistas, mapeamos as áreas com maior suscetibilidade a inundações no entorno da Bacia do Rio Cachoeira – BA (considerando as limitações de escala). Em seguida, para validar a superfície gerada, foram feitas análises utilizando imagens de satélites, onde foi possível identificar que de fato as áreas em vermelho, ou seja, as áreas com maior suscetibilidade a inundações possuem históricos de inundações, conforme Figura 21.

O modelo espacial das áreas suscetíveis à inundação mostra, na Figura 22 e 21, as áreas suscetíveis a inundação no município de Itabuna – BA. Município este que sofre com as cheias do Rio Cachoeira, que no ano de 2021 desabrigou mais de 600 famílias (GLOBO, 2021).

Figura 21 - SOBREPOSIÇÃO SUPERFÍCIE DE SUSCETIBILIDADE X IMAGEM SATÉLITE

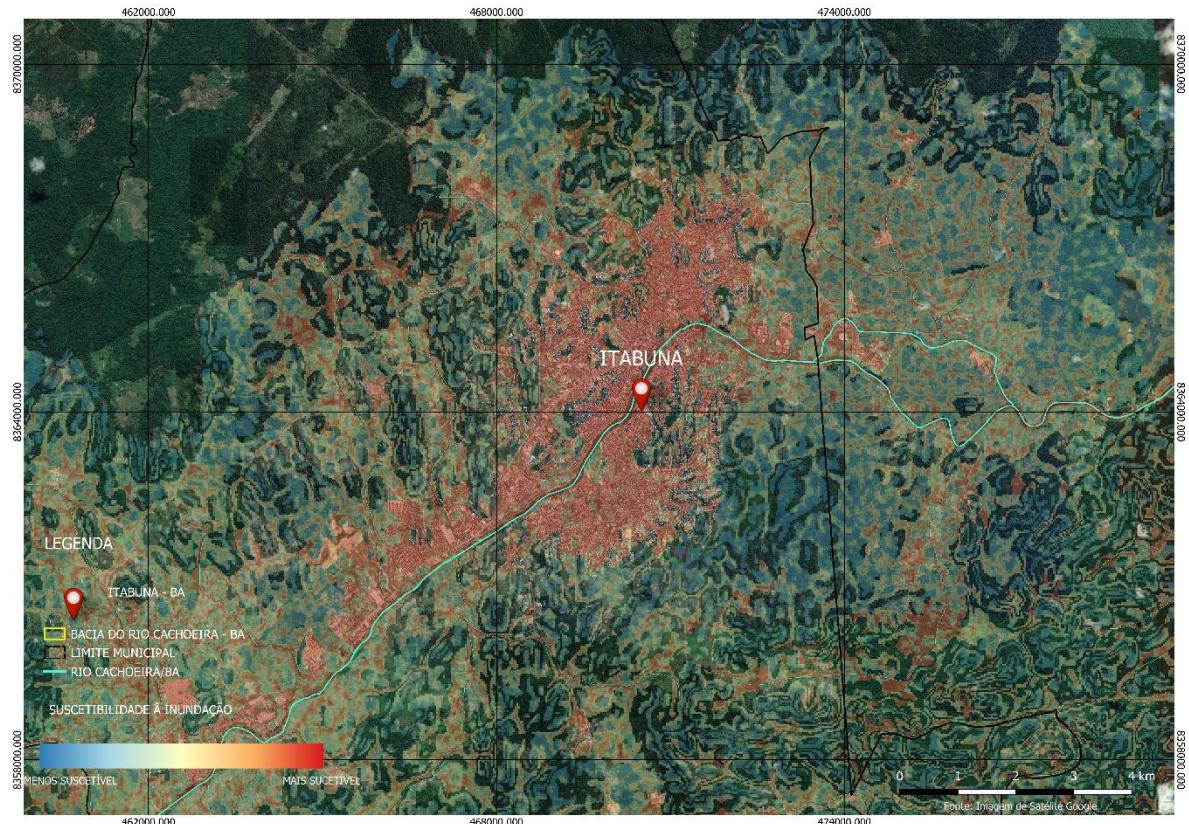


Fonte: O Autor (2022).

É possível observar a adequação da modelagem com a realidade dos municípios inseridos na Bacia do Rio Cachoeira – BA. A modelagem está diretamente relacionada as variáveis selecionadas para a composição da superfície

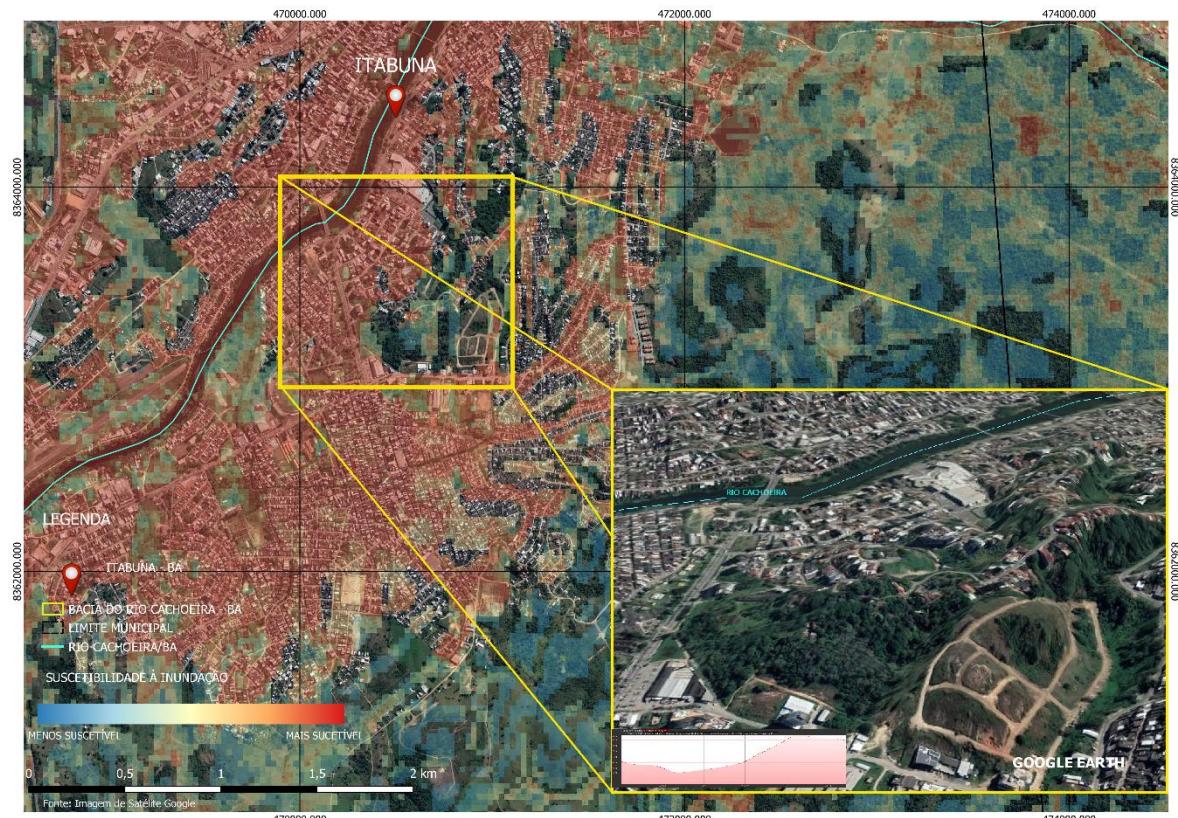
de suscetibilidade à inundaçāo, uma vez que foram essenciais para a determinaçāo das áreas onde, de acordo com a ponderaçāo dos especialistas, uma inundaçāo é mais provável ou nāo.

Figura 22 - SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇĀO MUNICÍPIO DE ITABUNA-BA



Fonte: O Autor (2022).

Figura 23 - SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO ANÁLISE GOOGLE EARTH



Fonte: O Autor (2022).

A Figura 23 mostra a análise feita em uma região de Itabuna onde no modelo de suscetibilidade à inundação há baixa probabilidade à inundação e a imagem do Google Earth mostra que essa área possui uma elevação em relação ao nível do Rio Cachoeira, sugerindo a existência de precisão no modelo gerado neste trabalho.

## 5. CONCLUSÃO

Este trabalho descreveu e testou a combinação entre as ferramentas SIG e o método de análise multicritério AHP para a avaliação da suscetibilidade de inundações. A vantagem da utilização do AHP é a possibilidade de unificar, manusear e modelar informações imprecisas em uma hierarquia de preferências, minimizando as incertezas do processo de ponderação. Os resultados obtidos com a modelagem proposta demonstram que: 1) A aplicação do método AHP permite a identificação de áreas suscetíveis a inundações a partir da consulta a especialistas com precisão suficiente para a identificação de áreas críticas; 2) O método pode ser aplicado a qualquer localidade, utilizando informações geográficas e softwares SIG gratuitos, sem a necessidade de realização de visitas a campo e aquisição de dados in loco; e 3) A aplicabilidade e o poder de generalização da realidade dependerá da escala de aquisição dos dados de base, caso trabalhe-se em escalas pequenas, o processo poderá ser aplicado como uma análise expedita que deverá ser complementada com verificação in loco.

Em relação a pesquisas futuras, recomenda-se a verificação dos resultados de métodos baseados em especialistas com àqueles obtidos com métodos baseados em dados, além disso, o desenvolvimento de processos de validação por meio de séries históricas de inundações pode ser aplicado como um dado legítimo para avaliar os resultados.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDALLA, L. S et al. **Modelagem dinâmica da vegetação baseada em autômatos celulares: um estudo de caso da regeneração da mata atlântica no distrito de aldeia velha** – RJ. Rio de Janeiro - Brasil, 2015

ABREU, Lucijane Monteiro de; GRANEMANN, Sérgio Ronaldo; GARTNER, Ivan; BERNARDES, Ricardo Silveira. **Escolha de um programa de controle da qualidade da água para consumo humano: aplicação do método AHP**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.4, n.2, p. 257-262, 2000.

ALVES, J. R. X.; ALVES, J. M. **Definição de localidade para instalação industrial com o apoio do método de análise hierárquica (AHP)**. Prod., São Paulo, v. 25, n. 1, p. 13-26, Mar. 2015. Disponível em:<<https://doi.org/10.1590/S0103-65132014005000023>>. Acesso em 17 nov. 2020.

AMARAL, R.; RIBEIRO, R.R. 2009. Inundação e Enchentes. In: TOMINAGA, L.K.; SANTORO, J.;AMARAL, R. 2009. **Desastres Naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo, Instituto Geológico, p. 39-52

AMORIM, R. R.; SILVA, K. B. **Risco de inundação na bacia hidrográfica do rio Cachoeira**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 18., 2019, Fortaleza. Anais [...]. Fortaleza: UFC, 2019. p. 01-11.

ASAHI, T.; TURO, D.; SHNEIDERMAN, B. (1994). **Visual decision-making: Using tree maps for the Analytic Hierarchy Process**. University of Maryland, Maryland.

CÂMARA, G. 1995. **Modelos, Linguagens e Arquiteturas para Bancos de Dados Geográficos**. Tese de Doutoramento em Computação Aplicada. São José dos Campos, INPE

CASTRO, A. L C. (org.). **Política Nacional de Defesa Civil - PNDC**. Brasília: Ministério do Planejamento e Orçamento, 94p. 1997

CRISTO, S. S. V. de. **Análise da Ocupação do Solo e o desenvolvimento dos**

**processos de Riscos Geológicos na vila Urlândia, Santa Maria – RS.** Santa Maria: UFSM, Trabalho final de Graduação (Geografia Bacharelado) Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Maria, 76p. 1999.

**CARDOSO, O. R. et al. Análise de fragilidade ambiental na bacia do rio Pardo - RS, frente à instalação de pequenas centrais hidrelétricas (PCHs).** Porto Alegre, Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 20, n. 2 p. 507-522, abr./jun. 2015.

EEA – European Environment Agency. Water resources in Europe in the context of vulnerability. EEA Report, nº11/2012. Copenhagen, Denmark, 2012.

**ENOMOTO, C. F. Método para elaboração de mapas de inundação estudo de caso na bacia do rio Palmital.** Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2004.

Goepel K. D. **Implementing the Analytic Hierarchy Process as a Standard Method for Multi-Criteria Decision Making In Corporate Enterprises – A New AHP Excel Template with Multiple Inputs**, Proceedings of the International Symposium on the Analytic Hierarchy Process, Kuala Lumpur 2013. DOI: <https://doi.org/10.13033/isahp.y2013.047>

**GOMES, R. L. HORA, S. B. Mapeamento e avaliação do risco a inundação do rio Cachoeira em trecho da área urbana do município de Itabuna/BA.** Sociedade e Natureza, Uberlândia, p. 57-75, ago. 2009.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico. **Malha digital do Brasil**. 2012.

**JAKEMAN, A. J. et al. Environmental Modelling, Software and Decision Support: State of the art and new perspective.** Elsevier, 2008.

**JANKOWSKI, Piotr. Integrating geographical information systems and multiple criteria decision-making methods. International journal of geographical information systems**, v. 9, n. 3, p. 251-273, 1995.

LIMA, W.P. **Princípios de manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba: ESALQ. USP, 1976.

MACEDO, E. S. de; et al. **Modelos de fichas descritivas para áreas de risco a escorregamento, inundação e erosão**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 1, 2004, Florianópolis - UFSC, p. 892-907. (CD-ROM). 2004.

MALCZEWSKI, J. 2006. **GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature**. *International Journal Of Geographical Information Science*, [s.l.], v. 20, 703-726, ago. Disponível em:<<https://doi.org/10.1080/13658810600661508>>. Acesso em: 20 mar. 2020.

MEYER, A.F. **The elements of Hydrology**. Nova Iorque, John Wiley and Sons, 2. ed., 6. imp., 1976

MIRANDA, N. M. G. et al. 2019. **Hierarchical Analytical Process (AHP) in Spatial Modeling of Flood Vulnerability in Mixed Environments**. Anuário do Instituto de Geociências - Ufrj, [s.l.], v. 42, n. 4, p.172-181, 12 dez. Instituto de Geociências - UFRJ. Disponível em:<[http://dx.doi.org/10.11137/2019\\_4\\_172\\_181](http://dx.doi.org/10.11137/2019_4_172_181)>. Acesso em: 09 nov. de 2020.

MOSADEGHI, R. et al. **Comparison of Fuzzy-AHP and AHP in a spatial multi-criteria decision making model for urban land-use planning**. Computers, Environment and Urban Systems, v. 49, p. 54-65, 2015. Disponível em:<<https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2014.10.001>> Acesso em 17 nov. 2020.

OLIVEIRA, E. L. de A. (2004). **Áreas de risco geomorfológico na bacia hidrográfica do arroio Cadena, Santa Maria-RS: zoneamento e hierarquização**. 2004. 147f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

OUMA, Y; TATEISHI, R. 2014. **Urban Flood Vulnerability and Risk Mapping**

**Using Integrated Multi-Parametric AHP and GIS:Methodological Overview and Case Study Assessment.** Water, [s.l.], v. 6, 1515-1545. Disponível em:<<https://doi.org/10.3390/w6061515>>. Acesso em: 10 nov. 2020

**PISSARA, T.C.T.; POLITANO, W. & FERRAUDO, A.S. Avaliação de características morfométricas na relação solo-superfície da bacia hidrográfica do córrego rico, Jaboticabal (SP).** Rev. Ciências do Solo, Viçosa, 2004. N.28, p. 297-305

**RENNÓ, C. D. & SOARES, J. V. Modelos Hidrológicos para Gestão Ambiental.** Capítulo 2 Conceitos básicos de modelagem hidrológica. INPE. CT Brasil - Ministério da Ciência e Tecnologia. 2000.

**ROCHA, C. H. B. Geoprocessamento Tecnologia Transdisciplinar.** Juiz de Fora, MG; Ed. do Autor, 2000.

**SIMON, H. A. The New Science of Management Decision.** Harper and Brothers, New York, 1960

**SOARES-FILHO, B. S.** Modelagem da dinâmica de paisagem de uma região de fronteira de colonização amazônica. São Paulo, SP. Originalmente apresentada como tese de doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1998

**TEHRANY, M. S.; PRADHAN, B.; JEBUR, M. N.** 2013. **Spatial prediction of flood susceptible areas using rule based decision tree (DT) and a novel ensemble bivariate and multivariate statistical models in GIS.** Journal Of Hydrology, [s.l.], v. 504, p.69-79, nov. Disponível em:<<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.09.034>>. Acesso em: 13 out. 2020.

**TEODORO, V. L. I. et al.** **O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local.** Revista UNIARA, 2007. n. 20.

**TOMA, T.; ASHARIF, M. R.** **AHP coefficients optimization technique based on**

**GA.** Department of Information Engineering of University of Ryukyus, Japão, 2003.

**TOMASHEVSKII, I. L. Geometric mean method for judgement matrices.** Institute of Mathematics, Information and Space Technologies, Northen Federal University, Russia 2014.

**TONELLO, K.C. Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhães, MG.** Tese de Doutorado, UFV, Viçosa, 2005. p. 69.

**TUCCI, C.E.M. Águas Urbanas.** Estudos Avançados 22 (63), 2008.

**TUCCI, C. E. M. Hidrologia: Ciência e Aplicação. 3º edição.** Porto Alegre: Editora da UFRGS/ ABRH, 2002. Cap 2, p. 40-42

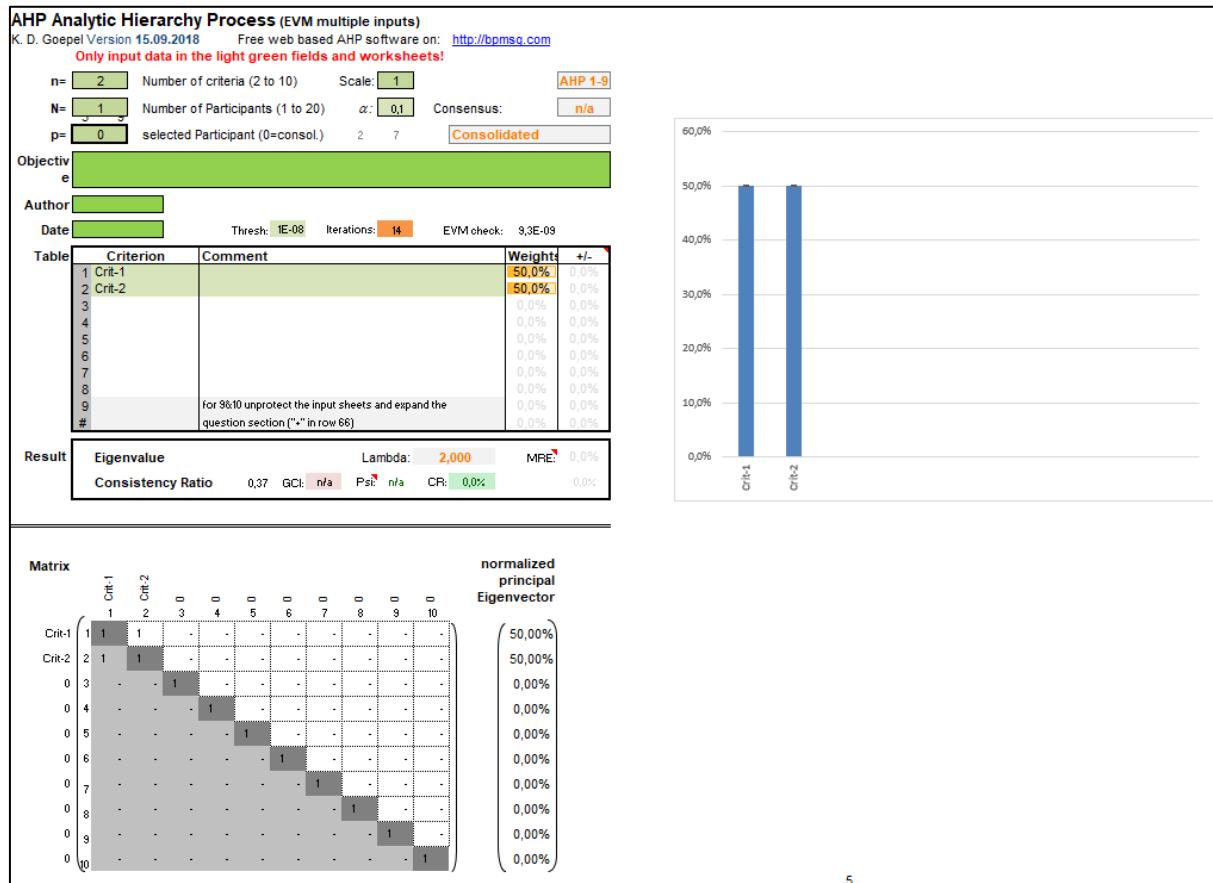
**TUCCI, C.E.M; SILVEIRA, A. L. L (Org). Hidrologia: ciência e aplicação. 4º edição.** Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2012. Cap11, p.391-394. Cap 21, p.805-808.

**TUCCI, C. E. M. Gestão da Drenagem Urbana.** Brasília, DF: CEPAL. Escritório no Brasil/IPEA. p.17. 2012.

**TUCCI, C. E. M. Modelos hidrológicos.** Porto Alegre. Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul-ABRH. 1998.

**UNITED NATIONS ORGANIZATION.** United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs. **Latin America and the Caribbean: Natural Disasters 2000-2019.** Disponível em:<<https://www.humanitarianresponse.info/en/operations/latin-america-and-caribbean/document/latin-america-and-caribbean-natural-disasters-2000>>. Acesso em: 14 out. 2020.

## ANEXO A – TABELA EXCEL AHP



Fonte: Klaus D. Goepel (2013).

**AHP Analytic Hierarchy Process**

Objective 0

**Only input data in the light green fields!**

Please compare the importance of the elements in relation to the objective and fill in the table: Which element of each pair is more important, A or B, and how much more on a scale 1-9 as given below.

Once completed, you might adjust highlighted comparisons 1 to 3 to improve.

Criteria	Comment	RGM	+/-
1 Crit-1		50,0%	
2 Crit-2		50,0%	
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10	for 9x10 unprotected the input sheets and expand the question section (*+* in row 66)		

Participant 1 1

α: 0,1 CR: 0%

Name: Date: Consistency Ratio: 1

	Criteria		more important ?	Scale (1-9)
i	A	B	or B	
1	Crit-1	Crit-2		
1				
1				
1				
1				
1				
1				
2				
2				
2				
2				
2				
2				
2				
3				
3				
3				
3				
3				
3				
4				
4				
4				
4				
4				
5				
5				
5				
5				
5				
6				
6				
6				
6				
7				

Intensit Definition Explanation

1	Equal importance	Two elements contribute equally to the objective
3	Moderate importance	Experience and judgment slightly favor one element over another
5	Strong Importance	Experience and judgment strongly favor one element over another
7	Very strong importance	One element is favored very strongly over another, its dominance is demonstrated in practice
9	Extreme importance	The evidence favoring one element over another is of the highest possible order of affirmation

2,4,6,8 can be used to express intermediate values

Fonte: Klaus D. Goepel (2013).

## AHP Analytic Hierarchy Process

Objective Calcular o nível de relevância dos critérios da camada ALTITUDE

Input 1

**Only input data in the light green fields!**

Please compare the importance of the elements in relation to the objective and fill in the table: Which element of each pair is more important, A or B, and how much more on a scale 1-9 as given below.

Once completed, you might adjust highlighted components 1 to 3 to improve

Criteria	Comment	RGMM
1 0-125m	0-125 metros de altitude	12,5%
2 125,1-250m	125,1-250 metros de altitude	12,5%
3 250,1-375m	250,1-375 metros de altitude	12,5%
4 375,1-500m	375,1-500 metros de altitude	12,5%
5 500,1-625m	500,1-625 metros de altitude	12,5%
6 625,1-750m	625,1-750 metros de altitude	12,5%
7 750,1-875m	750,1-875 metros de altitude	12,5%
8 875,1-1000m	875,1-1000 metros de altitude	12,5%
9	for 9&10 unprotect the inputbox and expand the question reaction (** in row 66)	
10		

Participant 1		1	α: 0.1	CR: 0%
Name	Weight	Date	Consistency Ratio	
		Criteria	more important ?	Scale
i	i	A	B	or B (1-9)
1	2	0-125m	{ 125,1-250m 250,1-375m 375,1-500m 500,1-625m 625,1-750m 750,1-875m 875,1-1000m	1
2	3	125,1-250m	{ 250,1-375m 375,1-500m 500,1-625m 625,1-750m 750,1-875m 875,1-1000m	1
3	4	250,1-375m	{ 375,1-500m 500,1-625m 625,1-750m 750,1-875m 875,1-1000m	1
4	5	375,1-500m	{ 500,1-625m 625,1-750m 750,1-875m 875,1-1000m	1
5	6	500,1-625m	{ 625,1-750m 750,1-875m 875,1-1000m	1
6	7	625,1-750m	{ 750,1-875m 875,1-1000m	1
7	8	750,1-875m	{ 875,1-1000m	1

Intensity	Definition	Explanation
1	Equal importance	Two elements contribute equally to the objective
3	Moderate importance	Experience and judgment slightly favor one element over another
5	Strong Importance	Experience and judgment strongly favor one element over another
7	Very strong importance	One element is favored very strongly over another, its dominance is demonstrated in practice
9	Extreme importance	The evidence favoring one element over another is of the highest possible order of affirmation

2,4,6,8 can be used to express intermediate values

Fonte: O Autor (2022)

## ANEXO B - PONDERAÇÃO DA DECLIVIDADE MÉTODO AHP

Objective Calcular o nível de importância dos critérios da camada DECLIVIDADE

**Only input data in the light green fields!**

Please compare the importance of the elements in relation to the objective and fill in the table: Which element of each pair is more important, A or B, and how much more on a scale 1-9 as given below.

Once completed, you might adjust highlighted comparisons 1 to 3 to improve.

Criteria	Comment	RGM
1 Plano	Declividade de 0,00%<3%	16,7%
2 Suave Ondulado	Declividade de 3,01%<8%	16,7%
3 Ondulado	Declividade de 8,01%<20%	16,7%
4 Forte Ondulado	Declividade de 20,01%<45%	16,7%
5 Montanhoso	Declividade de 45,01%<75%	16,7%
6 Escarpado	Declividade maior que 75%	16,7%
7		
8		
9	for 9&10 unrate at the input sheets and expand the question section (*+* in row 66)	
10		

Participant 1		1	0,1	0%
Name	Weight	Date	Consistency Ratio	
i	i	Criteria	more important ?	Scale or B (1-9)
		A	B	
1	2	Plano	Suave Ondulado	
1	3		Ondulado	
1	4		Forte Ondulado	
1	5		Montanhoso	
1	6		Escarpado	
1	7			
1	8			
2	3	Suave Ondulado	Ondulado	
2	4		Forte Ondulado	
2	5		Montanhoso	
2	6		Escarpado	
2	7			
2	8			
3	4	Ondulado	Forte Ondulado	
3	5		Montanhoso	
3	6		Escarpado	
3	7			
3	8			
4	5	Forte Ondulado	Montanhoso	
4	6		Escarpado	
4	7			
4	8			
5	6	Montanhoso	Escarpado	
5	7			
5	8			
6	7			
6	8			
7	8			

Intensit	Definition	Explanation
1	Equal importance	Two elements contribute equally to the objective
3	Moderate importance	Experience and judgment slightly favor one element over another
5	Strong Importance	Experience and judgment strongly favor one element over another
7	Very strong importance	One element is favored very strongly over another, its dominance is demonstrated in practice
9	Extreme importance	The evidence favoring one element over another is of the highest possible order of affirmation

Fonte: O Autor (2022)

## ANEXO C - PONDERAÇÃO DA CURVATURA HORIZONTAL MÉTODO AHP

**AHP Analytic Hierarchy Process**      n= 3      Input 1

Objective Calcular o nível de relevância dos critérios da camada CURVATURA HORIZONTAL

**Only input data in the light green fields!**

Please compare the importance of the elements in relation to the objective and fill in the table: Which element of each pair is more important, A or B, and how much more on a scale 1-9 as given below.

Once completed, you might adjust highlighted comparison 1 to 3 to improve

Criteria	Comment	RGMM	+/-
1 Plano	Linha de Fluxo Planar	33,3%	
2 Divergente	Linha de Fluxo Divergente	33,3%	
3 Convergente	Linha de Fluxo Convergente	33,3%	
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
	For 9x10 unprotect the input sheets and expand the question section (** in row 66)		

Participant 1	1	at: 0.1	CR: 0%	1
Name	Weight	Date	Consistency Ratio	A
				B

	Criteria	more important ?	Scale (1-9)
i	A	B	
1 2	Plano	Divergente	
1 3		Convergente	
1 4			
1 5			
1 6			
1 7			
1 8			
2 3	Divergente	Convergente	
2 4			
2 5			
2 6			
2 7			
2 8			
3 4			
3 5			
3 6			
3 7			
3 8			
4 5			
4 6			
4 7			
4 8			
5 6			
5 7			
5 8			
6 7			
6 8			
7 8			

Intensity	Definition	Explanation
1	Equal importance	Two elements contribute equally to the objective
3	Moderate importance	Experience and judgment slightly favor one element over another
5	Strong Importance	Experience and judgment strongly favor one element over another
7	Very strong importance	One element is favored very strongly over another, its dominance is demonstrated in practice
9	Extreme importance	The evidence favoring one element over another is of the highest possible order of affirmation

2,4,6,8 can be used to express intermediate values

Fonte: O Autor (2022)

## ANEXO D - PONDERAÇÃO DA CURVATURA VERTICAL MÉTODO AHP

Objective: Calcular o nível de relevância dos critérios da camada CURVATURA VERTICAL

**Only input data in the light green fields!**

Please compare the importance of the elements in relation to the objective and fill in the table: Which element of each pair is more important, A or B, and how much more on a scale 1-9 are given below.

Once completed, you might adjust highlighted comparisons 1 to 3 to improve.

Criteria	Comment	RGMM	+/-
1 Plano	Linhar de Fluxo Retilínear	33,3%	
2 Côncavo	Linhar de Fluxo Côncavos	33,3%	
3 Convexo	Linhar de Fluxo Convexos	33,3%	
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10	for 9x10 unrate at the input sheet and expand the question section ("*" in row 66)		

Participant 1		1	α: 0,1	CR: 0%	1
Name	Weight	Date	Consistency Ratio		
		Criteria	more important ?	Scale	
i	j	A	B	or B (1-9)	
1	2	Plano	Côncavo	=	
1	3		Convexo	=	
1	4			=	
1	5			=	
1	6			=	
1	7			=	
1	8			=	
2	3	Côncavo	Convexo	=	
2	4			=	
2	5			=	
2	6			=	
2	7			=	
2	8			=	
3	4			=	
3	5			=	
3	6			=	
3	7			=	
3	8			=	
4	5			=	
4	6			=	
4	7			=	
4	8			=	
5	6			=	
5	7			=	
5	8			=	
6	7			=	
6	8			=	
7	8			=	

Intensity	Definition	Explanation
1	Equal importance	Two elements contribute equally to the objective
3	Moderate importance	Experience and judgment slightly favor one element over another
5	Strong Importance	Experience and judgment strongly favor one element over another
7	Very strong importance	One element is favored very strongly over another, its dominance is demonstrated in practice
9	Extreme importance	The evidence favoring one element over another is of the highest possible order of affirmation

2,4,6,8 can be used to express intermediate values

Fonte: O Autor (2022)

## ANEXO E - PONDERAÇÃO DO ÍNDICE TOPOGRÁFICO DE UMIDADE MÉTODO AHP

**AHP Analytic Hierarchy Process**      n= 6      Input 1

Objective Calcular o nível de relevância dos critérios da camada ÍNDICE TOPOGRÁFICO DE UMIDADE

**Only input data in the light green fields!**

Please compare the importance of the elements in relation to the objective and fill in the table: Which element of each pair is more important, A or B, and how much more on a scale 1-9 or given below.

Once completed, you might adjust highlighted comparisons 1 to 3 to improve.

n	Criteria	Comment	RGMM	+/-
1	0 - 5	Índice topográfico de umidade que varia de 0-5,00	16,7%	
2	5 - 6	Índice topográfico de umidade que varia de 5,01-6,00	16,7%	
3	6 - 8	Índice topográfico de umidade que varia de 6,01-8,00	16,7%	
4	8 - 10	Índice topográfico de umidade que varia de 8,01-10,00	16,7%	
5	10 - 12	Índice topográfico de umidade que varia de 10,01-12,00	16,7%	
6	12 - 19	Índice topográfico de umidade que varia de 12,01-19,00	16,7%	
7				
8				
9		For 9x10 unprotect the input sheets and expand the question section (*+* in row 66)		
10				

Participant 1      1      **α: 0,1**      CR: 0%

Name	Weight	Date	Consistency Ratio

Criteria		more important ?	Scale	
i	i	A or B (1-9)		
1	2	0 - 5	5 - 6 6 - 8 8 - 10 10 - 12 12 - 19	W
1	3			
1	4			
1	5			
1	6			
1	7			
1	8			
2	3	5 - 6	6 - 8 8 - 10 10 - 12 12 - 19	W
2	4			
2	5			
2	6			
2	7			
2	8			
3	4	6 - 8	8 - 10 10 - 12 12 - 19	W
3	5			
3	6			
3	7			
3	8			
4	5	8 - 10	10 - 12 12 - 19	W
4	6			
4	7			
4	8			
5	6	10 - 12	12 - 19	W
5	7			
5	8			
6	7			
6	8			
7	8			

Intensity	Definition	Explanation
1	Equal importance	Two elements contribute equally to the objective
3	Moderate importance	Experience and judgment slightly favor one element over another
5	Strong Importance	Experience and judgment strongly favor one element over another
7	Very strong importance	One element is favored very strongly over another, its dominance is demonstrated in practice
9	Extreme importance	The evidence favoring one element over another is of the highest possible order of affirmation

2,4,6,8 can be used to express intermediate values

Fonte: O Autor (2022)

## ANEXO F - PONDERAÇÃO DO ÍNDICE DE POTÊNCIA DE ESCOAMENTO MÉTODO AHP

Objective: Calcular o nível de relevância dos critérios da camada ÍNDICE DE POTÊNCIA DE ESCOAMENTO  
**Only input data in the light green fields!**

Please compare the importance of the elements in relation to the objective and fill in the table: Which element of each pair is more important, A or B, and how much more on a scale 1-9 as given below.

Once completed, you might adjust highlighted comparisons 1 to 3 to improve.

n	Criteria	Comment	RGMM	+/-
1	0 - 1900	Índice de potência de escoamento que varia de 0 - 1900	12,5%	
2	1900 - 4070	Índice de potência de escoamento que varia de 1900 - 4070	12,5%	
3	4070 - 7040	Índice de potência de escoamento que varia de 4070 - 7040	12,5%	
4	7040 - 11230	Índice de potência de escoamento que varia de 7040 - 11230	12,5%	
5	11230 - 18140	Índice de potência de escoamento que varia de 11230 - 18140	12,5%	
6	18140 - 30980	Índice de potência de escoamento que varia de 18140 - 30980	12,5%	
7	30980 - 62400	Índice de potência de escoamento que varia de 30980 - 62400	12,5%	
8	62400 - 100000	Índice de potência de escoamento que varia de 62400 - 100000	12,5%	
9		for 9&10 unrate at the input sheet and expand the question section. (** in row 66)		
10				

Participant 2		1	α: 0,1	CR: 0%
Name	Weight	Date	Consistency Ratio	
		Criteria	more important ?	Scale
i	j	A	B	or B (1-9)
1	2	0 - 1900	1900 - 4070	
1	3		4070 - 7040	
1	4		7040 - 11230	
1	5		11230 - 18140	
1	6		18140 - 30980	
1	7		30980 - 62400	
1	8		62400 - 100000	
2	3	1900 - 4070	4070 - 7040	
2	4		7040 - 11230	
2	5		11230 - 18140	
2	6		18140 - 30980	
2	7		30980 - 62400	
2	8		62400 - 100000	
3	4	4070 - 7040	7040 - 11230	
3	5		11230 - 18140	
3	6		18140 - 30980	
3	7		30980 - 62400	
3	8		62400 - 100000	
4	5	7040 - 11230	11230 - 18140	
4	6		18140 - 30980	
4	7		30980 - 62400	
4	8		62400 - 100000	
5	6	11230 - 18140	18140 - 30980	
5	7		30980 - 62400	
5	8		62400 - 100000	
6	7	18140 - 30980	30980 - 62400	
6	8		62400 - 100000	
7	8	30980 - 62400	62400 - 100000	

Intensit	Definition	Explanation
1	Equal importance	Two elements contribute equally to the objective
3	Moderate importance	Experience and judgment slightly favor one element over another
5	Strong importance	Experience and judgment strongly favor one element over another
7	Very strong importance	One element is favored very strongly over another, its dominance is demonstrated in practice
9	Extreme importance	The evidence favoring one element over another is of the highest possible order of affirmation

2,4,6,8 can be used to express intermediate values

Fonte: O Autor (2022)

## ANEXO G - PONDERAÇÃO DO ÍNDICE DE TRANSPORTE DE FLUXO MÉTODO AHP

AHP Analytic Hierarchy Process		n- 6	Input 1																																																																																																																								
Objective Calcular o nível de relevância dos critérios da camada ÍNDICE DE TRANSPORTE DE FLUXO		Only input data in the light green fields!																																																																																																																									
Please compare the importance of the elements in relation to the objective and fill in the table: Which element of each pair is more important, A or B, and how much more on a scale 1-9 are given below.																																																																																																																											
Once completed, you might adjust highlighted comparison 1 to 3 to improve.																																																																																																																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Criteria</th> <th>Comment</th> <th>RGM</th> <th>+</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 0 - 105</td> <td>Índice de transporte de fluxo que varia de 0 - 105</td> <td>16,7%</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2 105 - 195</td> <td>Índice de transporte de fluxo que varia de 105 - 195</td> <td>16,7%</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3 195 - 295</td> <td>Índice de transporte de fluxo que varia de 195 - 295</td> <td>16,7%</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4 295 - 415</td> <td>Índice de transporte de fluxo que varia de 295 - 415</td> <td>16,7%</td> <td></td> </tr> <tr> <td>5 415 - 675</td> <td>Índice de transporte de fluxo que varia de 415 - 675</td> <td>16,7%</td> <td></td> </tr> <tr> <td>6 675 - 1000</td> <td>Índice de transporte de fluxo que varia de 675 - 1000</td> <td>16,7%</td> <td></td> </tr> <tr> <td>7</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>8</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>For 9x10 unprotect the input sheets and expand the question section (** in row 66)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>10</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				Criteria	Comment	RGM	+	1 0 - 105	Índice de transporte de fluxo que varia de 0 - 105	16,7%		2 105 - 195	Índice de transporte de fluxo que varia de 105 - 195	16,7%		3 195 - 295	Índice de transporte de fluxo que varia de 195 - 295	16,7%		4 295 - 415	Índice de transporte de fluxo que varia de 295 - 415	16,7%		5 415 - 675	Índice de transporte de fluxo que varia de 415 - 675	16,7%		6 675 - 1000	Índice de transporte de fluxo que varia de 675 - 1000	16,7%		7				8				9	For 9x10 unprotect the input sheets and expand the question section (** in row 66)			10																																																																															
Criteria	Comment	RGM	+																																																																																																																								
1 0 - 105	Índice de transporte de fluxo que varia de 0 - 105	16,7%																																																																																																																									
2 105 - 195	Índice de transporte de fluxo que varia de 105 - 195	16,7%																																																																																																																									
3 195 - 295	Índice de transporte de fluxo que varia de 195 - 295	16,7%																																																																																																																									
4 295 - 415	Índice de transporte de fluxo que varia de 295 - 415	16,7%																																																																																																																									
5 415 - 675	Índice de transporte de fluxo que varia de 415 - 675	16,7%																																																																																																																									
6 675 - 1000	Índice de transporte de fluxo que varia de 675 - 1000	16,7%																																																																																																																									
7																																																																																																																											
8																																																																																																																											
9	For 9x10 unprotect the input sheets and expand the question section (** in row 66)																																																																																																																										
10																																																																																																																											
<table border="1"> <tr> <td>Participant 1</td> <td>1</td> <td>at: 0,1</td> <td>CR: 0%</td> </tr> <tr> <td>Name</td> <td>Weight</td> <td>Date</td> <td>Consistency Ratio</td> </tr> </table>		Participant 1	1	at: 0,1	CR: 0%	Name	Weight	Date	Consistency Ratio	1																																																																																																																	
Participant 1	1	at: 0,1	CR: 0%																																																																																																																								
Name	Weight	Date	Consistency Ratio																																																																																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Criteria</th> <th>more important ?</th> <th>Scale (1-9)</th> </tr> <tr> <th>i</th> <th>A</th> <th>B</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 2</td> <td>0 - 105</td> <td>105 - 195</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1 3</td> <td></td> <td>195 - 295</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1 4</td> <td></td> <td>295 - 415</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1 5</td> <td></td> <td>415 - 675</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1 6</td> <td></td> <td>675 - 1000</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1 7</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1 8</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2 3</td> <td>105 - 195</td> <td>195 - 295</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2 4</td> <td></td> <td>295 - 415</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2 5</td> <td></td> <td>415 - 675</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2 6</td> <td></td> <td>675 - 1000</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2 7</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2 8</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3 4</td> <td>195 - 295</td> <td>295 - 415</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3 5</td> <td></td> <td>415 - 675</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3 6</td> <td></td> <td>675 - 1000</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3 7</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3 8</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>4 5</td> <td>295 - 415</td> <td>415 - 675</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4 6</td> <td></td> <td>675 - 1000</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4 7</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>4 8</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>5 6</td> <td>415 - 675</td> <td>675 - 1000</td> <td></td> </tr> <tr> <td>5 7</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>5 8</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>6 7</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>6 8</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>7 8</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					Criteria	more important ?	Scale (1-9)	i	A	B		1 2	0 - 105	105 - 195		1 3		195 - 295		1 4		295 - 415		1 5		415 - 675		1 6		675 - 1000		1 7				1 8				2 3	105 - 195	195 - 295		2 4		295 - 415		2 5		415 - 675		2 6		675 - 1000		2 7				2 8				3 4	195 - 295	295 - 415		3 5		415 - 675		3 6		675 - 1000		3 7				3 8				4 5	295 - 415	415 - 675		4 6		675 - 1000		4 7				4 8				5 6	415 - 675	675 - 1000		5 7				5 8				6 7				6 8				7 8			
	Criteria	more important ?	Scale (1-9)																																																																																																																								
i	A	B																																																																																																																									
1 2	0 - 105	105 - 195																																																																																																																									
1 3		195 - 295																																																																																																																									
1 4		295 - 415																																																																																																																									
1 5		415 - 675																																																																																																																									
1 6		675 - 1000																																																																																																																									
1 7																																																																																																																											
1 8																																																																																																																											
2 3	105 - 195	195 - 295																																																																																																																									
2 4		295 - 415																																																																																																																									
2 5		415 - 675																																																																																																																									
2 6		675 - 1000																																																																																																																									
2 7																																																																																																																											
2 8																																																																																																																											
3 4	195 - 295	295 - 415																																																																																																																									
3 5		415 - 675																																																																																																																									
3 6		675 - 1000																																																																																																																									
3 7																																																																																																																											
3 8																																																																																																																											
4 5	295 - 415	415 - 675																																																																																																																									
4 6		675 - 1000																																																																																																																									
4 7																																																																																																																											
4 8																																																																																																																											
5 6	415 - 675	675 - 1000																																																																																																																									
5 7																																																																																																																											
5 8																																																																																																																											
6 7																																																																																																																											
6 8																																																																																																																											
7 8																																																																																																																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Intensity</th> <th>Definition</th> <th>Explanation</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Equal importance</td> <td>Two elements contribute equally to the objective</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Moderate importance</td> <td>Experience and judgment slightly favor one element over another</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Strong Importance</td> <td>Experience and judgment strongly favor one element over another</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>Very strong importance</td> <td>One element is favored very strongly over another, its dominance is demonstrated in practice</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>Extreme importance</td> <td>The evidence favoring one element over another is of the highest possible order of affirmation</td> </tr> </tbody> </table>				Intensity	Definition	Explanation	1	Equal importance	Two elements contribute equally to the objective	3	Moderate importance	Experience and judgment slightly favor one element over another	5	Strong Importance	Experience and judgment strongly favor one element over another	7	Very strong importance	One element is favored very strongly over another, its dominance is demonstrated in practice	9	Extreme importance	The evidence favoring one element over another is of the highest possible order of affirmation																																																																																																						
Intensity	Definition	Explanation																																																																																																																									
1	Equal importance	Two elements contribute equally to the objective																																																																																																																									
3	Moderate importance	Experience and judgment slightly favor one element over another																																																																																																																									
5	Strong Importance	Experience and judgment strongly favor one element over another																																																																																																																									
7	Very strong importance	One element is favored very strongly over another, its dominance is demonstrated in practice																																																																																																																									
9	Extreme importance	The evidence favoring one element over another is of the highest possible order of affirmation																																																																																																																									
2,4,6,8 can be used to express intermediate values																																																																																																																											

Fonte: O Autor (2022)

## ANEXO H - PONDERAÇÃO DO USO DO SOLO MÉTODO AHP

**AHP Analytic Hierarchy Process**      n: 6      Input: 1

Objective Calcular o nível de relevância dos critérios da camada USO DO SOLO

**Only input data in the light green fields!**

Please compare the importance of the elements in relation to the objective and fill in the table: Which element of each pair is more important, A or B, and how much more on a scale 1-9 are given below.

Once completed, you might adjust highlighted comparisons 1 to 3 to improve.

Criteria	Comment	RGMM	+/-
1 Floresta	Uma das alas clara Floresta	16,7%	
2 Mangue	Uma das alas clara Mangue	16,7%	
3 Agricultura e Pecuária	Uma das alas clara Agricultura e Pecuária	16,7%	
4 Solo Exposto	Uma das alas clara Solo Exposto	16,7%	
5 Área Urbana	Uma das alas clara Área Urbana	16,7%	
6 Água	Uma das alas clara Água	16,7%	
7			
8			
9			
10	For 9x10 unprotected the input sheets and expand the question section ("+" in row 66)		

Participant 1      1      a.: 0,1      CR: 0,0      1

Name	Weight	Date	Consistency Ratio
			A      B
Criteria      more important ?      Scale			
A      B      or B (1-9)			
1 1	Floresta		
1 2		Mangue	
1 3		Agricultura e Pecuária	
1 4		Solo Exposto	
1 5		Área Urbana	
1 6		Água	
1 7			
1 8			
2 3	Mangue		
2 4		Agricultura e Pecuária	
2 5		Solo Exposto	
2 6		Área Urbana	
2 7		Água	
2 8			
3 4	Agricultura e Pecuária		
3 5		Solo Exposto	
3 6		Área Urbana	
3 7		Água	
3 8			
4 5	Solo Exposto		
4 6		Área Urbana	
4 7		Água	
4 8			
5 6	Área Urbana		
5 7		Água	
5 8			
6 7			
6 8			
7 8			

Intensity	Definition	Explanation
1	Equal importance	Two elements contribute equally to the objective
3	Moderate importance	Experience and judgment slightly favor one element over another
5	Strong Importance	Experience and judgment strongly favor one element over another
7	Very strong importance	One element is favored very strongly over another, its dominance is demonstrated in practice
9	Extreme importance	The evidence favoring one element over another is of the highest possible order of affirmation

2,4,6,8 can be used to express intermediate values

Fonte: O Autor (2022)

## ANEXO I - PONDERAÇÃO DO NDVI MÉTODO AHP

AHP Analytic Hierarchy Process			n= 3	Input 1																																																																																																																								
Objective Calcular o nível de relevância dos critérios da camada NDVI!																																																																																																																												
<b>Only input data in the light green fields!</b>																																																																																																																												
Please compare the importance of the elements in relation to the objective and fill in the table: Which element of each pair is more important, A or B, and how much more on a scale 1-9 as given below.																																																																																																																												
Once completed, you might adjust highlighted comparisons 1 to 3 to improve.																																																																																																																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Criteria</th> <th>Comment</th> <th>RGMV</th> <th> +/-</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 Solo exposto ou agua</td> <td>NDVI≤ 0</td> <td>33,3%</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2 Baixo nível de vegetação</td> <td>NDVI de 0,01 até 0,6</td> <td>33,3%</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3 Alto nível de vegetação</td> <td>NDVI&gt; 0,6</td> <td>33,3%</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>6</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>7</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>8</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>9</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>10</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				Criteria	Comment	RGMV	+/-	1 Solo exposto ou agua	NDVI≤ 0	33,3%		2 Baixo nível de vegetação	NDVI de 0,01 até 0,6	33,3%		3 Alto nível de vegetação	NDVI> 0,6	33,3%		4				5				6				7				8				9				10																																																																																
Criteria	Comment	RGMV	+/-																																																																																																																									
1 Solo exposto ou agua	NDVI≤ 0	33,3%																																																																																																																										
2 Baixo nível de vegetação	NDVI de 0,01 até 0,6	33,3%																																																																																																																										
3 Alto nível de vegetação	NDVI> 0,6	33,3%																																																																																																																										
4																																																																																																																												
5																																																																																																																												
6																																																																																																																												
7																																																																																																																												
8																																																																																																																												
9																																																																																																																												
10																																																																																																																												
for 9x10 unprotected the input sheets and expand the question section ("*" in row 66)																																																																																																																												
Participant 1		1	CR: 0,1	CR: 0%																																																																																																																								
Name	Weight	Date	Consistency Ratio																																																																																																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Criteria</th> <th>more important ?</th> <th>Scale</th> </tr> <tr> <th>i</th> <th>A</th> <th>B</th> <th>or B (1-9)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 2</td> <td>Solo exposto ou agua</td> <td>Baixo nível de</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1 3</td> <td></td> <td>Alto nível de</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1 4</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1 5</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1 6</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1 7</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1 8</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2 3</td> <td>Baixo nível de vegetação</td> <td>Alto nível de</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2 4</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2 5</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2 6</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2 7</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2 8</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3 4</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3 5</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3 6</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3 7</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3 8</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>4 5</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>4 6</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>4 7</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>4 8</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>5 6</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>5 7</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>5 8</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>6 7</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>6 8</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>7 8</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						Criteria	more important ?	Scale	i	A	B	or B (1-9)	1 2	Solo exposto ou agua	Baixo nível de		1 3		Alto nível de		1 4				1 5				1 6				1 7				1 8				2 3	Baixo nível de vegetação	Alto nível de		2 4				2 5				2 6				2 7				2 8				3 4				3 5				3 6				3 7				3 8				4 5				4 6				4 7				4 8				5 6				5 7				5 8				6 7				6 8				7 8			
	Criteria	more important ?	Scale																																																																																																																									
i	A	B	or B (1-9)																																																																																																																									
1 2	Solo exposto ou agua	Baixo nível de																																																																																																																										
1 3		Alto nível de																																																																																																																										
1 4																																																																																																																												
1 5																																																																																																																												
1 6																																																																																																																												
1 7																																																																																																																												
1 8																																																																																																																												
2 3	Baixo nível de vegetação	Alto nível de																																																																																																																										
2 4																																																																																																																												
2 5																																																																																																																												
2 6																																																																																																																												
2 7																																																																																																																												
2 8																																																																																																																												
3 4																																																																																																																												
3 5																																																																																																																												
3 6																																																																																																																												
3 7																																																																																																																												
3 8																																																																																																																												
4 5																																																																																																																												
4 6																																																																																																																												
4 7																																																																																																																												
4 8																																																																																																																												
5 6																																																																																																																												
5 7																																																																																																																												
5 8																																																																																																																												
6 7																																																																																																																												
6 8																																																																																																																												
7 8																																																																																																																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Intensit</th> <th>Definition</th> <th>Explanation</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Equal importance</td> <td>Two elements contribute equally to the objective</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Moderate importance</td> <td>Experience and judgment slightly favor one element over another</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Strong Importance</td> <td>Experience and judgment strongly favor one element over another</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>Very strong importance</td> <td>One element is favored very strongly over another, its dominance is demonstrated in practice</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>Extreme importance</td> <td>The evidence favoring one element over another is of the highest possible order of affirmation</td> </tr> </tbody> </table>					Intensit	Definition	Explanation	1	Equal importance	Two elements contribute equally to the objective	3	Moderate importance	Experience and judgment slightly favor one element over another	5	Strong Importance	Experience and judgment strongly favor one element over another	7	Very strong importance	One element is favored very strongly over another, its dominance is demonstrated in practice	9	Extreme importance	The evidence favoring one element over another is of the highest possible order of affirmation																																																																																																						
Intensit	Definition	Explanation																																																																																																																										
1	Equal importance	Two elements contribute equally to the objective																																																																																																																										
3	Moderate importance	Experience and judgment slightly favor one element over another																																																																																																																										
5	Strong Importance	Experience and judgment strongly favor one element over another																																																																																																																										
7	Very strong importance	One element is favored very strongly over another, its dominance is demonstrated in practice																																																																																																																										
9	Extreme importance	The evidence favoring one element over another is of the highest possible order of affirmation																																																																																																																										
2,4,6,8 can be used to express intermediate values																																																																																																																												

Fonte: O Autor (2022)

## ANEXO J - PONDERAÇÃO DA DISTÂNCIA DOS RIOS MÉTODO AHP

**AHP Analytic Hierarchy Process**      n: 5      Input: 1

Objective Calcular o nível de relevância dos critérios da camada DISTÂNCIA DOS RIOS

**Only input data in the light green fields!**

Please compare the importance of the elements in relation to the objective and fill in the table: Which element of each pair is more important, A or B, and how much more on a scale 1-9 are given below.

Once completed, you might adjust highlighted comparisons 1 to 3 to improve.

Criteria	Comment	RGMM	+/-
1 0 - 20	Distância da ria de 0 - 20 metros	20,0%	
2 20 - 40	Distância da ria de 20,01 - 40 metros	20,0%	
3 40 - 60	Distância da ria de 40,01 - 60 metros	20,0%	
4 60 - 80	Distância da ria de 60,01 - 80 metros	20,0%	
5 80 - 100	Distância da ria de 80,01 - 100 metros	20,0%	
6			
7			
8			
9			
10	For 9x10 unprotected the input sheets and expand the question section ("+" in row 66)		

Participant 1      1      a.: 0,1      CR: 0%

Name	Weight	Date	Consistency Ratio

		Criteria	more important ?	Scale
i	i	A	B	or B (1-9)
1	2	0 - 20	20 - 40	
1	3		40 - 60	
1	4		60 - 80	
1	5		80 - 100	
1	6			
1	7			
1	8			
2	3	20 - 40	40 - 60	
2	4		60 - 80	
2	5		80 - 100	
2	6			
2	7			
2	8			
3	4	40 - 60	60 - 80	
3	5		80 - 100	
3	6			
3	7			
3	8			
4	5	60 - 80	80 - 100	
4	6			
4	7			
4	8			
5	6			
5	7			
5	8			
6	7			
6	8			
7	8			

A      B

Intensity	Definition	Explanation
1	Equal importance	Two elements contribute equally to the objective
3	Moderate importance	Experience and judgment slightly favor one element over another
5	Strong importance	Experience and judgment strongly favor one element over another
7	Very strong importance	One element is favored very strongly over another, its dominance is demonstrated in practice
9	Extreme importance	The evidence favoring one element over another is of the highest possible order of affirmation

2,4,6,8 can be used to express intermediate values

Fonte: O Autor (2022)

## ANEXO K - PONDERAÇÃO DOS CRITÉRIOS MÉTODO AHP

Fonte: O Autor (2022)



**ENGJ43 - TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II**  
**FICHA DE AVALIAÇÃO**

ALUNO: Pedro Henrique Batista Lyrio	
TÍTULO: Modelagem espacial multicritério para a definição de áreas suscetíveis a inundações. Estudo de caso: Bacia do Rio Cachoeira - BA	
ORIENTADOR(A):	Fabiano Peixoto Freiman
PROFESSOR(A) 1:	Suzana Daniela Rocha Santos e Silva
PROFESSOR(A) 2:	Jorge Felipe Euriques

**Avaliação da Banca**

	ORIENTADOR	PROFESSOR 1	PROFESSOR 2
Conceito por avaliador	APROVADO	APROVADO	APROVADO

Conceito final da banca: (  ) APROVADO(A) (  ) REPROVADO(A) (  ) Aprovação condicionada ao atendimento das observações

Correções necessárias: (  ) Não (  ) Sim – Prazo: **12 dias**

Salvador, 22 de JUNHO de 2022,

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** FABIANO PEIXOTO FREIMAN  
Data: 22/06/2022 10:41:46-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

---

FABIANO PEIXOTO FREIMAN – (UFBA)

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** SUZANA DANIELA ROCHA SANTOS E SILVA  
Data: 22/06/2022 10:23:42-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

---

SUZANA DANIELA ROCHA SANTOS E SILVA – (UFBA)

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** JORGE FELIPE EURIQUES  
Data: 22/06/2022 10:37:50-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

---

JORGE FELIPE EURIQUES – (UFRRJ)