



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Instituto de Geografia

Paulo Walter Freire do Nascimento

**Análise da vulnerabilidade ambiental à inundação na bacia hidrográfica do
rio Grande, Baixada de Jacarepaguá (RJ)**

Rio de Janeiro

2020

Paulo Walter Freire do Nascimento

**Análise da vulnerabilidade ambiental à inundação na bacia hidrográfica do rio Grande,
Baixada de Jacarepaguá (RJ)**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Gestão e Estruturação do Espaço Geográfico.

Orientador (a): Prof^ª. Dra. Vivian Castilho da Costa

Rio de Janeiro

2020

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/C

N244 Nascimento, Paulo Walter Freire do.
Análise da vulnerabilidade ambiental à inundação na bacia hidrográfica do rio Grande, Baixada de Jacarepaguá (RJ) / Paulo Walter Freire do Nascimento. – 2020.

155 f. : il.

Orientador: Vivian Castilho da Costa.

Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Geografia.

1. Inundações – Baixada de Jacarepaguá (Rio de Janeiro, RJ) – Teses. 2. Bacias hidrográficas urbanas – Baixada de Jacarepaguá (Rio de Janeiro, RJ) – Teses. 3. Uso e ocupação do solo – Baixada de Jacarepaguá (Rio de Janeiro, RJ) – Teses. 4. Geografia Humana – Baixada de Jacarepaguá (Rio de Janeiro, RJ) – Teses. 5. Grande, Rio, Bacia do (RJ) – Baixada de Jacarepaguá (Rio de Janeiro, RJ) – Teses. 6. Meio ambiente – Vulnerabilidade social – Teses. I. Costa, Vivian Castilho da. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Instituto de Geografia. III. Título.

CDU 556.166 (815.3)

Bibliotecária responsável: Fernanda Lobo / CRB-7:5265

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Paulo Walter Freire do Nascimento

**Análise da vulnerabilidade ambiental à inundação na bacia hidrográfica do rio Grande,
Baixada de Jacarepaguá (RJ)**

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Gestão e Estruturação do Espaço Geográfico.

Aprovada em 07 de Abril de 2020

Banca Examinadora:

Prof.^a Dra. Vivian Castilho da Costa (Orientadora)

Instituto de Geografia – UERJ

Prof. Dr. Alexander Josef Sá Tobias da Costa

Instituto de Geografia – UERJ

Prof.^a Pós-Dra. Regina Paula Benedetto de Carvalho

Universidade Federal de Minas Gerais

Rio de Janeiro

2020

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, tenho que agradecer a Deus por me guiar, me iluminar e me proteger. Em meio a tantas lutas, sempre está comigo e não me abandona. Nada disso seria possível sem sua força e proteção.

Agradeço às duas mulheres da minha vida, minha irmã, Penha Feitoza, e minha mãe, Beth Freire, pelo apoio e estímulo. São meus maiores exemplos de força, amor e luta. Obrigado por estarem sempre do meu lado nos momentos difíceis e me ensinarem a ter paciência.

À minha orientadora Prof.^a Vivian Costa, por ter me dado a oportunidade de ser seu orientando e acreditar no meu potencial para desenvolvimento desta pesquisa. Estamos juntos nesta caminhada desde a época da Graduação, quando eu era seu bolsista CNPq. Sou extremamente grato por todos os conselhos e ensinamentos ao longo desses anos.

À Prof.^a Regina Benedetto, a quem sou muito grato pelos ensinamentos, conselhos transmitidos e por todos os outros momentos de cooperação ao longo da minha vida acadêmica. Agradeço também por suas contribuições durante o exame de qualificação que foram muito importantes para finalizar a dissertação.

Aos Professores Alexander Costa e Marta Foeppe, que durante suas aulas na Pós-graduação, abordaram questões que esclareceram algumas das minhas dúvidas e contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa. Em especial, agradeço ao Professor Alexander Costa por aceitar o convite de participar da banca de exame de qualificação, na qual suas dicas e conselhos foram essenciais para finalizar esta pesquisa.

Ao grande amigo que fiz durante o Mestrado, Henrique Carvalho, que em alguns momentos difíceis esteve do meu lado, me apoiando e dando conselhos valiosos.

Ao Ricardo Malta, colega de consultoria, pessoa incrível e generosa, que tanto me ensinou e esteve presente durante a fase final da pesquisa, principalmente, dando contribuições e se mostrando disposto a me ajudar nas atividades de campo.

À minha amiga Luana Oliveira, por sempre colocar na minha cabeça de que sou capaz e que eu iria conseguir. As frases de motivação que me falava foram essenciais pra eu seguir adiante na pesquisa.

A todos, o meu muito obrigado!

Cabe ao homem compreender que o solo fértil onde tudo que se planta dá, pode secar. Que o chão que dá frutos e flores pode dar ervas daninhas. Que a caça se dispersa e a terra da fartura pode se transformar na terra da penúria e da destruição. O homem precisa entender que de sua boa convivência com a natureza depende sua subsistência e que a destruição da natureza é sua própria destruição, pois a sua essência é a natureza, a sua origem e o seu fim.

Elizabeth Jhin

RESUMO

NASCIMENTO. Paulo Walter Freire do. *Análise da vulnerabilidade ambiental à inundação na bacia hidrográfica do rio Grande, Baixada de Jacarepaguá (RJ)*. 2020. 155 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

Desde a década 70, esta bacia hidrográfica do rio Grande vem sofrendo alterações ambientais devido à incorporação da Baixada de Jacarepaguá a zona de expansão municipal do Rio de Janeiro. Com isso, o processo de ocupação desordenada tem gerado o desmatamento das florestas, a impermeabilização dos solos, as intervenções nos canais fluviais, a degradação dos ecossistemas e, sobretudo, o crescimento das ocupações irregulares nas margens dos rios, que configuram impactos negativos e incrementam as inundações, tornando-as potencialmente mais perigosas a essas populações. O objetivo do presente estudo é analisar a vulnerabilidade ambiental a inundações urbanas na bacia hidrográfica do rio Grande, possibilitando subsidiar a tomada de decisão por parte dos órgãos gestores a fim de proporcionar políticas públicas adequadas na tentativa de reduzir a vulnerabilidade e aumentar a resiliência da população residente da bacia hidrográfica. No presente trabalho foi utilizado o método de Análise Multicritério passível de integração em ambiente SIG denominado AHP (Analytic Hierarchy Process), no qual permitiu comparar diferentes alternativas, fundamentada em vários critérios para definir o grau de pertinência das variáveis (pesos) e suas respectivas classes (notas). Neste sentido, a metodologia foi dividida em três partes: construção do mapa de suscetibilidade a inundação; elaboração do mapa de vulnerabilidade social; e, por último, elaboração do mapa síntese de vulnerabilidade ambiental através dos mapas anteriores. A partir do resultado do mapeamento da vulnerabilidade ambiental, pode-se identificar o seguinte padrão espacial na distribuição das classes na Unidade Hidrográfica de Planejamento (UHP) do rio Grande: a classe de baixíssima vulnerabilidade ambiental se encontra em área com a população de maior renda da UHP ou áreas de vazios demográficos, sejam em áreas extremamente suscetíveis ou não às inundações; a classe de baixa vulnerabilidade se encontra a população com um dos melhores indicadores sociais, que em grande parte ocupam áreas de média a altíssima suscetibilidade; a de média vulnerabilidade se encontra espalhada na porção central da UHP, onde os terrenos podem ser de média a altíssima suscetibilidade; as classes de alta e altíssima vulnerabilidade possuem os piores indicadores sociais e se encontra, principalmente, em áreas de alta a altíssima suscetibilidade, com a exceção das favelas que ocupam as áreas de encostas. Ao avaliar por bairros, concluiu-se que os bairros da Freguesia, Pechincha, Jacarepaguá e Taquara possuem os melhores índices de vulnerabilidade ambiental. Já os bairros Cidade de Deus, Gardênia Azul, Tanque, Praça Seca, Realengo e Sulacap apresentam os piores índices de vulnerabilidade.

Palavras-chave: Inundação. Vulnerabilidade. AHP. Bacia hidrográfica.

ABSTRACT

NASCIMENTO. Paulo Walter Freire do. *Analysis of Environmental Vulnerability in the watershed of the Rio Grande, Baixada de Jacarepaguá (RJ)*. 2020. 155 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

Since the 1970s, this watershed of the Rio Grande has undergone environmental changes due to the incorporation of the Baixada de Jacarepaguá into the municipal expansion zone. As a result, the disorderly occupation process has led to the deforestation of forests, the waterproofing of soils, interventions in river channels, the degradation of ecosystems and, above all, the growth of irregular occupations on the banks of rivers, which have a negative impact and increase floods, making them potentially more dangerous to these populations. The objective of the present study is to analyze the environmental vulnerability to urban flooding in the Rio Grande hydrographic basin, making it possible to subsidize decision-making by the management bodies in order to provide adequate public policies in an attempt to reduce vulnerability and increase the population's resilience of the river basin resident. In the present work, the Multicriteria Analysis method capable of integration in a GIS environment called AHP (Analytic Hierarchy Process) was used, in which it was possible to compare different alternatives to define the degree of relevance of the variables (weights) and their respective classes (notes). For this, the methodology was divided into three parts: construction of the flood susceptibility map; elaboration of the social vulnerability map; and, finally, elaboration of the synthesis map of environmental vulnerability. From the result of the mapping of environmental vulnerability, the following spatial pattern can be identified in the distribution of classes in the Rio Grande Hydrographic Planning Unit (UHP): the class of very low environmental vulnerability is found in an area with the highest income population UHP or areas of demographic voids, whether in areas that are extremely susceptible or not to flooding; the class of low vulnerability is the population with one of the best social indicators, which largely occupy areas of medium to very high susceptibility; that of medium vulnerability is spread across the central portion of the UHP, where the land can be of medium to very high susceptibility; the classes of high and very high vulnerability have the worst social indicators and are found mainly in areas of high to very high susceptibility, with the exception of the slums that occupy the hillside areas. When assessing by neighborhood, he concluded that the neighborhood of Freguesia, Pechincha, Jacarepaguá and Taquara have the best levels of environmental vulnerability. The Cidade de Deus, Gardênia Azul, Tanque, Praça Seca, Realengo and Sulacap neighborhoods had the worst vulnerability rates.

Keywords: Flood. Vulnerability. AHP. Watershed.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Localização da bacia do rio Grande na Baixada de Jacarepaguá.....	23
Figura 2 -	Falhas/fraturamentos e unidades geológicas da bacia do rio Grande.....	27
Figura 3 -	Mapa de Compartimentação geomorfológica da bacia do rio Grande.....	29
Figura 4 -	Rede Hidrográfica da bacia do rio Grande.....	32
Figura 5 -	Tipos de solos da bacia do rio Grande.....	34
Figura 6 -	Uso e Cobertura da terra de 2016 da bacia do rio Grande.....	42
Figura 7 -	Bairros localizados na bacia do rio Grande.....	45
Figura 8 -	Canalização do rio Pechincha (afluente do rio Grande).....	48
Figura 9 -	Canalização do rio Pechincha (afluente do rio Grande).....	48
Figura 10 -	Monitoria Ambiental (Simples) da Área Urbana entre 2010 e 2016 da bacia do rio Grande.....	49
Figura 11 -	Representação de uma bacia hidrográfica.....	51
Figura 12 -	Representação dos tipos de leitos fluviais ou planícies de inundação.....	55
Figura 13 -	Perfil esquemático do processo de enchente e inundação.....	57
Figura 14 -	Esquema representativo de ocupação do leito maior de um rio.....	58
Figura 15 -	Esquema representativo de modificação e ocupação da planície de inundação de um rio.....	60
Figura 16 -	Desastre é resultado de um evento adverso que ocorre sobre um cenário vulnerável.....	62
Figura 17 -	Diagrama de análise da relação entre Perigo, Exposição e Vulnerabilidade como elementos de interseção do desastre.....	63
Figura 18 -	Modelo de vulnerabilidade “hazards of place” – Perigos do Lugar.....	65
Figura 19 -	Parâmetros da vulnerabilidade ambiental.....	68
Figura 20 -	Representação do Método AHP.....	72
Figura 21 -	Exemplo de modelo de estruturação hierárquica.....	73
Figura 22 -	Representação esquemática do procedimento metodológico de padronização dos setores censitários ao limite das bacias hidrográficas.	82
Figura 23 -	Padronização dos setores censitários à UHP do rio Grande.....	83
Figura 24 -	Fluxograma para elaboração do mapa de suscetibilidade a inundação....	84
Figura 25 -	Fluxograma com etapas da elaboração da vulnerabilidade social	

	(Primeira fase).....	93
Figura 26 -	Mapa do fator escolaridade/gênero da UHP rio Grande.....	99
Figura 27 -	Mapa do fator renda/gênero da UHP rio Grande.....	101
Figura 28 -	Mapa fator saneamento ambiental da UHP rio Grande.....	103
Figura 29 -	Fluxograma com etapas da elaboração da vulnerabilidade social (Segunda fase).....	104
Figura 30 -	Mapa dos pontos visitados em campo.....	107
Figura 31 -	Mapa das localidades visitadas nos trabalhos de campo.....	108
Figura 32 -	Mapa de suscetibilidade a inundação da UHP do rio Grande.....	111
Figura 33 -	Registros de inundação da Fundação Rio-Águas situados no bairro da Taquara.....	114
Figura 34 -	Mapa de Vulnerabilidade social da UHP do rio Grande.....	116
Figura 35 -	Mapa de vulnerabilidade ambiental da UHP do rio Grande.....	121
Figura 36 -	Condomínios de casas e casas luxuosas na Estrada do Pau-Ferro, Freguesia.....	125
Figura 37 -	Rua Araguaia na parte central do bairro Freguesia.....	126
Figura 38 -	Prédio de escritórios na Rua Tirol.....	126
Figura 39 -	Condomínio vertical fechado próximo ao rio Banca da Velha e condomínio em construção, ambos no bairro Pechincha.....	127
Figura 40 -	Comunidade Santa Maria, no bairro de Jacarepaguá, ocupação das margens do rio Pequeno e lançamento de esgoto no rio.....	129
Figura 41 -	Comunidade Monte da Paz no bairro de Jacarepaguá.....	130
Figura 42 -	Centro de Visitação da Sede do Pau-da-Fome (PEPB).....	130
Figura 43 -	Condomínio Vila do Pan, terrenos embrejados e foz do rio Grande.....	131
Figura 44 -	Condomínio de classe média, despejo irregular de lixo nas margens dos rios Grande e Pequeno e Comunidade N. Sra. de Fátima.....	132
Figura 45 -	Condomínios e casas de classe média em áreas de baixa e baixíssima vulnerabilidade, acesso a Vila Santa Mônica e despejo de lixo e esgoto diretamente no rio Grande em área de altíssima vulnerabilidade.....	133
Figura 46 -	Área de baixa vulnerabilidade representa por casas de classe média, ocupação das margens pela população de baixa renda com edifícios residenciais ao fundo e solapamento do asfalto.....	134
Figura 47 -	Edifícios residenciais e barracos às margens do rio Grande, Fábrica da	

	P&G e condomínio de classe média próximo ao rio.....	135
Figura 48 -	Acesso a comunidade Renascer, rio Covanca descoberto e canalizado e edifícios residenciais na Av. Geremário Dantas.....	136
Figura 49 -	Edifício residencial de classe média, próximo ao rio Tindiba, na Rua Florianópolis, moradias na Rua Albano, lixo despejado na margem do rio Tindiba (Rua Albano), Comunidade da Chacrinha próxima à estação IPASE e uma das dezenas de lojas que estão fechadas na Av. Cândido Benício.....	138
Figura 50 -	Moradias na Rua do Canal, bairro Gardênia Azul; despejo de lixo no Canal; ocupação das margens por barracas; lançamento de esgoto diretamente no Canal e barracas ao longo do Canal.....	140
Figura 51 -	Barracos e casas de alvenaria às margens do rio Grande e Conjunto Habitacional localizado na Estrada do Gabinal próximo ao acesso a Linha Amarela.....	141

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 -	Classes de uso e cobertura da terra (2016) da bacia do rio Grande.....	87
Quadro 2 -	Classificação da declividade do terreno.....	88
Quadro 3 -	Variáveis para construção do Índice Sintético de Vulnerabilidade Social.....	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Área de abrangência e porcentagem das classes pedológicas nas bacias do Rio Grande.....	33
Tabela 2 -	Média mensal total das chuvas entre os anos de 2011 e 2016 (mm/mês) nas estações localizadas na bacia do rio Grande.....	38
Tabela 3 -	Percentual das classes de uso e cobertura da terra da bacia do rio Grande...	40
Tabela 4 -	População residente segundo a Área de Planejamento (3, 4 e 5), Regiões Administrativas e Bairros inseridos parcial ou totalmente dentro dos limites da bacia do rio Grande - Município do Rio de Janeiro - 2000/2010.	47
Tabela 5 -	Escala fundamental de Saaty.....	74
Tabela 6 -	Escala de valores AHP para comparação pareada.....	89
Tabela 7 -	Escala relativa de importância entre as variáveis físico-ambientais.....	90
Tabela 8 -	Relação percentual dos pesos entre as variáveis.....	90
Tabela 9 -	Síntese dos critérios para elaboração da suscetibilidade a inundações.....	91
Tabela 10 -	Pesos atribuídos às variáveis do fator escolaridade/gênero.....	98
Tabela 11 -	Pesos atribuídos às variáveis do fator renda/gênero.....	100
Tabela 12 -	Peso atribuído às variáveis do fator saneamento ambiental.....	102
Tabela 13 -	Matriz de comparação pareada.....	105
Tabela 14 -	Pesos dos fatores obtidos pela AHP.....	106
Tabela 15 -	Percentual das classes de suscetibilidade.....	112
Tabela 16 -	Percentual das classes de vulnerabilidade social.....	115
Tabela 17 -	Percentual das classes de Vulnerabilidade Ambiental.....	120

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP	Analytic Hierarchy Process
AP	Área de Planejamento
APP	Área de Preservação Permanente
CEDAE	Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Naturais
DNOS	Departamento Nacional de Obras de Saneamento
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ESRI	Environmental Systems Research Institute
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
FMP	Faixa Marginal de Proteção
IC	Índice de Consistência
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
IPP	Instituto Pereira Passos
LAGEPRO	Laboratório de Geoprocessamento
MDT	Modelo Digital de Terreno
PEPB	Parque Estadual da Pedra Branca
PNT	Parque Nacional da Tijuca
PUB-RIO	Plano Urbanístico Básico do Rio de Janeiro
RA	Região Administrativa
RC	Razão de Consistência
SAGA	Sistema de Análise Geo-Ambiental
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SMAC	Secretaria Municipal de Meio Ambiente
SUDEBAR	Superintendência de Desenvolvimento da Barra da Tijuca
UC	Unidade de Conservação
UHP	Unidade Hidrográfica de Planejamento
USGS	Serviço Geológico dos Estados Unidos
UTM	Universal Transversa de Mercator

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	15
1	ÁREA DE ESTUDO	21
1.1	Localização	21
1.2	Caracterização da Bacia do Rio Grande: Fatores físico-ambientais	24
1.2.1	<u>A influência da geologia no modelado da bacia do rio Grande</u>	24
1.2.2	<u>Geomorfologia e hidrografia</u>	28
1.2.3	<u>Pedologia</u>	33
1.2.4	<u>Clima</u>	37
1.2.5	<u>Cobertura vegetal e uso da terra (mudanças)</u>	39
1.2.5.1	Histórico da ocupação.....	43
2	MARCOS TEÓRICOS E CONCEITUAIS	50
2.1	Bacia Hidrográfica como Unidade de Planejamento	50
2.2	Enchentes e Inundações	55
2.3	Conceitos de Risco e Vulnerabilidade	60
2.3.1	<u>Risco</u>	60
2.3.2	<u>Vulnerabilidade (Ambiental)</u>	64
2.4	Geoprocessamento aplicado a Análise Multicritérios da Vulnerabilidade Ambiental	69
2.4.1	<u>O procedimento de Análise Multicritérios</u>	69
2.4.1.1	O Método de Análise Hierárquica de Pesos (AHP).....	71
3	MATERIAIS E MÉTODOS	77
3.1	Levantamento bibliográfico	77
3.2	Levantamento de bases cartográficas	77
3.2.1	<u>Dados Físico-Ambientais (Vetoriais)</u>	78
3.2.2	<u>Dados Matriciais</u>	79
3.2.3	<u>Dados Socioeconômicos</u>	79
3.2.4	<u>Etapa de Pré-Processamento dos dados</u>	79
3.2.4.1	Etapa de Geração do Modelo Digital Hidrologicamente Consistente (MDT-HC).....	80
3.2.4.2	Etapa de Delimitação da Unidade Hidrográfica de Planejamento (UHP).....	81

3.2.5	<u>Etapa de Seleção das Variáveis da Suscetibilidade a Inundação</u>	84
3.2.5.1	Elaboração dos Mapas de Fatores e Atribuição das Notas por Análise Multicritério.....	85
3.2.5.2	Definição dos Pesos das Variáveis Ambientais pelo Método AHP.....	89
3.2.6	<u>Etapa de Seleção das Variáveis de Vulnerabilidade Social</u>	92
3.2.6.1	Etapa de Elaboração dos Mapas de Fatores a partir de Dados do Censo Demográfico de 2010.....	96
3.2.6.2	Definição dos Pesos dos Fatores de Vulnerabilidade Social pelo Método AHP.....	104
3.2.7	<u>Etapa de Elaboração do Mapa de Vulnerabilidade Ambiental</u>	106
3.3	Trabalho de Campo	107
4	RESULTADOS	110
4.1	Mapa de Suscetibilidade a inundação	110
4.2	Mapa de Vulnerabilidade Social	115
4.3	Mapa de Vulnerabilidade Ambiental	119
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	142
	REFERÊNCIAS	146

INTRODUÇÃO

No Brasil e no mundo, sobretudo, nos países em desenvolvimento, o rápido e intenso processo de urbanização fez com que as cidades recebessem um grande contingente populacional, o que representou um desafio para as sociedades e gestores no sentido de garantir a todos os cidadãos o direito à habitação, infraestrutura de saneamento e qualidade de vida. Os efeitos da falta de planejamento e ineficiência dos órgãos gestores são expressos na paisagem urbana a partir dos vários impactos ambientais gerados, tais como: desmatamento das encostas, poluição de rios e lagoas, degradação dos ecossistemas locais, impermeabilizações, entre outros.

Além dos impactos ambientais gerados pelo processo de urbanização, o desenvolvimento das cidades brasileiras ocorreu de maneira extremamente desigual, pois problemas como a especulação imobiliária dificultaram o acesso a terra por parte da população mais pobre, restando-a como única alternativa ocupar de forma irregular e locais de grande fragilidade ambiental, como as encostas íngremes e as margens de rios e lagoas, fato recorrente nas grandes cidades brasileiras.

As consequências ambientais decorrentes da forma como ocorreu o processo de urbanização vão muito além dos impactos a respeito do desmatamento das florestas e da degradação dos ecossistemas locais, pois também altera a dinâmica do ciclo hidrológico que se repercute no aumento das áreas de risco a eventos extremos causados pela intensificação e encadeamento de processos erosivos e hidrológicos, tais como movimentos de massa, enchentes e inundações (MENDONÇA, 2004; RIBEIRO, 2013, CARVALHO, 2017).

Os impactos decorrentes dos desastres naturais têm aumentado ultimamente e decorrem, entre outros, da combinação de efeitos relacionados a fatores econômicos, sociais, demográficos e tecnológicos. Os processos de produção que caracterizam a modernidade, principalmente, a indústria e agropecuária associada ao processo de urbanização cada vez mais intenso, têm potencializado os desastres, as catástrofes, os riscos e as vulnerabilidades (MENDONÇA, 2004).

As inundações, por exemplo, são fenômenos naturais, que ocorrem em função da combinação da intensidade e distribuição da precipitação, das características pedológicas do solo, da cobertura vegetal, das formas de relevo e das características da rede de drenagem da bacia hidrográfica (AMARAL e RIBEIRO, 2009). Contudo, as mudanças significativas nas formas de uso e ocupação da terra nas cidades, onde a retirada quase que total da cobertura

vegetal para inserção de ações antrópicas como canalizações, impermeabilização, pavimentação, aterros e edificações reduzem consideravelmente a infiltração de água nos solos, fazendo com que haja cada vez menos retenção de água nas bacias hidrográficas e maior tendência ao aumento da frequência e magnitude das inundações (BOTELHO, 2011). Segundo a Pesquisa de Informações Básicas Municipais (MUNIC), realizada pelo IBGE em 2002, mostra que no Brasil os maiores desastres relacionam-se a inundações, escorregamentos e erosão (IBGE, 2002). No caso dos municípios com problemas de inundação, aproximadamente 25% atribuíram o fato a degradação de áreas protegidas e a ocupação irregular de áreas frágeis e 30% ao desmatamento.

De acordo com Pimentel da Silva *et. al* (2010), a dimensão da antropização e o grau de degradação ambiental em uma bacia hidrográfica, por exemplo, podem ser avaliadas por meio de indicadores sociais e ambientais por meio das respostas coletadas no censo do IBGE. A integração das questões referentes ao grau de analfabetismo, densidade demográfica, renda, abastecimento de água, lançamento e tratamento de efluentes e resíduos sólidos com as informações sobre as características físicas podem definir vulnerabilidades a problemas hídricos, como as inundações, além de subsidiar e nortear políticas públicas que visem à melhoria da qualidade de vida da população afetada e garantia de um desenvolvimento sustentável.

Diante do contexto descrito, a bacia hidrográfica do rio Grande, localizada na Baixada de Jacarepaguá, na cidade do Rio de Janeiro, não foge a regra, destacando-se como um exemplo de ambiente que vem sendo rapidamente alterado pela urbanização. Desde a década 70, esta bacia vem sofrendo alterações ambientais devido à incorporação da Baixada de Jacarepaguá a zona de expansão municipal. Com isso, o processo de ocupação desordenada tem gerado o desmatamento das florestas, a impermeabilização dos solos, as intervenções nos canais fluviais, a degradação dos ecossistemas e o crescimento das ocupações irregulares nas margens dos rios e lagoas, que configuram impactos negativos e incrementam as inundações, tornando-as potencialmente mais perigosas.

Mesmo com a tentativa de garantir a função ambiental e evitar que áreas potenciais, diz-se suscetíveis, se transformem em áreas de risco, a Lei 12.651/2012, denominada “Novo Código Florestal Brasileiro”, prevê a existência de áreas de preservação permanente ao longo de rios, lagos e lagoas, em encostas íngremes e topos de morro, chamadas de Áreas de Preservação Permanente (APP). Essas áreas, em grande maioria, naturalmente mais suscetíveis a processos como inundações e escorregamentos, estão protegidas legalmente, inclusive em áreas urbanas. Sobrepõe às APPs de margem de rios, as chamadas Faixas

Marginais de Proteção (FMP), que se trata de um tipo específico de APP, cujo objetivo é proteger os corpos hídricos da ocupação irregular de suas margens, possibilitando a manutenção de uma área que permita a variação livre dos níveis de água, garanta a permeabilidade do solo nas margens e evite a erosão e o desmoronamento das mesmas (INEA, 2010).

Contudo, é importante lembrar que mesmo com a existência destes instrumentos reguladores, a ausência de fiscalização da ocupação e dos usos dos solos na bacia do rio Grande aliada à distribuição de renda extremamente desigual produziram espaços segregados totalmente degradados em que parcela significativa da população pobre foi obrigada a viver, como, por exemplo, em áreas de risco a inundações e encostas íngremes com risco de deslizamentos (CARVALHO, 2013).

Segundo Cerri (1999, p. 154), para que exista uma situação de risco “é necessário que haja a possibilidade de ocorrência de um determinado processo em certo local, bem como que tal ocorrência possa resultar em perdas e danos ao homem”. Nas áreas urbanas onde há concentração populacional, a preocupação com riscos ambientais é maior, isso porque a ocupação humana desordenada não só expõe mais a população como também porque essa ocupação intensifica fenômenos até então de caráter somente natural.

Não se pode falar em risco sem citar os conceitos relacionados de vulnerabilidade e suscetibilidade, pois o risco é a situação onde pessoas e/ou o meio ambiente vulnerável está exposto à suscetibilidade de ocorrência do dano ou do evento prejudicial (GIRAO *et. al*, 2018). Dessa maneira, a vulnerabilidade ambiental, objeto da presente pesquisa, vai além de entender a dinâmica natural, buscando não só compreender as condições físicas que tornam determinado espaço suscetível à ocorrência de um evento natural, mas também, buscando compreender como a sociedade reage ao evento natural potencializado por suas mudanças. Neste sentido, a suscetibilidade pode ser definida a partir das características naturais da área, ou ser somada a fatores de ocupação em que a ação humana intensifica a suscetibilidade, pois ao impermeabilizar o solo, por exemplo, o homem pode contribuir significativamente para uma alteração na dinâmica hídrica natural (BRUBACHER, 2013).

Desta forma, partindo do princípio de que, as condições ambientais associadas às formas de organização do território são condicionantes da vulnerabilidade, a presente pesquisa busca responder as seguintes questões: Onde estão as áreas mais suscetíveis a inundações? Quem são os mais vulneráveis? Onde estão os mais vulneráveis? Quais fatores influenciam e produzem vulnerabilidade/ suscetibilidade? Há coincidência entre os espaços mais suscetíveis a inundações e a população mais vulnerável? Em suma, essas perguntas são

importantes, pois permitem localizar e avaliar as características da população exposta a um determinado processo perigoso.

Nessa direção, a escolha da bacia hidrográfica do rio Grande para o presente estudo justifica-se por estar numa área que apresentou grande crescimento populacional nas últimas décadas, resultante da intensificação do processo de expansão urbana como foi detectado pelos resultados obtidos pela análise do potencial de infiltração relativo, tema do trabalho monográfico realizado na mesma bacia, onde se levou em conta o papel da variável uso e cobertura da terra e as consequências das mudanças ambientais no processo de infiltração (NASCIMENTO, 2016; NASCIMENTO *et al*, 2017; CARVALHO, 2017). Neste sentido, o presente trabalho buscou dar continuidade aos estudos realizados anteriormente na mesma área de estudo, aprofundando e ampliando a visão a respeito das consequências das mudanças ambientais que interferem nos processos hidrológicos, como é o caso das inundações. É importante ressaltar que a partir de monitorias ambientais realizadas entre os anos de 2010 e 2016, aferiu-se que o crescimento urbano na bacia do rio Grande continua a ocorrer em direção às áreas extremamente frágeis, que podem potencializar ainda mais as inundações com a ocupação dessas áreas (NASCIMENTO, 2016).

Outra razão da escolha desta bacia como área de estudo ocorreu devido a constatação de que apesar do crescimento desordenado da população, a bacia do rio Grande ainda resguarda uma grande área coberta por florestas, pois parte de seu terreno se encontra dentro dos limites do Parque Estadual da Pedra Branca (PEPB) e Parque Nacional da Tijuca (PNT). A existência destas Unidades de Conservação contribui com a manutenção da cobertura vegetal e, conseqüentemente, com o aumento do tempo de retenção da água na bacia, reduzindo os picos de inundação. Além dessas razões, a bacia do rio Grande é a bacia hidrográfica de maior área e apresenta uma população residente significativa em relação à população total da Baixada de Jacarepaguá, sendo, assim, uma área de estudo bastante representativa no contexto da região.

A presente pesquisa por se tratar de um estudo relacionado ao planejamento ambiental, onde se leva em conta uma gama de variáveis, com o uso da Análise Multicritério, permitiu-se comparar diferentes alternativas, fundamentada em vários critérios, com o objetivo de direcionar os tomadores de decisão para uma escolha ponderada, isto é, definir o grau de pertinência de cada variável e suas respectivas classes para a construção de um mapa síntese, utilizando-se fatores de ponderação sempre que necessário (MOURA, 2007). Desse modo, esta técnica é frequentemente desenvolvida em ambiente de SIG (Sistemas de Informações Geográficas), pois o mesmo permite a compreensão, análise e gestão de dados cartográficos

de ambientes complexos, sendo capazes de integrar os diversos planos de informações do estudo.

Portanto, considera-se que o estudo da vulnerabilidade ambiental na bacia do rio Grande, utilizando geotecnologias para mapeamento das áreas mais vulneráveis a inundações a partir do método de Análise Hierárquico (AHP), possa gerar importantes resultados que subsidiem a adoção de medidas para reduzir a vulnerabilidade e aumentar a resiliência da população residente na bacia do rio Grande.

Objetivo Geral:

Analisar a vulnerabilidade ambiental a inundações urbanas na bacia hidrográfica do rio Grande, Baixada de Jacarepaguá (Rio de Janeiro), criando subsídios a tomada de decisão por parte dos órgãos gestores a fim de proporcionar políticas públicas adequadas ao ordenamento do uso da terra municipal.

Objetivos Específicos:

- a) identificar as áreas suscetíveis à inundação na bacia do rio Grande;
- b) mensurar a vulnerabilidade social;
- c) diagnosticar as áreas de maior vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Grande, por meio da análise integrada dos elementos naturais e socioeconômicos.

Para alcançar os objetivos apresentados, este trabalho foi organizado nas seguintes partes:

- 1) Caracterização da área de estudo, onde foi apresentado o contexto físico-ambiental e socioeconômico da bacia, assim como os fenômenos condicionantes que influenciam nas inundações.
- 2) Marcos teóricos e conceituais, em que foi apresentado o conceito de bacia hidrográfica e seu uso como Unidade Hidrográfica de Planejamento; uma discussão a respeito da diferença entre os conceitos de enchentes e inundação; apresentação e discussão dos conceitos relacionados de risco, vulnerabilidade e suscetibilidade que serão adotados na pesquisa; e, por último, o uso da Análise Multicritério (AHP) em estudos ambientais com auxílio do Geoprocessamento.

- 3) Materiais e Métodos, em que apresenta-se os procedimentos metodológicos realizados em laboratório através de técnicas de Geoprocessamento para o mapeamento da suscetibilidade a inundação, da vulnerabilidade social e, por fim, da vulnerabilidade ambiental.
- 4) Análise e resultados, no qual foram apresentados os mapeamentos de suscetibilidade à inundação, vulnerabilidade social e vulnerabilidade ambiental, e, posteriormente, são descritos os resultados obtidos
- 5) Considerações finais, que abarcam as conclusões e síntese dos resultados obtidos e as propostas a serem implementadas na área de estudo.
- 6) Referências, com a listagem das obras que embasaram os capítulos deste trabalho.

1 ÁREA DE ESTUDO

Neste item, primeiramente, é apresentada a localização geográfica da bacia do rio Grande, sua área, os divisores de água e os principais afluentes do rio Grande. Em seguida, é realizada a caracterização físico-ambiental da área de estudo, evidenciando os fatores que influenciam na ocorrência de inundações numa bacia urbana, sendo eles: o fator geológico que influencia no modelo da bacia a partir dos diferentes tipos de rochas e linhas de fratura, o fator geomorfológico e topográfico, os aspectos hidrográficos, o fator pedológico com os diferentes tipos de solos da bacia, a classificação climática e os níveis pluviométricos, e, por fim, as mudanças no uso e cobertura da terra ocorridas na bacia do rio Grande no contexto de urbanização da Baixada de Jacarepaguá a partir de 1970.

No subitem do histórico de ocupação, são tratadas questões a respeito da divisão político-administrativa, o contingente populacional dos bairros inseridos na bacia e, principalmente, a forma como se deu este processo de ocupação, que gerou desigualdades socioespaciais, vulnerabilidades e riscos, dentre eles, o de inundações.

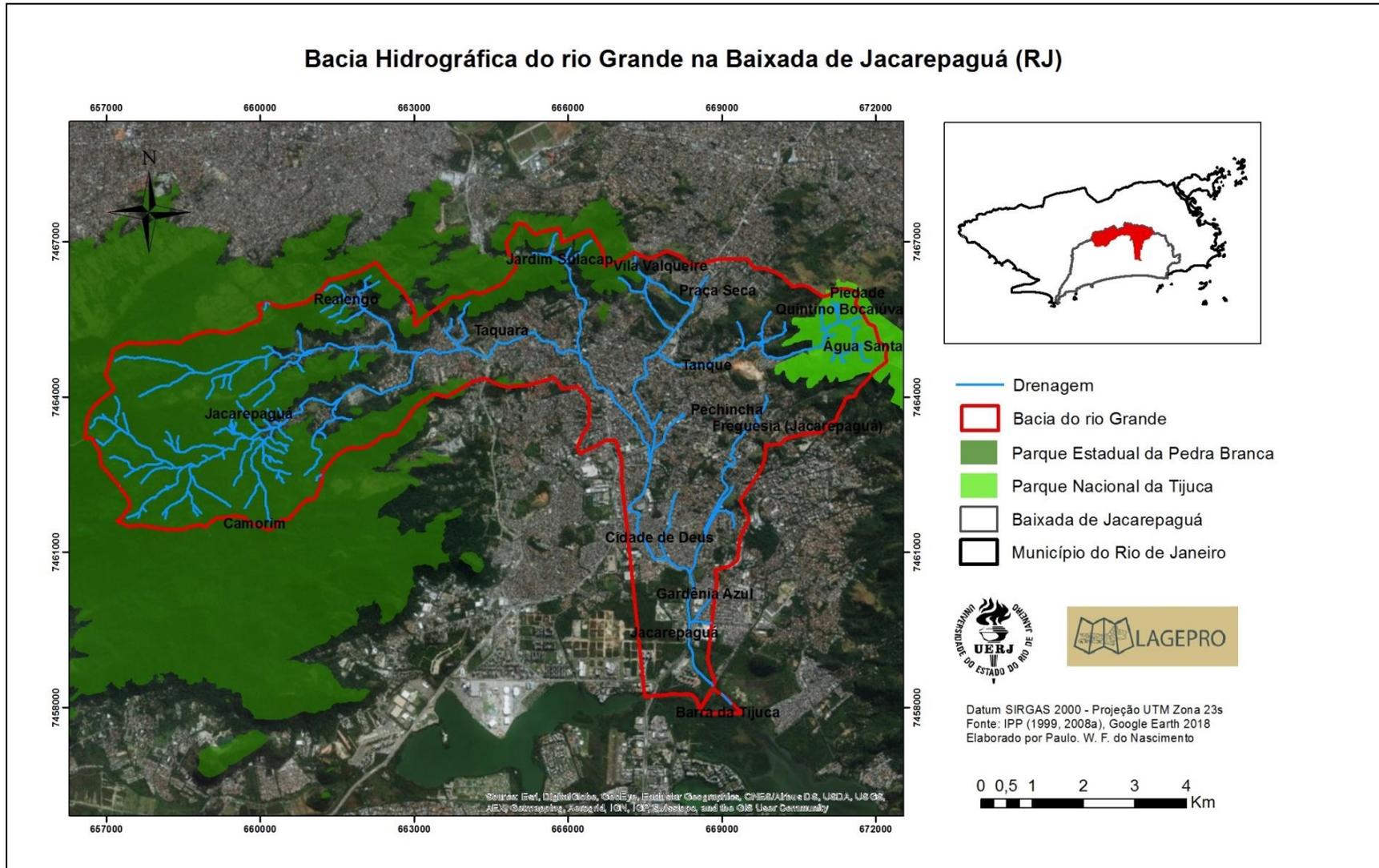
1.1 Localização

A bacia hidrográfica do rio Grande está localizada entre as latitudes 22°53' e 22°58' S e longitudes 43°26' e 43°19' W, na zona oeste da cidade do Rio de Janeiro, especificamente, na macrobacia da Baixada de Jacarepaguá (Figura 1). Apresenta uma área estimada em, aproximadamente, 56,69 km², drenando os bairros de Jacarepaguá e Taquara (alto curso) a Cidade de Deus e Jacarepaguá (baixo curso), desaguando suas águas através do rio Arroio Fundo, nome que o rio Grande recebe em seu baixo curso, na Lagoa do Camorim, que em tempos recentes se tornou um canal.

A bacia do rio Grande possui uma forma alongada e estreita, tendo como divisores: a nordeste, o contato entre o Maciço da Pedra Branca e da Tijuca, ao norte pelas Serras do Engenho Velho, do Barata e de Bangu, a oeste, o Morro da Bandeira, o Pico da Pedra Branca, o Morro de Santa Barbara, a Pedra do Quilombo e os limites que a separam da bacia do Arroio Pavuna, e a leste, os divisores que a separam da bacia do rio Anil (MARQUES, 1990; FREITAS, 2009; CARVALHO, 2017). Os principais afluentes do rio Grande se encontram na

sua margem esquerda e são: rio Pequeno, rio Tindiba, rio Estiva, Arroio Banca da Velha, e, mais recentemente, o rio Anil.

Figura 1 - Localização da bacia do rio Grande na Baixada de Jacarepaguá



Fonte: O autor, 2020.

1.2 Caracterização da Bacia do Rio Grande: Fatores físico-ambientais

1.2.1 A influência da geologia no modelado da bacia do rio Grande

A base geológica na área da macrobacia de Jacarepaguá condicionou o desenvolvimento do modelado do relevo e da drenagem por meio dos tipos de rochas e da direção das linhas de fraturas/falhas e suas relações com a dinâmica climática regente na região (COSTA, 2002).

A estrutura geológica do Maciço da Pedra Branca, segundo Roncarati e Neves (1976), possui o embasamento cristalino formado a partir de rochas ígneas e magmáticas, que podem ser classificadas de acordo com a idade de intrusão: Pré-Cambriano, Siluro-Ordoviciano, Cretáceo e Cretáceo-Terciário no setor central da Província da Mantiqueira (COSTA, 2002). Na bacia do rio Grande, destaca-se a presença de granito plutônico no alto vale e se estende até o médio vale e este é constituído, principalmente, por microclina gnaisses e plagioclásio gnaisses. O relevo bastante dissecado, no médio e baixo vale, apresenta elevações isoladas entre si, cujas altitudes diminuem em direção a baixada (MARQUES, 1990).

No Maciço da Pedra Branca também é possível identificar um controle estrutural do relevo local através falhamentos ocasionados pela tectônica de dobramento, que são responsáveis pela atual morfoescultura dos vales e vertentes locais (MAIO, 1978). Ainda de acordo com Costa (1986), há uma estreita relação do quadro geológico com a geomorfologia e, também, dos controles estruturais com a direção dos principais cursos fluviais e na evolução dos padrões de drenagem das bacias locais. Neste sentido, tanto os alinhamentos de falhas quanto as diferentes litologias favoreceram o desenvolvimento da rede de drenagem da bacia do rio Grande (Figura 2).

Por sua vez, segundo Cabral (1979), a área de baixada, cuja extensão abrange uma área de 102 km², dos quais 89km² corresponde a terra firme e 13 km² são ocupados por lagunas. No que se refere à terra firme, pode-se observar dois tipos de materiais que foram depositados: continentais e marinhos.

Roncarati e Neves (1976) e Carvalho (2013) destacam a presença de rochas sedimentares que se depositaram e entulharam os terrenos de baixa topografia e fundos de vale localizados próximos à costa durante três ciclos do Período Terciário e Quaternário: Sedimentos Pliocênicos, sedimentos Pleistocênicos e sedimentos Holocênicos. É importante

ressaltar que, esses terrenos sedimentares, onde se encontra a bacia do rio Grande, foram formados pelos processos de oscilação do nível do mar e, também, pela deposição continental devido à interiorização em relação às outras bacias que compõem a macrobacia de Jacarepaguá. Estes processos formadores da planície de Jacarepaguá são descritos detalhadamente no estudo feito por Maia *et al*, 1984.

A seguir, a partir dos estudos de Roncarati e Neves (1976), são apresentadas algumas descrições e características das camadas litológicas de acordo com os ciclos formadores existentes na bacia do rio Grande:

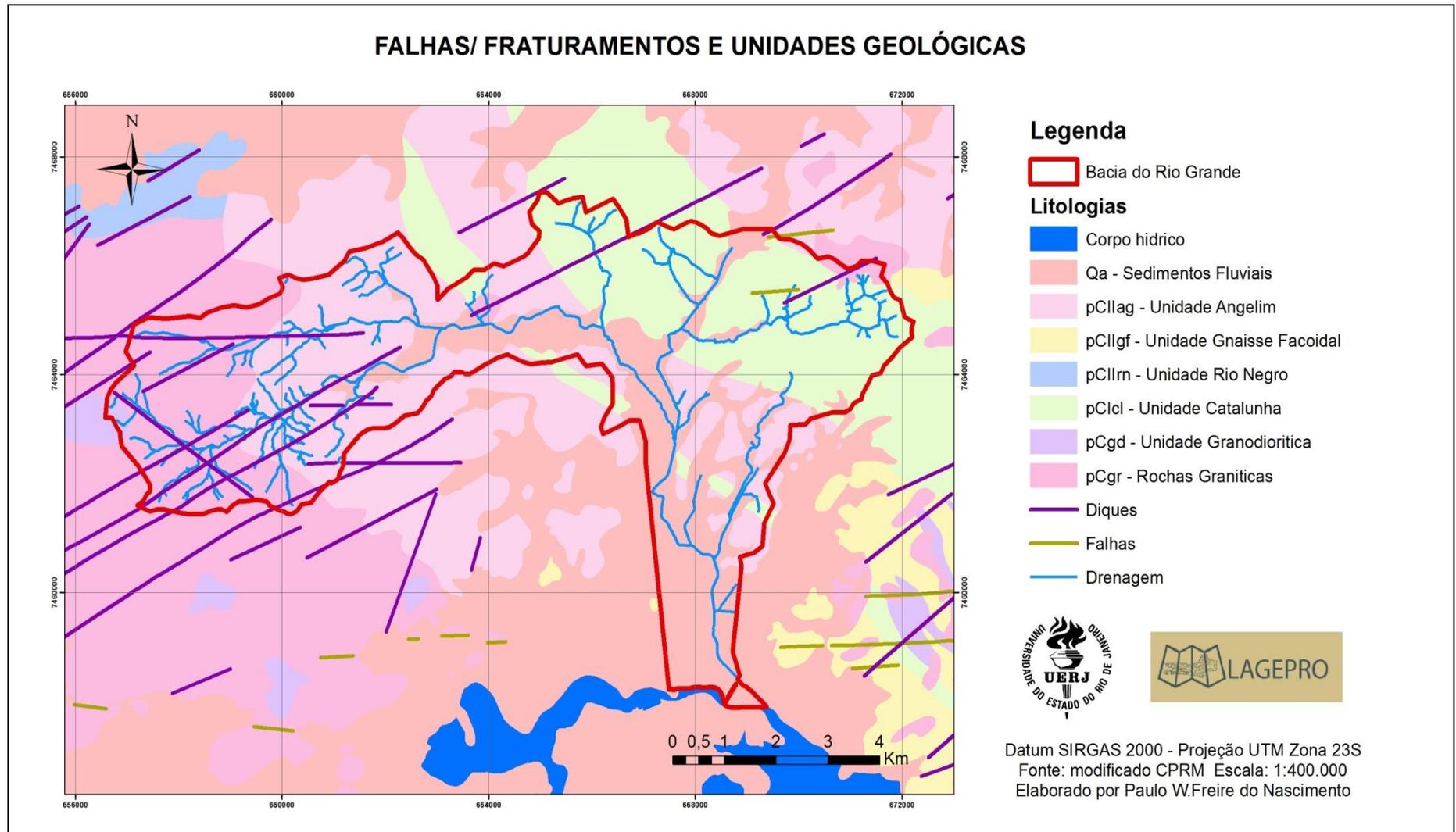
- a) **Sedimentos Pliocênicos:** São depósitos de leques aluviais (corridas de lama, enxurradas e fluxo de detritos) formados em condições de clima semiárido, preenchendo vales de pretérita encaixada no embasamento cristalino;
- b) **Sedimentos Pleistocênicos:** Durante o Pleistoceno, iniciou-se, na baixada, um processo de deposição continental, dividido litoestratigraficamente em três pacotes distintos: complexo fluvial, leques aluviais e camadas de areias pretas:
 - Complexo fluvial: depósitos de areias e conglomerados fluviais ao lado de argilas de planície de inundação, que devem ter ocorrido em condições de clima úmido, sob chuvas para sustentar um regime fluvial e grandes quantidades de restos vegetais;
 - Leques Aluviais: assentados sobre o Complexo Fluvial, indicando uma passagem gradativa para condições de um clima semi-árido devido a coloração oxidada (cores ocre, vermelha, tijolo ou marrom) e ausência de restos orgânicos. Depositaram-se durante enxurradas e fluxos de lama esporádicos, resultando em areias grosseiras, mal selecionadas, imersas em matriz argilosa;
 - Camadas de Areias Pretas: leques aluviais depositados quando o clima mudou novamente para condições mais úmidas, indicado pela presença de material orgânico, dando essa coloração escura, e argilas essencialmente caulíníticas.
- c) **Sedimentos Holocênicos:**
 - Areias de Fundo de Enseada: seriam resultantes do retrabalhamento dos sedimentos pliocênicos e pleistocênicos pelas ondas do mar em transgressão, deixando a parte arenosa *in situ* e levando a fração argilosa

para alto-mar, contendo grandes quantidades de carapaças de organismos marinhos;

- Restinga Interna – crista na cota altimétrica atual de 11 metros, formada por areias de fundo de enseada e retrabalhadas de sedimentos pleistocênicos (leques aluviais e complexo aluvial);
- Depósitos de Tálus: seixos e matacões imersos em argilas e areias localizados no pé de encostas;
- Mangues: originam-se em ambientes de água salobra e são formados por uma fração mineral, principalmente argilosa advinda de descargas fluviais, e por uma fração orgânica, constituída da decomposição de biodetritos de origem animal e vegetal;
- Turfas: originam-se pela colmatagem das lagunas por detritos de vegetais que crescem em locais de baixa salinidade das águas.

Sabe-se que a partir da avaliação das características litológicas das Unidades Geológicas presentes na bacia do rio Grande é possível identificar diferentes graus de permeabilidade que interveem diretamente na celeridade e no volume das inundações, bem como na parcela de água percolada para os lençóis subterrâneos (FRANCO *et al.*, 2015). Por exemplo, unidades geológicas que possuem gênese associadas a processos aluviais possuem maior permeabilidade e influenciam em maior parte no processo de inundação. No entanto, mesmo sabendo da importância das Unidades Geológicas para compreensão do processo de inundação, esta variável não foi incluída na Análise Multicritério, pois os mapeamentos geológicos encontrados estão em escalas menores em relação aos outros mapeamentos, sendo, portanto, impossível de aplicar modelos de cruzamento das camadas devido às diferentes resoluções espaciais.

Figura 2 - Falhas/fraturamentos e unidades geológicas da bacia do rio Grande.



Fonte: O autor, 2020.

1.2.2 Geomorfologia e hidrografia

Parte da bacia hidrográfica do rio Grande está situada na baixada de Jacarepaguá, que de acordo com Marques (1990) pode ser designada como uma baixada costeira por se tratar de um ambiente localizado em zonas litorâneas que apresenta topografia plana ou com pouca declividade e de baixa altitude, sendo, portanto uma área onde predomina depósitos sedimentares.

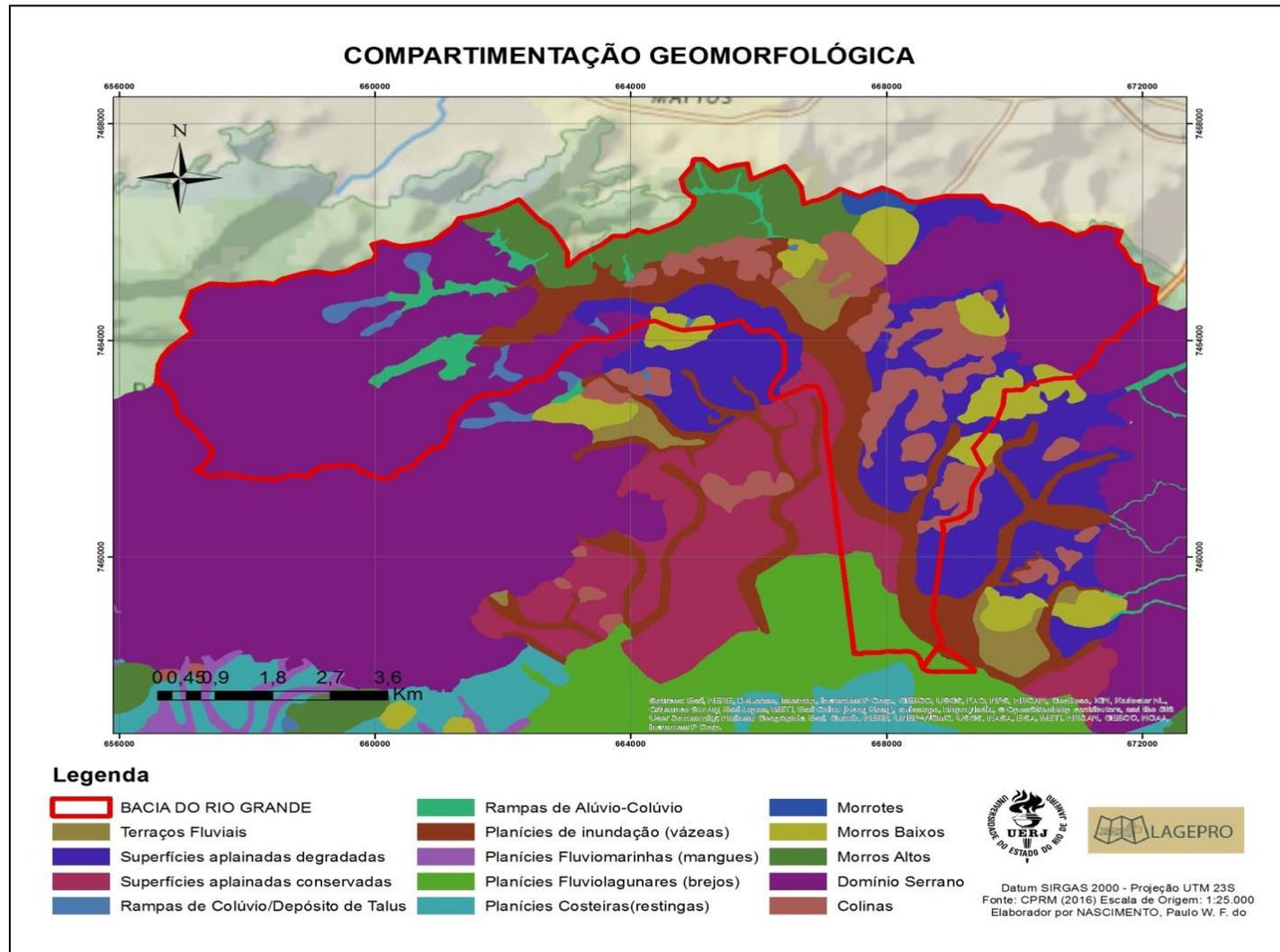
Conforme estudos de Roncarati e Neves (1976), nas áreas onde está situada a bacia hidrográfica do rio Grande pode-se identificar, pelo menos, três das quatro províncias geomorfológicas (MAIA *et al*, 1984). A primeira constitui uma região montanhosa, formada por rochas de embasamento cristalino e possuindo geralmente vertentes abruptas, que circunda a planície a nordeste (Maciço da Tijuca) e a noroeste Maciço da Pedra Branca, atingindo cotas de até 1025 m. Os maciços são constituídos predominantemente por rochas ígneas e metamórficas (MARQUES, 1990).

A segunda província é uma região de transição entre as montanhas e a planície paludosa denominada clinoplano periférico, formado a partir da coalescência de leques aluviais. Inclina-se suavemente para o centro da Baixada de Jacarepaguá, com altitudes variando de 14 a 3m.

E a terceira província, na qual a bacia hidrográfica está inserida, é chamada de planície paludosa. Essa planície mais antiga e extensa está situada entre o clinoplano periférico e a restinga interna, formada por depósitos sedimentares marinhos e lagunares e possui altura entre 3 a 4 metros. Esse terreno é localizado às margens da Lagoa do Camorim ou a jusante da bacia, local onde o rio principal (Arroio Fundo) desemboca suas águas e sedimentos.

Com um dos objetivos de delimitar áreas sujeitas à inundação e corridas de massa do município do Rio de Janeiro, a CPRM elaborou o mapeamento dos padrões de relevo em semidetalhe (1: 25.000) que representa, em linhas gerais, o 3º táxon hierárquico, e alcançando até mesmo o 4º táxon, da metodologia de mapeamento geomorfológico proposta por Ross (1992). Para isso realizou-se o recorte para bacia do rio Grande dos padrões de relevo existentes dentro de seus limites, conforme a Figura 3.

Figura 3 - Mapa de Compartimentação geomorfológica da bacia do rio Grande.



Fonte: O autor, 2020.

Como observado no mapa, na região drenada pela bacia verifica-se a presença de uma extensa área que predomina um relevo suave ondulado a plana com ocorrência de planícies de inundação, planícies fluviolagunares, planícies fluviomarinhas e as superfícies aplainadas conservadas e degradadas. Isto contribui para baixa velocidade do escoamento ao longo do médio e baixo curso, dificultando a drenagem e facilitando a ocupação das planícies pelas águas da inundação.

Além disso, ocorre a presença de um relevo montanhoso e escarpado, representado pelos domínios serranos e morros altos, que acaba por agravar o processo de inundação devido a forte ruptura topográfica existente entre o alto e o médio/baixo cursos. No alto curso a velocidade de escoamento é bem maior do que a jusante, em função da declividade do terreno, o que contribui para o aumento da velocidade dos picos de vazão a jusante.

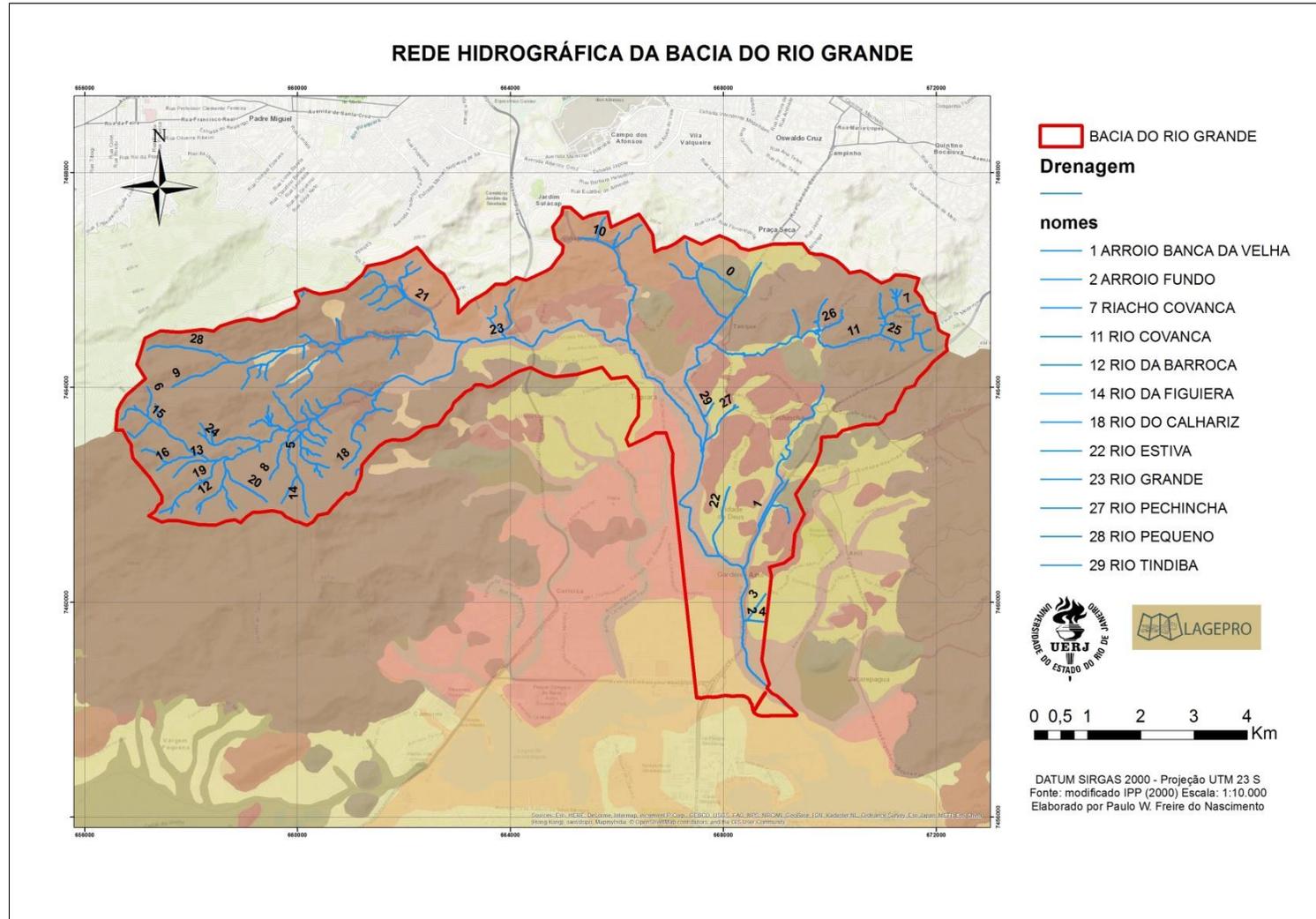
A rede de drenagem do rio Grande é composta pelo seu rio principal, que nomeia a bacia, tem origem no Parque Estadual da Pedra Branca, área de proteção ambiental, próximo ao pico da Pedra Branca (entre as cotas 865 – 860m), e no baixo curso recebe o nome de Arroio Fundo, que desemboca na Lagoa do Camorim. Tem como principais afluentes: Arroio Fundo, rio da Barroca, rio da Pedra Branca, rio da Figueira, rio Pequeno e rio Anil (Figura 4). Esse último só se tornou seu afluente nos anos de 1970, período em que o rio Grande foi submetido a obras de engenharia como desvio, alargamento e retificação do seu curso (FERREIRA e CUNHA, 1996).

De montante a jusante, conforme Carvalho (2017), a rede hidrográfica do rio Grande toma dois eixos preferenciais: NE-SW e N-S. No médio e alto vale, trecho que se encontram completamente inseridos no Maciço da Pedra Branca, a drenagem é direcionada no sentido SW-NE até atingir a altitude de 20 m, quando a bacia é infletida totalmente para o sul. Nesse trecho a drenagem é encaixada nos terrenos sedimentares. À nordeste dessa posição, o relevo é rebaixado e marca o contato entre os Maciços da Pedra Branca e Tijuca, servindo de divisor de águas entre a drenagem direcionada para a Baía da Guanabara (ao norte) e para a baixada de Jacarepaguá (ao sul).

Ainda sob o ponto de vista hidrológico, tem-se como referência a tese de doutorado de Marques (1990), na avaliação dos fluxos e sedimentos das bacias hidrográficas de Jacarepaguá, dentre elas, a do rio Grande, que é a maior e mais importante bacia que deságua na Baixada de Jacarepaguá. A partir da análise realizada por Marques (1990) constatou-se que todas as bacias apresentaram suas vazões máximas no período do verão (dezembro, janeiro e fevereiro), período em que a precipitação torna-se mais elevada e concentrada. Inclusive, como foi relatado por Costa (2006), quando a bacia do rio Grande, em 1996, sofreu os efeitos

decorrentes das fortes precipitações que atingiram a região, acarretando no aumento significativo da vazão e o consequente, transbordamento do rio principal e de seus respectivos tributários.

Figura 4 - Rede Hidrográfica da bacia do rio Grande.



Fonte: O autor, 2020.

1.2.3 Pedologia

As classes de solos encontrados na bacia do rio Grande, de acordo com a Figura 5 da Embrapa (2004) são os seguintes: nas partes mais elevadas há a presença de latossolos e argissolos e nas áreas mais planas da baixada em direção ao complexo lagunar de Jacarepaguá, há a presença de neossolos, planossolos, gleissolos, organossolos e solos indiscriminados de mangue (EMBRAPA, 2004). Além desses tipos de solos, não pode esquecer-se de citar as categorias não pedológicas de área urbana, recobrando a maior área da bacia do rio Grande, afloramentos rochosos e corpos de água. Na tabela 1, são apresentadas as classes, suas respectivas áreas e porcentagem em relação à área da bacia.

Tabela 1 - Área de abrangência e porcentagem das classes pedológicas nas bacias do Rio Grande.

Classes de Solo	Área (Km²)	Porcentagem (%)
Afloramentos rochosos	0,20	0,35
Área urbana	23,53	41,53
Argissolos	16,26	28,70
Corpo de água	0,34	0,60
Gleissolos	0,17	0,30
Latossolos	14,18	25,01
Neossolos	0,02	0,04
Organossolos	1,73	3,04
Planossolos	0,25	0,44
Solos Indiscriminados de Mangue	0,04	0,06

Fonte: EMBRAPA, 2004.

A seguir serão descritas as características de cada tipo de solo no que tange sua textura e grau de saturação, pois estas exercem importante função, em conjunto com outros fatores, é claro, nos processos de inundação/ enchente através da capacidade de infiltração, percolação e de retenção de água (GUERRA & CUNHA, 2012):

- a) **ARGISSOLOS:** Grande parte dos solos desta classe apresenta um evidente incremento no teor de argila do horizonte superficial para o horizonte B textural, sendo a transição entre os horizontes A e Bt usualmente clara, abrupta ou gradual. Este gradiente de textura denota ao solo diferentes classes de drenagem interna, fazendo com que estes solos sejam susceptíveis à erosão hídrica. São de profundidade variável, desde forte a

imperfeitamente drenados e são forte a moderadamente ácidos (EMBRAPA, 2004). Na bacia do rio Grande, os argissolos ocorrem nas encostas com altitude entre 300 a 40m e ocupam quase 29% da área total da bacia, representando a classe de solo com maior área.

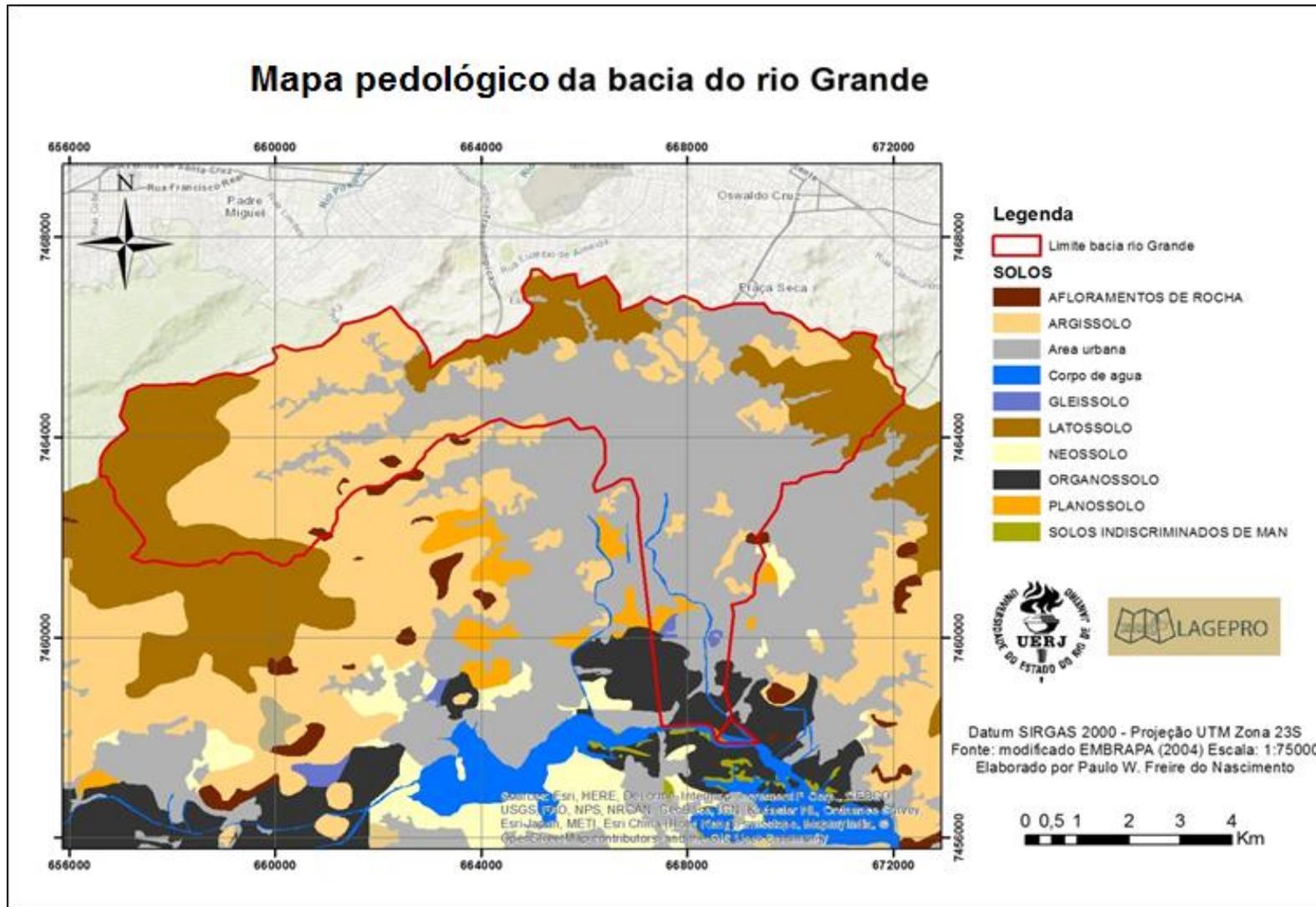
- b) LATOSSOLOS:** São solos em avançado estágio de intemperização, muito evoluídos, como resultado de enérgicas transformações no material do embasamento rochoso, muito profundos, variam de fortemente a bem drenados, são fortemente ácidos, com baixa saturação por bases e ocorrem em relevo plano e suave ondulado, embora possam ocorrer em áreas mais acidentadas, inclusive em relevo montanhoso (EMBRAPA, 2004). Na bacia do rio Grande, ocorrem nas áreas mais elevadas do Maciço da Pedra Branca com relevo fortemente ondulado e montanhoso, ocupando 25% da área total da bacia e sendo a segunda classe pedológica mais representativa.
- c) ORGANOSSOLOS:** são solos pouco evoluídos, com preponderância de características devidas ao material orgânico, de coloração preta, resultantes de acumulação de restos vegetais, com textura orgânico-argilosa ou orgânico-arenosa, em condições de drenagem restrita (ambientes mal a muito mal drenados) devido ao lençol freático permanecer elevado grande parte do ano. Na bacia do rio Grande, abrange 3% da área total da bacia e ocorrem, principalmente, próximas a Lagoa do Camorim (EMBRAPA, 2004).
- d) PLANOSSOLOS:** são solos hidromórficos minerais imperfeitamente ou mal drenados, com horizonte superficial ou subsuperficial eluvial, de textura mais leve, que contrasta abruptamente com o horizonte B ou com transição abrupta conjugada com acentuada diferença de textura do A para o horizonte B imediatamente subjacente, adensado, geralmente de acentuada concentração de argila, permeabilidade lenta ou muito lenta. Na área de estudo abrange uma pequena porção no valor de 0,44% da área total da bacia, ocorrendo, principalmente, nas áreas com relevo plano a levemente ondulado, onde as condições são propícias à permanência de água.
- e) NEOSSOLOS FLÚVICOS:** são solos minerais não hidromórficos, formados por sobreposição de camadas de sedimentos aluviais recentes sem relações pedogenéticas entre elas, devido ao seu baixo

desenvolvimento pedogenético. Geralmente apresentam espessura e textura bastante diversificadas, ao longo do perfil do solo, devido à diversidade e a formas de deposição do material originário. Os neossolos e encontram nas áreas planas próximas a drenagem da bacia do rio Grande, ocupando uma área de apenas 0,02 km².

- f) **GLEISSOLOS:** são solos hidromórficos, constituídos por material mineral, argilosos, que apresentam horizonte glei dentro de 150 cm da superfície do solo, imediatamente abaixo de horizontes A ou E (com ou sem gleização), encontram-se permanente ou periodicamente saturados por água (muito ou mal drenados), o que gera escassez de oxigênio e redução do ferro, formando horizontes de coloração cinza ou azulado. Ocupam apenas 0,30% da área total da bacia do rio Grande, encontrando-se na área de baixada contígua aos planossolos.

Segundo o mapeamento da EMBRAPA (2004), nas áreas urbanas os solos estão impermeabilizados, não havendo assim uma classificação, o que diminui a infiltração e aumenta o escoamento superficial agravando as inundações/enchentes.

Figura 5 - Tipos de solos da bacia do rio Grande



Fonte: O autor, 2020.

1.2.4 Clima

A condição climática, especificamente a distribuição espaço-temporal da precipitação, por influenciar os elementos ambientais (relevo, solos, cobertura vegetal e a forma de uso e ocupação), se torna uma importante variável no entendimento do fenômeno das inundações na bacia do rio Grande.

Observando o contexto climático da bacia do rio Grande, por estar localizada próxima ao oceano Atlântico e entre dois maciços rochosos, o relevo e posição constituem em um dos fatores geográficos que influenciam na sua dinâmica climática. O clima predominante nas áreas de baixada e em pequenas elevações da bacia hidrográfica se enquadra no grupo “Aw” da classificação de Köppen, definido de modo geral, como clima tropical caracterizado por temperaturas médias mensais que oscilam entre 17,7°C (média das mínimas, em julho) e 29,8°C (média das máximas em fevereiro) e chuvas distribuídas ao longo do ano, com maior concentração pluviométrica (entre 100 e 150 mm) durante o verão – de dezembro a março (BRANDÃO E BRITO, 2009) e uma estação seca durante o inverno (junho a setembro), período este que sofre clara influência das frentes frias provenientes do sul do continente.

Já nas altitudes acima da cota de 500m, localizadas no alto curso da bacia, o clima se enquadra no grupo Cfa, caracterizado como um clima tropical de altitude, chuvoso sem estação seca e a temperatura média é alta, acima de 22°C. (RIBEIRO, 2013).

No que tange ao tipo climático da Baixada de Jacarepaguá, quando da ocorrência de eventos pluviométricos extremos que estão entre os principais fatores causadores das inundações urbanas, pesquisas como a de Brandão (2009) e Ribeiro et al. (2013) mostram, respectivamente, através de levantamentos históricos dos principais eventos pluviométricos em Jacarepaguá (entre 1981 e 1996) e da correlação realizada entre os valores mensais de pluviosidade, a ocupação, e os fenômenos hidrológicos intensos que ocorrem na vertente leste do Maciço da Pedra Branca, onde está situada a nascente do rio Grande.

Outra autora que se debruçou para fazer uma análise pluviométrica e relacioná-la à ocorrência de fenômenos hidrológicos na bacia do rio Grande foi Carvalho (2017). Esta realizou algumas análises baseadas no uso dos dados baixados de precipitação mensal referente às duas estações meteorológicas do Sistema Alerta Rio, instaladas dentro dos limites da bacia do rio Grande, são elas: as estações de Cidade de Deus e Tanque.

Dentre as análises, para o presente estudo importa a análise da média mensal de precipitação entre 2011 e 2016 nas duas estações pluviais, indicando os meses mais chuvosos

na bacia durante esse período e, conseqüentemente, os meses mais propícios à ocorrência de inundações.

Em relação à média mensal entre 2011 e 2016, o resultado da análise dos dados comprova que a maior pluviosidade se concentra no verão nos meses de dezembro (130,3 mm/mês) e janeiro (157,8 mm/mês). O mês de fevereiro apresenta uma queda significativa da média mensal, com valores de 79,1 mm/mês. Mas em março a média torna a aumentar, com valores de 126,3 mm/mês, pois volta a chover intensamente.

Tabela 2 -Média mensal total das chuvas entre os anos de 2011 e 2016 (mm/mês) nas estações localizadas na bacia do rio Grande.

Mês	Est. Jacarepaguá/ Tanque	Est. Jacarepaguá/ Cidade de Deus	Média mensal de chuvas na área de Estudo (mm/mês)
Janeiro	178,3	137,4	157,9
Fevereiro	81,9	76,3	79,1
Março	130,7	121,9	126,3
Abril	90,3	79,7	85,0
Maiο	58,2	68,4	63,3
Junho	61,1	78,0	69,5
Julho	35,0	46,2	40,6
Agosto	23,3	26,0	24,6
Setembro	57,1	51,7	54,4
Outubro	45,0	45,4	45,2
Novembro	100,5	89,3	94,9
Dezembro	145,4	115,2	130,3

Fonte: ALERTA RIO, 2016. Adaptado de CARVALHO, 2017.

De acordo com os dados das estações, os maiores índices de chuvas ocorrem durante o verão. Nas as altas vertentes das bacias são as áreas de maior precipitação pluvial e os fluxos convergem das áreas mais elevadas para os vales e canais fluviais, até alcançar a planície fluvial. Assim, os fluxos de origem pluvial interagem com fluxos fluviais, retroalimentando processos geomorfológicos e aumentando o risco de eventos extremos durante os meses de dezembro, janeiro e março. Nestes casos, eventos pluviométricos de grande intensidade desencadeiam o aumento da suscetibilidade dessas áreas à fenômenos hidrológicos como as inundações.

De todos os episódios o último evento registrado merece destaque. Na bacia do Rio Grande, a catástrofe de fevereiro de 1996 desencadeou fortes movimentos de massa,

enchentes e inundações que levaram a morte de 59 pessoas, deixando 1500 desabrigadas. (BRANDÃO, 2009).

É importante frisar aqui, que apesar de considerar o regime de chuvas uma importante variável que pode agravar a ocorrência das inundações em conjunto com outros fatores, ainda mais em áreas tropicais como o Rio de Janeiro, o presente estudo considerou apenas os fatores permanentes (isto é, com pouca variação em função da escala espaço-temporal) e mistos, segundo Cooke e Doornkamp (1990), para identificar as áreas mais suscetíveis à inundação.

Neste sentido, mesmo sabendo da importância do fator climático (fator transitório), visto os eventos pluviométricos extremos já citados que deflagraram processos de inundação e movimentos de massa na Baixada de Jacarepaguá, este fator não foi considerado por causa da inexistência de estações pluviométricas nas altas altitudes da bacia do rio Grande, visto que a altitude é um importante fator na distribuição geográfica das chuvas, o que permitiria uma maior acurácia na modelagem dos dados pluviométricos da área. Portanto, foram, apenas, consideradas na análise multicritério as variáveis permanentes (topografia, geomorfologia e pedologia) e a forma como se deu processo de urbanização da bacia (uso e cobertura da terra) para a identificação das áreas sujeitas à inundação na bacia do rio Grande.

1.2.5 Cobertura vegetal e uso da terra (mudanças)

De modo sucinto, de montante para jusante, pode-se observar a presença dos seguintes ecossistemas remanescentes na bacia do rio Grande (Figura 6): floresta ombrófila densa submontana (Mata Atlântica) nas vertentes das serras, nos morrotes e planos bem drenados, a floresta ombrófila de terras baixas ou mata paludosa de planície e mangues, exclusivo dos solos litorâneos pantanosos que sofrem a influência das marés (MONTEZUMA e OLIVEIRA, 2010).

Dentre os ecossistemas citados anteriormente, é importante salientar as áreas de floresta presentes na bacia do rio Grande, pois estas potencializam o processo de infiltração de água no solo por conta da serapilheira e das raízes, aumentando o tempo de concentração da água precipitada na bacia hidrográfica (COELHO NETTO, 2007). A presença bastante heterogênea e remanescente de Mata Atlântica está relacionada ao processo de ocupação urbana da Baixada de Jacarepaguá, estando, na bacia do rio Grande, concentradas num espaço contínuo no alto vale e em pequenas manchas no restante da bacia.

Segundo estudo de Conceição *et al.* (2011) as bacias de drenagem da vertente leste do Parque Estadual da Pedra Branca (PEPB), dentre elas a do rio Grande, abrigam, aproximadamente, 40% do remanescente de Mata Atlântica em algumas de suas partes mais altas e internas (Tabela 2), sendo possível encontrar aí espécies raras, endêmicas e muitas em ameaça de extinção. Apesar da presença ainda que contínua de floresta no alto curso da bacia do rio Grande, há uma pressão urbana em direção a essas áreas de floresta como mostra o estudo de Costa *et al.* (2011) sobre a zona de amortecimento do PEPB, que se observou o aumento de áreas urbanas entre 2004 e 2008, onde está localizada a bacia. Estas áreas urbanas correspondem a, aproximadamente, 40% da área total da bacia do rio Grande.

Tabela 3 - Percentual das classes de uso e cobertura da terra da bacia do rio Grande

USO E COBERTURA DA TERRA	Percentual (%)
Afloramento Rochoso	0,66
Áreas urbanas	39,83
Atividades de Extração mineral	0,93
Corpos d'água continentais	0,46
Floresta Ombrófila Densa	42,38
Formação Pioneira com influência flúvio-lacustre	2,04
Formação Pioneira com influência flúvio-marinha	0,06
Reflorestamento	2,39
Solo exposto	0,07
Uso agrícola	0,64
Vegetação arbórea não vegetal	6,47
Vegetação gramíneo-lenhosa	4,09

Fonte: IPP (2016).

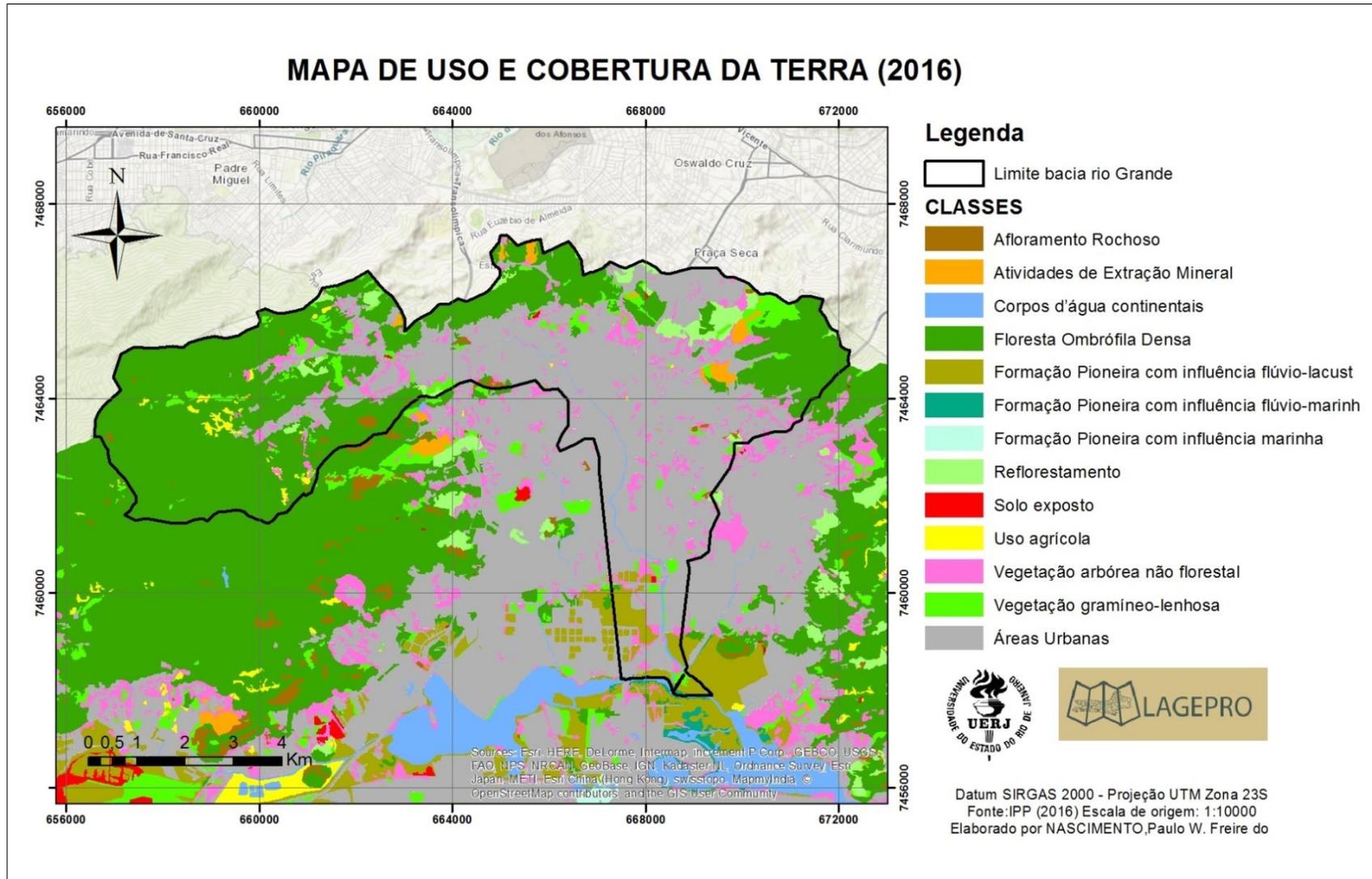
Em bacias urbanizadas como a do rio Grande, o aumento do escoamento superficial e a diminuição considerável da infiltração de água no solo devido à supressão das áreas de floresta gera a diminuição da retenção de água na bacia. Esta diminuição da infiltração estaria relacionada ao processo de impermeabilização do terreno devido ao grande número de edificações e da pavimentação das vias de circulação (BOTELHO, 2011).

Para comprovar que este fenômeno ocorre na bacia do rio Grande, Nascimento (2016) realizou uma análise temporal entre 1984 e 2001 quanto uma análise espacial do mapa de 2013 para bacia do rio Grande, no qual foi constatado que as áreas com potencial alto de infiltração (áreas de florestadas) obtiveram uma redução de área, enquanto as áreas ocupadas pelas classes sem potencial e potencial restrito (áreas antropizadas) aumentaram de tamanho, ratificando o que vem ocorrendo na Baixada de Jacarepaguá desde a década de 70, período na

qual se intensificou o processo de urbanização que vem alterando uma parcela significativa da macrobacia da baixada de Jacarepaguá, além de trazer consequências ambientais ao funcionamento hidrológico (enchentes e inundações).

Na mesma direção, Carvalho (2017) avaliou que na bacia do rio Grande a (des) conectividade pelo bloqueio do mecanismo de ligação vertical, cuja classe nomeada como “sistemas desconectados” foi a mais apresentou aumento, em área, durante o período de 1984 a 2001, sendo considerados assim locais mais sensíveis às mudanças ambientais e aos efeitos de processos de superfície como erosão, movimentos de massa, enchentes e inundações. Isto vai de acordo com a afirmação de Brandão (2009) ao ressaltar que a redução das áreas verdes no município do Rio de Janeiro tem colaborado com o aumento dos processos erosivos “provocando e contribuindo para intensificar as periódicas inundações” (BRANDÃO, 2009, p. 94).

Figura 6 - Uso e Cobertura da terra de 2016 da bacia do rio Grande.



Fonte: O autor, 2020.

1.2.5.1 Histórico da ocupação

O histórico de ocupação da bacia hidrográfica do rio Grande está intimamente relacionado com a forma como ocorreu o processo de ocupação na Baixada de Jacarepaguá. Mas vale ressaltar que a ocupação se deu de forma diferenciada no que se refere às áreas da atual Barra da Tijuca e na área onde está localizada a bacia, no bairro de Jacarepaguá, pois a ocupação no primeiro vetor se deu de forma planejada e destinada à população mais abastada, enquanto o segundo foi resultado da incorporação de uma área agrícola à dinâmica urbana da cidade constituída basicamente de uma classe média baixa (RIO DE JANEIRO, 1998).

Por muito tempo a Baixada de Jacarepaguá foi escassamente ocupada, havendo ali, basicamente, grandes fazendas que se destinavam a produção de cana-de-açúcar, a atividade pecuária e mais tarde, no século XVIII ao XIX, ao cultivo de café. O processo de ocupação da Baixada de Jacarepaguá se intensificou a partir da década de 1960 e, principalmente, depois da abertura da rodovia Rio-Santos resultado do crescimento da cidade do Rio de Janeiro, recebendo um grande contingente populacional (RIO DE JANEIRO, 1998).

A recente ocupação urbana da Baixada de Jacarepaguá deveu-se ao Governo, do então, Estado da Guanabara, que visando incentivar medidas que racionalizassem a ocupação do espaço e disciplinassem o uso do solo urbano, uma vez que, segundo Costa (1969, p.03), a cidade “derramava-se como um líquido pela Zona Norte e se comprimia contida entre vales e praias da Zona Sul”, onde tais medidas desestimulavam o adensamento dessas áreas tradicionais da cidade, que no início do século passado concentrava a maioria da população da cidade (PIMENTA et al, 2001).

Foi durante o governo Negrão de Lima (1965-1971), marcado por intervenções viárias de grande porte na cidade, que conduziram a ocupação dessa região através da construção de novas vias de acesso, permitindo um aumento do fluxo populacional para a Baixada de Jacarepaguá como, por exemplo, a pavimentação da via 11 (atual Ayrton Senna), da BR-101 (atual Avenida das Américas), a construção do Elevado das Bandeiras (ou Elevado do Joá) e início da abertura da autoestrada Lagoa- Barra. Conseqüentemente, a Baixada de Jacarepaguá deixa então de ser um vazio demográfico ideal para piqueniques em praias desertas e de sítios para passar o final de semana, passando a receber uma gama maior de frequentadores, que deram início a um processo mais acentuado de ocupação urbana do espaço (GONÇALVES, 1999).

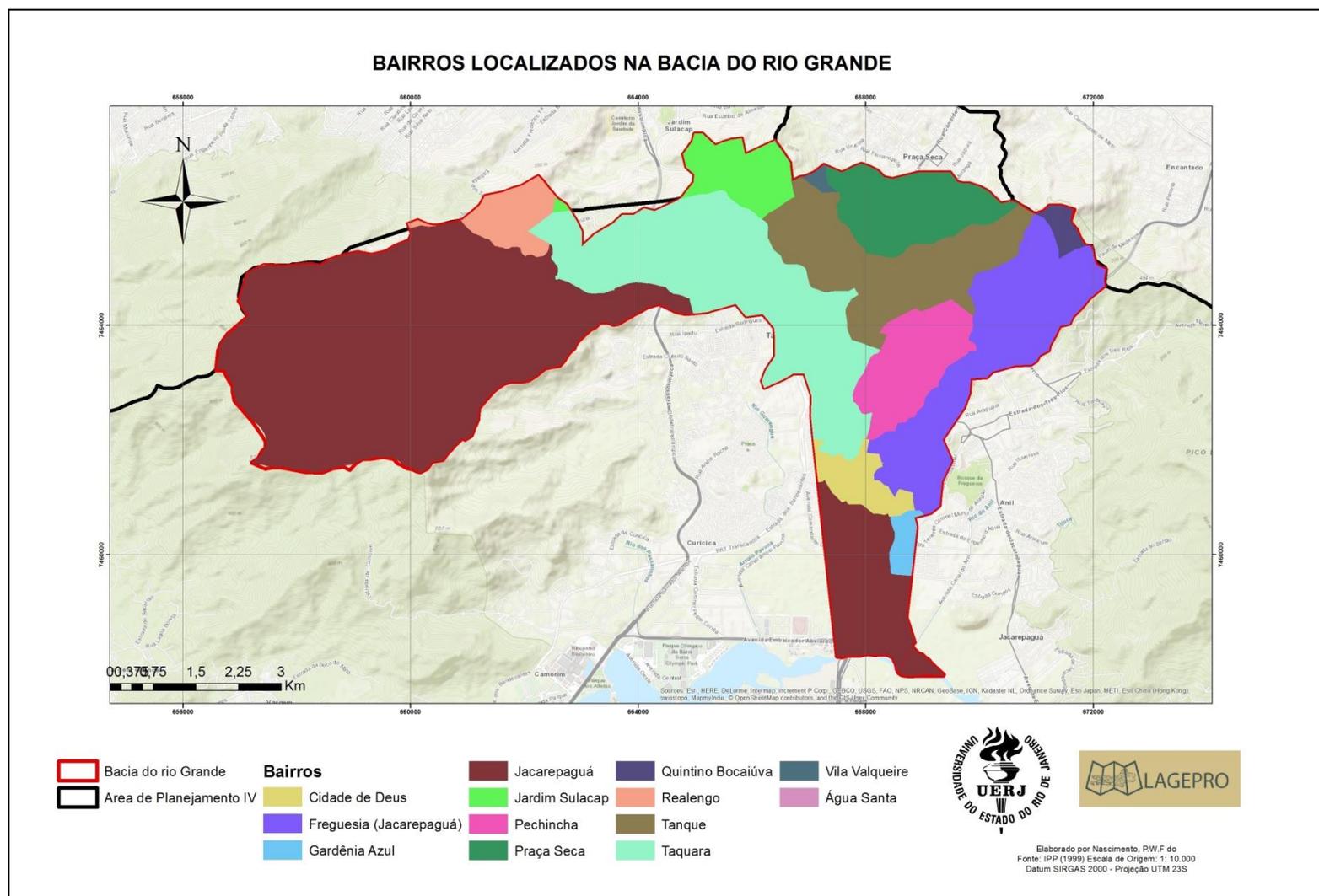
No ano de 1968, objetivando apoiar e balizar um desenvolvimento ordenado do espaço, durante o governo Negrão de Lima, o arquiteto Lucio Costa elaborou o Plano Piloto para Urbanização da Barra da Tijuca, Pontal de Sernambetiba e de Jacarepaguá (MARQUES *et.al*, 2002). O Plano foi elaborado com o objetivo de ordenar o processo de ocupação e estabelecer normas para o desenvolvimento urbano que se previa para a Baixada de Jacarepaguá, na qual o desenvolvimento deveria estar aliado à preservação do ambiente, uma vez que a área era uma das últimas disponíveis para onde a cidade poderia se expandir.

Em 1974 foi criada a Superintendência de Desenvolvimento da Barra da Tijuca (SUDEBAR) com o objetivo de avaliar e acompanhar o desenvolvimento do Plano Lúcio Costa. Apesar das boas intenções que previam o plano, várias diretrizes foram negligenciadas devido à incapacidade do poder público em dar seguimento à urbanização nos moldes do projeto do arquiteto, assim como o desinteresse em produzir habitações para a população de baixa renda, o descaso com o saneamento e o desinteresse em prover a mobilidade urbana. Estes e outros impactos começaram a se refletir de forma negativa no ambiente, acelerando processos de degradação (CARVALHO, 2013).

Em 1975, com a fusão dos Estados da Guanabara e do antigo Estado do Rio de Janeiro, há uma completa reformulação da administração pública culminando com a criação da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro. Assim, em 1977, foi aprovado um Plano Urbanístico Básico da Cidade (PUB-Rio) que dentre outras medidas instituiu uma nova divisão territorial, criando as cinco Áreas de Planejamento (AP), dentre elas a AP-4 que abrange toda a Baixada de Jacarepaguá (RIO DE JANEIRO, 1998).

De acordo com a divisão político-administrativa da Baixada de Jacarepaguá (Figura 7), a bacia hidrográfica do rio Grande está inserida entre os limites dos bairros pertencentes às seguintes Regiões Administrativas: VI RA – Jacarepaguá e a XXXIII RA - Cidade de Deus da Área de Planejamento 4 (AP). Estas compõem um total de nove bairros, são eles: Freguesia, Pechincha, Tanque, Taquara, Gardênia Azul, Praça Seca, Vila Valqueire, Jacarepaguá e Cidade de Deus. (FREITAS, 2009). Fora da AP 4, abrange uma pequena área dos bairros de Realengo (AP5), Jardim Sulacap (AP5) e Quintino Bocaiúva (AP3).

Figura 7 - Bairros localizados na bacia do rio Grande.



Fonte: O autor, 2020.

Apesar da tentativa por parte do poder público em preservar o meio ambiente local em diferentes gestões, é notório a ineficácia da política de planejamento que não conseguiu antever ou ao menos minimizar os problemas relacionadas à ocupação desordenada, uma vez que o incentivo a ocupação da área, por parte do Governo, dava indícios de que isso aconteceria através do surgimento dos problemas ambientais (CARVALHO, 2013).

De acordo com Freitas (2009), a bacia do rio Grande está localizada numa área com elevada densidade demográfica e predominantemente urbana, com grandes áreas impermeáveis, indústrias e ocupações irregulares. Grande parte da população da Baixada de Jacarepaguá é residente nos bairros que se localizam na bacia, são eles: Jacarepaguá, Taquara, Cidade de Deus, Tanque, Freguesia e Praça Seca.

Conforme a Figura 7, os únicos bairros da XVI RA que não estão inseridos parcial ou completamente dentro dos limites da bacia do rio Grande são os bairros do Anil e Curicica. Em termos populacionais, apesar do bairro de Jacarepaguá ser o mais populoso da AP 4 e estar em parcialmente dentro dos limites da bacia (tabela 3), o bairro pouco contribui no número de residente da bacia, pois a maior parte de sua área são de vazios demográficos inseridos na bacia. Da mesma forma acontece com o bairro de Realengo, que apesar de possuir uma população muito expressiva, só uma pequena parte do bairro está inserida na bacia (figura 18 e tabela 3). O bairro mais populoso parcialmente dentro dos limites da bacia é o da Taquara.

Já quando se trata da população da Unidade Hidrográfica de Planejamento do rio Grande (área de análise integrada explicada no subitem 3.2.4.2) o panorama é outro. A população residente da UHP é contabilizada a partir do número de moradores por domicílios particulares permanentes de cada setor censitário com, pelo menos, 50% da área dentro dos limites da bacia hidrográfica do rio Grande. Neste sentido, mesmo com a maioria dos setores censitários dos bairros populosos, como Jacarepaguá e Realengo, ficando de fora dos limites da UHP, a população total da UHP do rio Grande é de praticamente 1/3 do total de moradores de todos os bairros listados na tabela 3 para o ano de 2010. Em termos absolutos, o número de residentes da UHP do rio Grande é de 277.263 moradores em 411 setores censitários, o que mostra o valor expressivo no quantitativo de moradores da UHP do rio Grande.

Tabela 4 – População residente segundo a Área de Planejamento (3, 4 e 5), Regiões Administrativas e Bairros inseridos parcial ou totalmente dentro dos limites da bacia do rio Grande - Município do Rio de Janeiro - 2000/2010.

Áreas de Planejamento, Regiões Administrativas e Bairros.	2000	2010
	Total	Total
Área de Planejamento 4 (sem Anil e Curicica)¹	460.308	553.185
XVI Jacarepaguá	448.131	547.859
Freguesia	54.010	70.511
Gardênia Azul	19.268	17.715
Jacarepaguá	100.822	157.326
Pechincha	31.615	34.709
Praça Seca	59.657	64.147
Tanque	32.462	37.857
Taquara	93.741	102.126
Vila Valqueire	31.717	32.279
XXXIV Cidade de Deus	38.016	36.515
Cidade de Deus	38.016	36.515
Área de Planejamento 5	187.045	193.185
Realengo	175.867	180.123
Jardim Sulacap	11.178	13.062
Área de Planejamento 3	34.538	31.185
Quintino Bocaiúva	34.538	31.185
Total de moradores dos bairros	681.891	777.555

Fonte: Modificado do IBGE (2010).

Dentre os principais fatores que influenciaram na ocupação da bacia, podemos citar: a construção da Avenida Alvorada (atual Ayrton Senna) que interliga todos os bairros de Jacarepaguá, a inauguração na década de 1970 do Polo Industrial de Jacarepaguá que levou diversas empresas para a região, a criação na década de 1960 da Cidade de Deus com o objetivo de abrigar a população removida das favelas da Zona Sul, à construção da Linha Amarela mais tarde, a construção da Estrada Grajaú-Jacarepaguá (atual Avenida Menezes Cortes) que foi modernizada e ampliada na década de 1980 e outros (FREITAS, 2009; MARQUES, 1990; CARVALHO, 2013).

Em virtude disto, intensificou-se a urbanização da Baixada de Jacarepaguá, contudo, este processo foi acompanhado por problemas como a especulação imobiliária e a falta de infraestrutura que abriram as portas para a construção de moradias irregulares e para o processo de favelização às margens dos rios como, por exemplo, do rio Grande, e das lagoas da região. Vale lembrar, que o crescimento urbano na bacia do rio Grande só foi possível também devido ao conjunto de obras realizadas no passado pelo Departamento Nacional de

¹ Os bairros do Anil e Curicica são os únicos bairros da XVI Região Administrativa que não estão inseridos total ou parcialmente dentro dos limites da bacia do rio Grande.

Obras de Saneamento (DNOS) e, no presente, nas calhas fluviais a exemplo das obras de macrodrenagem sendo atualmente realizadas através da canalização dos rios Pechincha e Tindiba na bacia do rio Grande com intuito de reduzir os impactos das enchentes na região (FERREIRA e CUNHA, 1996; O GLOBO, 2018).

Figura 8 - Canalização do rio Pechincha



Fonte: Do autor (tirada em: 30/05/2018).

Figura 9 - Canalização do rio Pechincha (afluente do rio Grande)

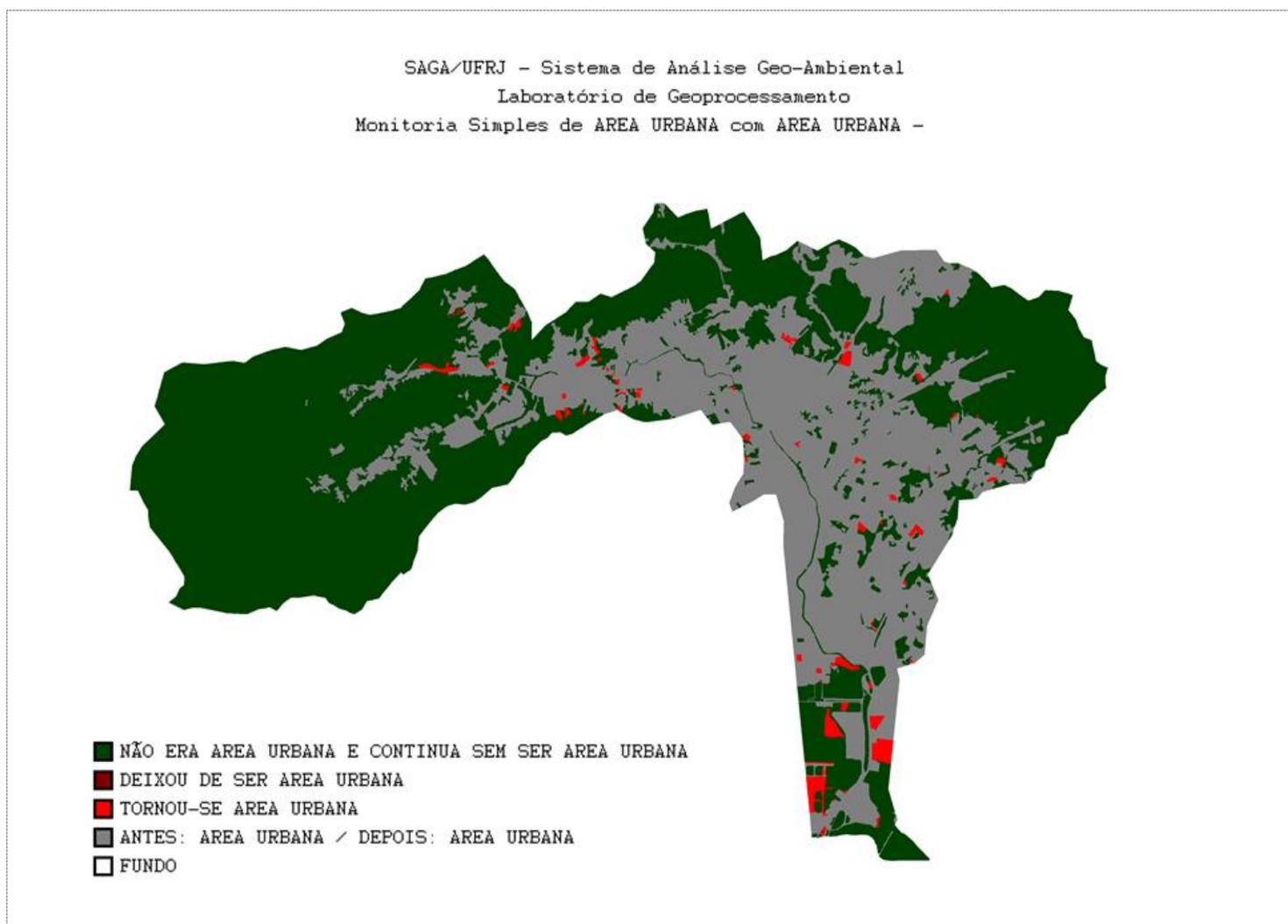


Fonte: Do autor (tirada em: 30/05/2018).

Por fim, diante do cenário descrito de intensa modificação nos usos da terra na bacia do rio Grande, tendo como ponto de referência a intensificação do processo de urbanização da Baixada de Jacarepaguá, pode-se fazer uma correlação entre este processo e os riscos de inundação na bacia do rio Grande a partir dos seguintes fatores:

- a) Degradação ambiental: desmatamento, poluição, aumento dos processos erosivos e assoreamentos dos canais fluviais;
- b) Ocupação irregular das planícies de inundação da bacia do rio Grande, em grande parte pela população mais pobre, mas também por condomínios de classe média;
- c) Intensa impermeabilização do solo;
- d) Falta de infraestrutura de saneamento ambiental, que aumenta a vulnerabilidade a inundações e muitas das vezes as intensifica;
- e) Expansão dos vetores de crescimento, principalmente, em direção aos terrenos alagadiços localizados no sul da bacia (próximos ao Arroio Fundo) e a nordeste ao longo do rio Pequeno e Grande de acordo com a monitoria ambiental realizada, no Vista – SAGA, entre os anos de 2010 e 2016 (Figura 10).

Figura 10 - Monitoria Ambiental (Simples) da Área Urbana entre 2010 e 2016 da bacia do rio Grande



Fonte: O autor, 2020.

2 MARCOS TEÓRICOS E CONCEITUAIS

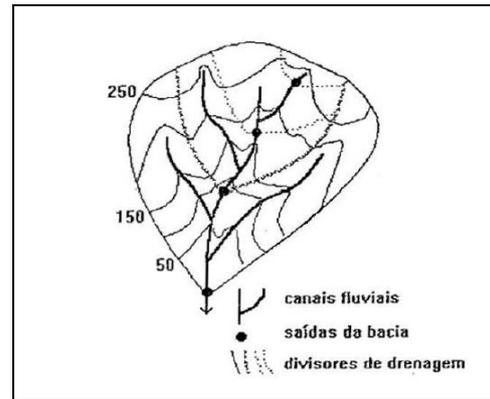
Serão descritos neste capítulo os conceitos que nortearam a presente pesquisa. Em primeiro lugar será discutido a diferença entre os conceitos de enchente e inundação a partir das diversas definições existentes na literatura pesquisada. Em segundo, o conceito de risco é posto em discussão com as abordagens deste conceito dentro da Geografia para que em seguida fossem discutidos os conceitos relacionados de suscetibilidade e vulnerabilidade (ambiental), o qual representa o objeto final da pesquisa.

Por último procurou-se discutir também, o uso de sistema de informações geográficas para análise ambiental com foco em estudos de vulnerabilidade e a utilização da Análise Multicritério associada ao Método AHP para obtenção dos pesos de cada condicionante presente na análise.

2.1 Bacia Hidrográfica como Unidade de Planejamento

No geral, há certa uniformidade quanto a conceitos e definições acerca do termo “bacia hidrográfica” por parte da comunidade científica. Basicamente, Coelho Netto (2007, p.97) define bacia hidrográfica como uma “área da superfície que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos para uma saída comum, num determinado ponto de um canal fluvial”, que variam de tamanho e articulam-se a partir de divisores de drenagens principais, drenando em direção a um coletor principal e constituindo um sistema de drenagem hierarquicamente organizado, que podem ainda ser desmembrado em sub-bacias. Deste modo, cada bacia hidrográfica se interliga com outra de ordem hierárquica superior, constituindo, em relação à última, uma sub-bacia. Portanto, os termos bacia e sub-bacias hidrográficas são relativos (FERNANDES E SILVA, 1994; COELHO NETTO E AVELAR, 2002).

Figura 11 - Representação de uma bacia hidrográfica



Fonte: Coelho Netto, 2007.

De acordo com Silva (1995), o termo bacia hidrográfica faz referência a uma unidade de compartimentação geográfica natural delimitada por divisores de água, mas que funciona de forma complexa, integrando diferentes variáveis ambientais. Este compartimento é drenado em superfície por um curso d'água principal e seus afluentes.

De forma semelhante, porém levando-se em conta as mudanças na paisagem provocadas pelo homem e, conseqüentemente, na dinâmica natural, Cunha e Guerra (1998 p. 353) considera a bacia hidrográfica como:

uma unidade integradora das características naturais e das atividades humanas, qualquer interferência significativa em um desses componentes poderá desencadear alterações, efeitos e/ou impactos a jusante e nos fluxos energéticos de saída (descarga, cargas sólidas e dissolvida), bem como na deposição de sedimentos.

Pelo fato da Geografia estudar as relações entre a sociedade e a natureza, as mudanças e processos ocorridos no espaço /tempo, suas causas e conseqüências, a torna uma ciência capaz de interpretar os fenômenos ambientais. Desse modo, desde o fim dos anos 60, a Geografia, assim como outras ciências ambientais, vem utilizando em seus projetos de pesquisa, a bacia hidrográfica como uma unidade espacial de análise ambiental, quando Chorley descreveu a bacia hidrográfica como a unidade geomorfológica fundamental, uma vez que permite conhecer e avaliar seus diversos componentes, processos e interações que nela ocorrem (BOTELHO E SILVA, 2004; ALMEIDA, 2012).

A partir da visão sistêmica, a bacia hidrográfica é concebida como um sistema integrado, em que cada componente isolado não possui propriedades integradoras. Estas propriedades somente desenvolvem-se quando se estuda a bacia como um sistema total. Dessa forma, o caráter sistêmico é evidenciado como uma característica fundamental para entender a dinâmica numa bacia hidrográfica. Para Canali e Oka Fiori (1987), a análise das redes de drenagem é de fundamental importância para a compreensão de um sistema ambiental, dado

que a estruturação da rede de canais fluviais e resultante da interação entre elementos de natureza geológica, climatológica, topográfica e biogeográfica (GHEZZY, 2003).

Guerra e Mendonça (2007, p. 231) defendem, também, se trabalhar bacias hidrográficas a partir do conceito de sistemas:

as bacias hidrográficas podem ser consideradas sistemas abertos, em termos de inputs de energia, oriundos da precipitação, e dos outputs, relacionados à água e sedimentos oriundos da erosão fluvial e das encostas existentes no âmbito das bacias.

Conforme Christofolletti (1999), sob essa mesma visão sistêmica e integradora, utilizada pela Geografia como base metodológica para entender os padrões de organização espaço-temporal do ambiente, este é considerado um sistema ambiental físico, cuja integração entre os fenômenos físicos, biológicos e socioeconômicos por meio do relacionamento entre seus elementos e processos resulta em uma entidade espacial organizada. Assim, no ambiente, a unidade espacial mais adequada para se trabalhar com a proposta sistêmica é a bacia hidrográfica, partindo da perspectiva do tripé formado pela dimensão ambiental, social e econômico, tendo em vista que em sua morfologia é agregada, sistematicamente, ações da natureza e da sociedade.

Santos (2004, p. 47) também reafirma a utilização do paradigma sistêmico nos estudos sobre bacia hidrográfica:

podemos, de maneira geral, afirmar que o arcabouço teórico dos sistemas e o conceito de organização se adaptam perfeitamente ao estudo de bacias hidrográficas e, faz com que os analistas do ambiente reconheçam o fato de que as partes dessa paisagem não são independentes, que a bacia hidrográfica, dentro de certos limites, constitui-se num todo interconectado, expressa espaço-temporalmente através de padrões, arranjos morfológicos e estruturais complexos.

No Brasil, a partir da década de 90, o aumento da consciência ecológica motivou a criação de diversas normas e leis ambientais, dentre elas a que regulamenta a bacia hidrográfica como unidade territorial de planejamento por meio da Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997). A partir da aplicação deste modelo de identidade espacial sistêmica que considera a bacia hidrográfica como um espaço de planejamento e gestão das águas, o homem passa a planejar e ocupar de forma ordenada o território, estabelecendo um novo equilíbrio ao sistema que ele faz parte e habita, isto é, a bacia hidrográfica.

Deste modo, considera-se que a bacia hidrográfica corresponde a uma unidade de planejamento ambiental, pois permite conhecer os componentes, processos e interações que nela ocorrem, com intuito de subsidiar um ordenamento territorial pautando sobre princípios

da sustentabilidade. Nela é possível analisar como determinada ação humana repercutirá sobre o equilíbrio hidrológico da bacia, refletindo na estabilidade e na qualidade ambiental (BOTELHO e SILVA, 2004).

Ainda segundo a Fundação Rio-Águas (2015), o Plano Diretor de Manejo de Águas Pluviais da Cidade do Rio de Janeiro tem como uma das premissas e diretrizes considerar a bacia hidrográfica como:

uma unidade de planejamento que independentemente das regiões administrativas e limites territoriais, as bacias devem ser entendidas como sistemas unitários, visando-se o manejo adequado das águas pluviais em seu conjunto e o tratamento integrado dos problemas de inundação.

Segundo Botelho (2011), em bacias localizadas em áreas urbanas a interferência do homem na ocupação e uso da terra, adicionando novos elementos, como as edificações pavimentação, canalização, retificação de rios e entre outros, acaba por alterar a dinâmica dos fluxos de energia e matéria e, conseqüentemente, a morfologia das encostas, planícies e da rede de drenagem dentro do sistema, isto é, alterando as condições de funcionamento dos sistemas naturais.

Ainda segundo a autora, nestas bacias urbanizadas o aumento do escoamento superficial e a diminuição considerável da infiltração de água no solo gera a diminuição da retenção de água na bacia (BOTELHO, 2011). Em superfície o aumento do escoamento superficial faz com que uma grande quantidade de água chegue ao mesmo tempo no sistema de drenagem, produzindo inundações mais intensas e frequentes do que as que existiam quando a superfície era mais permeável.

Portanto, através da concepção sistêmica é possível inferir que os processos que ocorrem ao longo do ciclo hidrológico, tais como a infiltração, o escoamento superficial, o assoreamento, a inundação e a erosão, devem ser levados em conta considerando suas estreitas relações com os componentes do meio como, por exemplo, os solos, a vegetação, o relevo, incluindo a ação antrópica, que altera a dinâmica natural do sistema (BOTELHO e SILVA, 2004). Este aspecto pode ser observado por meio dos conceitos de bacia hidrográfica utilizados pelos autores anteriormente mencionados neste texto, que a definem como célula básica de análise ambiental, pois nela está agregada, sistematicamente, ações da natureza e da sociedade.

Neste sentido, no intuito de realizar uma análise integrada das informações das variáveis que compõem a vulnerabilidade ambiental ao mesmo nível geográfico na bacia do rio Grande, escolheu-se nesta pesquisa o recorte espacial por meio das Unidades

Hidrográficas de Planejamento (UHPs), seguindo a proposta apresentada por Guimarães (2008), Zanella et al. (2013) e Albuquerque (2015). Vale ressaltar que a UHP, conforme os autores citados representa um recorte territorial que adequa o limite topográfico da bacia hidrográfica, que é o recorte espacial adotado na pesquisa, aos setores censitários presentes na bacia do rio Grande, em Jacarepaguá. Em síntese, visa avaliar não somente os elementos físico-ambientais relacionados ao limite da bacia hidrográfica, mas sim o conjunto integrante das variáveis que compõem a situação socioeconômica, agregando ao mesmo nível espacial as informações de cunho socioambiental.

3.2 Enchentes e Inundações

“Há pelo menos 20 anos, Jacarepaguá vivia um dos piores desastres registrados em decorrência das fortes chuvas que caíram sobre a região. Em fevereiro de 1996, bairros, como a Cidade de Deus, tiveram casas inundadas pelas águas que transbordaram do rio Grande, contabilizando mortes e prejuízos a população local” (O GLOBO, 2016).

Marcada por esse evento histórico, o bairro de Jacarepaguá convive antes mesmo desse desastre com as enchentes recorrentes, um problema de 50 anos, em decorrência das condições naturais da região. Soma-se a isso o intenso processo de desmatamento das encostas e impermeabilização das áreas de baixada, aumentando assim os picos de cheia e intensificando o processo de inundação. Para entender como esse fenômeno ocorre, é necessário defini-lo para que se evite confusão com outros conceitos na hora de aplicá-lo.

Primeiramente deve-se fazer uma distinção entre enchentes e inundações, que por vezes são tratados como sinônimos e descritos de maneira equivocada, e, que, no entanto se tratam de processos hidrológicos bastante distintos.

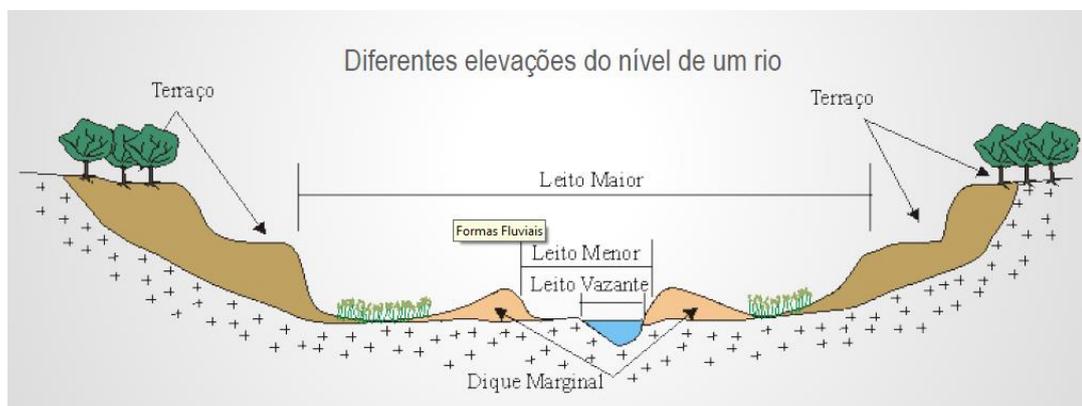
Inclusive, é importante frisar que apesar de existir uma clara diferença nas definições dos processos de enchentes e inundações por parte de diversos autores, até mesmo no meio científico não há um consenso quanto a essa distinção, existindo assim diversas interpretações que acabam por confundir o leitor. Sabendo disso, a seguir os conceitos serão descritos e relacionados conforme a visão de diferentes órgãos e especialistas para que se possa utilizar o conceito que melhor se adequa na presente pesquisa.

Inquestionavelmente, as inundações e enchentes são eventos naturais que ocorrem com periodicidade nos cursos d'água, frequentemente deflagrados por chuvas fortes e rápidas

ou chuvas de longa duração (AMARAL e RIBEIRO, 2009). Sob o mesmo ponto de vista, Pinheiro (2007) considera a enchente um fenômeno natural que ocorre nos cursos de água rurais e urbanos, que consiste na elevação dos níveis de um curso de água, podendo causar inundações, isto é, o transbordamento de água do canal principal. Nesta afirmativa apesar de considerar ambos como processos naturais, o autor já demonstra que há uma diferença entre os dois.

Apesar de serem fenômenos que possuem a mesma gênese, ambos possuem diferenças marcantes na literatura científica. Pastorino (1971 *apud* DELGADO, 2000), por exemplo, sugere que se distinga enchente (ou cheia) de inundação. Para o autor essa distinção pretende evidenciar o fato do fluxo fluvial apresentar variações periódicas de volume, as quais nem sempre implicam em extravasamento, as águas ficam contidas nos limites do leito das cheias ordinárias de vazante, menor ou maior sazonal, conforme a Figura 12 (CHRISTOFOLETTI, 1980). Neste sentido a inundação, que é o extravasamento de água, atingiria o leito maior excepcional ou planície de inundação.

Figura 12 - Representação dos tipos de leitos fluviais ou planícies de inundação



Fonte: CPRM (2017).

Igualmente, Goerl e Kobiyama (2005) compreendem que “as palavras cheia e enchente tem como origem o verbo encher, do latim “implere”, que significa ocupar o vazio, capacidade ou a superfície de; tornar cheio ou repleto”. Assim, o termo enchente se aplica a situação em que o rio tem o seu volume de água aumentado, alcançando as suas margens ou os limites da calha do rio. Já o conceito de inundação é de adequado para as situações em que o volume de água de um rio supera as suas margens ou sua calha e ocorre um transbordamento.

Em uma abordagem processual do fenômeno, Costa (2001) considera enchente como o resultado do escoamento superficial das águas decorrentes de chuvas fortes, que após suprir a

retenção natural da cobertura vegetal, saturar os vazios do solo e preencher as depressões do terreno, as águas pluviais buscam os caminhos oferecidos pela drenagem natural e / ou artificial, fluindo até a capacidade máxima disponível, no sentido do corpo de água receptor final. Dependendo de uma série de fatores físicos e das proporções das chuvas, tais limites podem ser superados e os volumes excedentes invadem áreas marginais, ocasionando assim inundações.

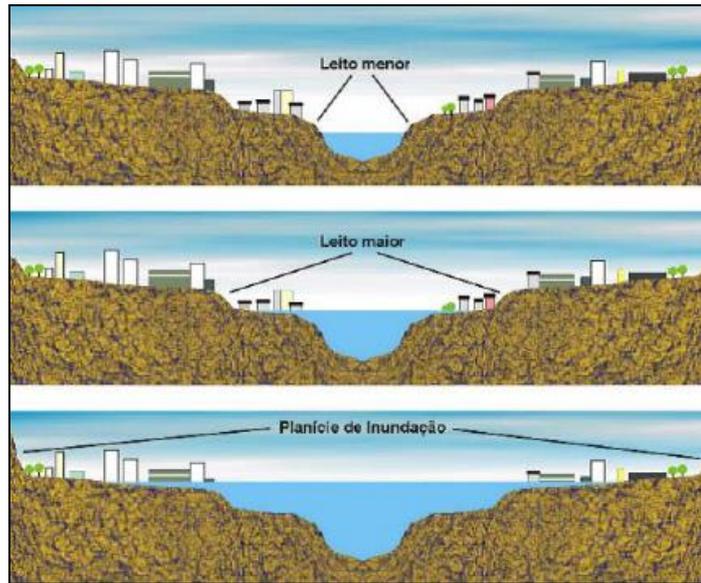
Mesmo existindo essa diferença, Costa (2001) considera que enchentes históricas, isto é, aquelas que acarretam prejuízos significativos à sociedade em consequência das inundações, são estudadas estatisticamente e enquadradas dentro de uma escala de probabilidade que as caracterizam segundo a frequência de ocorrência. Nessa afirmação, o autor acaba por considerar uma inundação como uma enchente excepcional ou um caso específico de enchente, onde o volume de água extravasa a calha do rio e inunda as áreas marginais. Da mesma forma, Cunha e Ferreira (1996) consideram a tragédia de 1996 na bacia do rio Grande, citada no início deste item, como enchentes urbanas, onde 60% da área foi inundada pela cheia do rio Grande.

Assim como os autores anteriores, Pinheiro (2007) entende as enchentes e cheias como sinônimos e representam o mesmo fenômeno. As enchentes ocorridas em pequenas bacias são chamadas popularmente de enxurradas e, se, ocorrem em áreas urbanas, elas são tratadas como enchentes urbanas. Do mesmo modo, Delgado (2000) entende a enchente como cheia, ou seja, como um evento que resulta da incapacidade temporária de um canal de drenagem conter, em sua calha normal, o volume de água por este recebido.

Neste sentido, a elevação do nível está intimamente associada a uma seção de escoamento fluvial. Para uma mesma variação de vazão, a elevação será mais ou menos importante, dependendo das condições físicas do curso de água, como a declividade do canal e material do leito e das margens do rio. A seção transversal de um curso de água pode ser dividida em canal principal (leito menor) e canal secundário (leito maior), onde o primeiro sempre apresenta escoamento de água, enquanto o segundo pode ter escoamento durante certos intervalos de tempo, de forma temporária (Figura 13).

Quando a elevação do nível atinge a parte superior da seção, provocando o extravasamento da água, tem-se a inundação das áreas laterais ao canal principal (Figura 13). A inundação é temporária. Após a passagem da onda de cheia a superfície lateral retorna ao seu estado natural, permanecendo os materiais que foram transportados pela água.

Figura 13 - Perfil esquemático do processo de enchente e inundação



Fonte: ALVES (2014).

Corroborando com os autores anteriores, o Ministério das Cidades/ IPT (2007) define a inundação como o transbordamento das águas de um curso d'água, atingindo a planície de inundação ou área de várzea. Já as enchentes ou cheias são definidas pela elevação do nível d'água no canal de drenagem devido ao aumento da vazão, atingindo a cota máxima do canal, porém, sem extravasar.

Da mesma forma que o Ministério das Cidades/ IPT, Kobiyama *et. al* (2006) considera a inundação, que é popularmente tratada como enchente, como o aumento do nível dos rios além da sua vazão normal, ocorrendo transbordamento de suas águas sobre as áreas marginais. Quando não ocorre o transbordamento, apesar do rio ficar cheio, tem-se uma enchente.

Apesar de existir uma vasta literatura em que há um consenso em relação à diferença entre os fenômenos das enchentes e inundações, como foi descrito anteriormente pelos autores citados, há outros autores que divergem dessas conceituações, interpretando-os comumente como sinônimos. Para que não fique extenuante, podemos citar como exemplo Tucci (1999), onde apesar do seu artigo ter como título “inundações urbanas”, o autor classifica as mesmas em três tipos: enchentes ribeirinhas, enchentes devido à urbanização e inundações localizadas.

Para o autor, as enchentes ribeirinhas ocorrem, principalmente, pelo processo natural no qual o rio ocupa o seu leito maior, de acordo com os eventos chuvosos extremos, em média com tempo de retorno superior a dois anos. Os impactos sobre a população são causados, principalmente, pela ocupação inadequada do espaço urbano, isto é, no leito maior.

Diferentemente de outros autores que consideram esse processo apenas como uma enchente, Tucci (1999) e Santos (2012) consideram que este pode ser classificado como uma inundação sob a perspectiva de que a água extravasa o leito menor e inunda áreas do leito maior (Figura 14), considerando apenas o fato do transbordamento e não levando em conta o tipo de leito que a água do rio ocupa como os outros autores.

Figura 14 - Esquema representativo de ocupação do leito maior de um rio.



Fonte: TUCCI (2003a)

Ao contrário das enchentes ribeirinhas onde a ocupação não é causa da inundação, e sim porque as áreas naturalmente inundáveis foram ocupadas, as enchentes devido à urbanização, segundo Tucci (1999), ocorrem devido à impermeabilização do solo através de telhados, ruas calçadas e pátios, entre outros. Dessa forma, a parcela da água que infiltrava passa a escoar pelos condutos, aumentando o escoamento superficial. O volume que escoava lentamente pela superfície do solo e ficava retido pelas plantas, com a urbanização, passa a escoar no canal, exigindo maior capacidade de escoamento das seções.

E por último existem ainda as inundações localizadas que podem ser provocadas por: estrangulamento da seção do rio, remanso, erros de execução e projeto de drenagem de rodovias e avenidas, entre outros (TUCCI, 1999).

Outro autor que trata as enchentes e inundações como se fossem o mesmo processo é Graciosa (2010), onde trata as enchentes como o aumento da vazão em decorrência de um aumento do escoamento superficial, geralmente provocado pela precipitação, podendo ou não provocar inundação.

Riccomini, Giannini e Mancini (2000), assim como as enchentes devido à urbanização de Tucci (1999), consideram as inundações quando a descarga do rio torna-se elevada e excede a capacidade do canal, extravasando para suas margens, alagando as planícies adjacentes (não especificando quais) e as diferenciam das enchentes, definindo-as como decorrentes da ação antrópica.

Por fim, Cristofolletti (1981) cunha o termo “cheia” para se referir as vazões mais elevadas que anualmente ocorrem em determinada seção transversal de um canal ou o maior débito diário (volume de água que preenche) que ocorre em cada ano, independente do fato de causar inundação ou não.

Diante das mais variadas interpretações em relação aos fenômenos de inundação e enchentes, não cabe aqui exaurir todas as definições possíveis ou mesmo apontar qual a mais correta. De certo, as interpretações descritas anteriormente vão de acordo com critérios de definição e delimitação das áreas marginais de determinado curso d’água conforme a perspectiva e objetivos de cada pesquisador (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Desta maneira, a partir de todas as definições apresentadas o termo “inundações urbanas” consiste na expressão mais adequada para conduzir esta pesquisa, uma vez que na bacia do rio Grande é possível observar dois tipos de enchentes que, segundo Tucci (1993), são provenientes dos impactos da urbanização e o outro devido aos processos naturais nas áreas ribeirinhas. Sendo assim, apesar das inundações que ocorrem em áreas urbanas serem condicionadas por fatores naturais, elas podem ser agravadas por fatores antrópicos, podendo ocorrer em áreas nunca atingidas pelas águas ou não suscetíveis à inundação, que por consequência da ação antrópica tornam-se se sujeitas a sua ocorrência (SOUZA, 1996).

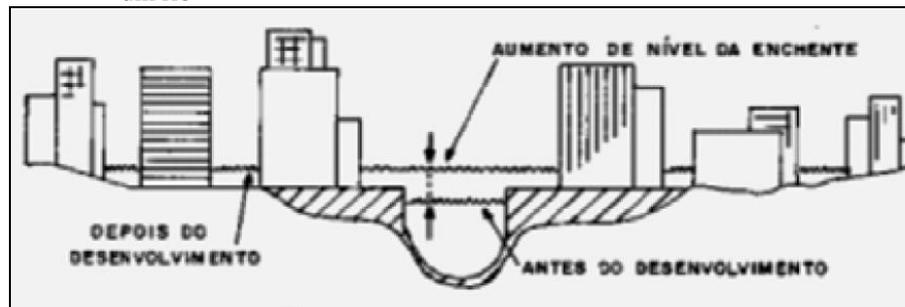
Assim, é necessário realizar um levantamento completo, não só dos aspectos físicos naturais da bacia hidrográfica (geologia, geomorfologia, solos, topografia e precipitação), como também das transformações recentes na paisagem urbana, que provocaram mudanças no fluxo do canal e aumento no escoamento superficial (FERREIRA, CUNHA, 1996; SANTOS, 2012; AMARAL, RIBEIRO, 2009).

Na mesma direção, Tucci e Bertoni (2003) mencionam que a urbanização desordenada ocasiona o aumento das vazões máximas, erosão das margens dos cursos d’água e aumento da produção de sedimentos, que juntamente com outros poluentes provenientes dos centros urbanos, são transportados para os corpos hídricos e deterioram a qualidade da água superficial e subterrânea. Os autores ainda citam que a urbanização sem planejamento tende a construir sistemas de drenagem inadequados, que visam apenas o escoamento rápido da água precipitada, aumentando a magnitude da vazão, a frequência e o nível de inundações a jusante.

Em suma, o presente trabalho considera as inundações como um fenômeno resultante do extravasamento da água da calha do rio, sendo ela uma calha natural ou antropizada, uma vez que os rios presentes na bacia do rio Grande ainda preservam suas condições geomorfológicas naturais à montante (principalmente, por estarem preservadas pelas

Unidades de Conservação do PEPB e PNT) e também apresenta canais e planícies de inundação bastante modificadas devido à intervenção humana (sobretudo, o médio e baixo curso, este último inserido na baixada de Jacarepaguá). Assim, a ocupação irregular das margens e planícies de inundação desencadeada pelo crescimento urbano acelerado e o conjunto de modificações realizadas para permitir o crescimento urbano, em especial na calha fluvial, tem provocado o aumento da ocorrência e do volume das inundações. (Figura 15).

Figura 15 - Esquema representativo de modificação e ocupação da planície de inundação de um rio



Fonte: TUCCI (2003a).

2.3 Conceitos de Risco e Vulnerabilidade

Antes de qualquer explanação a respeito do conceito de **vulnerabilidade**, é de fundamental importância compreender o conceito de risco, pois apesar de serem conceitos distintos, estão intrinsecamente relacionados.

2.3.1 Risco

Primeiramente, para compreender o conceito de risco é necessário recorrer ao passado, pois este conceito ao longo do tempo foi trabalhado a partir de diferentes abordagens científicas, adquirindo assim diferentes significados quanto ao estabelecimento do conceito. Não diferente das outras ciências, o conceito de risco é abordado na Geografia, uma vez que parte dos riscos se inscreve no quadro das relações natureza/sociedade que fundam a abordagem ambiental. Em grande parte dos trabalhos acadêmicos, independente do ramo de

conhecimento, o conceito de risco refere-se a uma denotação negativa em que essa abordagem é privilegiada e o risco se exprime em termos de perigos e danos potenciais.

A própria origem do termo “risco” em línguas europeias é oriunda dos termos latinos como *rixare*, significando “brigar”, ou *ressecare*, “extirpar, suprimir”, designando, ao mesmo tempo, tanto um perigo potencial ou a percepção de uma situação como perigosa na qual os efeitos podem ser sentidos (VEYRET, 2007).

No entanto, partindo da citação exposta anteriormente, é necessário apontar duas observações: primeiro em relação à concepção de risco que se tinha no passado e a que se tem atualmente e, segundo, diferenciar perigo e risco, que embora ao longo do tempo o termo “perigo” foi empregado como sinônimo de risco ou mesmo inserido em sua definição, ambos se tratam de conceitos bastante distintos, porém complementares.

No passado a população era predominante rural e enfrentava numerosos processos perigos, tais como: frio, seca, inundações, furacões, o que dava à existência do homem uma atitude de constante precariedade e a exposição a calamidades era entendida como uma fatalidade. De acordo com Lagrange (1993), o homem estava mais suscetível a catástrofes, fomes, epidemias que eram então percebidas como “signos da danação”, ou seja, como castigos divinos (VEYRET, 2007).

Entretanto, atualmente mesmo com o desenvolvimento da ciência e da técnica, estas podem ser vistas como ameaçadoras e maléficas, pois elas também podem produzir riscos para sociedade. Isto significa que, ao mesmo tempo em que desenvolvimento econômico gerou benefícios à sociedade, esta também é responsável pelos problemas ambientais que, direta ou indiretamente, sempre se recai sobre ela mesma. Isso acarretou no aumento da preocupação acerca do meio ambiente e a mudança de paradigma na relação homem/natureza nos dias de hoje. Diante deste novo paradigma, para Veyret (2007), na sociedade moderna, o risco é onipresente, não existindo risco zero e restando apenas gerenciá-lo.

Dentro deste contexto atual, o estudo do risco toma importância e tem como expoente o sociólogo alemão Beck (1986 apud VEYRET, 2007), quando este cunha o termo “sociedade de risco”. Em seus trabalhos, o risco ocupa posição central na sociedade pós-industrial ou pós-moderna, que contribui para produzir disfunções e para gerar perigos. O autor dá o exemplo da degradação do meio ambiente e da floresta alemã causada pelos efeitos da chuva ácida.

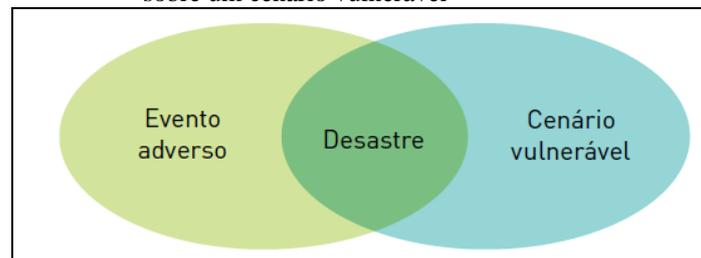
A partir deste marco, a intensificação dos estudos de riscos por parte da comunidade científica, tem gerado o uso indiscriminado das expressões “risco” e “perigo”. Por mais que ambas denotem algo que seja negativo, muitos trabalhos utilizam esses termos

concomitantemente ou intercambiado, mas não deixam definidas as diferenciações existentes entre eles (SOUZA e LOURENÇO, 2015).

Comumente a noção de risco é associada a um perigo imediato. O risco não significa necessariamente uma situação de perigo. Sair de casa representa um risco, já que se pode ser atropelado, assaltado ou vítima de uma bala perdida, porém seria exagerado garantir que o ato de sair de casa corresponda a um perigo (SANTOS e SOUZA, 2014). Isso não significa dizer que ao sair de casa todas essas situações podem a qualquer momento acontecerem.

Tobin e Montz (1997) definem perigo como uma situação potencialmente prejudicial, enquanto que, desastre é a materialização do perigo. Para a UM-ISDR (2004) desastre é a interrupção instantânea de um sistema social que provoca perdas humanas, econômicas e ambientais. Neste caso, o desastre é uma função no processo de risco que traduz a combinação entre processos perigosos (evento adverso), vulnerabilidade e incapacidade de conter os impactos negativos da manifestação do risco.

Figura 16 - Desastre é resultado de um evento adverso que ocorre sobre um cenário vulnerável



Fonte: BRASIL (2012).

Ainda segundo o CEPED/RS-UFRGS (2016), o conceito de perigo não pode ser confundido com o de ameaça, apesar de serem próximos. Denomina-se **ameaça** um fenômeno ou condição que evidencia a possibilidade de ocorrência de eventos desfavoráveis, tais como a destruição de bens e propriedades, ou ferimentos e mortes de pessoas. Ou seja, o conceito de ameaça simboliza uma situação com capacidade de causar prejuízos, em caso de ocorrência. Segundo Fell et al. (2008), a ameaça pode ser existente (como uma encosta com movimento lento) ou potencial (como a queda de um bloco) e sua caracterização não inclui qualquer previsão.

Por outro lado, chamamos de **perigo** uma situação que tem potencial para causar consequências negativas (danos e prejuízos), mas para a qual é possível fazer uma estimativa dos intervalos de tempo de ocorrência (frequência). O perigo (“hazard”) é a probabilidade que uma ameaça específica (portanto, com danos) ocorra em um dado período de tempo (FELL et

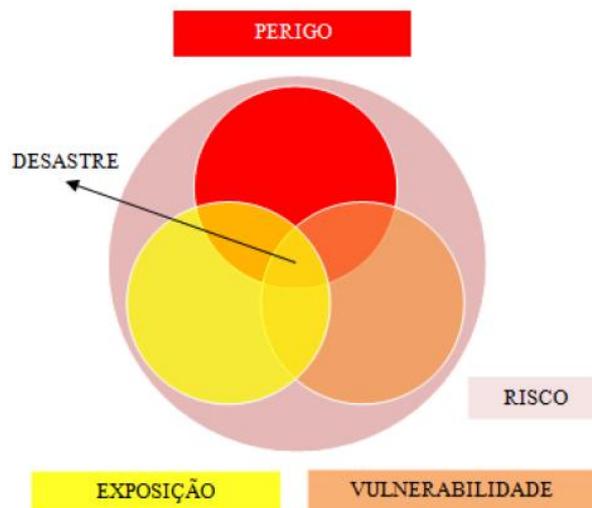
al., 2008). Segundo Marandola e Hogan (2004), apontam como perigos naturais, desde que causem danos às populações envolvidas: as enchentes, os deslizamentos, os tornados, as erupções vulcânicas, os furacões, os vendavais, a chuva de granizo, as geadas, as nevascas, a desertificação, os terremotos, entre outros.

De acordo com CEPED/RS-UFRGS (2016), os perigos são processos ou fenômenos naturais, que podem ser agravados pela atividade humana, tais como a urbanização e a degradação do ambiente, e podendo causar danos, por sua vez, o risco é a probabilidade de perda esperada para uma área habitada em um determinado tempo, devido à presença iminente de um perigo. Sob o mesmo ponto de vista, Veyret e Richemond (2007a, p. 11) definem o risco como:

a percepção do perigo, da catástrofe possível. Ele existe social ou profissional, uma comunidade, uma sociedade que o apreende por meio de representações mentais e com ele convive por meio de práticas específicas. Não há risco sem uma população ou indivíduo que o perceba e que poderia sofrer seus efeitos. Correm-se riscos, que são assumidos, recusados, estimados, avaliados, calculados. O risco é a tradução de uma ameaça, de um perigo para aquele que está sujeito a ele e o percebe como tal.

Logo, para existir risco é necessário que haja ocupação do espaço, pois os processos naturais só criam riscos quando as pessoas ocupam o lugar. Sendo assim, para tratar do risco, deve-se considerar o perigo e a vulnerabilidade (densidade demográfica, infraestrutura, pobreza, etc.) do ambiente a ser impactado (KOBİYAMA et al; 2006).

Figura 17 - Diagrama de análise da relação entre Perigo, Exposição e Vulnerabilidade como elementos de interseção do desastre.



Fonte: Adaptado de Licco e Seco (2013, p.5).

Para compreender a noção de risco, Kobiyama *et. al* (2006) exemplificam o caso de uma chuva de grande intensidade que costuma ocorrer em uma época e lugar conhecido, esta chuva provoca uma situação de perigo a inundação. Se este evento se propagar em direção a áreas habitadas, com uma possibilidade real de danos e prejuízos, teremos então uma situação de risco. Quando a inundação atingir a área povoada, causando danos materiais e vítimas, será denominada como desastre natural.

Por fim, tradicionalmente, a ciência geográfica desenvolveu diversos estudos de avaliação de risco, ou seja, o estudo da probabilidade do risco vir a acontecer em locais considerados suscetíveis à manifestação de processos perigosos (HOGAN E MARANDOLA, 2011; SOUZA e LOURENÇO, 2015). Neste sentido, o presente estudo é guiado por este conceito de risco, em que muitas vezes devido ao processo de urbanização desordenada, o homem acaba por ser o principal fator de dinamização de riscos ambientais, estando os riscos naturais em segundo plano. Ou seja, riscos que já existiam foram potencializados por conta do intenso processo de urbanização desordenado em que, parcelas significativas da população cada vez mais vêm ocupando áreas como encostas, várzeas e planícies inundáveis, tornando-se vulneráveis aos riscos ambientais.

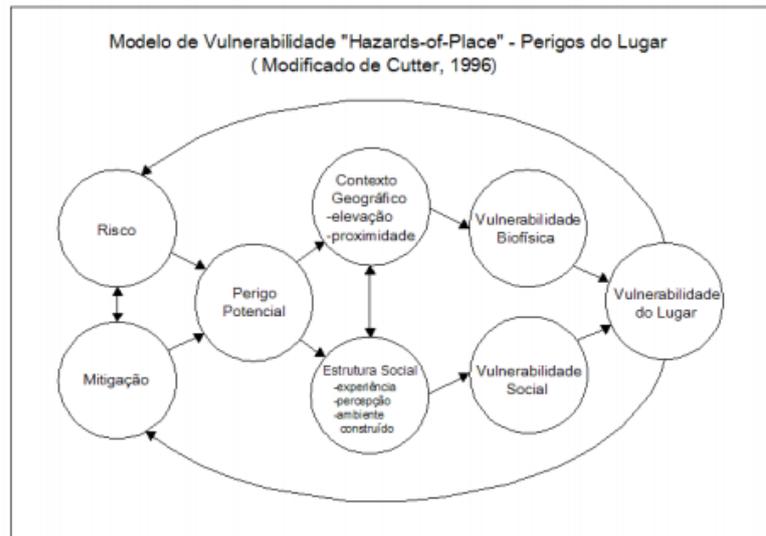
2.3.2 Vulnerabilidade (Ambiental)

Assim como os conceitos de risco e perigo, a definição do conceito de vulnerabilidade não é consolidada pelo fato de ser um tema que permeia várias ciências (Sociologia, Demografia, Geografia, Engenharia, etc.), trazendo diferentes abordagens que variam de acordo com a perspectiva de cada pesquisador. Um exemplo disto é que nas Ciências Sociais focaliza-se mais na vulnerabilidade das pessoas ou grupos, que ao contrário da Geografia, tende a se preocupar com a vulnerabilidade do lugar, isto é, a vulnerabilidade tratada sob uma perspectiva espacial, trabalhando simultaneamente as dimensões social e ambiental (MARANDOLA JR. e HOGAN, 2006).

Diante das mais variadas definições do conceito, Cutter (1996) declara que os geógrafos tendem a se preocupar com a vulnerabilidade ambiental ou do lugar (Figura 18), onde os estudos populacionais se voltam para grupos demográficos que estão sujeitos a perigos, ou seja, a população em situação de risco. A necessidade de analisar a população e seu entorno (ambiente) proporcionou a dimensão espacial a problemática. Com isso,

acrescentam-se os estudos dos elementos que oferecem perigos (fatores físico-ambientais) e outros que possibilitam seu enfrentamento (fatores sociais).

Figura 18 - Modelo de vulnerabilidade “hazards of place” – Perigos do Lugar



Fonte: Adaptado de Cutter (1996) por Almeida (2009).

Para Tobin e Montz (1997), o conceito de vulnerabilidade pode ser compreendido como a probabilidade que uma comunidade, estrutura, serviços ou área geográfica têm de ser danificada ou perturbada pelo impacto de um determinado perigo.

A vulnerabilidade também pode ser entendida como a capacidade de resposta diante da materialização do risco (MARANDOLA JR. e HOGAN, 2006). Sendo assim, a vulnerabilidade, enquanto componente do risco, indica o quanto existe de inabilidade para lidar com os efeitos adversos de um determinado evento e depende da capacidade e sensibilidade de adaptação dos sistemas.

Em conformidade com os autores anteriores, Veyret e Richemond (2007) ao relacionarem a vulnerabilidade com os riscos, direcionam o entendimento do conceito ao sugerir que ser vulnerável é estar fisicamente exposto a um perigo, apresentando certa fragilidade diante do evento e não ter condições ou os meios para enfrentar a crise, o que significaria a capacidade de um sistema complexo, como uma cidade, se restabelecer após uma situação de crise. Nesta concepção, quanto maior for a vulnerabilidade do sistema menor será sua capacidade de absorver a perturbação sofrida ou de se readaptar a nova situação.

É pertinente ressaltar que a noção de vulnerabilidade, embora intrinsecamente associada, difere da de risco:

a vulnerabilidade é diferente do risco. A base etimológica da palavra advém do verbo latino “ferir”. Enquanto que o risco implica a exposição a perigos externos em relação aos quais as pessoas têm um controle limitado, a vulnerabilidade mede a capacidade de combater tais perigos sem que se sofra, a longo prazo, uma potencial perda de bem-estar. (PNUD, 2007, p.78).

Basicamente, a ideia de vulnerabilidade, na maioria das vezes, é explicada como uma situação em que estão presentes três elementos (componentes): a exposição ao risco; a capacidade de resposta e o grau de adaptação diante da materialização do risco (MARNDOLA E HOGAN, 2006).

A ciência da vulnerabilidade ajuda a perceber como o mesmo acontecimento pode produzir impactos muito diferentes nas zonas envolvidas (CUTTER, 2003). Neste sentido, levando-se em conta a capacidade socioeconômica dos sistemas para se ajustar às mudanças, Deschamps (2004) mostra que populações em situação de vulnerabilidade social alta coexistem com espaços naturais susceptíveis aos eventos naturais adversos. Tais áreas geralmente são habitadas por indivíduos e famílias que não possuem recursos de qualquer natureza para responderem adequadamente à ocorrência de um evento natural perigoso. A autora conclui que:

há uma estreita relação entre a localização espacial dos grupos que apresentam desvantagens sociais e aquelas áreas onde há risco de ocorrer algum evento adverso, ou seja, populações socialmente vulneráveis se localizam em áreas ambientalmente vulneráveis. (DESCHAMPS, 2004, p.140).

Diante dessa afirmação, Anderson (1995) aponta que pelo menos 25% da população mundial vive em áreas de perigos naturais, indicando que a maior parte desse contingente populacional se encontra em países em desenvolvimento, onde a vulnerabilidade está atrelada a pobreza, a segregação/ discriminação e da carência de representação política, que impedem o processo de desenvolvimento.

Nas cidades brasileiras, por exemplo, onde o intenso processo de urbanização se deu de forma desordenada aliada a um contexto de forte desigualdade social, gerou grandes transformações nos ambientes naturais, ocasionando diversos problemas ambientais. No entanto, esses problemas não são sentidos de maneira uniforme por toda população da cidade, pois para a grande parcela da população pobre (vulnerável) acabou lhe restando ocupar terras marginais inseguras. Essas áreas, geralmente, são constituídas por ambientes legalmente protegidos dotados de elevada fragilidade ambiental e rejeitados pelo mercado imobiliário, onde há precariedade do controle e fiscalização ambiental favorecendo a ocupação (MARICATO, 2001; COELHO, 2001).

Ainda de acordo com Cutter (1996):

ao representar a vulnerabilidade local é importante considerar não apenas um dos elementos da vulnerabilidade – físico ou social –, mas a sua intersecção. Em alguns lugares, a vulnerabilidade física pode ser bastante elevada (por exemplo, nas zonas costeiras), mas se a população residente for rica, com recursos consideráveis para a preparação para e resposta a desastres (o que equivale a menor vulnerabilidade social), a comunidade será capaz de recuperar rapidamente. Se, por outro lado, a comunidade costeira vizinha (com o mesmo nível de exposição física) apresentar características sociais diferentes (residentes pobres, idosos e pertencentes a minorias), então essa comunidade irá demorar mais tempo a recuperar, uma vez que a capacidade dos seus habitantes para absorver as perdas e recuperar é também mais limitada. (CUTTER, 1996, p. 534).

Conforme pôde ser observado, os riscos não se manifestam da mesma forma em todos os lugares e que estes obedecem a padrões de exclusão, segregação social e desigualdade que marcam as estruturas das cidades. E, ainda, que dentro de um contexto de ambiente urbano, a sobreposição de vulnerabilidades naturais e sociais aumenta a exposição ao risco, podendo ocasionar desastres (CUTTER, 2003).

Portanto, para De Paula, Marandola e Hogan (2007) a vulnerabilidade ambiental pode assumir um significado maior para os que sofrem uma exposição mais elevada aos riscos do ambiente, por viverem em uma iniquidade social e disponibilizando reduzidos ativos para encarar os riscos. Os autores acabam por concordar com o exemplo exposto por Cutter (1996), no qual as consequências da degradação ambiental não são sentidas de forma igual entre os grupos sociais.

Desta forma, a análise da categoria espacial da vulnerabilidade, dentro da Geografia, busca a compreensão dos territórios através do uso e ocupação do solo e, também, do entendimento dos indicadores socioeconômicos e ambientais, estabelecendo a relação entre os grupos sociais pobres e as áreas vulneráveis ambientalmente, principalmente nos locais de precárias condições de saneamento básico (degradação ambiental), em áreas sujeitas a inundações e deslizamento de encostas. Isto significa dizer que a perspectiva espacial considera a posição e a situação (relacionais e relativas) componentes dos elementos que produzem perigos ou que fornecem condições de enfrentá-los, entendendo o meio como um conjunto físico-social que influencia e é influenciado pela população, e, também, concebendo a relação sociedade-natureza como um devir histórico-social que se pauta pela produção contraditória e desigual do espaço e da sociedade (MARANDOLA E HOGAN, 2009).

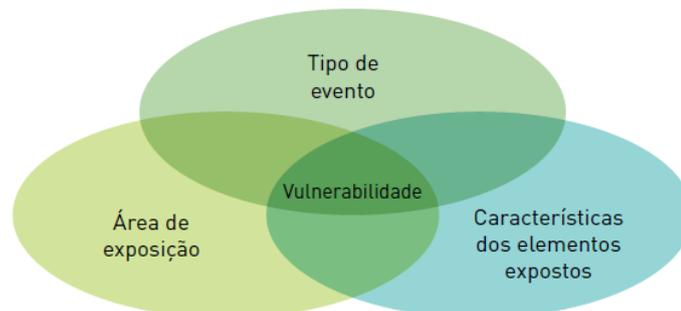
Nessa direção, na tentativa realizar uma análise integrada que leve em conta tanto a dimensão ambiental, quanto a social na identificação da vulnerabilidade, o conceito que melhor se encaixa na perspectiva da presente pesquisa é o de vulnerabilidade ambiental. Neste sentido, a vulnerabilidade ambiental pode ser definida como um espaço onde coexistem

ambientes e populações em situação de risco ambiental, expondo aos indivíduos e os grupos sociais às adversidades decorrentes de fenômenos naturais severos (DESCHAMPS, 2005; ZANELLA et al, 2009).

Em outras palavras, o uso do termo vulnerabilidade ambiental justifica-se porque a vulnerabilidade a riscos ambientais depende de fatores sociais, econômicos, tecnológicos, culturais e a relação destes com o ambiente físico-natural, envolvendo, portanto, a dinâmica social e a dinâmica ambiental, este último, inclusive, quando em estado de degradação.

Portanto, com base nos conceito de vulnerabilidade de Cutter (1993; 2003) Marandola e Hogan (2006): a vulnerabilidade ambiental é tratada aqui como a interação entre o grau de suscetibilidade a inundações (exposição ao risco ambiental) e a vulnerabilidade social (capacidade de resposta/ resistência). A integração destes dois parâmetros em lugares específicos da bacia hidrográfica do rio Grande resulta numa análise da vulnerabilidade ambiental (Figura 19).

Figura 19 - Parâmetros da vulnerabilidade ambiental.



Fonte: CEPED/RS-UFRGS (2016).

Dessa maneira a área de exposição é representada no presente estudo pelo conceito de **suscetibilidade**, que pode ser definido como a maior ou menor predisposição de ocorrência de um determinado evento em uma área específica, sem considerar os possíveis danos e seu período de recorrência (CEPED/UFRS, 2016; GIRAO *et. al*, 2018). É importante ressaltar, que este evento pode ocorrer independente dos fatores sociais, mas tendo a sociedade como elemento de interferência que acelera ou retarda. Outro ponto importante, é que a suscetibilidade é específica a um fenômeno. Assim, as características do meio podem o tornar mais vulnerável aos movimentos de massa e menos as inundações, por exemplo. (GALLOPIN, 2006; ZANELLA et al., 2018)

Ainda de acordo com Cerri e Amaral (1998), as áreas suscetíveis a determinado evento seriam como zonas onde existe risco ambiental, entendido aqui o risco como a “possibilidade

de um acidente”, ou seja, determinadas áreas seriam mais predispostas a ocorrerem determinado evento, no caso do presente estudo, as inundações.

Dessa maneira, a vulnerabilidade ambiental representa como as condições preexistentes fazem com que os elementos expostos sejam mais ou menos propensos a ser afetados pelas inundações, sendo importante notar que o mapeamento da vulnerabilidade ambiental possui uma estreita relação com a forma como se deu o processo de urbanização ao observar a distribuição das classes sociais na cidade.

Portanto, através das técnicas de geoprocessamento, torna-se possível gerar produtos que possam contribuir para melhorar o ordenamento territorial, especialmente no estudo da vulnerabilidade ambiental. Segundo Cutter (2003) e Zanella et al (2013), a superposição dos planos de informação permite a visualização dos dados espaciais e seus relacionamentos, de modo a melhorar a interpretação e compreensão das características ambientais, sociais e das relações que ocorrem em um determinado espaço. Assim, os elementos naturais e sociais podem ser visualizados de forma integrada, estabelecendo a vulnerabilidade ambiental.

2.4 Geoprocessamento aplicado a Análise Multicritérios da Vulnerabilidade Ambiental

2.4.1 O procedimento de Análise Multicritérios

Em primeiro lugar, ao se tratar de estudos ambientais deve-se considerar que o ambiente é um sistema com expressão espacial, com limites identificáveis, estruturado por funções internas, que dão consistência a suas partes componentes e por funções externas que o relacionam com eventos e sistemas que lhe são exteriores (XAVIER DA SILVA, 2001). Sistemas ambientais, portanto, nada mais são do que entidades espaciais, cuja representação do mundo real ou de determinada situação ambiental pode ser feita cartograficamente por meio de mapas temáticos digitais, chamados também de planos de informação. Para que, então, os estudos ambientais sejam viáveis, deve-se fazer um levantamento dos planos de informações relevantes para constituir um modelo digital de ambiente, podendo assim reproduzir as partes componentes do sistema ambiental ou mesmo simular os processos ambientais (eventos).

Moura (2007) considera que o uso de um SIG está relacionado à seleção de variáveis de análise e o estudo de suas combinações. São tentativas de representação simplificada da realidade, através da seleção dos aspectos mais relevantes, na busca de respostas sobre correlações e comportamentos de variáveis ambientais. Neste sentido, por meio de um SIG é possível realizar uma análise espacial integrada dos diversos planos de informação, permitindo a visualização das informações espaciais e seus relacionamentos, de modo a melhorar a interpretação e compreensão das características ambientais, sociais e das relações que ocorrem em um determinado espaço.

Nessa direção, é preciso empregar uma análise multicritério, na qual trabalha com mais de um critério simultaneamente. Dessa maneira, para o entendimento das inundações, por exemplo, é necessário levar-se em conta que elas são fruto da combinação de diferentes variáveis, como, por exemplo, a geomorfologia, o uso e cobertura da terra, os tipos de solos, a declividade do relevo, entre outros. Em outras palavras, faz-se necessário realizar uma análise multicritério de vários elementos do meio físico a partir da criação de um modelo digital do ambiente.

A análise multicritério é, originalmente, uma ferramenta matemática que permite comparar diferentes alternativas, fundamentada em vários critérios, com o objetivo de direcionar os tomadores de decisão para uma escolha mais ponderada (ROY, 1996). De forma semelhante, segundo Moura (2007), a Análise Multicritério permite comparar diferentes alternativas, fundamentada em vários critérios, com o objetivo de direcionar os tomadores de decisão para uma escolha ponderada, isto é, definir o grau de pertinência de cada variável e suas respectivas classes para a construção de um mapa síntese, utilizando-se fatores de ponderação sempre que necessário.

A integração entre os métodos de análise de multicritérios e os SIGs foi um avanço na metodologia de sobreposição de mapas para a determinação da adequação de uso da terra, sendo entendida como um processo que combina e transforma dados espaciais em uma resposta para a tomada de decisão. As regras de decisão definem as relações entre os dados espaciais (mapas de entrada) e os dados de saída (mapas finais) (EASTMAN, 1998; MALCZEWSKI, 2004).

De acordo com Moura (2007), o procedimento multicritério pode ser sintetizado a partir das seguintes etapas:

- (1) seleção das principais variáveis que caracterizam um fenômeno, já realizando um recorte metodológico de simplificação da complexidade espacial;
- (2) representação da realidade segundo diferentes variáveis, organizadas em camadas de informação;
- (3) discretização dos planos de análise em resoluções espaciais adequadas tanto para as fontes dos dados como para os objetivos a serem alcançados;
- (4) promoção da

combinação das camadas de variáveis, integradas na forma de um sistema, que traduza a complexidade da realidade; (5) finalmente, possibilidade de validação e calibração do sistema, mediante identificação e correção das relações construídas entre as variáveis mapeadas.

Vários estudos voltados à análise ambiental tem empregado a análise multicritério como: Ribeiro (2013) na realização de uma avaliação ambiental de risco de ocorrência a movimentos de massa na Zona de Amortecimento do Parque Estadual da Pedra Branca (RJ), Carvalho (2015) na mensuração da vulnerabilidade socioambiental a processos de encosta (movimento de massa e erosão) do município de Mangaratiba, Mantovani (2016) no mapeamento das áreas suscetíveis a inundação e /ou alagamento na bacia do córrego Indaiá (MS), Fernandes (2019) na análise da vulnerabilidade socioambiental no município de Angra dos Reis (RJ) pelo método AHP e entre outros.

Nas últimas décadas diversos métodos de avaliação por multicritérios foram implementados dentro dos SIGs, dos quais Malczewski (2004) e Eastman (2003) citam: as operações Booleanas, a Média Ponderada Ordenada e a Combinação Linear Ponderada, sendo os dois primeiros mais simples e comumente empregados. No presente trabalho foi utilizado o método de análise multicriterial passível de integração em ambiente SIG denominado AHP (Analytic Hierarchy Process) ou Processo Analítico Hierárquico, que será descrito com mais detalhe no próximo subitem.

2.4.1.1 O Método de Análise Hierárquica de Pesos (AHP)

O método AHP, desenvolvido por Thomas L. Saaty, na década de 70, consiste na criação de uma hierarquia de decisão, sendo essa hierarquia composta por níveis hierárquicos que permitem uma visão global das relações inerentes ao processo. Para estabelecer a importância relativa de cada fator da hierarquia são elaboradas matrizes de comparação pareada para cada nível, onde os resultados das matrizes são ponderados entre si.

O modelo hierárquico de Saaty (1980), de acordo com Silva e Nunes (2009) é:

um processo de escolha baseada na lógica de comparação par a par (*pairwise comparison*), em que diferentes fatores que influenciam na tomada de decisão são organizados hierarquicamente, e comparados entre si, e um valor de importância relativa (peso) é atribuído ao relacionamento entre estes fatores, conforme uma escala pré-definida que expressa a intensidade com que um fator predomina sobre outro, em relação à tomada de decisão.

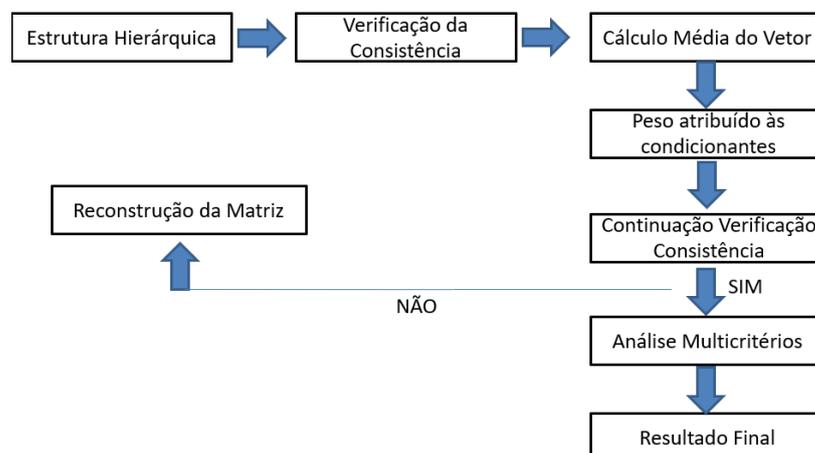
Assim, ao defrontar-se com um grande número de elementos, controláveis ou não, que abrangem uma situação complexa, ela os agrega em grupos, segundo propriedades comuns. Essa decomposição do problema em grupos, ou níveis, foi definida por ele como hierarquia, isto é, um sistema de níveis estratificados, cada um consistindo em tantos elementos, ou fatores (SAATY, 1991).

Segundo Chan e Chan (2004), somado às vantagens de simplicidade, fácil uso e capacidade de lidar com estruturas complexas, existem três vantagens que diferenciam o AHP de outros métodos de tomada de decisões: (1) habilidade de lidar com atributos tangíveis e intangíveis, (2) habilidade de estruturar problemas de forma hierárquica e (3) habilidade de monitorar a consistência com que um tomador de decisão faz um julgamento.

Considerando os autores Silva e Nunes (2009), o processo de decisão utilizando AHP desenvolve-se ao longo de seis etapas (Figura 20), agrupadas em três estágios, listadas a seguir e explicadas em maior nível de detalhe na sequência:

- a) **Estágio 01** - Estruturação da Hierarquia de Decisão:
 - Estruturação da hierarquia.
- b) **Estágio 02** - Construção da Matriz de Comparação Pareada:
 - Construção da matriz;
 - Verificações de consistência;
 - Definir o valor da importância relativa (peso) de cada fator.
- c) **Estágio 03** - Princípio da priorização e síntese de prioridades:
 - Priorização das alternativas;
 - Classificação final.

Figura 20 - Representação do Método AHP.



Fonte: SILVA e NUNES (2009).

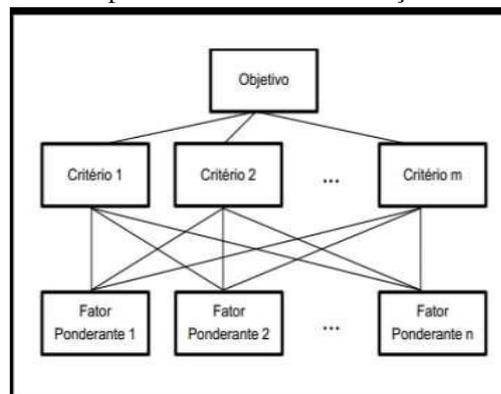
1. Estruturação da hierarquia de decisão:

Antes de tudo é necessário definir o problema a ser estudado ou o objetivo que se deseja alcançar. Na estrutura da hierarquia, este objetivo é o início da hierarquia, no método AHP, onde representa um critério de síntese ou objetivo global.

A partir disso, estrutura-se uma hierarquia que possibilite identificar os critérios envolvidos e checar como estes definem o problema a partir da influência mútua entre os mesmos, onde as entidades de um grupo influenciam as de outro e são influenciadas pelas entidades de apenas outro. Os critérios, segundo Lopes (2004), são colocados nos níveis sucessivamente inferiores que apresentam algum impacto no nível superior, isto é, no objetivo.

De acordo com Cavassin (2004), esta hierarquização possibilita, ainda, estudar as interações destes componentes e os impactos que os mesmos exercem sobre o sistema. A estrutura de uma hierarquia simples para o método AHP é mostrada na Figura 21.

Figura 21 - Exemplo de modelo de estruturação hierárquica.



Fonte: Pinese Júnior e Rodrigues (2012).

De acordo com a Figura 21, no topo da hierarquia está a objetivo, no caso definir a vulnerabilidade ambiental à inundação no presente estudo. No segundo nível estão as variáveis (critérios) que irão determinar as classes de vulnerabilidade, compostos pelos planos de informa o de declividade, pedologia e uso e cobertura do solo. No último nível estão as classes mapeadas de cada variável que compõem o segundo nível. Vale ressaltar que quanto mais critérios, menos importante cada critério individual se torna, onde a compensa o é feita pela atribui o de pesos para cada critério.

2. Construção da Matriz de Comparação Pareada:

Após a definição do objetivo e estruturação hierárquica dos fatores, é iniciada a comparação par a par, ou matriz de comparação. Para definir a importância relativa de um fator sobre o outro, é utilizada a escala pré-definida por Saaty (1980), conforme apresentado na tabela 4.

Neste contexto, os valores de entrada na matriz, que influenciam na vulnerabilidade ambiental da área, podem variar de 1 a 9, onde o valor 1 equivale ao mínimo, e 9 o máximo de importância de um fator sobre o outro.

De cada matriz de comparação pareada foram extraídos seus autovetores, que correspondem ao grau de importância relativa para cada fator considerado. Os autovetores resultantes da matriz de comparação dos atributos do segundo nível da hierarquia, no caso as variáveis, são denominados **pesos** e os resultantes da matriz de cada conjunto de atributos do terceiro nível, ou seja, as classes mapeadas de cada variável são chamadas de **notas**.

Tabela 5 - Escala fundamental de Saaty.

Intensidade de importância	Definição
1	Importância igual: os dois fatores contribuem igualmente para o objetivo
2	Importância Igual / Moderada
3	Importância Moderada: um fator é ligeiramente mais importante que o outro
4	Importância Moderada / Essencial
5	Importância Essencial: um fator é claramente mais importante ou melhor que o outro.
6	Importância Essencial / Demonstrada
7	Importância Demonstrada: um fator é fortemente favorecido e sua maior relevância foi demonstrada na prática.
8	Importância Demonstrada / Extrema
9	Importância Extrema: a evidência que diferencia os fatores é da maior ordem possível.

Fonte: SAATY, 1980.

2.1. Verificação de Consistência:

A etapa de verificação das consistências é relevante no que diz respeito à qualidade da atribuição de pesos pelo executor, e se esta etapa não for satisfeita o processo deve retornar à etapa anterior até que se alcance a consistência necessária ao processamento. São realizados, resumidamente, os seguintes passos para verificação das consistências conforme Fernandes (2018):

- a) Cálculo da média do vetor:
- O cálculo da média do vetor fornece o peso dos fatores.
- b) Cálculo do vetor da soma ponderada I:
- Nessa etapa, os valores dos julgamentos iniciais são multiplicados e somados com os valores do resultado da média do vetor.
- c) Cálculo do vetor da soma ponderada II:
- Essa etapa consiste na divisão do resultado da SOMA PONDERADA I com o resultado da média do vetor da sua respectiva coluna.
- d) Cálculo do vetor de consistência:

$$\mu = (\text{vetor consistência} / n)$$

Onde: vetor de consistência = vetor da soma ponderada dos fatores / número de fatores

- e) Índice de Consistência (IC):

$$IC = (\mu - n) / (n - 1)$$

Onde: índice de consistência = (vetor de consistência (μ) – fatores (n) / (fatores (n) – 1)

- f) Razão de Consistência (RC):

$$RC = IC / IR$$

Onde: razão de consistência = índice de consistência / índice randômico

- O índice randômico elaborado por Saaty varia de acordo com o número de fatores:

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

Fonte: Saaty (1991).

Segundo Trevizano e Freitas (2005), quando o resultado da razão de consistência fornecer resultado inferior a 0,1 permite a continuação do método mostrando que os julgamentos iniciais na matriz de pareamento estão coerentes. Caso o resultado forneça valores superiores a 0,1, é necessário refazer a matriz de pareamento e os julgamentos iniciais.

Estando os valores da RC dentro da variação definida, finaliza-se a AHP e têm-se os pesos dos respectivos fatores. Após isso se realiza a análise multicritério para atribuir **notas** em cada classe dos fatores que obtiveram seus respectivos pesos no método AHP. Para

atribuir as notas para cada classe, é levado em conta o conhecimento teórico das características ambientais que determinam o problema estudado, o conhecimento da realidade local e até mesmo a consulta a pesquisadores que realizaram estudos com temáticas semelhantes a qual estar realizando (método Delphi) ².

3. Princípio da priorização e síntese de prioridades

Este estágio é o último do processo de decisão utilizando o método AHP. Nesta etapa obtém-se um plano de informação síntese a partir do cruzamento dos planos de informações que compuseram a análise multicritério com seus respectivos pesos e notas, refletindo assim, no cumprimento do objetivo, no caso, na vulnerabilidade ambiental da área estudada.

² O método Delphi na obtenção dos pesos e notas baseia-se na escolha de um grupo multidisciplinar de especialistas, que conheçam bem o fenômeno e melhor ainda se conhecerem bem a realidade espacial onde ele se localiza. A esses especialistas é solicitado que hierarquizem ou coloquem as variáveis (ou planos de informação) em ordem de importância para a manifestação ou ocorrência de fenômeno estudado (MOURA, 2007).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

De modo sintético, para o desenvolvimento da pesquisa foi realizado os seguintes procedimentos metodológicos: revisão bibliográfica para definição dos conceitos; levantamento das bases cartográficas; desenvolvimento de um referencial metodológico que contribuiu para a escolha das variáveis e indicadores; elaboração dos mapas de fatores; elaboração do mapa de suscetibilidade a inundação; construção de indicadores e do mapa de vulnerabilidade social; cruzamento dos mapas anteriores para construção do mapa de vulnerabilidade ambiental.

3.1 Levantamento bibliográfico

O levantamento bibliográfico foi realizado com o intuito de avaliar os trabalhos publicados na literatura científica referente à temática abordada no presente estudo. Foram pesquisadas, então, as seguintes questões abordadas no capítulo 1: a diferença entre os conceitos de inundações e enchentes urbanas (TUCCI, 1993; TUCCI, 1999; SANTOS, 2012; AMARAL e RIBEIRO, 2009), aplicação da análise multicritério em estudos ambientais (MOURA, 2007; RIBEIRO, 2013), o método AHP (SAATY, 1991; SILVA E NUNES, 2009), a bacia hidrográfica como unidade de planejamento ambiental (GUIMARÃES, 2008; ZANELLA et al., 2013); ALBUQUERQUE, 2015; NASCIMENTO, 2016; NASCIMENTO et al., 2016; CARVALHO 2017) e a relação entre os conceitos de risco e vulnerabilidade (CUTTER, 1993; CUTTER, 2003; DESCHAMPS, 2004; MARANDOLA JR. e HOGAN, 2006; VEYRET, 2007; ZANELLA et al., 2009).

3.2 Levantamento de bases cartográficas

Após a etapa de pesquisa bibliográfica, foi iniciado o levantamento das bases cartográficas disponíveis para download nos sites de diferentes instituições governamentais para o posterior tratamento dos dados e obtenção dos resultados a partir do *software* de

geoprocessamento ArcGIS 10.4 com licença educacional pertencente ao Laboratório de Geoprocessamento da UERJ (LAGEPRO). No subitem a seguir serão descritos os dados selecionados com suas respectivas escalas de origem, ano e instituição produtora.

3.2.1 Dados Físico-Ambientais (Vetoriais)

- a) Mapa de Uso e Cobertura do Solo do Município do Rio de Janeiro de 2016, em escala 1:10.000 do Instituto Pereira Passos (IPP);
- b) Mapa Pedológico de 2004 do Estado do Rio de Janeiro, em escala 1: 75.000 da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA);
- c) Mapa Geomorfológico do Município do Rio de Janeiro de 2017, em escala 1: 25.000 da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM);
- d) Curvas de Nível do Município do Rio de Janeiro de 2000, em escala 1: 2.000 do Instituto Pereira Passos (IPP);
- e) Pontos Cotados do Município do Rio de Janeiro de 2000, em escala 1: 10.000 do Instituto Pereira Passos (IPP);
- f) Rede de Drenagem Restituída do Município do Rio de Janeiro de 2008, em escala 1: 10.000 do Instituto Pereira Passos (IPP);
- g) Limite das bacias hidrográficas do Município do Rio de Janeiro de 2000, em escala 1:10. 0000 do Instituto Pereira Passos (IPP);
- h) Mapa de Declividade, em escala 1: 10.000, gerado a partir do Modelo Digital de Terreno Hidrologicamente Consistente (MDT-HC);
- i) Mapa Hipsométrico, em escala 1: 10.000, gerado a partir do Modelo Digital de Terreno Hidrologicamente Consistente (MDT-HC);
- j) Registros de inundação da Fundação Rio-Águas disponíveis no Plano de Saneamento Básico da Cidade do Rio de Janeiro de 2015;

3.2.2 Dados Matriciais

- a) Imagem de satélite Sentinel-2 do ano de 2019, com resolução espacial de 10 metros, do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS).

3.2.3 Dados Socioeconômicos

- a) Malha dos setores censitários do estado do Rio de Janeiro correspondente ao Censo Demográfico de 2010, em formato *shape*, disponibilizado para *download* na página eletrônica do IBGE.
- b) Base de dados relativa ao Censo Demográfico 2010 realizado pelo IBGE, contendo a síntese dos dados do censo por setores censitários do município do Rio de Janeiro, obtidos por meio de *download* na página eletrônica do IBGE. Essa informação foi imprescindível para o estudo em questão, tendo em vista que todas as informações, ao nível censitário, foram agregadas à representação gráfica do setor (malha dos setores censitários), possibilitando a geração de mapas temáticos por meio da Unidade Hidrográfica de Planejamento do rio Grande.

3.2.4 Etapa de Pré-Processamento dos dados

Nesta etapa da pesquisa os dados cartográficos (arquivos vetoriais e matriciais) foram processados e, dessa forma, padronizados no sistema de coordenadas projetadas UTM (Universal Transversa de Mercator), Zona 23 sul e Datum para o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas - SIRGAS 2000, conforme estabelecido pela resolução do presidente N° 01/2005 do IBGE.

Após a conversão de *data* dos dados cartográficos, com base no shapefile editado de delimitação da bacia do rio Grande (IPP, 2000) este foi utilizado como máscara para recorte

(clipagem) das outras bases cartográficas (variáveis físicas, ambientais e sociais) que comporam a análise multicritério.

3.2.4.1 Etapa de Geração do Modelo Digital Hidrologicamente Consistente (MDT-HC)

Antes de gerar o MDT-HC, foi necessário editar, principalmente, os shapes de curvas de nível, limite da bacia hidrográfica e rede de drenagem, pois foram detectadas algumas falhas que podem, futuramente, comprometer a confiabilidade da modelagem do terreno a ser criada.

No que se refere às curvas de nível, por exemplo, as falhas detectadas na base original eram, basicamente, interrupções das curvas, curvas duplicadas, curvas que se interseccionavam e até a representação de uma mesma curva de nível com diferentes valores altimétricos. A correção destas falhas foram possíveis por meio da ferramenta “topology” do ArcGIS 10.4, que uniu curvas de nível de mesmo valor que estavam interrompidas, separou curvas de valores diferentes e eliminou os curvas que estavam interseccionadas. Quanto à rede drenagem, a mesma ferramenta foi utilizada para corrigir erros de traçado e de direção do fluxo da rede de drenagem. Desse modo, obtiveram-se novos arquivos, em formato shape, sem erros topológicos e confiáveis para geração do MDT-HC.

Já no que se refere ao limite da bacia hidrográfica, o trabalho adotou os procedimentos realizados por Carvalho (2017), no qual foi necessário redimensionar os limites da bacia hidrográfica do arquivo original (IPP), incorporando os terrenos inundáveis localizados às margens da Lagoa do Camorim para que estes também pudessem fazer parte da análise do presente estudo. Este procedimento foi realizado a partir de ferramentas de vetorização do *software* ArcGIS 10.4.

Por fim, para gerar o Modelo Digital de Terreno Hidrologicamente Consistente (MDT-HC) utilizou-se o interpolador *topo to raster* com base nos dados cartográficos de curvas de nível (IPP, 2000), pontos cotados (IPP, 2000), rede de drenagem restituída (IPP, 2008) e limite da bacia do rio Grande (IPP, 2000). Antes, para minimizar possíveis erros gerados pela interpolação nas áreas limítrofes da bacia, foi utilizada a ferramenta *buffer* para gerar uma máscara com o limite original da bacia aumentado em 500m e em seguida recortar todos os dados cartográficos que compõem a interpolação, assim criando dados exclusivos para geração do MDT-HC. Como os shapes foram originados de bases cartográficas na escala de

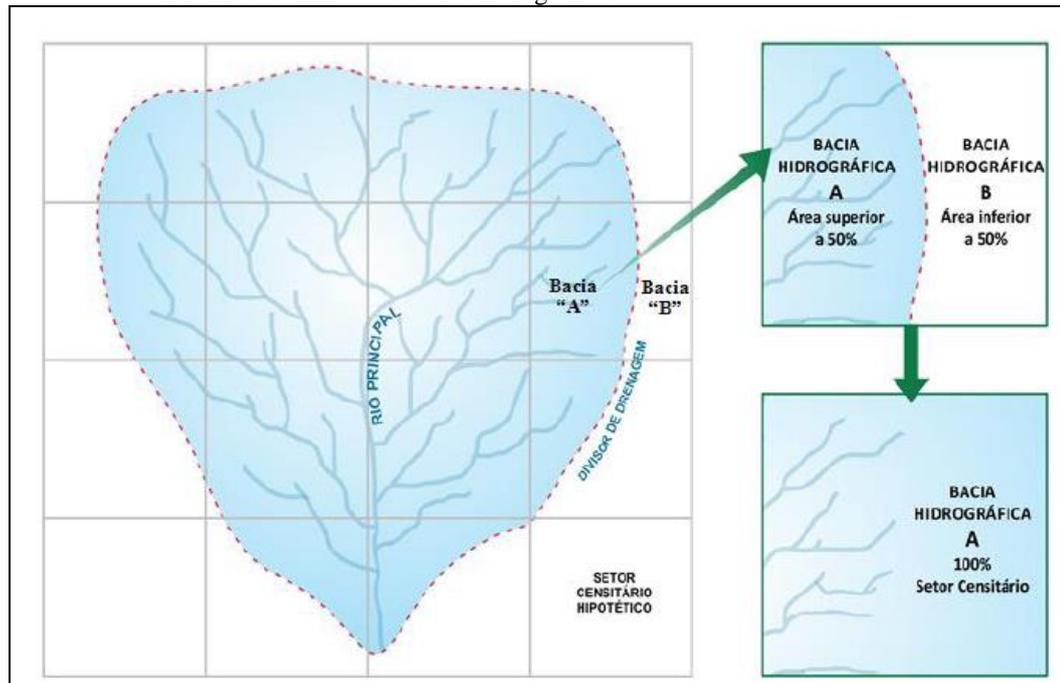
1:2.000 e 1:10.000, o valor da célula do pixel foi de 2 m. A escolha do interpolador *topo to raster* se deu por ele representar melhor as variações de superfícies menos acidentadas, como é o caso da bacia do rio Grande que apresenta vastas áreas planas.

3.2.4.2 Etapa de Delimitação da Unidade Hidrográfica de Planejamento (UHP)

Como descrito no subitem anterior, o *shape* original da bacia do rio Grande foi editado e incorporou as áreas inundáveis às margens da Lagoa do Camorim para compor a análise. Entretanto, como o presente estudo trata-se de uma análise integrada e holística, isto é, uma análise que integra dados ambientais, sociais e econômicos ao nível dos setores censitários, optou-se por definir a área de estudo como uma Unidade Hidrográfica de Planejamento (UHP).

Dessa forma, a área de estudo foi delimitada em função do limite natural, inicialmente editado (aumento do baixo curso), da bacia hidrográfica do rio Grande, porém realizando-se ajustes no mesmo para adequá-los aos polígonos dos setores censitários, tendo em vista que o limite da bacia hidrográfica é diferente do limite político-administrativo. Foram considerados integrantes da UHP todos os setores que apresentam pelo menos 50% de sua área no interior do polígono da bacia hidrográfica. Este mesmo procedimento operacional segue a metodologia (Figura 22) adotada por Guimarães (2008), Zanella et al. (2013), Albuquerque (2015) e Albuquerque e Medeiros (2017).

Figura 22 - Representação esquemática do procedimento metodológico de padronização dos setores censitários ao limite das bacias hidrográficas.

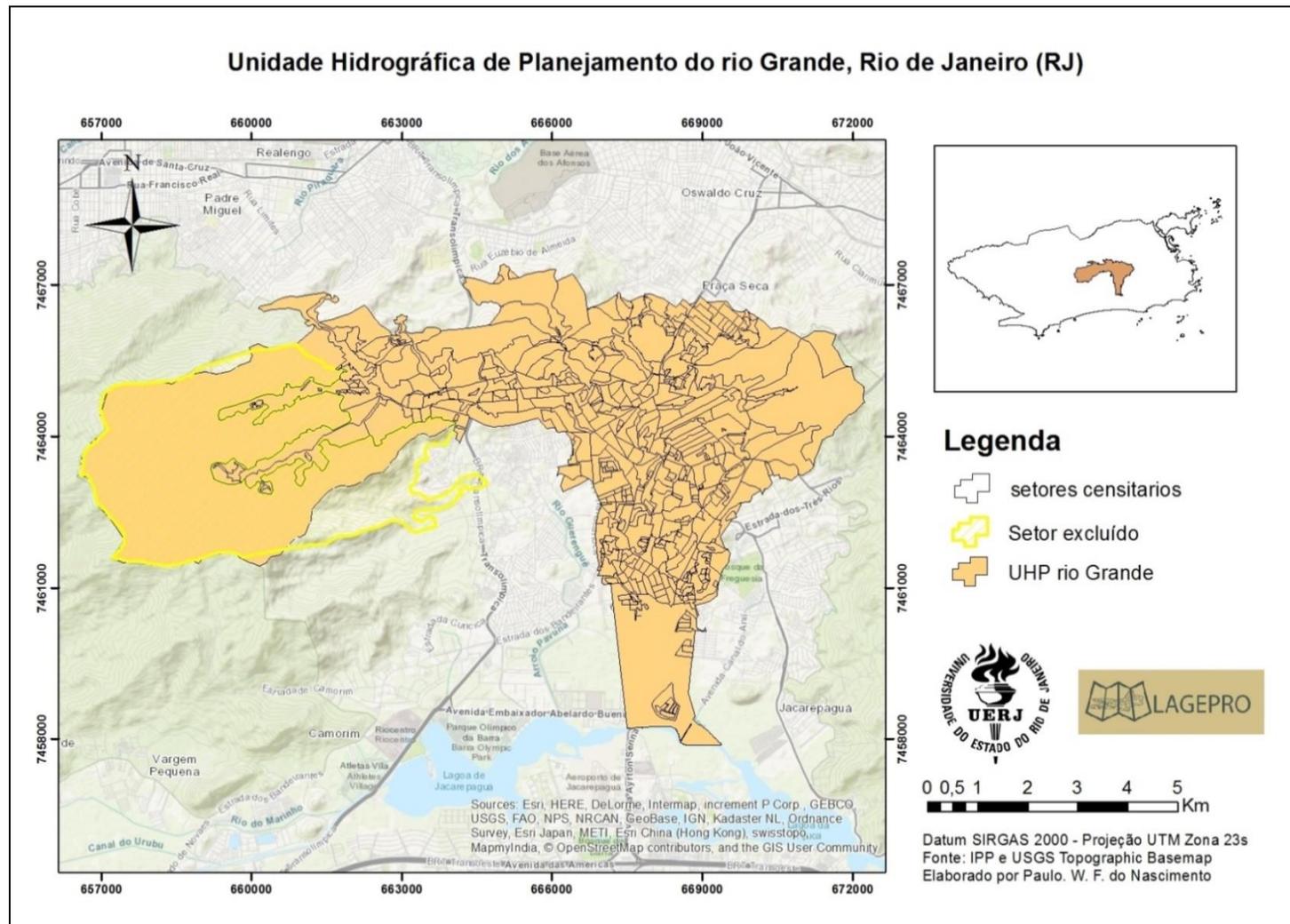


Fonte: Albuquerque e Medeiros (2017).

É importante frisar que o maior setor censitário que está localizado em grande parte dentro dos limites da bacia do rio Grande ($> 50\%$) foi excluído por se tratar de uma área de vazio demográfico, assim não impactando na análise. Esse setor censitário está localizado, especificamente, dentro dos limites da Unidade de Conservação do Parque Estadual da Pedra Branca, área de proteção integral administrada pelo INEA. Com essa exclusão, o limite geográfico natural da bacia hidrográfica do rio Grande foi pouco alterado ao adotar esta metodologia, estruturando-se assim a UHP do rio Grande composta por 411 setores censitários (Figura 23).

Portanto, cabe reiterar que o recorte espacial resultante da adoção desta metodologia possibilita realizar uma análise integrada das variáveis físico-ambientais e socioeconômicas ao nível da UHP e, conseqüentemente, possibilita a identificação das áreas de maior vulnerabilidade ambiental, uma vez que o conceito aborda as condições ambientais e socioeconômicas presentes neste espaço.

Figura 23 - Padronização dos setores censitários à UHP do rio Grande



Fonte: O autor, 2020.

3.2.5 Etapa de Seleção das Variáveis da Suscetibilidade a Inundação

A seleção das variáveis foi baseada em metodologias que apresentaram a combinação de fatores mais relevantes para a identificação das áreas suscetíveis à inundação. Dentre os trabalhos, estão: Tucci (1999), Costa (2001), Tucci (2003), Costa e Dantas (2009), Amaral e Ribeiro (2009), SANTOS *et al.* (2010), Botelho (2011), Santos (2012), Andrade *et al.* (2013), CPRM (2014), Mantovani (2016), Miranda (2016), Santos (2016), Fernandes (2016), Carvalho (2017), Campioli e Vieira (2019) e entre outros. Vale ressaltar que a combinação das variáveis e a metodologia adotada varia de trabalho para trabalho, não havendo, portanto, uma unanimidade ou uma forma mais adequada para alcançar o objetivo em questão. Diante disso, a escolha das variáveis se deu pelo fato destas representarem da melhor forma as características físicas específicas da bacia hidrográfica e pela disponibilidade de dados encontrados.

A partir da leitura destes trabalhos foram levantadas as bases cartográficas citadas no subitem 3.2.1, baseando-se na premissa destes serem fatores que influenciam, de forma direta, no escoamento de água superficial e, portanto, podem interferir no acúmulo de água e, conseqüentemente, provocar um evento de inundação (AMARAL e RIBEIRO, 2009). As áreas sujeitas a inundações, portanto, foram identificadas por meio da superposição dos mapas temáticos gerados a partir das bases cartográficas levantadas, e, posteriormente, processados, utilizando o *software* ArcGIS 10.4 (ESRI).

O procedimento metodológico para elaboração do mapa de suscetibilidade a inundação da UHP do rio Grande seguiu os passos representados no fluxograma abaixo:

Figura 24 - Fluxograma para elaboração do mapa de suscetibilidade a inundação.



Fonte: O autor, 2020.

3.2.5.1 Elaboração dos Mapas de Fatores e Atribuição das Notas por Análise Multicritério

Após a definição da área de estudo em Unidade Hidrográfica de Planejamento e da posse dos dados cartográficos obtidos no subitem 3.2.1, a seguir será descrito como os mapas foram elaborados e como foram atribuídas as notas das classes de cada mapa, baseando-se na literatura pesquisada, no qual sugere que as maiores delas deverão ser atribuídas às classes de maior suscetibilidade à inundação.

Por essa razão, foi definido que as características encontradas nas áreas que apresentam mais suscetibilidade a inundações receberiam notas próximas a 10 (dez) e as identificadas em áreas menos suscetíveis, notas menores próximas a 0 (zero), sendo avaliada variável por variável. Para a reclassificação das classes de suscetibilidade de acordo com cada fator, primeiramente cada camada de informação foi transformada para o formato raster, através do conjunto de ferramentas *conversion tools – from raster – feature to raster*. Após a conversão foram atribuídos os valores (notas) referentes à suscetibilidade através do conjunto de ferramentas *Spatyal Analysis Tools – Reclassify*. As classes de cada mapa serão explanadas nos tópicos abaixo e as notas atribuídas às classes estarão dispostas na tabela 7 no final do subitem:

- a) **Geomorfologia:** O mapeamento geomorfológico semi-detalhado representa as feições do relevo relevantes às áreas suscetíveis a inundação. As formas de relevo encontradas na bacia do rio Grande são: planícies de inundação, planícies fluviolagunares, superfícies aplainadas conservadas e degradadas, rampas de alúvio-colúvio, terraços fluviais, colinas, morros baixos e altos, domínio serrano, morrotes e rampas de colúvio (CPRM, 2016). A elaboração deste mapa temático se deu por ele representar de forma detalhada a planície de inundação e fluviolagunares e as superfícies aplainadas, pois são classes que estão fortemente relacionadas ao desencadeamento dos processos de inundação e enchentes, facilitando, assim, na identificação das áreas mais suscetíveis.

A bacia do rio Grande está inserida, basicamente, em três Unidades Geomorfológicas, segundo Roncaratti & Neves (1976): as montanhas, o clinoplano periférico e a planície paludial. A primeira é onde estão localizadas as colinas, o domínio serrano, os morrotes e entre outros que receberam as menores notas, pois são terrenos elevados, onde predominam

processos erosivos (modelado de dissecação). Enquanto as outras Unidades Geomorfológicas são onde se encontram as planícies de inundação, planícies fluviolagunares e as superfícies aplainadas degradadas e conservadas. Por sua vez, estas receberam as maiores notas, pois estão localizadas em terrenos planos e rebaixados, onde predominam a acumulação.

b) Uso e cobertura da terra: Primeiramente, fez-se a sobreposição do mapeamento realizado pelo IPP (2016) com imagem de satélite de 2019 (Sentinel-2), com resolução de 5 metros, para verificar a acurácia da classificação realizada. Avaliou-se que há uma correspondência entre a classificação e a imagem de satélite, não necessitando realizar ajustes nos polígonos e não haver mudanças significativas entre o período que necessitasse atualização. As classes de uso e cobertura da terra e seus respectivos potenciais de infiltração relativos e graus de conectividade estão dispostos no quadro 1.

Os diferentes tipos de uso e cobertura da terra influenciam na capacidade de infiltração e escoamento superficial da água. As áreas com maior impermeabilidade tendem a acumular mais água em superfície por causa da impermeabilização do solo, ao contrário do que ocorre em solos com cobertura florestal que favorece a infiltração das águas. As notas atribuídas às classes de uso e cobertura da terra foram baseadas, principalmente, nos trabalhos de Nascimento *et. al* (2017), Carvalho (2017) e Carvalho e Nascimento (2019), onde os autores levaram em conta o potencial de infiltração relativo de cada tipo de uso e cobertura da terra presente na bacia do rio Grande.

Quadro 1 - Classes de uso e cobertura da terra (2016) da bacia do rio Grande.

Potencial de infiltração	Classes de uso e cobertura da terra (2016)
Potencial alto	Vegetação arbóreo-arbustiva Reflorestamento Vegetação Secundária Restingas
Potencial restrito	Agricultura Vegetação gramíneo-lenhosa
Potencial muito restrito	Área de extração mineral Solo exposto
Potencial condicionado	Mangues Brejos
Sem potencial	Áreas urbanizadas
Escoamento superficial	Afloramento rochoso
Área de acumulação	Corpo d'água continental

Fonte: Adaptado de Nascimento (2016), Nascimento et. al (2017) e Carvalho (2017).

c) Pedologia: Apesar de grande parte da área da bacia estar impermeabilizada por conta da urbanização, ainda sim, há presença de uma grande variedade de classes de solos, que vão desde solos bem drenados a solos extremamente mal drenados, pois cada um deles apresenta comportamentos diferentes em relação a capacidades de infiltração e escoamento superficial da água.

Dentre as classes de solo presentes na bacia, estão: latossolos, argissolos, neossolos, planossolos, gleissolos, organossolos, solos indiscriminados de mangue e, por último, a classe de área urbana. As notas das classes de solos foram baseadas em SANTOS et al, (2010); Santana e Sans (2008); EMPRAPA (2004); Guerra e Cunha (2012), Silva (2011; 2012) e Ribeiro (2013).

d) Declividade: O mapa de declividade foi confeccionado com o auxílio da ferramenta “*slope*” do ArcGIS 10.4, utilizando o MDT-HC criado

anteriormente. As classes de declividade, em graus, do terreno com relevo associado foi baseado em CENTRAN (2007) conforme a tabela a seguir:

Quadro 2: classificação da declividade do terreno.

Declividade (graus)	Relevo Associado
0-3	plano
3-8	suave ondulado
8-20	ondulado
20-45	forte ondulado
>45	montanhoso

Fonte: CENTRAN (2007).

A declividade é importante, pois influencia diretamente no acúmulo de água no terreno e na velocidade do escoamento superficial. As áreas planas apresentam maiores probabilidades de ocorrerem inundação do que áreas escarpadas, onde a água tende a escoar. Neste sentido, as menores declividades receberam notas altas próximas a 10, enquanto que as notas mais baixas se referem às maiores declividades, locais com remota possibilidade de inundação. Nas planícies, a baixa ou nula declividade faz com que os terrenos sejam propícios ao acúmulo de água e materiais provenientes das áreas mais inclinadas (SANTOS *et al.*, 2010; DIKAU, 1990; PAULA, 2010; GUERRA, 2011).

e) **Hipsometria:** O mapa hipsométrico gerado a partir do MDT-HC foi composto pelas seguintes faixas altimétricas: 0 a 50m; 50 a 100m; 300 a 500m; 500 a 800m e 800 a 1025m. Estas classes de altitude foram baseadas no mapa hipsométrico da cidade do Rio de Janeiro produzido pela CPRM (2010). A altitude é um dos fatores que condicionam o risco à inundação, pois quanto maior a altitude, menor a probabilidade de inundação para uma determinada região devido à ação da lei da gravidade que direciona a água para as regiões mais baixas (MAGALHÃES *et al.*, 2011).

Dessa forma, as notas próximas a 10 dizem respeito às áreas com menores valores de altitude e também localizadas próximas aos cursos d'água, o que influencia o risco de

inundações. Já as menores notas referem-se às áreas com maior altitude e mais afastadas dos cursos d'água e, por tais características, menos sujeitas à inundação.

3.2.5.2 Definição dos Pesos das Variáveis Ambientais pelo Método AHP

Para a elaboração do mapa de suscetibilidade a inundações recorreu-se ao método de comparação 'par a par' no contexto do processo de tomada de decisão, que é denominado também de AHP (*Analytic Hierarchy Process*), reproduzida por Saaty (1977), para determinar pesos estatísticos para as variáveis selecionadas e representadas nos mapas temáticos. São elas: geomorfologia, pedologia, uso e cobertura do solo, hipsometria e declividade. O valor dado pelo observador para julgar a importância de um elemento sobre o outro segue a escala proposta pelo INPE (tabela 4). Deste modo foi organizada a primeira linha e coluna da tabela por ordem de importância (tabela 5), de forma que as variáveis possam ser comparadas entre si.

Para este procedimento foi utilizado o *plugin* extAhp20 do software ArcGis 10.4, que utiliza a técnica de comparação pareada para desenvolver um conjunto de pesos de fatores. O *plugin* além de informar os novos pesos, informa também a razão de consistência que tem a intenção de instruir o usuário sobre quaisquer inconsistências ocorridas nos valores atribuídos durante o processo de comparação pareada.

Tabela 6 - Escala de valores AHP para comparação pareada.

Grau de importância	Relação	Descrição
1	Igual importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o juízo favorecem uma atividade em relação à outra
5	Importância grande ou essencial	A experiência ou juízo favorece fortemente uma atividade em relação à outra
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra. Pode ser demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra, com o mais alto grau de segurança.
2, 4, 6, 8	Valores Intermediários	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições

Fonte: INPE (2007).

Tabela 7 - Escala relativa de importância entre as variáveis físico-ambientais

	Geomorfologia	Uso e Cobertura da terra	Declividade	Pedologia	Hipsometria
Geomorfologia	1	2	4	7	8
Uso e Cobertura da terra	0.5	1	2	8	8
Declividade	0.25	0.50	1	5	8
Pedologia	0.14	0.12	0.20	1	2
Hipsometria	0.12	0.12	0.12	0.50	1

Fonte: O autor, 2020.

O resultado da razão de consistência desta matriz, obtido pelo plugin, ficou em $RC=0,051$, onde segundo Saaty (2000) a condição de consistência dos julgamentos é de $RC \leq 0,10$. (TREVIZANO e FREITAS, 2005). A partir dessa relação ponderada, obteve-se a relação de pesos de cada variável para a bacia do rio Grande (tabela 6), demonstrando que a geomorfologia, uso e cobertura da terra e declividade exercem funções de maior importância em detrimento à pedologia e hipsometria para a ocorrência das inundações.

Tabela 8: Relação percentual dos pesos entre as variáveis

VARIÁVEIS	PESOS
GEOMORFOLOGIA	44%
USO E COBERTURA DA TERRA	30%
DECLIVIDADE	18%
PEDOLOGIA	5%
HIPSOMETRIA	3%

Fonte: O autor, 2020.

Tabela 9 - Síntese dos critérios para elaboração da suscetibilidade a inundações

MÉTODO	VARIÁVEIS	PESOS	NOTAS DAS CLASSES (continua)
Analytic Hierarchy Process (AHP)	Geomorfologia	44%	Planície de inundação (10), planícies fluviolagunares (9), superfícies aplainadas degradadas (7), terraços fluviais (7), superfícies aplainadas conservadas (6), rampas de alúvio-colúvio (5), colinas (2), rampas de colúvio (2), morros baixos (1), morrotes (1), morros altos (0) e domínio serrano (0).
MÉTODO	VARIÁVEIS	PESOS	NOTAS DAS CLASSES (conclusão)
Analytic Hierarchy Process (AHP)	Uso e Cobertura da terra	30%	Área urbana (10), formação pioneira flúvio-lacustre (9), formação pioneira flúvio-marinha (9), extração mineral (7), solo exposto (7), vegetação arbórea não vegetal (5), uso agrícola (5) reflorestamento (3), vegetação gramíneo-lenhosa (2) e floresta ombrófila densa (1).
	Declividade	18%	0 – 3 (10), 3 – 8 (7), 8 – 20 (3), 20 – 45 (1) e > 45 (0).
	Pedologia	5%	Área urbana (10), Solos Indiscriminados de Mangue (10), Gleissolo (9), Organossolo (8), Planossolo (6), Argissolo (3), Neossolo (2) e Latossolo (1).
	Hipsometria	3%	0 – 50 (10), 50 – 100 (7), 100 – 300 (3), 300 – 500 (1), 500 – 800 (0) e 800 – 1025 (0).

Fonte: O autor, 2020.

Para combinar as variáveis, já reclassificadas com seus respectivos pesos e notas, e criar o mapa de suscetibilidade a inundação foi utilizado o conjunto de ferramentas “*Spatial Analyst – Raster calculator*”. A partir do mapa produzido, foram definidas e renomeadas as classes por meio do método estatístico *natural breaks*³, gerando cinco classes de acordo com o grau de suscetibilidade: baixíssima suscetibilidade, baixa suscetibilidade, média suscetibilidade, alta suscetibilidade e altíssima suscetibilidade. Tal classificação permitiu uma melhor representação e compreensão da ocorrência espacial do fenômeno, facilitando, assim, a análise do comportamento da suscetibilidade à inundação.

Por fim, para a conferência da acurácia e validação do mapeamento elaborado, cotejou o mesmo com os registros de inundação da Fundação Rio- Águas, criados no ArcGIS 10.4 através dos endereços presentes no Plano de Manejo de Águas Pluviais para cidade do Rio de Janeiro (2015) com auxílio da imagem de satélite (2019) e do *shape* de logradouros municipais. Isso teve o objetivo de validar o método de elaboração do mapeamento.

3.2.6 Etapa de Seleção das Variáveis de Vulnerabilidade Social

Vale lembrar que, a vulnerabilidade social está associada à habilidade que pessoas ou lugares respondem a eventos adversos, tais como: as inundações, enchentes, deslizamentos, contaminações, etc. Como foi apresentado no capítulo 1, o conceito de vulnerabilidade por ser complexo e multifacetado depende de diversos fatores ou variáveis que podem ser quantificados ou não. Neste sentido, a vulnerabilidade social pode ser quantificada e qualificada através de diversas variáveis e indicadores, não havendo um procedimento ou indicador universal capaz de representar a vulnerabilidade social de determinado lugar. Ainda não existe consenso entre os pesquisadores sobre quais variáveis que devem ser utilizadas para mensurar a vulnerabilidade social, sendo comumente utilizado o status socioeconômico, idade, raça e gênero.

Em virtude disto, para definição do índice de vulnerabilidade social, a escolha das variáveis e indicadores levou-se em conta, principalmente, a capacidade destes de indicar as características do sistema, ou seja, representar a realidade da área de estudo em questão,

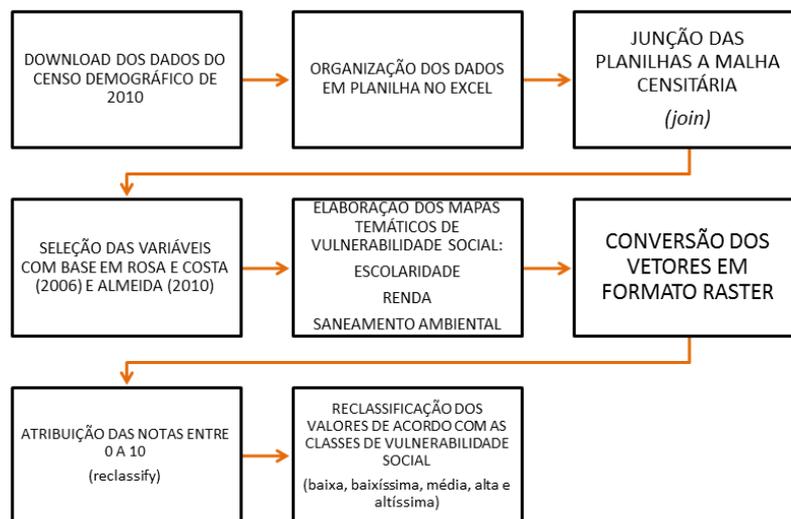
³ Este método ajusta os limites das classes de acordo com a distribuição dos dados, identificando pontos de quebra entre as classes, utilizando uma análise estatística que se baseia na variabilidade dos dados, que minimiza a soma da variância dentro de cada uma das classes. Este método encontra agrupamentos e padrões inerentes aos dados, diferenciando áreas entre si (SALLUN et al., 2007).

baseando nas metodologias aplicadas por Rosa e Costa (2006), Almeida (2010) e Ribeiro (2013). No presente estudo foram selecionadas, basicamente, indicadores e variáveis relacionados ao saneamento ambiental, educação, renda e gênero da população com base no banco de dados do IBGE (2010), partindo-se do princípio que a falta de infraestrutura urbana, de conhecimento e de recursos financeiros por parcela da população aumenta sua condição de vulnerabilidade, reduzindo assim a capacidade de enfrentamento a inundações. Por consequência, pode responder a hipótese levantada na presente pesquisa, onde a ausência destes fatores pode coexistir com áreas degradadas e de risco a inundações, por exemplo.

Portanto, utilizou-se como unidade espacial de análise os setores censitários, por ser este o menor recorte socioeconômico definido pelo IBGE, possibilitando um estudo mais detalhado do espaço intraurbano da UHP do rio Grande e uma melhor identificação das áreas onde estão as famílias e comunidades mais vulneráveis.

Para elaboração do índice de vulnerabilidade social, há primeiramente a fase de elaboração da vulnerabilidade para cada variável (ou fator) seguindo as etapas do fluxograma abaixo (Figura 25).

Figura 25 - Fluxograma com etapas da elaboração da vulnerabilidade social (Primeira fase).



Fonte: O autor, 2020.

Com a obtenção dos dados do censo demográfico de 2010, disponibilizados na página eletrônica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e a posterior organização dos dados em planilhas no *Excel*, recorreu-se a metodologia de Rosa e Costa (2006), Almeida (2010) e Ribeiro (2013) no intuito de representar a vulnerabilidade social da

população residente na UHP do rio Grande através da seleção de 22 variáveis, as quais foram agrupadas em 7, organizadas em 3 categorias conforme quadro 3.

Para chegar a cada variável final (primeira coluna) foi necessário realizar alguns cálculos para as 22 variáveis, que serão detalhados no próximo subitem (3.2.2.1), no intuito de obter o percentual relativo a cada uma. Vale lembrar que, foi constatada a ausência de dados em alguns setores censitários, porém estes não foram excluídos para que não haja falha na representação gráfica dos mapas.

Quadro 3 - Variáveis para construção do Índice Sintético de Vulnerabilidade Social.

DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS DE ORIGEM (IBGE, 2010).	VARIÁVEIS AGRUPADAS	CATEGORIAS (continua)
<p>(Planilha Responsável01_RJ.xls e Planilha Responsável02_RJ.xls)</p> <p>V201: Pessoas alfabetizadas responsáveis, do sexo masculino V001: pessoas responsáveis do sexo feminino V093: Pessoas alfabetizadas responsáveis, do sexo feminino</p>	<p>Mulheres responsáveis por domicílios particulares permanentes analfabetas</p>	<p>ESCOLARIDADE E GÊNERO</p>
<p>V001: Pessoas responsáveis V093: Pessoas responsáveis alfabetizadas V109: Pessoas responsáveis do sexo masculino</p>	<p>Homens responsáveis por domicílios particulares permanentes analfabetos</p>	
<p>(Planilha ResponsavelRenda_RJ.xls)</p> <p>V045: Pessoas responsáveis com rendimento nominal mensal de até ½ salário mínimo, do sexo feminino V046: Pessoas responsáveis com rendimento nominal mensal de mais de 1/2 a 1 salário mínimo, do sexo feminino V047: Pessoas responsáveis com rendimento nominal mensal de mais de 1 a 2 salários mínimos, do sexo feminino V054: Pessoas responsáveis sem rendimento nominal mensal, do sexo feminino</p>	<p>Mulheres responsáveis sem rendimento ou com rendimento mensal de até 2 salários mínimos</p>	<p>RENDA E GÊNERO</p>

<p>V023: Pessoas responsáveis com rendimento nominal mensal de até ½ salário mínimo, do sexo masculino</p> <p>V024: Pessoas responsáveis com rendimento nominal mensal de mais de 1/2 a 1 salário mínimo, do sexo masculino</p> <p>V025: Pessoas responsáveis com rendimento nominal mensal de mais de 1 a 2 salários mínimos, do sexo masculino</p> <p>V032: Pessoas responsáveis sem rendimento nominal mensal, do sexo masculino</p>	<p>Homens responsáveis por domicílios particulares permanentes sem rendimento e com rendimento nominal mensal de até 2 salário mínimos</p>	
<p>DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS DE ORIGEM (IBGE, 2010).</p>	<p>VARIÁVEIS AGRUPADAS</p>	<p>CATEGORIAS (conclusão)</p>
<p>(Planilha Domicilio01_RJ.xls)</p> <p>V187: Domicílios particulares permanentes do tipo apartamento com outra forma de abastecimento de água</p>	<p>Domicílios particulares permanentes que não possuem abastecimento de água da rede geral</p>	
<p>V191: Domicílios particulares permanentes do tipo apartamento com banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via fossa rudimentar</p> <p>V192: Domicílios particulares permanentes do tipo apartamento com banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via vala</p> <p>V193: Domicílios particulares permanentes do tipo apartamento com banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via rio, lago ou mar</p> <p>V194: Domicílios particulares permanentes</p>	<p>Domicílios particulares que não possuem banheiro ou sanitário ligado a rede de esgoto ou com fossa séptica</p>	<p>SANEAMENTO AMBIENTAL</p>

do tipo apartamento com banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via outro Escoadouro.		
V207: Domicílios particulares permanentes do tipo apartamento com lixo jogado em terreno baldio ou logradouro V208: Domicílios particulares permanentes do tipo apartamento com lixo jogado em rio, lago ou mar. V209: Domicílios particulares permanentes do tipo apartamento com outro destino do lixo	Domicílios particulares permanentes que não possuem lixo coletado por serviços de limpeza ou caçamba e sem outro destino do lixo	

Fonte: Adaptado de Rosa e Costa (2009), Almeida (2010) e Ribeiro (2013).

3.2.6.1 Etapa de Elaboração dos Mapas de Fatores a partir de Dados do Censo Demográfico de 2010

Considerando o setor censitário a unidade espacial de coleta dos dados do censo Demográfico (2010), é possível através dos valores de cada variável associada a um setor censitário realizar mapeamentos temáticos, demonstrando como se dá a distribuição geográfica das condições socioeconômicas da população em nível de detalhe, podendo, assim, constatar desigualdades socioespaciais.

Após serem obtidos através do site do IBGE o arquivo digital da malha censitária do Estado do Rio de Janeiro e da tabela de atributos do Censo Demográfico de 2010 referentes às variáveis selecionadas, foi necessário realizar a junção dos dois por meio da ferramenta *join* do ArcGIS 10.4, após o número de identificação da malha censitária (*Geocod*) e o número de identificação na tabela de atributos estarem ambos no formato de texto.

Vale lembrar, que para realizar a junção só foram escolhidas as variáveis citadas no quadro anteriormente, excluindo as que não seriam utilizadas no programa *Excel*. A seguir será descrito como foram gerados os mapas de fatores dos domicílios particulares permanentes referentes a cada indicador:

a) Fator Escolaridade/Gênero

Para saber a quantidade de analfabetos em cada setor censitário teve-se que primeiramente, criar uma coluna na tabela de atributos chamada de “n_analfab” para subtrair o número de pessoas responsáveis (sexo feminino e masculino) do número de pessoas alfabetizadas responsáveis (sexo feminino ou masculino). Em seguida, para saber a porcentagem de analfabetos para ambos os sexos utilizou-se o comando “*field calculator*” no ArcGIS 10.4 para efetuar o seguinte cálculo:

$$X = N_analf * 100 / V001$$

Onde:

X= valor percentual de cada variável

N_analf = número de analfabetos de homens ou mulheres

V001= número de domicílios particulares permanentes

A partir da do valor percentual de analfabetos de homens e mulheres para cada setor censitário, aplicou-se o método de classificação *Natural Breaks* para estabelecer o número de classes e suas respectivas amplitudes que compõe a legenda de cada mapa temático. Com base nisto, foram estabelecidos os intervalos de cada classe que compôs os dois mapas temáticos (sexo feminino e masculino) da porcentagem de analfabetos responsáveis por domicílios particulares permanentes:

Após o cálculo do percentual de analfabetos do sexo feminino e masculino responsáveis por domicílios particulares permanentes para cada setor censitário, ambos os mapas foram convertidos para o formato raster e, posteriormente, cruzados por meio da ferramenta “*raster calculator*” para compor o mapa de fator escolaridade (Figura 26). De acordo com Deschamps (2004) e Abramo (2004) as mulheres são mais vulneráveis do que os homens por apresentarem uma desvantagem sistemática em qualquer indicador social que for considerado (educação, trabalho, emprego e moradia). Além do fator econômico, o fator discriminação é mais um agravante que produz condições desfavoráveis a essa parcela da população. Portanto, o raster de responsáveis analfabetos do sexo feminino recebeu o maior peso (60%) em comparação com o do sexo masculino (40%).

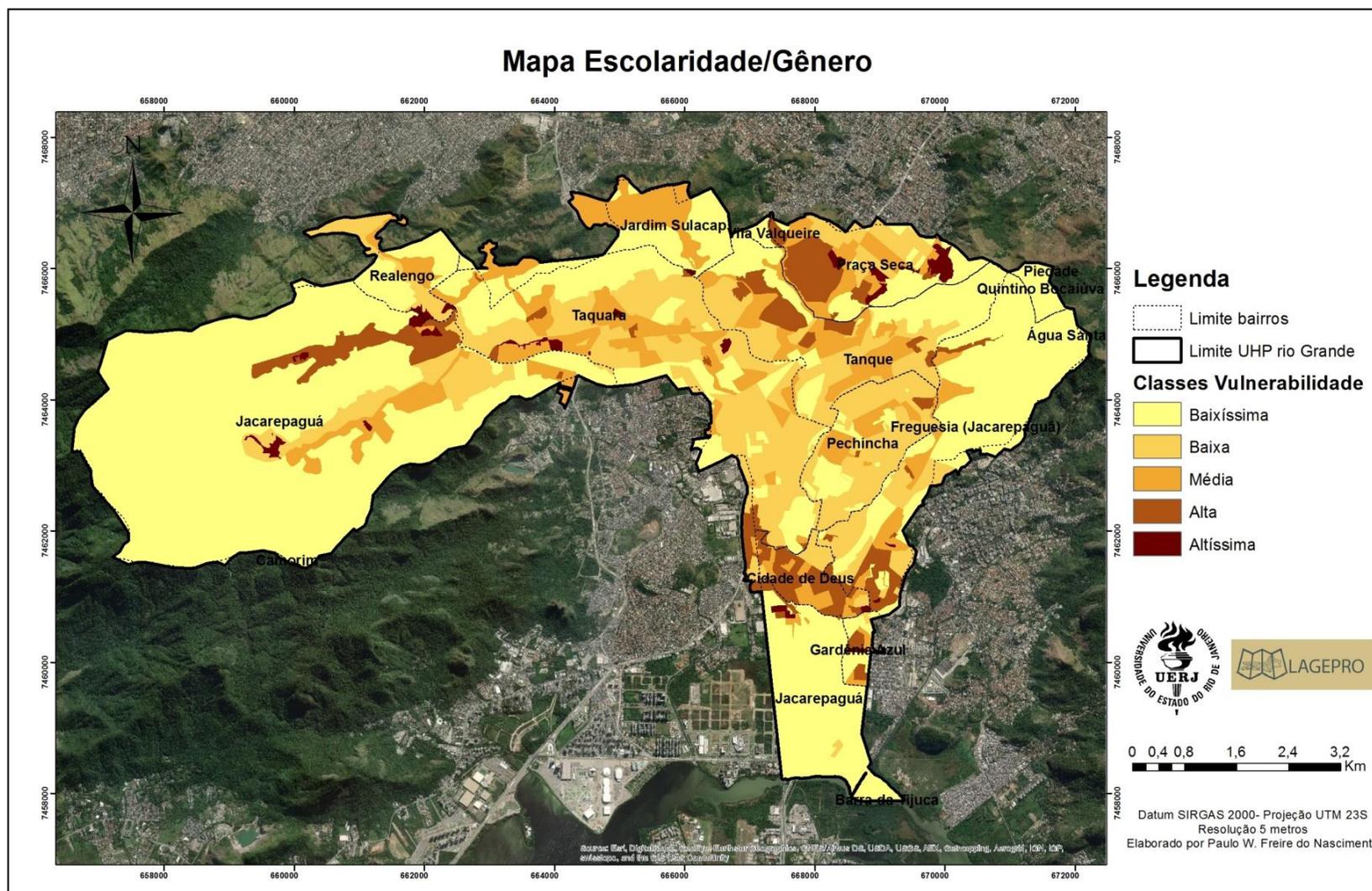
Tabela 10 - Pesos atribuídos às variáveis do fator escolaridade/gênero

FATOR ESCOLARIDADE/ GÊNERO	
Variáveis agrupadas	Pesos (0 a 100%)
Mulheres responsáveis por domicílios particulares permanentes analfabetas	60
Homens responsáveis por domicílios particulares permanentes analfabetos	40

Fonte: O autor, 2020.

A escolaridade, portanto, é um dos principais fatores para análise da vulnerabilidade social, pois está atrelada as condições de renda, moradia e acesso à informação. Sabe-se que quanto maior o tempo de estudo de uma pessoa, maiores serão as oportunidades de emprego com melhores salários e, por consequência, melhor será sua qualidade de vida. Do mesmo modo, “o acesso à formação e à informação pode definir a maneira como o indivíduo lida com o risco, visto que pouca educação pode limitar a habilidade de lidar com situações perigosas e dificultar medidas de recuperação e adaptação.” (ALMEIDA, 2010. p 215).

Figura 26 - Mapa do fator escolaridade/gênero da UHP rio Grande.



Fonte: O autor, 2020.

b) Fator Renda/ Gênero

O mapa do fator renda (Figura 27) foi composto pelo cruzamento das variáveis agrupadas de mulheres responsáveis sem rendimento ou com rendimento mensal de até 2 salários mínimos e de homens responsáveis sem rendimento ou com rendimento mensal de até 2 salários mínimos. Ambos os mapas apresentaram quatro classes referentes ao rendimento mensal dos responsáveis pelo domicílio particular permanente: sem rendimento, rendimento até ½ salário mínimo, rendimento até 1 salário mínimo e rendimento até 2 salários mínimos. Seguindo a lógica do fator escolaridade, as mulheres receberam o maior peso (60%) em comparação aos homens (40%).

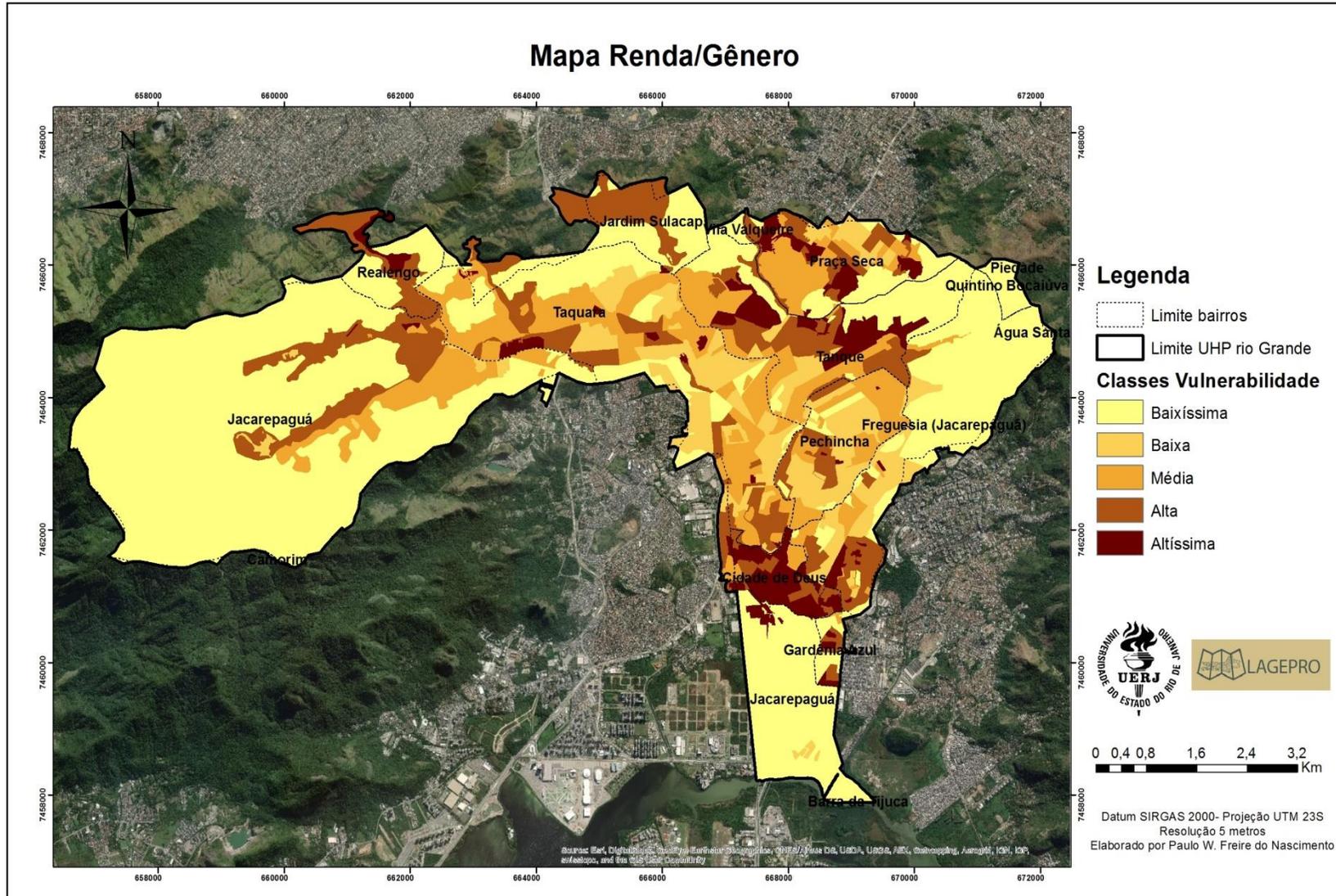
Tabela 11: Pesos atribuídos às variáveis do fator renda/gênero

FATOR RENDA	
Variáveis agrupadas	Pesos (0 a 100%)
Mulheres responsáveis sem rendimento ou com rendimento mensal de até 2 salários mínimos	60
Homens responsáveis sem rendimento ou com rendimento mensal de até 2 salários mínimos	40

Fonte: O autor, 2020.

As classes de rendimento mensal dos responsáveis pelo domicílio particular permanente referem-se ao que o Cadastro Único para Programas Sociais do Governo Federal – ou simplesmente CadÚnico, como é mais conhecido – utiliza para a identificação e a caracterização socioeconômica das famílias brasileiras de baixa renda (Decreto 6.137/2007).

Figura 27 - Mapa do fator renda/gênero da UHP rio Grande



Fonte: O autor, 2020.

c) Fator Saneamento Ambiental

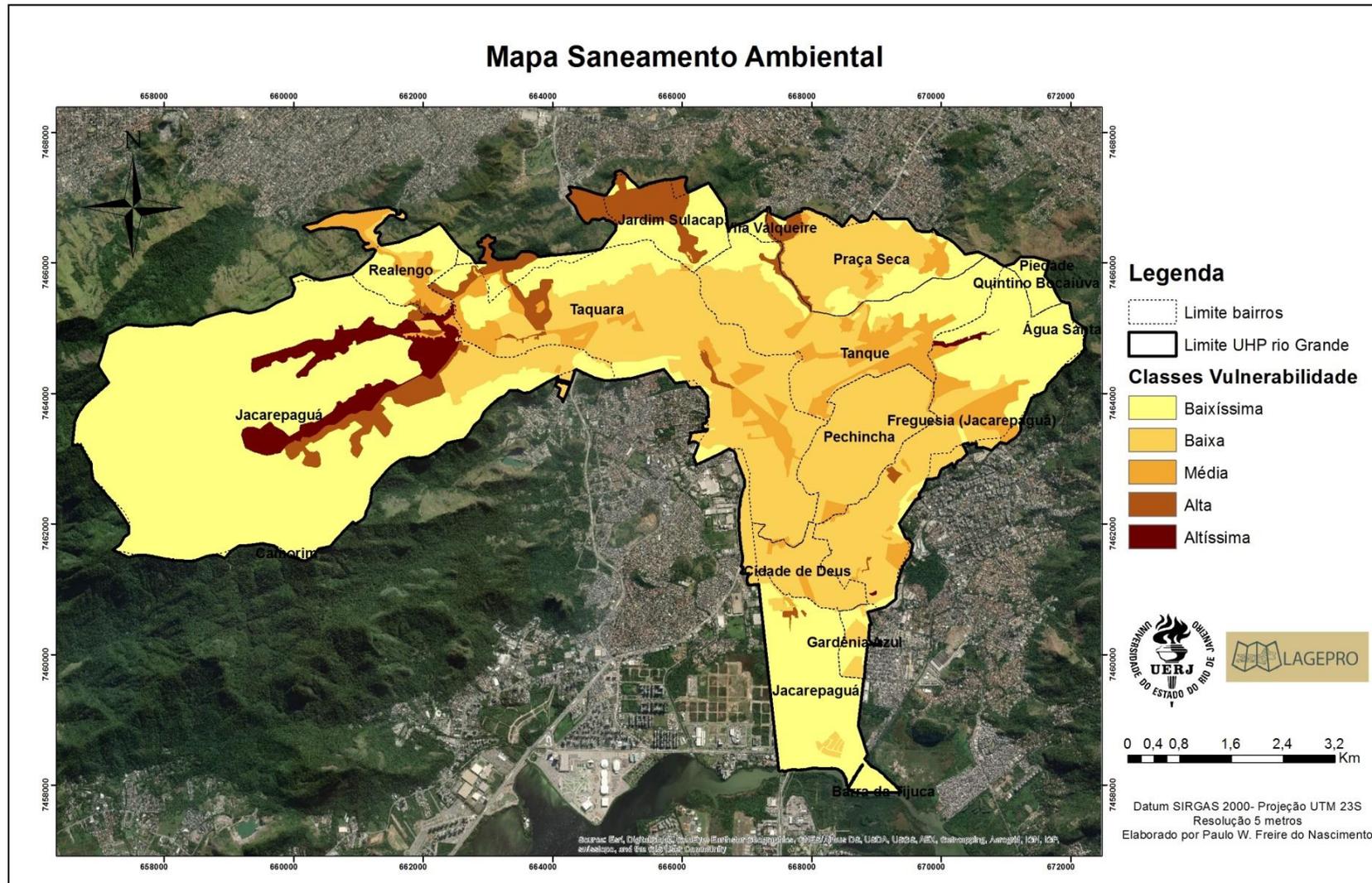
O mapa do fator saneamento ambiental (Figura 28) foi composto pelo o cruzamento das variáveis agrupadas de domicílios particulares permanentes que não possuem abastecimento de água via rede geral, banheiro ou sanitário ligado à rede de esgoto ou com fossa séptica e lixo coletado por serviços de limpeza ou caçamba e sem outro destino do lixo. Após calcular o valor percentual de cada variável com base nas variáveis de origem (IBGE, 2010) e obter suas respectivas classes, foi realizado o cruzamento das três variáveis agrupadas para gerar o fator saneamento ambiental a partir da adaptação para inundações urbanas da metodologia de Ribeiro (2013) e da realidade encontrada na área de estudo segundo o censo de 2010.

Tabela 12: Peso atribuído às variáveis do fator saneamento ambiental

FATOR SANEAMENTO AMBIENTAL	
Variáveis agrupadas	Peso (0 a 100%)
Domicílios ligados à rede geral de água	20
Domicílios ligados à rede geral de esgoto	45
Domicílios ligados com coleta de lixo	35

Fonte: O autor, 2020.

Figura 28 - Mapa fator saneamento ambiental da UHP rio Grande.



Fonte: O autor, 2020.

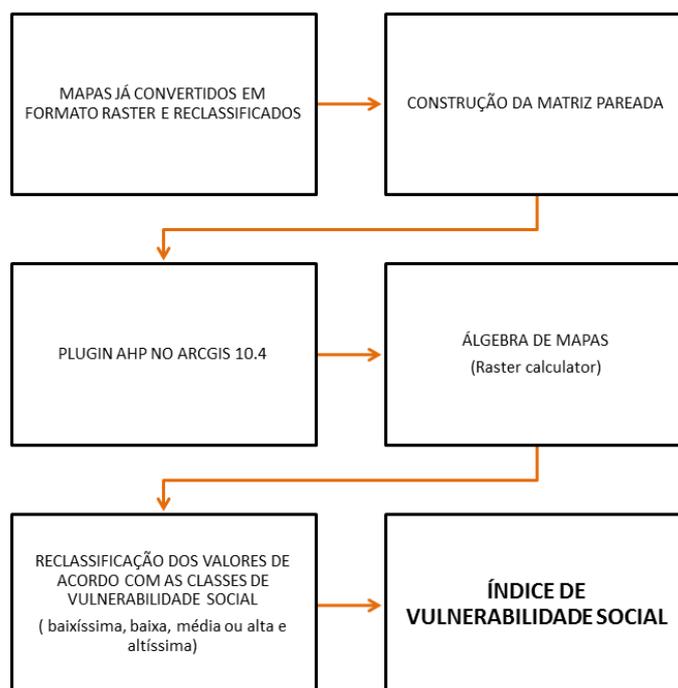
Com os mapas todos convertidos em raster, realizou-se a análise multicritérios para definição das notas de cada condicionante social foram adaptadas a partir dos critérios de Rosa e Costa (2006), atribuindo notas de 0 a 10, representando o menor grau de vulnerabilidade próximo a zero e o maior grau de vulnerabilidade próximo a dez.

Com os mapas de fatores em formato vetorial transformados em raster, utilizou-se o método AHP para elaborar o índice de vulnerabilidade social (segunda fase), que será explicado no subitem a seguir.

3.2.6.2 Definição dos Pesos dos Fatores de Vulnerabilidade Social pelo Método AHP

As etapas realizadas nesta segunda fase estão descritas sucintamente no fluxograma abaixo (figura 26). Com os mapas já convertidos em *raster* e reclassificados, o próximo passo é a construção da matriz pareada. Antes de utilizar o *plugin* da AHP, é necessário primeiramente definir os níveis de importância de cada fator para construção da matriz pareada.

Figura 29 - Fluxograma com etapas da elaboração da vulnerabilidade social (Segunda fase).



Fonte: O autor, 2020.

Vale ressaltar que para definir o grau de importância de cada fator na AHP, levou-se em conta a análise dos resultados obtidos nos mapeamentos temáticos para cada fator na área de estudo. Dessa maneira, verificou-se que na área de estudo, os fatores de renda/gênero e escolaridade/gênero, respectivamente, foram considerados os mais importantes no que tange a capacidade de resposta frente ao evento, em comparação com saneamento ambiental neste estudo, justificando os maiores valores da matriz. São as parcelas da sociedade mais desprovidas de recursos financeiros, técnicos e informacionais que tem a menor capacidade de superar ou minimizar os efeitos de uma inundação, tornando-as ainda mais vulneráveis.

Quanto à oferta de serviços de saneamento ambiental ainda é bastante precária, sendo a situação do esgoto e do lixo na bacia a pior em termos relativos, onde muitas das vezes faz-se uso dos canais de drenagem como destino do esgoto e lixo. Isso foi constatado em incursões realizadas na bacia durante o trabalho de campo (será explicado no subitem 3.3). O lançamento de esgoto *in natura* e lixo diretamente nos canais de drenagem podem contribuir para ocorrência de inundações, além de oferecer risco à saúde da própria população após o evento. Portanto, o fator saneamento ambiental foi considerado o de menor importância por não somente agravar as inundações, mas também pelo fato da ausência de saneamento influenciar na qualidade de vida da população.

Neste sentido, montou-se a tabela referente à matriz pareada, dispondo na primeira coluna e linha os fatores em ordem de importância, ou seja, do mais importante para o menos importante na determinação da vulnerabilidade social em questão. Os valores de importância são baseados na escala de valores AHP para comparação pareada (tabela 4 do subitem 3.2.5.2).

Após a construção da tabela, no *plugin* da AHP do ArcGIS 10.4, inserem-se os três fatores já convertidos em formato raster (subitem 3.2.2.1) conforme a ordem de importância definida pela tabela 11 e a seguir digita-se os valores de importância.

Tabela 13: matriz de comparação pareada.

	RENDA/ GÊNERO	ESCOLARIDADE/ GÊNERO	SANEAMENTO AMBIENTAL
RENDA/ GÊNERO	1	3	9
ESCOLARIDADE/ GÊNERO	0.33	1	4
SANEAMENTO AMBIENTAL	0.11	0.25	1

Fonte: O autor, 2020.

Com os valores da AHP, é necessário verificar o valor resultante da razão de consistência (RC), cujo valor ficou em 0,045 (< 0,10), conforme Trevizano e Freitas (2005). Caso o valor seja maior que o estabelecido, a matriz deve ser refeita.

Estando a matriz consistente segundo a literatura e com os pesos resultantes, é a vez de gerar o mapeamento de vulnerabilidade social a partir da ferramenta “*raster calculator*”, inserindo os rasters de fatores reclassificados (notas) e seus respectivos pesos (tabela 12).

Tabela 14 - Pesos dos fatores obtidos pela AHP.

FATORES	PESOS
RENDA/ GÊNERO	68%
ESCOLARIDADE/GÊNERO	25%
SANEAMENTO AMBIENTAL	7%

Fonte: O autor, 2020.

Gerado o raster final, os valores de vulnerabilidade social variaram entre 0 a 10. Estes valores foram reclassificados segundo as classes de vulnerabilidade social (baixíssima, baixa, média, alta e altíssima), pelo método natural breaks.

3.2.7 Etapa de Elaboração do Mapa de Vulnerabilidade Ambiental

O mapa final de Vulnerabilidade Ambiental foi obtido através da ferramenta “*raster calculator*” em que para cada mapa (susceptibilidade e vulnerabilidade social) foi atribuído o peso de 50%.

$$Va = (Si \times 0,5) + (Vs \times 0,5)$$

Onde:

Va = Vulnerabilidade Ambiental

Si= Suscetibilidade a inundações

Vs = Vulnerabilidade Social

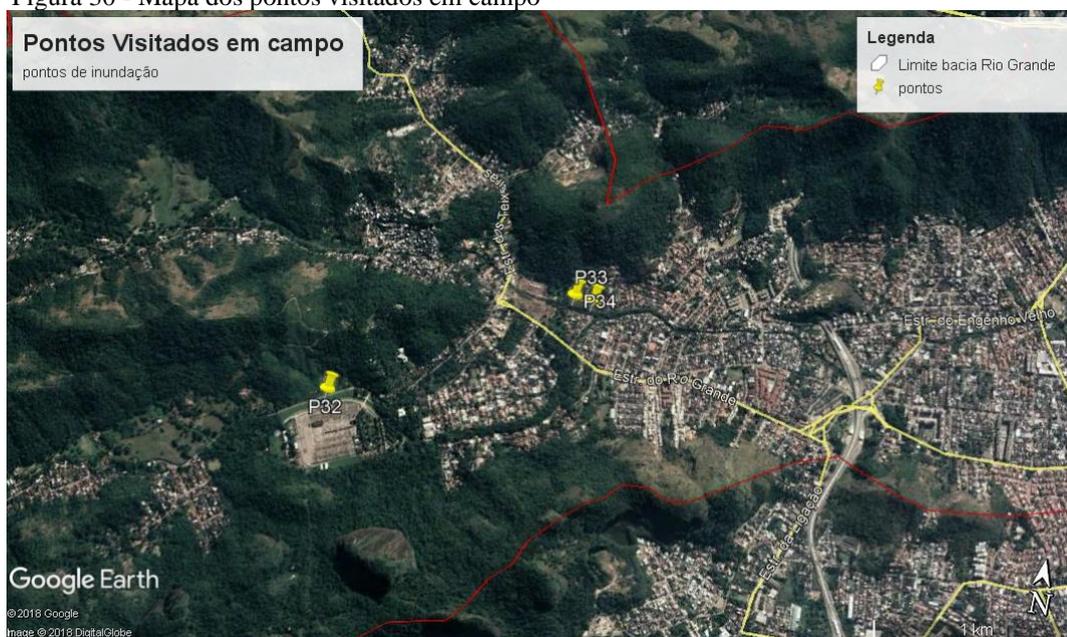
O mapa de Vulnerabilidade Ambiental, portanto, significa o resultado do cruzamento das áreas de alta susceptibilidade a inundações, ou seja, áreas de planas de baixa declividade e

impermeabilizadas, junto à população que não possui acesso à infraestrutura de saneamento associada a baixos níveis de renda e escolaridade.

3.3 Trabalho de Campo

Em um primeiro momento, a realização do trabalho de campo visou aferir se as classes de suscetibilidade, obtidas através da elaboração do mapeamento da suscetibilidade a inundação da bacia do rio Grande, estavam compatíveis com os registros de inundação do Plano de Saneamento Básico da cidade do Rio de Janeiro de 2015, elaborado pela Fundação Rio-Águas. Desse modo, a escolha dos locais de visita foi definida a partir destes registros de inundação mapeados. No total foram escolhidos três registros (P32, P33 e P34) visitados no dia 26/10/2018, conforme Figura 30 a seguir.

Figura 30 - Mapa dos pontos visitados em campo



Fonte: O autor, 2020.

Para validar se as classes do mapa de vulnerabilidade ambiental estão condizentes com a realidade, realizaram-se incursões nos bairros que estão inseridos na UHP (Figura 31), sobretudo, em localidades próximas aos cursos dos rios com o objetivo de aferir se as condições de moradia, socioeconômicas, saneamento básico e características físicas do

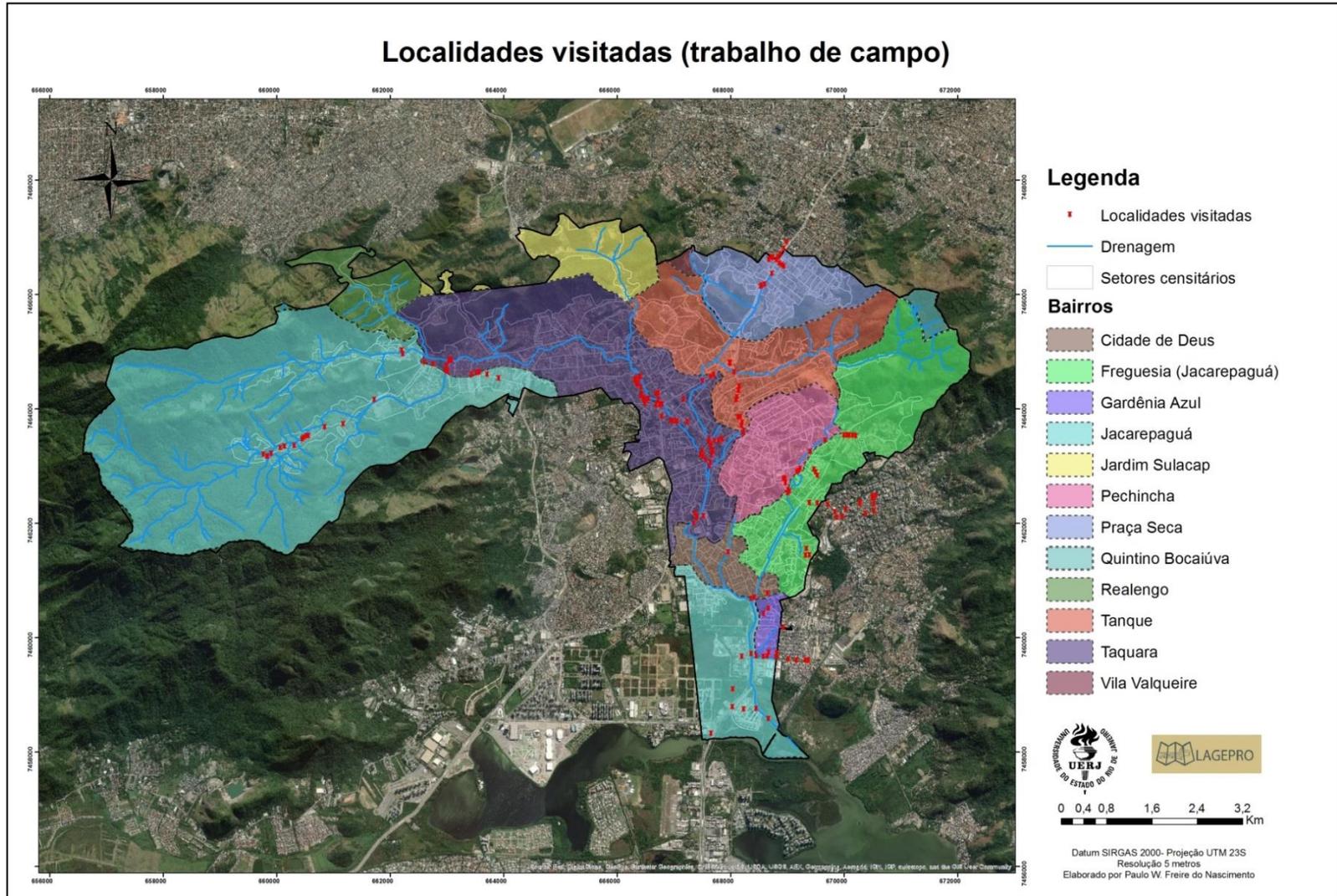
ambiente estão de acordo com os fatores socioambientais julgados aqui como importantes para caracterizar a vulnerabilidade ambiental da área de estudo.

Procuraram-se as localidades próximas aos cursos dos rios, pois são onde estão situados os terrenos com maior suscetibilidade a inundação (alta a altíssima) e onde residem diversas classes sociais com diferentes padrões construtivos, possuindo assim capacidade de resposta distinta ao mesmo evento. Outros critérios utilizados para incursão nas localidades foram: a segurança e a facilidade de acesso por meio de transporte público.

A princípio o objetivo era realizar entrevistas aplicando um questionário semiestruturado, porém a dificuldade de adentrar certas localidades, a desconfiança e a falta de segurança fez com que com o método para apurar as características socioambientais *in locu* fosse modificado para observações, descrições do local, registros fotográficos e conversas com alguns moradores das localidades. Para realizar registros fotográficos de pontos importantes e coletar as coordenadas dos pontos fotografados, foi utilizado o aplicativo *Wikiloc* instalado no *Smartphone*.

Os trabalhos de campo figuram como uma importante forma de validação da informação obtida no mapeamento final, gerando confiabilidade para que possa servir como uma ferramenta de gestão, que dará subsídios à atuação dos órgãos públicos a partir das observações realizadas *in locu*, visando reduzir a vulnerabilidade e as futuras perdas ou prejuízos que possam vir a ocorrer com as inundações.

Figura 31 - Mapa das localidades visitadas nos trabalhos de campo.



Fonte: O autor, 2020.

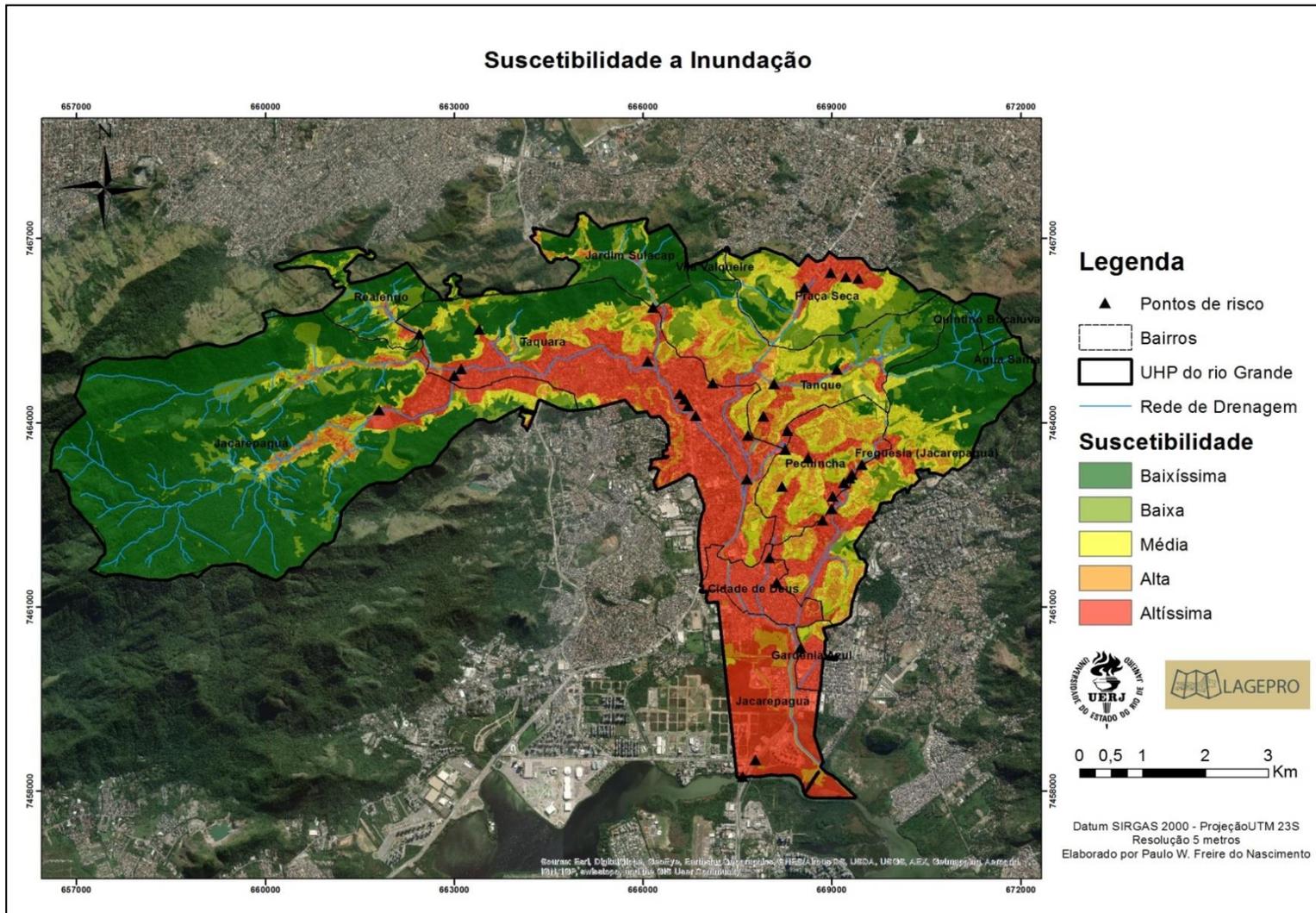
4 RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos a partir da aplicação da Análise Multicritério, pelo método AHP, da vulnerabilidade ambiental. Tal resultado foi alcançado através do cruzamento do mapa de suscetibilidade à inundação com o mapa de vulnerabilidade social. Ambos os mapeamentos serão apresentados e descritos com suas respectivas classes de suscetibilidade e vulnerabilidade, apontando e descrevendo as áreas dos bairros nas quais as classes estão inseridas.

4.1 Mapa de Suscetibilidade a inundação

Num primeiro momento, este trabalho obteve alguns resultados no que diz respeito ao mapeamento da suscetibilidade a inundação da UHP do rio Grande (Figura 32) elaborado a partir do método do AHP pelo *plugin* instalado no ArcGIS 10.4 com o conjunto de cinco variáveis discutidas no capítulo anterior (subitem 3.2.5.1).

Figura 32 - Mapa de suscetibilidade a inundação da UHP do rio Grande.



Fonte: O autor, 2020.

No agrupamento das categorias/notas de suscetibilidade geradas do mapa final, convencionou-se classificar no ArcGIS 10.4, através da *natural breaks*, em cinco classes de suscetibilidade: baixíssima, baixa, média, alta e altíssima. Na Tabela 13 é apresentada a distribuição percentual das classes de suscetibilidade em relação à área total da UHP do rio Grande.

Após o processo de agrupamento, demonstrou-se que no método AHP os pesos para variável geomorfologia e uso e cobertura da terra, por exemplo, foram os mais altos, ainda que a razão de consistência estivesse dentro dos limites estipulados. Já para as variáveis de pedologia e hipsometria, os pesos apresentaram baixa influência na análise multicritério.

Em relação à distribuição espacial das classes de suscetibilidade à inundação, pode-se observar a partir da Tabela 13, em ordem crescente, que 41,16% da área de estudo corresponde a classe de baixíssima suscetibilidade, 24,85% de altíssima, 13,25% média, 10,98% baixa e, por último, 9,68% alta. A seguir será descrito detalhadamente cada classe:

Tabela 15 - Percentual das classes de suscetibilidade.

Classes Suscetibilidade	Área (Km²)	Percentual (%)
Baixíssima	24,21	41,16
Baixa	6,46	10,98
Média	7,79	13,25
Alta	5,69	9,68
Altíssima	14,61	24,85

Fonte: O autor, 2020.

Como pode ser observada, a classe de baixíssima suscetibilidade é a de maior representatividade na área de estudo com, aproximadamente, 42%. Essa classe está localizada, principalmente, à noroeste, norte e nordeste da UHP por se tratarem de áreas com altitude e declividade mais acentuadas, onde estão as nascentes dos rios que cortam a área de estudo. Ressalta-se a presença de uma vegetação de grande porte e preservada, principalmente, nos locais dentro dos limites do PEPB e PNT, que contribui para aumentar o tempo de concentração da água precipitada, reduzindo o volume de água que chega às partes mais baixas bacia hidrográfica.

Logo em seguida, no outro extremo, a classe de altíssima suscetibilidade abrange 25% da área total da UHP, onde se encontra a grande maioria dos setores censitários com alta ocupação antrópica. Esta classe compreende áreas de baixa declividade, altitude e, sobretudo, adensadas e com alto índice de impermeabilização do solo por asfaltos, calçadas e edifícios.

Somada aos elementos anteriores, o que se destaca nessas áreas de altíssima suscetibilidade é a presença das formas de relevo denominadas de planícies de inundação e planícies fluviolagunares, que são áreas propensas à inundação devido à dificuldade de drenagem e à saturação do solo. Por conta desta suscetibilidade inerente ao terreno, são áreas consideradas impróprias para moradia e protegidas legalmente (APP e FMP), tendo em vista a possibilidade de ocorrência de inundações. Todavia, a realidade encontrada nas incursões em campo contradiz a recomendação e determinação da lei supracitada.

No tocante as classes de baixa, média e alta apresentam percentuais bastante próximos, apesar de estarem localizadas em áreas distintas e espaiadas ao longo da UHP. É importante também ressaltar que a presença da classe de alta suscetibilidade (10%) em locais descontínuos como, por exemplo, no sul da área de estudo, em Jacarepaguá, onde a combinação resultante de planícies fluviolagunares e superfícies aplainadas conservadas e degradadas, a presença de solos extremamente mal drenados (organossolos e gleissolos) e baixas declividades fez com que essa classe tivesse destaque. Essas áreas de alta suscetibilidade devem receber a maior atenção por parte dos gestores públicos, por ainda não estarem ocupadas, podem se tornar áreas de altíssima suscetibilidade se impermeabilizadas no futuro.

Essas áreas de alta suscetibilidade podem ser observadas também em áreas mais afastadas da drenagem, fora da planície de inundação, onde a problemática das inundações está bastante associada ao processo de urbanização que modifica a dinâmica hídrica e a deficiência da rede de drenagem, como estreitamento do curso, aterramentos, entupimento por lixo, etc. Somam-se a isso, as baixas altitudes e declividades que potencializam o processo.

No que diz respeito à classe de média suscetibilidade, esta representa cerca de 13% e está espacializada, principalmente, entre as classes de altíssima e alta suscetibilidade, sendo considerada uma faixa de transição entre as duas classes. Pode-se ser encontrada, sobretudo, nos bairros da Freguesia, Pechincha e Tanque, onde a combinação de diferentes tipos de uso e cobertura da terra (ocupações menos adensadas), declividade e altimetria superior às planícies de inundação permitem uma maior permeabilidade do que as encontradas em áreas mais planas e impermeabilizadas.

Já em relação à classe de baixa suscetibilidade, esta abrange uma área de 11% da UHP e localiza-se, sobretudo, em áreas onde a ocupação humana é reduzida, de modo que apresentam características ambientais naturais. Isto significa dizer que é importante um planejamento para que as áreas de baixa e baixíssima suscetibilidade, onde estão situados o

PEPB e PNT, futuramente não sejam ocupadas de forma irregular, afetando com isso a estabilidade ambiental ora presente.

Ao analisar a distribuição registros de inundação da Fundação Rio-Águas na Figura 31, pode-se concluir que o a grande maioria se encontra dentro da classe de altíssima suscetibilidade, o que demonstra certo grau de confiabilidade na informação gerada pelo mapeamento aqui elaborado. Além disso, outra forma de validação do método utilizado na elaboração do mapeamento foi realizar incursões em campo nas áreas onde estão localizados os registros de inundação, mapeados pela Fundação Rio-Águas, conforme a Figura 33.

Figura 33 - Registros de inundação da Fundação Rio-Águas situados no bairro da Taquara.



Fonte: O autor, 2018.

Como resultado do que foi observado em campo, pode-se se ter uma ideia na realidade do conjunto de elementos ou variáveis que contribuíram para que esta área fosse classificada como de altíssima suscetibilidade. Os registros de inundação P33 e P34 se encontram próximos à confluência do rio Pequeno com o rio Grande, especificamente, na Av. Júlio dos Santos de Melo e Rua Gerdal Bôscoli, respectivamente, no bairro da Taquara. Nessa área, o predomínio de um relevo de baixa altitude e declividade, sendo caracterizada geomorfologicamente como uma planície de inundação, a torna uma área altamente suscetível à inundação.

A ocupação irregular a partir dos condomínios de classe média construídos há mais ou menos 15 anos e as comunidades localizadas às margens dos rios potencializam ainda mais o

processo de inundação, seja pela impermeabilização gerada, seja pelo esgoto e lixo lançados direto nos rios ou pelo lixo armazenado nas suas margens, conforme a Figura 33. Desse modo, a ocupação não só intensifica o processo de inundação, tornando a área ainda mais suscetível, como também, se torna um risco por estar diante de um evento que pode gerar danos e prejuízos pela forma de ocupação gerada. É importante ressaltar que essa ocupação consolidada tanto por condomínios de classe média ou por comunidades, numa área de preservação permanente (APP), onde não é permitida a ocupação por se tratar de uma área ambientalmente instável (Lei 12.651/ 2012), é resultado da incapacidade dos gestores da cidade em conter o processo de ocupação desordenado na Baixada, especialmente nas áreas lindeiras aos canais e aos cursos d'água.

4.2 Mapa de Vulnerabilidade Social

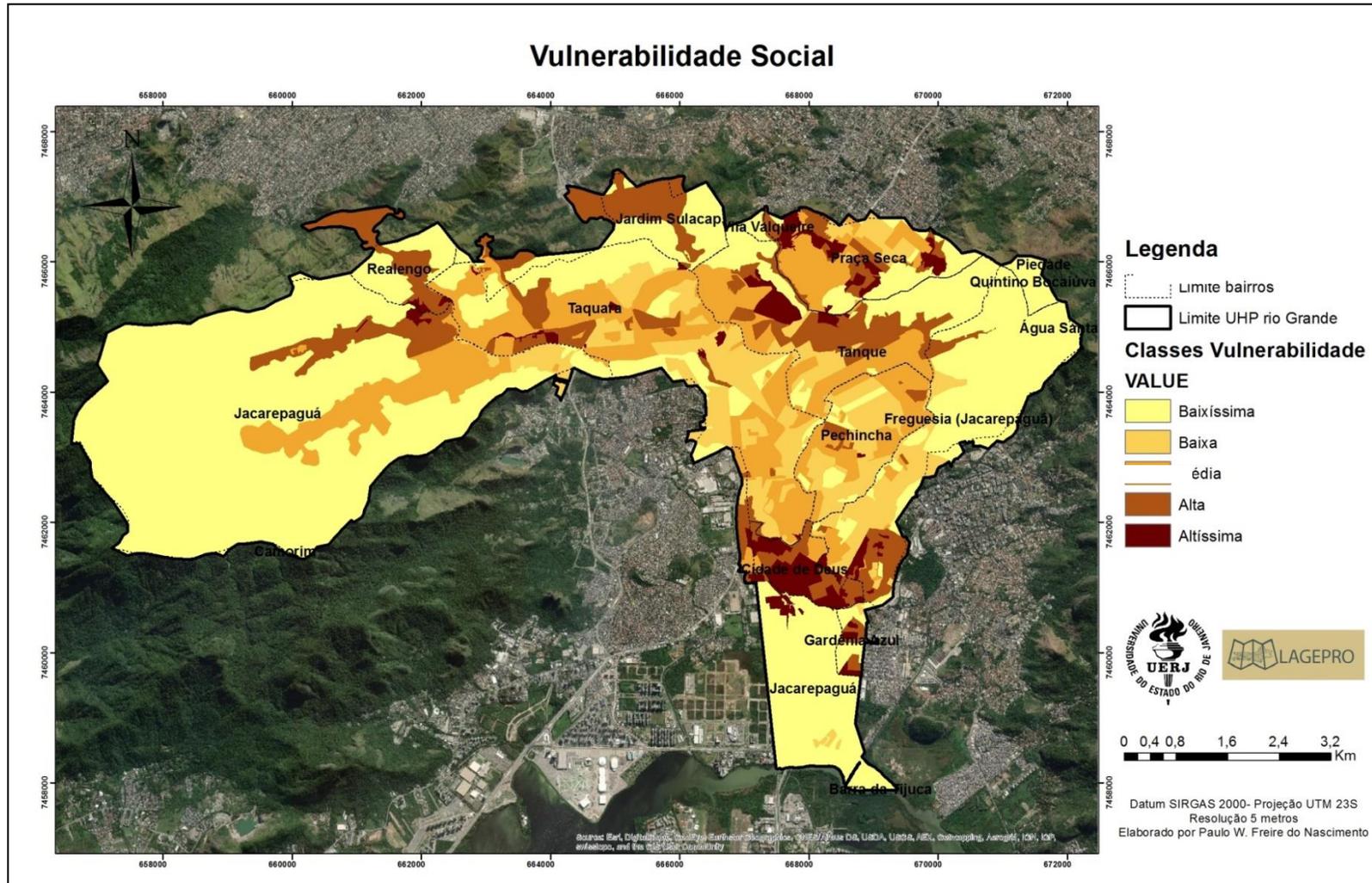
A análise multicritério para elaboração do mapa de vulnerabilidade social considerou os mapas de fatores renda/gênero, educação/gênero e saneamento ambiental com os pesos obtidos pelo método AHP e as respectivas notas das classes, originando o mapeamento da vulnerabilidade social (Figura 34) por meio da Álgebra de mapas (raster calculator), composto por cinco classes de vulnerabilidade (baixíssima, baixa, média, alta e altíssima) obtidas por meio do método natural breaks do ArcGIS 10.4. Na Tabela 14 é demonstrada a distribuição percentual das classes de vulnerabilidade em relação à área total da UHP do rio Grande e em seguida será feita uma breve análise do mapeamento.

Tabela 16 - Percentual das classes de vulnerabilidade social

Classes VS	Área (Km²)	Percentual (%)
Baixíssima	32,36	55,02
Baixa	6,74	11,45
Média	10,15	17,25
Alta	7,44	12,66
Altíssima	2,13	3,62

Fonte: O autor, 2020.

Figura 34 - Mapa de Vulnerabilidade social da UHP do rio Grande.



Fonte: O autor, 2020.

De acordo com a Tabela 13, a classe de baixíssima vulnerabilidade corresponde a 55% da área total da UHP do rio Grande. Esta classe, como pode observar na Figura 30, corresponde às áreas pertencentes das Unidades de Conservação do PEPB e PNT e ao sul da UHP do rio Grande, esta última localizada próxima às lagoas que são constituídas por terrenos alagadiços de turfa e/ou mangue. É importante ressaltar que nos setores censitários que se encontram dentro dos limites do PEPB e PNT, são considerados vazios demográficos, pois não houve levantamento de informações pelo IBGE, embora se saiba que existam domicílios ou ocupações irregulares dentro desses territórios.

Também, mesmo que o setor censitário dentro dos limites do PEPB seja considerado um vazio demográfico e esteja menos de 50% da área dentro da bacia, ainda sim o mesmo foi excluído por não interferir nos resultados, mantendo o limite natural da bacia hidrográfica do rio Grande. Já os setores censitários que estão dentro dos limites do PNT, apesar de não conterem informações, estão inseridos totalmente dentro da UHP do rio Grande e não foram excluídos para não dar problema na representação gráfica dos mapas.

Em relação ao sul da bacia, essa área corresponde a um vetor de crescimento urbano, onde possuem setores censitários enormes, de baixa densidade demográfica e que se encontra em grande parte fora da bacia hidrográfica, restando apenas os setores censitários correspondentes ao condomínio Vila do Pan, construído para receber os atletas dos Jogos Pan-americanos de 2007, representado pela classe de baixa vulnerabilidade.

No outro extremo, a classe de altíssima vulnerabilidade, apesar de representar somente 3,67% da área da UHP, merece ser destacada, pois são setores censitários inseridos em áreas de comunidade controladas por facções criminosas ou por milícias, dentre elas: a Cidade de Deus, a comunidade do Jordão (Taquara), Gardênia Azul, Morro da Covanca (Tanque), comunidade Renascer (Tanque), Caixa D'água (Tanque), Chacrinha e Bateau Mouche (na Praça Seca) e outras ocupações irregulares nas margens dos rios e lagoas e encostas íngremes. O vácuo deixado pelo poder do Estado é ocupado pelo poder paralelo, quando não existe, por parte dos governantes, políticas para prover educação, saúde, moradia, e saneamento básico, tornando a população desses territórios reféns dos serviços clandestinos oferecidos pelas organizações criminosas em troca de dinheiro e poder, e, conseqüentemente, tornando essas populações as mais vulneráveis devido à escassez de serviços públicos. Portanto, a carência de serviços públicos, como a educação (taxa de analfabetismo), saneamento básico, habitações precárias e improvisadas, a densidade demográfica e a falta de infraestrutura são as características principais dessa classe.

Em 2011, a Cidade de Deus foi contemplada pelo Programa de Unidade de Polícia Pacificadora (UPP), que tinha o objetivo de tirar a comunidade do controle do tráfico, porém a chegada da segurança não foi acompanhada do suprimento de serviços básicos para população. Com uma população de 38mil habitantes, a Cidade de Deus apresenta indicadores sociais entre os mais críticos da cidade (AGÊNCIA BRASIL, 2018). Com a crise do Estado e casos de corrupção e abusos por parte da polícia, a Cidade de Deus voltou para o controle do tráfico, tornando comuns notícias de confrontos e tiroteios na região (AGÊNCIA BRASIL, 2018; G1 RIO, 2018).

Outra área bastante problemática é o bairro da Praça Seca que convive com tiroteios e confrontos por territórios entre milícias e o tráfico nas comunidades da Chacrinha e Bateau Mouche, cortadas pela Avenida Candido Benício. Nesse bairro por conta dos constantes confrontos, houve um esvaziamento econômico com fechamento de lojas a exemplo da tradicional Sorveteria Diplomata (DIÁRIO DO RIO, 2018) e do poder do Estado com o fechamento de escolas, postos de saúde e a constante interrupção da circulação do transporte público como, por exemplo, do BRT Transcarioca (G1 RIO, 2018).

Com relação à classe de alta vulnerabilidade, esta representa cerca de 13% da área da UHP do rio Grande, correspondendo aos setores censitários com ocupação mais recente, de baixa renda e ao longo das margens dos rios nos bairros da Taquara, grande parte dos bairros do Tanque, Realengo, Jardim Sulacap e Praça Seca, e cabe destacar aqui, o sul do bairro do Freguesia que é considerado um bairro de alto padrão. São setores que apresentam carência de infraestruturas, habitações em locais irregulares e graves problemas de educação.

Já as áreas com classe de baixa e média vulnerabilidade, que representam cerca de 12% e 18%, respectivamente, onde os setores censitários estão localizados, de modo geral, nos bairros da Freguesia, Pechincha, Tanque e Taquara. São bairros, em tese, de classe média a alta, que sofreram com o boom imobiliário resultante da expansão imobiliária dos bairros da Barra da Tijuca e Recreio a partir da década de 80. Este boom imobiliário deveu-se a alguns fatores, dentre eles: a aprovação do Projeto de Estruturação Urbana (2004) que flexibilizou o padrão construtivo dos bairros e a proximidade de importantes vias de acesso que torna esses espaços ainda mais valorizados como, por exemplo, a Linha Amarela (1997), Autoestrada Grajaú-Jacarepaguá e mais recentemente, a construção dos corredores expressos da Transcarioca e Transolímpica (PEREIRA, 2000; BAHIANA, 2007; CARVALHO, 2013). A criação do eixo central (Barra da Tijuca), portanto, propiciou o surgimento dessas centralidades, representada por esses bairros da Baixada de Jacarepaguá, onde é notável a

presença de prédios imponentes, condomínios fechados, centros comerciais com ampla oferta de serviços e shoppings.

Em relação ao saneamento ambiental, apesar do luxo que esse tipo de ocupação residencial trouxe para o local, o problema quanto à precariedade de infraestruturas sanitárias continua a ocorrer nos bairros da Grande Jacarepaguá, tanto para as residências de baixa renda quanto para as de alto luxo. A poluição dos corpos hídricos por efluentes domésticos é um problema generalizado e histórico, que de acordo com Zee (2002), durante a década de 90, cerca de 85% da população residente da Baixada de Jacarepaguá, com a exceção da Barra da Tijuca e Recreio dos Bandeirantes, continuavam lançando esgotos sem tratamento nos rios, canais e nas lagoas.

Atualmente, segundo a CEDAE (2019), cerca de 70% do esgoto da Área de Planejamento 4 (Barra da Tijuca, Recreio dos Bandeirantes e Jacarepaguá) é coletado e tratado, podendo atingir 100% de cobertura em 10 anos. O esgoto produzido nas residências é transportado para as elevatórias, depois é elevado para a Estação de Tratamento de Esgoto da Barra da Tijuca (ETE - Barra da Tijuca) para ser tratado e a seguir é encaminhado para o Emissário Submarino, onde é despejado o efluente tratado no mar, não poluindo assim os corpos hídricos (rios e lagoas) da Baixada de Jacarepaguá.

Contudo, muitos especialistas desconfiam do bom funcionamento das elevatórias, que teriam o papel de coletar o esgoto das residências e transportar para a estação de tratamento, pois muitas das vezes o esgoto não é elevado para ser transportado por causa de algum problema no sistema e o esgoto acaba indo parar nos corpos hídricos.

4.3 Mapa de Vulnerabilidade Ambiental

A integração dos mapas de suscetibilidade à inundação e o mapa de vulnerabilidade social resultou na elaboração do mapa de vulnerabilidade ambiental (Figura 35), possibilitando a representação e identificação das localidades onde ocorre a coincidência de suscetibilidades e vulnerabilidades na Unidade Hidrográfica de Planejamento do rio Grande.

Neste sentido, com o resultado obtido os gestores públicos poderão atuar de maneira mais incisiva nas áreas que necessitam maior cuidado na tentativa de reduzir a vulnerabilidade e impedir que áreas que não são vulneráveis tornem-se vulneráveis no futuro.

A partir do resultado então, foi realizada uma análise mais complexa do mapeamento de vulnerabilidade ambiental no intuito de integrar as informações descritas nos mapeamentos anteriores e relacionar com a realidade constatada em campo representada através de registros fotográficos realizados. Para isso, utilizou-se o aplicativo Wikiloc, que foi utilizado para obter as coordenadas geográficas e realizar os registros fotográficos das áreas visitadas.

Tabela 17 - Percentual das classes de Vulnerabilidade Ambiental

Classes VA	Área (km ²)	Porcentagem (%)
Baixíssima	32,2	54,7
Baixa	6,4	10,9
Média	9,2	15,7
Alta	8,0	13,6
Altíssima	2,9	5,0

Fonte: O autor, 2020.

Conforme a Tabela 15 observa-se que 13,6% e 5% da área de estudo, compreendem, respectivamente, a áreas com alta e altíssima vulnerabilidade. Essas áreas estão localizadas, principalmente, em comunidades, ocupações irregulares às margens dos rios e locais de urbanização recente. Na classe de média vulnerabilidade, tem-se 15,7% da área de estudo abrangida por esta classe e um padrão espacial espreado ao longo da UHP.

Já a classe de baixa vulnerabilidade, abrange 10,9% da UHP e concentra-se na porção central da UHP. Por fim, a classe de baixíssima vulnerabilidade corresponde a 54,7% da área de estudo e localiza-se na parte noroeste, nordeste e sul.

De acordo com o Mapa de Vulnerabilidade Ambiental, o resultado obtido justifica a hipótese levantada, no qual as áreas de maior vulnerabilidade social coexistem com as áreas mais suscetíveis à inundação ou até mesmo identificar algumas manchas de altíssima vulnerabilidade social em declividades acentuadas, longe das áreas mais suscetíveis à inundação. Isso se dá por conta da geografia da área de estudo e do processo de seu processo de urbanização, uma vez que a população mais pobre ou foi empurrada para áreas marginais dos rios e lagoas, ou foi empurrada para as encostas íngremes, muitas das vezes suscetíveis a movimentos de massa.

Portanto, é importante afirmar que os locais de maior suscetibilidade à inundação independem da classe social, uma vez que, além das populações mais pobres estarem localizadas em áreas de risco a inundação, também a população mais abastada, em grande parte, se encontra localizada nesses terrenos a partir da construção de condomínios de luxo e casas de alto padrão. Contudo, o que vai diferenciá-los no que diz respeito às inundações são as consequências e prejuízos que cada grupo social terá.

Neste sentido, na Unidade Hidrográfica de Planejamento do rio Grande, os maiores de índices de vulnerabilidade estão principalmente em algumas áreas de comunidade, ocupações lindeiras e de expansão com graves problemas socioambientais, onde se percebe a maior suscetibilidade a inundação e condições de pobreza, o que aumenta a exposição das pessoas residentes a qualquer evento adverso. Ao contrário da porção central da UHP com áreas de baixa a média vulnerabilidade, pois apresentam as melhores condições socioeconômicas, mesmo estando em grande parte em áreas suscetíveis, isto é, na planície de inundação.

A classe de altíssima vulnerabilidade representa 5% da área de estudo e localiza-se, principalmente, nas comunidades e ocupações irregulares lindeiras aos rios. Destacam-se os setores censitários que estão na comunidade da Cidade de Deus, Gardênia Azul e algumas outras comunidades (visitadas em campo), pois se tratam de locais altamente suscetíveis à inundação, sobretudo em relação à declividade, a geomorfologia, altitude, o grau de impermeabilização e a proximidade dos cursos d'água. Essas áreas apresentam os piores índices de vulnerabilidade social, confirmando a tendência de que os grupos de baixa renda tendem a residir em áreas com más condições sanitárias e em situações de risco e degradação ambiental.

Ressaltam-se os setores censitários correspondentes às comunidades do Jordão, Chacrinha, Caixa D'água, Barão, Covanca (em parte) e Bateau Mouche, que apesar de estarem em áreas de baixa a média suscetibilidade à inundação, destacam-se por possuírem altíssima vulnerabilidade social, pois apresentam condições precárias de saneamento básico,

de moradia, presença de um alto grau de analfabetismo por parte dos chefes de família, sobretudo, as mulheres arrimos de família, e renda baixa.

Em relação à classe de alta vulnerabilidade, que corresponde a 13,6% da área de estudo, destacam-se as áreas localizadas nas extremidades da área de estudo de ocupação mais recente onde a exposição física à inundação é menor por estarem em áreas com declividade e altitude altas. Destacam-se também as comunidades e ocupações irregulares localizadas em áreas de altíssima suscetibilidade à inundação somada a baixos indicadores sociais, tais como: saneamento básico, habitações simples, proximidade com os cursos d'água, alto grau de analfabetismo e renda mínima para suficiente para recuperação e/ou para adquirir uma moradia em outro bairro da área investigada ou da cidade.

Cabe salientar que a renda é uma das variáveis que contribui para o aumento da vulnerabilidade. Portanto, nas classes de alta a altíssima vulnerabilidade ambiental, citadas anteriormente, prevalecem pessoas com as menores rendas ou famílias que sobrevivem a partir de algum auxílio do Governo, como o Programa de Bolsa Família.

A classe de média vulnerabilidade, recobre a segunda maior área, abrangendo cerca de 15% da UHP do rio Grande. Essa classe situa-se, principalmente, na porção central, que corresponde aos bairros da Taquara, Pechincha e Tanque, porém a maior parte se encontra mesmo na Taquara. São áreas com alto grau de impermeabilização, que contribui com a baixa permeabilidade do solo e aumento do escoamento superficial, localizados em declividades menores e com problemas na rede drenagem, que somados podem contribuir para ocorrência de inundações. Nessas áreas de média vulnerabilidade, a população residente apesar de se encontrarem em situação de risco a inundação pelas características físicas mencionadas anteriormente, possuem capacidade moderada de resposta a um possível evento, pois apresentam distintas classes sociais com poder aquisitivo intermediário, boas condições de saneamento e reduzido número responsáveis analfabetos.

A classe de baixa vulnerabilidade corresponde a quase 11% da área de estudo, e está localizada, principalmente, nos bairros do Pechincha e Freguesia e, em menor grau, na Taquara. São áreas com um dos melhores indicadores socioeconômicos, onde se encontra a população mais abastada da UHP, representada por condomínios de luxo e casas de alto padrão. Muitas se encontram em áreas lindeiras, porém possuem alto grau de capacidade de resposta a um evento de inundação, no qual sequer sentem as consequências diretas. As consequências indiretas estão nos trânsitos frequentes desses bairros, que pioram quando há um evento chuvoso que gere inundações.

A classe de baixíssima vulnerabilidade, com maior representatividade na área de estudo (55%), está localizada, em grande parte, nas áreas de altitudes elevadas, recobertas com vegetação protegida pelas UCs, onde a ocupação é reduzida, resguardando as características ambientais naturais. Assim como a porção sul da UHP, caracterizada por estar numa área plana e com solos de baixa permeabilidade, também é considerada um “vazio demográfico” por não possuir dados socioeconômicos levantados pelo censo do IBGE (2010). Esses terrenos se encontram, em grande parte, no bairro de Jacarepaguá e, em menor grau, na Freguesia, onde se encontra o PNT. É importante ressaltar também que a classe de baixíssima vulnerabilidade está situada em áreas ocupadas, onde se encontra a população com os melhores indicadores socioeconômicos da UHP (melhores habitações, saneamento ambiental, educação e renda), somando um total de 25 setores censitários distribuídos nos bairros Pechincha, Freguesia e Taquara.

A partir da espacialização das classes de vulnerabilidade ambiental, pode-se constatar que a distribuição das classes na área investigada, seguiu o seguinte padrão espacial: a classe alta a altíssima representadas por comunidades em locais suscetíveis à inundação, em comunidades e áreas de expansão urbana nos bairros de Jacarepaguá (ao longo do rio Pequeno), Taquara, Praça Seca, Tanque; a classe de média vulnerabilidade se encontra espraiada na porção central onde residem diferentes classes sociais em graus de média a altíssima suscetibilidade nos bairros da Taquara, Tanque e Pechincha; as classes de baixa a baixíssima vulnerabilidade se encontram, principalmente, na Freguesia e Jacarepaguá onde está localizada a população com maior renda e os vazios demográficos, ou em locais com altíssima suscetibilidade ou em baixíssima suscetibilidade, respectivamente.

De modo geral, Freguesia é o bairro com menor vulnerabilidade, seguido dos bairros Pechincha, Jacarepaguá e Taquara. Os mais vulneráveis, em ordem, são: Jardim Sulacap, Realengo, Praça Seca, Gardênia Azul e Cidade de Deus.

Para melhor entendimento da análise feita anteriormente, será abordado o que foi observado em campo com o auxílio de fotos tiradas a fim de ilustrar as classes de vulnerabilidades presentes nos bairros da UHP do rio Grande:

a) Freguesia:

O bairro da Freguesia está inserido, em grande parte, na UHP do rio Grande e a parte leste situada na bacia do rio Anil. Conforme a análise feita anteriormente, é o bairro que possui os setores censitários com o menor índice de vulnerabilidade ambiental comparando-se com os outros bairros. A classe de baixíssima vulnerabilidade situada na parte norte do bairro, por exemplo, foi

aferida e validada em campo através da presença de padrões superiores de construção representadas por casas luxuosas em condomínios horizontais fechados em terrenos de média a alta suscetibilidade à inundação. Essas edificações ficam localizadas na Estrada do Pau-Ferro na altura do acesso a Linha Amarela (Figura 36).

A rua é bem pavimentada, com calçadas conservadas e limpas, é bem servida por serviços de saneamento básico (esgoto, lixo e água) e o carro é o principal meio de transporte utilizado pelos moradores em detrimento do transporte coletivo, que é escasso e utilizado, principalmente, por trabalhadores que trabalham nesses condomínios e casas de luxo.

A proximidade com áreas florestadas e ruas bem arborizadas traz conforto térmico a quem mora nessas residências, o que confirma a hipótese de que quanto mais abastada for a região maior a densidade de árvores.

Figura 36 - Condomínios de casas e casas luxuosas na Estrada do Pau-Ferro, Freguesia



Fonte: O autor, 2020.

É importante ressaltar que as impressões constatadas em campo corroboram com o que vem ocorrendo nos bairros de Jacarepaguá, sobretudo, na Freguesia, onde a alta valorização dos terrenos fez surgir uma centralidade representada por condomínios de luxo e de edifícios de alto padrão. Na porção norte da Freguesia é comum a presença de casas amplas em condomínios fechados, já na porção central e leste se destaca pela presença de prédios imponentes, edifícios de escritórios, prédios novos ou em fase de construção, centros comerciais e galerias (Figura 37 e 38).

Figura 37 - Rua Araguaia na parte central do bairro Freguesia



Fonte: O autor, 2020.

Figura 38 - Prédio de escritórios na Rua Tirol



Fonte: O autor, 2020.

Na parte sul do bairro é considerado uma área de transição com os bairros da Cidade de Deus e Gardênia Azul, onde o padrão construtivo é inferior às outras áreas, com moradias mais simples. No entanto, a classificação de um setor censitário considerado como de alta vulnerabilidade destoou do que foi encontrado na realidade. Por mais que o setor possua alto grau de alfabetização entre homens e mulheres responsáveis pelos domicílios, o indicador de renda/gênero, que possui o maior peso em relação às outras variáveis, não condiz com o padrão construtivo encontrado na realidade (próximo a Estrada do Gabinal), em que a grade maioria possui piscinas, são amplas, com fachadas bem conservadas e bem servidas de serviços de

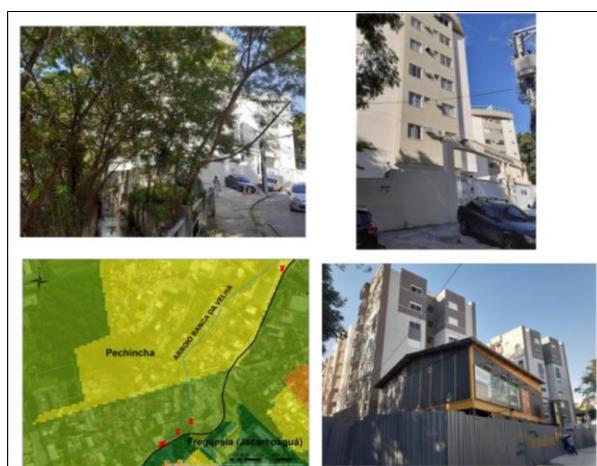
saneamento básico, além de estarem localizadas em uma área de média suscetibilidade a inundações. Isso pode ser explicado pela omissão do verdadeiro valor da renda no momento da entrevista com o agente censitário, quem coleta as informações durante o censo demográfico.

b) Pechincha:

O bairro do Pechincha possui o segundo menor índice de vulnerabilidade, apresentando setores censitários, em grande maioria, de baixíssima a média vulnerabilidade ambiental. O rio Banca da Velha que atravessa o bairro e ao longo dele apresenta diferentes classes sociais que ocupam suas margens, sobretudo, as classes média e alta que se conformam em condomínios verticais fechados, com equipamentos de lazer e serviços, construídos recentemente como resultado da flexibilização do padrão construtivo (PEU, 2004) e da especulação imobiliária que o bairro sofreu.

Conforme a Figura 39 é possível ilustrar, no geral, o padrão construtivo do bairro Pechincha a partir da presença de condomínio vertical fechado à margem do rio Banca da Velha. Este se encontra canalizado, poluído pelo lançamento de esgoto in natura das residências do bairro e em caso de algum evento adverso, os moradores desses condomínios, em grande maioria não terão algum dano ou prejuízo, possuindo assim baixa vulnerabilidade.

Figura 39 - Condomínio vertical fechado próximo ao rio Banca da Velha e condomínio em construção, ambos no bairro Pechincha.



Fonte: O autor, 2020.

c) Jacarepaguá:

O bairro de Jacarepaguá é o maior da Baixada de Jacarepaguá, e está inserido em parte na UHP do rio Grande em duas porções: a nordeste, onde fica situado o PEPB com acesso através da Estrada do Pau-da-Fome e pela Estrada do rio Pequeno, e a sul, no qual estão situados os terrenos alagadiços, ainda desocupados, o condomínio Vila do Pan e a Escola SESC de Ensino Médio.

A baixíssima vulnerabilidade ambiental do bairro é puxada, em grande parte, pela baixa densidade demográfica do bairro nessas duas porções inseridas na UHP do rio Grande. Porém, é possível identificar algumas classes de alta vulnerabilidade representada pela Comunidade Santa Maria, por exemplo, localizada às margens do rio Pequeno, local onde está havendo uma expansão da urbanização em direção ao PEBB, como retratado na monitoria ambiental (subitem 1.2.5.1).

Na incursão realizada na comunidade (Figura 40), foi observado que as casas localizadas às margens do rio Pequeno, de altíssima suscetibilidade, são, no geral, de pessoas de origem humilde contrastando com o padrão superior das casas situadas na área de maior altitude ao longo da estrada. Quanto ao saneamento ambiental, todo o esgoto produzido nos domicílios é lançado diretamente no rio Pequeno, que se encontra canalizado e alargado devido às obras realizadas durante o Programa Favela Bairro. Segundo a fala do morador Ricardo, o rio era um córrego estreito, que vivia transbordando durante o período chuvoso e que após o término das obras, o mesmo nunca mais transbordou. O mesmo relatou que a comunidade conta com serviço de coleta de lixo durante três dias da semana e a população não joga lixo no rio por causa de um programa de educação em que a população da comunidade era recrutada para trabalhar na limpeza das ruas da comunidade e conscientizar a população.

O morador também relatou o evento de 1996, onde a comunidade foi arrasada pela inundação e o deslizamento que ocorreu, em 2010, na parte mais alta da comunidade, onde a ocupação está em curso a partir da construção de novas residências e onde está localizada uma população mais carente.

Figura 40 - Comunidade Santa Maria, no bairro de Jacarepaguá, ocupação das margens do rio Pequeno e lançamento de esgoto no rio.



Fonte: O autor, 2020.

A Comunidade Monte da Paz (Figura 41) foi outra comunidade visitada no bairro de Jacarepaguá, porém ela se encontra situada dentro dos limites do PEPB. Essa localidade, segundo o mapeamento final, é classificada como de média vulnerabilidade ambiental, sobretudo, por estar inserida numa área de baixa a média suscetibilidade à inundação e por apresentar indicadores sociais intermediários de renda e educação entre homens e mulheres responsáveis por domicílios. A questão mais problemática está em relação ao saneamento ambiental, cuja comunidade não possui esgotamento sanitário, sendo o esgoto lançado sem tratamento diretamente no córrego, e o abastecimento de água não é ligado à rede geral da CEDAE. Segundo a fala do morador Thiago, a única vez que houve transbordamento do rio foi em 1996, quando uma casa localizada a margem do rio foi arrastada pela enxurrada. O mesmo relatou que a coleta de lixo é ineficiente, pois o lixo se amontoa nas caçambas, que são pequenas demais para grande quantidade de lixo que é acumulada. O morador também informou que apesar da proximidade da

comunidade com a sede do Parque (Figura 42), há pouca comunicação com a gestão da UC.

Figura 41 - Comunidade Monte da Paz no bairro de Jacarepaguá



Fonte: O autor, 2020.

Figura 42 - Centro de Visitação da Sede do Pau-da-Fome (PEPB)



Fonte: O autor, 2020.

Na porção sul do bairro, foi feita uma visitada ao condomínio Vila do Pan localizado próximo à foz do rio Grande e aos arredores da Avenida Ayrton Senna, onde se encontram solos com alto grau de saturação de água (organossolos e gleissolos) e a Escola SESC de Ensino Médio, representadas pela classe de baixa a baixíssima vulnerabilidade ambiental (Figura 43).

No condomínio construído para receber os atletas dos Jogos Pan-Americanos de 2007, os moradores são de classe média-alta e são contemplados por serviços exclusivos que vão desde lazer a transporte dos condôminos.

Figura 43 - Condomínio Vila do Pan, terrenos embrejados e foz do rio Grande



Fonte: O autor, 2020.

d) Taquara:

O bairro da Taquara abrange a maior área na UHP do rio Grande e apresenta índice de vulnerabilidade ambiental intermediário, com destaque para a classe de média vulnerabilidade. O bairro apresenta também a classe de altíssima vulnerabilidade representada por ocupações irregulares coexistindo em áreas de altíssima suscetibilidade à inundações e a classe de baixa vulnerabilidade em áreas de maior altitude e declividade fora da planície de inundação.

O trabalho de campo no bairro foi feito em dois dias, no qual no primeiro dia foi visitada a parte nordeste do bairro próximo à confluência do rio Grande com o rio Pequeno (Figura 44), onde estão localizados condomínios de classe média construídos há 10 anos e a comunidade Nossa Sra. De Fátima representados pela classe de média e altíssima vulnerabilidade ambiental, respectivamente. Em campo foi constatado que a poluição do rio não é algo exclusivo da classe mais pobre, sendo realizada também pelos condomínios a partir do lançamento de esgoto e do lixo acumulado às margens do rio, correndo risco de desbarrancamento das margens pelo peso do lixo acumulado.

Figura 44 - Condomínio de classe média, despejo irregular de lixo nas margens dos rios Grande e Pequeno e Comunidade N. Sra. de Fátima

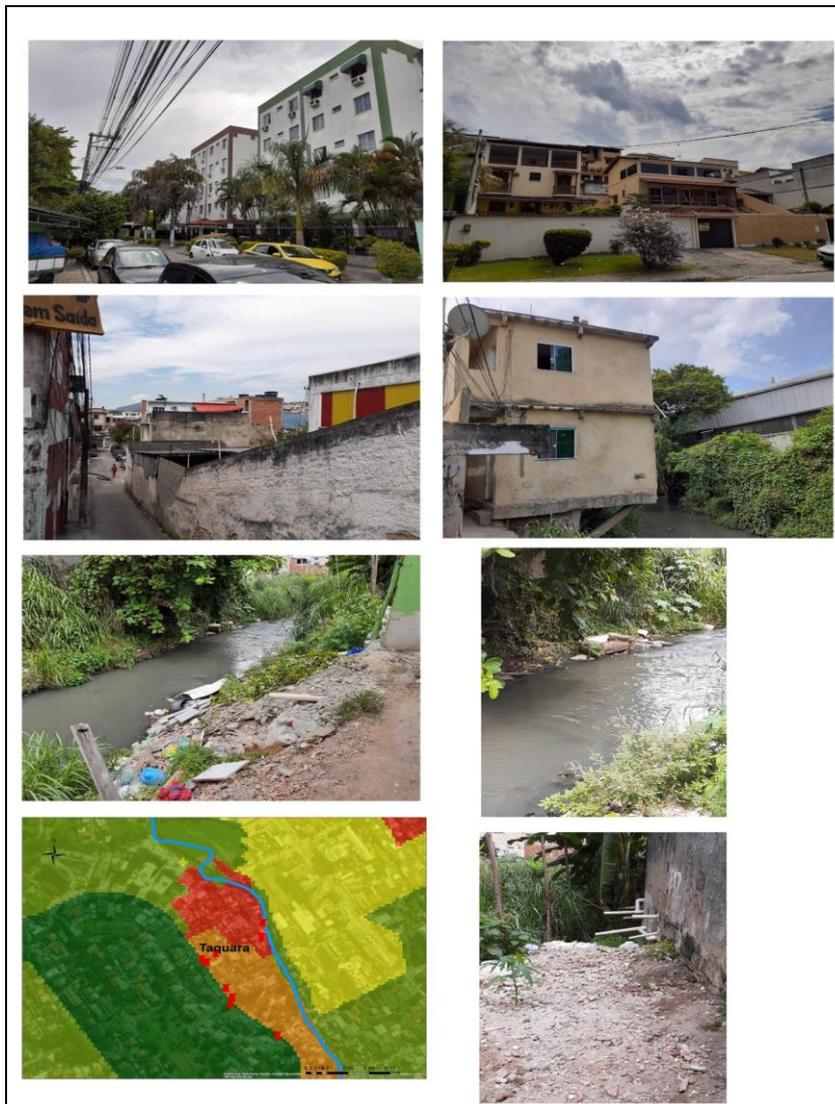


Fonte: O autor, 2020.

A outra localidade visitada foi próxima ao centro da Taquara, ao longo da Estrada do Rio Grande, onde foi identificada a presença na margem direita do rio Grande três classes de vulnerabilidade: baixíssima vulnerabilidade representada por condomínios e casas de classe média-alta no lado direito da estrada, que fica numa área com altitude mais elevada, onde a suscetibilidade à inundação é baixa; alta vulnerabilidade representada por ocupações mais antigas e de baixa renda, com comércio no lado esquerdo da estrada; e a classe de altíssima vulnerabilidade, também no lado esquerdo da estrada, representada pela Vila Santa Mônica, porém na planície de inundação e às margens do rio, onde a suscetibilidade à inundação é altíssima (Figura 45).

Na Vila Santa Mônica foi identificado a autoconstrução das moradias típica de classes sociais mais baixas, o despejo de lixo no rio que concorre com a poluição do rio pelo esgoto das residências, favorecendo a proliferação de animais vetores de doenças e deixando a população exposta à doenças. A moradora Dona Edilene relatou que mesmo a coleta de lixo sendo realizada de maneira regular, os moradores continuam jogando lixo direto no rio e à noite é comum a presença de ratos na rua. A mesma relatou que em períodos chuvosos o rio chega a transbordar, chegando ao seu quintal.

Figura 45 - Condomínios e casas de classe média em áreas de baixa e baixíssima vulnerabilidade, acesso a Vila Santa Mônica e despejo de lixo e esgoto diretamente no rio Grande em área de altíssima vulnerabilidade.



Fonte: O autor, 2020.

No segundo dia de campo na Taquara foi visitada a área de confluência dos rios Tindiba, Grande e Pechincha, e a parte sul do bairro próximo ao limite com a Cidade de Deus.

Na área às margens dos rios é representada pela classe de baixa e média vulnerabilidade através da presença de casas de classe média com maior renda e nível de escolarização dos responsáveis dos domicílios, que por este motivo teriam maior capacidade de enfrentamento às inundações numa área de altíssima suscetibilidade diferentemente da população que mora nas residências humildes bem próximas à margem do rio (Figura 46). Foi observada a presença de bastante lixo nas margens, mosquitos e blocos de concreto para obra de

canalização do rio que está parada há dois anos, segundo relato do morador José. O morador também relatou que a prefeitura realizou a construção de um guarda-corpo na borda do rio Tindiba, que acarretou no desbarrancamento das margens e solapamento do asfalto da rua.

Segundo o relato do morador, na inundação de 1996 a água chegou a dois metros de altura, deixando os moradores ilhados no segundo andar da residência e dias depois ficaram hospedados na casa de familiares no bairro Pechincha. Ainda segundo o morador, no período chuvoso, a água do rio chega ao limite da calha não chegando a transbordar.

Figura 46 - Área de baixa vulnerabilidade representa por casas de classe média, ocupação das margens pela população de baixa renda com edifícios residenciais ao fundo e solapamento do asfalto

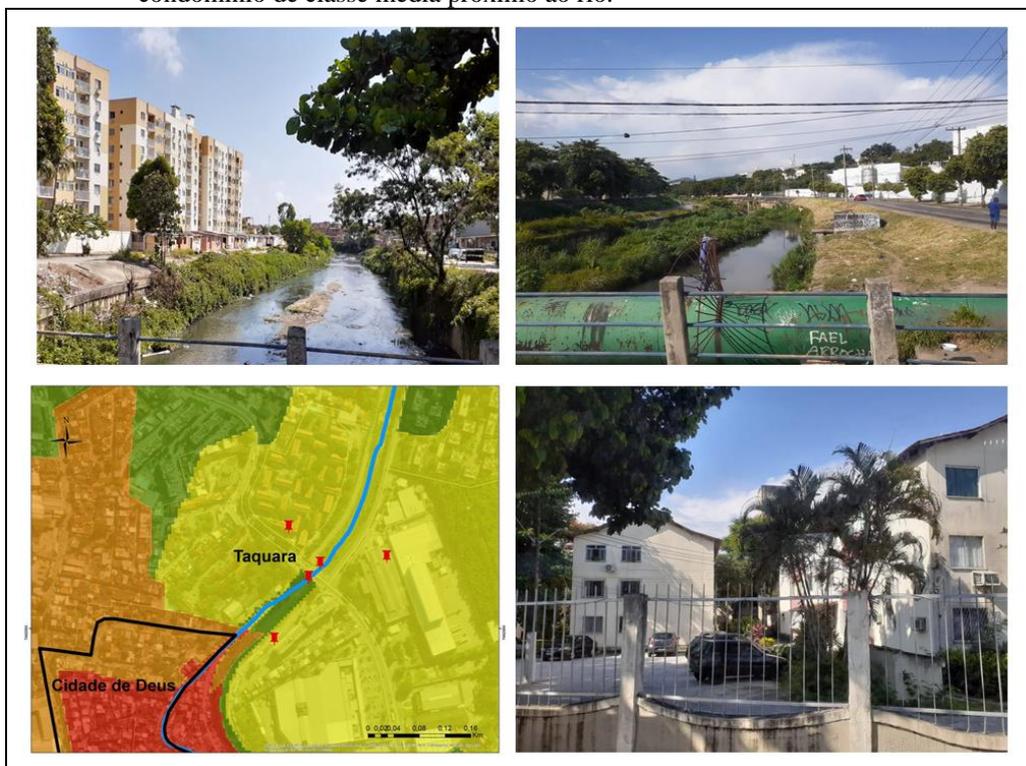


Fonte: O autor, 2020.

A outra área visitada foi na parte sul do bairro da Taquara, próxima a Cidade de Deus. Nessa área de média vulnerabilidade com presença de edifícios residenciais e condomínios de casas de classe média próxima a margem do rio Grande. Concorre com este tipo de ocupação, o crescimento de uma comunidade próxima à margem do rio através da construção de barracos (Figura 47). Na análise de uma ortofoto do ano de 2013 (IPP, 2013) não foi constatada a presença da comunidade, o que leva a entender que a comunidade tem menos de sete anos e provavelmente seja um vetor de crescimento da Cidade de Deus. Por ser uma área de altíssima suscetibilidade à inundação, a população desta comunidade teria grandes prejuízos e danos diante de um

evento adverso em comparação com a população que reside nos edifícios próximos.

Figura 47 - Edifícios residenciais e barracos às margens do rio Grande, Fábrica da P&G e condomínio de classe média próximo ao rio.



Fonte: O autor, 2020.

e) **Tanque:**

O bairro do Tanque dentre os bairros que compõem a UHP do rio Grande, é o que possui o maior número de setores censitários com alta vulnerabilidade ambiental onde estão as comunidades Caixa D'água e Covanca, seguido da classe com baixíssima vulnerabilidade ambiental que se encontra em áreas elevadas recobertas por vegetação e com baixa densidade demográfica.

É importante salientar que grande parte dos setores censitários com alta a altíssima vulnerabilidade ambiental se encontram em áreas controladas pela milícia, como, por exemplo, o morro da Caixa D'água, Covanca, Jordão e Renascer. Esta última fica localizada na confluência dos rios Tindiba e Covanca, sendo classificada como uma área de altíssima vulnerabilidade ambiental por estar numa área com altíssima suscetibilidade à inundações e apresentar indicadores sociais muito baixos, como os de renda e educação entre

os responsáveis pelos domicílios. A comunidade não foi acessada em campo por motivos de segurança, porém sua entrada fica situada entre a Quadra de Escola de Samba Renascer de Jacarepaguá e a estação de BRT do Tanque (Figura 48).

Na incursão realizada no bairro, foi possível notar que o rio Covanca, que atravessa o bairro, se encontra quase que totalmente tamponado e muitos moradores não sabem da existência do rio, segundo a fala de alguns moradores quando perguntados sobre o rio Covanca, próximo à estação de BRT do Tanque.

Outra área visitada em campo foi a localidade ao longo da Avenida Geremário Dantas, onde fica situada a classe de baixa vulnerabilidade ambiental representada por edifícios residenciais de classe média, comércio e serviços ativos (supermercados, postos de gasolina, bancos, shopping, etc.), onde localiza-se os setores censitários com os melhores indicadores sociais do bairro coexistindo numa área de alta suscetibilidade à inundação.

Figura 48 - Acesso a comunidade Renascer, rio Covanca descoberto e canalizado e edifícios residenciais na Av. Geremário Dantas



Fonte: O autor, 2020.

f) Praça Seca:

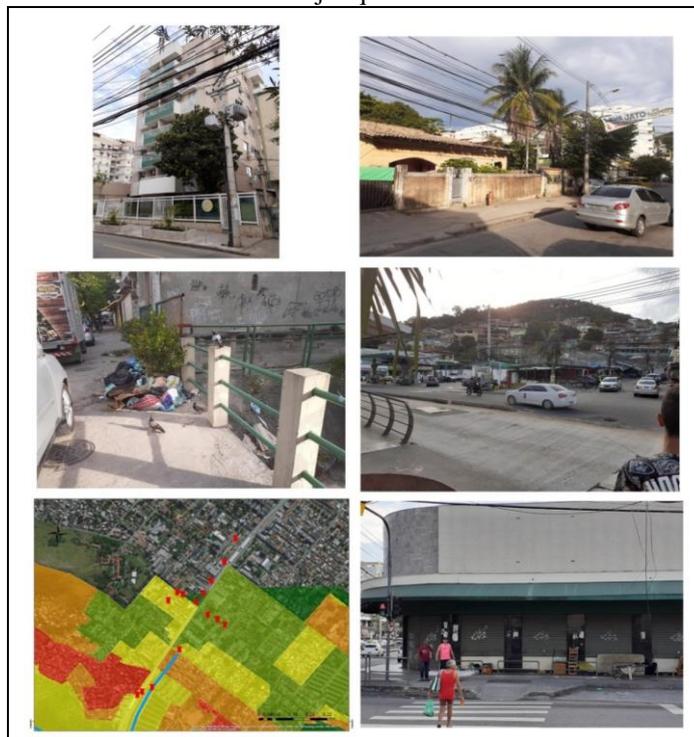
O bairro da Praça Seca localizado no norte da UHP do rio Grande é o bairro que apresenta, no geral, o terceiro pior índice de vulnerabilidade ambiental muito por conta da presença da classe de altíssima vulnerabilidade onde estão situadas as Comunidades do Barão, Chacrinha e Bateu Mouche nas áreas mais elevadas e que cercam a área mais plana do bairro, onde estão localizados os setores censitários com baixa vulnerabilidade próximos ao rio Tindiba.

Na Rua Florianópolis foi observada a presença de condomínios verticais fechados próximos ao rio Tindiba (Figura 49), estando esta rua inserida num setor censitário de baixa vulnerabilidade, pois mesmo estando numa área onde ocorre o transbordamento do rio, os moradores desses condomínios sequer sentem os efeitos de um evento adverso que venha causar a inundação das áreas marginais onde moram.

Já na Rua Albano, por mais que esteja situada paralelamente a Rua Florianópolis, os moradores da rua sentem mais os efeitos de uma possível inundação, pois estão localizados numa área mais rebaixada do relevo, onde há uma concentração de todo escoamento superficial que vem das partes mais altas e a presença de uma população com renda inferior, casas que possuem um só pavimento e grande quantidade de lixo nas margens do rio (Figura 49).

É importante falar da onda de violência que o bairro vem passando e tem gerado grandes consequências para população local. Há mais ou menos cinco anos, o bairro vem sofrendo por constantes confrontos entre milícia e o tráfico para controle das comunidades do bairro e como foi notado em campo, muitos comércios fecharam e muitos moradores decidiram sair do bairro, chegando a anunciar e vender seus imóveis (Figura 49).

Figura 49 - Edifício residencial de classe média, próximo ao rio Tindiba, na Rua Florianópolis, moradias na Rua Albano, lixo despejado na margem do rio Tindiba (Rua Albano), Comunidade da Chacrinha próxima à estação IPASE e uma das dezenas de lojas que estão fechadas.



Fonte: O autor, 2020.

g) Gardênia Azul

O bairro da Gardênia Azul se encontra na porção sul da UHP do rio Grande e possui grande parte dos seus setores censitários classificados como de alta a altíssima vulnerabilidade ambiental, possuindo assim o segundo pior índice, no geral, em relação aos outros bairros. As áreas de baixíssima vulnerabilidade ambiental são setores censitários que não possuem moradores em domicílios particulares permanentes.

O bairro se encontra inserido num relevo plano, por onde passa dois rios contribuintes do rio Grande, que estão totalmente canalizados e poluídos por conta do despejo inadequado de esgoto e do lixo das residências (Figura 50). Neste sentido, além de estar numa área plana e densamente impermeabilizada, a degradação gerada potencializa ainda mais as inundações e deixa a população ainda mais vulnerável a doenças de veiculação hídrica.

Segundo a moradora Tatiana, o Canal chega a transbordar no período chuvoso entre dezembro e fevereiro e pelo que lembra, o último extravasamento das águas ocorreu há mais ou menos 4 anos.

Outra característica dos setores censitários que compõem o bairro, é alta porcentagem de homens e, sobretudo, mulheres responsáveis por domicílios com renda inferior a 2 salários mínimos e grande concentração de mulheres chefes de família analfabetas.

Outro fator de vulnerabilização do bairro está na grilagem das terras marginais ao Canal pela milícia (Figura 50). Na área proibida por lei, onde seria uma Faixa Marginal de Proteção do rio (FMP), foram construídas barracas de comércio (restaurantes, bares, lojas de roupas, etc.), que despejam irregularmente esgoto no Canal e dificultam o acesso da prefeitura para dragagem e limpeza do mesmo.

Aliado ao controle do mercado de água, luz, gás e internet, o mercado de terras cresceu significativamente nos últimos quatro anos e tornou-se uma das formas de expansão dos negócios das milícias em lugares onde a prefeitura não consegue ter uma fiscalização efetiva. Além da venda do terreno para construção das barracas, os milicianos cobram uma taxa semanal de segurança dos comerciantes. Com o alto nível de desemprego devido à crise econômica que o país vem passando, a facilidade de abertura do próprio negócio, mesmo diante da submissão ao poder “paralelo”, tornou-se uma alternativa para obter alguma renda.

Figura 50 - moradias na Rua do Canal, bairro Gardênia Azul; despejo de lixo no Canal; ocupação das margens por barracas; lançamento de esgoto diretamente no Canal e barracas ao longo do Canal.



Fonte: O autor, 2020.

h) Cidade de Deus

A comunidade Cidade de Deus, situada na porção sul da UHP do rio Grande, foi construída como um conjunto habitacional em 1960, durante a gestão do governador Carlos Lacerda (1960-1965), a partir da remoção de 23 comunidades localizadas em diferentes áreas da cidade do Rio de Janeiro (FGV, 2012).

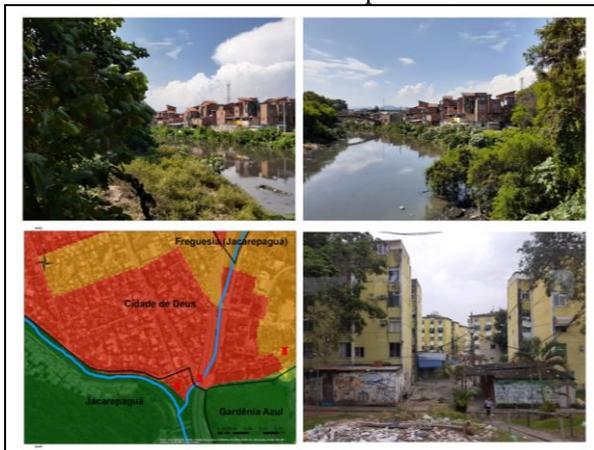
O bairro possui o pior índice de vulnerabilidade ambiental da área de estudo, apresentando, em grande maioria, a classe de altíssima e alta vulnerabilidade. Isso quer dizer que o altíssimo grau de vulnerabilidade social coexiste com a altíssima suscetibilidade à inundação, justificando a hipótese inicial do presente trabalho e acima de tudo, mostrando que os moradores do bairro não estão nem um pouco preparados para enfrentar um evento adverso, que pode acarretar em danos e prejuízos incalculáveis.

A alta porcentagem de mulheres analfabetas como chefes de família, a alta porcentagem de homens e mulheres que vivem com renda inferior a dois

salários mínimos, as condições de moradia e alta densidade demográfica são indicadores que justificam o altíssimo grau de vulnerabilidade social e mostram que o bairro deve ter prioridade em relação a qualquer política pública no que tange a investimentos em educação, saúde, habitação, obras de drenagem, saneamento básico e distribuição de renda na tentativa de reduzir a vulnerabilidade e o risco.

Por conta do controle da comunidade pelo tráfico, não foi possível realizar incursões dentro da área, principalmente, nas ruas próximas ao rio Grande. Na tentativa de ilustrar a realidade da Comunidade, foram feitos registros fotográficos na ponte que dá acesso a Avenida Ayrton Senna, próxima a Unidade de Tratamento de Rios (UTR) da CEDAE no rio Grande, onde se dá pra ter um mínimo de noção das condições de moradia e saneamento ambiental na qual vive a população lindeira (Figura 51).

Figura 51 - Barracos e casas de alvenaria às margens do rio Grande e Conjunto Habitacional localizado na Estrada do Gabinal próximo ao acesso a Linha Amarela.



Fonte: O autor, 2020.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O principal objetivo desta dissertação foi elaborar o mapeamento da vulnerabilidade ambiental à inundação da Unidade Hidrográfica de Planejamento do rio Grande na Baixada de Jacarepaguá (RJ). Para alcançar este objetivo, foi necessária a integração de variáveis ambientais e socioeconômicas por meio da aplicação e adaptação de diferentes metodologias, a fim de se chegar a um diagnóstico da situação ambiental da UHP do rio Grande.

Ao longo da pesquisa, ocorreram alguns empecilhos, tais como: a dificuldade de agregar informações sociais, em nível de setor censitário, e dados físico-ambientais dentro dos limites naturais da bacia hidrográfica; a dificuldade de realizar trabalhos de campo nos bairros, pois muitas áreas são controladas pelo tráfico ou milícia, o que limitou a coleta de certas informações essenciais para validar o mapeamento final; os dados socioeconômicos do IBGE em alguns setores censitários, como renda e saneamento (lixo, esgoto e água), contrastam com a realidade encontrada, ou por omissão da informação pelo entrevistado no momento da entrevista, ou por alguns setores serem muito extensos acabam mascarando a realidade de todo setor censitário.

A adoção da metodologia de delimitação da área de estudo em Unidade Hidrográfica de Planejamento se mostrou capaz de realizar uma análise integrada entre dados físico-ambientais e dados socioeconômicos. Ela foi delimitada em função dos divisores de drenagens e dos polígonos dos setores censitários, tendo em vista que o limite da bacia hidrográfica é diferente do limite político-administrativo.

A adoção do método AHP demonstrou-se fundamental na elaboração do mapa de suscetibilidade à inundação, adaptando metodologias encontradas em alguns trabalhos, e no mapa de vulnerabilidade social, uma vez que os pesos foram definidos levando-se em conta o grau de influência em relação a cada variável integrante da Análise Multicritério ao usar uma metodologia que visa dar consistência (razão de consistência da AHP) aos pesos utilizados para hierarquizar os fatores que tem maior importância dentro do objetivo a ser analisado, aproximando-se assim da realidade encontrada na área de estudo.

O método se mostrou eficiente no mapeamento, pois considerou as diferentes influências exercidas por cada variável física ao processo de inundação na UHP do rio Grande, tendo como principal vantagem proporcionar ao usuário uma razão de consistência aos pesos atribuídos.

Conforme as análises realizadas para identificar as áreas mais suscetíveis a inundações na área de estudo, a pesquisa concluiu que o método proposto atingiu seus objetivos. Isso se verificou pelas cinco classes de suscetibilidade que classificaram áreas com características distintas quanto às variáveis analisadas, compondo assim a identificação de locais que apresentam combinações específicas entre as variáveis físicas selecionadas.

Para estudos socioambientais, o método apresenta desempenho favorável uma vez que congrega dentro de uma única análise um grande número de variáveis. A relação de pesos e notas propostas entre as variáveis e suas respectivas classes, mostrou satisfatória, pois demonstrou correlações com o mapeamento realizado pela Fundação Rio-Águas e, principalmente, pelo trabalho de campo realizado na área investigada, no qual foi possível constatar a realidade ambiental do fenômeno estudado e do mapeamento produzido em laboratório.

No tocante ao mapa de vulnerabilidade social, o método também se mostrou estar de acordo com a realidade social vivida pela população da área investigada ao integrar os indicadores de renda, gênero, educação e saneamento básico. Através das incursões na UHP do rio Grande, foi constatado certo grau de acurácia das classes de vulnerabilidade obtidas no mapeamento. As áreas de maior vulnerabilidade social, por exemplo, se encontram em comunidades, favelas, ocupações irregulares e vilas muitas controladas pelo tráfico de drogas ou pela milícia.

Vale salientar que o resultado do mapeamento final justificou a hipótese levantada de que as populações mais humildes se encontram em áreas com maior suscetibilidade à inundação, a exemplo, da Cidade de Deus, Gardênia Azul e algumas outras dezenas de comunidades/vilas ao longo da planície de inundação dos rios, corroborando com os estudos de, Cutter (1996), Maricato (2001), Cutter (2003), Deschamps (2004), De Paula, Marandola e Hogan (2007), Zanella et.al (2009) e Almeida (2010). Mas é importante ressaltar, que o risco independe de classe social, visto que foram identificadas também muitas ocupações de classes sociais mais abastadas em áreas de risco à inundação. A única diferença está na capacidade de resposta diante de algum evento adverso que provoque prejuízos e danos a essas populações.

Cabe ressaltar também que, apesar de algumas comunidades estarem distantes das áreas suscetíveis à inundação, possuem altíssima vulnerabilidade ambiental devido aos indicadores sociais extremamente baixos e as condições ambientais na qual vivem. Muitas destas estão localizadas em áreas suscetíveis a movimentos de massa, o que justifica a hipótese levantada no presente estudo e ilustra como ocorreu o processo de urbanização, de

maneira desigual e excludente, na cidade do Rio de Janeiro e, especificamente, na UHP do rio Grande.

A partir do resultado do mapeamento da vulnerabilidade ambiental, pode-se identificar o seguinte padrão espacial na distribuição das classes: a classe de baixíssima vulnerabilidade ambiental se encontra em área com a população de maior renda da UHP ou áreas de vazios demográficos, sejam em áreas extremamente suscetíveis ou não às inundações; a classe de baixa vulnerabilidade se encontra a população com um dos melhores indicadores sociais, que em grande parte ocupam áreas de média a altíssima suscetibilidade; a de média vulnerabilidade se encontra espalhada na porção central da UHP, onde os terrenos podem ser de média a altíssima suscetibilidade; as classes de alta e altíssima vulnerabilidade possuem os piores indicadores sociais e se encontra, principalmente, em áreas de alta a altíssima suscetibilidade, com a exceção das favelas que ocupam as encostas suscetíveis a movimentos de massa.

Ao avaliar por bairros, chegou à conclusão de que o bairro da Freguesia, Pechincha, Jacarepaguá e Taquara possuem os melhores índices de vulnerabilidade ambiental. Já os bairros Cidade de Deus, Gardênia Azul, Tanque, Praça Seca, Realengo e Sulacap os piores índices de vulnerabilidade. Estes dois últimos, somente uma pequena parte deles, estão inseridos na área de estudo, não cabendo aqui generalizar e compará-los com o restante.

Chama atenção que muitas áreas de alta a altíssima vulnerabilidade são controladas por facções criminosas, o que tornar um empecilho à prefeitura ou órgãos gestores o acesso e a implementação de políticas públicas para redução da vulnerabilidade. Pode-se dizer mais, os órgãos, na verdade, deixam o poder “paralelo” se instalar para não assumir os investimentos em infraestrutura e/ou habitação necessários ao ordenamento do território, além do controle sobre o espaço urbano dentro de áreas protegidas de forma mais eficaz e efetiva.

Ressalta-se que a aplicação da Análise Multicritério só foi possível, principalmente por meio dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), pois se demonstrou ser eficiente para análises das interações das ações humanas sobre o meio físico, permitindo obter informações complementares a respeito destas influências mútuas entre as variáveis.

Por meio das técnicas de geoprocessamento, tornou-se possível gerar produtos que possam contribuir para um melhor planejamento, especialmente no estudo da vulnerabilidade. A superposição dos mapas de suscetibilidade e vulnerabilidade permite a visualização das informações espaciais e relacionamentos, de modo a melhorar a interpretação e compreensão das características ambientais, sociais e das relações que ocorrem na UHP do rio Grande.

Assim, os elementos físico-ambientais e socioeconômicos podem ser visualizados integrados através do mapeamento de vulnerabilidade ambiental produzido nesta dissertação.

Portanto, considera-se que as políticas e ações de gestão da Prefeitura do município do Rio de Janeiro, devem sistematizar e integrar as informações ambientais, sociais e econômicas, visando medidas coordenadas que reduzam as áreas mais vulneráveis, melhorando as condições de vida da população e a recuperação das áreas degradadas por meio de obras drenagem e saneamento básico. Assim, espera-se que as informações produzidas possam dar sua contribuição ao planejamento na Unidade Hidrográfica de Planejamento no rio Grande, subsidiando o processo de tomada de decisões.

Por fim, vale lembrar que a metodologia aplicada aqui por mais que seja viável e ter se mostrado eficiente na análise dos resultados obtidos, não é algo estanque, podendo ser aprimorada (agregando outras variáveis ou utilizando outro método) no intuito de aperfeiçoá-la e possa ser reaplicada em outras bacias da cidade do Rio de Janeiro ou de outras cidades brasileiras.

REFERÊNCIAS

ABRAMO, L. Perspectiva de gênero e raça nas políticas públicas. Mercado de Trabalho: Conjuntura e Análise, Rio de Janeiro: IPEA, v.9, n.25, p.15-21, nov. 2004. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/pub/bcmt/mt_25e.pdf>. Acesso em: 20/04/2019.

AGÊNCIA BRASIL. UPP da Cidade de Deus é extinta. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2018-07/upp-da-cidade-de-deus-e-extinta>>. Acesso em: 27/02/2020.

ALBUQUERQUE, E. L. S. Avaliação das condições socioambientais em bacias hidrográficas costeiras: contribuição ao ordenamento territorial do setor leste da região metropolitana de Fortaleza, Ceará. 2015. 258p. Tese (Doutorado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Estadual do Ceará. Fortaleza: UECE, 2015.

_____; **MEDEIROS, C. N. de.** Vulnerabilidade socioambiental em bacias hidrográficas no Setor Leste Metropolitano de Fortaleza, Ceará. Ateliê geográfico (UFG), v. 11, p. 109-126, 2017.

AMARAL, R; RIBEIRO, R. R. Inundações e enchentes in: TOMINAGA, L. K; SANTORO, J; AMARAL, R. (Org). Desastres naturais: conhecer para prevenir. São Paulo: Instituto Geológico, 2009.

ALMEIDA, L. Q. de. Vulnerabilidades Socioambientais de Rios Urbanos. Bacia hidrográfica do Rio Maranguapinho. Região Metropolitana de Fortaleza, Ceará. 2010. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro - SP.

BAHIANA, L. C. C. O uso do geoprocessamento na definição de indicadores georreferenciados a agregação territorial significativos na região de Jacarepaguá (RJ). 2007. 257 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

BOTELHO, R. G. M; SILVA, A. S. Bacia hidrográfica e a gestão ambiental. In: A. C. Vitte; A. J. T. Guerra. (Org.). Reflexões sobre a Geografia Física brasileira. Rio de Janeiro: BCD - União de Editoras S/A - Bertrand Brasil, 2007, v., p. 153-192.

_____, **R. G. M.** Bacias Hidrográficas Urbanas. In: Antônio José Teixeira Guerra. (Org.). Geomorfologia Urbana. 1ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011, v., p. 71-115.

BRANDÃO, A. M. P. M. O clima urbano e enchentes na cidade do Rio de Janeiro. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Orgs). Impactos Ambientais Urbanos no Brasil. 5ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 47-109, 2009.

BRANDÃO, A. M. P. M; BRITO; T. L. F. de. O microclima de Jacarepaguá/RJ: crescimento urbano e prováveis alterações climáticas em Jacarepaguá/RJ. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA E APLICADA, 13., Viçosa, 2009. Anais...Viçosa, 2009. p. 1-14.

BRASIL. Decreto Federal N° 107 de 3 de Junho de 2004. Redefine os limites do Parque Nacional da Tijuca, no Município do Rio de Janeiro, Estado do Rio de Janeiro, e dá outras providências. Diário Oficial (da) República Federativa do Brasil, DF, 3 jun. 2004. Disponível em < <http://www.revistamuseu.com.br/emfoco/emfoco.asp?id=4075>>. Acesso em: 13/03/2019

CABRAL, S. Mapeamento geológico-geotécnico da Baixada de Jacarepaguá e maciços circunvizinhos Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências - Departamento de Geologia, UFRJ, 1979. 218 p.

CAMPIOLI, P. F.; VIEIRA, C. V. Avaliação do Risco a Inundação na Bacia Hidrográfica do Rio Cubatão do Norte, Joinville/SC. Revista Brasileira de Geografia Física, v.12, p. 124-138, 2019.

CARVALHO, O. M. de O. Vulnerabilidade Socioambiental do Município de Mangaratiba - RJ. 2015. Dissertação (Mestrado em Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geografia) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2015.

CARVALHO, R. P. B de. Geoindicadores físico-ambientais aplicados na avaliação da conectividade de bacias hidrográficas e seus efeitos em sistemas urbanos: o exemplo das bacias do rio Grande e do rio Anil (município do Rio de Janeiro). 2017. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro. 274 f.

_____, **R. P. B de.** Ocupação dos solos em terrenos marginais às lagoas costeiras: mudanças e perspectivas ambientais frente à expansão urbana – O caso da lagoa de Jacarepaguá (Rio de Janeiro). 2013. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 155f.

_____, **R. P. B.** Qualidade urbana-ambiental no território carioca: o caso do planejamento da Baixada de Jacarepaguá, Rio de Janeiro / Urban-environmental quality environmental planning in rio: the case of planning from the... - DOI: 10.5752/P.2318-2962.2013v23n40p67. CADERNO DE GEOGRAFIA (PUCMG. IMPRESSO), v. 23, p. 67-88, 2013.

CENTRAN - Centro de Excelência em Engenharia de Transportes. Desenvolvimento de Plano de Investimento em Transportes. Rio de Janeiro. 2007.

CERRI, L.E. S. Riscos Geológicos Urbanos. In: CAMPOS, H.; CHASSOT, A (Org.). Ciências da Terra e Meio Ambiente: Diálogos para (inter)ações no Planeta. São Leopoldo (RS): Unisinos, 1999.

CHAN, F.T.S.; CHAN, H.K. Development of the Supplier Selection Model - A Case Study in the Advanced Technology Industry, Proceedings of Institution of Mechanical Engineers - Part B: Journal of Engineering Manufacture, v. 218, pp. 1807-1824, 2004.

CEPED/RS-UFRGS. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres (2016). Capacitação em Gestão de Riscos. UFRGS: Disponível em: < https://www.researchgate.net/profile/Luiz_Carlos_Silva_Filho/publication/322801189_Capac

[itacao em gestao de riscos/links/5a70a5a8458515015e63f115/Capacitacao-em-gestao-de-riscos](https://www.gov.br/itacao-em-gestao-de-riscos/links/5a70a5a8458515015e63f115/Capacitacao-em-gestao-de-riscos)>. Acesso em: 19/10/2018

CERRI, L. E. S.; AMARAL, C. P. Riscos Geológicos. In: OLIVEIRA, A. M. S. & BRITO, S. N. A. (eds.). Geologia de Engenharia. São Paulo, ABGE, 1998.

CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. São Paulo: Edgar Blucher Ltda, 1980. 188 p.

_____, **A.** Geomorfologia Fluvial. São Paulo: Edgar Blucher Ltda, 1981. 313 p.

_____, **A.** Modelagem de sistemas ambientais. São Paulo: Edgard Blucher, 1999. 236 p.

COELHO, M. C. N. Impactos Ambientais em Áreas Urbanas: teorias, conceitos e métodos de pesquisa. In GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. da (org.). Impactos Ambientais Urbanos no Brasil. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. p. 19-45.

COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia. In: GUERRA, A. T.; CUNHA, S. B. (Org.). Geomorfologia: Uma atualização de Bases e Conceitos. 7ªed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007, Cap. 7, p. 93-148.

_____, **A. L.**; **AVELAR, A de S.** Hidrologia de encosta na interface com a Geomorfologia. In: GUERRA, Antônio José Teixeira & CUNHA Sandra Baptista da (Orgs). Geomorfologia: Exercícios, técnicas e aplicações. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 2ª edição, 2002, Cap. 3, p.103-136.

COOKE, R. U.; DOORNKAMP, J. C. Geomorphology in environmental management. Oxford: Clarendon Press, 1990. 410 p.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). Processos Hidrológicos: Inundações, enchentes, enxurradas e alagamentos na geração de áreas de risco. In: Curso de Capacitação de Técnicos Municipais para Prevenção e Gerenciamento de Riscos de Desastres Naturais. Espírito Santo, 2017.

COSTA, H. Enchentes no Estado do Rio de Janeiro: uma abordagem geral. Rio de Janeiro: Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – SEMADs Projeto Planágua, 2001, p. 160. Disponível em < <http://pt.slideshare.net/nadiavida/08-enchentes>>. Acesso em: 20/11/2018.

COSTA, L. Plano Piloto para a Urbanização da Baixada compreendida entre a Barra da Tijuca, o Pontal de Sernambetiba e Jacarepaguá. Rio de Janeiro: Agência Jornalística, Image. 1969

COSTA, N. M. C. Análise Ambiental do Parque Estadual da Pedra Branca, por Geoprocessamento: Uma contribuição ao seu Plano de Manejo. Tese de Doutorado – Programa de Pós-graduação em Geografia (PPGG), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2002. 317 p.

_____, **N. M. C. da.** Geomorfologia Estrutural dos Maciços Litorâneos do Rio de Janeiro. 1986, 112 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1986.

COSTA, V. C da. Proposta de Manejo e Planejamento Ambiental de Trilhas Ecoturísticas: Um Estudo no Maciço da Pedra Branca – Município do Rio de Janeiro (RJ). 2006. 325 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

_____, **V. C da; CONCEIÇÃO, R. S. da ; LOPES, C. Q. G. ; SILVA, S. M.** Monitoramento do uso do solo urbano com base em interpretação visual de imagem de satélite Alos (Prism) e Google Earth: um estudo de caso na Zona de Amortecimento do Parque Estadual da Pedra Branca (PEPB), município do Rio de Janeiro (RJ). In: Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011. p. 6984-6991.

COSTA, M.C.L. (Org); DANTAS, E.W.C. (Org). Vulnerabilidade socioambiental na Região Metropolitana de Fortaleza. 1 ed. Fortaleza. Editora da UFC, 2009. V. 1. 298p.

CUNHA, S. B. da; GUERRA, A. J. T. Degradação Ambiental. In: GUERRA, Antonio José Teixeira.; CUNHA, Sandra Baptista da. Geomorfologia e Meio Ambiente. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. p. 337-379.

CUTTER, S.L. Vulnerability to environmental hazards. Progress in Human Geography, vol. 20, n. 4, p. 529-539, 1996.

CUTTER, S.L. The vulnerability of science and the science of vulnerability. Annals of the Association of American Geographers, v.93, n.1, p.1-12, 2003.

DELGADO, P. R. Processos de Inundação e Situação de Risco Ambiental. Sanare – Resita Técnica da Sanepar. v. 13, nº13. 2000.

DE PAULA, F. C.; MARANDOLA JR., E., HOGAN, D. J. O bairro, lugar na metrópole: riscos e vulnerabilidades no São Bernardo, Campinas. Caderno de Geografia (PUCMG), v.17, p. 35 – 58 2007.

DESCHAMPS, M. V. Vulnerabilidade Socioambiental na Região Metropolitana de Curitiba. Curitiba: UFPR, 2004. 155f. Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

DIÁRIO DO RIO. Violência leva ao fechamento de sorveteria tradicional na Praça Seca. Disponível em: < <https://diariodorio.com/violencia-leva-ao-fechamento-de-sorveteria-tradicional-na-praca-seca/>>. Acesso em: 27/02/2020.

DIKAU, R. Derivatives from detailed geoscientific maps using computer methods. Zeitschrift für Geomorphologie, v. 2, n. 80, p. 45-55, 1990.

EMBRAPA SOLOS. Mapeamento pedológico do Município do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Embrapa, 2004. 1 mapa. Escala: 1:75.000.

EASTMAN, J. R. Idrisi For Windows versão 2. Manual do usuário: Introdução e exercícios tutoriais. Porto Alegre: UFRGS - Centro de Recursos Idrisi, 1998.

_____. Idrisi Kilimanjaro: Guide to GIS and Image Processing. Worcester: Clark University, Manual Version 14.00. 328p, , 2003.

FELL, R.; COROMINAS, J.; BONNARD, C.; CASCINI, L.; LEROI, E.; SAVAGE, W. Guidelines for Landslide Susceptibility, Hazard and Risk Zoning for Land Use Planning. Engineering Geology, v. 102, p. 83-84, 2008.

FERNANDES, M.R. e SILVA, J. C. Programa Estadual de Manejo de Sub-Bacias Hidrográficas: Fundamentos e estratégias - Belo Horizonte: EMATERMG. 1994. 24p.

FERNANDES, R. O. Análise multicritério da vulnerabilidade socioambiental no município de Angra dos Reis (RJ) pelo método Analytic Hierarchy Process (AHP). 2019. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 150f.

FERREIRA, F. P. M.; CUNHA, S. B. Enchentes no Rio de Janeiro: Efeitos da Urbanização no Rio Grande (Arroio Fundo) - Jacarepaguá. Anuário do Instituto de Geociências/UFRJ, Rio de Janeiro, v. 19, p. 79-92, 1996.

FRANCO, A.C.V., DAL SANTO, M.A. Contribuição da morfometria para o estudo das inundações na sub-bacia do rio Luís Alves/SC. 2015. Mercator 14, 151-167.

FREITAS, A. M de. Qualidade das Águas Fluviais: Estudo de Caso da Bacia Hidrográfica de Jacarepaguá – RJ. 133f. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2009.

FUNDAÇÃO RIO – ÁGUAS. Plano Diretor de Manejo de Águas Pluviais da Cidade do Rio de Janeiro, 2015.

G1 RIO. Tiroteio interdita via e interrompe circulação de BRT em Jacarepaguá, na Zona Oeste do Rio. Disponível em: < <https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/2018/11/07/tiroteio-interdita-via-e-interrompe-circulacao-de-brt-em-jacarepagua-na-zona-oeste-do-rio.ghtml> > Acesso em: 27/02/2020.

G1 RIO. PM anuncia o fim da UPP Cidade de Deus, na Zona Oeste do Rio. Disponível em: < <https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/pm-anuncia-o-fim-da-upp-cidade-de-deus-na-zona-oeste-do-rio.ghtml> >. Acesso em: 27/02/2020.

GALLOPIN, C. Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. Global Environmental Change, v. 16, p. 293-303, 2006.

GHEZZI, A. O. Avaliação e Mapeamento da Fragilidade Ambiental da Bacia do rio Xaxim, Baía de Antonina – PR, com o auxílio de geoprocessamento. Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola. Universidade Federal do Paraná, 2003. Disponível em: < http://dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/.../1/Alessandra%20O_G_Dissert.pdf >. Acesso em: 15/01/2019.

GIRÃO, I. R. F.; RABELO, D. R.; ZANELLA, M. E. Análise teórica dos conceitos: Riscos Socioambientais, Vulnerabilidade e Suscetibilidade Revista de Geociências do Nordeste, v. 4, p. 71-83, 23 maio 2018.

GOERL, R. F.; KOBIYAMA, M. Considerações sobre as inundações no Brasil. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2005, João Pessoa, Anais. 2005.

GOERL, R. F.; KOBIYAMA, M.; PELLERIN, J. R. G. M. Proposta metodológica para mapeamento de áreas de risco a inundação: estudo de caso do município de Rio Negrinho – SC. Boletim de Geografia, Maringá. v. 30, n. 1, p 81-100, 2012.

GONÇALVES, A. L. Barra da Tijuca, o lugar. Rio de Janeiro: Thex: Biblioteca da Universidade Estácio de Sá, 1999. 167p.

GRACIOSA, M. C. P. Modelo de seguro para riscos hidrológicos com base em simulação hidráulico-hidrológica como ferramenta de gestão do risco de inundações. 2010. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

GUERRA, A. J. T.; MENDONÇA, J. K. S. Erosão dos solos e a questão ambiental. In: VITTE, A. C.;

_____, **A. J. T. Reflexões sobre a geografia física no Brasil.** 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. p. 225-256.

_____, **A. J. T.** (Org.). Geomorfologia Urbana. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011, 280p.

_____, **A. J. T.; CUNHA, S. B. (Orgs.).** Geomorfologia e Meio Ambiente. 11ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 2012, 396 p.

GUIMARÃES, L. T. Proposta de um sistema de Indicadores de Desenvolvimento Sustentável para as bacias hidrográficas. 2008. Tese de Doutorado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia). Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFPE, Rio de Janeiro – RJ.

KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D.A.; MARCELINO, I.P.V.O.; MARCELINO, E.V.; GONÇALVES, E.F.; BRAZETTI, L.L.O; GOERL, R.F.; MOLLERI, 77 G.S.F.; RUDORFF, F.M. Prevenção de desastres naturais: Conceitos básicos. Curitiba: Ed. Organic Trading, 2006.

MAGALHÃES, I. A. L., THIAGO, C. R. L, AGRIZZI, D. V, SANTOS, A. R. S. Uso de Geotecnologias para mapeamento de áreas de risco de inundação em Guaçuí, ES: Uma análise comparativa entre dois métodos. Caderno de Geociências 8, 63-70, 2011.

MAIA, M. C. A.; MARTIN, L. FLEXOR, J. M.; AZEVEDO, A. E. G. Evolução holocênica da planície costeira de Jacarepaguá (RJ). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33. Rio de Janeiro, 1984. Anais... Rio de Janeiro, 1984. p. 105-118.

MAIO, C. R. Evolução Geomorfológica do Maciço da Pedra Branca. 150f. (Dissertação) Mestrado em Geografia. PPGG- UFRJ, 1978.

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

MANTOVANI, J. R. A. Uso de Geotecnologias para Elaboração de um modelo de mapeamentos de áreas suscetíveis à inundação e alagamento na bacia hidrográfica do Córrego Indaiá – MS. Dissertação (Mestrado em Geografia), 151p, 2016.

MARANDOLA JR., E. e HOGAN, D.J. Vulnerabilidades e riscos: entre geografia e demografia. In: Encontro Nacional de estudos populacionais da ABEP, 14. 2004, Caxambu. Anais, Caxambu: Abep, 2004.

_____. As Dimensões da Vulnerabilidade. Revista Brasileira de Estudos de População, São Paulo, v. 20, n° 1, p. 33-43, 2006.

_____. Vulnerabilidade do lugar vs. vulnerabilidade sociodemográfica: implicações metodológicas de uma velha questão. Revista Brasileira de Estudos de População, São Paulo, v.26, n.2, p.161-181, jul./dec.2009. Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/rbepop/v26n2/02.pdf>. Acesso em: 25/10/2018.

_____. Vulnerabilidade do lugar e riscos na Região Metropolitana de Campinas. Núcleo de Estudos de População. NEPO – UNICAMP. 2011, 173p.

MARICATO, E. Brasil Cidades: alternativas para a crise urbana. 2ªed. Petrópolis: Vozes, 2001. 204p.

MARQUES, J. S. A Participação dos Rios no Processo de Sedimentação da Baixada de Jacarepaguá. 245p. Tese de Doutorado em Geografia. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP (Rio Claro), 1990.

_____, **J. S. ; PIMENTA, L. C. ; ARAUJO, R. E. T.** A Incorporação das Lagoas (Naturais e Artificiais) aos Espaços Urbanos dos Litorais do RJ/ES: Diversidade de Problemas e as Implicações das Soluções. In: I SENISA - Seminário Nacional de Impactos Socioambientais Urbanos: Desafios e Soluções, 2002, Curitiba. Contribuições Científico Técnicas: I SENISA/URB - I Seminário Nacional de Impactos Socioambientais Urbanos: Desafios e Soluções. São Paulo: Mitiko Produções, 2002.

MINISTÉRIO DAS CIDADES / INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios. Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007. 176 p.

MONTEZUMA, R. C. M.; OLIVEIRA, R. R. Os ecossistemas da Baixada de Jacarepaguá e o PEU das Vargens. Arquitextos (São Paulo), v. 116, p. 116.3, 2010.

MOURA, A. C. M. Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em análise multicritério. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, INPE, p.2899-2906, 2007.

NASCIMENTO, P. W. F do. Análise do potencial de infiltração relativo das bacias hidrográficas do rio Grande e rio Anil, Baixada de Jacarepaguá (RJ), com base em geoprocessamento. 92 f. Monografia (Graduação em Geografia) - Instituto de Geografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

_____, **P. W. F do.; CARVALHO, R. P. B.; COSTA, V. C. da.** Avaliação do potencial de infiltração relativo das bacias hidrográficas urbanas do rio Anil e do rio Grande (município do Rio de Janeiro). Rio de Janeiro: GEOUERJ, 2017, 26p.

O GLOBO. Macrodrenagem dos Rios Tindiba e Grande é a próxima etapa de programa de recuperação ambiental, 2018. Disponível em:<
<https://oglobo.globo.com/rio/bairros/macrodrenagem-dos-rios-tindiba-grande-a-proxima-etapa-de-programa-de-recuperacao-ambiental-23298237?fbclid=IwAR3Yx8VbS-IG5tfG2BGmSoyj1o6LrUMCTrqagm0B0Da1v4A38mz-4sYkfqk>> Acesso em: 10/12/2018.

O GLOBO. Rio-Águas aponta 37 áreas em Jacarepaguá sujeitas a inundações. Rio de Janeiro: O Globo, 2016. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/rio/bairros/rio-aguas-aponta-37-areas-em-jacarepagua-sujeitas-inundacoes-18507512>. Acesso em: 4/4/2019.

PASTORINO, L. A. O problema das enchentes na região de São Paulo. Caderno de Ciências da Terra, São Paulo, Instituto de Geografia, n. 19, USP, 1971.

PAULA, E. V. Análise do Processo de Produção de Sedimentos na Área de Drenagem da Baía de Antonina: Uma Abordagem Geopedológica. 2010. 158 f. Tese (Doutorado em Geografia), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

PEREIRA, A. L. M. A Linha Amarela e o mercado imobiliário do Rio de Janeiro: contextualização histórica e análise de impactos. 2000. 187 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional) - Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano e Regional, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.

PIMENTEL DA SILVA, L.; ROSA, E. U.; SILVA, C. P.P. Caracterização de parâmetros e do saneamento ambiental de bacia experimental-representativa localizada na Baixada de Jacarepaguá, Rio de Janeiro, Brasil. *Ami-Agua*, Taubaté, v.5, n.3, p. 232-244, 2010.

PINHEIRO, A. Enchente e inundação. In: SANTOS, Rozely Ferreira dos (Org.) *Vulnerabilidade Ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos?*. 1 ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007.

RIBEIRO, M. F. Análise ambiental aplicada à definição da zona de amortecimento no Parque Estadual da Pedra Branca (Município do Rio de Janeiro, RJ), com base em geoprocessamento. Tese (Doutorado), COPPE/UFRJ, 2013. 407 f.

_____, **M. F.; COSTA, V. C. da; NETO, M. N.; FREITAS, M. A. V.** An Analysis of monthly Rainfall and Its Relationship to the Occurrence of Mass Movement and Flooding in Pedra Branca Massif in the City of Rio de Janeiro. *Geographical Research*. 2013. Disponível em <
<http://www.ivig.coppe.ufrj.br/noticias/Documents/An%20analysis%20of%20Monthly%20Rainfall.pdf>>. Acesso em: 12/11/2018.

RIO DE JANEIRO (RJ). Prefeitura. Estudo de Impacto Ambiental para o Projeto de Recuperação Ambiental da Macrobacia de Jacarepaguá. Rio de Janeiro: SMAC, 1998.

RONCARATI, H.; NEVES, L. E. Estudo preliminar de sedimentos recentes superficiais da Baixada de Jacarepaguá. Rio de Janeiro: PETROBRÁS, 1976. 89p. Relatório técnico.

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. *Revista do Departamento de Geografia*. n. 6, p. 17-29, 1992.

ROSA, S; COSTA, M.C.L. Banco de dados de vulnerabilidade socio ambiental da RMF. In: COSTA, M. C. L; DANTAS, E. W. C. (Orgs.). Vulnerabilidade Socioambiental na Região Metropolitana de Fortaleza. Fortaleza: Edições UFC, 2009.

ROY, B. Multicriteria methodology for decision aiding. Dordrecht. Kluwer Academic. (1996).

SAATY, T. L. The Analytic Hierarchy Process: planning, priority setting, resource allocation. New York: Mcgraw-hill, 1980. 287 p.

_____. Método de Análise Hierárquica. São Paulo: Mcgraw-hill, Makron, 1991. Tradução e Revisão Técnica Wainer da Silveira e Silva.

SANTOS, J. M. Na esteira da abordagem sistêmica. In: SANTOS, J. M.; FARIA, M. Reflexões e construções geográficas contemporâneas. Salvador: Grasb, 2004. p. 35-57.

SANTOS, K.R. dos. Inundações Urbanas: Um passeio pela literatura. Éliseé – Revista de Geografia da UEG, v.1, p. 177-190, 2012.

SANTOS, A. R. dos; LOUZADA, F. L. R de O.; EUGENIO, F. C. (Coord.). ArcGIS 9.3 total: aplicações para dados especiais. Alegre, ES: Ciências Agrárias Universidade Federal do Espírito Santo/CAUFES, 180 p., 2010.

SANTOS, J. de O.; SOUZA, M. J. N. de. Abordagem Geoambiental aplicada à análise da vulnerabilidade e dos riscos em ambientes urbanos. Boletim Goiano de Geografia. Goiânia, v 34, n2, p. 215-232, 2014.

SILVA, A. M. Princípios Básicos de Hidrologia. Departamento de Engenharia. UFLA. Lavras-MG. 1995.

SILVA, C. A. de; NUNES, F. P. Mapeamento de vulnerabilidade ambiental utilizando o método AHP: uma análise integrada para suporte à decisão no município de Pacoti/CE. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Anais... Natal, INPE, 2009. p. 5435-5442

SILVA, A. S. Análise Morfológica dos Solos e Erosão. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M. (Orgs.). Erosão e Conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações. 8ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012, p. 101-126.

SILVA, A. S. Solos Urbanos. In: GUERRA, A. J. T. (Org.). Geomorfologia Urbana. p. 43-69. Rio de Janeiro: Bertrand, 2011, 43-69p.

SOUZA, C. R. de G. Cartografia de risco à inundação no Litoral Paulista: o exemplo do município de São Sebastião. Departamento de Geotecnia (USP), departamento de Geologia Aplicada (UNESP), 1996.

SOUZA, K. R. G; LOURENCO, L. Territorium: Revista Portuguesa de riscos, prevenção e segurança. v. 22, p. 31, 2015.

TOBIN, G. A.; MONTZ, B.E. Natural hazards: explanation and integration. New York: The Guilford Press, 1997.

TREVIZANO, W. A.; FREITAS, A. L. P. Emprego do Método da Análise Hierárquica (A.H.P.) na seleção de Processadores. In: XXV Encontro Nac. de Engenharia de Produção – Porto Alegre, RS, Brasil, 29 out a 01 de nov. de 2005.

TUCCI, C.E.M. Controle de Enchentes, in: Tucci, C. (org). Hidrologia ciência e aplicação. Porto Alegre: Ed. da Universidade: ABRH cap. 16, p621-658, 1993.

TUCCI, C. E. M. Drenagem Urbana e Controle de Inundações. In: CAMPOS, Heraldo & CHASSOT, Attico (Org). Ciências da Terra e meio ambiente. São Leopoldo: Ed. Unisinos, 1999.

_____, **C.E.M.** Inundações e drenagem urbana. Inundações urbanas na América do Sul. Porto Alegre: ABRH, p. 45-150. 2003.

_____, **C.E.M.** Águas Urbanas. In: TUCCI, C.E.M e BERTON, J.C. (Org). Inundações Urbanas na América do Sul. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003a.

UM-ISDR. UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION (2004). Living with risk: a global review of disaster reduction initiatives. Geneva: Disponível em: <http://www.unisdr.org/files/657_lwr1.pdf> Acesso em: 18/02/2019.

VEYRET, Y. Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente. São Paulo: Contexto, 2007.

VEYRET, Y.; RICHEMOND, N. M. Introdução. In: VEYRET, Yvette (org.) Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente. Tradução Dílson F. da Cruz. São Paulo: Contexto, 2007. p. 11-22.

XAVIER-DA-SILVA, J. Geoprocessamento para análise ambiental. Rio de Janeiro: Ed. Do Autor, 2001, 228p.

ZANELLA, M. E; COSTA, M. C. D; PANIZZA A. C; ROSA, M. V. Vulnerabilidade Socioambiental de Fortaleza. In: DANTAS, E. W. C; COSTA, M. C. L. (Org.). Vulnerabilidade Socioambiental na Região Metropolitana de Fortaleza. Fortaleza: edições UFC, 2009.

_____; **OLÍMPIO, J. L; COSTA, M. C. L; DANTAS, E. W. C.** Vulnerabilidade Socioambiental do Baixo Curso da Bacia Hidrográfica do Rio Cocó, Fortaleza-CE. Sociedade & Natureza (UFU. Impresso), v. 25, p. 317-332, 2013.

_____; **MEIRELES, A. J. A.; OLÍMPIO, J. L. S.** Riscos Socioambientais, vulnerabilidades e suscetibilidades no meio ambiente no contexto da sub-bacia hidrográfica do rio Pirapora / CE. 2018. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal do Ceará.

ZEE, D. M. W. Diagnóstico do aporte de efluentes domésticos do canal de Joatinga na Praia da Barra da Tijuca – Município do Rio de Janeiro/RJ. 167 p. Tese (Doutorado em Geografia)- Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.