



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CÂMPUS DE PALMAS - TO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO
REGIONAL

DÊNIS CARDOSO PARENTE

**USO DO GEOPROCESSAMENTO NO PLANEJAMENTO
URBANO: IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS CRÍTICAS DE
ALAGAMENTO NA ÁREA URBANA DE PALMAS – TO**

Palmas/TO
2023

DÊNIS CARDOSO PARENTE

**USO DO GEOPROCESSAMENTO NO PLANEJAMENTO
URBANO: IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS CRÍTICAS DE
ALAGAMENTO NA ÁREA URBANA DE PALMAS – TO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional. Foi avaliada para obtenção do título de Doutor em Desenvolvimento Regional e aprovada em sua forma final pelo orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: Dr. Rodolfo Alves da Luz

Palmas/TO
2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

C268u Cardoso Parente, Dênis.

 Use do geoprocessamento no planejamento urbano: identificação de áreas críticas de alagamento na área urbana de Palmas – TO. / Dênis Cardoso Parente. – Palmas, TO, 2024.

 154 f.

 Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Doutorado) em Desenvolvimento Regional, 2024.

 Orientador: Rodolfo Alves da Luz

 1. Drenagem urbana. 2. Planejamento urbano. 3. Geoprocessamento. 4. Risco de alagamentos. I. Título

CDD 338.9

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

FOLHA DE APROVAÇÃO

DÊNIS CARDOSO PARENTE

USO DO GEOPROCESSAMENTO NO PLANEJAMENTO URBANO: IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS CRÍTICAS DE ALAGAMENTO NA ÁREA URBANA DE PALMAS – TO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional. Foi avaliada para obtenção do título de Doutor em Desenvolvimento Regional e aprovada em sua forma final pelo orientador e pela Banca Examinadora.

Data de aprovação: 19 / 02 / 2024

Banca Examinadora

Prof. Dra. Alice Rocha de Souza, IFTO

Prof. Dr. Bruno Carrilho de Castro, UFT

Prof. Dr. João Aparecido Bazzoli, UFT

Prof. Dra. Rejane Freitas Benevides Almeida, IFTO

Prof. Dr. Waldecy Rodrigues, UFT

Palmas, 2023

DEDICATÓRIA

Dedico esta pesquisa ao meu querido sogro e grande amigo Valter da Silva Silveira (in memória).

AGRADECIMENTOS

Ao Grande Arquiteto do Universo, porque por tua bondade e misericórdia consegui concluir o tão sonhado e batalhado trabalho.

Aos amores da minha vida, minha esposa Mara Elísia, minhas princesas Manuela e Laura, pelo amor, incentivo e zelo devotados a mim durante toda minha trajetória. A presença de vocês me trouxe paz, luz e força a todo instante!

Aos meus pais, José Antônio e Arlete, por terem priorizado ao longo dos seus verdes anos a minha educação. A competência, preparo profissional e os meus valores morais descansam sobre a fundação sólida que vocês me proporcionaram construir. Minha gratidão eterna, pai e mãe!

A minha sogra, D. Senhora Simão Silveira, por me dar a honra de sua presença em nossa casa, me ajudando com as nossas meninas (Mara, Manuela e Laura), sonhando comigo e me aconselhando. A Sra é a presença viva que me remonta a memória daquele a quem dedico este trabalho, meu sogro e grande amigo Valter da Silva Silveira (*in memória*).

Ao Prof. Dr. Rodolfo Alves da Luz, meu orientador, por ter acreditado no nosso projeto, dispensado sua prestatividade, seu extremo cuidado e acima de tudo, compartilhado seus conhecimentos. Prof. Rodolfo, a minha gratidão e respeito transcende os limites desta pesquisa!

Aos professores Dr. Bruno Carrilho de Castro, Dr. Fernando de Moraes, Dra. Rejane Freitas Benevides Almeida, Dra. Alice Rocha de Sousa, Dr. João Aparecido Bazzoli e Dr. Waldecy Rodrigues meu profundo respeito e gratidão pela parcela de contribuição no desenvolvimento desta pesquisa.

Ao colega de graduação, mestrado e doutorado, meu amigo Rafael Amorim, por ter seguido comigo, pela ajuda e incentivo incondicionais, por ter me lembrado das datas de matrícula e envio de trabalhos. Meu amigo, sem você certamente eu teria desistido!

Aos familiares, em especial minha tia Cleide, meu compadre Marcelo, a minha irmã e comadre Larissa Moreira, pela ajuda, preocupação, entusiasmo e sentimento de carinho que sempre demonstraram ter por mim. Contem comigo sempre!

RESUMO

Eventos como os alagamentos em áreas urbanas têm-se intensificado, tornando-se cada vez mais frequentes, comprometendo a qualidade de vida da população local e causando transtornos e prejuízos socioeconômicos. Este estudo tem como objetivo caracterizar o fluxo superficial dentro da cidade de Palmas, Tocantins, identificando os pontos críticos e gerando mapas de risco de alagamentos. Para os mapeamentos das áreas de risco foi utilizada a metodologia de análise hierárquica. Os condicionantes considerados na definição das áreas de risco foram declividade, altimetria e cobertura da terra. Os dados foram organizados e processados em um Sistema de Informações Geográficas (SIG), que possibilitou a confecção de mapas temáticos e as correlações espaciais entre os temas e com os sistemas de macro e microdrenagem da cidade. Os resultados revelaram que na área urbana de Palmas não há riscos consideráveis de enchentes e inundações, porém com alto risco à ocorrência de alagamentos, condicionados principalmente pela declividade, altitude e proximidade das nascentes. A impermeabilização dos terrenos devido à urbanização, acompanhado dos sistemas de micro e macrodrenagem inadequados, potencializam esta vulnerabilidade apresentada pelo meio físico. Também foi identificado que as metodologias existentes para a identificação de risco não estão tão claras no que diz respeito aos riscos de alagamentos. A pesquisa fornece material de interesse para a análise da qualidade de vida e mobilidade do município, além de ser uma fonte de informações para a identificação das áreas prioritárias para a realização de políticas públicas e ações para a prevenção e mitigação dos efeitos gerados.

Palavras-chaves: Risco. Alagamento. Processo Hierárquico Analítico (AHP). Palmas. Drenagem urbana.

ABSTRACT

Events such as flooding in urban areas have intensified, becoming increasingly frequent, compromising the quality of life of the local population and causing socioeconomic disruption and losses. This study aims to characterize the surface flow within the city of Palmas, Tocantins, identifying critical points and generating flood risk maps. To map risk areas, the hierarchical analysis method was used. The conditions considered in defining the risk areas were slope, elevation and land cover. The data was organized and processed in a Geographic Information System (GIS), which made it possible to create thematic maps and spatial correlations between the themes and with the city's macro and micro drainage systems. The results revealed that in the urban area of Palmas there is no considerable risk of flooding, but with a high risk of flooding, mainly due to the slope, altitude and proximity to springs. The waterproofing of land due to urbanization, accompanied by inadequate micro and macro drainage systems, increases this vulnerability presented by the physical environment. It was also identified that the existing methodologies for risk identification are not so clear with regard to the risks of flooding. The research provides material of interest for analyzing the city's quality of life and mobility, in addition to being a source of information for identifying priority areas for implementing public policies and actions to prevent and mitigate the effects generated.

Key-words: Risk. Flooding. Geomorphometry. Analytical Hierarchical Process (AHP). Palmas. Urban drainage.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Nível de elevação da água em um canal.	29
Figura 2 - Municípios com sistema de drenagem urbana de águas pluviais por macrorregião.	41
Figura 3 - Municípios com algum tipo de tratamento das águas pluviais.	42
Figura 4 - Localização da cidade de Palmas – TO.	52
Figura 5 - Arranjo urbanístico de Palmas – TO.....	54
Figura 6 - Densidade populacional por quadra de Palmas – TO.	56
Figura 7 - Macrozoneamento e zonas especiais de Palmas - TO.	60
Figura 8 - Bacias Urbanas do Município de Palmas – TO.	62
Figura 9 - Pontos de alagamento ao longo do perímetro urbano de Palmas - TO.....	64
Figura 10 - Estações pluviométricas de coletas de dados.....	65
Figura 11 - Fluxograma das etapas da pesquisa.	68
Figura 12 - Delimitação da área de estudo e perímetro urbano total para a base SRTM.	71
Figura 13 - Reclassificação por tabela para atribuição de notas estabelecidas para cada intervalo de classe.....	78
Figura 14 - Calculadora raster para inserção e cálculo da equação matemática.	79
Figura 15 - Pontos de alagamento sobre mapa do sistema de drenagem urbana de Palmas – TO.....	82
Figura 16 - Zoneamento de pontos de alagamentos.	84
Figura 17 - Comparativo entre as disposições de bocas-de-lobo em vias urbanas.	85
Figura 18 - Locação das bocas-de-lobo na quadra residencial 404 Sul de Palmas - TO.....	86
Figura 19 - Disposição das bocas-de-lobo da quadra 1.503 Sul de Palmas - TO.....	87
Figura 20 - Dispositivos de drenagem locados na confluência das sarjetas das esquinas da quadra 1.503 Sul de Palmas - TO.	88
Figura 21 - Saídas de água presentes na quadra 504 Sul de Palmas - TO.....	89
Figura 22 - Vetorização da cobertura da quadra 404 Sul de Palmas - TO.	90
Figura 23 - Delimitação da Área 01 de contribuição de vazão para boca-de-lobo indicado no fluxo.....	92
Figura 24 - Delimitação da Área 02 de contribuição de vazão para boca-de-lobo indicada no fluxo.....	92
Figura 25 - Delimitação da Área 03 de contribuição de vazão para boca-de-lobo indicada no fluxo.....	93

Figura 26 - Delimitação da Área 04 de contribuição de vazão para boca-de-lobo indicada no fluxo.....	93
Figura 27 - Modelo de boca-de-lobo guia e grelha da quadra 404 Sul.	95
Figura 28 - Via paralela à Av. Teotônio Segurado, ao sul do CEULP/ULBRA.....	97
Figura 29 - Extremidade do emissário ao sul da quadra 1.503 Sul de Palmas - TO.	98
Figura 30 - Mapa de declividade de Palmas - TO.	100
Figura 31 - Pontos de alagamento sobre mapa de declividade de Palmas - TO.....	101
Figura 32 - Quantidade e densidade de pontos de alagamento por classe de declividade.	102
Figura 33 - Mapa hipsométrico de Palmas - TO.	103
Figura 34 - Sobreposição de pontos de alagamento em mapa de hipsométrico.	104
Figura 35 - Quantidade e densidade de pontos de alagamento por classe de altitude.....	105
Figura 36 - Carta de unidades geotécnicas.	107
Figura 37 - Pontos de alagamento por compartimento de drenagem.	109
Figura 38 - Quantidade e densidade de pontos por classe de densidade de drenagem.....	110
Figura 39 - Índice de concentração de rugosidade (ICR) e disposição de pontos de alagamento em Palmas - TO.	111
Figura 40 - Índice de concentração de rugosidade, pontos de alagamento e planta topográfica da área urbana de Palmas - TO.	112
Figura 41 - Número de pontos de alagamento por classe de ICR.	113
Figura 42 - Mapa geológico de Palmas com curvas de nível.	114
Figura 43 - Pontos de alagamento sobre os compartimentos geotécnicos de Palmas - TO. ..	115
Figura 44 - Número de pontos de alagamento classe de material de superfície.....	116
Figura 45 - Pontos de alagamento sobre mapa de profundidade do impenetrável.....	117
Figura 46 - Número de pontos de alagamento por faixa de profundidade do impenetrável..	118
Figura 47 - Mapa de profundidade do lençol freático e pontos de alagamento.....	119
Figura 48 - Mapa de cobertura do solo de Palmas - TO.....	121
Figura 49 - Vetorização da cobertura das quadras 504 e 404 Sul de Palmas - TO.	122
Figura 50 - Vetorização da cobertura da quadra 1.503 Sul de Palmas - TO.	123
Figura 51 - Disposição dos perfis transversais.	124
Figura 52 - Perfil de elevação com compartimentação de classes e pontos de alagamento...	125
Figura 53 - Perfil de elevação com indicativo de transferência de vazão de contribuição.	127
Figura 54 - Perfil de elevação com compartimentação de classes e pontos de alagamento...	128
Figura 55 - Perfis de elevação em pontos estratégicos de vias alagadas.	129
Figura 56 - Perfil de elevação na região sul de Palmas.	130

Figura 57 - Sobreposição de pontos de alagamento em mapa de risco gerado pela primeira e segunda classificações.	132
Figura 58 - Mapa de risco de inundação segundo Plano de Ação Palmas Sustentável (2015).	133
Figura 59 - Comparativo entre mapas de risco da segunda classificação, declividade e cobertura da terra.	134
Figura 60 - Mapas de risco para terceira e quarta classificação com a disposição dos pontos de alagamentos.	135
Figura 61 - Quantitativo de pontos de alagamento em cada classe de risco para as quatro classificações.	136

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Parâmetros morfométricos e implicações hidrográficas nas bacias.	22
Quadro 2 - Decretos e Leis de municípios brasileiros que visam o controle de drenagem urbana.	39
Quadro 3 - Pontos Críticos de Alagamentos no município de Palmas/TO.	63
Quadro 4 - Fatores e definições de graus de importância.	73
Quadro 5 - Notas atribuídas ao fator cobertura da terra.	76
Quadro 6 - Notas atribuídas ao fator Tipo de solo (materiais de superfície).....	76
Quadro 7 - Notas atribuídas ao fator Altitude.	76
Quadro 8 - Notas atribuídas ao fator Declividade.	77
Quadro 9 - Caracterização das áreas de cobertura do solo de Palmas – TO.	120

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores do coeficiente C (ASCE, 1969).	33
Tabela 2 - Classe de declividade segundo as categorias hierárquicas.	48
Tabela 3 - Classes de fragilidade segundo tipos de solo.	48
Tabela 4 - Graus de proteção segundo tipos de cobertura vegetal.	49
Tabela 5 - Avaliação da estabilidade/vulnerabilidade das categorias morfométricas.	49
Tabela 6 - Matriz pareada com o comparativo entre os valores de importância de cada fator.	74
Tabela 7 - Valores das variáveis divididos pelos somatórios das respectivas colunas.	74
Tabela 8 - Variáveis com os respectivos pesos, obtidos pela média entre os valores de cada linha.	74
Tabela 9 - Pesos obtidos pela matriz de pareamento e atribuídos a cada fator.	75
Tabela 10 - Valores do coeficiente C (ASCE, 1969).	91
Tabela 11 - Áreas de contribuições, coeficiente de deflúvio (escoamento) (C), intensidade duração e frequência das chuvas (I) e vazões geradas.	95
Tabela 12 - Valores de vazões de contribuições e de capacidade do modelo de boca-de-lobo presente na quadra.	96
Tabela 13 - Área por intervalo de classe de altitude de Palmas - TO.	103
Tabela 14 - Áreas referentes às classes de drenagem e seus respectivos percentuais.	108
Tabela 15 - Pesos atribuídos às quatro classificações para geração dos mapas de risco de alagamento.	131
Tabela 16 - Comparativo de notas atribuídas às faixas de altitude para eventos distintos.	131

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP	Analytical Hierarchical Process
ANA	Agência Nacional de Águas
APMS	Áreas Públicas Municipais
APP	Área de Preservação Permanente
ARCA	Associação para Recuperação e Conservação do Ambiente
ARNO	Área Residencial Noroeste
ASCE	American Society of Civil Engineers
CEULP	Centro Universitário Luterano de Palmas
ULBRA	Universidade Luterana do Brasil
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CPRM	Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais
DMAPU	Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EC	Estatuto das Cidades
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias
GPS	Global Positioning System
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICR	Índice de Concentração de Rugosidade
IDF	Intensidade Duração e Frequência
IMPUP	Instituto Municipal de Planejamento Urbano de Palmas
LC	Lei Complementar
LM	Lei Municipal
LO	Licença de Operação
MCA	Macrozona de Conservação Ambiental
MCID	Ministério das Cidades
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDR	Ministério do Desenvolvimento Regional
MDS	Modelo Digital de Superfície
MDT	Modelo Digital De Terreno
MNT	Modelo Numérico de Terreno
MOCOND	Macrozona de Ordenamento Condicionado
MOCONT	Macrozona de Ordenamento Controlado

NATURATINS	Instituto Natureza Do Tocantins
NS	Norte-Sul
NSPT	Índice de Resistência à Penetração do Solo
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
PDDRU	Plano Diretor de Drenagem Urbana
PDDU	Plano Diretor de Uso e Ocupação do Solo
PDP	Plano Diretor Participativo
PDPP	Plano Diretor Participativo de Palmas
PDU	Plano Diretor Urbano
PEMAS	Plano Estratégico Municipal para Assentamentos Subnormais
PRFS	Projeto de Regularização Fundiária Sustentável
PUCE	Pattern, Unity, Component, Evaluation
SEDURF	Secretaria de Desenvolvimento Urbano, Regularização Fundiária e
Serviços Regionais	
SEMARH	Secretaria Municipal de Recursos Hídrico
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SINISA	Sistema Nacional de Informações em Saneamento
SINPDEC	Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil
SNIS-AP	Sistema Nacional de Informações em Saneamento – Água Pluvial
SNS	Secretaria Nacional de Saneamento
SRTM	Missão Topográfica Radar Shuttle
TO	Tocantins
UFT	Universidade Federal do Tocantins
UHE	Usina Hidrelétrica
UTM	Universal Transversa de Mercator
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado
ZEIS	Zonas Especiais de Interesse Social

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Hipótese e Objetivos.....	18
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
2.1	Geomorfologia e escoamento superficial em áreas urbanas.....	19
2.1.1	Morfometria e comportamento hidrológico.....	20
2.1.2	Urbanização e escoamento superficial.....	24
2.1.3	Alagamentos, enchentes e inundações.....	27
2.2	Sistema de drenagem urbana.....	30
2.2.1	Diretrizes de projeto e adequação do sistema de drenagem.....	31
2.3	Gestão de águas pluviais e a ocupação urbana.....	34
2.4	Plano diretor de drenagem urbana no contexto de planejamento urbano.....	36
2.5	Sistema de Informação Geográfica (SIG) como subsídio para planejamento urbano	
	43	
2.5.1	Utilização de SIG como ferramenta em drenagem urbana.....	44
3	OCUPAÇÃO URBANA E CONSEQUÊNCIAS NO ESCOAMENTO	
	SUPERFICIAL EM PALMAS – TO.....	51
3.1.1	Escoamento superficial em Palmas.....	61
4	METODOLOGIA	67
4.1	Levantamento de dados.....	69
4.2	Sistematização dos dados e mapa de risco.....	72
4.3	Análise e interpretações.....	79
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	81
5.1	Drenagem urbana de Palmas e alagamentos.....	81
5.2	Morfometria e alagamentos.....	99
5.2.1	Declividade e altitude.....	99
5.2.2	Densidade de drenagem urbana.....	105
5.2.3	Índice de Concentração de Rugosidade (ICR).....	110

5.3 Materiais superficiais e alagamentos	113
5.3.1 Compartimentação geotécnica (textura predominante)	113
5.3.2 Profundidade do lençol freático	118
5.4 Cobertura da terra e alagamento	119
5.5 Correlação entre pontos de alagamento, morfometria, materiais superficiais e cobertura da terra	124
5.6 Mapas de risco de alagamento	130
6 CONCLUSÕES	138
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	141

1 INTRODUÇÃO

A ausência de um processo integrado entre os planos de gestão urbana e os recursos hídricos ainda trazem prejuízos à sociedade e ao meio ambiente. Esforços atualmente desenvolvidos por meio de pesquisas, regulamentação dos instrumentos de gestão, desenvolvimento e divulgação dos sistemas de suporte às decisões nos âmbitos local e regional têm ajudado na otimização dos modelos de gestão existentes.

De acordo com o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC), os desastres decorrentes das chuvas nos municípios brasileiros resultaram em prejuízos econômicos da ordem de R\$ 55.571.139.403,00 entre 2017 e 2022 (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS MUNICÍPIOS, 2022).

Tendo em vista o potencial risco de danos ocasionados por alagamentos e inundações em áreas urbanas devido a esta ausência de integração entre os planos de gestão urbana, esta pesquisa propõe que sejam utilizadas técnicas de análises de risco e compreensão dos processos hidrológicos e morfológicos como suporte para a elaboração de Planos Diretores de Drenagem Urbana.

Inundações e alagamentos são eventos naturais cujos impactos em áreas urbanas resultam em impactos sociais e ambientais, considerados uns dos mais graves e frequentes problemas sociais da atualidade. A ocorrência de inundações e enchentes tem aumentado consideravelmente nos últimos 50 anos em todo o mundo, conforme aponta (JONES; GUHA-SAPIR; TUBEUF, 2022).

Para Baker, (2008) a frequência e a magnitude das inundações dependem das características geomorfológicas, geológicas e do clima, e as associações sistêmicas que se estabelecem dentro da bacia hidrográfica, sendo fundamentais para o entendimento das tendências temporais e espaciais das inundações. Nas cidades também devem ser consideradas as alterações impostas pelo processo de urbanização nestes sistemas naturais (NIR, 1983).

Segundo Cesaro (2018) o crescimento desordenado do município de Palmas acarretou problemas recorrentes de infraestrutura local. Cresce a ocorrência e a frequência de alagamentos em áreas urbanas causadas pela expansão da cidade. Estes impactos são decorrentes da urbanização. Entre os principais fatores que contribuem para a condição desordenada da drenagem urbana da cidade estão a ineficiência ou inexistência de macro e de microdrenagem baixo índice de concentração de rede (ICR), condições de descargas inadequadas de águas pluviais, lançamento de águas pluviais de imóveis edificadas diretamente sobre vias públicas e falta de um plano diretor específico para a drenagem pluvial urbana.

Pautado nas premissas abordadas acima e no estudo das características geomorfológicas, eventos hidrológicos, cobertura da terra, dados de ocupação urbana e da infraestrutura da cidade de Palmas – TO, foi desenvolvida a presente pesquisa, colaborando no entendimento da dinâmica e fatores causais dos eventos de alagamento na cidade.

1.1 Hipótese e Objetivos

A hipótese vinculada a esta pesquisa é que a cobertura da terra, acompanhado de sistemas de micro e macrodrenagem inadequados, potencializam a vulnerabilidade pré-existente de alagamentos em Palmas - TO.

A premissa é de que a compreensão dos cenários natural e antrópico por meio de análises multidisciplinares são essenciais na formulação de instrumentos de gestão de risco de alagamentos e ações de mitigação e controle.

Tal hipótese norteia a pesquisa, avaliada por meio de referências teórico-metodológicas, técnicas e parâmetros que permitam atingir seu objetivo principal, que é caracterizar o fluxo superficial dentro da cidade, identificando os pontos críticos e gerando mapas de risco de alagamentos.

Os seguintes objetivos específicos também auxiliam na avaliação da hipótese de pesquisa:

- Identificar os elementos naturais e/ou antrópicos que possam estar relacionados aos registros de alagamentos na cidade Palmas - TO;
- Formular diferentes cenários para mapas de risco de alagamentos por meio do método de análise hierárquica, AHP (Analytic Hierarchy Process);
- Avaliar as possibilidades de aplicação do conhecimento gerado por este tipo de pesquisa no planejamento urbano.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Geomorfologia e escoamento superficial em áreas urbanas

Segundo Suertegaray et. al. (2021) se a constituição da geomorfologia for tomada para fim de análise enquanto área de conhecimento, percebe-se que inúmeras foram as formas de conceber a interpretação do relevo. Em resumo, a primeira perspectiva tem-se como precursor Davis em 1889 como uma continuidade da teoria Geomorfologia Anglo-americana através de suas teorias probabilísticas e morfométricas. A segunda perspectiva tem sua sistematização em Penck 1984 e W. Penck 1910 trazendo o relevo como elemento de convergência com outros elementos na constituição da superfície terrestre. A partir de então a escola alemã busca a compreensão das interações do relevo através dos estudos de fisiologia da paisagem.

Os elementos mencionados, somados aos materiais que compõem a superfície, sustentam as formas identificadas como paisagens. Tais materiais são designados como materiais superficiais, e podem conter ou não materiais pedológicos, sedimentos, rochas e materiais tecnogênicos (GOUDIE, 2013).

Ab'saber, (1969) aponta que o estudo das formas da superfície passa necessariamente pelo entendimento dos processos que a resultam e pelas observações das propriedades dos materiais que a compõem. Os três elementos (forma, processo e materiais) possuem relações dinâmicas e devem ser analisados de maneira integrada.

Na década de 70 Bertrand e Tricart, (1968) propõem uma análise que ultrapassa a visão do relevo de forma restrita, trabalhando o meio físico de forma integrada, encaminhando a geomorfologia na direção da interdisciplinaridade, na interação com as ciências tanto da terra, como biológicas e sociais. Os autores apontam o método que leva em consideração a escala espaço-temporal, fisionomia e a dinâmica das paisagens e o sistema de classificação consiste em unidades sintéticas sobrepostas (domínios, geosistemas, geotopos, regiões naturais).

Seguindo essa perspectiva, Casseti, (1991) interpreta a formação do relevo como resultado da interação forma/ambiente, buscando a compreensão dos processos naturais e suas derivações a partir da forma com que os homens se organizam socialmente; a geomorfologia como transformação dinâmica das paisagens ao longo do tempo e sua incorporação à constituição do território e do processo produtivo (SUERTEGARAY et. al., 2021); estudo do relevo na perspectiva de avaliação dos riscos à população decorrentes de processo impactantes (OLIVEIRA et al., 2021). Assim, é preciso compreender cada um dos componentes destas paisagens, incluindo as formas, dinâmicas e gêneses do relevo (GIRÃO & CORRÊA, 2004; BERTRAND E TRICART, 1968; GOUDIE, 1981; NIR, 1983).

A aptidão de uma área a ser ocupada está condicionada a uma primeira análise: a da morfologia do local, buscando conhecer os mecanismos de funcionamento das diversas unidades de paisagem nos locais onde ocorrerá a intervenção humana. As feições geomorfológicas se constituem em importantes elementos para o desenvolvimento de variadas civilizações, servindo-lhes como *locus* de ocupação e proporcionando-lhes recursos para o crescimento e desenvolvimento de atividades produtivas e relações sociais. Mais do que um agente condicionante das ocupações humanas, o relevo também é modificado pelas intervenções antrópicas nos sistemas naturais, sendo possível afirmar que a ação do homem constitui um relevante agente modificador do relevo e, conseqüentemente, do ambiente, alterando o equilíbrio e a dinâmica dos processos naturais (NIR, 1983; TOY & HADLEY, 1987).

Esta atuação da humanidade sobre os elementos naturais tem se intensificado significativamente nos últimos séculos e as escalas, a complexidade, as magnitudes e as frequências das intervenções nos sistemas naturais têm sido transformadas em uma intensidade nunca verificada na história da humanidade (GOUDIE & VILES, 1997), sendo a urbanização um dos processos antrópicos que mais transforma as paisagens e ambientes. Assim, a ação antropogênica sobre o ambiente natural rapidamente tem promovido inúmeras alterações, negligenciando-se a dinâmica ambiental como um dos fatores reguladores dos complexos processos responsáveis pelo equilíbrio dos sistemas físicos.

2.1.1 Morfometria e comportamento hidrológico

A textura da topografia depende de vários fatores que atuam diretamente sobre a drenagem, sendo eles: fatores naturais, que compreendem o clima, a cobertura vegetal, a natureza do solo, intensidade das precipitações e o perfil longitudinal dos cursos d'água; e fatores ditos acidentais, que abrangem o grau de precisão do mapeamento e o valor da escala empregada. Geralmente solos pouco resistentes e desprotegidos produzem texturas finas, isto é, quando as curvas de nível se encontram fechadas, representando um relevo mais íngreme. Ao contrário, solos mais resistentes geram uma textura grosseira, caracterizada pelo espaçamento entre as curvas e diminuição da densidade de drenagem (FREITAS, 1952).

Para o autor tais critérios aplicados em áreas extensas, a textura da topografia pode indicar em termos quantitativos os estágios dos processos erosivos, ou seja, independente da natureza do solo e das rochas, havendo tão somente retardamento do ciclo em áreas com

formação mais resistentes, como cobertura vegetal e aceleração do processo em formações menos resistentes, desnudos e com maior intensidade de chuvas.

A textura da drenagem está ligada à textura da topografia e pode ser expressa de forma quantitativa em dois aspectos, a densidade hidrográfica e a densidade de drenagem. A primeira consiste no número de cursos d'água por km², enquanto o segundo compreende a razão entre o comprimento dos cursos e a área da bacia em km². Por meio dos referidos dados torna-se possível determinar a textura da topografia, em função da qual identifica-se o estágio do processo erosivo regional (HORTON, 1945).

A caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica é um procedimento essencial para análises hidrológicas ou ambientais, e tem como objetivo elucidar as várias questões relacionadas com o entendimento da dinâmica ambiental local e regional. Horton (1945) foi o pioneiro nos estudos quantitativos de bacias hidrográficas, analisando as relações entre suas propriedades morfométricas e hidrológicas, incluindo descargas em situações de cheias de diversas frequências e magnitudes.

A partir de então, outros autores sistematizaram outros parâmetros morfométricos em bacias da Europa e Estados Unidos e relacionando alguns deles ao comportamento do escoamento superficial, à descarga fluvial e ao desenvolvimento de inundações e enchentes, dentre eles: Horton (1945), Chorley (1957), Morisawa (1962), Patton & Baker (1976).

Segundo Antoneli & Thomaz, (2007), a combinação dos diversos dados morfométricos permite a diferenciação de áreas homogêneas. Estes parâmetros podem revelar indicadores físicos específicos para um determinado local, de forma a qualificarem as alterações ambientais. Destaca-se também sua importância nos estudos sobre vulnerabilidade ambiental em bacias hidrográficas.

A morfometria das bacias hidrográficas relaciona a forma do relevo com o fluxo nos canais e com o tempo total que as águas levam para percorrer toda a bacia. Alguns desses parâmetros e sua relação com a vazão de escoamento gerada nas bacias foram sintetizados por Souza, (2005) e estão dispostos no Quadro 1.

Quadro 1 - Parâmetros morfométricos e implicações hidrográficas nas bacias.

PARÂMETRO MORFOMÉTRICO	CONCEITO	IMPLICAÇÕES HIDROGRÁFICAS NA BACIA DE DRENAGEM E NOS EVENTOS DE INUNDAÇÕES
Ordem hierárquica dos canais	Estabelece uma hierarquização dentro da bacia, onde os canais sem tributários são considerados de primeira ordem, os canais de segunda ordem surgem da confluência de canais de primeira ordem e os de terceira da confluência de dois canais de segunda ordem (CHRISTOFOLETTI, 1974; SOUZA, 2010).	A hierarquia fluvial indica o grau de ramificação da bacia, sendo importante na determinação da velocidade com que a água escoar até o exutório. Assim, a descarga aumenta em relação exponencial com o aumento da ordem hierárquica do canal (SOUZA, 2005).
Área da Bacia	É definida como a área plana delimitada pelo divisor de águas, sendo fundamental para definir a potencialidade hídrica da bacia hidrográfica (MCALINDEN et al., 2009).	Autores têm relacionado as áreas das bacias com a sua vazão de contribuição ou descarga. Gregory e Walling citados por Ferreira, (1996) apontam que a vazão máxima de um canal decresce em intensidade a medida que a área de captação da bacia aumenta.
Perímetro da Bacia	Associado ao comprimento, possibilita novas considerações sobre a forma da bacia e sua distribuição. Projeção horizontal da linha que contorna o divisor de águas ((ZÁVOIANU, 1985, apud SOUZA, 2005).	Para a área da bacia, quanto maior o seu perímetro maior o número de canais de 1ª ordem (Závoianu, 1985).
Número de canais e sua frequência percentual	Trata-se do número total de canais de uma bacia ou mesmo de canais de uma ordem específica.	Um elevado número de tributários pode resultar em um escoamento rápido e elevação do volume escoado (SOUZA, 2005).
Comprimento total do canal principal	Dado que se relaciona diretamente com a forma e o tamanho da bacia. Tal parâmetro é definido como sendo a distância em linha reta entre a desembocadura do rio principal até a cabeceira mais distante da bacia.	Autores costumam utilizar o comprimento do canal principal para estimar o tempo de duração dos picos de inundações/enchentes, pois tal parâmetro tem relação com o tempo que as águas levam para percorrer toda a bacia da cabeceira até a foz (VICENS R.S.; MARQUES, 1932).
Declividade média do canal principal	É a relação entre sua amplitude altimétrica e o seu comprimento, sendo seu resultado expresso em graus ou porcentagem. Em outras palavras é a inclinação da superfície do terreno ao longo do canal principal medido em linha entre o ponto mais baixo e o ponto mais alto.	A declividade relaciona-se com a velocidade em que se dá o escoamento superficial, afetando, portanto, o tempo que leva a água da chuva para concentrar-se nos leitos fluviais que constituem a rede de drenagem das bacias, sendo que os picos de enchente, infiltração e susceptibilidade para erosão dos solos dependem da rapidez com que ocorre o escoamento sobre os terrenos da bacia (VILLELA; MATTOS, 1975).
Forma da bacia	Representa a figura geométrica que melhor se ajusta à área total da bacia, podendo ser circular, quadrangular, triangular e retangular.	Bacias que se aproximam geometricamente de um círculo convergem o escoamento superficial ao mesmo tempo para um trecho relativamente pequeno do rio principal. Caso não exista outros fatores que interferiram, os mesmos valores de Kc indicam maior potencialidade de produção de picos de enchentes elevados (VILLELA; MATTOS, 1975).
Índice de circularidade	Simultaneamente ao coeficiente de compacidade, o índice de circularidade tende para unidade à medida que a bacia se aproxima a forma circular e diminui à medida que a forma torna alongada (CARDOSO et al., 2006).	Segundo Mcalinden et al., (2009), o fator de forma e o índice de circularidade indicam que o perímetro da bacia se aproxima a um círculo, o que favorece os processos de inundação (cheias rápidas).
Fator de forma	Relaciona a forma da bacia com a de um retângulo, correspondendo a razão entre a largura média e o comprimento axial da bacia (da foz ao ponto mais longínquo do espigão), podendo ser influenciada por algumas características, principalmente pela geologia. Podem atuar também sobre alguns	Segundo Villela; Mattos, (1975), uma bacia com um fator de forma baixo é menos sujeita a enchentes que outra de mesmo tamanho, porém com fator de forma maior. Uma bacia com fator de forma baixo (estreita e alongada) é muito suscetível a inundações e enchentes do que bacias com o mesmo

	processos hidrológicos ou sobre o comportamento hidrológico da bacia (MCALINDEN et al., 2009).	tamanho, porém com maior fator de forma (circular) (SOUZA, 2005).
Densidade hidrográfica ou de canais	Densidade hidrográfica é a relação existente entre o número de rios ou cursos d'água e a área da bacia hidrográfica (MCALINDEN et al., 2009)	Traduz a resposta da bacia aos processos de escoamento superficial, hidrológico e a capacidade de geração de novos cursos d'água. Quanto maior a densidade, menores a distâncias interfluviais e o tempo de convergência dos fluxos em escoamento (SOUZA, 2005).
Densidade de drenagem	Proporção do comprimento dos cursos por unidade de área. Razão entre o número total de canais de uma bacia e sua área. Correlaciona o comprimento total dos canais ou rios com a área da bacia hidrográfica. Para calcular o comprimento devem ser medidos tanto os rios perenes como os temporários Horton (1945).	Reflete a eficiência do sistema de remover o excesso de precipitação na bacia que se transforma em escoamento superficial. Bacias com alta densidade de drenagem possuem rápida concentração de cheias (Pantton e Baker, 1976 apud Sousa, 2005).
Densidade de confluência	É o número total de confluência de canais em relação à área total da bacia, representando assim o grau de ramificação da rede de drenagem. Segundo Zavoianu (1985) tal número guarda certa relação com a ordem hierárquica, de forma que ordens menores apresentam maiores valores de densidade de confluências, os quais decrescem em sub bacias de ordens mais elevadas.	Está diretamente relacionada à capacidade de escoamento das águas e à remoção do excesso de precipitação que escoam superficialmente através da bacia. Assim, quanto maior a densidade de confluências, maior será o coeficiente de escoamento e a aceleração da formação e das inundações e enchentes.
Taxa de relevo e número de rugosidade	A taxa de relevo é a relação entre a amplitude altimétrica da bacia (cota de cabeceira e foz) e o comprimento máximo da bacia. O número de rugosidade é o produto entre a densidade de drenagem e a taxa de relevo.	A taxa de relevo e o número de rugosidade são diretamente proporcionais ao tempo de concentração do escoamento superficial. Assim, com o aumento da taxa de relevo e mais altos gradientes dos canais, aumenta o tempo de concentração do escoamento e, portanto, elevam-se os picos das enchentes e inundações.

Fonte: Adaptado de Souza (2005).

Para Costa (2017) os fatores que se interrelacionam e estão ligados a ocorrência de inundações podem ser divididos em transitórios, permanentes e mistos. Os transitórios são aqueles associados à ocorrência de chuvas, taxas de evapotranspiração e grau de saturação do solo. Fatores permanentes dizem respeito às características morfométricas da bacia de drenagem e à geologia. Por fim os fatores mistos estão relacionados ao tipo de cobertura da terra.

Estudo realizado em bacias hidrográficas na Romênia, amparados em 152 estações de medições de parâmetros hidrológicos, apontam uma relação de dependência entre esses parâmetros e as características morfométricas das bacias (ZĂVOIANU, 1985). Segundo o autor o tempo de duração das enchentes e inundações e o tempo de elevação das águas são diretamente proporcionais à área da bacia e ao comprimento do canal principal, e inversamente proporcional à declividade média das bacias ou do canal principal. O mesmo estudo aponta que para bacias com mesma área a duração das enchentes e cheias aumentam em função de suas altitudes e para uma mesma altitude essa duração aumenta à medida que as áreas aumentam.

Souza (2005), em sua revisão de literatura sobre a temática, afirma que dentre os inúmeros parâmetros morfométricos descritos na literatura, aqueles que apresentam melhor relação quanto ao desencadeamento potencial de inundações são: ordem hierárquica da bacia, número e frequência de canais totais e de primeira ordem, tamanho da bacia, fator de forma, índice de circularidade, declividade do canal principal, declividade da bacia, densidade hidrográfica, densidade de drenagem, densidade de confluências, taxa de relevo e rugosidade do terreno.

As áreas com grande potencial para inundações, segundo Zăvoianu (1985), em geral apresentam maior rugosidade, alta densidade de drenagem, alta densidade hidrográfica e alta frequência de canais de primeira ordem. Dentro de uma bacia, quanto menor a ordem hierárquica dos canais e menor a área de captação maior será a densidade dos canais, portanto, maiores as densidades hidrográficas e de drenagem, aumentando o coeficiente de escoamento e a aceleração da formação e da propagação das inundações / enchentes.

Como visto, os estudos que correlacionam a morfometria com o comportamento hidrológico são bastante voltados para bacias hidrográficas e para a vulnerabilidade à enchente e inundações. No caso dos alagamentos em áreas urbanas outros elementos devem ser considerados, uma vez que estes alagamentos não ocorrem normalmente nos pontos mais baixos da bacia, mas sim em terrenos altos e distantes dos cursos d'água, vinculados à áreas muito planas ou com pequenas depressões que podem ser naturais ou resultado das intervenções antrópicas urbanas.

2.1.2 Urbanização e escoamento superficial

Ao longo da história, as cidades têm se desenvolvido em áreas próximas a rios e grandes expansões urbanas levaram a alterações em canais fluviais e à construção sobre planícies de inundação e baixo terraço. O represamento de cabeceiras para abastecimento, uso de água para fins industriais e a acentuada ocupação das planícies de inundação, fazem com que os cursos hídricos e canais de drenagem comecem a ter seus fluxos e taxas de erosão modificados, além de receberem altas cargas de sedimentos e poluentes (HOCKIN et al., 1978; DOUGLAS, 1983; HOCKIN, 1985; LUZ, 2015).

Nos últimos anos, muitas cidades do Brasil praticamente dobraram seu contingente populacional. Como resultado desse processo, houve o aumento da ocupação de áreas instáveis, do ponto de vista físico, e a execução de várias intervenções antrópicas, reorganizando os processos e as formas de relevo existentes.

A ação antrópica sobre o relevo existe desde que o homem surgiu sobre a Terra, contudo a intensidade e poder de transformação desses impactos é maior atualmente (GOUDIE, 1981; NIR, 1983; TOY & HADLEY, 1987; GOUDIE & VILES, 1997; HOOKE, 2000). Nesse cenário, surge a necessidade da ciência geomorfológica reavaliar sua atuação e considerar as ações antrópicas como forças importantes na formação dos relevos terrestres.

Os estudos das formas, materiais e processos geomorfológicos resultantes da atuação humana recebem o nome de Geomorfologia Antropogênica ou Antropogeomorfologia (FELS, 1965; NIR, 1983; RODRIGUES, 2005) que, segundo Nir (1983), trata do estudo no tempo e no espaço das mudanças no ambiente físico provocadas pela atuação humana. Há dois tipos de processos antrópicos responsáveis pela formação do relevo: os processos diretos (construção, escavação e intervenções hidrológicas); e os processos indiretos (aceleração da erosão e sedimentação, subsidência, rupturas de vertente, desencadeamento de terremotos devido a explosões).

Através de mapeamentos geomorfológicos da Bacia Hidrográfica do Córrego Lavapés – Rio Claro (SP), Fagundes & Lupinacci, (2017), apontam que ocorreram diversas alterações nas formas de relevo da bacia entre 1962 e 2010. As principais alterações foram classificadas de acordo com o processo geomorfológico dominante que as criaram, como segue:

- **Alteração denudativa:** onde se percebe a diminuição nos números de sulcos erosivos e uma reorganização das rupturas topográficas. Essas modificações, segundo os autores, foram causadas em sua maioria pela mudança do uso da terra, que foi destinado à urbanização e os processos de terraplenagem para construções de edificações e ruas que modificaram o modelado do relevo urbano, alterando ou eliminando formas existentes.
- **Ação das águas correntes e formas de origem fluvial:** Notaram-se transformações na morfologia do leito fluvial do córrego, que teve sua nascente aterrada, seu talvegue retilinizado e canalizado e seu leito maior transformado em uma avenida; os canais pluviais não acompanham a topografia, mas o traçado das ruas, desde o período pré-urbanização.

Assim, foi possível realizar o zoneamento da bacia para ocupação urbana em:

- Ocupação com restrições nos terrenos planos e suavemente ondulados suscetíveis a inundações, correspondente a 52% da área de estudo com declives inferiores ou iguais a 2%.
- Urbanização sem restrições em 27,7% de área de estudo, com declives que variam de 5 a 15%.
- Urbanização sem restrições quanto à possibilidade de inundações em 18,3% da bacia com declives que variam de 2 a 5%.

- Terrenos com restrições regulamentadas pela legislação para o seu uso e cobertura da terra em áreas urbanas, correspondendo as demais classes de declividade (15 a 30% e > 30%) que representam apenas 2% do total da bacia.

Portanto, segundo os autores, foi possível considerar que o relevo da bacia se encontra em uma área relativamente plana, principalmente nas proximidades da drenagem e nos setores de topo, o que fez com que determinados processos fossem intensificados após as intervenções antrópicas, como as enchentes no entorno do córrego e a acumulação de água pluvial nas vias de circulação estabelecidas nos setores de topo.

Fujimoto (2001), analisou por meio da leitura geomorfológica, as alterações ambientais decorrentes da urbanização em uma sub-bacia da bacia hidrográfica do Arroio Dilúvio, Região Metropolitana de Porto Alegre - RS. Foram observadas várias intervenções antrópicas sobre as formas de relevo que alteraram a morfologia original, destruíram algumas de suas características básicas e geraram novos processos morfodinâmicos. Dentre as principais ações foram apontadas:

- Eliminação da cobertura vegetal e as modificações através de cortes e/ou aterros para a implantação de arruamentos e moradias que modificaram a geometria das vertentes;
- Alteração nos padrões de drenagem decorrentes dos arruamentos que acabam cortando e direcionando os fluxos hídricos;
- Modificação do fluxo da água superficial e subsuperficial por causa da impermeabilização;
- Mudança na direção do fluxo natural das águas das chuvas ou das águas servidas por causa das canalizações de águas pluviais das moradias, criação de descontinuidades entre materiais heterogêneos por causa dos aterros que recobrem a vegetação original e os materiais de cobertura superficial de formação natural, juntamente com a elevação altimétrica da superfície original e modificação da sua declividade.

Rodrigues (2010), em sua pesquisa de avaliação sobre o impacto humano em sistemas hidro-geomorfológicos fundamenta sua metodologia na proposição de quadros com indicadores advindos de pesquisas bibliográficas voltadas para geomorfologia, geologia física, mapeamentos retrospectivos e evolutivos de bacias, relatórios técnicos de projetos de engenharia e correlação entre alguns indicadores da morfologia original e antropogênica, processo hidrogeomorfológicos originais e antropogênicos e materiais superficiais originais e antropogênicos.

Tucci (2008), afirma que as enchentes aumentam a sua frequência e magnitude em razão da impermeabilização do solo e da construção da rede de condutos pluviais. O desenvolvimento

urbano pode também produzir obstruções ao escoamento, como aterros, pontes, drenagens inadequadas, e obstruções ao escoamento junto a condutos e assoreamento.

Lagoeiro, Costa e Leão (2014), realizaram a análise da morfometria a bacia do Rio Icaraí em Niterói – RJ para compreender a dinâmica das enchentes urbanas. Os autores utilizaram imagens históricas para identificar os canais, seus traçados atuais e o tipo de intervenção, como por exemplo obras de retificação e confinamento dos canais de escoamento e os pontos de enchentes urbanas na bacia. Foi verificado então que as enchentes urbanas se localizam majoritariamente em pontos de estrangulamento ou obstrução associados ao aumento do escoamento superficial decorrente do grau de pavimentação e construções nessas áreas, com magnitudes maiores nas vias situadas em fundos de vale.

Em estudo feito nas bacias dos rios Bomba e Barro Vermelho no município de São Gonçalo – RJ por Rocha-leão et al. (1994), apontam profundas modificações na rede de drenagem relacionadas à urbanização, com alterações nas taxas de recarga nas encostas que resultam em mudanças drásticas no regime hidrológico das bacias que passam cada vez mais a apresentar regimes efêmeros, com vazão nos picos de chuva devido à ação direta do escoamento superficial nas encostas.

Ainda em relação às vulnerabilidades às inundações, Veneziani (2018), identificou que as intervenções antrópicas promovem alterações hidromorfodinâmicas que resultam em diferentes condições de drenagem e vulnerabilidade dentro da planície de inundação pré-urbana, de modo que, a classificação do risco à inundação deve ser analisada individualmente para cada subunidade morfológica interna à planície. Para o autor é imprescindível que se leve em consideração a morfologia das vertentes em termos de curvatura, as morfologias antropogênicas no que se refere às taxas de impermeabilização e o arranjo do arruamento e suas declividades, pois a convergência ou a divergência dos fluxos concentrados produzidos pelas sarjetas pode agravar ou minimizar sua concentração.

2.1.3 Alagamentos, enchentes e inundações

Conhecidas por seus efeitos, as inundações, enchentes, enxurradas e alagamentos são eventos que nem sempre são corretamente descritos, havendo um grande desentendimento por parte da população em geral – e mesmo dos órgãos públicos - a respeito do que significam. Mesmo nos meios científicos e técnicos ainda não há uma posição final sobre os termos, existindo algumas divergências de interpretação e, embora de uso comum, as expressões

alagamento, cheia, enchente e inundação têm significados diferentes (LICCO; MAC DOWELL, 2015).

Ferraz (2021) aponta que, embora possam ocorrer naturalmente, as inundações e alagamentos são fenômenos que têm se tornado cada vez mais frequentes em meio urbano em função de alterações promovidas pela ocupação destes ambientes. Notadamente o crescimento das cidades ocorre, em geral, ao longo das margens dos cursos d'água e desacompanhada de planejamento e de políticas públicas eficientes para gestão territorial. Na literatura que trata de inundações e alagamentos estão presentes discussões que enfocam definições conceituais, dinâmica dos processos, agentes e fatores condicionantes e avaliações de risco (notadamente no seio da geomorfologia aplicada).

No que diz respeito à ocorrência destes fenômenos em áreas urbanas, entende-se que estes possam ocorrer naturalmente, embora suas ocorrências e seus efeitos possam ser potencializados ou induzidas pela ação humana, em função de alterações promovidas na morfologia das vertentes, nas propriedades dos solos ou nas condições de drenagem (GUIDICINI; IWASA, 1976).

Há também estudos que se dedicam à compreensão dos seus fatores desencadeantes e condicionantes de inundações e alagamentos e mapeamento de áreas a eles suscetíveis (FERRAZ, 2021). Muitos destes trabalhos também identificam a distribuição espacial das populações vulneráveis aos referidos fenômenos, um dos motivos que levam à existência de sobreposições de conceitos e multiplicidade de terminologias, na maior parte das vezes complementares.

Para Guimarães et al. (2014) inundações são eventos ambientais de caráter hidrometeorológico ou hidrológico de ocorrência global, os quais configuram ameaças naturais históricas do nosso planeta. Para os autores, na segunda metade do século XX, com seu intenso processo de urbanização e industrialização, aumento populacional e ocupação de áreas urbanas, os rios passaram a inundar com maior frequência.

As inundações, segundo Ramos, (2013) são fenômenos hidrológicos extremos, que apresentam frequência variável, podendo ser naturais ou induzidos pela ação humana e consistem na submersão de uma área usualmente emersa. Para Tucci (2008) as inundações são eventos que acontecem quando a precipitação é intensa e a quantidade de água que chega simultaneamente ao curso d'água supera a sua capacidade de drenagem resultando na inundação de suas áreas ribeirinhas.

Kobiyama et al. (2004) destaca que a inundação é popularmente tratada como enchente, e se caracteriza pelo aumento do nível dos rios além da sua vazão normal, quando ocorre o

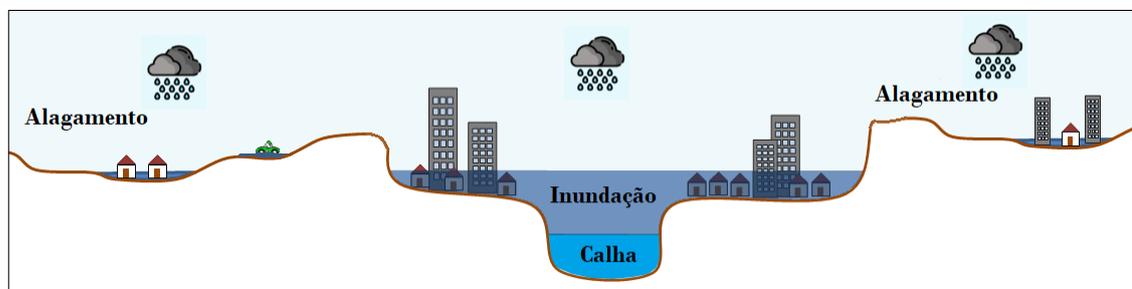
transbordamento de suas águas sobre as áreas próximas. Quando não ocorre o transbordamento, apesar do rio ficar praticamente cheio, tem-se uma enchente e não uma inundação.

Neste sentido, Tominaga, Santoro, Amaral (2009) detalham os conceitos da seguinte forma:

- **Inundação** representa o transbordamento das águas de um curso d'água, atingindo a planície de inundação ou área de várzea;
- 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;
- O **alagamento** é um acúmulo momentâneo de águas em determinados locais por deficiência no sistema de drenagem;
- A **enxurrada** é escoamento superficial concentrado e com alta energia de transporte, que pode ou não estar associado a áreas de domínio dos processos fluviais.

A Figura 1 detalha os níveis de elevação da água de um canal. Por enchente deve-se entender que se trata de elevação do nível de água de um canal, sem extravasamento, ao passo que o transbordamento das águas invadindo a planície de inundação configura uma inundação.

Figura 1 - Nível de elevação da água em um canal.



Fonte: Adaptado de Freitas et al., (2014).

Desta maneira, alagamentos e enxurradas têm significados diferentes, sendo o primeiro referente ao acúmulo de água em determinada porção do espaço, com ou sem relação com inundações ou enchentes, ao passo que o segundo se relaciona com o escoamento pluvial superficial concentrado durante eventos de chuvas extremas.

No Brasil, as inundações são o tipo de desastre mais comum e recorrente, provocando graves transtornos nos centros urbanos (DE FREITAS et al., 2014). Fragoso; Silva (2019) concluíram que os riscos às inundações no município de Escada - PE são socialmente construídos e decorre da urbanização sem planejamento em cuja base está o padrão socioeconômico, político e ambiental em que a população está inserida. A pesquisa foi realizada

por meio da aplicação questionários com ribeirinhos e representantes de associações de bairros e da defesa civil municipal e análise documental.

Souza (2005) apresenta uma sistematização dos fatores naturais e antrópicos condicionantes de inundações e enchentes em regiões costeiras. Os condicionantes naturais são divididos em: climático-meteorológicos, geológico-geomorfológicos, flúvio-hidrológicos e oceanográficos. Já os condicionantes antrópicos resultam de intervenções humanas diretas ou indiretas nas bacias de drenagem, podendo ser genericamente agrupados em: cobertura da terra em áreas marginais aos canais de drenagem (águas doces e mixo-halinas); modificações na rede de drenagem e alterações nos processos sedimentares naturais e no balanço sedimentar do sistema costeiro.

2.2 Sistema de drenagem urbana

As águas pluviais geradas em áreas urbanas têm sido consideradas indesejadas em razão do seu potencial destrutivo e, portanto, de acordo com tal visão, drenar tem sido entendido como forma de conduzir a água aos pontos receptores com o mínimo de impacto ao ambiente, seja ele urbano ou natural. Essa abordagem resulta do próprio conceito de sistema de drenagem urbana adotado no Brasil presente na maioria dos manuais de drenagem urbana: o conjunto de elementos destinados a recolher as águas pluviais precipitadas sobre uma determinada região e que escorrem sobre sua superfície, conduzindo-as a um destino (SANTOS, 1967).

Segundo Souza; Moraes e Borja (2013) a abordagem tradicional brasileira sobre a drenagem urbana indica que os corpos d'água devem ser saneados. Neste aspecto, sanear tem sido entendido como drenar, por meio de estruturas de micro e macrodrenagem que conduzem a água aos pontos mais distantes possíveis. Porém, em uma visão moderna, o sistema de drenagem tem sido tratado como um dos componentes do espaço urbano, sendo impossível dissociá-lo da infraestrutura das cidades.

Villanueva et al., (2005) definem o sistema inicial ou microdrenagem como tudo que é construído para garantir o funcionamento do sistema viário e dar acesso às parcelas habitacionais. É composto pelos pavimentos das ruas, guias e sarjetas, bocas de lobo, galerias de drenagem, sistemas de retenção e infiltração nos lotes e pavimentos, trincheiras e valas e muitos outros dispositivos relacionados ao viário. Para os autores em termos de desempenho, estes elementos caracterizam-se por admitir alto risco de falha, correspondente em termos hidrológicos e aos eventos de precipitação, como períodos de retorno entre 2 e 10 anos. Haja

vista que tem alcance pequeno, sua interconexão também é reduzida e suas falhas causam problemas limitados às ruas ou avenidas às quais servem.

No que se refere à macrodrenagem, Villanueva et al. (2005) apontam que este sistema desempenha o papel da malha hídrica original da bacia nas quais os cursos d'água (córregos, riachos e rios) foram substituídos por canalizações túneis, elevatórias, reservatórios de detenção e retenção, barragens e outros dispositivos. A macrodrenagem tem alta interconectividade, transferindo impactos de um subsistema para outro, motivo pelo qual se admite um baixo risco de falhas, ou seja, tempos de recorrência superiores a 25 anos.

As terminologias utilizadas no campo da drenagem urbana têm evoluído lentamente e de forma importante no estabelecimento de consciência e credibilidade de novas abordagens (FLETCHER et al., 2015). Para o autor as nuances observadas no processo de compreensão dos princípios que são aplicados localmente para resolver problemas específicos, apesar do desejo compreensível de um "conjunto uniforme de terminologia", é benéfica e leva em consideração o fato de que os termos compartilhados refletem o entendimento local.

2.2.1 Diretrizes de projeto e adequação do sistema de drenagem

A drenagem urbana faz parte do gerenciamento do espaço urbano e se realiza com observância ao plano diretor urbano (PDU), cuja exigência está regulamentada no Estatuto das Cidades (Lei 10257/2001) e na Lei de Saneamento Básico nº 11.445/2007.

Para Santos Junior, Montandon (2011), o Plano Diretor Urbano tem várias funcionalidades entre elas se destaca a determinação da função social da localidade e da propriedade, garantindo o acesso à terra urbanizada, bem como o direito à moradia, aos serviços de infraestrutura, espaços para lazer e a uma gestão democrática e participativa.

O plano diretor de drenagem urbana, segundo Tucci, (1997), tem o objetivo de “planejar a distribuição da água no tempo e no espaço, controlar as ocupações das áreas de riscos de inundações e convivência com enchentes em áreas de baixo risco”.

A drenagem urbana consiste na rede de coleta da água (e de resíduos sólidos) que se origina da precipitação sobre as superfícies urbanas, no seu tratamento e no retorno aos rios tendo como principais componentes os itens que seguem:

- **Sarjetas:** faixas de via pública, paralelas e vizinhas ao meio-fio. A calha formada é a receptora das águas pluviais que incidem sobre as vias públicas e que para elas escoam.

- **Meios-Fios:** elementos de pedra ou concreto, colocados entre o passeio e a via pública, paralelamente ao eixo da rua e com sua face superior no mesmo nível do passeio.
- **Sarjetões:** calhas localizadas nos cruzamentos de vias públicas, formadas pela sua própria pavimentação e destinadas a orientar o fluxo das águas que escoam pelas sarjetas.
- **Bocas-de-lobo:** dispositivos localizados em pontos convenientes, nas sarjetas, para captação de águas pluviais. As bocas-de-lobo devem ser localizadas de maneira a conduzirem, adequadamente, as vazões superficiais para as galerias. Nos pontos mais baixos do sistema viário, deverão ser, necessariamente, colocadas bocas-de-lobo com vistas a se evitar a criação de zonas mortas com alagamentos e águas paradas. Podem ser dos seguintes modelos: guia, quando a abertura é apenas na lateral da sarjeta; grelha, quando a abertura é apenas no chão, ou; combinada, quando são utilizadas as duas aberturas.
- **Tubos de ligações:** são canalizações destinadas a conduzir as águas pluviais captadas nas bocas-de-lobo para as galerias ou para os poços de visita.
- **Galeria:** canalizações públicas usadas para conduzir as águas pluviais provenientes das bocas-de-lobo e das ligações privadas.
- **Trecho:** porção de galeria situada entre dois poços de visita.
- **Poço de Visita:** dispositivos localizados em pontos convenientes do sistema de galerias para permitirem mudança de direção, mudança de declividade, mudança de diâmetro e inspeção e limpeza das canalizações.
- **Condutos forçados:** obras destinadas à condução das águas superficiais coletadas, de maneira segura e eficiente, sem preencher completamente a seção transversal dos condutos.
- **Estações de bombeamento:** conjunto de obras e equipamentos destinados a retirar água de um canal de drenagem, quando não mais houver condição de escoamento por gravidade, para um outro canal em nível mais elevado ou receptor final da drenagem.

Os componentes do sistema de drenagem urbana seguem um traçado definido após estudos que consideram os dados topográficos existentes e o pré-dimensionamento hidrológico e hidráulico. A definição da concepção inicial é mais importante para a economia global do sistema do que os estudos posteriores de detalhamento do projeto, de especificação de materiais, etc. Esse trabalho deve-se desenvolver simultaneamente ao plano urbanístico das ruas e das quadras, pois, caso contrário, ficam impostas, ao sistema de drenagem, restrições que levam sempre a maiores custos. O sistema de galerias deve ser planejado de forma homogênea, proporcionando, a todas as áreas, condições adequadas de drenagem.

Existem dois tipos de locação da rede coletora de águas pluviais: (i) sob a guia (meio-fio) e (ii) a mais utilizada, sob o eixo da via pública. O recobrimento mínimo deve ser de 1,0 m

sobre a geratriz superior do tubo. Além disso, deve possibilitar a ligação das canalizações de escoamento (recobrimento mínimo de 0,60m) das bocas- de-lobo.

O poço de visita tem a função primordial de permitir o acesso às canalizações para limpeza e inspeção, de modo que se possam mantê-las em bom estado de funcionamento. Sua locação é sugerida nos pontos de mudanças de direção, cruzamento de ruas (reunião de vários coletores), mudanças de declividade e mudança de diâmetro.

As caixas de ligação são utilizadas quando se faz necessária a locação de bocas-de-lobo intermediárias ou para evitar-se a chegada, em um mesmo poço de visita, de mais de quatro tubulações.

A locação das bocas-de-lobo deve considerar a capacidade de vazão e área de contribuição, por meio do cálculo do coeficiente de deflúvio. Nesta pesquisa o coeficiente de deflúvio para cálculo de vazão foi obtido de forma ponderada, conforme metodologia proposta por Tucci (1998) com os valores de coeficientes C atribuídos pela American Society of Civil Engineers (ASCE) (1969) para cada tipo de cobertura, conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Valores do coeficiente C (ASCE, 1969).

Superfície	Intervalo	Valor esperado
Pavimento asfáltico	0,70 – 0,95	0,83
Pavimento concreto	0,80 – 0,95	0,88
Calçamento em concreto	0,75 – 0,85	0,80
Telhado	0,75 – 0,95	0,85
Gramma ou solo arenoso (i = 2%)	0,05 – 0,10	0,08
Gramma ou solo arenoso (i = 2 a 7%)	0,10 – 0,15	0,13
Gramma ou solo arenoso (i = 7%)	0,15 – 0,20	0,18
Gramma ou solo pesado (i = 2%)	0,13 – 0,17	0,15
Gramma ou solo pesado (i = 2%)	0,18 – 0,22	0,20
Gramma ou solo pesado (i = 2%)	0,25 – 0,35	0,30

Fonte: ASCE (1969).

De acordo com Tucci (1998), é possível calcular as vazões de contribuição de uma área de até 2 km² por meio da equação do Método Racional, uma vez que o tempo de concentração e a duração das chuvas são iguais, o que significa que toda a água escoada chega instantaneamente ao ponto mais baixo da área delimitada, ponto onde está locada a boca-de-lobo (Equação 1).

$$Q = 0,00278 \cdot C \cdot I \cdot A \quad (1)$$

Onde:

Q: vazão de contribuição (m³/s);

C: coeficiente de escoamento da área que contribui para a estrutura;

A: área drenada para a estrutura (ha);

I: intensidade da precipitação (mm/h).

Além disso, a implantação das bocas de lobo deve seguir as seguintes recomendações:

- Serão locadas em ambos os lados da rua, quando a saturação da sarjeta assim o exigir ou quando forem ultrapassadas as suas capacidades de engolimento;
- Serão locadas nos pontos baixos da quadra;
- Recomenda-se adotar um espaçamento máximo de 60m entre as bocas-de-lobo, caso não seja analisada a capacidade de escoamento da sarjeta;
- A melhor solução para a instalação de bocas-de-lobo é que esta seja feita em pontos pouco a montante de cada faixa de cruzamento usada pelos pedestres, junto às esquinas;
- Não é conveniente a sua localização junto ao vértice de ângulo de interseção das sarjetas de duas ruas convergentes, pelos seguintes motivos: (i) os pedestres, para cruzarem uma rua, teriam que saltar a torrente num trecho de máxima vazão superficial; (ii) as torrentes convergentes pelas diferentes sarjetas teriam, como resultante, um escoamento de velocidade em sentido contrário ao da afluência para o interior da boca-de-lobo.

2.3 Gestão de águas pluviais e a ocupação urbana

As bacias hidrográficas urbanas são geralmente utilizadas como fonte de captação para abastecimento e como local de lançamento de efluentes. Para Tucci (2012), ações de dentro da cidade resultam em impactos que são transferidas para o restante da bacia, hidrográfica, como enchentes e poluição de corpos hídricos a jusante.

Para o autor as consequências da expansão urbana têm sido, principalmente, a perda de mananciais, a redução da disponibilidade de água para a população e o aumento da frequência de inundação. Dentre as principais causas tem-se:

- Contaminação dos mananciais superficiais e subterrâneos com os efluentes urbanos, como, por exemplo, o esgoto sanitário, pluvial e os resíduos sólidos.
- Disposição inadequada dos esgotos sanitários, pluviais e resíduos sólidos nas cidades.

- Inundações nas áreas urbanas devido à impermeabilização das superfícies urbanas e canalização do escoamento pluvial.
- Erosão e sedimentação gerando áreas degradadas.

Segundo Santos (2007) o ser humano empreendeu grande capacidade de apropriação e transformação do meio em que vive, o fazendo, muitas vezes, de forma descontrolada e desmedida. A maneira como se dá o uso e ocupação do espaço tem provocado sucessivos e inúmeros problemas ambientais, como a supressão da cobertura vegetal, perda de biodiversidade, obstrução e alteração dos cursos de drenagem, transmissão de doenças de veiculação hídrica, contaminação e poluição do ar, água e solo, perda de terras produtivas, desencadeamento de processos erosivos, entre outros tantos.

No que concerne à regulação de recursos hídricos há ferramentas de controle e gestão disponíveis na legislação. Existem padrões, normas e regulamentações diversas nas temáticas ambientais e de recursos hídricos em nível federal ou estadual.

A resolução CONAMA 357/2005 estabelece os critérios de enquadramento dos recursos hídricos como metas de qualidade da água. De forma análoga, a Lei 9433/1997, em seu artigo 12, estabelece o regime de outorga para todas as formas de utilização que alterem a qualidade e a quantidade da água dos mananciais. Ainda há a previsão de estabelecimento de comitês de bacias hidrográficas.

Consolidando ainda mais a relação entre as legislações, a Lei de Saneamento 11.445/07 define que a gestão das cidades deve atender aos preceitos da lei de recursos hídricos no seu Plano de Saneamento Básico. Muito embora esteja expresso em seu art. 4º que os recursos hídricos não integram os serviços públicos de saneamento básico, a sua utilização fica sujeita à outorga de direito de uso.

Segundo Peres, Silva, (2013), nos últimos anos tem havido um significativo avanço no que se refere à criação e implementação de novos instrumentos de gestão urbana-ambiental nas cidades. Com a criação da Lei 10.257/2001, denominada de Estatuto da Cidade (EC), foram estabelecidas as diretrizes para ordenamento urbano, reforçando a dimensão ambiental como elemento importante para o planejamento urbano, a partir de uma visão menos setorial e cada vez mais abrangente das políticas públicas. No entanto, apesar de citada nas diretrizes da lei do EC, a questão ambiental encontrou pouco amparo nos instrumentos instituídos, voltados mais ao combate à especulação imobiliária (PERES; SILVA, 2013).

Passadas algumas décadas, houve mudança na implementação do EC. Em âmbito nacional e, em alguma medida, nos estados e municípios, a regulação ambiental revelou uma mudança de discurso através de mecanismos integrados, como o caso do licenciamento

ambiental de empreendimentos urbanos, do Estudo de Impacto de Vizinhança e da licença urbanística integrada, que estão diretamente ligadas ao ordenamento territorial e às questões de infraestrutura urbana (PERES; SILVA, 2013).

Mesmo havendo diretrizes tanto ambientais como de ordenamento urbano, Vosgueritchian, (2015), Sathler, Monte-Mór, De Carvalho, (2009) e Silva, Costa, Macêdo, (2015) afirmam que tem ocorrido uma completa dissociação entre os processos de ocupação e projetos que compõem a infraestrutura urbana. São exemplos dessa desarticulação a transferência de vazões de contribuição de uma área para outra dentro de um mesmo município, bem como a inobservância dos parâmetros estabelecidos pelos códigos de obras (FREITAS, 2003).

Tucci (2002) afirma que o desenvolvimento urbano brasileiro tem produzido um impacto significativo nas infraestruturas de recursos hídricos. Para o autor um dos principais impactos se refere à drenagem urbana, na forma de aumento da ocorrência e proporções das inundações e danos ambientais, e que, para controlar esses impactos, torna-se necessário desenvolver ações ordenadas de forma a equilibrar o desenvolvimento com as condições ambientais urbanas, sendo o Plano Diretor de Drenagem o principal mecanismo.

Crescimento urbano desordenado tem como característica a expansão de regiões periféricas com inobservância da regulamentação urbana relacionada ao Plano Diretor e de normas específicas de loteamentos, além da ocupação irregular de áreas públicas, o que dificulta o ordenamento das ações não estruturais do controle ambiental urbano.

Segundo Villanueva et al., (2005) as características e dinâmica demográfica devem estar contidos no Plano Diretor de Uso e Ocupação do Solo (PDDU), caso exista, do qual o Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDrU) seria um componente setorial. O PDDU é obrigatório para cidades com mais de 20 mil habitantes e a estimativa futura de uso do solo pode estar aí definida. Nos casos em que este mecanismo é inexistente, projeções de ocupações futuras podem ser utilizadas e identificadas as áreas não urbanizadas e, a partir das características atuais de impermeabilidade, é possível determinar os coeficientes esperados para cada região.

2.4 Plano diretor de drenagem urbana no contexto de planejamento urbano

Para Battemarco et al., (2018), o início do processo de transformações urbanas do final do Século XIX, iniciado nas metrópoles industriais europeias e, posteriormente, reproduzido nas colônias e ex-colônias, resultou em um cenário de crescimento desordenado dessas

metrópoles. Com a revolução industrial as cidades cresceram rapidamente, gerando oferta de bens e serviços e, conseqüentemente, um fluxo migratório do campo para as cidades de pessoas em busca de melhores condições de vida. No entanto, o crescimento acelerado e desordenado evidenciou ainda mais os problemas de ocupação do solo urbano, ressaltando ausência de saneamento, mobilidade e habitação.

Segundo Alves et al., (2021), um dos trabalhos pioneiros sobre urbanização é a Teoria Geral da Urbanização do engenheiro urbanista Ildefons Cerdá, de 1867. Anteriormente, Cerdá concebe um projeto urbanístico denominado Eixample, em Barcelona, incorporando elementos paisagísticos as quadras, sistema de esgotamento sanitário e estruturação viária.

Os projetos de drenagem urbana passaram então a compor a gestão das cidades, que tinha o principal objetivo de “expulsar” as águas das chuvas por meio de canalizações, retificações de cursos d’água, drenagem de áreas úmidas etc.

Nas últimas décadas, a visão tradicional do projeto de drenagem vem sendo modificada por uma abordagem integrada de manejo sustentável das águas pluviais e planejamento urbano. Os sistemas de espaços livres surgem como atores de integração do ambiente, configurando oportunidades de criação de projetos multifuncionais, por exemplo, acumulando funções para soluções de drenagem, organização do crescimento urbano e união de áreas fragmentadas (BATTEMARCO et al., 2018).

Para os autores, uma maneira de mitigar os impactos das inundações urbanas é a visão tradicional do projeto de drenagem modificado por uma abordagem integrada de manejo sustentável das águas pluviais e planejamento do espaço urbano. A perspectiva de incorporar conceitos de sustentabilidade ambiental no processo de repensar o crescimento da cidade abre um conjunto de oportunidades a serem exploradas como soluções integradas em um contexto multidisciplinar (BATTEMARCO et al., 2018; TATUM; LIU, 2017; MARQUES, 2006; SOUZA, 2008).

Conforme Goldenfum, (2017), a regulamentação da drenagem urbana compreende o controle da drenagem em locais a serem ocupados, tanto em novos loteamentos quanto na densificação e aprovação de obras em áreas já loteadas. Segundo o autor essas definições têm conseqüências diretas na forma que os municípios tratarão os problemas de alagamentos e inundações, permitindo um entendimento por parte dos administradores e técnicos de quais são os princípios a serem adotados na gestão e controle hídrico da cidade.

Nacionalmente destacam-se o Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) (Lei nº 9.433/97) e as diretrizes nacionais para o saneamento básico (Lei Federal nº 11.445/2007). Ambas as leis trazem como objetivos a disponibilidade, nas áreas urbanas, de serviços de

drenagem e manejo das águas pluviais, bem como a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais.

O planejamento proposto pela referida Lei, elaborado por bacia ou conjunto de bacias hidrográficas de cada estado, consiste, formalmente, em planos que visam fundamentar e orientar a implementação da Política Estadual de Recursos Hídricos e o seu respectivo gerenciamento. Assim, o Plano de Bacia Hidrográfica é um dos instrumentos da Política Estadual de Recursos Hídricos.

Completando as esferas tem-se o espaço das cidades no que tange à gestão dos recursos hídricos no meio urbano, e é regulamentado através do Plano Diretor de Drenagem Urbana Municipal (PDDrU), que pode estar contido ou não no Plano Municipal de Saneamento Básico. Segundo Goldenfum (2017) para que o manejo das águas pluviais funcione de forma adequada os Planos Diretores de Drenagem Urbana devem estar em consonância com as demais diretrizes de ocupação e gerenciamento do município, como o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental, o Plano de Saneamento, o Código de Obras do Município, a Lei de Parcelamento do Solo e o Plano de Contingência.

Segundo Pompêo (2000), os estudos urbanos contemporâneos, em sua maioria, são desenvolvidos com o entendimento de que o planejamento relacionado aos recursos hídricos deve estar inserido no planejamento urbano de forma geral. Para o autor além das bacias hidrográficas, deve ser tratada a malha urbana, o zoneamento de atividades, a rede viária, os aspectos paisagísticos, econômicos e sociais. Aplica-se o conceito de sustentabilidade, associado à drenagem urbana com ações que envolvem a complexidade e a interdependência existente entre os ecossistemas naturais, o sistema urbano artificial e a sociedade.

Campana e Tucci (1994) defendem que as bacias urbanas necessitam ser planejadas considerando os futuros desenvolvimentos, mas na maioria delas não existe o detalhamento de como será a ocupação futura da bacia. Os modelos matemáticos hidrológicos utilizam a área impermeável como um parâmetro para a simulação do escoamento com base na precipitação, enquanto o planejamento urbano utiliza a densidade habitacional como indicador do desenvolvimento urbano.

Com relação à gestão das águas pluviais, existem atualmente inúmeros textos dedicados à drenagem urbana nos seus diferentes aspectos. As publicações mais antigas orientam, principalmente, ao cálculo de vazões de projeto, enquanto o material mais recente enfatiza os aspectos de gestão e fornecem diretrizes para os Desenvolvimentos Urbanos de Baixo Impacto (tradução para Low Impact Development (Prince George's County. 1999), conforme Souza, (2005).

Neste contexto, além do PDDrU, também surgem os Planos de Manejo de Águas Pluviais (PMAP) Tucci, (1997), como elemento central da gestão drenagem urbana. Esses planos estabelecem as diretrizes para a gestão das águas pluviais em uma bacia hidrográfica e visam, fundamentalmente, reduzir o volume de escoamento, velocidade, taxas, frequência e duração dos alagamentos. Estas medidas são uma tentativa de minimização dos efeitos adversos ao meio ambiente, especialmente nos corpos d'água receptores, com consequente redução de perdas econômicas, melhoria das condições de saúde da população e qualidade ambiental da cidade.

Para além das intervenções em áreas públicas, a gestão municipal também pode se valer de regulamentações para novas construções. No Quadro 2 abaixo Goldenfum, (2017), apresenta de forma sucinta alguns decretos e leis existentes de municípios brasileiros que visam o controle da drenagem urbana por meio de controle das vazões pluviais das edificações.

Quadro 2 - Decretos e Leis de municípios brasileiros que visam o controle de drenagem urbana.

Lei / Decreto	Objetivos da Lei	Soluções encontradas
Decreto 15371/2006 de Porto Alegre – RS	Prevenir o aumento das inundações devido à impermeabilização do solo e canalização dos arroios naturais.	Toda área impermeável deverá garantir que a vazão máxima específica de saída para a rede pública de águas pluviais não ultrapasse 20,8 l/(s.ha).
Decreto 176/2007 de Curitiba – PR	Implantar mecanismos de contenção de cheias e alagamentos.	Obrigatoriedade de implantação de reservatórios de retenção em empreendimentos que impermeabilizem área igual ou superior a 3.000 m ² e nos que apresentarem redução da taxa de permeabilidade de 25%.
Lei nº 12.526/2007 de São Paulo - SP	Conter enchentes e destinar de forma adequada as águas pluviais.	Obrigatoriedade da implantação de sistema para a captação e retenção de águas pluviais, coletadas por telhados, coberturas, terraços e pavimentos descobertos, em lotes, edificados ou não, que tenham área impermeabilizada superior a 500 m ² .
Lei Complementar 324/2008 de Chapecó – SC	Reduzir a vazão de contribuição gerada em edificações.	Estabelece que toda a edificação (unifamiliar maior que 150 m ²), multifamiliar ou comercial nova, fica obrigada a construir mecanismos adequados para coleta, reserva e infiltração das águas pluviais a que tem posse.
Lei nº 18.112/2015 de Recife – PE	Reduzir a vazão de contribuição gerada em edificações.	Obrigatoriedade de instalação do "telhado verde" e construção de reservatórios de acúmulo ou de retardo do escoamento das águas pluviais para a rede de drenagem em projetos de edificações habitacionais multifamiliares com mais de quatro pavimentos e não habitacionais com mais de 400 m ² de área de coberta.

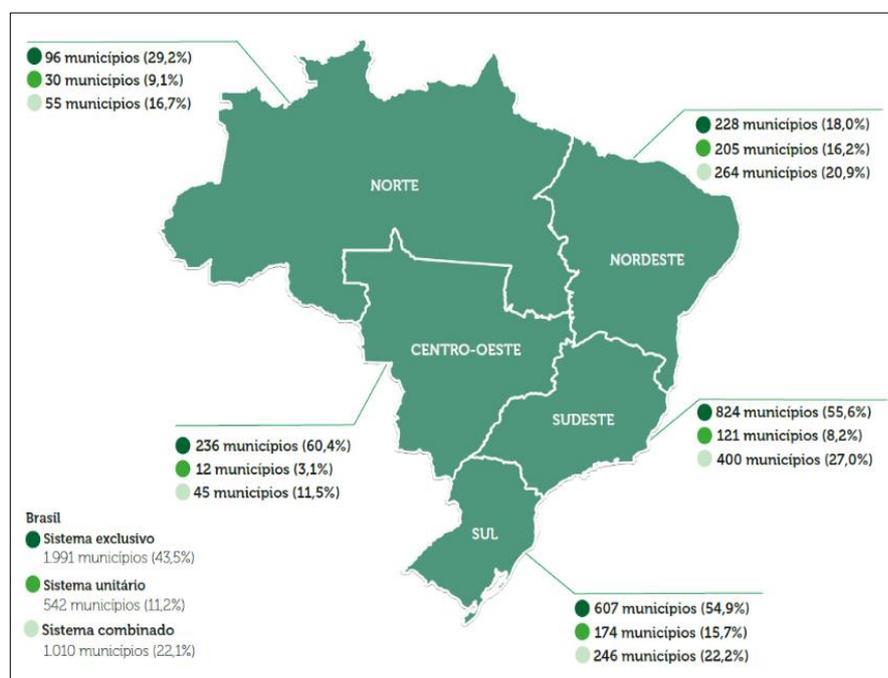
Fonte: Adaptado de Goldenfum (2017).

Cada plano apresenta suas atividades decorrentes dos objetivos e exigências da sociedade em questão, além dos recursos disponíveis para o município. Os elementos a serem considerados ao se desenvolver um PDDrU, de acordo com Marques, (2006), são:

- **Informação/inventário:** as informações são essenciais ao êxito do plano. O desenvolvimento de um inventário do sistema existente é uma das etapas a se desenvolver.
- **Planejamento de bacias hidrográficas:** planos diretores de bacias hidrográficas ajudam a estabelecer as prioridades de tomada de decisão.
- **Critérios e orientações de projeto:** em suporte aos padrões e exigências locais para o desenvolvimento, a sociedade deve estabelecer suas necessidades para que os critérios técnicos de projeto, construção e manutenção sejam definidos.
- **Contenção de cheias:** envolve a determinação de áreas com usos limitados compatíveis com seu grau de risco à inundação ou deslizamento de terra.
- **Controle de erosão e sedimentação:** medidas de controle de erosão e carreamento de sedimento são importantes para a qualidade da água e proteção de habitats.
- **Regulamentos:** leis e normas municipais devem conduzir a execução das diretrizes traçadas no plano diretor de drenagem urbana, prevendo a proteção de páreas naturais, o controle de erosão e o transporte de sedimento, proibição de descarga de efluentes domésticos nas redes, controle de efluentes pluviais, entre outros.
- **Revisão do plano:** a revisão detalhada do plano diretor de drenagem deve ser realizada para atualização dos programas e diretrizes de elaboração dos projetos de drenagem.
- **Melhorias no sistema de drenagem:** melhorias dos projetos de drenagem devem ser realizadas, tais como a construção de estruturas para o controle de transporte de sedimento, controle regional de cheias, estabilização de encostas, entre outras.
- **Operação e manutenção:** como componentes essenciais para a implantação eficaz do plano têm-se a operação e a manutenção dos elementos de drenagem e sistemas de transporte a águas pluviais.
- **Monitoramento:** dados oriundos do monitoramento auxiliam a tomada de decisão e fornecem sustentação para ações de melhoria dos sistemas.
- **Prevenção da poluição:** visa impedir que as águas pluviais tenham contato com poluentes ainda na fonte e sejam propagadas.
- **Participação da comunidade:** com o intuito de se obter o apoio da população local na implantação do plano, cidadão e profissionais precisam ser sensibilizados e envolvidos no processo da mesma maneira.
- **Financiamento:** financiamentos adequados às atividades de gerenciamento da drenagem é um dos aspectos mais críticos e difíceis de estabelecer. A implementação do plano depende de fontes estáveis de financiamento.

De acordo com o Diagnóstico Temático - Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas - Visão Geral (DMAPU), apresentado pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades¹ (SNSA/MCID), dos 4.573 municípios participantes da coleta de dados do SNIS-AP 2021, 1.991 (43,5%) informam contar com sistema exclusivo para drenagem, 542 (11,9%), com sistema unitário (misto com esgotamento sanitário) e 1.010 (22,1%) com sistema combinado. Em 253 (5,5%) é utilizado outro tipo de sistema e em 777 (17,0%) não há sistema de drenagem implantado. O mapa da Figura 2 mostra a quantidade de municípios com sistema de drenagem urbana.

Figura 2 - Municípios com sistema de drenagem urbana de águas pluviais por macrorregião.



Fonte: MCID; SNSA (2023).

No conjunto de municípios da amostra, 190 (4,2%) contam com algum tipo de tratamento das águas pluviais. Na DMAPU, esta solução é adotada para mitigar os impactos da poluição de esgotos e de origem difusa, como resíduos sólidos urbanos, da circulação de automóveis, dejetos de animais, erosão da pavimentação asfáltica e restos de vegetação. O mapa da Figura 3 mostra o percentual de municípios com algum tipo de tratamento para águas pluviais.

¹ Até 2022 a SNSA estava vinculada ao Ministério do Desenvolvimento Regional (SNS/MDR).

Figura 3 - Municípios com algum tipo de tratamento das águas pluviais.



Fonte: MCID; SNSA (2023).

As informações apresentadas nas figuras explicitam os desafios das cidades brasileiras no manejo das águas e na problemática do saneamento ambiental, justamente as questões que devem ser tratadas nos Planos Diretores.

Os impactos hidrológicos da urbanização segundo Macedo Moura, Baptista & Barraud, (2009), são potencializados pelas concepções higienistas amplamente descritas na literatura técnica, especialmente no que se refere à redução da infiltração e da aceleração do escoamento que culminam em inundações e alagamentos urbanos, colocando em situação de atenção zonas inteiras de cidades e regiões metropolitanas.

Tais eventos constituem-se nos principais impactos negativos sobre áreas urbanas, principalmente em regiões ocupadas irregularmente e sem infraestrutura adequada. Tais impactos acontecem devido à própria urbanização ou eventos naturais extremos. Entretanto, para Marques (2006) a constituição dos sistemas de drenagem tem sido um agravante. Para o autor, os sistemas de drenagem urbana foram constituídos ao longo dos anos de forma descontinuada, sob o aspecto de um inadequado planejamento e sob o critério de escoamento rápido das águas pluviais do meio urbano.

2.5 Sistema de Informação Geográfica (SIG) como subsídio para planejamento urbano

Os sistemas de informações geográficas (SIG), aliado ao sensoriamento remoto, têm contribuído muito na caracterização da superfície que influenciam nos valores de parâmetros como coeficientes de escoamento e taxas de impermeabilização e, conseqüentemente, no valor potencial de produção de vazão de escoamento em uma área de drenagem. Nesta caracterização estão incluídos os mapeamentos de tipos de solos, cobertura da terra e precipitação, bem como o processamento de modelos digitais de terreno que são as bases para a obtenção da declividade, altitudes e índices de rugosidade e de drenagem.

Atualmente as informações são disponibilizadas de forma instantânea e os avanços tecnológicos refletem diretamente nos estudos ambientais de modo geral, mas principalmente nas chamadas geotecnologias. O uso integrado de ferramentas como Sistema de Informação Geográfica (SIG), Sensoriamento Remoto, Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS), Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) e softwares de Geoprocessamento, permitem aos usuários a geração de forma rápida e acurada de informações geoespaciais.

Nesse sentido, torna-se cada vez mais relevante o uso das ferramentas de SIG e das geotecnologias como um todo no planejamento e gestão dos recursos hídricos, gestão de bacias hidrográficas e planejamento e gestão da drenagem urbana.

Com suas raízes históricas nas disciplinas de cartografia computacional e processamento digital de imagens, os SIG são atualmente uma ferramenta altamente difundida para a solução de problemas que dependem de avaliações espaciais precisas e eficientes (MARTIN et. al., 1987). Segundo o autor, apesar do seu uso abrangente, a tecnologia SIG não foi especificamente desenvolvida para a modelagem de problemas de engenharia, mas sim como uma ferramenta para armazenamento, manipulação, análise e apresentação de dados geográficos. Contudo, com o contínuo declínio do custo das tecnologias computacionais e o concomitante aumento na velocidade dos processadores, a tecnologia SIG foi disseminada entre os pesquisadores, desenvolvedores e usuários de modelos.

Para Paiva (2009) a maior limitação da utilização de alguns modelos é a necessidade de manipulação de grandes quantidades de dados relacionados à variabilidade espacial e temporal dos parâmetros e variáveis que descrevem a heterogeneidade do comportamento hidrológico. Tal limitação seria então eliminada com os SIG, conforme Fan, Collischonn (2014), haja vista sua capacidade de geração de bancos de dados espaciais e processamento das informações na obtenção da descrição espacial detalhada da região de estudo.

Segundo Schafer, Nogueira, Sluter, (2011) a tecnologia SIG assume papel importante na modelagem hidrológica em razão de sua capacidade de manipular grandes quantidades de dados espaciais e agregar parâmetros hidrológicos a partir de diferentes fontes, como mapas de solos, mapas de cobertura da terra e dados de chuva, e podemos adicionar ainda dados da cobertura vegetal, relevo e distribuição de feições hidrológicas.

Na simulação do comportamento de uma bacia hidrográfica, por exemplo, são utilizadas séries de equações com dados de entrada diversos, como tipo e uso do solo na região estudada, precipitação ao longo do tempo, e outras variáveis climáticas. Como resultados, são geradas informações hidrológicas ao longo de vários pontos da bacia hidrográfica estudada, como vazão nos rios e balanços de água no solo (FAN; COLLISCHONN, 2014).

2.5.1 Utilização de SIG como ferramenta em drenagem urbana

O mapeamento de áreas sujeitas a inundações, enchentes e alagamentos é essencial para o planejamento do uso e ocupação de uma região. Segundo Quintanilha; Oliveira (2012) tal ferramenta é capaz de identificar as áreas críticas e direcionar a cobertura da terra de acordo com suas características, como por exemplo, áreas mais sujeitas a eventos de inundações devem ser, preferencialmente, utilizadas para recreação ou preservação, enquanto áreas menos susceptíveis podem ser melhor exploradas de acordo com sua vocação tanto natural quanto econômica, evitando, assim, problemas de ordem socioeconômica e de catástrofes ambientais, com possíveis perdas humanas.

Os SIG têm se apresentado como uma ferramenta importante para produção e análise de Modelos Digitais de Elevação (MDEs), utilizados em muitos casos para análise de inundações (CHICATI et al., 2010). O MDE representa a altimetria de uma determinada área e comumente são divididos em: Modelo Digital de **Superfície** (MDS) ou **elevação** (MDE), quando representa a altimetria de todos os objetos naturais e antrópicos acima do solo, e; Modelo Digital de **Terreno** (MDT) quando são desconsiderados todos esses elementos e é representada a altimetria do terreno.

Câmara et al. (2001) afirmam que para a representação de uma superfície real em ambiente digital é indispensável a elaboração e criação de um modelo digital, que pode estar representado por equações analíticas ou uma rede (grade) de pontos, de modo a transmitir ao usuário as características espaciais do terreno. Os autores citam alguns usos do modelo gerado, são eles:

- Armazenamento de dados de altimetria para gerar mapas topográficos;

- Análises de corte-aterro para projeto de estradas e barragens;
- Elaboração de mapas de declividade e exposição para apoio à análise de geomorfologia e erodibilidade;
- Apresentação tridimensional (em combinação com outras variáveis).

Além dos usos acima, estas as geotecnologias fornecem instrumentos essenciais para a análise proposta nesta pesquisa, a saber: elaboração de mapas temáticos, obtenção do índice de rugosidade, obtenção de imagens detalhadas de quadras, cálculo das áreas de classes mapeadas e mapeamento de riscos.

2.6 Avaliação de fragilidade, vulnerabilidade e risco

Considerando o conceito de risco e partindo da forma como o homem se organiza e ocupa o espaço, entende-se que a situação de vulnerabilidade e a suscetibilidade estão postas nas diversas realidades, sendo que as características naturais e as condições sociais e econômicas constituem-se elementos variáveis que influenciam na maior ou menor condição dos mesmos (GIRÃO, 2018).

Para Aquino et al. (2017), a avaliação qualitativa e quantitativa de sustentabilidade, vulnerabilidade e riscos ambientais, são ferramentas para uma emergente transformação: a transformação ambiental. Essa, como outras transformações, encontra resistência nos mais diversos setores sociais, porém como está relacionada com a manutenção da vida de todos os indivíduos, vem encontrando, rapidamente, diversos adeptos e a aprovação da opinião pública.

Os métodos utilizados para avaliar a fragilidade ambiental e vulnerabilidade ambiental através do uso integrado de diferentes variáveis ambientais - relevo, tipo de solo, precipitação e uso da terra - associadas aos modelos computacionais aplicados ao estudo da fragilidade para fins de ordenamento territorial, resultam em mapeamentos temáticos, nos quais a área de estudo é classificada segundo uma escala de fragilidade ambiental (JAIN e GOEL, 2002). Conforme aponta os autores, tais mapas possibilitam analisar e identificar fatores de pressão e impactos sobre o ambiente e conseqüentemente auxiliam no processo de planejamento territorial e tomada de decisões.

A fragilidade ambiental é definida por Marchesan, et al. (2020) como um estudo necessário para a avaliação das fragilidades dos locais, por meio de mapas que auxiliam na tomada de decisões, uma vez que indicam os locais mais sensíveis e os de melhor uso.

Segundo o método de Ross (1994) as unidades de fragilidade dos ambientes naturais são resultantes dos levantamentos de geomorfologia, solos, cobertura vegetal/uso da terra e clima, considerando os aspectos físicos e bióticos de um ambiente em ser ou não afetado por alterações ocorridas de formas naturais ou pela ação antrópica. Esses elementos tratados de forma integrada possibilitam obter um diagnóstico das diferentes categorias hierárquicas da fragilidade dos ambientes naturais, sendo, portanto, um meio de identificação das alterações no equilíbrio da dinâmica natural de uma área e conseqüentemente de auxílio no zoneamento ambiental, a partir do desenvolvimento de medidas para evitar e minimizar impactos ambientais.

Já a vulnerabilidade ambiental é a susceptibilidade de um sistema à degradação ambiental, podendo ser compreendida a partir da análise das características dos sistemas ambientais, relacionando-se à capacidade de resposta do meio físico aos efeitos contrários por ações antropogênicas (SOUZA, 2000; TAGLIANI, 2002; SANTOS e CALDEYRO, 2007; MEDEIROS e SOUZA, 2016).

Um método de avaliação da vulnerabilidade ambiental foi desenvolvido por Crepani et al. (1996), e encontra-se relacionado à vulnerabilidade da paisagem à perda de solo. Seus estudos são baseados na relação morfogênese/pedogênese preconizadas por Tricart (1977), onde são considerados os dados geológicos, geomorfológicos, pedológicos, pluviométricos e de cobertura da terra. Em que quando há predominância da morfogênese, prevalecem os processos erosivos modificadores do relevo, e quando há predominância da pedogênese, prevalecem os processos formadores do solo.

De acordo com Souza et al. (2011) os métodos de fragilidade ambiental e de vulnerabilidade ambiental podem parecer semelhantes, mas apresentam diferenças. O termo fragilidade ambiental está relacionado ao grau de sensibilidade de uma variável (solo, clima, geomorfologia, entre outros) a qualquer tipo de dano ocasionado naturalmente e/ou pela ação antrópica. Enquanto o termo vulnerabilidade está mais relacionado ao grau de sensibilidade de uma variável (solo, clima, geologia, geomorfologia, entre outros). O ponto em comum entre esses dois métodos é a inter-relação dos elementos do meio físico. Além disso, os estudos baseados nos dois métodos foram desenvolvidos a partir dos critérios baseados na Ecodinâmica de Tricart (1977).

O conceito de vulnerabilidade se aplica para entidades físicas (pessoas, ecossistemas) e para conceitos abstratos (sistemas sociais, sistemas econômicos, países). Desta forma, esse termo apresenta um caráter multifacetado e pode ser aplicado a diversas situações e diferentes sistemas, como por exemplo, aos bens materiais que podem estar susceptíveis a serem

vulneráveis a algo ou alguém, ou ainda, programas computacionais que são susceptíveis a vírus, ou seres humanos a microrganismos patogênicos, sistemas financeiros às oscilações do mercado (AQUINO et al. 2017).

A ideia de vulnerabilidade é geralmente retratada em termos negativos, e indica o estado de susceptibilidade decorrente de três fatores chaves: exposição ao risco; alterações sociais e/ou ambientais e incapacidade de adaptação (ADGER, 2006).

Atualmente, o conceito de vulnerabilidade, vem sendo abordado sob uma ótica social e ambiental. A primeira procura analisar e mensurar as exposições aos riscos, assim como, a insegurança, gerada por eventos e mudanças econômicas sobre determinados grupos sociais. A vulnerabilidade ambiental aborda o risco ao qual o meio ambiente está exposto, podendo ser este natural ou causado por fatores externos. A visão global, que sobrepõem características sociais e ambientais é denominada como vulnerabilidade socioambiental (ALVES, 2006).

Os trabalhos de Ross (1994; 1995 e 1997) trazem unidades de fragilidade ambiental como a síntese de todos os temas que se inter-relacionam, identificando-se as fragilidades potencial e emergente das áreas determinadas, o que é relevante para as ações de planejamento e gestão territorial e ambiental.

O autor propõe uma hierarquia de variáveis a ser seguida na análise integrada das fragilidades ambientais em um determinado sistema em questão:

- 1º - Relevo (tipos de vertentes e índices de dissecação);
- 2º - Tipo de solo;
- 3º - Grau de proteção do solo: cobertura vegetal e tipos de uso da terra;
- 4º - Clima: pluviosidade.

De acordo com o autor, a hierarquia apresentada acima serve de base para uma matriz de três algarismos, onde cada um deles representa um dos referidos parâmetros de acordo com a hierarquia apresentada e os classifica em função de cinco graus de fragilidade, em:

- 1 – Muito fraco;
- 2 – Fraco;
- 3 – Médio;
- 4 – Forte;
- 5 – Muito forte.

Para escalas pequenas, Ross (1997) preconiza o uso de índices de dissecação do relevo e, para as escalas de detalhe (1:25.000 a 1:2.000), a variável “relevo” requer a consideração de classes de declividades, as quais Ross classificou em 5 classes, apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Classe de declividade segundo as categorias hierárquicas.

Categorias Hierárquicas	Classes de Declividade
1 – Muito fraca	até 6%
2 – Fraca	de 6 a 12%
3 – Média	de 12 a 20%
4 – Forte	de 20 a 30%
5 – Muito forte	acima de 30%

Fonte: Ross (1994).

A segunda variável na hierarquia dos estudos de fragilidade é o tipo de solo. Neste será considerada a característica de escoamento superficial difuso e concentrado das águas pluviais, de acordo com a estrutura e a composição pedológica. As classes de fragilidade segundo este critério são descritas na Tabela 3.

Tabela 3 - Classes de fragilidade segundo tipos de solo.

Classes de Fragilidade	Tipos de solo
1 – Muito baixa	Latossolo roxo, latossolo vermelho escuro e vermelho-amarelo textura argilosa.
2 – Baixa	Latossolo amarelo e vermelho-amarelo textura média/argilosa.
3 – Média	Latossolo vermelho-amarelo, terra roxa, terra bruta, podzólico vermelho-amarelo textura média argilosa.
4 – Forte	Podzólico vermelho-amarelo textura média/arenosa, cambissolos.
5 – Muito forte	Podsolizados com cascalho, litólicos e areias quartzosas.

Fonte: Ross (1997).

Outro fator de extrema importância para a determinação do grau de fragilidade ambiental é o uso da terra e cobertura vegetal. Nota-se que não é somente o tipo de vegetação que vai influenciar na fragilidade, mas também tipo de atividade que se exerce sobre a área. As classes determinadas por Ross (1997) são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Graus de proteção segundo tipos de cobertura vegetal.

Graus de Proteção	Tipos de Cobertura Vegetal
1 – Muito alta	Floresta, matas naturais, florestas cultivadas com biodiversidade.
2 – Alta	Formação arbustivas naturais com textura herbácea densa, formação arbustiva densa. Mata homogênea de pinus densa, pastagens cultivadas com baixo pisoteio de gado, cultivo de ciclo longo.
3 – Média	Cultivo de ciclo longo em curvas de nível/terraceamento, pastagens com baixo pisoteio, silvicultura de eucalipto.
4 – Baixa	Culturas de ciclo longo de baixa densidade, culturas de ciclo curto.
5 – Muito baixa	Áreas desmatadas e queimadas recentemente, solo exposto por arado, solo exposto ao longo de caminhos e estradas, terraplanagens, culturas de ciclo curto sem práticas conservacionistas.

Fonte: Ross (1997).

Já a proposta de Crepani et al. (1996) quanto à vulnerabilidade natural à erosão baseia-se nos conceitos da Eecodinâmica de Tricart (1977), utilizando geoprocessamento e produtos de sensoriamento remoto. A primeira aproximação foi atribuir uma quantificação às características do ambiente, sendo o valor de instabilidade 1,0 para o meio estável, 2,0 para o meio intergrades e 3,0 para os meios instáveis conforme Tabela 5.

Tabela 5 - Avaliação da estabilidade/vulnerabilidade das categorias morfométricas.

Unidade	Relação Pedogênese/Morfogênese	Valor
Estável	Prevalece a pedogênese	1,0
Intermediária	Equilíbrio entre pedogênese e morfogênese	2,0
Instável	Prevalece a morfogênese	3,0

Fonte: Crepani et al. (1996).

Crepani et al. (1996) utiliza em sua análise a UTB – Unidade Territorial Básica – definidas como unidades básicas de informação e análise para o ZEE – Zoneamento Ecológico-Econômico - para a qual se faz necessário o conhecimento de sua gênese, constituição física, forma e estágio de evolução, bem como sua cobertura vegetal. Para isso, utiliza informações de mapas geológicos, geomorfológicos, pedológicos, de vegetação/uso da terra e dados climatológicos.

Partindo para o conceito de riscos ambientais observa-se seu vínculo a importantes temas intensamente debatidos no meio acadêmico, como a questão da interdisciplinaridade e do papel da ciência e da tecnologia no mundo atual. Sob o ponto de vista pedagógico, o mapeamento de riscos ambientais tem fortalecido seu potencial de se configurar, seja como

estratégia de ensino formal, no âmbito escolar, seja como atividade de educação não formal, fora do âmbito escolar (DAGNINO, 2007).

Os conceitos de risco têm sido utilizados em diversas ciências e ramos do conhecimento e adaptados a cada caso em questão. Nessas situações, frequentemente, o termo riscos é substituído ou associa-se a potencial, susceptibilidade, vulnerabilidade, sensibilidade ou danos potenciais.

Segundo Amaro (2005, p. 7), o risco é função da natureza do perigo, acessibilidade ou via de contato (potencial de exposição), características da população exposta (receptores), probabilidade de ocorrência e magnitude das consequências. Em outras palavras, o mesmo autor expõe a face premonitória sobre a análise de riscos dado que embora as definições e interpretações sejam numerosas e variadas, todos reconhecem no risco a incerteza ligada ao futuro, tempo em que o risco se revelará.

Quanto à análise dos diferentes tipos de risco, Lima e Silva et al. (1999) apontam as seguintes definições: a) Análise de Risco: análise somente dos riscos físicos, não considerando aspectos financeiros; b) Análise de Risco Ambiental: avaliação dos riscos que as atividades humanas impõem ao ambiente; c) Análise de Risco Ecológico: riscos às espécies ou ecossistemas; d) Análise de Risco Humano: vinculado à área de saúde pública ou à toxicologia, enfatizando a probabilidade de efeitos indesejados à saúde humana, em função da incorporação de substâncias tóxicas; e e) Análise de Risco Tecnológico Acidental: usado na área industrial e militar, destinado a avaliar danos ao homem.

O termo risco ambiental, foi priorizado nesta pesquisa, partindo do entendimento que as situações de risco não estão desvinculadas do que ocorre em seu entorno, ou seja, do ambiente, em seu sentido amplo, seja ele natural ou construído pelo homem. Diante disso, o risco ambiental torna-se um termo sintético que abriga os demais, sem que eles sejam esquecidos ou menosprezados. De acordo com a conceituação de Veyret e Meschinet de Richemond (2007, p. 63), os riscos ambientais resultam da associação entre os riscos naturais e os riscos decorrentes de processos naturais agravados pela atividade humana e pela ocupação do território.

Muito embora a noção de vulnerabilidade, que se associa à de risco, tem sido também matéria de discussão, Rebelo (2003) considera que existe uma confusão entre os termos utilizados para tratar de riscos e vulnerabilidades, entretanto, existe um ponto de confluência entre os dois conceitos: independentemente das palavras utilizadas, está, na prática, aceite, por quase todos os que se dedicam a este tipo de estudos, que o risco é, então, o somatório de algo que nada tem a ver com a vontade do homem (aleatório, acaso, casualidade ou perigosidade), com algo que resulta da presença direta ou indireta do homem, ou seja, a vulnerabilidade.

O risco é sempre um objeto social. Seja quando uma comunidade ou indivíduo específico são atingidos, vivenciam ou sofrem com um risco natural ou telúrico que, de certa forma, independe de suas ações diretas, seja quando um determinado grupo industrial polui um rio à montante e uma comunidade de pescadores sofre com isso à jusante; assim, o homem é o centro do nosso interesse (DAGNINO, 2007).

Observa-se, portanto, que os riscos são existentes quando há um conjunto de variáveis naturais e sociais, que culminam na ocupação irregular, em ambientes cujas condições físico-naturais tendem ao frágil. A vulnerabilidade está posta quando há um conjunto de fatores naturais e sociais específicos que fomentam a suscetibilidade ao risco. Como visto, o uso e a ocupação inadequados da terra, fomentado pelas características de vulnerabilidade e fragilidade geomorfológica, provoca a existência de áreas de risco socioambiental. Nesse contexto, degradação, vulnerabilidade, suscetibilidade e riscos são conceitos associáveis e particulares entre si e importantes para a construção de uma reflexão sobre prevenção de desastres (GIRÃO, 2018).

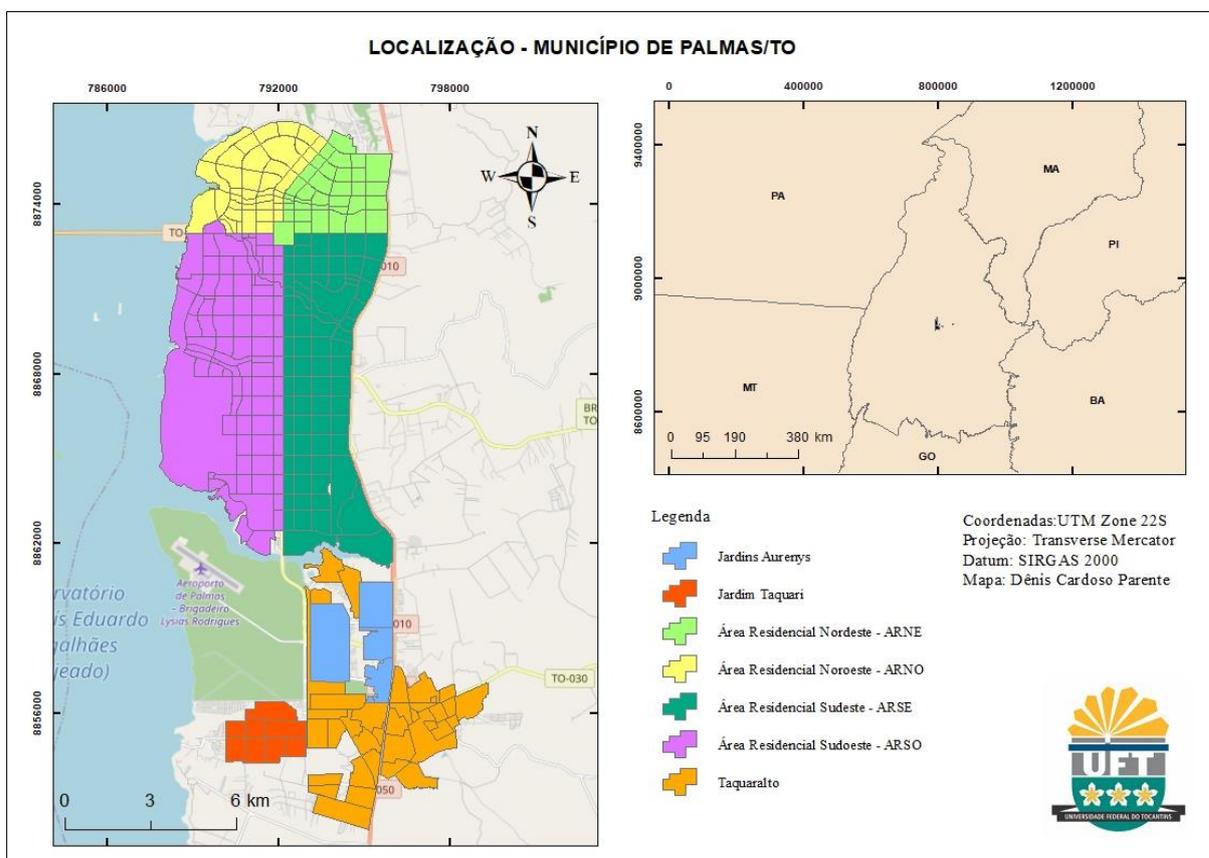
3 OCUPAÇÃO URBANA E CONSEQUÊNCIAS NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM PALMAS – TO

O crescimento desenfreado da população urbana em cidades de países em desenvolvimento é um tema recorrente (ALMEIDA, 2003; KAUFFMANN, 2003; ROLNIK; KLINK, 2011). Esse fator gera uma série de impactos de cunho geral, como, por exemplo: econômico, social, cultural e ambiental, que interferem diretamente no cotidiano da população. Para Polidori, (2004), a apropriação não planejada do solo, além de causar danos por meio da

ocupação de áreas de preservação pela população mais desfavorecida financeiramente, é um dos impactos que traz danos visíveis à população em várias facetas da sociedade.

Dentre as capitais do Brasil, Palmas é a capital mais jovem com apenas 31 anos, dotada de uma área de 2.218,942 km², segundo o IBGE. Após um longo período disputando uma separação territorial com o norte do estado de Goiás, a conquista foi resultado de um processo que começou no século XIX, que culminou na separação territorial em 1989, logo após a criação do estado do Tocantins pela Constituição de 1988. A Figura 4 traz o mapa situacional da capital.

Figura 4 - Localização da cidade de Palmas – TO.



Fonte: Autor (2023).

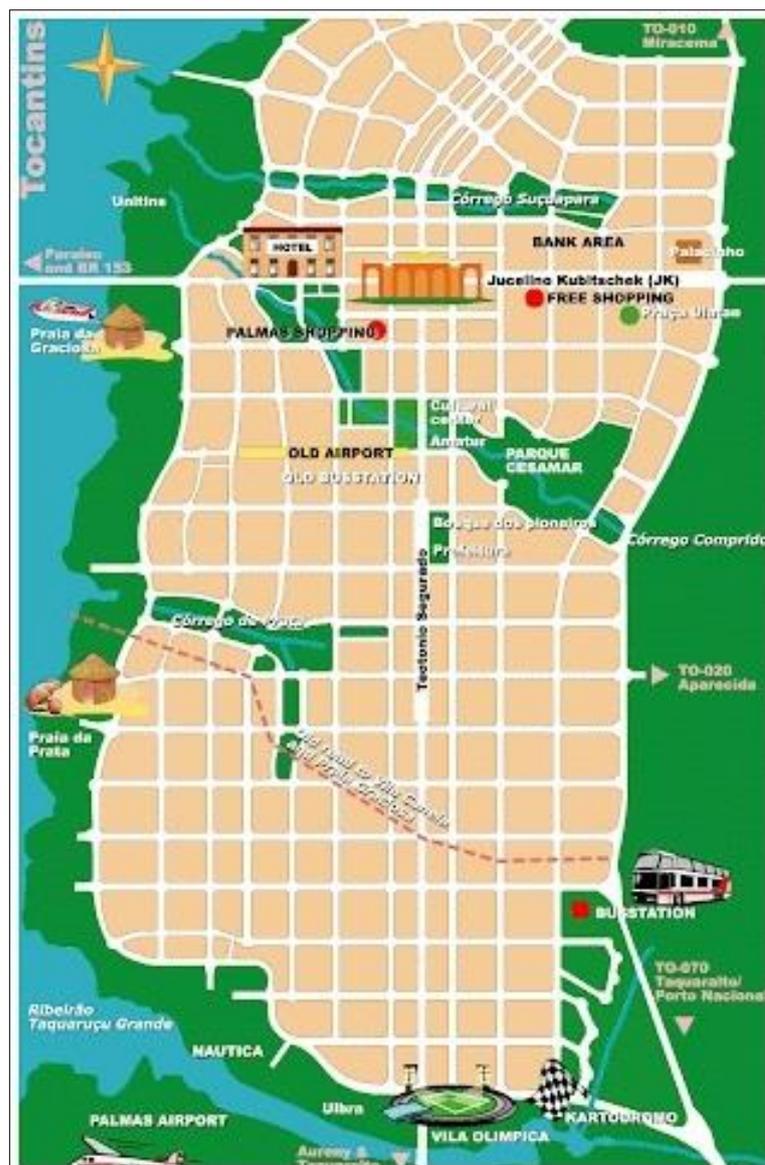
Segundo Cordeiro e Chaves (2021) desde os movimentos que antecederam a criação do Estado do Tocantins, a maior preocupação daqueles que residiam nessa região era em ter um local que atendesse a todas as necessidades estruturais que o novo estado exigia para a implantação da capital. Houve sugestões tanto no sentido de instalação em cidades que já existiam, como em realizar a construção da capital do estado. Com a criação do estado fez-se necessário definir uma capital provisória, com isso Miracema se tornou a primeira, por ser a cidade mais próxima da atual capital e por ter ótima facilidade de acesso entre as duas. Porém,

não demorou muito e em janeiro de 1990, Palmas se tornou a capital definitiva por ser maior em extensão territorial e pela expectativa de ser um grande polo comercial.

A cidade foi planejada com um projeto pretensamente inovador de capital modelo do século XXI, apresentando avenidas bem amplas, grandes praças e parques, e terrenos predominantemente planos e próximos a lagos (BRITO, 2010). Ainda segundo o autor, com o início da ocupação, as autoridades governamentais da época fomentaram a entrada de imigrantes com uma possibilidade de que empresários e comerciantes tivessem oportunidades para ampliar e garantir seus capitais.

Entre a rodovia TO-050 e a via parque está a Avenida Teotônio Segurado, sentido norte-sul, principal via coletora da cidade. A Avenida Juscelino Kubitschek, no sentido Leste-Oeste, cruzando a Teotônio Segurado, complementa o traçado viário básico. No cruzamento destas duas avenidas localizam-se os principais edifícios públicos do Governo do Estado e a Praça dos Girassóis, conforme ilustra a Figura 5.

Figura 5 - Arranjo urbanístico de Palmas – TO.



Fonte: Autor adaptado palmas.org (2023).

Em torno desta praça foram alocadas as atividades urbanas capazes de gerar centralidade como bancos, escritórios, clínicas médicas, restaurantes, cinemas e mesmo edifícios mistos com apartamentos. O sistema de quadras permitiria, conforme plano inicial proposto para ocupação de Palmas, grande flexibilidade de implantação, abrigando o uso residencial com densidade mínima prevista de 30.000 hab/km².

Cordeiro e Chaves (2021) relatam que o plano diretor básico do município previa o parcelamento da capital em três partes, com áreas destinadas ao comércio, a indústrias e a áreas residenciais. A estratégia era de implantação e ocupação do solo urbano pelo método faseado de adensamento, sendo a 1ª fase, ocupação da área central, 2ª fase ocupação ao sul da primeira

fase, entre córrego Brejo Comprido e córrego da Prata, 3ª fase ocupação ao norte da primeira fase entre Sussuapara e córrego Água Fria, a 4ª fase entre os córregos da Prata e Taquaruçu Grande e 5ª fase área de expansão ao sul e ao norte do projeto piloto de Palmas.

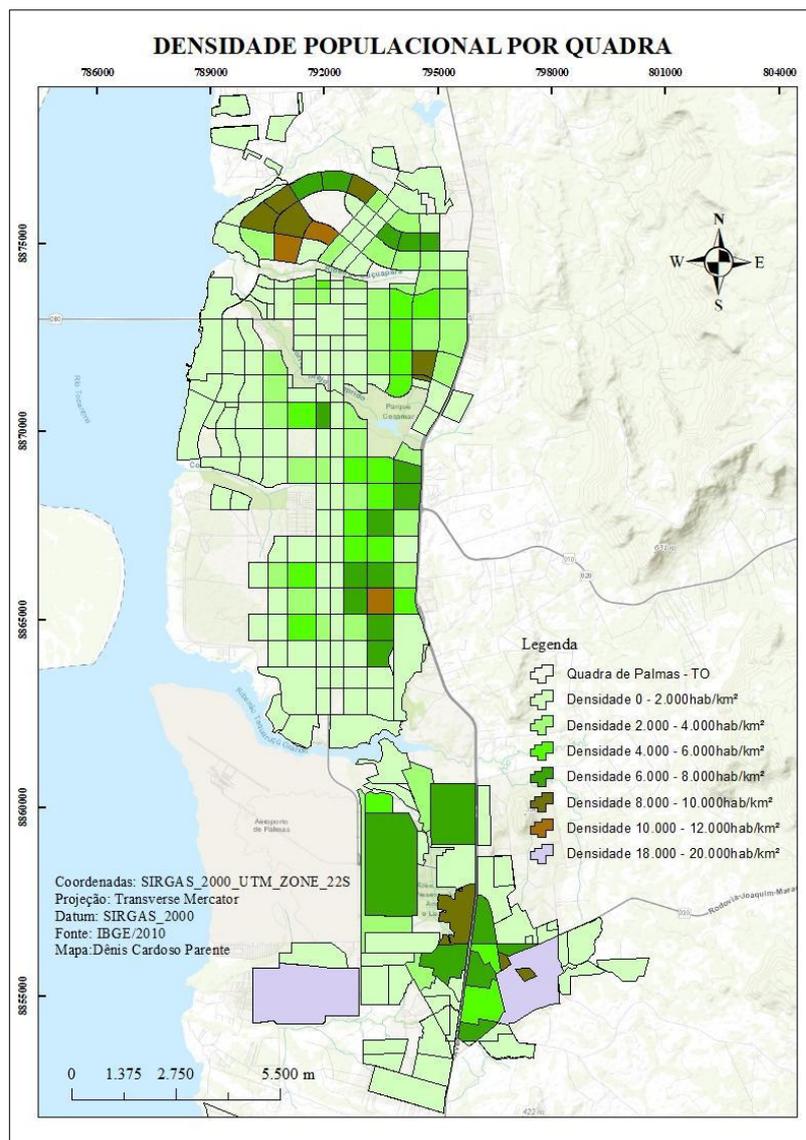
No entanto, a ocupação estratégica não ocorreu como previsto e nos quatro primeiros anos da capital, as duas primeiras fases já se encontravam em processo de expansão com uma densidade bruta equivalente a 0,10 habitantes por hectare, consideravelmente abaixo da média de 300 habitantes por hectare definido no Plano Básico (CORDEIRO; CHAVES, 2021).

Nos primeiros anos de ocupação um grande contingente de população migrante se instalou em áreas periféricas da cidade, antes que as parcelas do macrozoneamento da cidade fossem ocupadas, justamente o oposto da ideia original de ocupação a partir do núcleo central. Os mecanismos de formação de preço e de acesso à terra designaram boa parte da demanda por moradia, sobretudo, para os bairros satélites de Taquaralto e dos Jardins Aureny's (I, II, III e IV), bairros formados fora das macrozonas, e para as quadras ARNO 31, 32 e 33 (Área residencial noroeste), ocupadas, principalmente, irregularmente por meio de invasões de terrenos (COSTA; APARECIDO; COSTA, 2022; BESSA, 1989; BAZOLLI, 2009; RODOVALHO et al., 2019).

Nota-se pelo mapa da Figura 6 que a densidade populacional chega a 18.000 hab/km² em áreas periféricas, como Taquaralto, Taquari e Jardins Aureny's, e nas Quadras da Região Norte, enquanto as regiões centrais não ultrapassam o 6.000hab/km², de acordo com o recenseamento do IBGE de 2010².

² Até o momento de finalização desta pesquisa o IBGE ainda não tinha liberado os dados do recenseamento de 2022 por setor censitário.

Figura 6 - Densidade populacional por quadra de Palmas – TO.



Fonte: Autor (2023).

A interrupção da estratégia de ocupação ordenada deu-se da seguinte forma: o núcleo central se expandiu no sentido norte-sul, contrariando a lógica econômica para implantação das infraestruturas. Por outro lado, os mecanismos de formação de preço e de acesso à terra empurraram a maioria da população de baixa renda para a região de expansão sul. Tendo sido rompido o planejamento inicial, bem antes que as áreas mais próximas do centro fossem ocupadas, a população necessitou (ou mesmo foi conduzida pelas legislações urbanísticas) ocupar áreas mais distantes do centro, das oportunidades de emprego e de importantes equipamentos públicos. O sul de Palmas, distante da área central, cuja ocupação estava prevista apenas para a quinta fase de expansão no Plano Diretor original, engloba, atualmente, um

conjunto de 14 bairros, onde residem cerca de 40% da população da cidade (KRAN; FERREIRA, 2006).

As maiores densidades na Região de Palmas Sul (Taquaralto e Jardins Aurenys) e nas Quadras da Região Norte coincidem com as áreas inicialmente ocupadas através de ocupações irregulares de lotes urbanos (parte deles posteriormente urbanizados e regularizados), para onde migrou o contingente populacional mais pobre, mantendo-se esta tendência de ocupação nas demais quadras desta região da cidade e de surgimento de bairros periféricos.

Muito embora se tenha buscado a estratégia de expansão controlada do plano diretor, uma vez aberto o sistema viário, foram implantadas quadras de forma dispersa e que não garantiam o aproveitamento econômico e racional da infraestrutura de serviços públicos. A expansão acabou desobedecendo inclusive à declividade do terreno, prejudicando assim o aproveitamento da gravidade para a implantação de sistema de coleta de esgoto, distribuição de água e a drenagem de águas pluviais.

Assim, há muitos problemas decorrentes da má execução do plano básico da cidade. Iniciando o processo de ocupação o governo do estado passou a ser o maior detentor de terras no município, adquiridas por meio de compra, doação ou desapropriação. Essas áreas, segundo Bazolli (2012), foram utilizadas como forma de pagamento às empreitadas e/ou vendidas como forma de aumentar o capital financeiro do Estado.

A forma de atuação governamental não conseguiu custear as despesas com urbanização e infraestrutura das áreas distantes do centro, permitindo o avanço de favelas no entorno do eixo central, com ocupações precárias e irregulares, e ainda a especulação imobiliária, incentivada inicialmente pelo poder público e continuada pela iniciativa privada (TEIXEIRA, 2009). Segundo Bazolli (2009) outro fator relacionado à ocupação de Palmas que merece destaque se refere à forma dispersa em que as ocupações foram realizadas no âmbito do Plano urbanístico, configurando avanço rápido das áreas de expansão. O critério de ocupação definido no Plano Diretor, somente foi respeitado até o ano de 1991.

A Secretaria de Desenvolvimento Urbano, Meio Ambiente e Habitação em diagnóstico preliminar apresentado em 2013 informou que as principais problemáticas identificadas no setor habitacional de Palmas são: ocupações irregulares de Áreas de Proteção aos Mananciais (APM's), Áreas de Proteção Permanente (APP's) e áreas verdes – barracos; loteamentos irregulares; cortiços; dificuldades de acesso à terra; alto ônus com aluguel e coabitação – várias famílias em um mesmo imóvel.

Na pesquisa desenvolvida por Braga, Mendonça, Tavares (2021) percebe-se que o processo de regularização fundiária em Palmas não ocorre de acordo com um planejamento

delineado em torno das áreas irregulares. As demandas vão sendo atendidas pelo Poder Público quando acontece pressão da população local. Atualmente, a demanda maior corresponde às áreas antigas já consolidadas, loteamentos irregulares e clandestinos, áreas que foram ocupadas com pouca organização das famílias e fora do perímetro urbano.

Segundo Junior (2020) em estudos referentes a produção do espaço urbano da cidade de Palmas, foi evidenciado que, o planejamento e a execução feita pelo Estado, como proprietário fundiário e promotor imobiliário, não foi seguido, tendo materializado a ideia de espírito mercadológico, que visou à acumulação de capital através da venda e da valorização do solo urbano, tendo posteriormente a ação do capital imobiliário, nas glebas e lotes, doados e comprados.

Esse modelo tendeu à formação de vazios ou de “espalhamentos”, através da descontinuidade na ocupação do solo urbano, onde parcelas (lotes) ficaram, a princípio, sem uso, sendo utilizadas mais tarde para a exploração imobiliária. O Instituto Municipal de Planejamento Urbano de Palmas – IMPUP (2017, p.13) define como o processo de urbanização do município foi realizado:

Palmas foi concebida através de um projeto urbanístico modernista, abrangendo uma área urbana com 11.085 hectares, com capacidade para abrigar cerca de 1 milhão e 200 mil habitantes. Esse projeto previa fases de ocupação e adensamento, estabelecendo diretrizes para seu crescimento e desenvolvimento com um eixo central adensado, onde se concentram serviços urbanos. Entretanto, o processo de ocupação foi alvo de ocupações por famílias de imigrantes que vieram para trabalhar na construção da cidade e não seguiu as diretrizes traçadas, nem as etapas de sua ampliação, tampouco as densidades planejadas, gerando nas regiões centrais um grande número de vazios urbanos e nas regiões periféricas uma densa concentração da população de menor poder aquisitivo (IMPUP, 2017, p.13).

Este histórico da urbanização em Palmas resultou em muitos terrenos vazios na zona central da cidade, justamente onde o acesso aos serviços de engenharia e saneamento são mais eficientes. Por outro lado, áreas periféricas onde estes serviços são escassos acabam sendo ocupadas pela população que não possui condições financeiras de morar no centro. Este espraiamento da mancha urbana implica em um aumento de custo ligado à infraestrutura e à construção de equipamentos, já que há uma área de infraestrutura consolidada na porção mais central, mas que é permeada de vazios urbanos, tornando contraproducente novos investimentos em áreas mais distantes.

Assim, apesar de ficar clara a intenção de promover uma ocupação ordenada e sequenciada, o que se observou foi um processo desordenado de ocupação do território, concentrando nas regiões centrais muitos vazios urbanos e nas regiões periféricas uma densa

concentração da população de menor poder aquisitivo (CORIOLANO; RODRIGUES, 2013; MAGALHÃES, 2009; BESSA; OLIVEIRA, 2017; BESSA, 2015; CARVALHÊDO, 2011).

Diante dessa conjuntura do histórico do crescimento demográfico que gerou uma segregação socioespacial, foi criado o PDP (Plano Diretor Participativo) um mecanismo político estratégico da gestão de desenvolvimento de todo o Município (Lei complementar N° 400/2018³).

Em seu estudo sobre a elaboração do plano diretor participativo de Palmas (PDPP), Rodovalho et al. (2019) afirmam que buscou-se seguir a metodologia e as determinações do então Ministério das Cidades, bem como a Campanha Nacional do Plano Diretor (RODOVALHO et al., 2019).

O plano diretor da cidade faz este diagnóstico no capítulo II, ao estabelecer os objetivos da existência desse mecanismo na gestão de qualidade da comunidade. Nessa perspectiva, a primeira cláusula do Art. 6° traz “democratizar o acesso à terra, à moradia e aos serviços públicos de qualidade, revertendo o processo de segregação socioespacial.”

Além disso, respalda inúmeros fatores, entre eles:

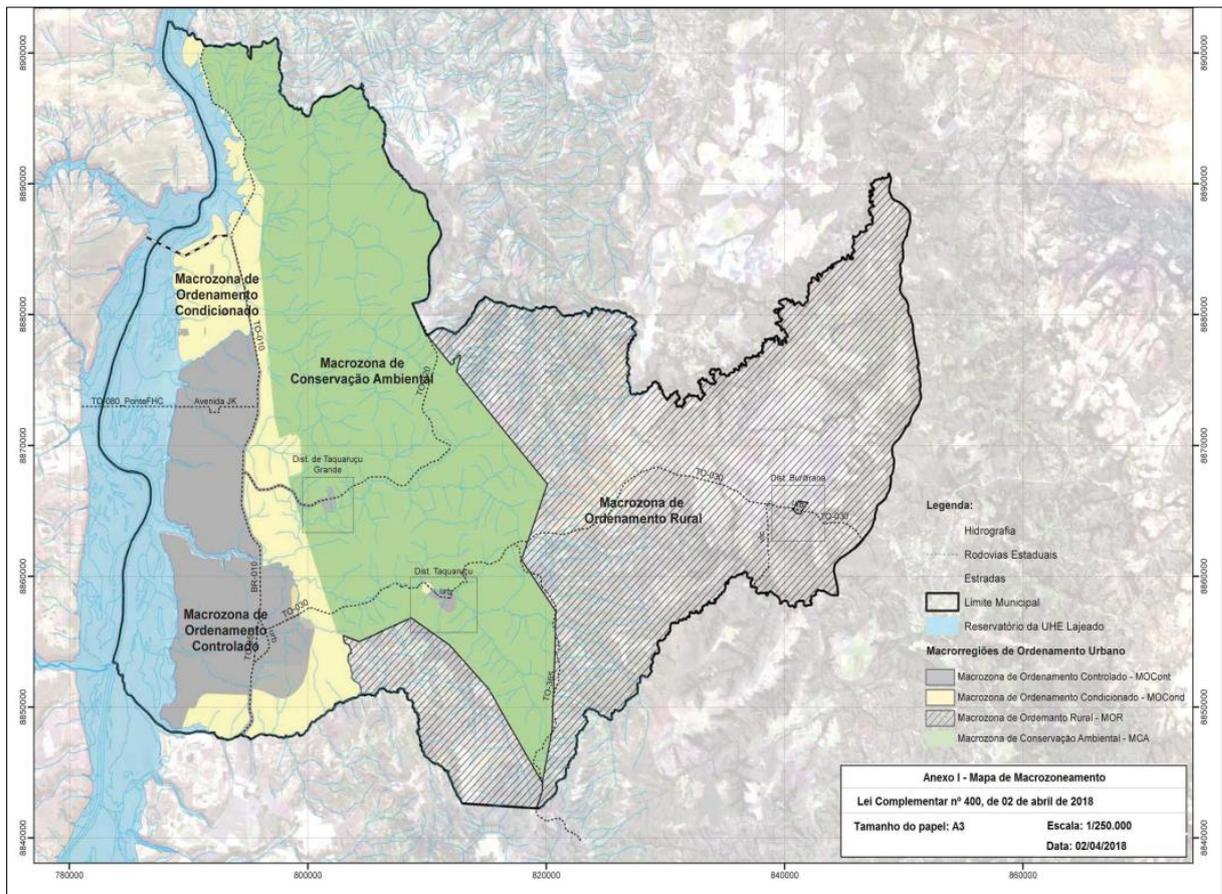
- A reafirmação dos compromissos para com o desenvolvimento urbano sustentável;
- A promoção do reordenamento do território priorizando a racionalização, a sustentabilidade e a ocupação dos vazios;
- Fomentar a diversidade econômica no Município disciplinando a instalação de usos e atividades e criando mecanismos para a disseminação e fortalecimento de centralidades no território;
- Promover a distribuição dos equipamentos urbanos e comunitários, dos espaços livres de uso público e das áreas verdes, de forma a atender à população residente em todas as áreas do Município.

Em contrapartida o ordenamento territorial tratado no Art. 7° é marcado pela fase de ocupação do estado constituído por Macrozonas, conforme Figura 7.

- Macrozona de Ordenamento Controlado (MOCont);
- Macrozona de Ordenamento Condicionado (MOCond);
- Macrozona de Ordenamento Rural (MOR);
- Macrozona de Conservação Ambiental (MCA).

³ O Plano Diretor anterior também foi denominado de participativo: Lei Complementar 155/2007.

Figura 7 - Macrozoneamento e zonas especiais de Palmas - TO.



Fonte: Lei Complementar nº 400/2018.

Para Lira (1995), a segregação socioespacial na cidade aconteceu devido o processo de lotes não habitados na zona urbana da cidade ter sido gerado pelo não cumprimento dos preceitos estabelecidos pelo plano original da cidade pelos governantes da época, onde os mesmos corromperam, desvirtuaram e até mesmo manifestaram desconhecimento do que se havia planejado para a ocupação do solo da capital. Coriolano, Rodrigues (2013), destacam que as questões referentes ao processo de segregação espacial são comumente lidas como fruto da contradição entre interesses públicos e privados, e que apesar dos discursos oficiais, que caracterizam a formação de uma cidade planejada e democrática o que se notou, no entanto, assemelha-se aos padrões observados em tantas outras cidades brasileiras e latino-americanas.

Kran, Poley, Ferreira (2005) afirmam que na cidade de Palmas o acesso a espaços urbanos e às melhores condições de moradia não se difere dos padrões das demais cidades brasileiras, constituindo um bom exemplo de como as cidades planejadas também encerram a insatisfatória condição de produtoras de espaços segregados.

Fato é que mesmo após a instituição da legislação que busca evitar esta segregação como o Estatuto das Cidades e Planos Diretores, ela continua acontecendo e a área da cidade tem se ampliando cada vez mais mesmo com terrenos vazios em sua área central. Muitos autores afirmam que as políticas de uso e cobertura da terra em áreas urbanas que vigoraram desde o início da ocupação da cidade, juntamente com os instrumentos urbanísticos, foram inclusive utilizadas para legitimar este modelo de ocupação (MAGALHÃES, 2009; DE SOUSA, 2015; BESSA; OLIVEIRA, 2017; BESSA, 2015; CARVALHÊDO, 2011).

Para Cristina, Cantuária (2016) a especulação imobiliária e os elevados preços dos imóveis dificultam a aquisição da moradia pela população de baixa renda em áreas regulares e com infraestrutura. Os autores afirmam que há uma discussão a ser feita em Palmas que envolve a Política Municipal de Habitação e a revisão da Lei de Uso do Solo, para que se avalie a intensidade dos vazios existentes em área urbana e a necessidade de desenvolvimento de programas habitacionais em áreas centrais.

Com relação à drenagem urbana o plano diretor de 2018 é bem claro ao indicar medidas para a drenagem urbana sustentável (conforme seção IV - Do manejo de águas pluviais e subseção única – Da drenagem sustentável). No entanto, a drenagem urbana não tem sido elemento central nos estudos sobre a urbanização em Palmas, apesar dos alagamentos serem frequentes na cidade. Desta maneira as políticas de urbanização dos vazios urbanos existentes devem incluir a avaliação da dinâmica da drenagem urbana e impermeabilização decorrente da ocupação urbana.

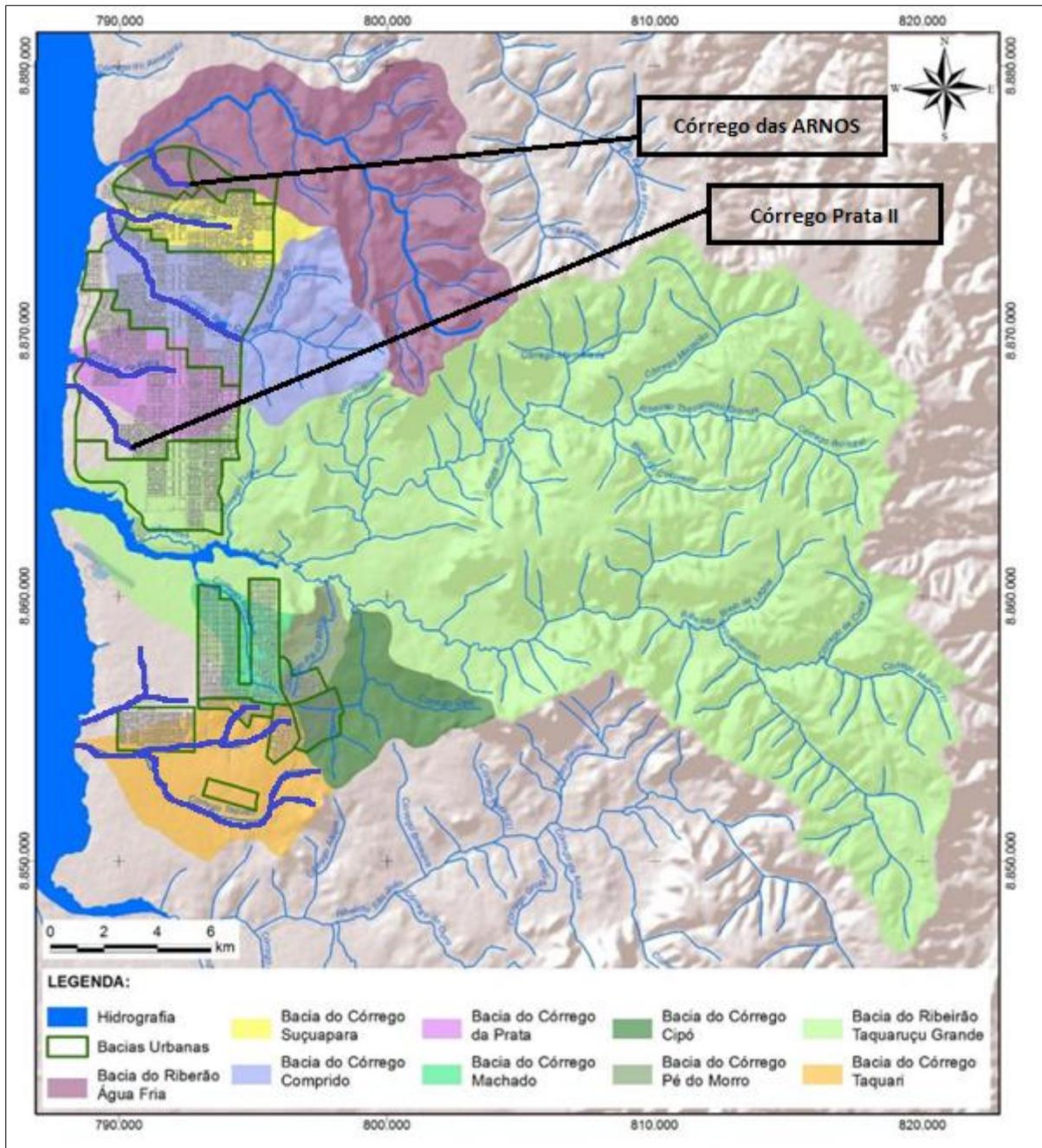
3.1.1 Escoamento superficial em Palmas

Associar os problemas inerentes ao escoamento superficial de águas pluviais em uma cidade com uma baixa densidade populacional e de domicílios pode parecer contraditório, ou mesmo não estar relacionado ao processo de ocupação de Palmas, haja vista que a ocupação urbana e consequentemente a impermeabilização do solo é um dos principais fatores que potencializam esse efeito. No entanto, problemas como alagamentos, enchentes e enxurradas em áreas urbanas não estão relacionados tão somente ao fator ocupação da terra, mas também às falhas no sistema de drenagem e características físicas.

A maioria dos cursos d'água que atravessam a cidade fluem no sentido leste-oeste, em direção ao Lago da UHE Lajeado e possuem suas margens relativamente protegidas da ocupação urbana e impermeabilização. Na Figura 8 estão evidenciados os cursos inseridos na

área urbana de Palmas e dois deles, por não estarem especificados na base vetorial do município foram nomeados e destacados aqui como Córrego das ARNOS e Córrego Prata II.

Figura 8 - Bacias Urbanas do Município de Palmas – TO.



Fonte: Plano Municipal de Saneamento / Palmas (2013).

No aspecto institucional da capital, a gestão e gerenciamento do Setor de Drenagem Urbana não compete a um órgão ou setor técnico que apresente autonomia administrativa e

financeira, como ocorre com o abastecimento de água e esgoto sanitário, constituindo-se assim em uma fragilidade político-institucional no contexto da administração municipal.

No município de Palmas, o gerenciamento da drenagem urbana fica sob a responsabilidade da Secretaria Municipal de Infraestrutura e Serviços Públicos através da Superintendência de Obras. Ele é estruturado pela Diretoria Geral de Planejamento de Obras e Diretoria de Obras Viárias.

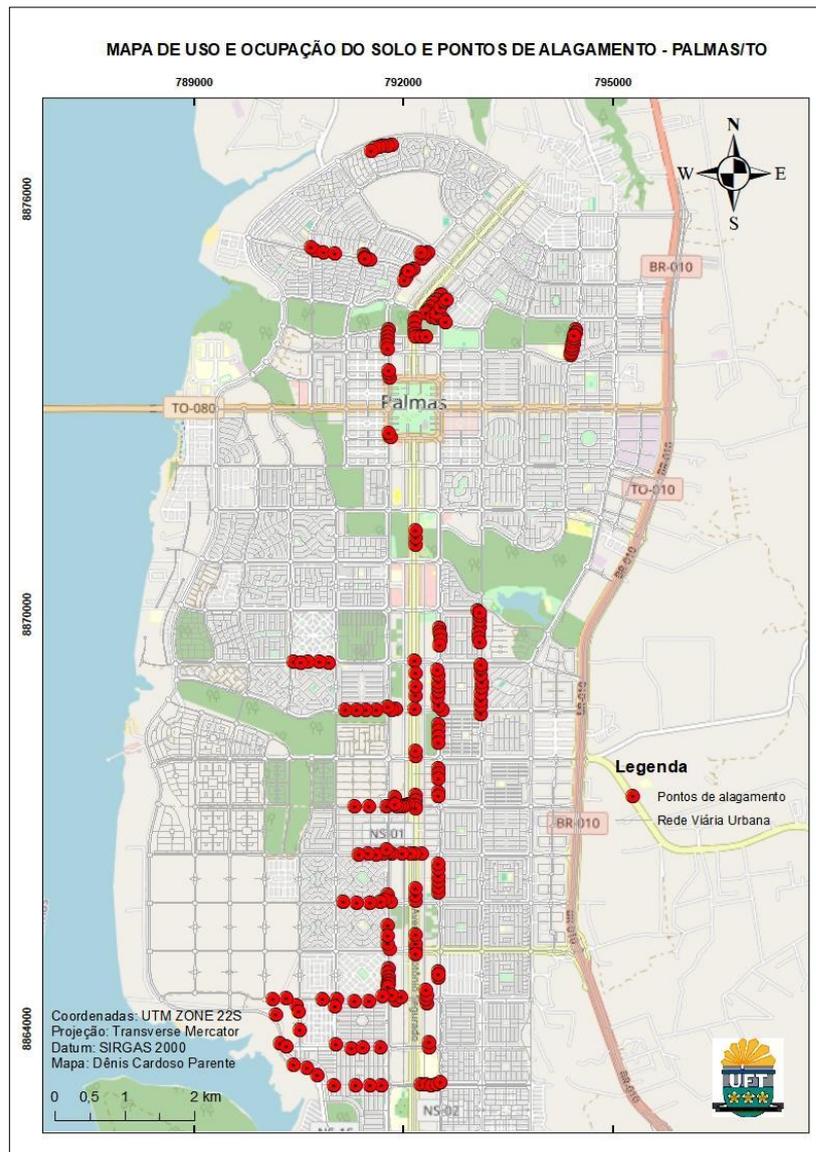
Como a exemplo de outras cidades do Brasil, o crescimento do município de Palmas tem problemas recorrentes de infraestrutura local. O Quadro 3 foi disponibilizado pela Secretaria de Infraestrutura de Palmas – TO e indica os pontos críticos de alagamento na cidade (Figura 9).

Quadro 3 - Pontos Críticos de Alagamentos no município de Palmas/TO.

Região	Pontos Críticos de alagamento
Norte e Centro-Norte (SEDE)	Quadras (212N, 405N, 406N,504N e 506N); Av. Teotônio Segurado com a Av. LO-01 (junto ao Palácio Araguaia), LO- 09, LO-11, LO-21, LO-23, LO-25, LO-06A, LO-10; Av. Teotônio Segurado entre a LO13 e LO11; Av. LO-13 e LO11 com NS4; Av. LO-09 na Quadra 403 S; Av. LO-13 na Quadra 605 S; Av. LO01 com a NS-1 (junto ao Palácio Araguaia); Av. NS-01 com a LO06; Av. LO-10 com a NS-01 Av. LO-10 com a NS-03; Área Verde 403 N; Av. NS-15 na Quadra 607N.
Sul	Quadras (804S, 806S, 904S, 906S, 1004S, 1006S, 1104S, 1106S, 1204S, 1206S); Microdrenagem (508N, 408N,112S, 812S, 506N, 212N, 812N); Área Verde 112 e 109 – Setor Morada do Sol I e II Rua S-01 / P-03 e Av. Castro Alves na Quadra QI03 – Bairro Bela Vista Ruas S-01 / P-04 na Quadra QI23, P-04/P-05 na Quadra QI24, P-05/P06 na Quadra QI25 e P-06 na Quadra QI26 – no Setor Sul; Final da Rua 15 junto ao córrego Taquaruçu; Setor Taquaralto, 1007S, 405S, 506N e 212S.

Fonte: Autor (2023).

Figura 9 - Pontos de alagamento ao longo do perímetro urbano de Palmas - TO.



Fonte: Autor (2023).

O Plano Municipal de Saneamento do Município apresenta dados fundamentais para os estudos e projetos de drenagem urbana, como precipitações intensas, distribuição temporal e espacial e frequência de ocorrência, no entanto estes dados foram obtidos de forma indireta e com metodologia voltada à escala regional e que possivelmente não reflete a realidade local, sendo ainda insuficientes para a fundamentação de diretrizes necessárias para se gerenciar o escoamento de águas pluviais dentro da cidade (PALMAS, 2014).

A equação de intensidade duração e frequência (IDF), também conhecida como equação da chuva para a cidade, por exemplo, foi elaborada utilizando-se dados do banco da Agência Nacional de Águas ainda em 2008 (Equação 2).

$$I = \frac{749,97 \times Tr^{0,104}}{(t + 9)^{0,702}} \text{ (equação 2)}$$

Onde:

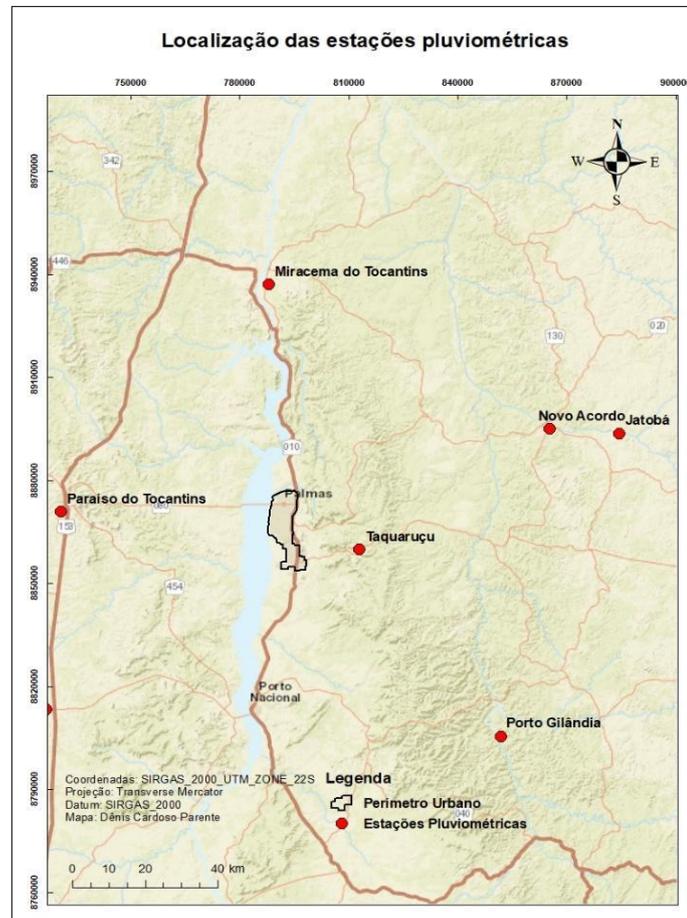
I = intensidade de precipitação (mm/h);

Tr = tempo de retorno adotado (anos);

td = tempo de duração da chuva de projeto (minutos).

Foram levantados dados de precipitação advindos de 7 (sete) postos pluviométricos, próximos ao município, num raio de 100 km, tornando difícil as estimativas por conta do baixo número de estações e suas distâncias. Estes postos são de responsabilidade da Agência Nacional de Águas (ANA) e operados pela Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais (CPRM). A Figura 10 abaixo identifica as estações de coleta dos dados pluviométricos utilizado na elaboração da equação de chuva para Palmas – TO.

Figura 10 - Estações pluviométricas de coletas de dados.



Fonte: Autor (2023).

O Plano Municipal de Saneamento de Palmas – TO utiliza o método do Soil Conservation Service (ACS) para a modelagem chuva-vazão das bacias identificadas em Palmas. Este é um dos métodos mais populares entre os projetistas, principalmente porque apresenta um único parâmetro: o Curve Number ou CN, que se encontra tabelado em muitos manuais de drenagem urbana e traduz a cobertura e o tipo hidrológico do solo desconsiderando a área impermeável. O parâmetro CN dá-se em função da capacidade de armazenamento de água do solo (S). Assim, solos com alta capacidade de armazenamento de água possuem baixos valores CN e vice-versa.

O plano identificou valores provenientes de uma análise de prognósticos sobre as condições de urbanização das bacias de contribuição da cidade, onde as vazões geradas foram incrementadas conforme a mudança de cobertura da terra, impermeabilização e de alteração nos seus balanços hídricos. Desta forma, foram estimadas as vazões futuras para cada bacia urbana de Palmas levando-se em consideração a alteração tanto dos valores de CN como das áreas atualmente desocupadas na zona urbana que passarão a áreas urbanizadas.

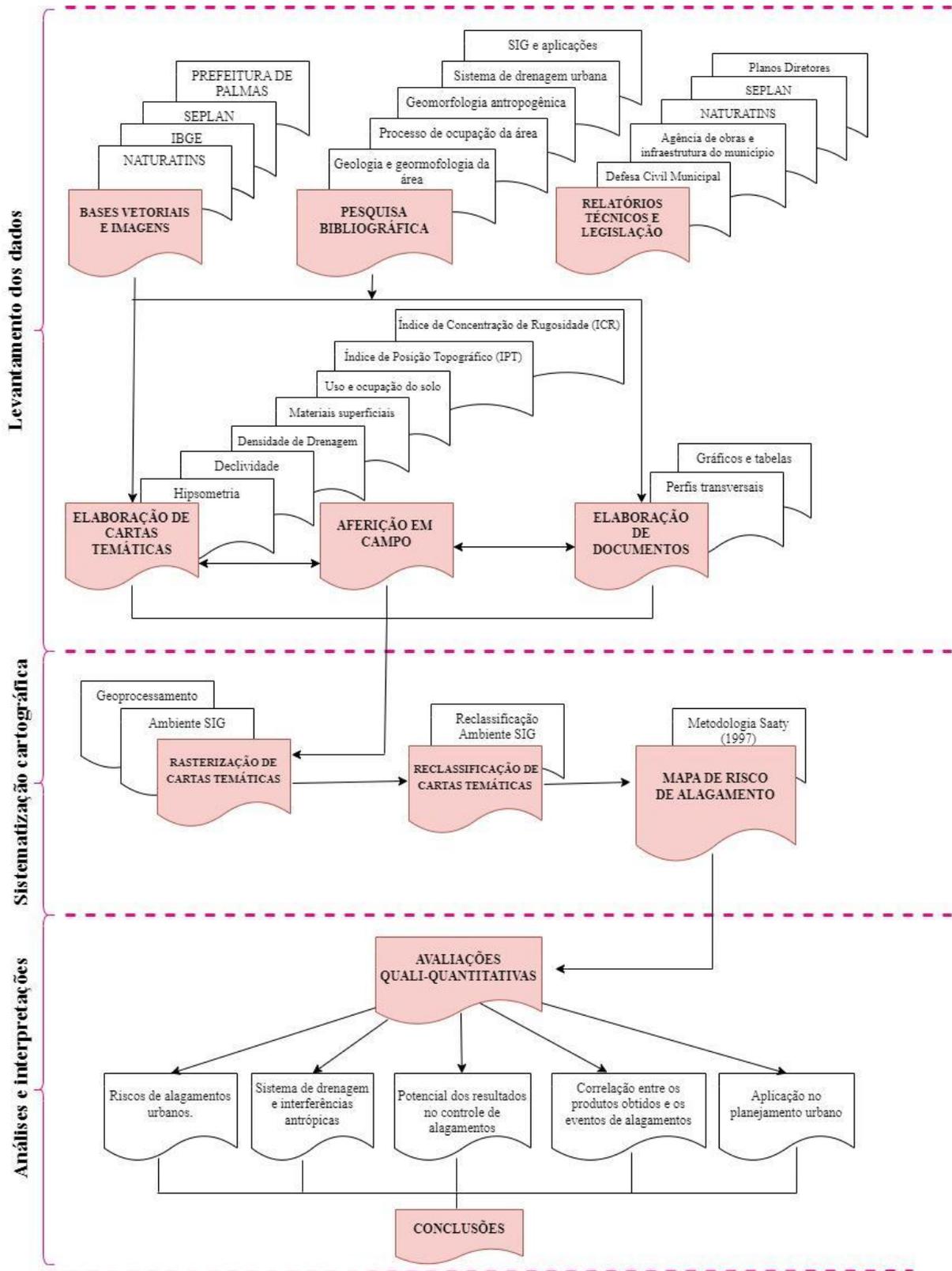
4 METODOLOGIA

Com base nos estudos apresentados no referencial teórico e nas características do meio físico e da urbanização da cidade de Palmas, a metodologia desta pesquisa foi orientada para compreender e identificar:

- as características geomorfométricas da área da cidade e suas relações com os eventos de alagamentos;
- o potencial de ocorrência de alagamentos na cidade por meio do mapeamento de risco;
- as políticas públicas e as possibilidades de gestão urbana voltadas à redução de riscos associados aos alagamentos, tendo em vista processo de expansão urbana da cidade.

As etapas metodológicas são apresentadas no fluxograma da Figura 11.

Figura 11 - Fluxograma das etapas da pesquisa.



Fonte: Autor (2023).

4.1 Levantamento de dados

A etapa de levantamento de dados foi inicialmente pautada na pesquisa bibliográfica, aquisição de bases cartográficas, relatórios técnicos e dados oficiais referentes à infraestrutura de drenagem da cidade e pontos críticos de alagamentos.

Os referenciais teóricos consideraram os princípios da análise geomorfométrica e dos processos de escoamento superficial em áreas urbanas, as principais características dos sistemas de drenagem urbana e os processos históricos de ocupação urbana da cidade, suas modificações nas características morfométricas prévias e implicações no escoamento superficial na área urbana de Palmas.

Em linhas gerais, o entendimento do regime de escoamento de águas pluviais em Palmas pode ser subsidiado por características geomorfológicas da cidade, pelas bases hidrográficas e altimétricas da Prefeitura de Palmas em escala de detalhe de 2003, que se refere somente à área urbana daquele ano, pelo estudo de Castro (2018) que fornece dados detalhados sobre a composição dos materiais superficiais que compõem a estrutura pedológica, geológica e densidade de drenagem da cidade, bem como subprodutos gerados a partir dos referidos mapas, como altitude e declividade.

Não foram encontrados mais trabalhos específicos sobre a geologia e geomorfologia em escalas que contemplassem a área urbana da cidade, nem cartografia de detalhe para além da área mapeada em 2003. Desta maneira, o levantamento de dados também foi baseado em imagens de satélite fornecidas pelo programa *GoogleEarth Pro*, bases cartográficas em escalas médias, estudos urbanísticos e documentos sobre a ocupação histórica da cidade.

Os dados referentes à identificação dos pontos de alagamento na área urbana de Palmas foram obtidos por meio da Defesa Civil do município e da identificação feita em campo durante os períodos chuvosos (novembro/2022 a dezembro/2023) ao longo do desenvolvimento da pesquisa.

Não há registros de pontos de alagamentos no sul da cidade e em ocupações irregulares, o que pode estar relacionado ao fato de tais regiões serem desassistidas pela defesa civil do município que, por conseguinte, resulta numa ausência de um banco de dados consistente para estas regiões.

Após a confecção e análise preliminar dos mapas temáticos de densidade de drenagem, declividade, índice de concentração de rugosidade, cobertura da terra, materiais de superfície (solo), índice de posição topográfica e altitude, foi elaborado o mapa de risco de alagamento, por meio da análise hierárquica (*Analytic Hierarchy Process - AHP*) proposta por Saaty (1977),

perfis transversais em pontos estratégicos, gráficos e tabelas que subsidiaram a interpretação dos resultados.

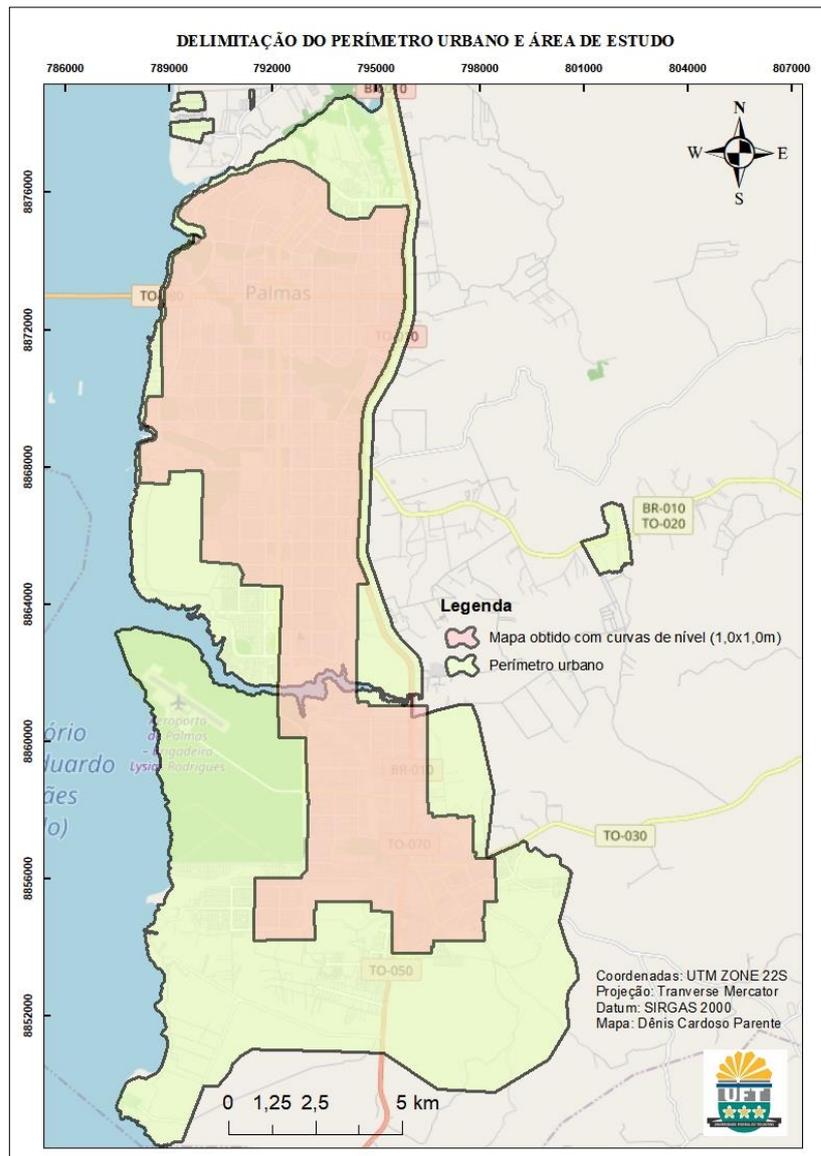
Como os dados altimétricos disponibilizados pela prefeitura não abrangem toda a área urbanizada da cidade, buscou-se expandir a área de interpretação a partir da base SRTM.

Os dados de elevação SRTM são gerados por meio da técnica de interferometria por sensoriamento remoto operante na faixa de microondas disponibilizados em diferentes fontes, como a USGS (United States Geological Survey), a EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) e o Projeto TOPODATA. Tais fontes disponibilizam os dados como produtos de diferentes processamentos digitais e assim, os Modelos Digitais de Elevação (MDEs) obtidos a partir destes dados, podem apresentar diferenças significativas em relação às informações extraídas.

Deve-se levar em conta, que os resultados das técnicas empregadas na missão SRTM são os MDEs, pois os sinais de radar são refletidos, por exemplo, pelo dossel das árvores, em áreas densamente florestadas e não pelo terreno subjacente. Os termos Modelo Digital de Terreno (MDT) e Modelo Numérico de Terreno (MNT) devem ser reservados para casos em que o modelo é produzido a partir de valores de altitude do nível do solo, obtidos, por exemplo, em mapas topográficos (curvas de nível), levantamentos por GPS, ou por altimetria a laser (GROHMANN et al., 2008).

As delimitações das áreas para as duas bases utilizadas podem ser observadas na Figura 12.

Figura 12 - Delimitação da área de estudo e perímetro urbano total para a base SRTM.



Fonte: Autor (2023).

O mapa de cobertura da terra foi baseado em imagens de satélite fornecidas pelo programa *GoogleEarth Pro*, e levou em consideração os conceitos apresentados por IBGE (2013), onde 'uso da terra' se refere aos elementos da natureza (vegetação natural e plantada, água, gelo, rocha nua, areia) e às construções artificiais criadas pelo homem (prédios, vias, barragens etc.). Portanto, não se trata de um mapeamento de 'cobertura da terra', que está relacionado à função socioeconômica (agricultura, habitação, proteção ambiental). O uso da terra e a cobertura da terra são distintos, o primeiro se referindo às atividades conduzidas pelo ser humano em uma determinada extensão de terra e o segundo refletindo as operações

desenvolvidas pelo ser humano com a intenção de obter produtos e benefícios, através do uso dos recursos da terra (BIFFI et al, 1996).

Os dados tomados com Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) foram obtidos por meio do aparelho modelo eBee, e os dados de cobertura foram obtidos e processados no software proTerra. Os dados de campo foram obtidos por meio de registros de alagamentos entre os anos de 2022 e 2023, por meio da visita aos locais durante o período chuvoso.

4.2 Sistematização dos dados e mapa de risco

A sistematização dos dados envolveu a confecção ou organização dos seguintes mapas temáticos: declividade, altitude, materiais superficiais (compartimentação geotécnica), índice de concentração de rugosidade (ICR), densidade de drenagem e cobertura da terra. Estas informações foram então correlacionadas em perfis topográficos obtidos no programa *Google Earth ProSPO* com o objetivo de revelar as interações entre os elementos e permitir a identificação de padrões que combinem as características físicas, cobertura da terra e os pontos de alagamento.

Além disso, foram produzidos tabelas e esquemas que auxiliaram na identificação e compartimentação das áreas de risco da cidade de Palmas. Os programas de geoprocessamento utilizados foram o QGIS 2.18.0 e ArcGIS 10.3.1, e os dados tabulares foram organizados no Excell 2010.

O mapeamento de risco a alagamentos foi realizado através do método de análise hierárquica, AHP (Analytic Hierarchy Process), proposto por Saaty (1977), o qual atribui valores de importância para as características do local estudado, permitindo a criação de uma hierarquia, determinada de acordo com a influência que cada fator tem de ocasionar ou intensificar alagamentos, sendo os fatores de maior nota os que possuem maior influência.

Para Hora, Gomes (2009) os elementos que apresentam maior relevância nos estudos de risco de alagamento fazem referência aos aspectos geológicos, geomorfológicos (principalmente declividade e altitude) e de uso da terra (classificação das ocupações e coberturas vegetais).

Haja vista que a referida metodologia foi bastante difundida e consolidada na geração de mapas de risco de inundações (Magalhães et al., 2011; Domingos et al., 2021; Dalla et. al., 2015 e alagamentos (Mantis et. al., 2019), buscou-se aplicá-la com as adequações necessárias à realidade de Palmas. com base em quatro fatores ambientais:

- **Mapa de materiais de superfície (compartimentação geotécnica):** adquirido por meio dos shapefiles produzidos por Castro (2018) e rasterizado posteriormente;
- **Mapa de declividade:** elaborado a partir do arquivo vetorial das curvas de nível disponibilizado pela prefeitura do município, geração do modelo digital de elevação e posterior rasterização;
- **Mapa hipsométrico (altitude):** elaborado a partir de arquivo vetorial das curvas de nível fornecido pela prefeitura do município, geração do modelo digital de elevação (MDE) e posterior rasterização;
- **Mapa de cobertura da terra:** foram gerados arquivos vetoriais poligonais, posteriormente rasterizados, para representar as classificações da cobertura da terra urbana local, sendo que estas informações foram extraídas por interpretação de imagens de alta resolução *Google Earth Pro* do ano de 2022 e dos dados contidos nas bases vetoriais de cobertura do município;

O método da AHP é aplicado por meio de comparação dos fatores de dois a dois dentro de cada um dos critérios apresentados no Quadro 4.

Quadro 4 - Fatores e definições de graus de importância.

Escala Numérica de Importância	Definição Conceitual de Importância	Descrição Conceitual da Importância
1	Igual	Importância igual: os dois fatores contribuem igualmente para o objetivo.
3	Média	Importância moderada: um fator é ligeiramente mais importante que o outro.
5	Consistente	Importância essencial: um fator é claramente mais importante que o outro.
7	Forte	Importância demonstrada: um fator é fortemente favorecido e sua maior relevância foi demonstrada na prática.
9	Absoluta	Importância extrema: a evidência que diferencia os fatores é da maior ordem possível.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários	Utilizado quando o julgador sentir dificuldade para definir entre dois níveis de importância adjacentes.

Fonte: Adaptado de Saaty (1980).

A comparação é feita respondendo à seguinte pergunta: “qual o grau de importância da variável A sobre a variável B? E em qual proporção (usando a escala do Quadro 4)?”. Assim foram obtidos os pesos para as cinco variáveis utilizadas nesse trabalho (Tabela 6).

Tabela 6 - Matriz pareada com o comparativo entre os valores de importância de cada fator.

Variáveis	Materiais superficiais	Cobertura da terra	Altitude	Declividade
Materiais superficiais (compartimentação geotécnica)	1	1/3	1/5	1/7
Cobertura da terra	3	1	1/3	1/5
Altitude	5	3	1	1/3
Declividade	7	5	3	1

Fonte: Autor (2023).

Na comparação matricial os valores da diagonal serão sempre 1, haja vista que um elemento é igualmente importante com relação a si próprio. Para preencher os demais elementos da matriz, fazem-se os julgamentos e determina-se a intensidade de importância de acordo com a escala adaptada de Saaty (1980) para o método AHP. Para as comparações inversas colocam-se, na parte inferior esquerda, os valores recíprocos da parte superior direita da tabela.

Posteriormente, divide-se cada elemento da matriz pelo somatório dos valores da respectiva coluna e calcula-se a média para cada linha (variável), conforme Tabelas 7 e 8.

Tabela 7 - Valores das variáveis divididos pelos somatórios das respectivas colunas.

Variáveis	Cobertura da terra	Materiais de superfície (solo)	Altitude	Declividade
Cobertura da terra	1/16	0,333/9,333	0,200/4,533	0,143/1,675
Materiais de superfície (solo)	3/16	1/9,333	0,333/4,533	0,200/1,675
Altitude	5/16	3/9,333	1/4,533	0,333/1,675
Declividade	7/16	5/9,333	3/4,533	1/1,675

Fonte: Autor (2023).

Tabela 8 - Variáveis com os respectivos pesos, obtidos pela média entre os valores de cada linha.

Variáveis	Cobertura da terra	Materiais de superfície (solo)	Altitude	Declividade	Peso (P)
Cobertura da terra	0,0625	0,0357	0,0441	0,0854	0,0569
Materiais de superfície (solo)	0,1875	0,1071	0,0735	0,1194	0,1219
Altitude	0,3125	0,3214	0,2206	0,1988	0,2633
Declividade	0,4375	0,5357	0,6618	0,5970	0,558

Fonte: Autor (2023).

Seguindo a metodologia de Saaty (1991), a cada fator representado foi atribuída uma nota e, a cada plano representado, um peso, estes obtidos por meio da matriz de comparação pareada, na qual foram utilizados os valores estabelecidos, conforme Tabela 9.

Tabela 9 - Pesos obtidos pela matriz de pareamento e atribuídos a cada fator.

Fator	Peso
Cobertura da terra	0,0569
Materiais de superfície (solo)	0,1219
Altitude	0,2633
Declividade	0,5580

Fonte: Autor (2023).

Os valores obtidos foram analisados no software QGIS, utilizando o seguinte modelo matemático (Equação 3):

$$A_{ij} = \sum(PxN) \text{ (equação 3)}$$

Onde representam, respectivamente: A_{ij} o risco de alagamento de cada célula da matriz; P o peso atribuído ao plano, transposto o percentual para escala de 0 a 1; N a nota do fator na escala de 0 a 10.

Aos fatores de cada plano, foram atribuídas notas referentes a sua tendência de influenciar ou agravar alagamentos. As notas geradas foram classificadas, referente ao grau de risco de alagamentos, em intervalos de: 0 a 2 (Muito Baixo), 2 a 4 (Baixo), 4 a 6 (Moderado), 6 a 8 (Alto) e 8 a 10 (Muito Alto). Os valores de notas estabelecidos pelo presente trabalho seguem apresentados nos Quadros 5, 6, 7, 8 e 9.

As notas definidas para o fator Cobertura da Terra têm como principal determinante a impermeabilização e exposição do solo e presença de corpos hídricos. Cada elemento constado no plano foi analisado considerando sua contribuição para ocasionar e/ou potencializar alagamentos e enchentes. Áreas asfaltadas ou totalmente impermeabilizadas e áreas com vegetação suprimida tem relevância na geração de focos de alagamentos, enquanto áreas com vegetação remanescente contribuem com a infiltração da água no solo e assim, não são consideradas responsáveis por alagamentos e enchentes (MAGALHÃES et al., 2011).

Quadro 5 - Notas atribuídas ao fator cobertura da terra.

Cobertura da terra	Nota
Água	10
Rio Perene	10
Área antropizada (alta impermeabilização)	10
Sistema Viário	10
Área antropizada (baixa/média impermeabilização)	8
Solo exposto/vegetação rasteira	8
Fragmento de vegetação	1

Fonte: Autor (2023).

As notas atribuídas ao fator tipo de cobertura superficial levam em consideração suas respectivas características referentes à textura e capacidade de drenagem (WEISS, 2012).

Quadro 6 - Notas atribuídas ao fator Tipo de solo (materiais de superfície).

Materiais de superfície (solo)	Nota
Arenoso	3
Siltoso	5
Argiloso	9

Fonte: Autor (2023).

Para Domingos et al. (2021) o fator altimetria exerce maior influência do que a cobertura da terra, pois altitudes mais baixas associadas a baixas declividades aumentam a probabilidade de ocorrer o evento de inundação e alagamentos, sendo o fator cobertura da terra considerado o menos influente.

Quadro 7 - Notas atribuídas ao fator Altitude.

Altitude	Nota
210 – 220	10
220 – 230	10
230 – 240	8
240 – 250	5
250 – 260	5
260 – 280	1
280 – 300	1

Fonte: Autor (2023).

A partir do raster de declividade obtido, foi utilizada a ferramenta “r.reclass” para reclassificação dos valores em padrões de detalhamento que favorecessem a precisão na identificação das classes em escala reduzida.

As notas do fator declividade, como apresentadas por Borges et al. (2015) fazem referência ao fato de o escoamento superficial ser influenciado pela declividade, esta que determinará a velocidade do mesmo (ARANTES, 2016). A velocidade do escoamento é fato determinante para “a magnitude dos picos de enchente e a maior ou menor oportunidade de infiltração e susceptibilidade para erosão dos solos” (ARANTES, 2016, p. 5). Locais com menor declividade (planos) tendem a sofrer com o acúmulo de água decorrente da diminuição da velocidade do fluxo superficial proveniente de áreas com maior declividade (MAGALHÃES et al., 2011).

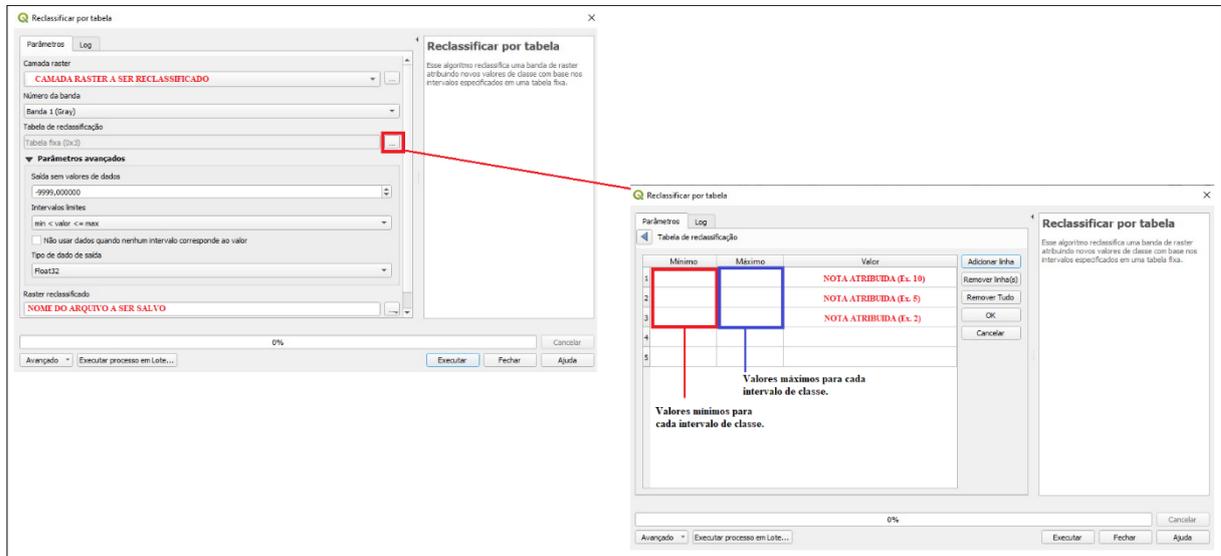
Quadro 8 - Notas atribuídas ao fator Declividade.

Declividade (%)	Nota
0 – 2,5	10
2,5 – 5,0	9
5,0 – 10	9
10 – 15	5
15 – 20	5
20 – 25	3
25 – 30	3

Fonte: Autor (2023).

Concluída a etapa de rasterização das cartas apresentadas acima foram feitas as reclassificações por tabela com a ferramenta “R.RECLASS” do QGIS, onde as notas previamente estabelecidas para cada intervalo de classe foram atribuídas e novos rasters de notas foram gerados, conforme Figura 13.

Figura 13 - Reclassificação por tabela para atribuição de notas estabelecidas para cada intervalo de classe.

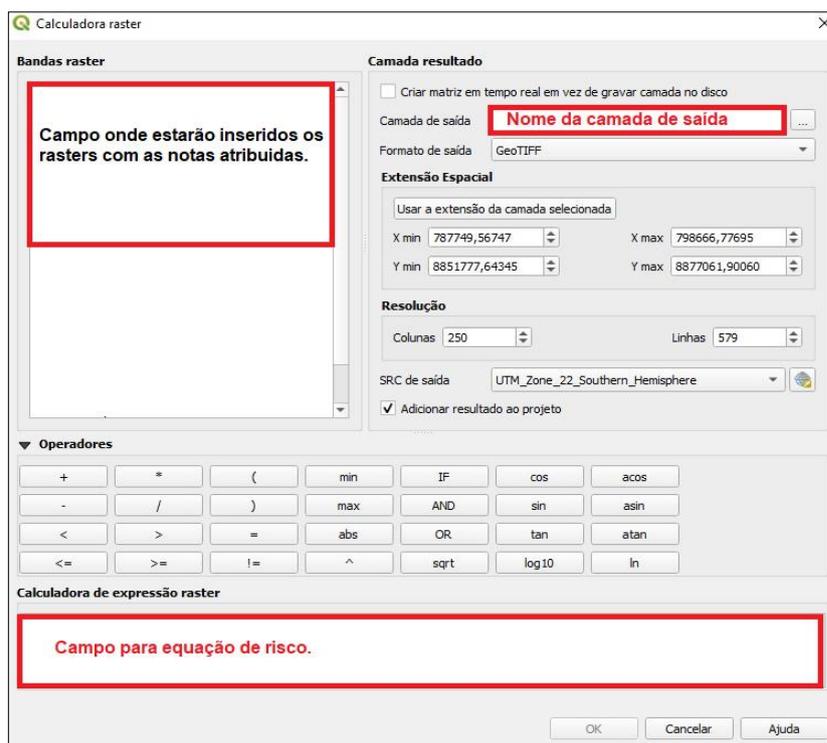


Fonte: Autor, (2023).

Atribuídas as notas, as informações espaciais e seus respectivos valores referindo-se apenas a valores de notas foram utilizados no cálculo do risco de alagamento (Equação 4), demonstrado pela equação seguinte, através da ferramenta “calculadora raster”, Figura 14:

$$Risco = (0,558 \times Declividade) + (0,2633 \times Altitude) + (0,1219 \times Tipo\ de\ Solo) + (0,0569 \times Uso\ e\ Cobertura\ do\ Solo) \quad (\text{equação 4})$$

Figura 14 - Calculadora raster para inserção e cálculo da equação matemática.



Fonte: Autor (2023).

4.3 Análise e interpretações

Os pontos de alagamento identificados em campo e obtidos por meio de dados oficiais da prefeitura foram sobrepostos isoladamente com os mapas temáticos de declividade, altimetria, cobertura da terra, profundidade do lençol freático, materiais superficiais (tipos de solo), densidade de drenagem e índice de concentração de rugosidade (ICR). Buscou-se obter assim a densidade de pontos, ou seja, o número de pontos por unidade de área de cada compartimento ambiental delimitado nos mapas, com o intuito de relacionar os eventos de alagamento com a relevância de cada característica ambiental delimitada.

Nessa etapa foi analisado o papel da cobertura da terra e dos sistemas de macro e microdrenagem nos eventos de alagamentos em Palmas, bem como o papel que tem as características físicas pré-urbanas na potencialização desses impactos.

A avaliação e dimensionamento dos impactos e possíveis riscos causados por alagamentos nas áreas urbanas de Palmas – TO, bem como a interpretação das possíveis causas foram realizados por meio da:

- Identificação do sistema de drenagem existente e as interferências antrópicas que modificaram a dinâmica do escoamento superficial na cidade.

- Avaliação dos riscos ambientais urbanos associados à combinação de agentes físicos e antrópicos, principalmente no que se refere à riscos de alagamentos.
- Avaliação da aplicabilidade das propostas de mapeamento de risco à alagamentos em Palmas.
- Avaliação das possibilidades de aplicação do conhecimento gerado por este tipo de pesquisa no planejamento urbano, drenagem e controle de enchentes.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base nas informações levantadas nesta pesquisa buscou-se analisar as atuais condições topográficas e hidrológicas da área urbana de Palmas – TO, para a compreensão de seus efeitos e impactos nos eventos de alagamentos na cidade. O SIG permitiu a identificação da morfometria, dos materiais superficiais e cobertura da terra; estabelecer correlações espaciais; realizar cruzamentos e análises hierárquicas; e confeccionar os mapas que subsidiaram o entendimento do escoamento superficial na área urbana da cidade bem como os fatores de risco a alagamentos.

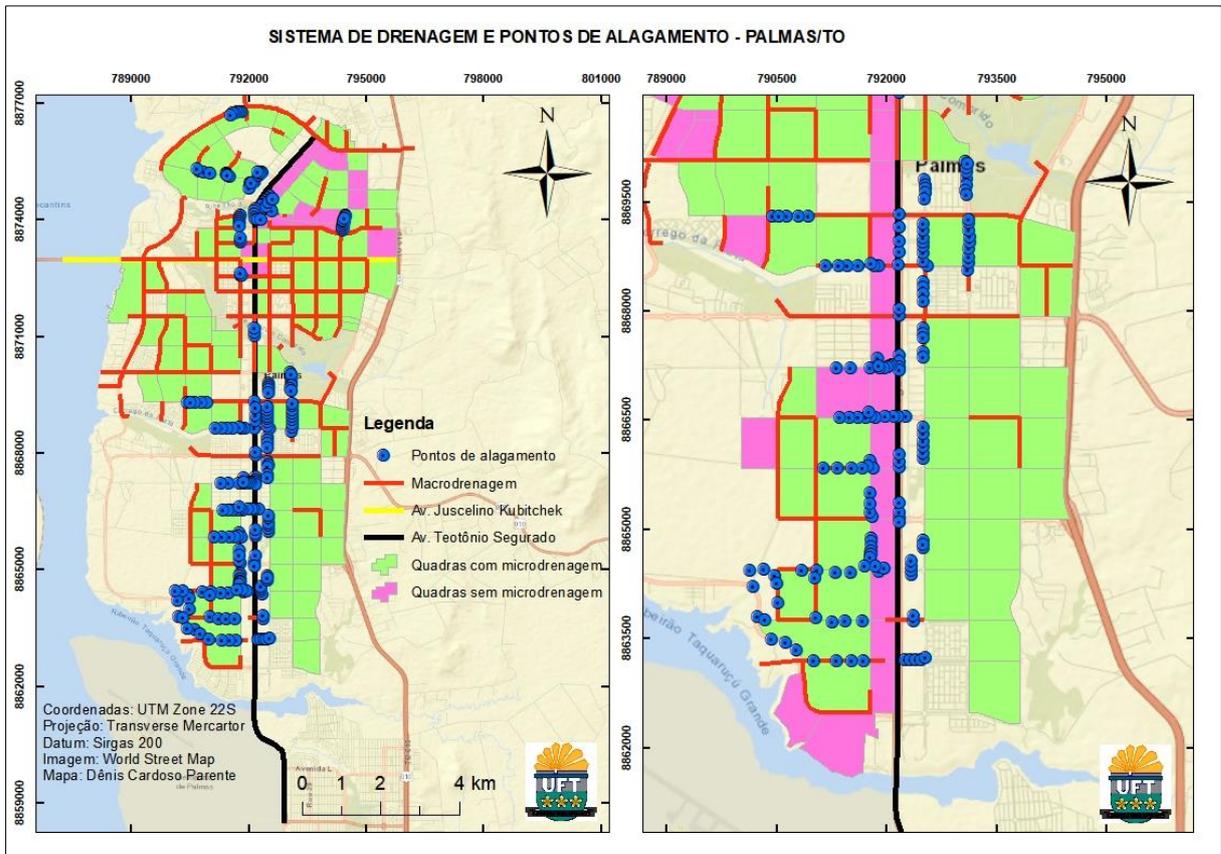
O mapa de áreas de risco a alagamentos e a análise da cobertura da terra e das estruturas de drenagem pluvial de algumas quadras da cidade auxilia na gestão e planejamento da expansão urbana do município, além de proporcionar à sociedade e ao poder público uma série de informações essenciais para tomada de decisões e mitigação de impactos dos alagamentos.

5.1 Drenagem urbana de Palmas e alagamentos

As medidas convencionais de drenagem urbana adotadas em Palmas priorizaram a implantação de redes de macrodrenagem em vias coletoras, buscando amortecer os picos de vazão de escoamento nessas vias. No entanto, as contribuições das quadras internas não são levadas em consideração, o que torna o sistema subdimensionado. Além de gerar custos à gestão municipal, transferem o problema para pontos à jusante das bacias.

Tal fato pode ser evidenciado no mapa de cadastro (Figura 15) do sistema de drenagem da cidade e pontos de alagamento, disponibilizado pela secretaria de infraestrutura do município. Percebe-se que mesmo em pontos com micro e macrodrenagem implantados os problemas relacionados a alagamentos são recorrentes, o que é um indício de subdimensionamento e inobservância das diretrizes de projeto.

Figura 15 - Pontos de alagamento sobre mapa do sistema de drenagem urbana de Palmas – TO.



Fonte: Autor (2023).

Percebe-se uma tendência de acúmulo ao longo da Av. Teotônio Segurado, principal via coletora que corta a cidade no seu sentido norte-sul. Tal fato se deve, provavelmente, à transferência das vazões de contribuição das áreas altas à montante, localizadas a leste. Muito embora haja na maioria das vias o sistema de micro e macrodrenagem, certamente eles não atendem às diretrizes de projeto e/ou se mostram subdimensionados para absorver a vazão gerada, ocasionando assim a transferência dos volumes de montante para jusante e gerando os alagamentos registrados.

Neste contexto, os canteiros centrais e rotatórias permeáveis acabam minimizando o problema, se configurando como elementos do sistema que devem ser mantidos como tal e, inclusive, entendidos como focos de intervenções que aumentem suas permeabilidades e capacidade de estoque de águas das chuvas.

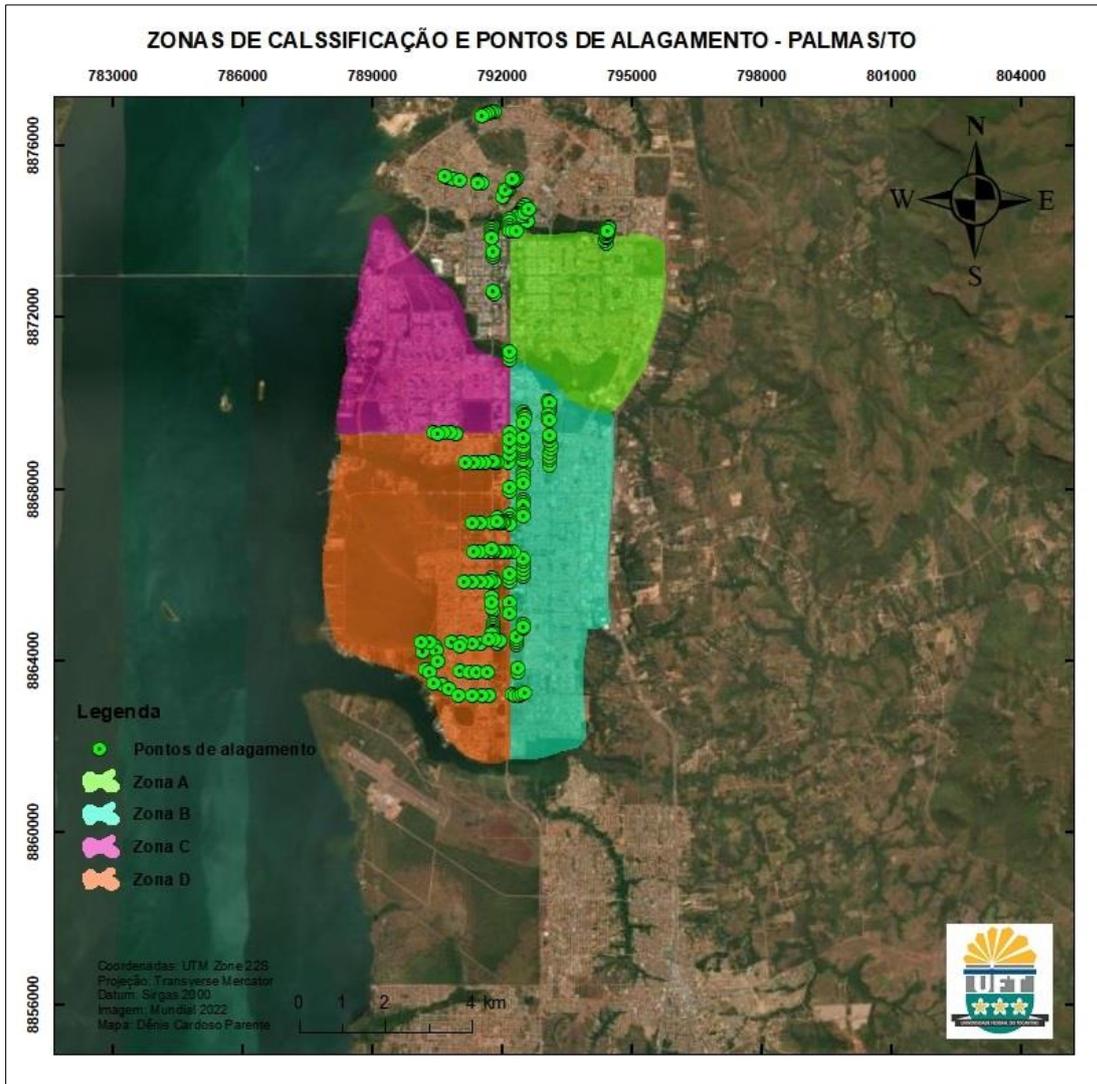
As vias e quadras não afetadas por alagamentos estão em sua maioria a leste da Av. Teotônio Segurado, justamente nos terrenos mais altos (Figura 16). Além disso, áreas como as das quadras mais antigas da cidade (Zona A da Figura 16), entre os córregos Sussuapara e Brejo

Comprido, também se destacam por ter uma ampla cobertura da rede de Macrodrenagem, o que certamente reflete na ausência de pontos de alagamentos.

Já um pouco mais ao sul, ainda a leste da Av. Teotônio Segurado, mas entre o Córrego Brejo Comprido e o Ribeirão Taquaruçu (Zona B da Figura 16), há uma baixa cobertura da rede de macrodrenagem, o que pode estar refletindo na alta quantidade de alagamentos à jusante (Zona D da Figura 16), devido à transferência dos fluxos em superfície para a própria Av. Teotônio Segurado e quadras a oeste. Em outras palavras, o fato de a macrodrenagem nestas quadras ser insuficiente e/ou subdimensionado não reflete em alagamentos nelas, mas sim na Av. Teotônio Segurado e quadras à jusante (oeste), pois o escoamento superficial é predominante e as vias asfaltadas se tornam caminhos preferenciais que geram o fluxo para as quadras a sua jusante, o que configura uma combinação crítica de urbanização intensa, drenagem urbana precária e topografia.

Importante destacar a ausência de pontos de alagamentos nas quadras mais baixas, a oeste da Av. Teotônio Segurado, localizadas entre os córregos Brejo Comprido e Prata (Zona C da Figura 16). Nestas quadras há uma ampla cobertura de macrodrenagem, o que certamente pode estar evitando os alagamentos.

Figura 16 - Zoneamento de pontos de alagamentos.

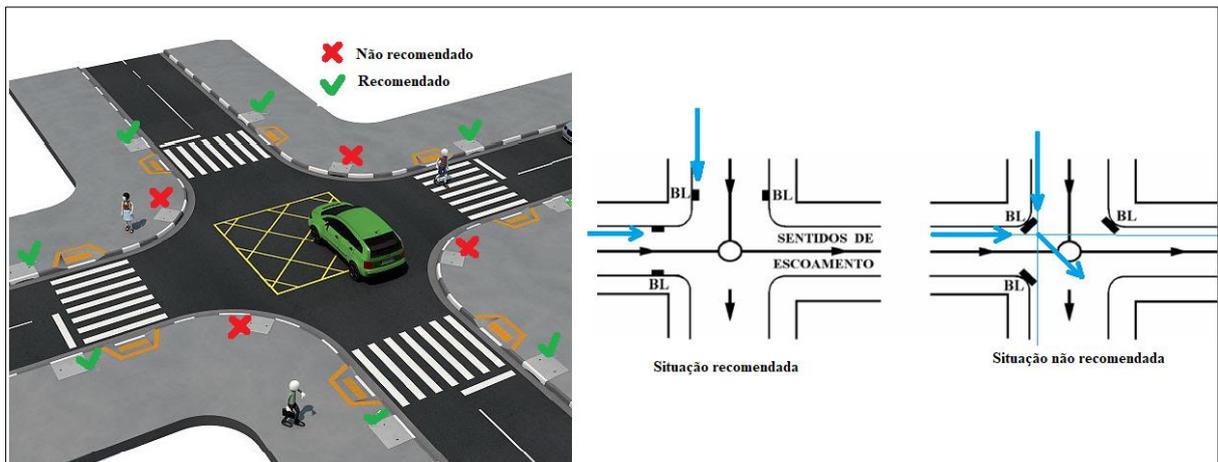


Fonte: Autor (2023).

A falta de identificação de sistema de drenagem na planta de cadastro da região sul, segundo a própria secretaria de infraestrutura e obras do município, pode estar relacionada não somente à inexistência da rede de drenagem em si, mas também pela dificuldade de identificação dos dispositivos que possivelmente tenham sido implantados.

Dentre os principais dispositivos de microdrenagem em quadras internas, tem-se as sarjetas e as bocas-de-lobo, responsáveis pela absorção e condução da vazão gerada pelo escoamento até as galerias. Conforme Manual de Drenagem de Rodovias DNIT (2006) as bocas-de-lobo devem se localizadas em ambos os lados da via, quando a saturação da sarjeta assim o exigir ou quando forem ultrapassadas as suas capacidades de engolimento, nos pontos baixos da quadra e à montante de cada faixa de cruzamento usada pelos pedestres, junto às esquinas, conforme mostra a Figura 17.

Figura 17 - Comparativo entre as disposições de bocas-de-lobo em vias urbanas.

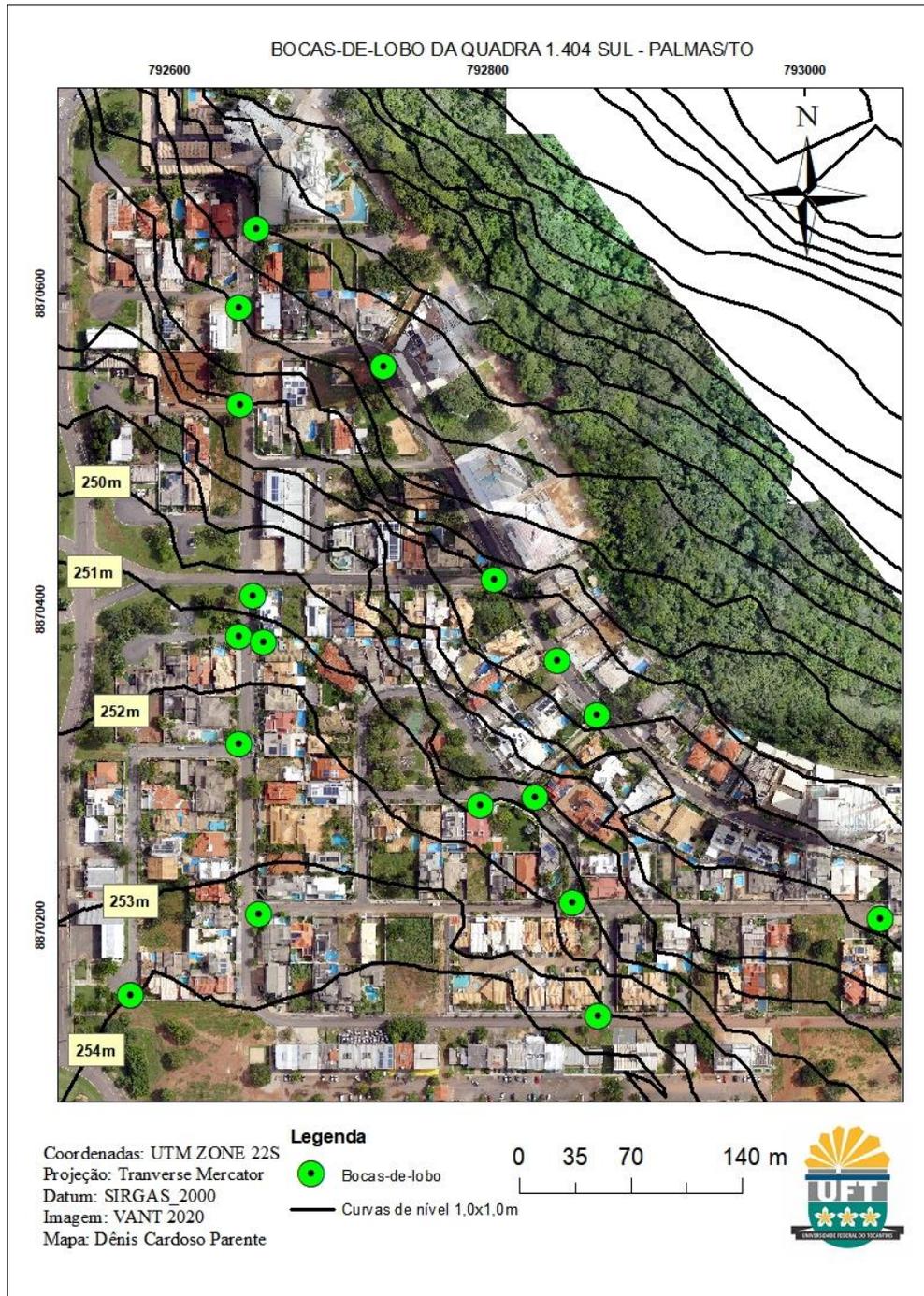


Fonte: Autor (2023).

Não é conveniente a sua localização junto ao vértice de ângulo de interseção das sarjetas de duas ruas convergentes, haja vistas que a travessia de pedestres ficaria prejudicada pela torrente de água num trecho de máxima vazão superficial e que os vetores de fluxo convergentes pelas diferentes sarjetas teriam, como resultante, um escoamento de velocidade em sentido contrário ao da afluência para o interior da boca-de-lobo, prejudicando assim sua capacidade de engolimento.

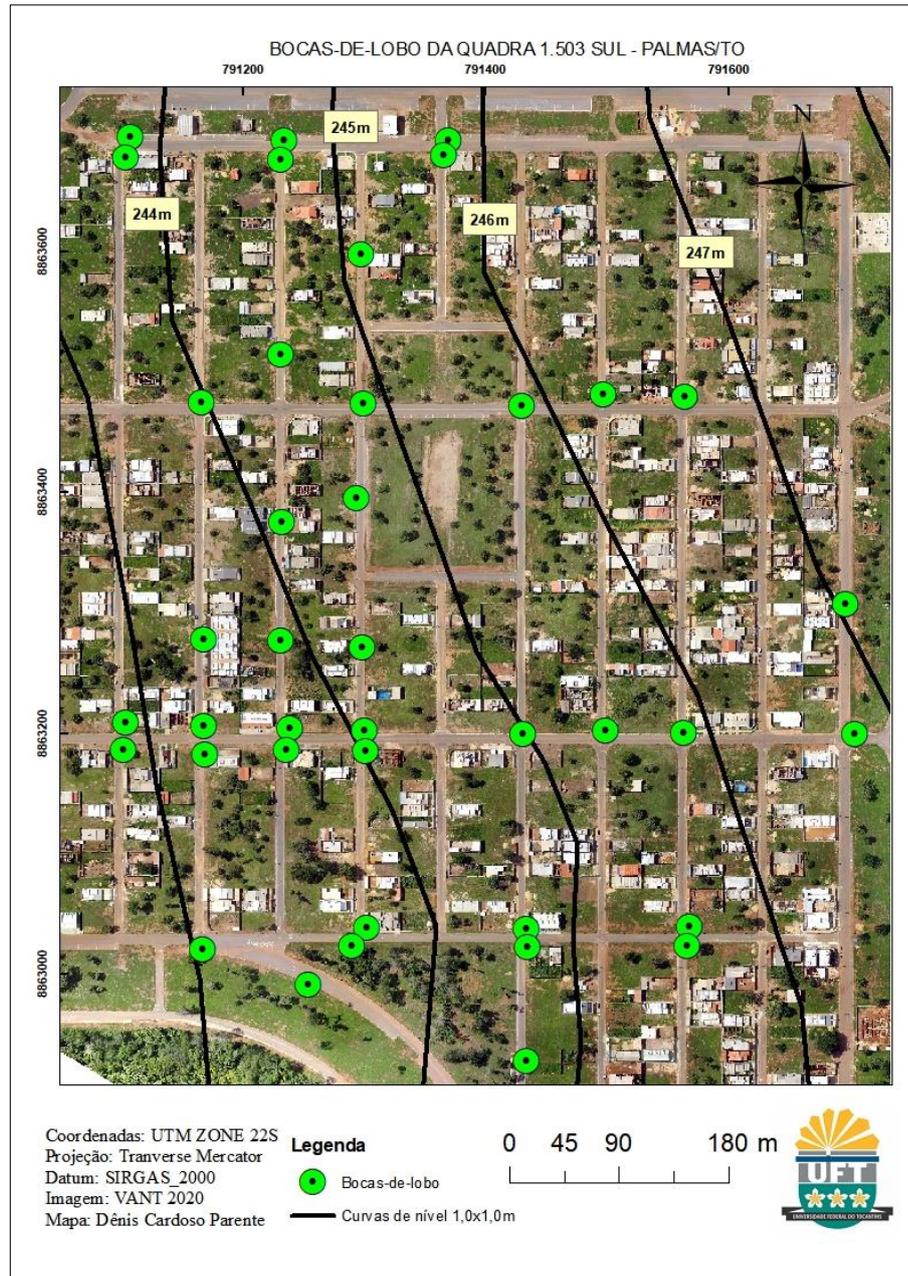
Tanto as quadras internas como em vias coletoras os sistemas de macro e microdrenagem de Palmas apresentam incongruências com o que estabelecem as diretrizes de projeto, tanto no que se refere ao posicionamento inadequado de dispositivos (bocas-de-lobo) quanto ao seu subdimensionamento. As Figuras 18, 19 e 21 trazem imagens obtidas em sobrevoo com VANT, com a locação das bocas de lobo em três quadras residenciais de Palmas.

Figura 18 - Localização das bocas-de-lobo na quadra residencial 404 Sul de Palmas - TO.



Fonte: Autor (2023).

Figura 19 - Disposição das bocas-de-lobo da quadra 1.503 Sul de Palmas - TO.



Fonte: Autor (2023).

Nota-se pelas imagens das quadras 404 Sul e 1.503 Sul que os dispositivos não seguem um padrão de locação e aparecem dispostos de forma aleatória e, na maioria dos casos, posicionados nas esquinas de confluência entre sarjetas.

Mesmo numa quadra com processo de ocupação mais recente, como a quadra 1.503 Sul, foram identificadas diversas bocas-de-lobo, simples e duplas, localizadas junto ao vértice do ângulo de interseção entre as sarjetas das vias convergentes, conforme Figura 20.

Figura 20 - Dispositivos de drenagem localizados na confluência das sarjetas das esquinas da quadra 1.503 Sul de Palmas - TO.



Fonte: Autor, (2023).

Figura 21 - Saídas de água presentes na quadra 504 Sul de Palmas - TO.



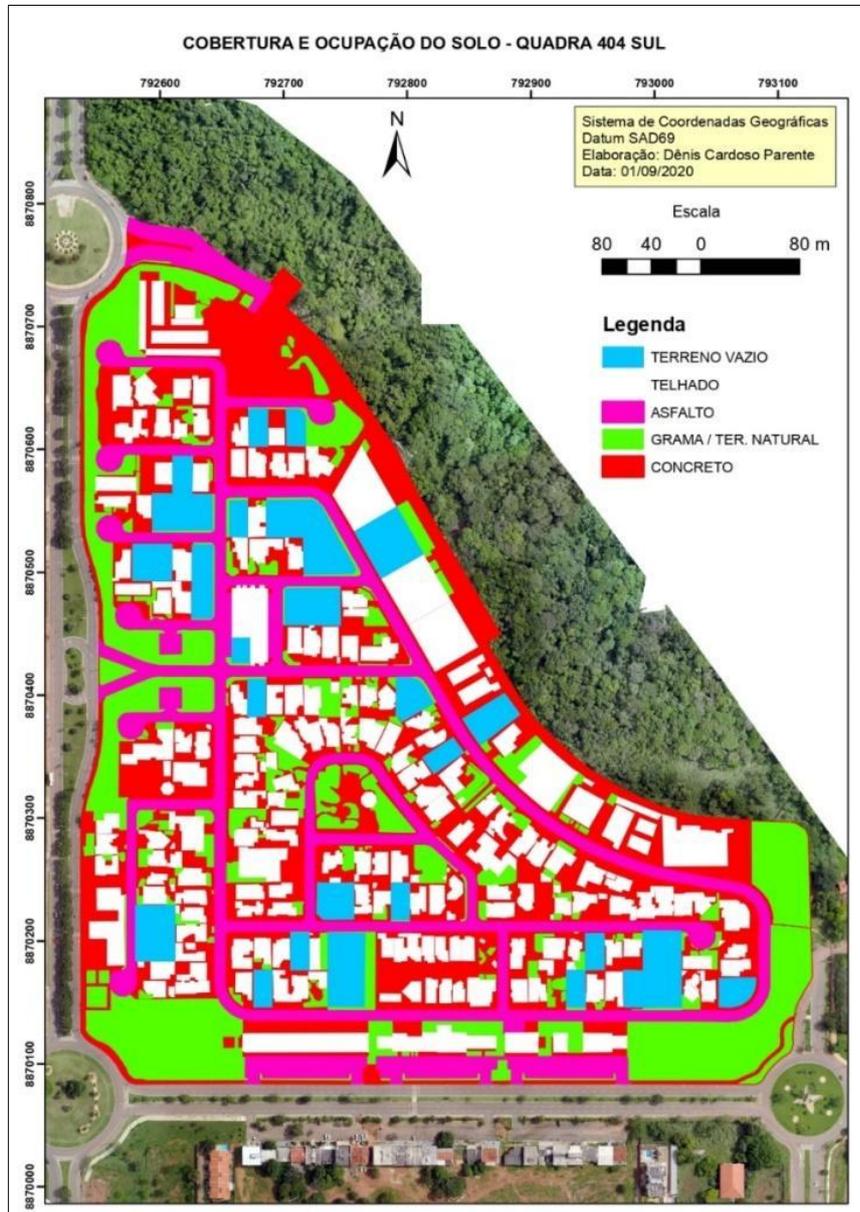
Fonte: Autor (2023).

A quadra 504 Sul não possui bocas de lobo (Figura 21), mas apenas dois dispositivos de microdrenagem que se configuram como canais abertos que transferem o escoamento para as vias coletoras do entorno, situação corriqueira nas quadras de Palmas. Apesar da quadra já se apresentar totalmente consolidada e bem localizada, o escoamento superficial acontece nas próprias vias, em alguns pontos afogando as guias de meios-fios, devido à falta de sarjetas e bocas-de-lobo.

A capacidade de vazão, dispositivos de drenagem e área de contribuição destas quadras também foram analisadas, por meio de ortomosaicos obtidos por VANT. Os dados de

coeficiente de escoamento foram gerados de forma ponderada por meio da identificação do tipo de cobertura do solo das quadras, conforme vetorização apresentada na Figura 22.

Figura 22 - Vetorização da cobertura da quadra 404 Sul de Palmas - TO.



Fonte: Autor (2023).

A quadra 404 Sul apresentou os seguintes valores de cobertura: cerca de 60% de área impermeável por telhado, 20% da superfície com pavimento asfáltico, 15% em passeios de concreto e 5% da superfície coberta por vegetação ou terreno desnudo. Assim, foi possível obter o coeficiente de escoamento ponderado², contemplando as diferentes superfícies, conforme equação.

O coeficiente de escoamento para cálculo de vazão foi obtido de forma ponderada, conforme metodologia proposta por Tucci (1998) com os valores de coeficientes C atribuídos pela American Society of Civil Engineers (ASCE) (1969) para cada tipo de cobertura, conforme mostra a Tabela 10.

Tabela 10 - Valores do coeficiente C (ASCE, 1969).

Superfície	Intervalo	Valor esperado
Pavimento asfáltico	0,70 – 0,95	0,83
Pavimento concreto	0,80 – 0,95	0,88
Calçamento em concreto	0,75 – 0,85	0,80
Telhado	0,75 – 0,95	0,85
Gramma ou solo arenoso (i = 2%)	0,05 – 0,10	0,08
Gramma ou solo arenoso (i = 2 a 7%)	0,10 – 0,15	0,13
Gramma ou solo arenoso (i = 7%)	0,15 – 0,20	0,18
Gramma ou solo pesado (i = 2%)	0,13 – 0,17	0,15
Gramma ou solo pesado (i = 2%)	0,18 – 0,22	0,20
Gramma ou solo pesado (i = 2%)	0,25 – 0,35	0,30

Fonte: ASCE (1969).

$C_{telhado}$: 0,85

$C_{pavimento\ concreto}$: 0,88

$C_{pavimento\ asfalto}$: 0,83

$C_{solo\ e\ grama}$: 0,08

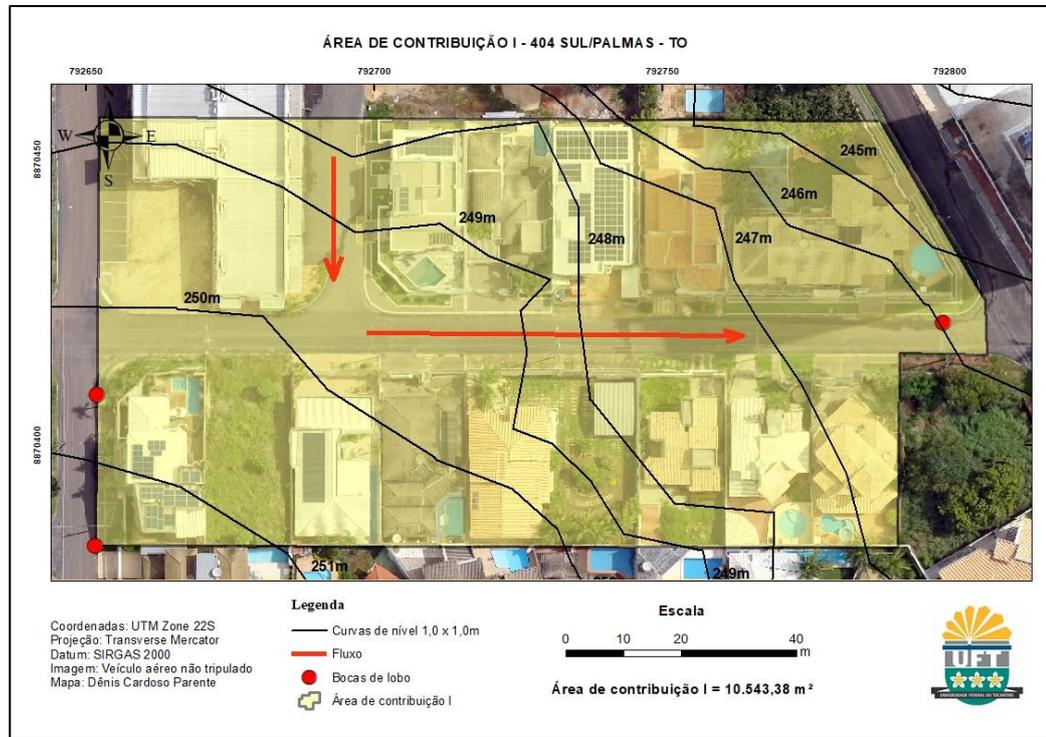
$$C_{ponderado} = (0,60 \times 0,85) + (0,20 \times 0,83) + (0,15 \times 0,88) + (0,05 \times 0,08)$$

$$C_{ponderado} = 0,80$$

Foram selecionadas as áreas de contribuição para as respectivas bocas-de-lobo em pontos específicos, tomando como base o microparcelamento do solo, a orientação das edificações e inclinação das vias, conforme Figuras 23, 24, 25 e 26.

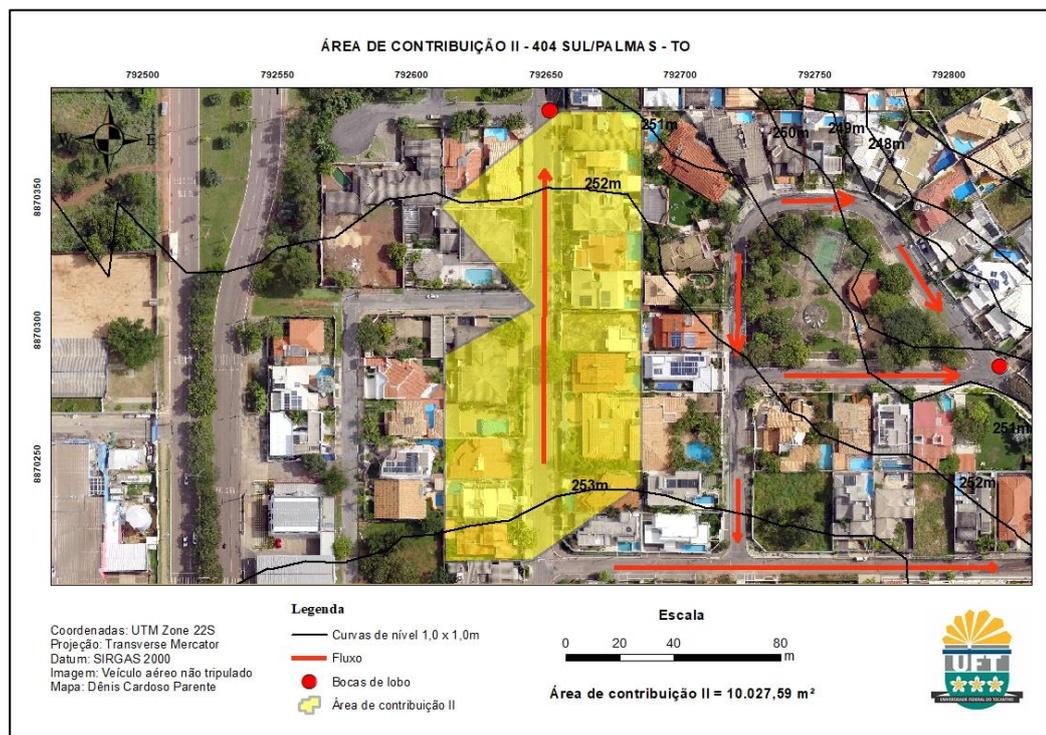
²Conforme cap. 2.2.1 Diretrizes de projeto e adequação do sistema de drenagem (pág. 20), baseado em ASCE (1969) e Tucci (1998). Valores do coeficiente C: Pavimento asfáltico - 0,83; Pavimento concreto - 0,88; Calçamento em concreto - 0,80; Telhado - 0,85; Gramma ou solo arenoso (i = 2%) - 0,08; Gramma ou solo arenoso (i = 2 a 7%) - 0,13; Gramma ou solo arenoso (i = 7%) - 0,18; Gramma ou solo pesado (i = 2%) - 0,15; Gramma ou solo pesado (i = 2%) - 0,20; Gramma ou solo pesado (i = 2%) - 0,30

Figura 23 - Delimitação da Área 01 de contribuição de vazão para boca-de-lobo indicado no fluxo.



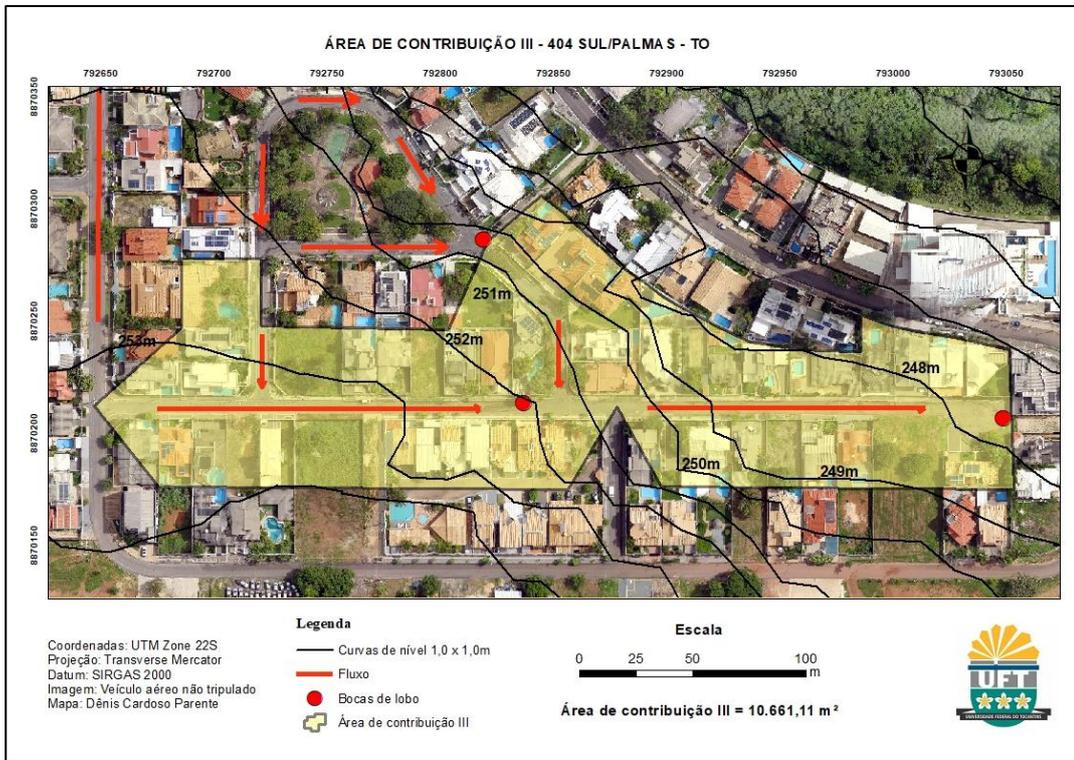
Fonte: Autor (2023).

Figura 24 - Delimitação da Área 02 de contribuição de vazão para boca-de-lobo indicada no fluxo.



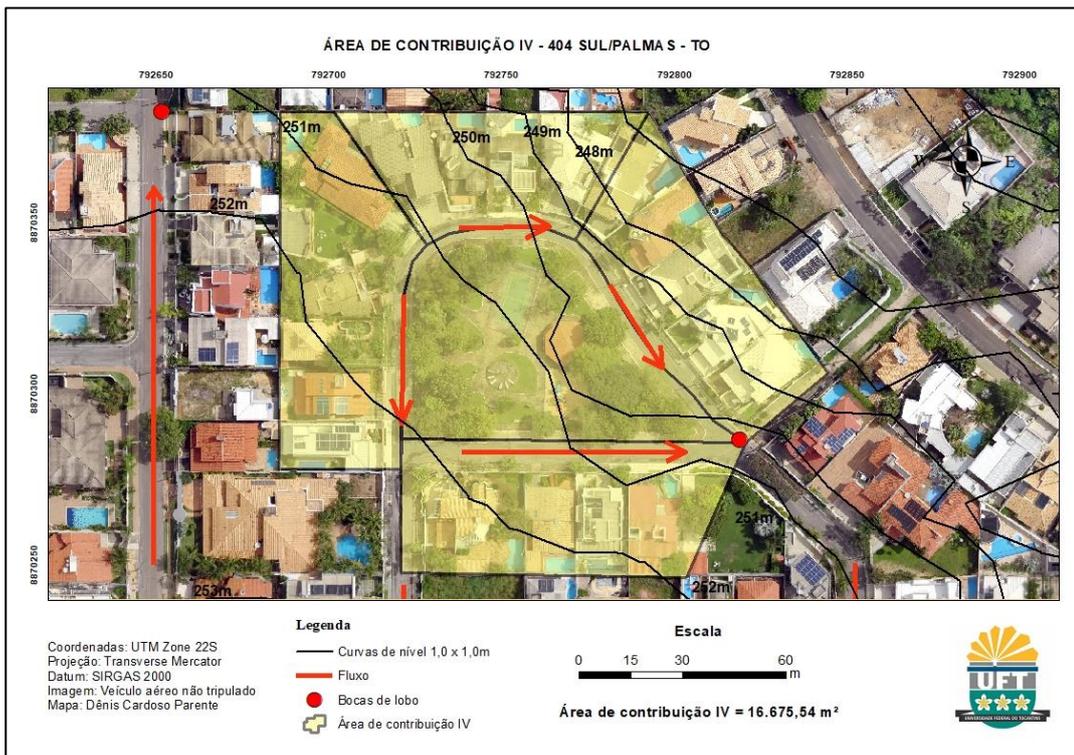
Fonte: Autor (2023).

Figura 25 - Delimitação da Área 03 de contribuição de vazão para boca-de-lobo indicada no fluxo.



Fonte: Autor (2023).

Figura 26 - Delimitação da Área 04 de contribuição de vazão para boca-de-lobo indicada no fluxo.



Fonte: Autor (2023).

Com a obtenção do valor do coeficiente de escoamento e com as áreas de contribuição delimitadas dentro da quadra, foram obtidas as vazões de contribuições de cada uma delas, por meio da equação do Método Racional (Equação 5), que é o mais adequado para áreas com até 2,0km² (VILLELA & MATTOS, 1975). A metodologia considera que o tempo de concentração e a duração das chuvas são iguais.

$$Q = 0,00278 . C . I . A \quad (\text{equação 5})$$

Onde:

Q: vazão de contribuição (m³/s);

C: coeficiente de escoamento da área que contribui para a estrutura;

A: área drenada para a estrutura (ha);

I: intensidade da precipitação (mm/h).

Para determinar as intensidades das chuvas em Palmas – TO, utilizou-se a equação de intensidade-duração-frequência (Equação 6) também conhecida como equação da chuva para a cidade de Palmas, proposta no Plano Municipal de Saneamento Básico de Palmas – TO (PREFEITURA MUNICIPAL DE PALMAS, 2014).

$$I = \frac{749,97 \times Tr^{0,104}}{(t + 9)^{0,702}} \quad (\text{equação 6})$$

Onde:

I = intensidade de precipitação (mm/h);

Tr = tempo de retorno adotado (anos);

td = tempo de duração da chuva de projeto (minutos).

A intensidade das chuvas em Palmas – TO identificada pelo Plano Municipal de Saneamento Básico de Palmas – TO (PREFEITURA MUNICIPAL DE PALMAS, 2014), foi de 89,62 mm/h, e, ainda de acordo com o mesmo plano, as obras de microdrenagem devem ser dimensionadas para período de retorno de 2 a 10 anos.

Conforme Silva Neto (2020), as chuvas intensas de curtas durações são significativas no estado do Tocantins, quando comparado a outras regiões brasileiras. As chuvas intensas de curta duração, especialmente as de 20min, são as que apresentam maior impacto sobre a erosividade da chuva no estado do Tocantins.

Assim, foram considerados para o cálculo do IDF o período de retorno de 10 anos e duração de chuvas de 20min. A Tabela 11 abaixo traz os valores de áreas e vazões de contribuições para cada uma delas.

Tabela 11 - Áreas de contribuições, coeficiente de deflúvio (escoamento) (C), intensidade duração e frequência das chuvas (I) e vazões geradas.

Contribuição	Área (ha)	C (coeficiente)	I (mm/h)	Q (m ³ /s)
Área 01	1,0543	0,80	89,62	0,210
Área 02	1,0027	0,80	89,62	0,199
Área 03	3,066	0,80	89,62	0,611
Área 04	1,6745	0,80	89,62	0,333

Fonte: Autor (2023).

Todas as bocas-de-lobo identificadas na quadra 404 Sul são do modelo combinado, guia e grelha, com dimensões de 0,45 x 0,90m e 0,10m de abertura na guia, respectivamente (Figura 27).

Figura 27 - Modelo de boca-de-lobo guia e grelha da quadra 404 Sul.



Fonte: Autor (2023).

Para definir a capacidade de engolimento (vazão) de cada boca-de-lobo combinada é preciso calcular as vazões da guia e de sua grelha pelas seguintes equações (Equações 7, 8 e 9) (GEYER, BENTON e LI, 1956):

$$\text{Boca-de-lobo guia: } Q = 1,66 \cdot L \cdot y^{1,5} \quad (\text{equação 7})$$

onde:

Q: vazão de engolimento (m^3/s);

y: altura de água próxima à abertura na guia (m);

L: comprimento da soleira (m).

Boca-de-lobo grelha: $Q = 1,66 \cdot P \cdot y^{1,5}$ (equação 8)

onde:

P: Perímetro da grelha (m)

Para a obtenção da vazão de contribuição de cada boca-de-lobo instalada, procedeu-se com o seguinte cálculo:

$$Q_{boca-de-lobo} = Q_{guia} + Q_{grelha} \quad (\text{equação 9})$$

$$Q_{boca-de-lobo} = (1,66 \cdot 0,90 \cdot 0,12^{1,5}) + (1,66 \cdot 1,8 \cdot 0,12^{1,5})$$

$$Q_{boca-de-lobo} = 0,186 m^3/s$$

Comparando os valores de vazão escoados para cada uma das áreas com as vazões de cada boca-de-lobo foi possível observar o excedente que seria transferido à jusante de cada uma das áreas. A Tabela 12 mostra esse comparativo.

Tabela 12 - Valores de vazões de contribuições e de capacidade do modelo de boca-de-lobo presente na quadra.

Contribuição	Q contribuição (m^3/s)	Q boca-de-lobo (m^3/s)	Q excedente (m^3/s)
Área 01	0.210	0,186	0,024
Área 02	0.199	0,186	0,013
Área 03	0.611	0,372	0,239
Área 04	0.333	0,186	0,147

Fonte: Autor 2023.

Os resultados indicam que a vazão de cada boca-de-lobo não comporta a vazão gerada pela respectiva área de contribuição, em que pese o fato destes resultados não poderem ser tratados de forma isolada, haja vista que o excedente de outras áreas acaba chegando a esses dispositivos, bem como a falta de manutenção e interferências ocasionadas por alterações no recobrimento do pavimento poderem comprometer ainda mais essa capacidade nas aberturas das guias e grelhas.

Tais transferências acabam chegando às quadras à jusante, que foram dimensionadas isoladamente, sem considerar as contribuições de quadras à montante. A topografia da Quadra

404 Sul condiciona que a maior parte deste excedente seja transferido diretamente para o Córrego Brejo Comprido, não causando um impacto imediato em quadras vizinhas.

Porém, efeito dos inconvenientes e danos causados por processos semelhantes de transferência de excedentes podem ser observados nas quadras 1.305 Sul, 1.303 Sul, 1.503 Sul e suas adjacências (Figuras 28).

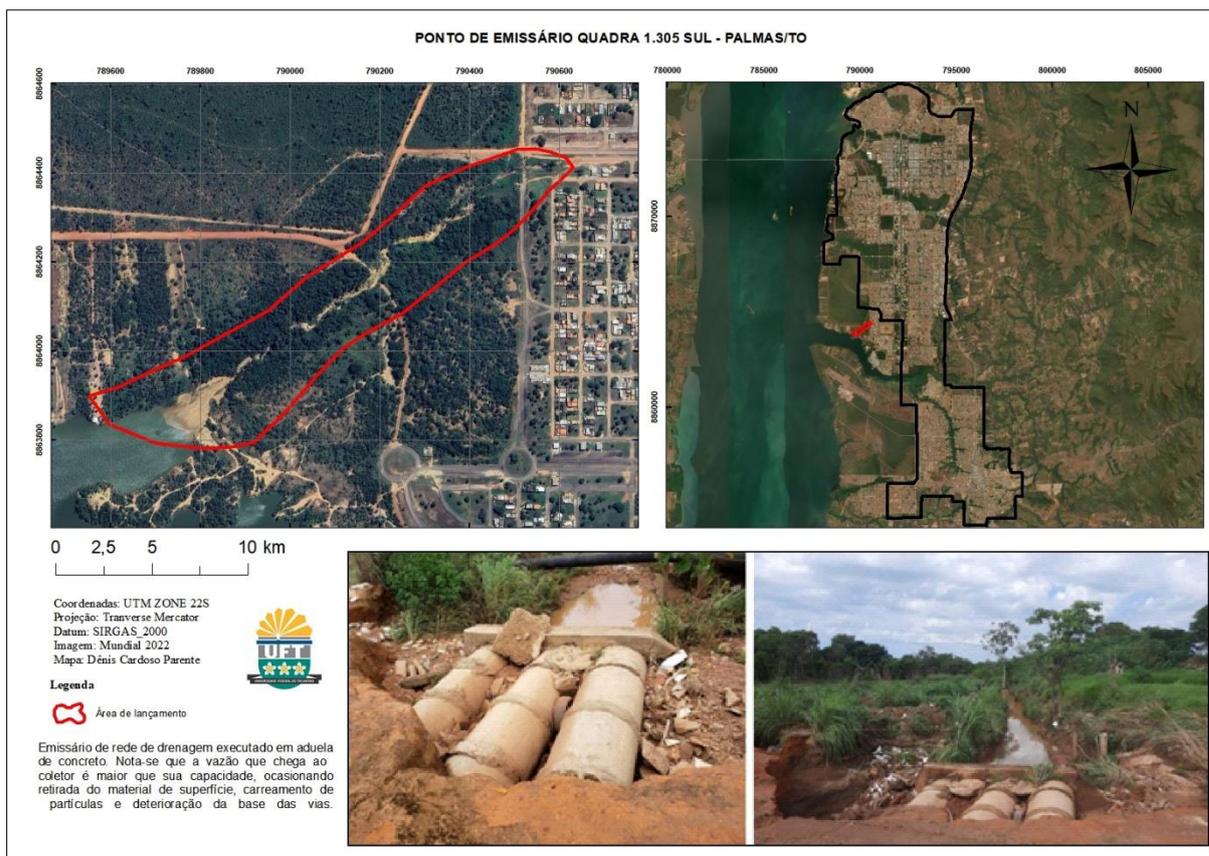
Figura 28 - Via paralela à Av. Teotônio Segurado, ao sul do CEULP/ULBRA



Fonte: Autor (2023).

Além disso, mesmo onde há estruturas de macrodrenagem, como na quadra 1.305 Sul (Figura 29), fica evidente que as quadras mais próximas do exultório da bacia não comportam o volume gerado, resultando em guias de meio-fio afogadas e potencialização dos processos erosivos e sedimentares. A grande quantidade de água e sedimentos trazidas de montante resulta em erosão nos pontos imediatos ao exultório e assoreamento na margem do ribeirão Taquaruçu que recebe este material.

Figura 29 - Extremidade do emissário ao sul da quadra 1.503 Sul de Palmas - TO.



Fonte: Autor (2023).

Esta pesquisa demonstra que a maior parte dos alagamentos hoje registrados em Palmas é resultado de um processo de transferência do escoamento das áreas mais altas a leste em direção às áreas mais baixas a oeste. Porém, esta transferência não é simples, as nascentes dos cursos d'água localizados em altitudes intermediárias exercem um poder de atração destes fluxos, fazendo com que as águas tenham dificuldade de escoar nestas áreas e fiquem retidas, ou seja, não fluem rapidamente para os pontos mais baixos da cidade, acumulando-se temporariamente nas altitudes intermediárias. Assim, estes terrenos de altitudes intermediárias e próximos às nascentes funcionam como uma etapa do ciclo, onde as águas ficam temporariamente até serem absorvidas pelo lençol ou atingirem os pequenos cursos d'água e seguirem até o Lago da UHE Lajeado.

Este processo é potencializado pela impermeabilização resultante da urbanização acompanhada da falta e/ou subdimensionamento dos sistemas de micro e macrodrenagem. Ou

seja, quanto mais impermeável os terrenos à montante, mais água vai escoar superficialmente em direção aos pontos já críticos, ampliando os efeitos dos alagamentos.

De certa maneira, a gestão da drenagem urbana em Palmas vai além de seguir a mesma lógica clássica de transferência do problema de um ponto da cidade para o outro. Ao não tratar adequadamente a macrodrenagem e, principalmente, a microdrenagem das quadras à montante, o problema é potencializado, aumentando o impacto dos alagamentos nas quadras à jusante. Por ainda existir muitas quadras e lotes não ocupados na cidade, a gestão deve estar atenta ao futuro destas ocupações, uma vez que o aumento da impermeabilização vai resultar em mais aumento de escoamento superficial, fazendo com que surjam novos pontos de alagamentos ou que aumente ainda mais a magnitude dos existentes.

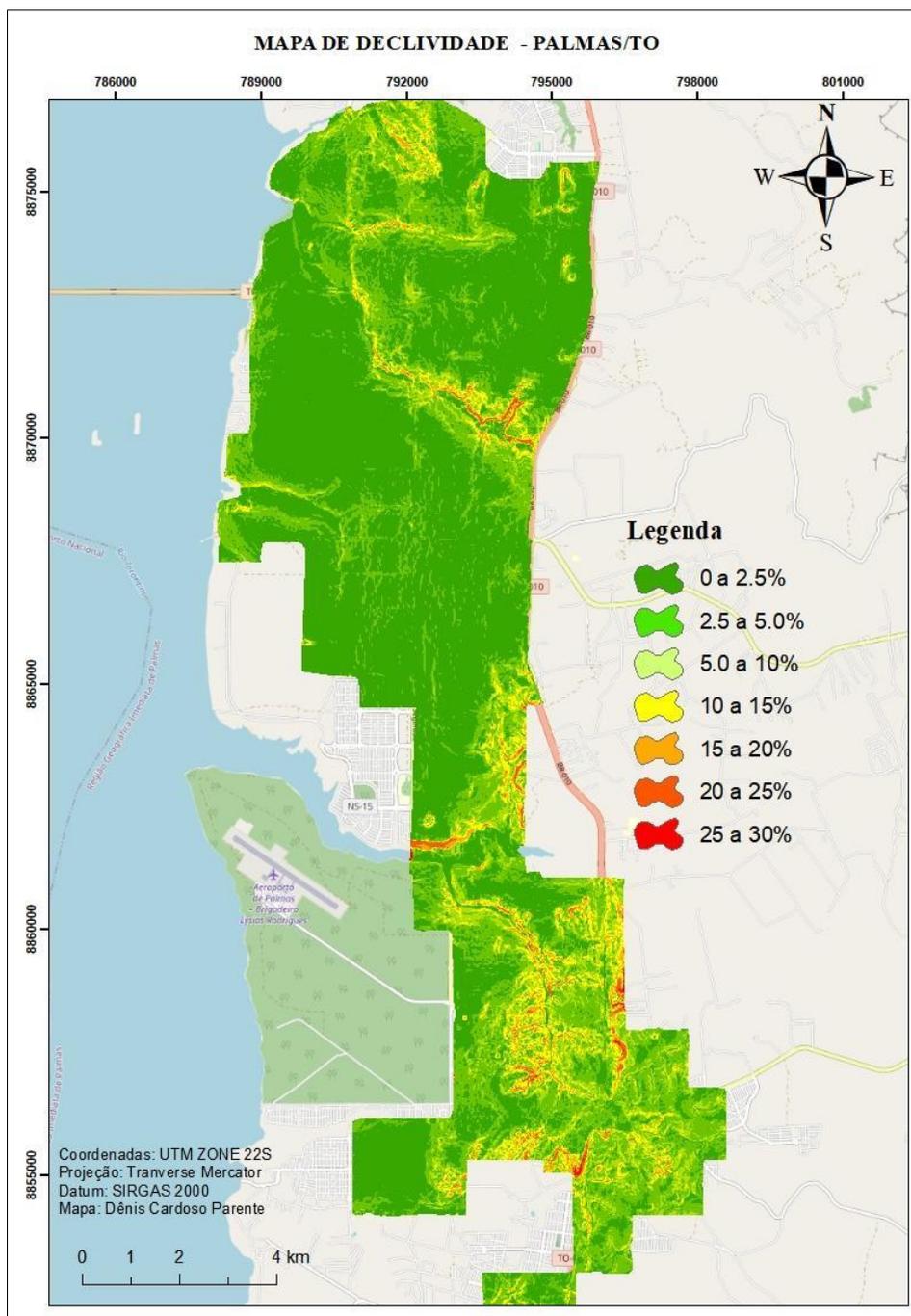
Há também na cidade alagamentos vinculados a locais de declividades moderadas junto às travessias viárias sobre os cursos d'água (pontes, galerias e bueiros), ou seja, locais que a água atinge rapidamente durante um evento chuvoso e vindo dos terrenos mais baixos, aparentemente sem influência de extravasamentos do canal abaixo. Estes pontos mostram que a capacidade de drenagem do equipamento de engenharia instalado (ponte, galerias e bueiros) está subdimensionado. Assim como no restante da cidade, o aumento das ocupações urbanas e impermeabilização também irá aumentar a magnitude destes alagamentos e, inclusive, poderá fazer com que surjam novos eventos em locais onde a estrutura de drenagem está adequada atualmente, mas que não comportará receber estas “novas” águas.

5.2 Morfometria e alagamentos

5.2.1 Declividade e altitude

A declividade da área urbana de Palmas é apresentada na Figura 30. A maior parte do terreno (cerca de 82,56%) apresenta declividades baixas, entre 0 e 2,5%, o que classifica o relevo como plano (EMBRAPA, 2009). Estes terrenos planos são extensos na porção oeste da cidade, entre a Av. Teotônio Segurado e o Lago da UHE Lajeado. Declividades maiores estão associadas aos cursos d'água e predominam no sul da cidade (Aurenys e Taquaralto).

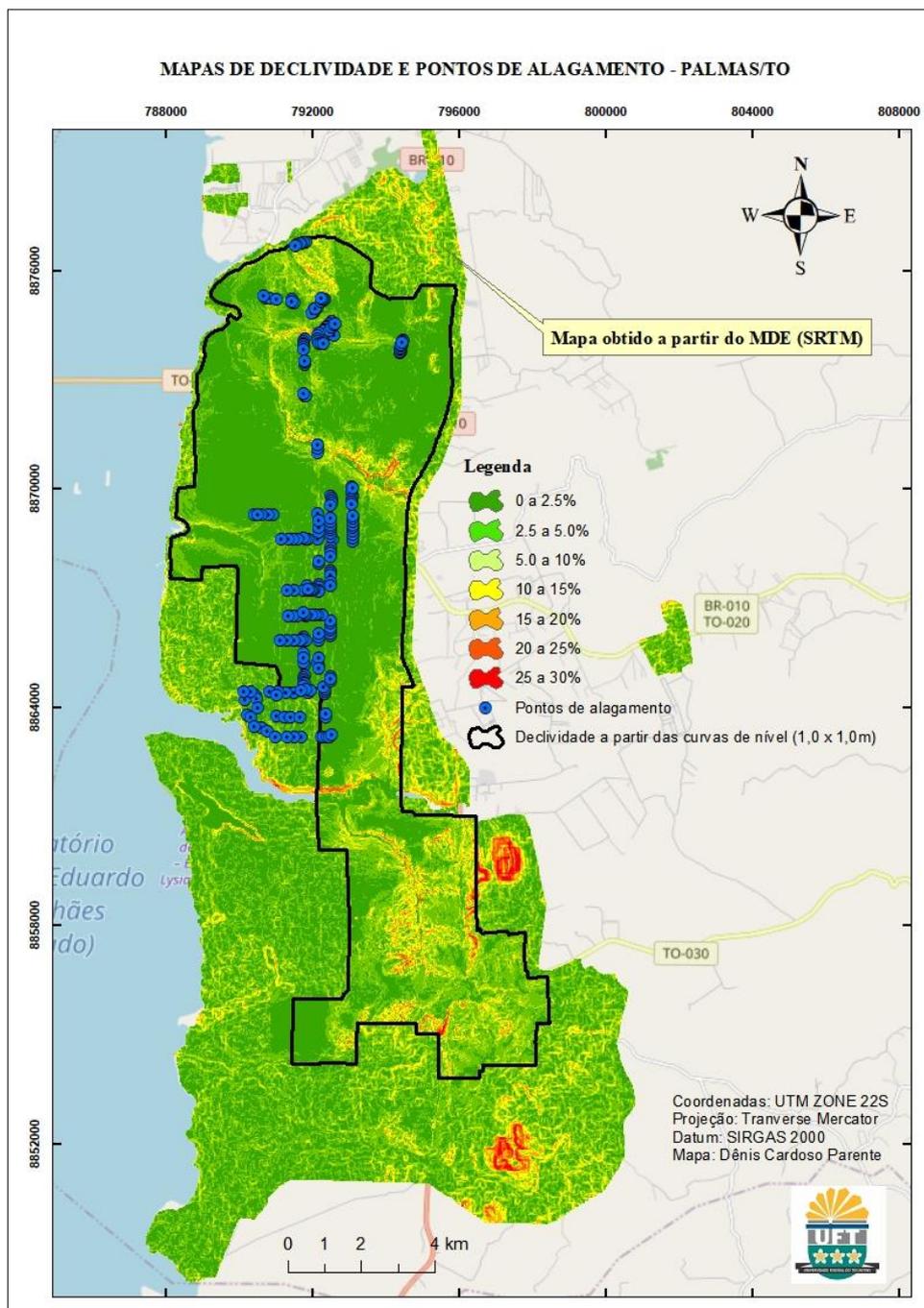
Figura 30 - Mapa de declividade de Palmas - TO.



Fonte: Autor (2023).

Na Figura 31 estão dispostos os pontos de alagamento sobre o mapa de declividade de Palmas. É possível notar que a maioria dos pontos estão associados aos terrenos planos (0 - 2,5% de declividade).

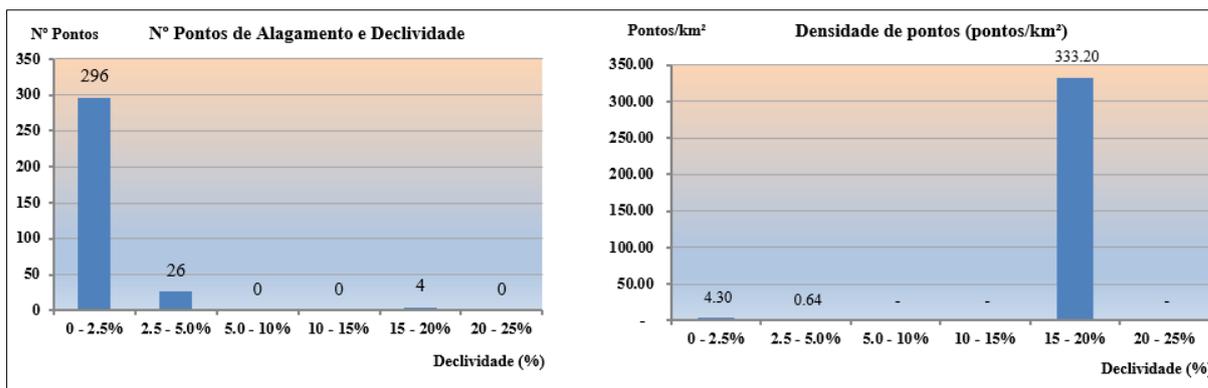
Figura 31 - Pontos de alagamento sobre mapa de declividade de Palmas - TO.



Fonte: Autor (2023).

A quantificação e densidade de pontos de alagamento por faixa de declividade apresentados na Figura 32 mostra que quase sua totalidade (90,79%) estão distribuídos na faixa de declividade que não ultrapassa 2,5%, indicando que o escoamento superficial é bastante prejudicado, potencializando os eventos de alagamento na cidade.

Figura 32 - Quantidade e densidade de pontos de alagamento por classe de declividade.



Fonte: Autor (2023).

Muito embora a densidade de pontos se apresente com valor muito maior para a faixa de declividade de 15 a 20%, isso se deve à inferioridade de sua área de abrangência.

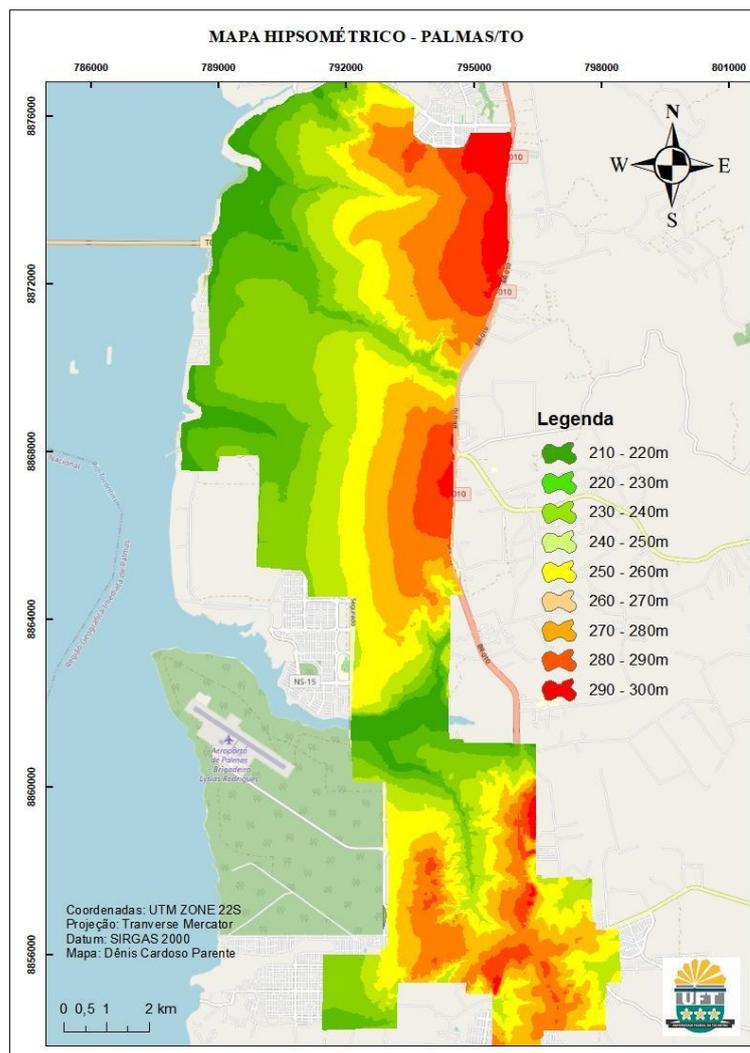
A altimetria é apresentada na Figura 33. Como pode ser visto, a área urbana de Palmas apresenta o formato alongado no sentido norte-sul, tendo o Lago da UHE Lajeado como limite oeste e a Rodovia TO 010/050 como limite a leste.

De uma maneira geral, a distribuição altimétrica estabelece o sentido do fluxo do escoamento na zona do plano do macrozoneamento, que parte das cotas altas a leste e segue rumo a oeste até o lago. Nesta zona, a rodovia TO 010/050 segue quase que coincidentemente ao divisor de águas entre os cursos d'água que fluem para a área urbana em direção ao lago (Sussuapara e Prata) e os cursos d'água que fluem para a área rural (córrego Água Fria e formadores do córrego Brejo Comprido), partindo de cotas de até 300m neste divisor até a cota mínima no nível operacional do reservatório, em torno de 210 e 212m.

Já na região sul a via que segue o divisor de águas é a Av. Teotônio Segurado, e um padrão semelhante ao anterior é verificado entre esta via e o lago (Aeroporto e Taquari). Já no restante da região sul, o fluxo da água segue em direção ao córrego Machado, curso d'água no sentido sul-norte que deságua no córrego Taquaruçu.

A Tabela 13 mostra a distribuição espacial das áreas para cada faixa de altitude.

Figura 33 - Mapa hipsométrico de Palmas - TO.



Fonte: Autor (2023).

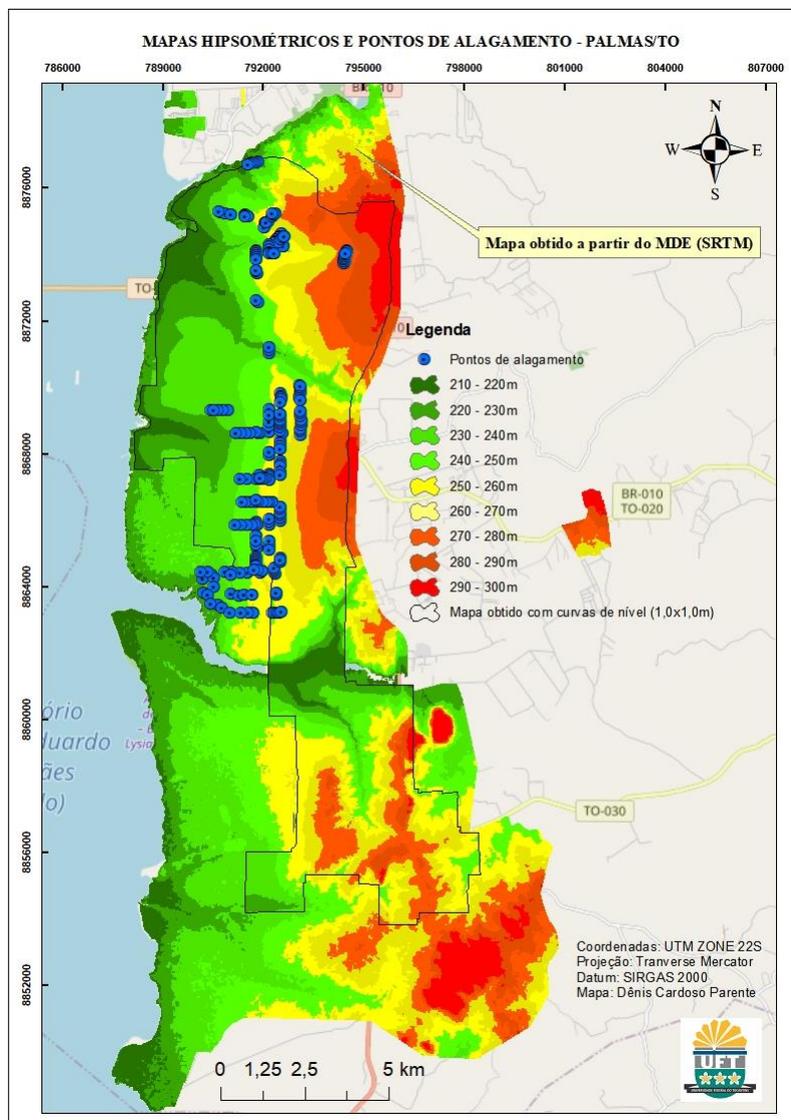
Tabela 13 - Área por intervalo de classe de altitude de Palmas - TO.

Faixa de altitude (m)	Área de abrangência (km ²)	% Correspondente
210 – 220	6.37	5.54%
220 – 230	12.80	11.12%
230 – 240	19.50	16.95%
240 – 250	14.29	12.42%
250 – 260	27.31	23.74%
260 – 270	13.04	11.33%
270 – 280	12.42	10.79%
280 – 290	6.21	5.40%
290 – 300	3.10	2.70%

Fonte: Autor (2023).

Por meio do mapa de distribuição dos pontos de alagamentos sobre a classificação hipsométrica (Figura 34), observa-se o predomínio desses eventos em áreas entre as cotas de 240 e 260m.

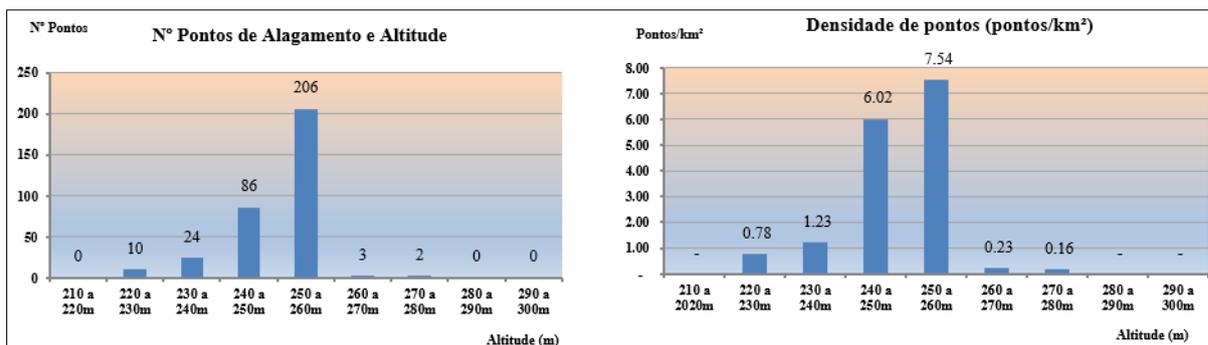
Figura 34 - Sobreposição de pontos de alagamento em mapa de hipsométrico.



Fonte: Autor (2023).

Os gráficos de distribuição desses pontos por faixa de altitude apresentados na Figura 35 mostra que a maioria dos alagamentos ocorre entre 240 a 270m. Nestas áreas predominam baixas declividades, que não ultrapassam 5%, compondo um dos fatores preponderantes no direcionamento do fluxo e na identificação dos locais expostos a risco de alagamentos. A associação dessas duas características (altitude e declividade) parece contribuir significativamente para a ocorrência de tais eventos.

Figura 35 - Quantidade e densidade de pontos de alagamento por classe de altitude.



Fonte: Autor (2023).

De acordo com Diaconu et al. (2021), a declividade tem maior influência sobre outros critérios (altitude, materiais de superfície e cobertura da terra) para ocorrência de alagamentos. Percebe-se em Palmas que à medida que a água escoada do divisor principal (Rodovia TO 010/050) se aproxima das regiões mais intermediárias, atinge declividades muito baixas, com que o escoamento tenha sua velocidade reduzida e gerando acúmulo. Tal processo pode estar sendo potencializado pela falta de um sistema eficaz de drenagem que transporte a água até os corpos receptores, sem que haja transferência de vazão entre as quadras.

Com relação aos produtos gerados pelas duas bases (topografia e SRTM), apesar das inconformidades e da perda de refinamento dos resultados, pode-se observar uma continuidade no perfil altimétrico e de declividade das áreas não contempladas pela planta topográfica, bem a incidência de pontos de alagamento nessas áreas principalmente em altitudes mais baixas na margem direita do Ribeirão Taquaruçu (< 250 metros).

5.2.2 Densidade de drenagem urbana

A densidade de drenagem (Dd) infere sobre a relação entre o comprimento total de rios (Lt) e a área, em km², da bacia hidrográfica. De acordo com Sthraler (1952), as bacias podem ser classificadas como de baixa drenagem, até 5,0 km/km²; média (5,0 a 13,5 km/km²); alta (13,5 a 155,5 km/km²) e muito alta (acima de 155km/km²).

As bases vetoriais disponibilizadas pela Secretaria de Recursos Hídricos do município (SEMARH) e pelo NATURATINS mostram que Palmas dispõem de um número reduzido de cursos de drenagem, além de estarem concentrados próximos aos vales dos principais córregos da cidade, Taquaruçu, Brejo Comprido e Sussuapara na região central e córrego Machado na região sul da cidade. Em razão desta particularidade optou-se por considerar este fator como

secundário e não o inserir na matriz hierárquica, haja vista que as vias urbanas implantadas acabam desempenhando o papel dos canais de drenagem.

Castro (2018) apresenta o mapa de densidade de drenagem da área urbana de Palmas compartimentado em três classes, baixa, moderada e elevada, conforme Figura 36. Por apresentar uma amplitude topográfica relativamente pequena e baixas declividades, a densidade de drenagem se apresenta como importante fator de diferenciação do relevo na área de estudo. Baixas densidades de drenagem predominam, estando as densidades de drenagem moderadas são pouco representativas e ocorrem somente ao sul do Córrego Brejo Comprido e as densidades elevada próximas aos cursos d'água e nascentes no Sul. A distribuição das áreas por classe de drenagem é apresentada na Tabela 14.

Figura 36 - Carta de unidades geotécnicas.

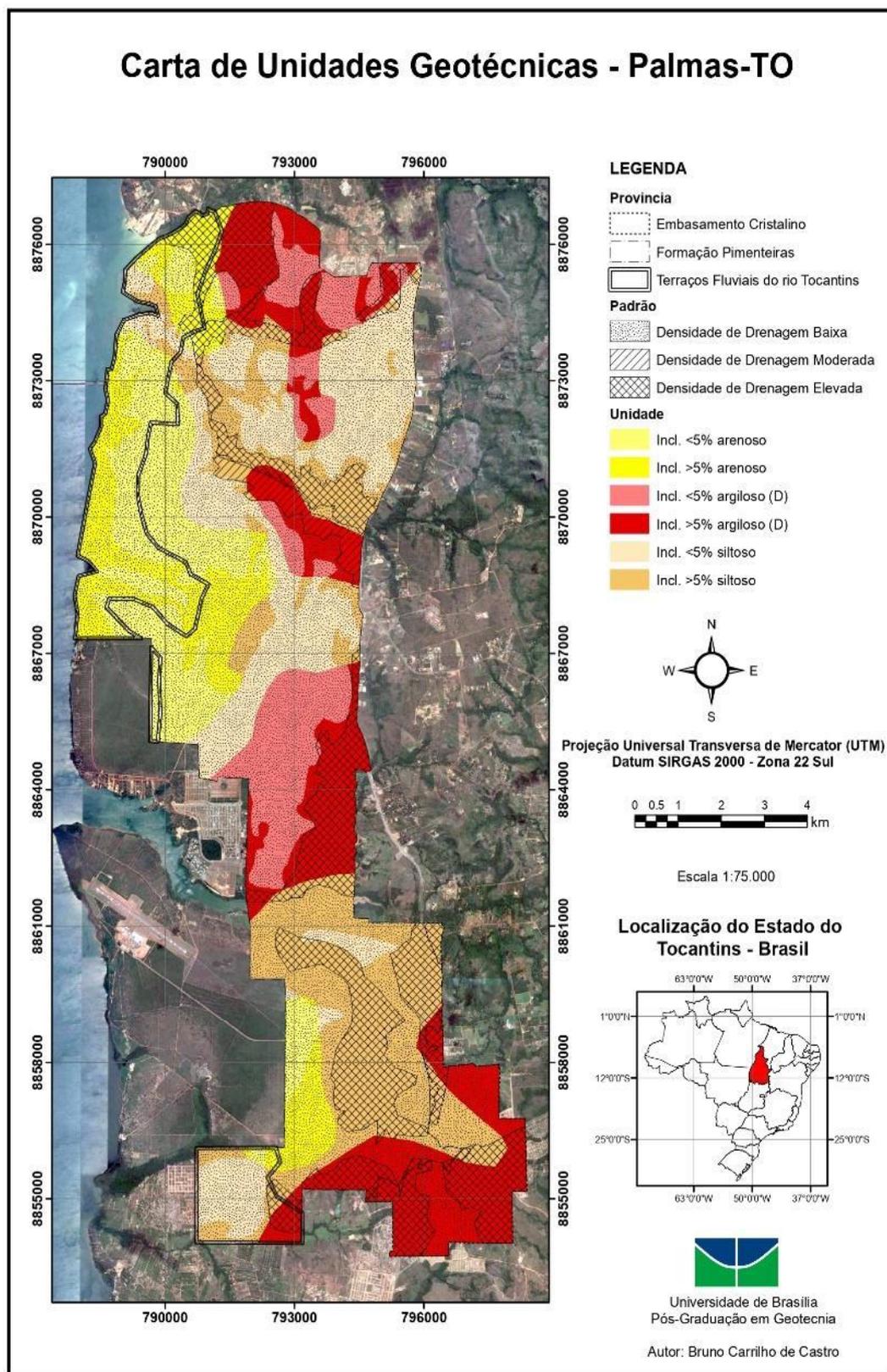


Figura 4.63 - Carta de unidades geotécnicas

146

Fonte: Castro (2018).

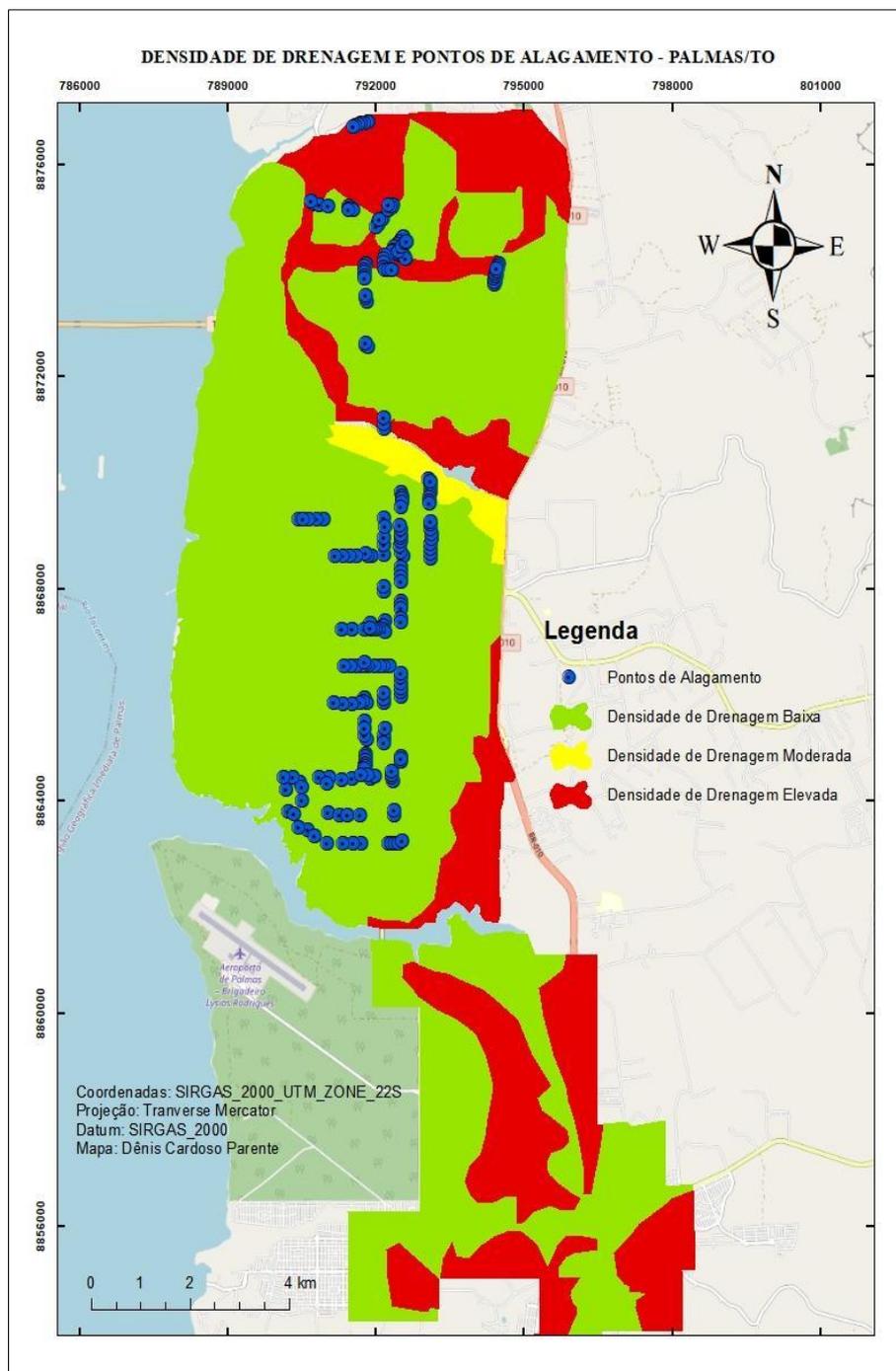
Tabela 14 - Áreas referentes às classes de drenagem e seus respectivos percentuais.

Densidade de drenagem	Área (km ²)	% correspondente
Alta	32.89	25.23%
Moderada	2.15	1.65%
Baixa	95.32	73.12%

Fonte: Autor (2023).

Ao correlacionar os 326 pontos recorrentes de alagamentos (Figura 37) é possível identificar que nas áreas com baixas densidades de drenagem se concentram os alagamentos, com 90,78% dos pontos. Esses eventos estão distribuídos entre dois importantes cursos d'água da cidade, os córregos Taquaruçu e Brejo Comprido. Os demais pontos se localizam ao norte, inseridos ou próximos de zonas com alta densidade de drenagem como cruzamentos e nascente do Córrego Sussuapara e de outros cursos d'água do norte da cidade.

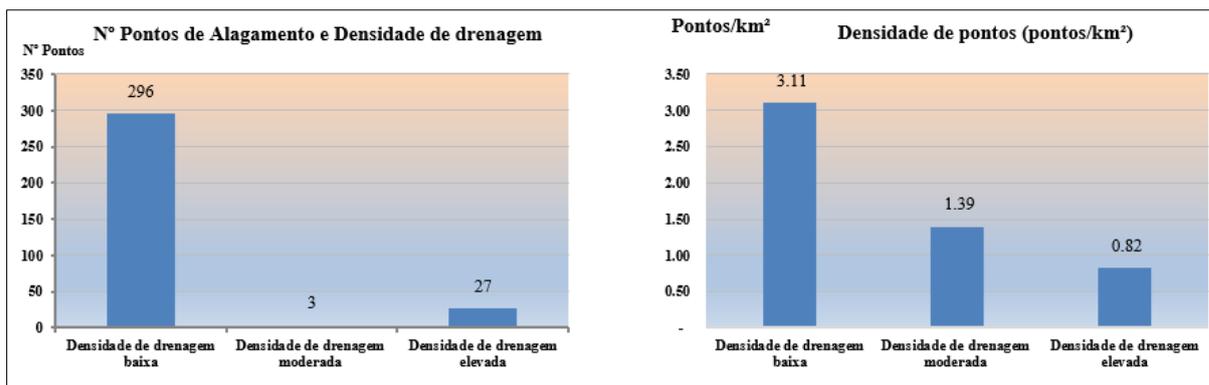
Figura 37 - Pontos de alagamento por compartimento de drenagem.



Fonte: Autor (2023).

Nos terrenos com baixas densidades de drenagem a água escoar com menor velocidade, se tornando permanente mesmo após o evento chuvoso. O elevado número de pontos de alagamento identificados em campo e disponibilizados no relatório da defesa civil da cidade corroboram (Figura 38).

Figura 38 - Quantidade e densidade de pontos por classe de densidade de drenagem.



Fonte: Autor (2023).

O sistema de drenagem, mesmo intermitente, e incorporado à malha urbana da cidade, modificando também o escoamento superficial das águas das chuvas. Assim, as águas continuam o seu percurso, agora não mais nas porções rebaixadas condicionadas pelo relevo anterior à urbanização, mas sim, em vias pavimentadas artificialmente que, muitas vezes, não direcionam os fluxos às calhas dos cursos d'água perenes, provocando a concentração de águas em pontos rebaixados e/ou impermeabilizados por estruturas urbanas como ruas e calçamentos e ocasionando os alagamentos urbanos.

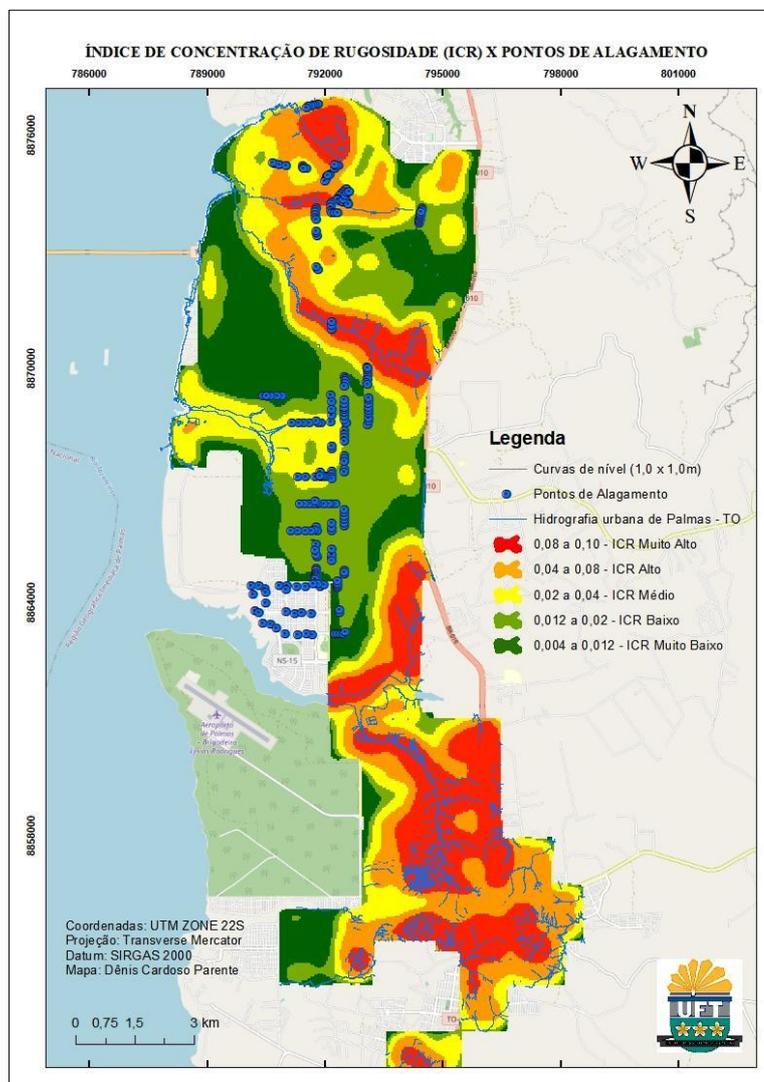
5.2.3 Índice de Concentração de Rugosidade (ICR)

O padrão de variabilidade dos valores altimétricos que caracterizam uma vertente ou segmento de vertente quanto a sua declividade e quanto ao padrão de dissecação, é traduzido no índice de concentração de rugosidade ICR como um padrão espacial regional (análise regional), indicando a variação dos valores de declividade por unidade de área. Desta forma, distintas unidades de relevo são definidas no ICR através da análise da intensidade de recorrência de um dado valor de declividade diferenciando, por exemplo, relevos tipicamente planos de vertentes localmente planas (SAMPAIO e AUGUSTIN, 2014).

Para a obtenção do ICR da área urbana de Palmas, foi utilizada a metodologia aplicada por Sampaio, (2008); Sampaio & Augustin, (2008); Nascimento et al, (2010) e Fonseca, (2010), calibrando o raio de busca a ser empregado pelo estimador de densidade por kernel na geração do ICR, partindo-se do raio de 564m, conforme proposta de Horton (1945).

Nos mapas das Figuras 39 e 40 pode-se observar a distribuição das classes sobre a área de estudo.

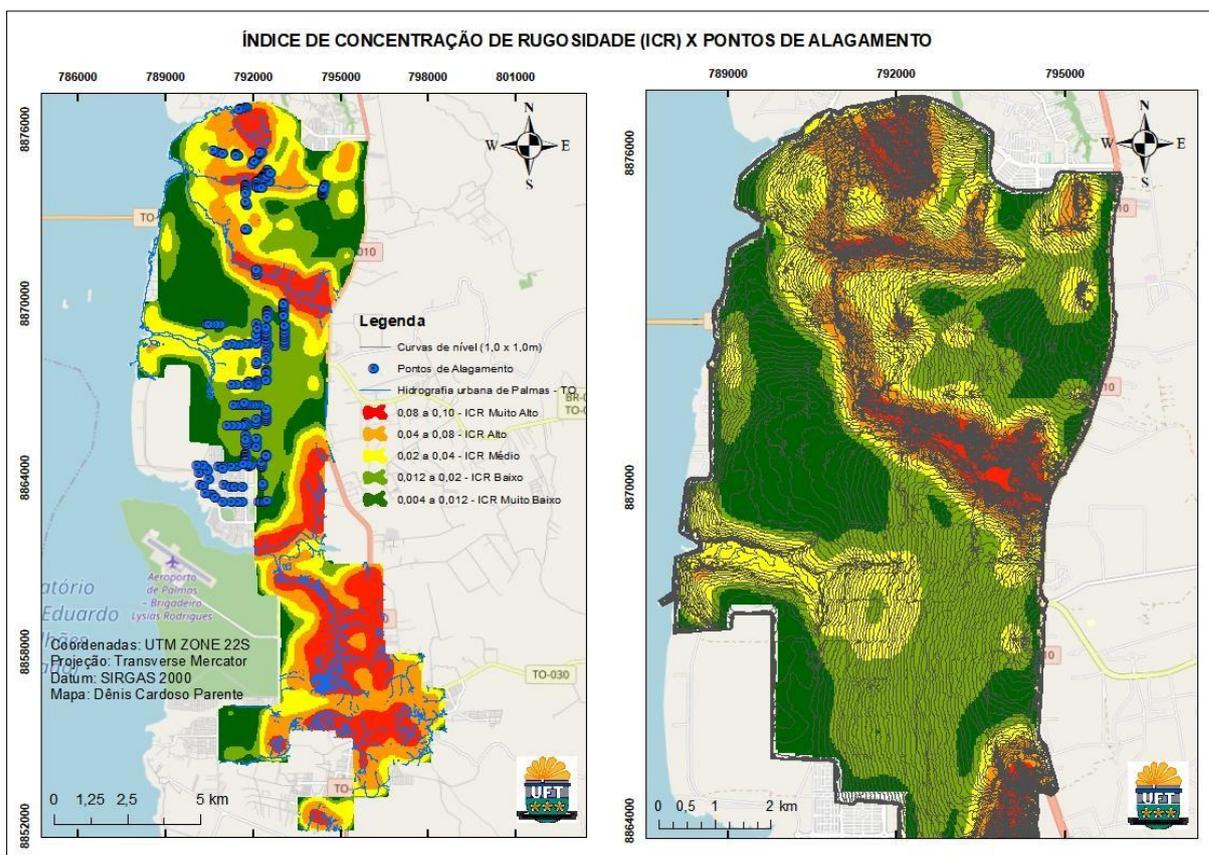
Figura 39 - Índice de concentração de rugosidade (ICR) e disposição de pontos de alagamento em Palmas - TO.



Fonte: Autor, (2023).

A classificação do ICR em relação à área urbana de Palmas – TO mostra que há uma predominância do ICR muito alto no sul da cidade (Aurenys e Taquaralto). Tal característica também se repete nas proximidades dos córregos Sussuapara, Brejo Comprido e Tiúba, e em pequenos cursos d'água da porção norte da cidade, e correspondem aos terrenos de altas declividades e escoamento superficial mais rápido.

Figura 40 - Índice de concentração de rugosidade, pontos de alagamento e planta topográfica da área urbana de Palmas - TO.

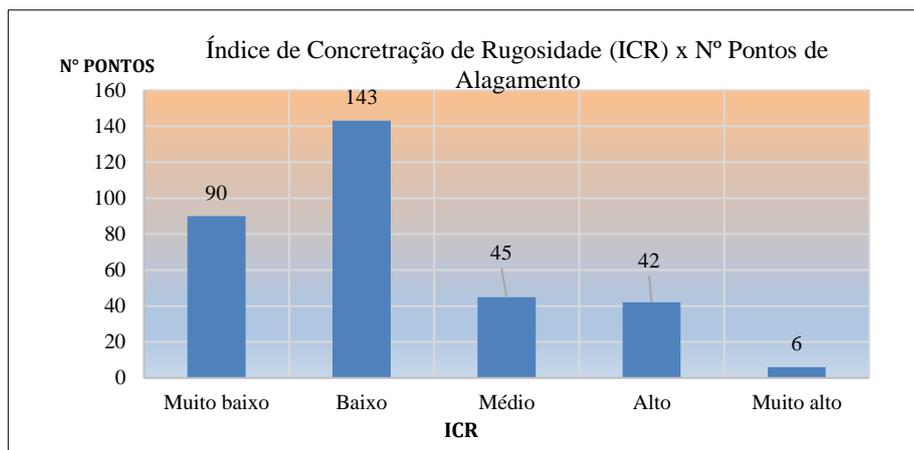


Fonte: Autor (2023).

Os menores valores de ICR correspondem aos terrenos mais planos e suscetíveis a alagamentos, onde o escoamento superficial é lento ou até mesmo impedido.

Do total levantado, 146 pontos (43,48%) estão sobre área de ICR baixo e 90 pontos (27,60%) sobre área de ICR muito baixo, ou seja, 71,08% da totalidade dos pontos distribuídos nas referidas áreas (Figura 41). Percebe-se que há um predomínio dessas áreas ao longo da Av. Teotônio Segurado, bem como a incidência dos pontos de acúmulo de água de chuva, justamente nas zonas de altitudes intermediárias e com declividades muito baixas identificados no capítulo 4.1.1.

Figura 41 - Número de pontos de alagamento por classe de ICR.



Fonte: Autor (2023).

Tais afirmações podem ser sustentadas como base nos estudos feitos por Korzeniowska et al., (2017) que afirmam que o ICR é um índice topográfico morfométrico amplamente usado em modelagem de suscetibilidade à inundação, que expressa a heterogeneidade da superfície da área de estudo.

Riley et al., (1999) e Oliveira et. al., (2021) apontam que quanto mais uniforme for o relevo em uma determinada área, menor será o índice de rugosidade, e conseqüentemente mais propenso aos alagamentos e enchentes, que tende a acontecer em locais planos.

5.3 Materiais superficiais e alagamentos

5.3.1 Compartimentação geotécnica (textura predominante)

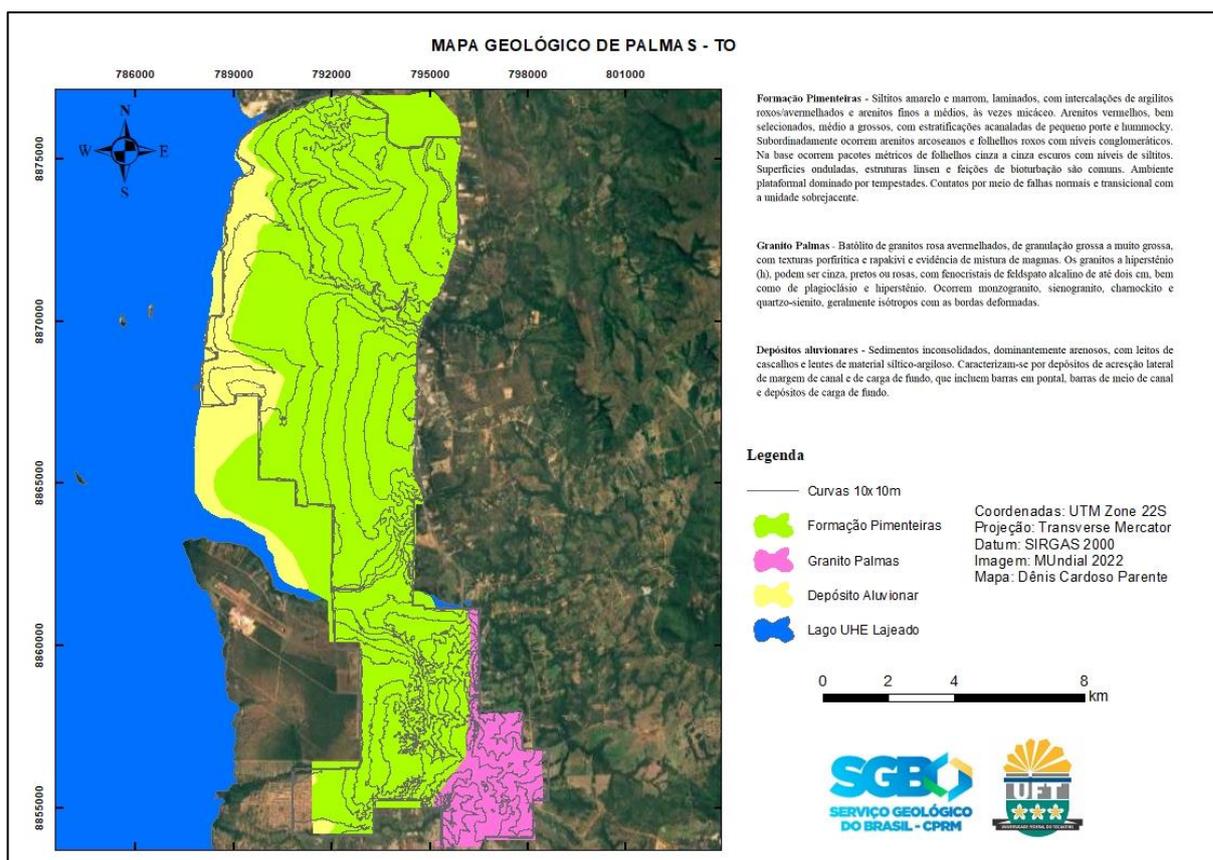
Cartas de compartimentação geotécnica são utilizadas na identificação de porções do terreno com características geotécnicas similares, o que permite fazer avaliações de diversas naturezas e finalidades.

A área urbana de Palmas engloba três formações geológicas: Formação Pimenteiras, Granito Palmas e Depósito Aluvionar (Figura 42). Dentre elas predomina a Formação Pimenteiras e Depósito Aluvionar, onde está a maior parte da cidade e que apresentam características bastante distintas.

Segundo Hasui et. al (2012), a Formação Pimenteiras apresenta uma sucessão de camadas argilosas siltosas e arenosas com a presença de concreções ferruginosas. As áreas pertencentes a essa formação apresentam uma permeabilidade relativamente baixa e podem

apresentar problemas de expansibilidade. Sob a Formação Pimenteiras são encontradas fraturas distensivas preenchidas por material arenoso, formando regiões de alta permeabilidade. Os sedimentos quaternários dos terraços fluviais apresentam espessas camadas arenosas com a presença de camadas de seixo formadas pela atuação do Rio Tocantins. Segundo o autor essas áreas também apresentam permeabilidade elevada e nível freático pouco profundo (1 a 4 m).

Figura 42 – Mapa geológico de Palmas com curvas de nível.



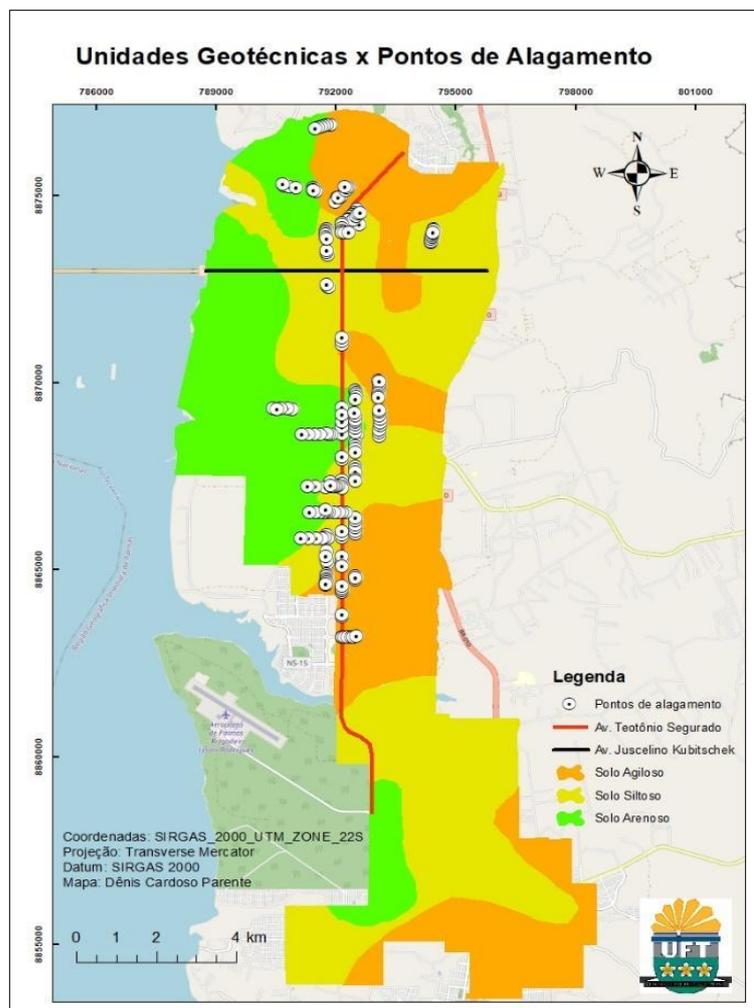
Fonte: Autor (2023).

Castro (2018) estabelece a compartimentação geotécnica da área urbana de Palmas – TO pela divisão da mesma em províncias, que por sua vez considera características de ordem geológica. Com base nas informações do CPRM conjuntamente com a análise dos dados de sondagens identificaram-se as províncias existentes.

A metodologia aplicada pelo autor foi a metodologia PUCE (Pattern, Unity, Component, Evaluation), bastante empregada para a compartimentação de unidades geotécnicas e se baseia em um sistema hierárquico, partindo de uma classificação geológica até a caracterização dos componentes do terreno. Leva em consideração a amplitude de relevo, a densidade de drenagem.

No mapa da Figura 43 percebe-se que os solos argilosos e siltosos se espalham de Centro a Leste da cidade. As duas províncias representam 74,33% da área de estudo, sendo 52,92km² correspondente ao solo siltoso e 38,41km² ao solo argiloso.

Figura 43 - Pontos de alagamento sobre os compartimentos geotécnicos de Palmas - TO.



Fonte: Autor (2023).

Os solos arenosos são predominantes na porção Oeste da cidade, em uma faixa que se estende da Praia do Prata até a Praia das ARNOS, adentrando até as proximidades da Avenida Theotônio Segurado.

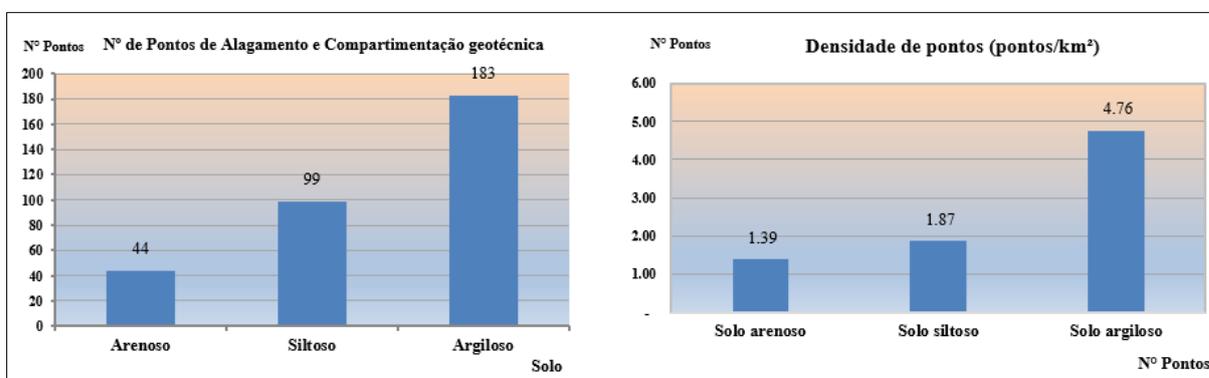
Os solos arenosos apresentam também concentrações de pedregulhos quartzosos típicos de terraços fluviais, indicando que o limite dos terraços apresentados pela CPRM (2016) pode na verdade ser um pouco mais a leste na área central da cidade, chegando até a Av. Teotônio Segurado.

Significativas porções de solos argilosos são notadas nos extremos norte e sul da cidade, em torno do Parque Cesamar e numa grande área na margem direita do córrego Taquaruçu, onde estes solos avançam em direção à oeste, inclusive cruzando a Av. Teotônio Segurado.

Solos argilosos são observados a Leste e próximos a Av. Theotônio Segurado. Esse material é de origem laterítica e registra, eventualmente, a presença de camadas impermeáveis que dificultam a infiltração das águas superficiais.

A Figura 44 mostra a distribuição dos pontos de alagamento em cada compartimento identificado.

Figura 44 - Número de pontos de alagamento classe de material de superfície.



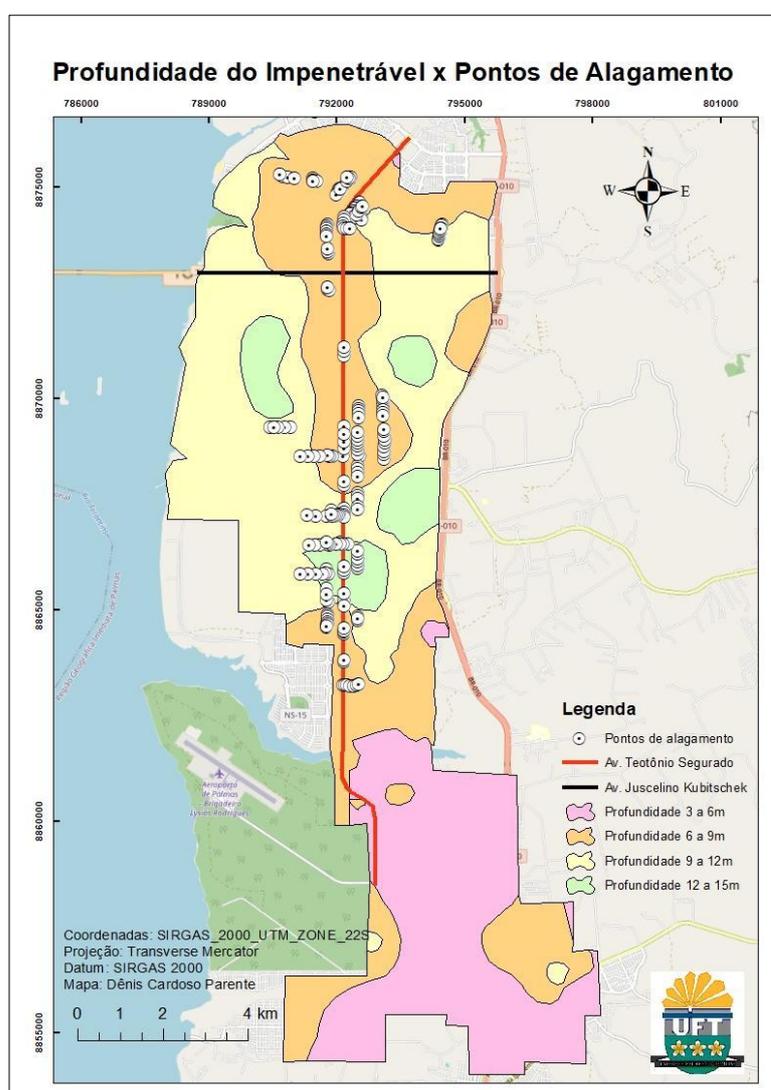
Fonte: Autor (2023).

Solos mal drenados também contribuem para a ocorrência de alagamentos e, quando atingidos por chuvas intensas e/ou de longa duração são saturados rapidamente, aumentando o escoamento superficial e a concentração de águas nessas regiões. A maior incidência de pontos de alagamento nas áreas com solos argilosos e siltosos, com 78,83% do total de pontos identificados, podem estar refletindo a menor permeabilidade dos mesmos, uma vez que o tamanho dos grãos e das partículas influenciam na capacidade de infiltração e absorção de água de chuva, interferindo no potencial de enxurradas e alagamentos no solo.

A profundidade do impenetrável apresentada por Castro (2018), foi obtida por ensaios de NSPT e mostra uma distinção entre as áreas de influência dos cursos d'água e as demais áreas da cidade (Figura 45). Nas proximidades dos córregos Taquaruçu e Brejo Comprido e na cabeceira do córrego Sussuapara são observados valores baixos de NSPT na superfície e nas primeiras camadas de solo. Situação que se altera somente quando se atingem camadas de pedregulhos elevando o NSPT da camada, ou quando se atinge a camada de saprólito e o impenetrável.

As áreas a Oeste, notadamente aquelas compostas por material arenoso, apresentam valores baixos de NSPT, o que indica serem materiais de baixa compactidade e que é compatível com seu processo de formação, sedimentar e geologicamente recente e que favorecem a drenagem da água superficial. Por outro lado, as áreas mais elevadas apresentam valores mais altos de NSPT, podendo inclusive apresentar impenetrável no primeiro metro de ensaio, característica de solos com baixa capacidade drenante, o que favorece a saturação e acúmulo de água na superfície, caso predominante no sul da cidade.

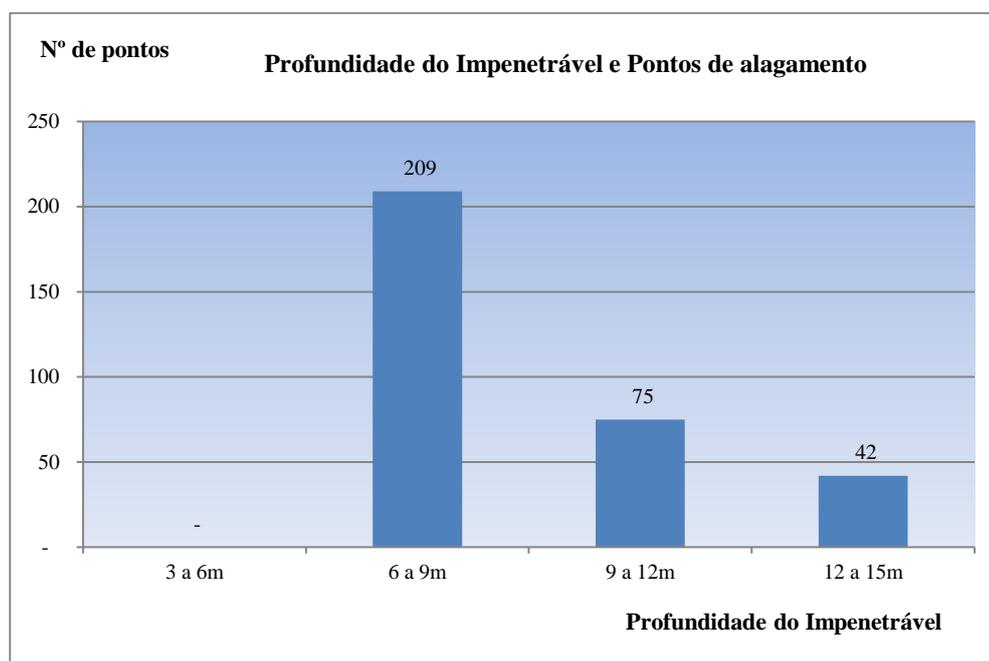
Figura 45 - Pontos de alagamento sobre mapa de profundidade do impenetrável.



Fonte: Autor (2023).

A Figura 46 mostra a quantidade de pontos de alagamento levantados por faixa de profundidade do impenetrável obtido pelo mapa de Castro (2018).

Figura 46 – Número de pontos de alagamento por faixa de profundidade do impenetrável.



Fonte: Autor (2023).

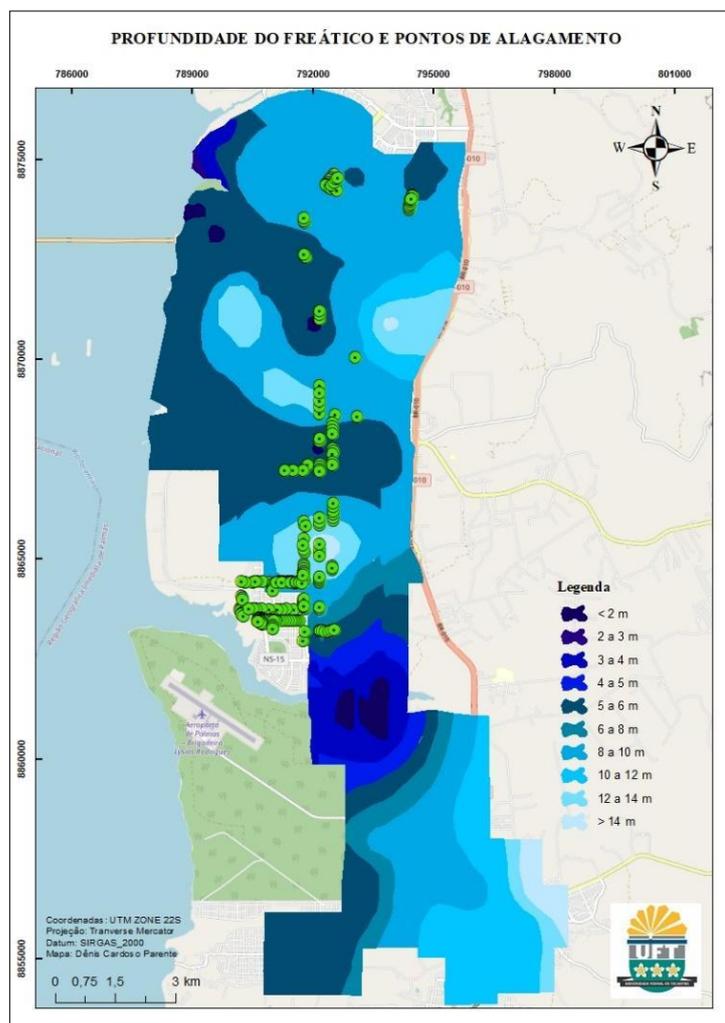
5.3.2 Profundidade do lençol freático

O nível médio do lençol freático e o espaço presente no solo referente a absorção da água em episódios de intensa precipitação é fator importante na dinâmica do escoamento superficial e, conseqüentemente, na ocorrência de alagamentos.

A saturação do solo ocorre quando o aporte de água é superior ao volume livre do solo, delimitado pelo lençol freático. Nas situações em que o nível do lençol freático é raso tem-se alta probabilidade de ocorrência de infiltração de água nas estruturas e possíveis alagamentos, e ainda, a elevação do lençol freático resultará em formação de áreas permanentemente alagada, como decorrência do aumento da espessura da lâmina d'água.

A distribuição dos pontos de alagamento sobre o mapa de profundidade do lençol freático produzido por Castro (2018) é apresentada na Figura 47. A maioria dos pontos de alagamento está localizada na faixa de profundidade do lençol com 6 a 8m (154 pontos, 47,23% do total), seguido por 117 pontos (35,88%) nas faixas de profundidade superiores a 8m e o restante, 55 pontos (16,87%), na faixa de 4 a 5m de profundidade. É possível perceber que a profundidade do lençol freático é uma variável que pouco contribui para os eventos de alagamento em Palmas, uma vez que a maior parte dos pontos não está localizada nos terrenos com lençol freático pouco profundo. Lençóis freáticos rasos favorecem a saturação do solo e conseqüente acúmulo de água na superfície.

Figura 47 - Mapa de profundidade do lençol freático e pontos de alagamento.



Fonte: Autor (2023).

As áreas de lençol freático mais raso estão associadas aos principais cursos d'água da cidade e aos solos arenosos dos terraços fluviais entre o Lago da UHE Lajeado (Oeste) e a Av. Teotônio Segurado.

5.4 Cobertura da terra e alagamento

Visitas de campo e observação de fotografias aéreas e imagens de satélites permitiram classificar a cobertura da terra da cidade de acordo com a densidade de ocupação: quadras consolidadas, quadras não consolidadas, áreas verdes corpos d'água, bem como caracterizar o comportamento no que diz respeito ao escoamento superficial da água de chuva, conforme descrito no Quadro 9.

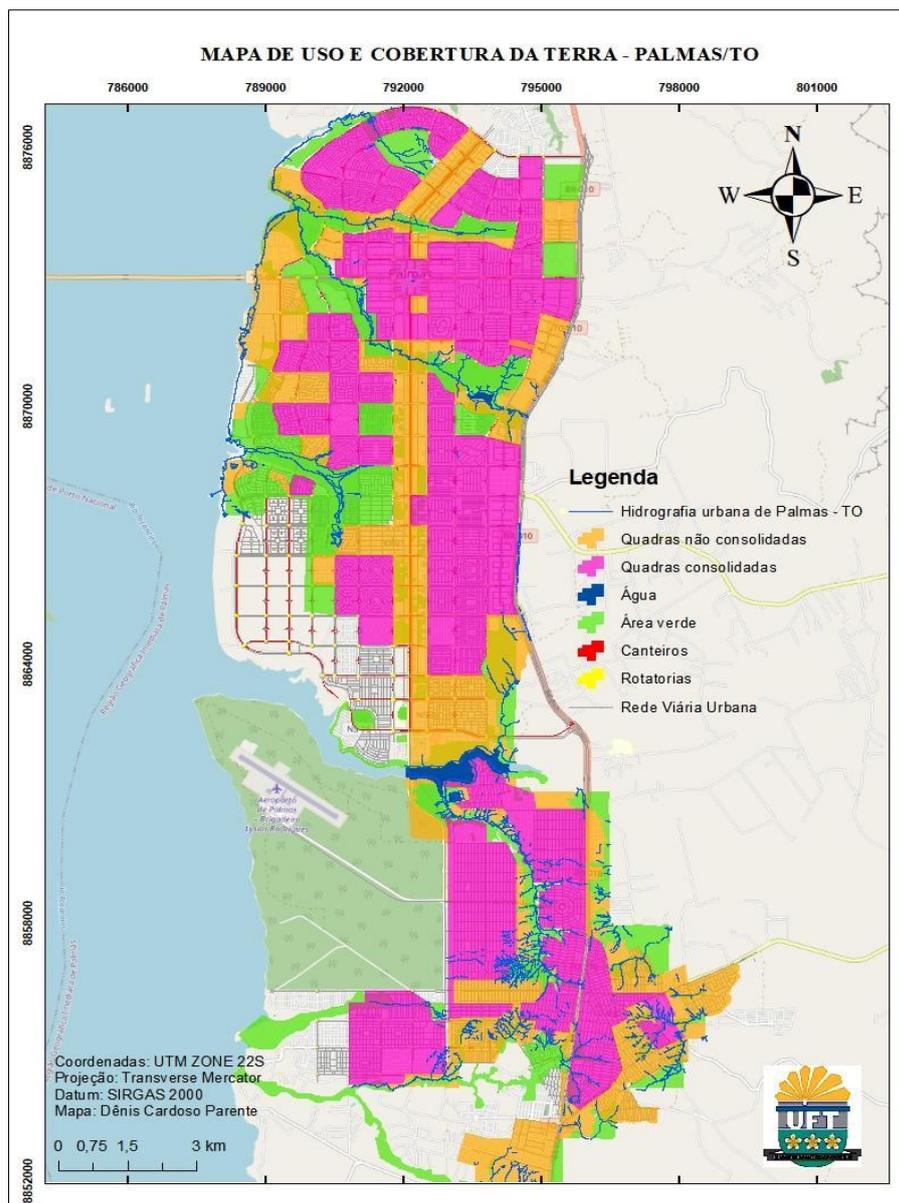
Quadro 9 - Caracterização das áreas de cobertura do solo de Palmas – TO.

Categoria de cobertura	Exemplo (imagem de satélite, VANT)	Características da ocupação	Hidromorfologia	Grau de perturbação
Quadras consolidadas		Lotes e arruamentos bem definidos, alta densidade de edificações com vegetação rasteira ou arbustos esparsados.	Escoamento superficial concentrado nas vias de circulação, dependendo de sistema de microdrenagem adequada para a vazão.	Alto
Quadras não consolidadas		Lotes e arruamentos bem definidos, com baixa densidade de edificações com vegetação rasteira e remanejamento de material de superfície.	Escoamento superficial nas vias ainda reduzido, haja vista a presença de solo desnudo e vegetação rasteira. Quando existente, sistema de microdrenagem ainda menos exigido.	Baixo
Área verde		Áreas com vegetação arbustiva remanescente ou regenerada e áreas de preservação permanente (APPs).	Permeabilidade favorecida pela presença de vegetação. Perda de solo por erosão restrita aos terrenos expostos.	Baixo
Hidrografia		Cursos d'água e lago da UHE Lajeado.	Locais saturados por se tratar do nível de base, onde as águas superficiais convergem ou se acumulam.	Baixo

Fonte: Autor (2023).

A Figura 48 mostra o mapa de cobertura do solo urbano de Palmas.

Figura 48 - Mapa de cobertura do solo de Palmas - TO.

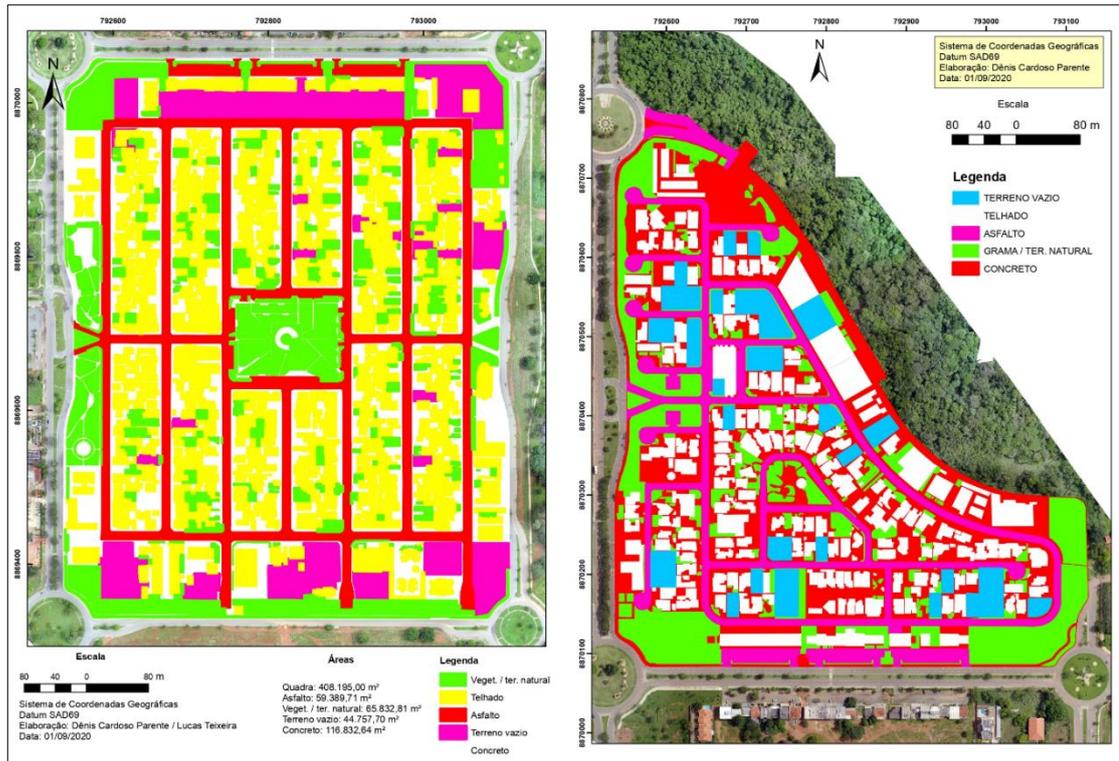


Fonte: Autor (2023).

As quadras consolidadas possuem alta taxa de impermeabilização por cobertura de telhados, calçamento em concreto e pavimento asfáltico, o que favorece o aumento da vazão de escoamento superficial.

Em sobrevoo com VANT a algumas quadras, utilizadas como unidades amostrais (quadras 504 Sul, 404 Sul e 1503 Sul), foi observada uma alta taxa de impermeabilização por vias pavimentadas e por passeios em concreto, conforme mostra a Figura 49.

Figura 49 - Vetorização da cobertura das quadras 504 e 404 Sul de Palmas - TO.



Fonte: Autor (2023).

As quadras não consolidadas apresentam uma baixa taxa de ocupação e ainda com vegetação arbustiva esparsa, cobertura com grama e terreno desnudo. Cabe ressaltar que tal característica se deve ao fato de serem quadras recém implantadas como, por exemplo, a Quadra 1503 Sul (Figura 50).

Figura 50 - Vetorização da cobertura da quadra 1.503 Sul de Palmas - TO.



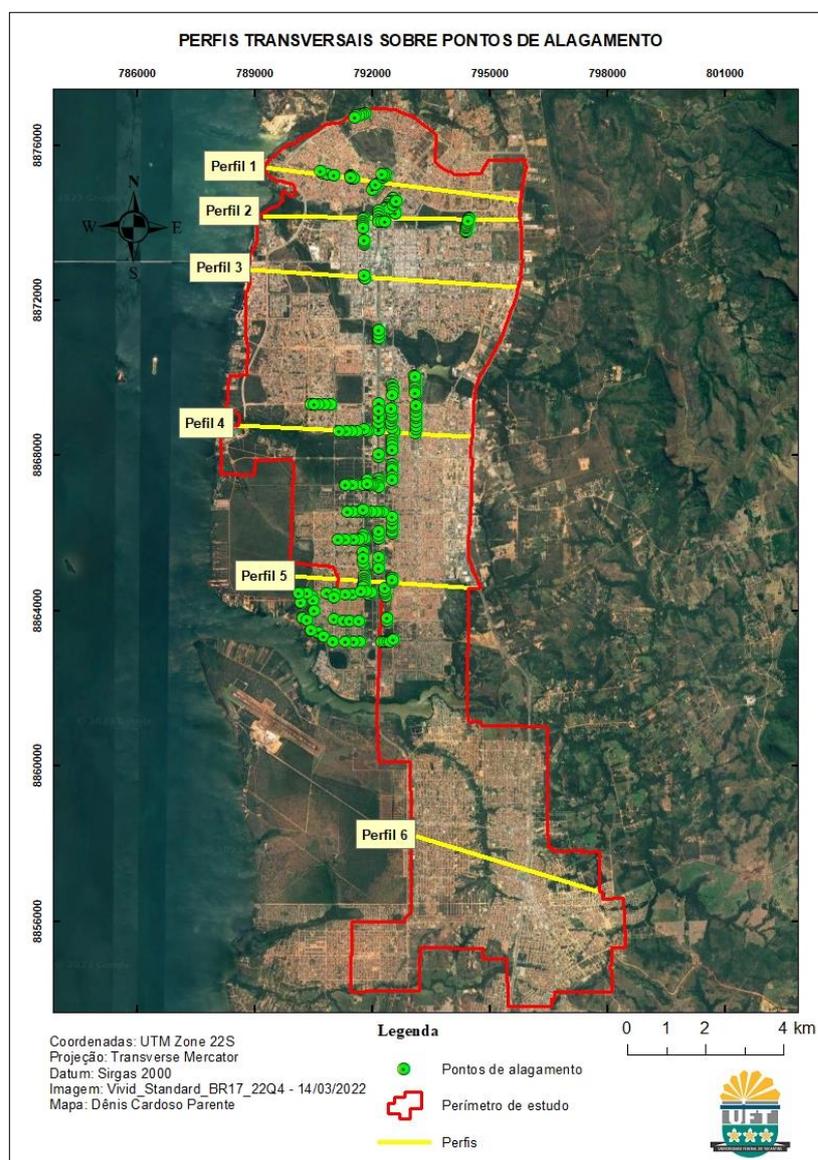
Fonte: Autor (2023).

Por fim, as áreas verdes e os corpos d'água. É notável a presença de mata ciliar e de galeria nas cotas mais baixas ao longo dos cursos d'água e margens do reservatório da UHE Lajeado. A grande quantidade de terrenos permeáveis e a baixa ocupação urbana nas cotas mais baixas e margens dos cursos d'água desempenham papel fundamental para que as inundações destes cursos d'água não resultem em impactos na cidade, bem como para que os alagamentos não sejam de maiores magnitudes.

5.5 Correlação entre pontos de alagamento, morfometria, materiais superficiais e cobertura da terra

A morfometria, materiais superficiais, cobertura da terra e índice de concentração de rugosidade (ICR) foram correlacionados e ilustrados por meio de perfis transversais representativos dos pontos de alagamentos da área urbana de Palmas (Figura 51).

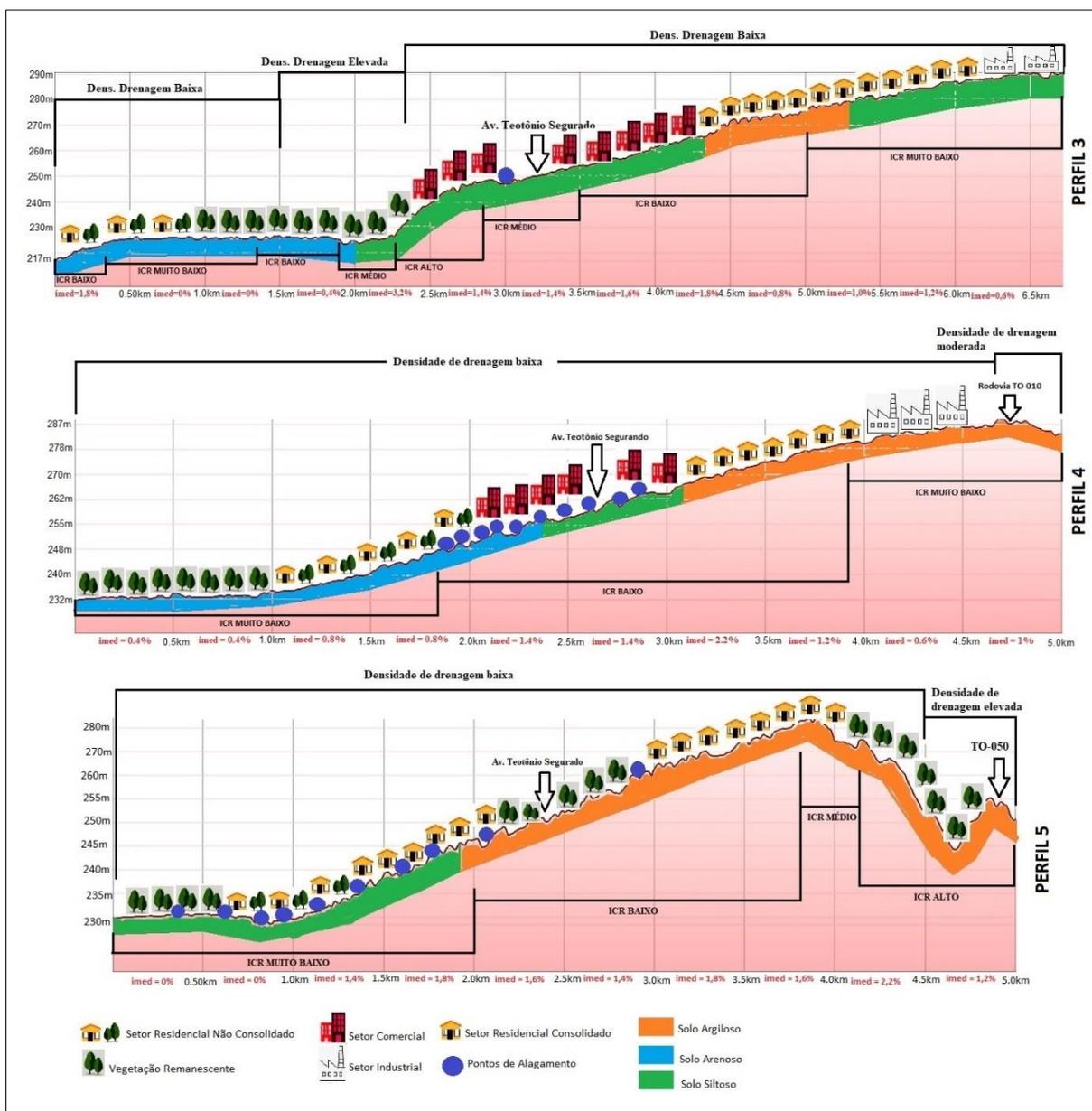
Figura 51 - Disposição dos perfis transversais.



Fonte: Autor (2023).

Os perfis centrais 3, 4 e 5 ilustrado na Figura 52 apontam a dinâmica de escoamento na zona central da cidade (exagero vertical 13,7).

Figura 52 - Perfil de elevação com compartimentação de classes e pontos de alagamento.



Fonte: Autor (2023).

O que se pode observar é que há uma maior concentração de pontos de alagamento próximo à Av. Teotônio Segurado, em regiões com médio a baixo índice de concentração de rugosidade (ICR), o que naturalmente está relacionado às baixas declividades (em torno de 1,5%). É notório que a maioria dos pontos de alagamentos se localiza entre as altitudes de 240 a 270 metros, numa situação de “média vertente”, ou seja, entre o divisor de águas acima de 290 metros próximo a TO 010/050 e o nível de base regional do Lago da UHE Lajeado a 212 metros. As porções mais baixas da cidade são planas e com ICR muito baixo o que, em teoria,

propiciaria a ocorrência de alagamentos. No entanto, os alagamentos nestes terrenos são registrados apenas no perfil 5.

A falta de pontos de alagamento nestes locais mais baixos pode ser parcialmente explicada pela própria falta de ocupação urbana, ou seja, possíveis alagamentos que ocorram ali não geram impacto algum em moradias ou sistema viário, fazendo com que a gestão municipal não os registre. Outro fator que parece ser importante é o fato de que as quadras e ocupações urbanas localizadas nestes terrenos são bem assistidas por sistemas de micro e macrodrenagem.

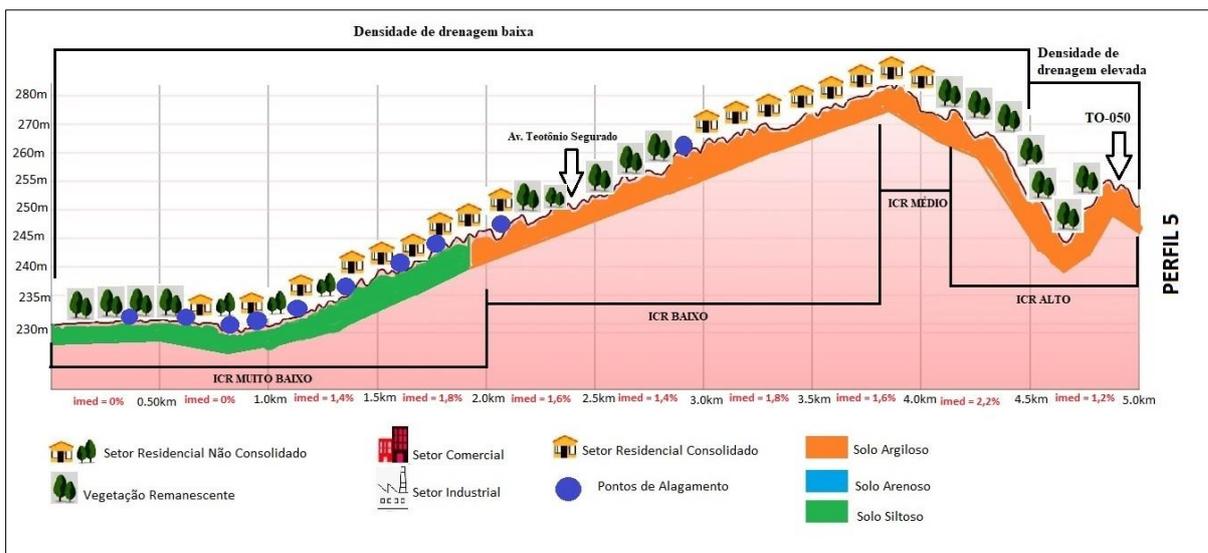
Os dados sugerem que nesta zona central da cidade as águas escoadas a partir dos pontos mais altos a leste, próximos à rodovia TO 010/050, não fluem diretamente para os pontos mais baixos próximos ao Lago da UHE Lajeado. Estas águas se acumulam nas altitudes intermediárias, próximas à Av. Teotônio Segurado, mas próximas também às nascentes dos cursos d'água como os córregos do Prata Almescão à sudoeste nos terrenos ainda não ocupados, que parece exercer um papel fundamental na “atração” e acúmulo destas águas.

Outro ponto interessante a ser observado é que os eventos de alagamento estão em faixas de baixa densidade de drenagem, o que corrobora com o entendimento majoritário de que tal característica dificulta a retirada da água do ambiente.

Percebe-se que os materiais superficiais não mostram uma tendência a maiores riscos em determinado material de superfície (solo). Muito embora, solos com maiores índices de vazios, como os argilosos e siltosos, sejam mais propensos ao acúmulo superficial de água, a impermeabilização da superfície urbana ou outros fatores provavelmente são mais predominantes no comportamento do escoamento superficial nestas localidades.

Certo que a cobertura das áreas à montante dos pontos potencializam o escoamento, haja vista que não há canais de drenagem e que tal papel é desempenhado pelas vias urbanas asfaltadas que conduzem o fluxo à Av. Teotônio Segurado e quadras a sua jusante. Aqui o fator determinante seria a cobertura da terra e ineficiência do sistema de micro e macrodrenagem da cidade, principalmente, nas quadras mais altas entre a rodovia TO 010/050 e a Av. Teotônio Segurado. A impermeabilização e o sistema de drenagem ineficiente nas quadras mais altas, fazem com que o escoamento superficial nestes terrenos seja potencializado, contribuindo diretamente para o acúmulo das águas das chuvas nas quadras localizadas em altitudes intermediárias. O Perfil 5 apresentado na Figura 53 mostra claramente a transferência de vazão e o conseqüente acúmulo em áreas à jusante da Teotônio Segurado, chegando a áreas ainda não urbanizadas.

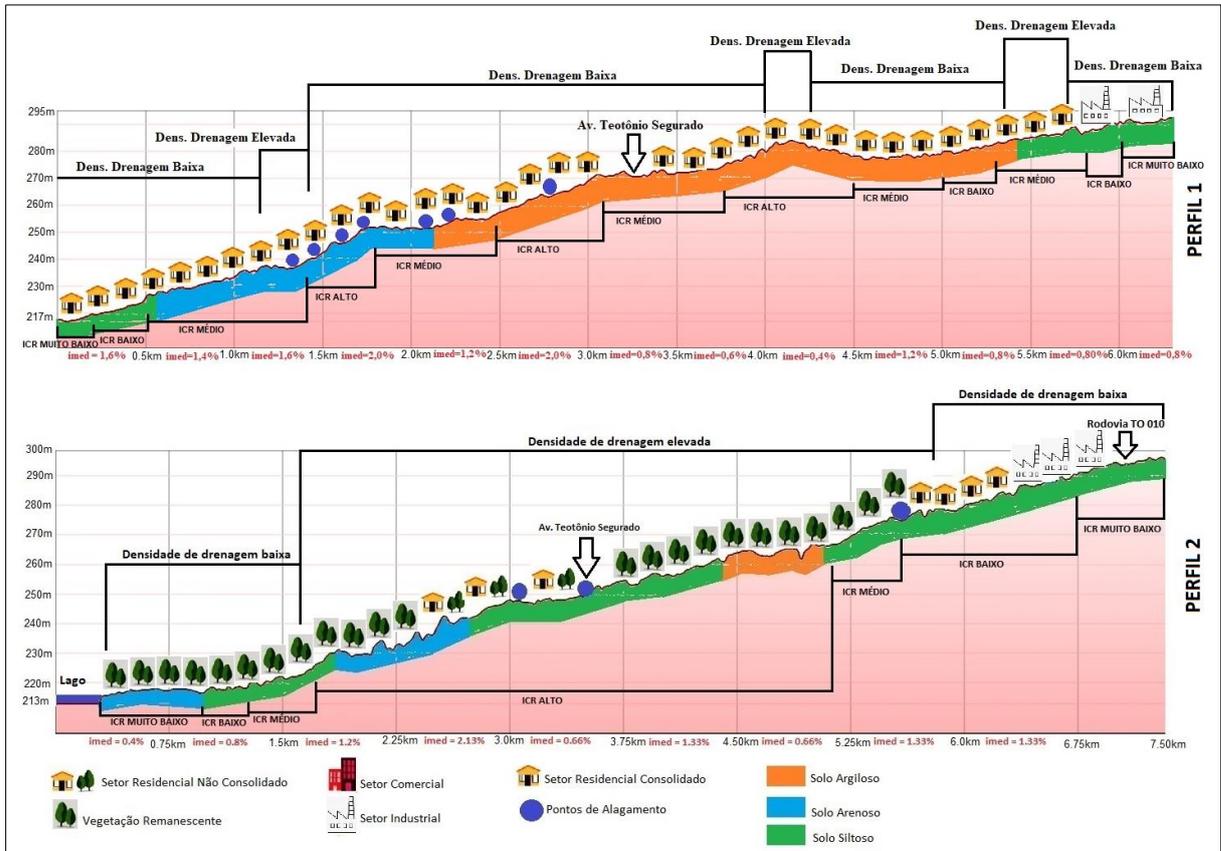
Figura 53 – Perfil de elevação com indicativo de transferência de vazão de contribuição.



Fonte: Autor (2023).

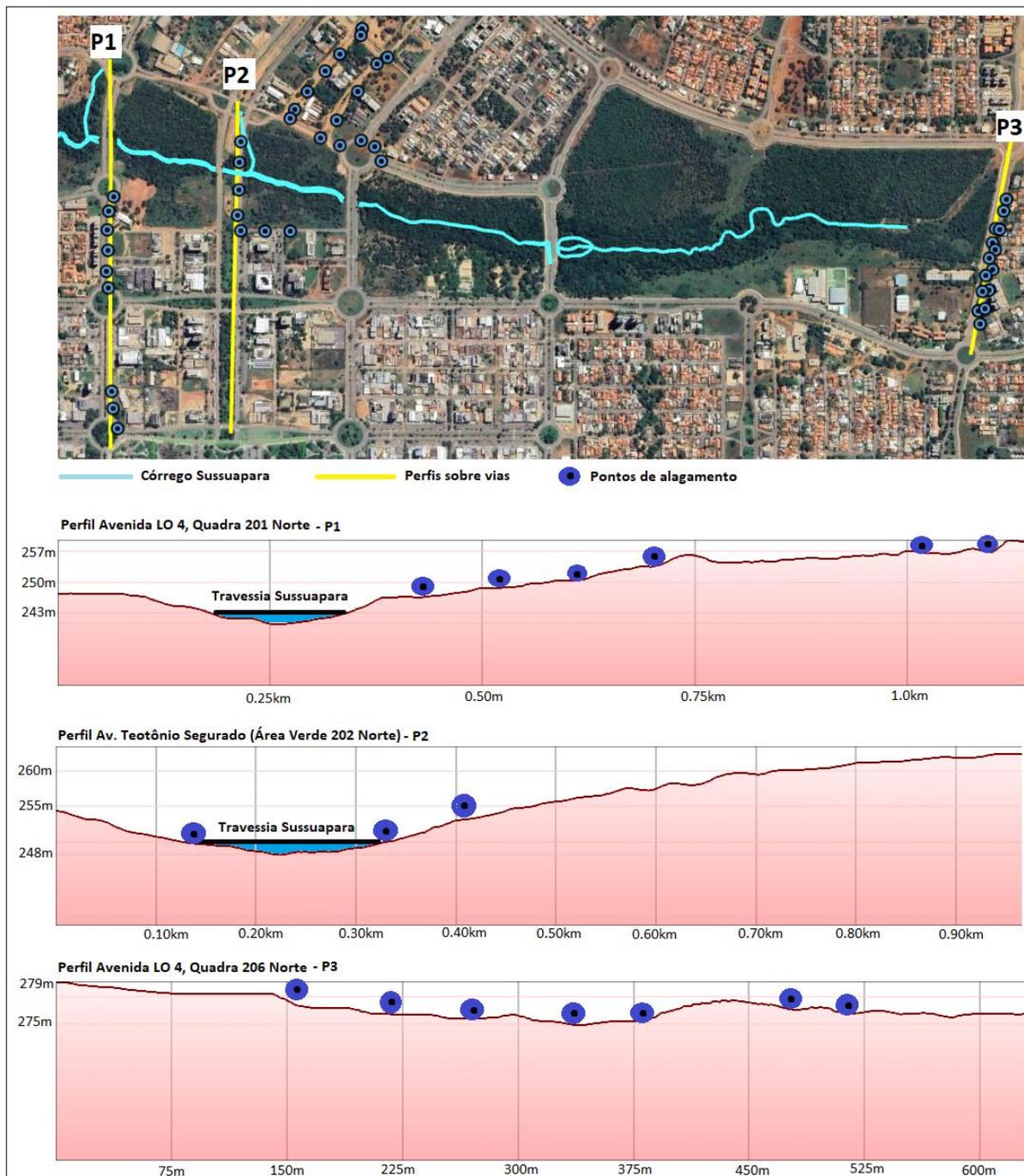
Os pontos de alagamento identificados nos perfis 1 e 2 da Figura 54, com exagero vertical de 13,7, estão localizados em áreas próximas ao Córrego Sussuapara, na região norte de Palmas, em terrenos com elevada densidade de drenagem e o alto ICR, divergindo do que acontece nos perfis 4 e 5. A presença de acúmulo de água nestas áreas está associada à nascente do Córrego Sussuapara e aos pontos mais baixos das vias pavimentadas que o atravessam (Figura 55). É possível observar que o acúmulo está próximo às travessias e nascente do córrego, em pontos mais baixos, um indicativo que há transferência de vazão proveniente de quadras vizinhas que se acumulam nestes pontos.

Figura 54 - Perfil de elevação com compartimentação de classes e pontos de alagamento.



Fonte: Autor (2023).

Figura 55 - Perfis de elevação em pontos estratégicos de vias alagadas.

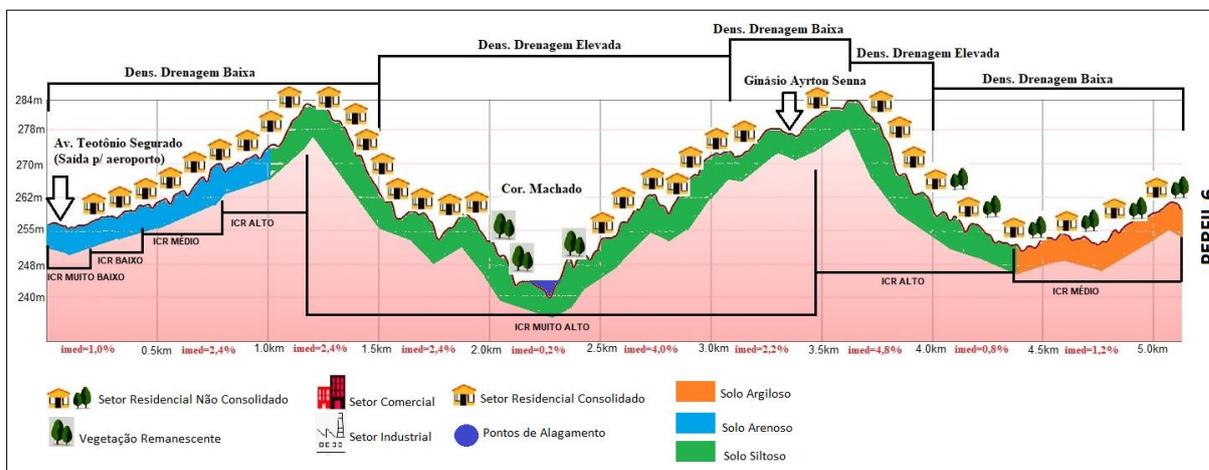


Fonte: Autor (2023).

O perfil 6 (Figura 56), com exagero vertical de 13,7, traçado na região sul mostra a ausência de pontos de alagamento nestes locais, o que pode ser parcialmente explicada pelas características morfométricas que favorecem o escoamento, como maiores declividades e densidade de drenagem elevadas. Mesmo não havendo dados que comprovem a presença de

sistema de drenagem implantado nessas áreas o escoamento pelas vias acaba drenando as vazões geradas para os pontos mais baixos da região, a calha do córrego Machado.

Figura 56 – Perfil de elevação na região sul de Palmas.



Fonte: Autor (2023).

Tal comportamento pode não ocasionar impactos e transtornos imediatos, mas é de fundamental importância associar a ocupação dessas áreas às impermeabilizações, aumento dos picos de vazão e consequente elevação no nível das águas do curso d'água mencionado, ocasionando assim enchentes e inundações.

5.6 Mapas de risco de alagamento

A correlação entre a morfometria, os materiais superficiais, cobertura da terra e os pontos de alagamento permitiu o mapeamento do risco de alagamentos na cidade. Para tal, foram considerados os seguintes temas: cobertura da terra, materiais de superfície, altitude e declividade. Estes temas foram sobrepostos, classificados em notas e ponderados de acordo com a influência de cada fator ao risco de alagamentos.

Foram elaboradas quatro classificações por meio do método de análise hierárquica (AHP), com o intuito de formular diferentes cenários para mapas de risco de alagamentos em Palmas (Tabela 15). Haja vista que a metodologia utilizada nesta pesquisa é bastante difundida em estudos com escalas de menor detalhe (bacias hidrográficas) e direcionadas aos eventos de cheias e enchentes, típicos de áreas ribeirinhas, além da alteração na ordem da matriz hierárquica, foram alteradas as notas às faixas de altitude, de forma a procurar melhores respostas para áreas com maior incidência de pontos de alagamentos em Palmas, conforme mostra a Tabela 16.

Tabela 15 - Pesos atribuídos às quatro classificações para geração dos mapas de risco de alagamento.

Fator	Com alteração de nota para altimetria		Sem alteração de nota para altimetria	
	1ª Classificação (pesos)	2ª Classificação (pesos)	3ª Classificação (pesos)	4ª Classificação (pesos)
Cobertura da terra	0,0569	0,2633	0,0569	0,2633
Materiais de superfície (solo)	0,1219	0,0569	0,1219	0,0569
Altitude	0,2633	0,1219	0,2633	0,1219
Declividade	0,5580	0,5580	0,5580	0,5580

Fonte: Autor (2023).

Tabela 16 - Comparativo de notas atribuídas às faixas de altitude para eventos distintos.

Altitude	Nota (eventos de enchentes inundações)	Nota (eventos de alagamentos)
210 – 220	10	5
220 – 230	10	5
230 – 240	8	5
240 – 250	5	8
250 – 260	5	8
260 – 280	1	1
280 – 300	1	1

Fonte: Autor (2023).

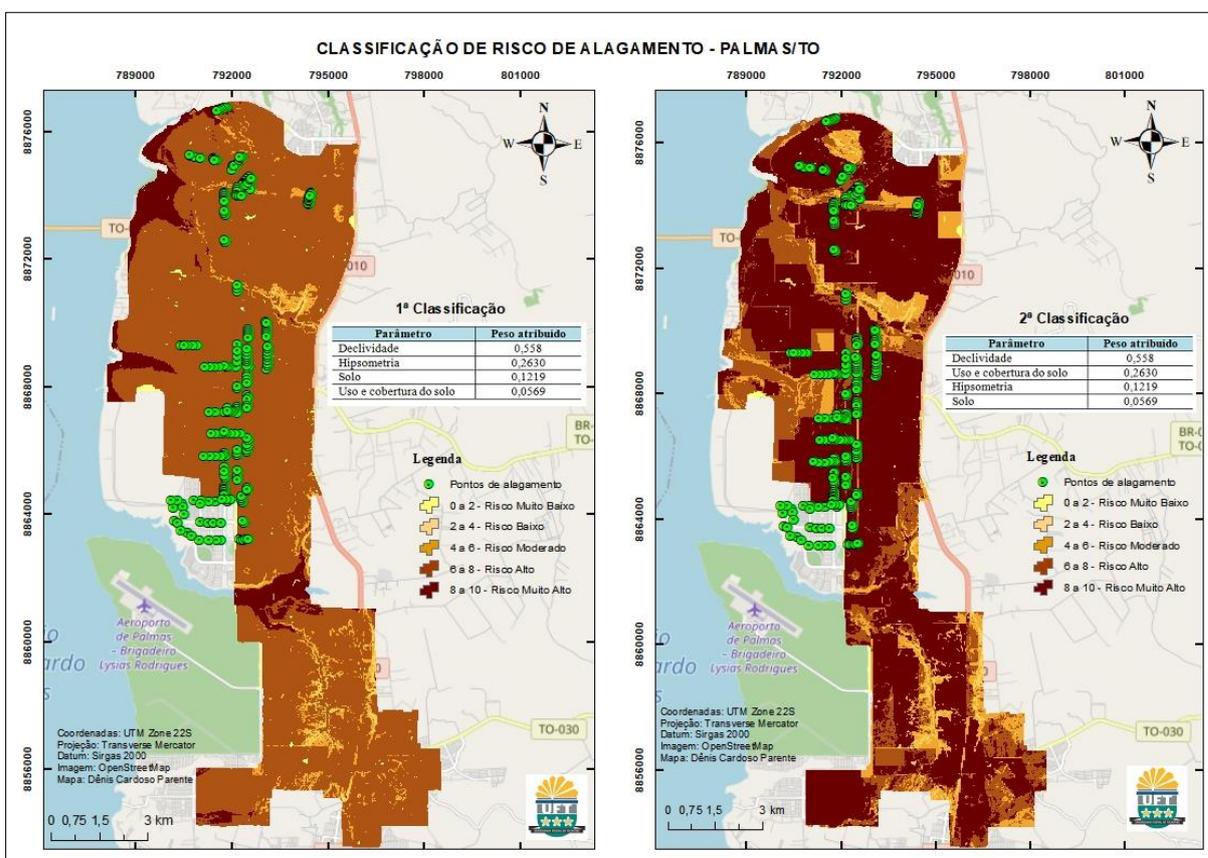
A primeira classificação atribui ao meio físico uma importância maior do que à cobertura da terra, com maior peso para a declividade, seguido pela altitude, material de superfície e cobertura da terra. Esta classificação considera basicamente os preceitos e pesos apresentados pela literatura especializada, como pode ser conferido no capítulo 4.2 Sistematização dos dados e mapa de risco.

Posteriormente uma segunda classificação foi obtida mantendo o fator declividade com maior peso, seguido da cobertura da terra, altitude e material de superfície. A ordem hierárquica foi alterada de forma a aumentar o peso do fator cobertura da terra sobre a altitude e materiais superficiais, em razão da presença de pontos de alagamento mesmo em locais com altitudes mais elevadas e dada a transferência de fluxo ocasionado pela ineficiência do sistema de

drenagem e impermeabilização do solo urbano. O fator cobertura da terra foi mantido como menos importante do que a declividade, haja vista que a inclinação das vias públicas acompanha a declividade do terreno e direcionam o escoamento superficial para áreas mais baixas.

A Figura 57 mostra os dois mapas de risco gerados pela primeira e segunda classificações com a disposição dos pontos de alagamento identificados.

Figura 57 - Sobreposição de pontos de alagamento em mapa de risco gerado pela primeira e segunda classificações.



Fonte: Autor (2023).

Analisando a primeira classificação, pode-se observar que o risco de alagamentos muito alto se concentra nos terrenos mais baixos, nas desembocaduras dos córregos Brejo Comprido, Sussuapara e Prata e a oeste da cidade, nas margens do lago, em uma pequena faixa na margem esquerda do córrego Taquaruçu, e no extremo sul da cidade, nas margens do Córrego Taquari. Esse fato se deve, principalmente, às características físico-naturais dessa região, ou seja, às baixas cotas altimétricas e de declividades. Muito embora essas regiões ainda não apresentem eventos de alagamentos, é preciso salientar que tal risco pode ser potencializado pela urbanização e consequente transferência das vazões de montante. O único local com risco muito

alto nesta classificação, e com urbanização consolidada, está na margem esquerda do Ribeirão Taquaruçu, onde está localizado o Setor Bertaville, mas que não tem registros de alagamentos⁴.

Esta classificação parece estar respondendo aos riscos de enchentes na cidade, ou seja, aos locais com risco de receber águas das cheias dos cursos d'água aos quais estão associados. Inclusive, os terrenos identificados como de muito alto risco são semelhantes aos identificados pelo estudo do Plano de Ação Palmas Sustentável (2015) (Figura 58), que mapeou os locais de inundação fluvial para os eventos de chuva no período de retorno de 500 anos.

Figura 58 - Mapa de risco de inundação segundo Plano de Ação Palmas Sustentável (2015).



Fonte: Autor (2023).

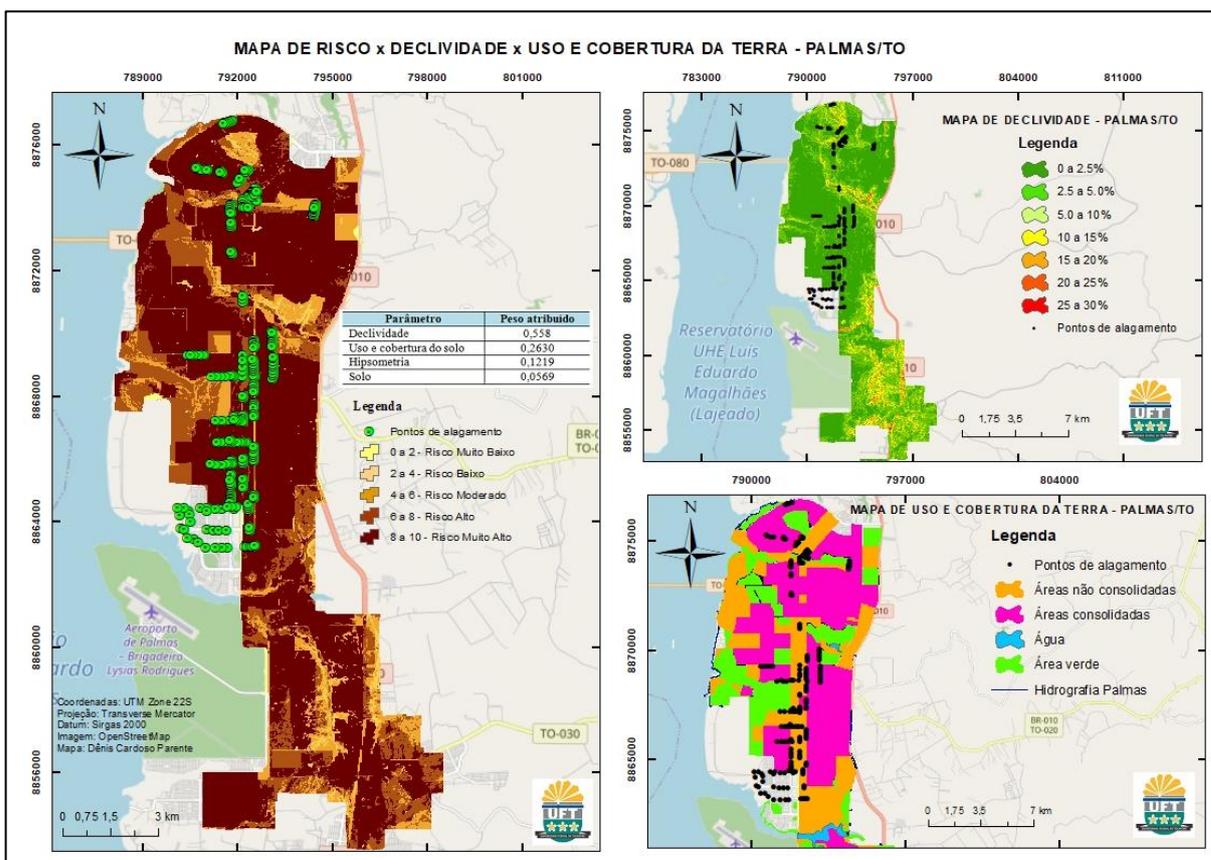
A segunda classificação apresenta uma área maior com risco muito alto de alagamento, e é justamente onde se localiza a maioria dos pontos de alagamentos da cidade, o que reflete a combinação do fator físico-natural declividade com a cobertura da terra. A impermeabilização

⁴ Há um problema recorrente no Setor Bertaville que se refere a vazamentos de uma estação de tratamento de esgoto, mas não de alagamentos ou enchentes: <<https://g1.globo.com/to/tocantins/noticia/2023/08/24/vazamento-de-estacao-de-estago-piora-com-a-chuva-e-moradores-reclamam-contamina-o-lago-todo.ghtml>>

do solo e a implantação de vias pavimentadas geram uma combinação que potencializa o direcionamento do fluxo para as áreas de acúmulo.

Pela hierarquia proposta nesta segunda classificação, declividade e cobertura da terra são os fatores com maiores pesos na matriz de risco, o que pode ser observado na semelhança entre os mapas de risco, declividade e cobertura da terra apresentados na Figura 59.

Figura 59 - Comparativo entre mapas de risco da segunda classificação, declividade e cobertura da terra.



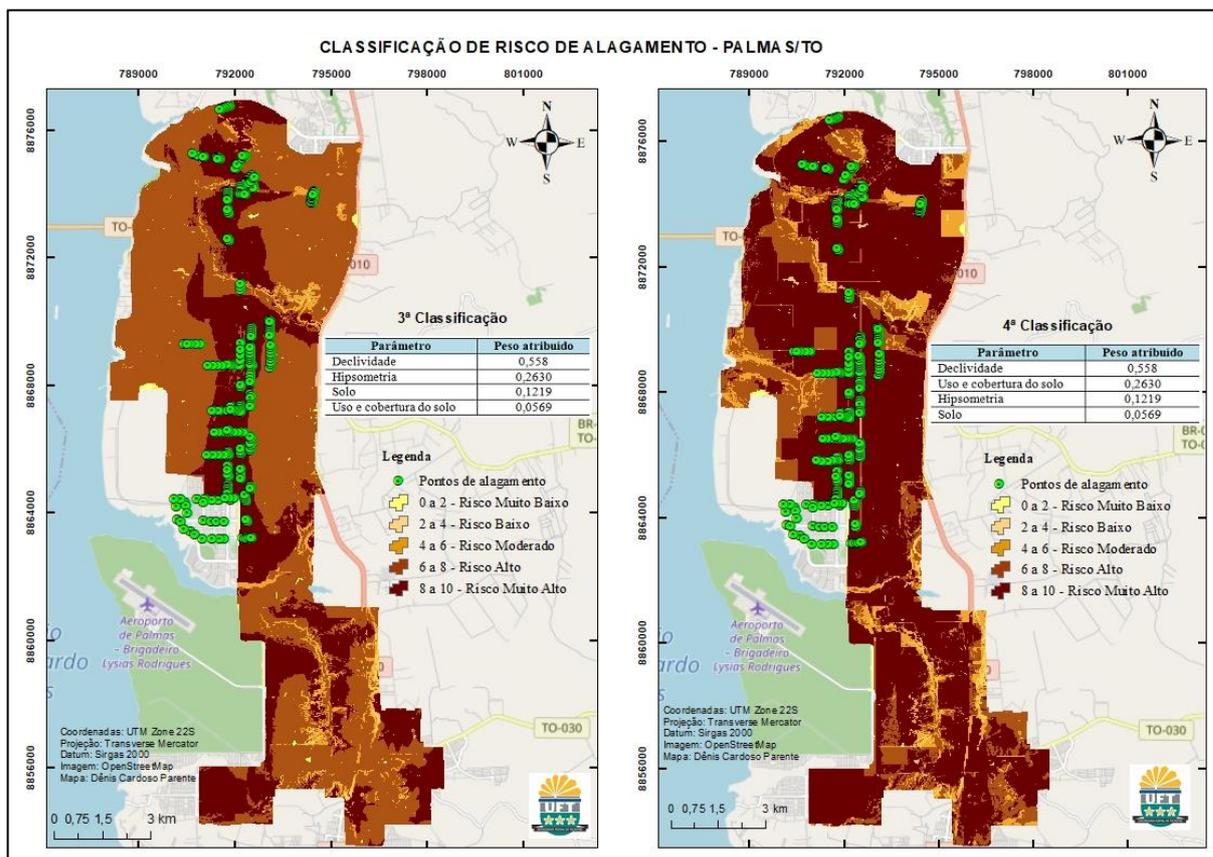
Fonte: Autor (2023).

A maioria dos pontos de alagamento está no eixo central de Palmas, em áreas ainda não consolidadas, ou seja, com uma moderada taxa de impermeabilização, o que atesta a transferência da vazão de contribuição de quadras consolidadas à montante.

A terceira e quarta classificações foram feitas vislumbrando o cenário atual de Palmas, justificadas pela forte incidência dos eventos de alagamento em faixa de altitudes intermediárias, mantendo-se as ordens hierárquicas da primeira e segunda classificações e atribuindo maior nota para as áreas com cotas altimétricas de 240 a 260m (Tabela 9). A Figura

60 traz o comparativo entre a terceira e quarta classificação com pontos de alagamento identificados.

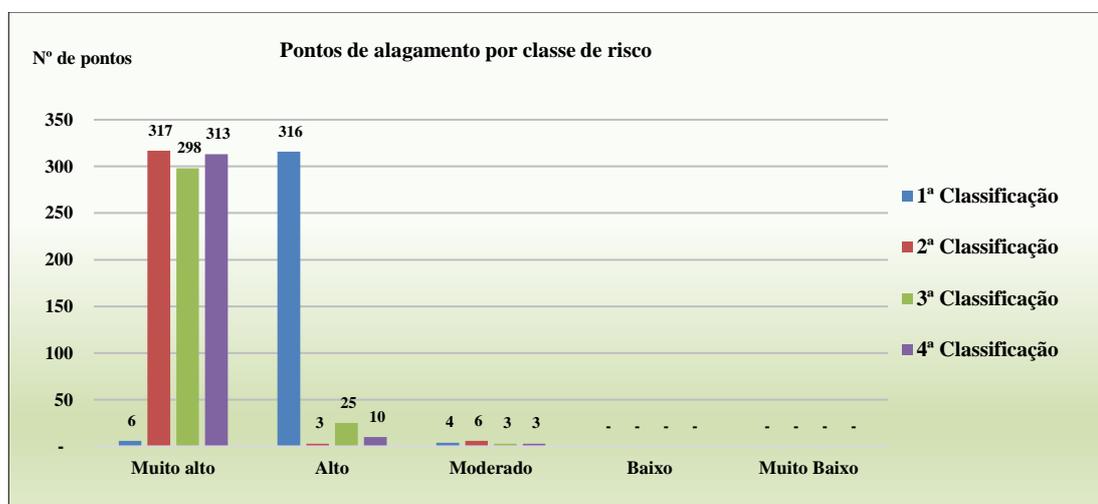
Figura 60 - Mapas de risco para terceira e quarta classificação com a disposição dos pontos de alagamentos.



Fonte: Autor (2023).

Comparando os dois mapas percebe-se um acréscimo considerável nas áreas de risco muito alto, o que se aproxima mais da realidade de eventos de alagamentos identificados em Palmas. Há uma predominância do risco muito alto, englobando a totalidade dos pontos de alagamentos e quase todas as regiões ocupadas da cidade. O gráfico da Figura 61 mostra a distribuição de pontos para cada uma das classes de risco em cada uma das classificações da matriz pareada.

Figura 61 - Quantitativo de pontos de alagamento em cada classe de risco para as quatro classificações.



Fonte: Autor (2023).

Os mapas de risco a alagamentos refletem as três zonas morfométricas da cidade. Hoje, a maior parte dos terrenos com alto risco à ocorrência de alagamentos em Palmas são aqueles muito planos e localizados em altitudes intermediárias, situação muito comum na zona central da cidade, entre o córrego Sussuapara e o ribeirão Taquaruçu. Os terrenos muito planos dificultam o escoamento das águas das chuvas e as altitudes intermediárias acabam recebendo as águas das chuvas dos terrenos à montante e buscando as nascentes dos cursos d'água (córrego do Prata).

Já na zona norte, as declividades são um pouco maiores, com muitos pontos de alagamentos relacionados às travessias viárias sobre os cursos d'água, como o córrego Sussuapara e o córrego Almescão (curso d'água das ARNOS). Na nascente do Córrego Sussuapara também se acumula a água das chuvas, num processo semelhante ao que ocorre nas altitudes mais baixas da zona central (córrego do Prata). Apenas ao longo da Av. LO-10 que há pontos de alagamentos não associados há cursos d'água, que podem estar condicionados a fatores locais que devem ser melhor investigados.

Na zona sul da cidade, entre o Ribeirão Taquaruçu e o Córrego Taquari, predominam terrenos com declividades moderadas e altas, que parece resultar num escoamento superficial que dispersa as águas rapidamente em direção às nascentes e cursos d'água, principalmente para o córrego Machado. Assim como na zona norte, as áreas mais críticas seriam as travessias viárias sobre os cursos d'água, porém, não são registrados pontos de alagamentos nesta zona da cidade, o que pode tanto ser resultado de uma drenagem mais eficiente quanto da falta de

levantamentos de mais detalhes pelos órgãos responsáveis. No entanto, esta realidade é diferente à oeste da Av. Teotônio Segurado (Aeroporto e Jd. Taquari), onde há terrenos mais planos e em altimetrias intermediárias, semelhantes aos da zona central da cidade. Estes terrenos estão hoje em franca ocupação, que deve se atentar aos processos de escoamento com base no que ocorre hoje na zona central da cidade.

Como visto, os modelos de mapeamento de risco clássicos são bastante adequados para a identificação de risco a enchentes e inundações, principalmente por supervalorizar as altimetrias mais baixas. No entanto, o caso de Palmas demonstra que os alagamentos muitas vezes não ocorrem nas porções mais baixas, mas sim em altitudes intermediárias e associadas a zonas com nascentes.

Na perspectiva da geomorfologia antropogênica, pode-se afirmar que Palmas não apresenta modificações significativas nos fundos de vales, planícies de inundação e morfologias dos leitos fluviais que cortam a cidade como retificações e canalizações, além de ter um nível de base regional relativamente estável por conta do Lago da UHE Lajeado. No entanto, há transformações denudativas ligadas a reorganização das rupturas topográficas causadas pela urbanização e implantação do sistema viário que podem produzir pequenos barramentos e acumulação dos fluxos pluviais nas vias de circulação, além da impermeabilização e aumento do escoamento superficial.

Comparar o mapa gerado com documentos pertinentes a Palmas (2017), como o Plano Diretor de Drenagem do Município, este de difícil compreensão e visualização dos resultados, possibilitou a compreensão dos resultados atingidos pelo presente trabalho. Tal fato demonstra a necessidade da obtenção de um resultado visual e que compreenda toda a extensão da área urbana estudada.

A terceira classificação demonstra maior proximidade com a realidade dos eventos de alagamentos registrados, no entanto, não se deve descartar a importância da interpretação das outras simulações na previsão de cenários futuros, em que áreas com altitudes mais baixas serão urbanizadas, potencializando assim o risco nessas áreas.

6 CONCLUSÕES

Esta pesquisa permitiu caracterizar o fluxo superficial dentro da cidade, identificar os pontos críticos e a gerar mapas de risco de alagamentos. Os fatores físicos declividade, altitude e proximidade a nascentes revelaram-se eficientes na identificação das áreas com risco de alagamento, sendo os locais que favorecem o acúmulo de água nas superfícies.

A impermeabilização dos terrenos de acordo com a cobertura da terra, acompanhado dos sistemas de micro e macrodrenagem inadequados, potencializam esta vulnerabilidade apresentada pelo meio físico.

A utilização da metodologia proposta para a determinação de pesos dos condicionantes considerados influentes na delimitação de áreas de risco se mostrou eficaz. Alinhado ao geoprocessamento, configurou-se como uma ferramenta prática para tal, tornando este e outros estudos viáveis e rápidos, além de fornecer um resultado de fácil compreensão e uma visão clara do problema abordado, facilitando o entendimento das relações de diversos fatores na causa ou agravamento de alagamentos.

A identificação das áreas que apresentam risco de alagamentos por meio de representação cartográfica, a detecção de eventos extremos e prevenção de possíveis desastres, bem como o monitoramento dos principais fatores desencadeadores, são de fundamental importância para os centros urbanos, a fim de se evitarem perdas humanas e econômicas. A elaboração dos mapas de risco permitiu identificar como a eficiência da drenagem está condicionada tanto ao meio físico quanto às estruturas de macro e microdrenagem e uso e cobertura da terra.

Além disso, foi possível perceber que as metodologias existentes para a identificação de risco não estão tão claras no que diz respeito aos riscos de alagamentos, resultando em modelos adequados para os riscos de enchentes e inundações. Pesquisas futuras devem buscar o desenvolvimento e aprimoramento das metodologias para identificação dos riscos de alagamentos urbanos. Da mesma maneira, foi percebido que os alagamentos não são tratados de forma adequada nos instrumentos legais (planos diretores e legislação), ao menos não com a mesma atenção que é dada às enchentes e inundações.

Os resultados obtidos fornecem material de interesse para a análise da qualidade de vida e mobilidade do município, além de ser uma fonte de informações com diversas aplicabilidades. O mapeamento de risco de alagamentos possibilitou a identificação das áreas prioritárias para a realização de políticas públicas e ações para a prevenção e mitigação dos efeitos gerados. O panorama ideal para a cidade seria correções no sistema de drenagem antes de quaisquer novas

ampliações ou novas ocupações, bem como a utilização de medidas não estruturais que amortecessem os picos de vazão gerados e reduzissem as vazões de contribuição nas fontes. Tais medidas trariam uma melhor qualidade ambiental e de vida aos munícipes, tendo em vista que investimentos em obras de drenagem e em medidas de conservação das características físicas e permeabilidade anteriores à urbanização permitem a recuperação dos ciclos hidrológicos na cidade, gerando inclusive um impacto econômico positivo quando comparado aos impactos dos alagamentos.

Sistemas de macro e microdrenagem mais eficientes certamente reduziriam a exposição da cidade a este tipo de risco, porém, além de caros, sempre resultam em transferência do fluxo de forma mais rápida para outro lugar, muitas vezes apenas transferindo o problema. Porém, a atenção da gestão da cidade também deve estar atenta ao futuro das ocupações urbanas, uma vez que o aumento da impermeabilização vai resultar em maior escoamento superficial, fazendo com que surjam novos pontos de alagamentos ou que aumente ainda mais a magnitude dos alagamentos existentes. Cada nova ocupação e impermeabilização vai resultar num aumento do escoamento, fazendo com que estruturas planejadas sob uma realidade anterior fiquem saturadas e subdimensionadas

O entendimento do escoamento superficial em Palmas deve ser mais aprofundado em pesquisas e políticas públicas futuras, no sentido de:

- Buscar um melhor detalhamento de cada ponto de alagamento da cidade, verificando tanto as características físicas e urbanas locais quanto às magnitudes e frequências dos mesmos.
- Detalhar o conhecimento geomorfológico e geológico da cidade, bem como expandir os levantamentos para o sul, uma zona altamente adensada da cidade, mas que não possui dados de detalhe a respeito de sua topografia e composição subsuperficial.
- Considerar a proximidade das nascentes em mapeamentos de risco à alagamentos.
- Viabilizar medidas não estruturais que conservem a permeabilidade da cidade.
- Viabilizar a concepção de medidas estruturais que possam amortecer os picos de alagamento e/ou reduzir a geração de vazões nas fontes, como valas de infiltrações, reservatórios de amortecimento e pavimentos permeáveis.
- Fortalecer as instituições responsáveis pela gestão e gerenciamento do setor de drenagem urbana dentro da administração municipal.

Diferente da maioria das cidades, Palmas apresenta muito baixo risco a enchentes e inundações. Os cursos d'água podem até extravasar suas águas durante os picos de vazão, mas

os efeitos não são sentidos por causa da proteção legal das margens destes cursos d'água, onde não é permitido loteamentos e ocupações urbanas. A manutenção desta proteção ao longo dos cursos d'água da cidade é essencial para que este tipo de risco não surja no futuro, e para que os cursos d'água da cidade suportem o crescimento do escoamento resultante da expansão da urbanização na cidade.

No entanto, apesar de Palmas ter sido concebida através de um projeto urbanístico moderno, abrangendo uma área urbana com 11.085 hectares, com capacidade para abrigar cerca de 1 milhão e 200 mil habitantes, não foi considerado o escoamento superficial em sua implantação, gerando vários pontos de alagamentos durante os eventos chuvosos. Assim, intervenções indiretas devem ser consideradas, como, por exemplo, a simples ação do poder público em impedir a circulação de veículos e pessoas nos locais mais críticos durante os eventos chuvosos mais severos. Estes pontos podem ser identificados nos mapas de risco aqui apresentados, uma vez que os condicionantes morfométricos que resultam em alto risco de alagamentos estão evidentes (declividade, altitude e proximidade de nascentes). Outra ação é incentivar que os proprietários tenham áreas permeáveis em suas propriedades por meio de incentivos fiscais e outras medidas. Dependendo do caso, estas medidas podem ser mais viáveis e eficientes do que a construção de grandes estruturas de drenagem que além de necessitar de manutenção constante, apenas transferem o problema para outro ponto e podendo ficar saturadas e pouco eficientes com o aumento da impermeabilização na bacia de contribuição.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A. N. Geografia e Planejamento. **Revista de História**, [S. l.], v. 39, n. 80, p. 257-271, 1969. DOI: 10.11606/issn.2316-9141.rh.1969.128903. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/revhistoria/article/view/128903>. Acesso em: 9 fev. 2024.
- ADGER, W.N. **Vulnerability**. Global Environmental Change, Amsterdam, v. 16, p. 268-281. 2006.
- ALMEIDA, C. M. Modelagem da dinâmica espacial como uma ferramenta auxiliar ao planejamento: simulação de mudanças de uso da terra em áreas urbanas para as cidades de Bauru e Piracicaba (SP) / C. M. Almeida. – São José dos Campos: **INPE**, 2003. **321p.** – (INPE-10567-TDI/942/A).
- ALPINO, S. O. BRAGA, F.F2.; MOURA, V.S. PEREIRA, F.C.de S. ROCHA-LEÃO, O. M. Caracterização Morfométrica das bacias hidrográficas dos rios Bomba e Barro Vermelho: Subsídios geomorfológicos ao entendimento da dinâmica hidrológica urbana em São Gonçalo/RJ. In: VI Simpósio De Geomorfologia/ Regional Conference On Geomorphology, 2006, Goiânia–GO: UERJ, 2006. p. 1-11.
- AMARO, A. **Consciência e cultura do risco nas organizações**. Territorium, Coimbra, n. 12, p. 5-9, 2005.
- ANTONELI, Valdemir; THOMAZ, Edivaldo Lopes. Caracterização do meio físico da bacia do Arroio Boa Vista-Guamiranga-PR. **Caminhos de Geografia**, v. 8, n. 21, p. 46-58, 2007.
- ALVES, H. P. F. **Vulnerabilidade socioambiental na metrópole paulistana: uma análise sociodemográfica das situações de sobreposição espacial de problemas e riscos sociais e ambientais**. Revista Brasileira de Estudos Populacionais, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 43-59. 2006.
- ALVES, R. et al. Plano Diretor De Drenagem Urbana No Contexto Do Planejamento Urbano. **Revista da Academia de Ciências do Piauí**, v. 2, n. 2, p. 245–261, 2021.
- AQUINO, Afonso Rodrigues de; PALETTA, Francisco Carlos; ALMEIDA, Josimar Ribeiro de Vulnerabilidade ambiental. São Paulo: Blucher, 2017. 112 p.: il., color.
- ARANTES, E. J. Bacia Hidrográfica. Paraná: Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR (**Disciplina de Hidrologia**), 2016. 8 p.
- BATTEMARCO, B. P. et al. Sistemas de espaços livres e drenagem urbana. **Paisagem e Ambiente**, n. 42, p. 55–74, 2018.
- BAZOLLI, J. A. Efeitos dos vazios urbanos no custo. **Estudos Geográficos, Rio Claro**, 7(1): 103-123, 2009 (ISSN 1678—698X), v. 7, n. 63, p. 103–123, 2009.
- BAZOLLI, João Aparecido. Dispersão urbana e instrumentos de gestão: dilemas do poder local e da sociedade em Palmas/TO. 2012. 336 f. Tese (Doutorado em Ciências Humanas) - **Universidade Federal de Uberlândia**, Uberlândia, 2012. DOI <https://doi.org/10.14393/ufu.te.2012.94>.

BERTRAND, G.; TRICART, J. Paysage et géographie physique globale. Esquisse méthodologique. **Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest**, v. 39, n. 3, p. 249–272, 1968.

BESSA, K. BESSA CORADO. **A dinâmica recente do segmento de rede urbana no Tocantins as implicações da construção de Palmas para Porto Nacional**. v. 7, p. 31–58, 1989.

BESSA, K. Periodização e Diferenciação Espacial no Segmento de Rede Urbana no Tocantins. **Espaço Aberto**, v. 5, n. 1, p. 9–27, 2015.

BESSA, K.; OLIVEIRA, C. F. P. DE. Ordem e desordem no processo de implantação de Palmas: a capital projetada do Tocantins. **GEOUSP: Espaço e Tempo (Online)**, v. 21, n. 2, p. 497, 2017.

BORGES, M. P.; CRUIVINEL, A. S.; FLORES, W. M. F.; BARBOSA, G. R. Utilização de técnicas de geoprocessamento para a elaboração de cotas de inundações: estudo de caso do parque ecológico do rio Paranaíba. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – João Pessoa SBSR, XVII, 2015**. 5897-5903 p.

BRAGA, Cássia Araújo Moraes; MENDONÇA, Marcus Vinícius; TAVARES, Patrícia Aguiar. Ocupações irregulares em Palmas-TO: um estudo sobre as ações de regularização fundiária no setor lago norte. **Humanidades & Inovação**, v. 8, n. 65, p. 409-418, 2021.

BRASIL. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de drenagem de Rodovias. - 2. ed. - Rio de Janeiro, 2006. 333p.** (IPR. Publ., 724).

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Lei nº. 10.257, de 10 de julho de 2001. **Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. 2001.**

BRASIL. Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005 **Conselho Nacional de Meio Ambiente**. Disponível em: <www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>.

BRASIL. Política Nacional de Recursos Hídricos (1997). Lei N° 9.433, de 8 de janeiro de 1997, Brasília.

BRASIL. Lei Federal nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm> Acesso em: 13 nov. 2023.

BRASIL. Lei nº 11.445. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil03/ato20072010/2007/lei/L11445compilado.htm>. Acesso em: 13 dez. 2023.

BRASIL. Lei no 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e dá outras providências. Diário Oficial da União 2020; 16 jul.

BRITO, E. P. DE. Planejamento, especulação imobiliária e ocupação fragmentada em Palmas. **Caminhos de Geografia**, v. 11, n. 34, p. 93–104, 2010.

CÂMARA, G. et al. Introdução à ciência da geoinformação. **Introdução à Ciência da Geoinformação**, p. 345, 2001.

CAMPANA, Nestor Aldo; TUCCI, Carlos EM. Estimativa de área impermeável de macrobacias urbanas. **Revista Brasileira de Engenharia**, v. 12, n. 2, p. 79-94, 1994.

CARDOSO, C. A. et al. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, v. 30, n. 2, p. 241–248, 2006.

CARVALHÊDO, Wlisses dos Santos. Palmas - TO: uma análise da segregação socioespacial na cidade planejada. 2011. 154 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Humanas) - **Universidade Federal de Uberlândia**, Uberlândia, 2011. DOI <https://doi.org/10.14393/ufu.di.2011.151>

CARVALHO, J. A. M. DE; SAWYER, D. O.; RODRIGUES, R. DO N. Introdução a alguns conceitos básicos e medidas em demografia. **Textos Didáticos**, v. 1, n. 0, p. 4–60, 1998.

CASSETI, V. Ambiente e Apropriação do Relevo Contexto. São Paulo: **Ed. Contexto/Goiânia**, 1991.

CASTRO, B. C. DE. Uso de resistividade elétrica em investigação geotécnica: o caso de Palmas - TO. **Universidade de Brasília - UNB**, p. 298, 2018.

CESARO, Monnalisa Valadares Marinho de. Análise do potencial de expansão urbana e das ocupações irregulares na microbacia hidrográfica do ribeirão Taquaruçu. 2018. 116f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental) – **Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental**, Palmas, 2018.

CHICATI, M. L. et al. Modelling a flood complex through geographical information system. **Bragantia**, v. 69, n. 2, p. 485–491, 2010.

CHORLEY, Richard J. Clima e morfometria. **The Journal of Geology**, v. 6, pág. 628-638, 1957.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Geomorfologia**. Editora Blucher, 1974.

CNM; CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS MUNICÍPIOS. **Danos e Prejuízos causados por desastres 2013 a 2022**. n. 61, 2022.

CORIOLOANO, G. P.; RODRIGUES, W.; OLIVEIRA, A. F. DE. Estatuto da Cidade e seus instrumentos de combate às desigualdades socioterritoriais: o Plano Diretor Participativo de Palmas (TO). **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, p. 131–145, 2013.

COSTA, Fabio Henrique Lima et al. **Estudo da suscetibilidade a inundações na bacia hidrográfica do Rio Alcântara (RJ): subsídios ao desenvolvimento de metodologias para avaliação de enchentes urbanas.** 2017.

COSTA, V.; APARECIDO, J.; COSTA, V. O surgimento de regiões periféricas no processo de urbanização de Palmas -Tocantins (BRASIL): desafios ao direito a uma cidade sustentável. **Revista Interface (Porto Nacional)**, v. 22, n. 22, p. 60-80, 2021.

CORDEIRO, Nathalia Guimarães; CHAVES, Fábio Barbosa. Regularização fundiária de áreas favelizadas: o estado do Tocantins como agente solidário no processo de regularização fundiária das regiões favelizadas no município de Palmas/TO. **Revista Integralização Universitária**, n. 22, p. 25-42, 2020.

CREPANI, E; MEDEIROS, J. S; AZEVEDO, L. G; DUARTE, V; HERNANDEZ, P; FLORENZANO, T. **Curso de Sensoriamento Remoto Aplicado ao Zoneamento Ecológico-Econômico.** São José dos Campos: INPE, 1996.

CRISTINA, A.; CANTUÁRIA, G. Políticas públicas e desenvolvimento: uma análise de programas habitacionais em Palmas - TO (1998-2012) Public policies and development : an analysis of housing programs in Palmas - TO. **Revista Interface**, v. 12, p. 84–102, 2016.

DAGNINO, Ricardo de Sampaio; JUNIOR, Salvador Carpi. **Risco ambiental: conceitos e aplicações.** CLIMEP-Climatologia e Estudos da Paisagem, 2007, 2.2.

DALLA CORTE, Ana Paula; KLEIN HENTZ, Ângela Maria; DOUBRAWA, Betina e SANQUETTA, Carlos Roberto. Fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Iguaçu, Paraná, Brasil. Bosque (Valdívia) [online]. 2015, vol.36, n.2 [citado em 03-11-2023], pp.287-297. Disponível em: <http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-92002015000200014&lng=en&nrm=iso>. ISSN0717-9200.
<http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002015000200014>.

DE CARVALHO, Natália Dias et al. Levantamento do nível do lençol freático da área urbana dos bairros Querência e Atlântico Sul, Balneário Cassino - RS, a partir de dados de georadar. **Scientia Plena**, v. 13, n. 11, 2017.

DE FREITAS, C. M. et al. Desastres naturais e saúde: Uma análise da situação do Brasil. **Ciencia e Saude Coletiva**, v. 19, n. 9, p. 3645–3656, 2014.

DE GOUVEIA SOUZA, Celia Regina. Suscetibilidade morfométrica de bacias de drenagem ao desenvolvimento de inundações em áreas costeiras. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 6, n. 1, 2005.

DE SOUSA, R. M. A expansão urbana do plano diretor de palmas: uma análise jurídica acerca da disputa do espaço urbano em Palmas/TO. **Revista Vertentes do Direito**, v. 2, n. 2, p. 40–66, 2015.

DOMINGOS CURY, M.; LADWIG, N. I.; DEBIASI MENEGASSO, J.; SUTIL, T.; DE CONTO, D. Mapeamento de áreas suscetíveis à inundação como informação para o planejamento e a gestão territorial em bacia hidrográfica. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 22, n. 83, p. 160–175, 2021. DOI: 10.14393/RCG228356231. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/56231>. Acesso em: 31 out. 2023.

DRENAGEM, V. I. I. **Estudos Técnicos para o Plano Municipal de Saneamento Básico de Palmas - TO**. v. III, 2013.

DOUGLAS, I. *The Urban Environment*. London: Edward Arnold, 1983.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, 1979. 247 p.

FAGUNDES, Alessandra; LUPINACCI, Cenira Maria. Urbanização e alterações geomorfológicas: o caso da bacia hidrográfica do Córrego Lavapés–Rio Claro (SP). **Revista do Departamento de Geografia**, v. 33, p. 47-62, 2017.

FAN, F.; COLLISCHONN, W. Integração do Modelo MGB-IPH com Sistema de Informação Geográfica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 1, p. 243–254, 2014.

FELS, E. Nochmals: Anthropogene Geomorphologie. Petermanns. **Geographische Mitteilungen**, 109, 1965. 9-15.

FERRAZ, C. M. L. Inundações e alagamentos em meio urbano: uma perspectiva teórico-conceitual, em abordagem geomorfológica. **Revista Vozes dos Vales, UFVJM – MG/Brasil**. nº 20, ano X, 2021. Disponível em: Artigo (ufvjm.edu.br). Acessado em 26 jul. 2023.

FERREIRA, M.C. (1996) Regionalização de pequenas bacias hidrográficas a partir de imagens orbitais e sistemas de informação geográfica. **Geociências**, Rio Claro, 15(1): 163-184.

FISCHLER, Martin A., FISCHLER A. Martin, and Oscar Firschein. *Intelligence: The Eye, the Brain, and the Computer*. Addison-Wesley Professional, 1987.

FLETCHER, T. D. et al. SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. **Urban Water Journal**, v. 12, n. 7, 525–542, 2015.

FRAGOSO, Maria Lourdes; DA SILVA, Tarcísio Augusto Alves. Desastre, risco e vulnerabilidade urbana: uma análise a partir das enchentes e inundações no município de Escada/PE. **Revista Cadernos de Ciências Sociais da UFRPE**, v. 1, n. 14, p. 36-53, 2019.

FREITAS, R. O. DE. Textura da drenagem e sua aplicação geomorfológica. **Boletim Paulista de Geografia**, v. XLI, n. 11, p. 5, 1952.

FREITAS, V. A. L. Contribuição ao processo de regionalização de vazões: Análise de métodos e variáveis explicativas. n. 3, p. 110, 2003.

FUJIMOTO, Nina Simone Vilaverde Moura; ROSS, Jurandy Luciano Sanches. Análise ambiental urbana na área metropolitana de Porto Alegre-RS: sub-bacia hidrográfica do Arroio Dilúvio. 2001.

GEYER, J. C.; BENTON, G. S.; LI, W. H. The Design of Storm-Water Inlets. Report of the Storm Drainage Research Committee of the Storm Drainage Research Project. **Baltimore, Maryland, the Johns Hopkins University**, 1.956. 193 p.

GIRÃO, Ítalo R. F.; RABELO, D. R.; ZANELLA, M. E. **Análise teórica dos conceitos: Riscos Socioambientais, Vulnerabilidade e Suscetibilidade. Revista de Geociências do Nordeste**, [S. l.], v. 4, p. 71–83, 2018. DOI: 10.21680/2447-3359.2018v4n0ID13273. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/13273>. Acesso em: 3 nov. 2023.

GIRÃO, O. e CORRÊA, A. C. B. A contribuição da geomorfologia para o planejamento da ocupação de novas áreas. **Revista de Geografia**. Recife: UFPE 97 Revista GEOMAE - Geografia, Meio Ambiente e Ensino. v.6, n. 1, 2015 DCG/NAPA, v. 21, nº 2, jul/dez. 2004.

GOLDENFUM, J. A. Principais elementos necessários para regulamentação da drenagem urbana. **XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, p. 1–6, 2017.

GOUDIE, AS; VILES, HA; PARKER, AG Monitoramento do desgaste rápido do sal no deserto central da Namíbia usando blocos de calcário. **Revista de Ambientes Áridos**, v. 4, pág. 581-598, 1997.

GOUDIE, Andrew S.; VILES, Heather A. Perigo de intemperismo salino. **JOHN WILEY & SONS, (Reino Unido)**. Novembro de 1997. 1997.

GOUDIE, A. S.; The Human Impact on the Natural Environment: Past, Present and Future. 7. ed. **Oxford: John Wiley & Sons**, 2013. 410 p.

Grohmann, C. H. (2008). Aplicações dos Modelos de Elevação SRTM em Geomorfologia. *Rev. Geogr. Acadêmica* v.2 n.2, viii. 2008, p. 73-83.

GUIDICINI, G.; IWASA, O. Y. Test of Correlation between Rainfall and Landslides in a Humid Tropical Environment. **Technological Research Institute/IPT, Sao Paulo**, 1976.

GUIMARÃES CORDEIRO, N.; BARBOSA CHAVES, F. Regularização Fundiária De Áreas Favelizadas: O Estado Do Tocantins Como Agente Solidário No Processo De Regularização Fundiária Das Regiões Favelizadas No Município De Palmas/To. **Revista Integralização Universitária**, n. 22, p. 25–42, 2021.

GUIMARÃES, Raphael Mendonça et al. Construção e validação de um índice de vulnerabilidade socioambiental para a vigilância e gestão de desastres naturais no Estado do Rio de Janeiro, Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 19, p. 4157-4165, 2014.

HASUI, Y., CARNEIRO, C. D. R., ALMEIDA, F. F. M., BARTORELLI, A. (2012). **Geologia do Brasil**. Primeira Edição, Beca-BALL edições. São Paulo, 906p.

HOCKIN, D. L. "Channelization: Some Engineering Aspects." **The Geographical Journal**, vol. 151, no. 1, 1985, pp. 54–57. JSTOR, <https://doi.org/10.2307/633278>. Accessed 13 Dec. 2023.

HOCKIN, D. L.; WHITTLE, I. R.; BAILEY, R. A. Managing and engineering rivers for the benefit of man. **Water and Environment Journal**, v. 2, n. 2, p. 151-158, 1978. doi. <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.1988.tb01265.x>.

HOOKE, Roger LeB. Sobre a história dos humanos como agentes geomórficos. **Geologia**, v. 28, n. 9, pág. 843-846, 2000.

HORA, S. B. et GOMES, R. L. (2009), "Mapeamento e Avaliação do Risco de inundação do Rio Cachoeira em Trecho da Área Urbana do Município de Itabuna/BA". **Sociedade & Natureza, Uberlândia**, 21 (2): pp. 57-75.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hidrological approach to quantitative morphologi. **Bulletin of the Geological Society of America**, 56. 1945. p. 275- 310.

IBGE. Censo Demográfico 2010: Características da população e dos domicílios. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/censo2010>. Acesso em: 10 de janeiro de 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO GEOGRAFIA E ESTATISTICA (IBGE): Manual técnico em Geociências; Manual Técnico de usa da terra, 3a Edição. (2013).

JAIN SK, GOEL MK. **Assessing the vulnerability to soil erosion of the Ukai Dam catchments using remote sensing and GIS**. Hydrological Sciences Journal 2002; 47(1): 31-40. <http://dx.doi.org/10.1080/02626660209492905>.

JONES, Rebeca Louise; GUHA-SAPIR, Debarati; TUBEUF, Sandy. Impactos humanos e económicos dos desastres naturais: podemos confiar nos dados globais. **Dados científicos**, v. 9, n. 1, pág. 572, 2022.

JUNIOR, R. T. M. (Des)caminhos do planejamento urbano: assentamentos regulares e irregulares na franja urbana-rural norte da cidade de Palmas – TO. **Revista Georaguaia**, v. 2020, n. 2236–9716, p. 215–234, 2020.

KAUFFMANN, Márcia Oliveira. Expansão Urbana e Quali Expansão Urbana e Qualidade de Vida: Proposta para dade de Vida: Proposta para Desenvolvimento de Indicadores de Sustentabilidade Desenvolvimento de Indicadores de Sustentabilidade Aplicados à Legislação Urbanístic Aplicados à Legislação Urbanística. **Rio de Janeiro: UERJ, 2003. Dissertação.**

KOBIYAMA, Masato et al. Papel da comunidade e da universidade no gerenciamento de desastres naturais. **Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais**, v. 1, p. 834-846, 2004.

KRAN, F.; FERREIRA, F. Qualidade De Vida Na Cidade De Palmas–To: Uma Análise Aanálise Aanálise Aanálise Através De Indicadores Habit Vés. **Ambiente & Sociedade**, n. 63, 2006.

LAGOEIRO, G. S. P.; COSTA, F. H. L.; LEÃO, OM Rocha. Análise morfométrica como subsídios geomorfológicos para a compreensão das enchentes urbanas na bacia do rio Icaraí Niterói-RJ. **Revista Geonorte**, v. 5, n. 16, p. 41-46, 2014.

LICCO, Eduardo Antonio; MAC DOWELL, Silvia Ferreira. Alagamentos, Enchentes Enxurradas e Inundações: Digressões sobre seus impactos socioeconômicos e governança. **Revista de Iniciação Científica, Tecnológica e Artística**, v. 5, n. 3, p. 159-174, 2015.

LIMA E SILVA, P. P.; GUERRA, A. J. T.; DUTRA, L. E. D. **Subsídios para avaliação econômica de impactos ambientais**. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (Org.) Avaliação e perícia ambiental. Rio de Janeiro: Bertrand Russel, 1999. p. 217 - 261.

LIRA, Elizeu Ribeiro. A Gênese de Palmas. Porto Nacional, **Mimeo**, Unesp, 1995, p.272.

MAGALHÃES, J. Segregação socioespacial: contradições presentes em Palmas/TO. p. 124–133, 2009.

MAGALHÃES, I. L.; THIAGO, C. R.; AGRIZZI, D. V.; SANTOS, A. R. Uso de geotecnologias para mapeamento de áreas de risco de inundação em Guaçuí, ES: uma análise comparativa entre dois métodos. **Cadernos de Geociências**, v. 8, n. 2, 2011. 63-70 p.

MANTIS, A. B.; VAZ, J. A. Mapeamento de áreas de risco de alagamento do município de Guarujá-SP utilizando método de análise hierárquica. **Leopoldianum**, v. 45, n. 126, p. 69 - 85, 2019.

MARCHESAN, Juliana et al. **Mapeamento da Fragilidade Ambiental em Áreas do Bioma Mata Atlântica: Utilização de Geotecnologias Aplicadas ao Rio Grande do Sul**. Anuário do Instituto de Geociências, v. 42, n. 3, p. 586-598, 2020.

MARQUES, C. E. B. (2006). Proposta de Método para a Formulação de Planos Diretores de Drenagem Urbana. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, **Publicação MTARH.DM-092/06, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília**, Brasília, DF, 168p.

MCALINDEN, A. et al. Three-dimensional inverse Opal scaffolds for culture and differentiation of human mesenchymal stem cells. **European Cells and Materials**, v. 18, n. SUPPL. 1, p. 52, 2009.

MEDEIROS, Cleyber Nascimento de; SOUZA, Marcos José Nogueira de. **Metodologia para mapeamento da vulnerabilidade socioambiental: caso do município de Caucaia, estado do Ceará**. REDE-Revista Eletrônica do PRODEMA, v. 10, n. 1, 2016.

MORISAWA, Marie E. Geomorfologia quantitativa de algumas bacias hidrográficas do Planalto Apalaches. **Boletim da Sociedade Geológica da América**, v. 9, pág. 1025-1046, 1962.

MOURA, Priscilla Macedo; BAPTISTA, Márcio Benedito; BARRAUD, Sylvie. Avaliação multicritério de sistemas de drenagem urbana. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 6, n. 1, p. 31-42, 2009.

Nascimento, J. B. do. (2013). Processo de emancipação dos municípios do Tocantins. **Revista geonorte**, 4(12), 1648–1662. Recuperado de [//www.periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/1258](http://www.periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/1258)

NIR, D. Man, a geomorphological agent: an introduction to anthropic geomorphology. **Man, a geomorphological agent: an introduction to anthropic geomorphology.**, 1983.

OLIVEIRA, Mateus Gleiser; SUERTEGARAY, Dirce Maria Antunes. Morfopedogênese em área com ocorrência de Areais-RS. **Revista Espaço e Geografia**, v. 24, n. 1, p. 215-243, 2021.

PAIVA, R. C. D. DE. Modelagem hidrológica e hidrodinâmica de grandes bacias. Estudo de caso: bacia do rio Solimões. **Dissertação (Mestrado)**, p. 182, 2009.

PALMAS. Prefeitura municipal de palmas. **Prefeitura Municipal de Palmas - TO**, p. 1–47, 2014.

PALMAS. Lei Complementar nº. 155, de 28 de dezembro de 2007 - Dispõe sobre a política urbana do município de Palmas, formulada para atender ao pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e a garantia do bem-estar de seus habitantes, conforme estabelece a. v. 2, p. 1–47, 2007.

PALMAS. Plano Municipal de Saneamento Básico de Palmas – TO. **Anexo III ao Decreto nº 700, de 15 de janeiro de 2014. v. III: Drenagem Urbana**. Palmas, 2014.

PENCK, W. (1953) Morphological analysis of land forms: a contribution to physical geology; trad. de Hella Czech. e Catherine C. Boswell. London, Macmillan. 429p.

PENCK, A. Propuesta de una clasificación climática basada en la fisiología. In. MENDONZA, J. G., GIMÉNEZ, J. M. e CANTERO, N. O. (Org.). **El Pensamiento Geográfico**. Alianza Editorial, p.188-192, 1982.

PERES, R. B.; SILVA, R. S. DA. Interfaces da gestão ambiental urbana e gestão regional: análise da relação entre Planos Diretores Municipais e Planos de Bacia Hidrográfica. **URBE - Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 5, n. 480, p. 13, 2013.

PATTON, Peter C.; BAKER, Victor R. Morfometria e inundações em pequenas bacias hidrográficas sujeitas a diversos controles hidrogeomórficos. **Pesquisa em recursos hídricos**, v. 12, n. 5, pág. 941-952, 1976.

POLIDORI, M. C. Crescimento urbano e ambiente: um estudo exploratório sobre as transformações e o futuro da cidade. p. 328, 2004.

POMPÊO, C. Drenagem Urbana Sustentável. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 1, p. 15–23, 2000.

QUINTANILHA, G. J.; OLIVEIRA, V. DE P. S. DE. Digital terrain model: allowance for zoning areas subject to flooding of planning and public Baixada Campista / North Fluminense - Rio de Janeiro. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, v. 6, n. 2, p. 93–116, 2012.

RAMOS, Angelita Messias. Loteamentos irregulares e clandestinos e suas repercussões ambientais no Município de Palmas – TO. 2012. 61 f., il. **Monografia (Bacharelado em Administração)—Universidade de Brasília**, Palmas, 2012.

RAMOS, Catarina. Perigos naturais devidos a causa meteorológicas: o caso das cheias e inundações. In: **E-LP Engineering and Technology Journal**, v. 4, p. 11-16. 2013.

REBELO, F. **Riscos naturais e ação antrópica**. Coimbra: Imprensa da Universidade, 2003.

RODOVALHO, S. A.; DA ROCHA SILVA, M. A.; RODRIGUES, W. Participatory urban planning and democratic management in Palmas (TO) according to the deliberative democracy. **Urbe**, v. 11, p. 1–14, 2019.

RODRIGUES, Cleide. Morfologia original e morfologia antropogênica na definição de unidades espaciais de planejamento urbano: exemplo na metrópole paulista. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 17, p. 101-111, 2005.

RODRIGUES, C. Avaliação do impacto humano da urbanização em sistemas hidrogeomorfológicos. Desenvolvimento e aplicação de metodologia na grande São Paulo. **Geography Department, University of Sao Paulo**, v. 20, p. 111–125, 2010.

ROLNIK, R.; KLINK, J. Crescimento econômico e desenvolvimento urbano: Por que nossas cidades continuam tão precárias? **Novos Estudos CEBRAP**, n. 89, p. 89–109, 2011.

ROSS, J. L. S. **Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados**. **Revista do Departamento de Geografia**. São Paulo, DG-FFLCH-USP. n.º 8, p. 63-73, 1994.

ROSS, J. L. S. **Análises e sínteses na abordagem geográfica da pesquisa para o planejamento ambiental**. **Revista do Departamento de Geografia**. São Paulo, DGFFLCH-USP. n. 9, p. 65-75, 1995.

ROSS, J.L.S.; MOROZ, I. C. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo, FFCLH/IPT/ FAPESP, 64 p. 1997.

SAATY, T.L. (1977) A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures. **Journal of Mathematical Psychology**, 15, 234-281. [http://dx.doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](http://dx.doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5).

SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process**, New York: McGraw-Hill, 1980.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V.A.; OLIVEIRA, J. B.; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 2006. 306 p.

SANTOS, R. F. dos (ORG.). **Vulnerabilidade Ambiental - Desastres Naturais ou Fenômenos Induzidos?** Brasília: MMA, 2007. 192 p.

SANTOS, R. F. DOS. **VULNERABILIDADE AMBIENTAL - desastres naturais ou fenômenos induzidos?** [s.l: s.n.]. v. 13

SANTOS JUNIOR, O. A. DOS; MONTANDON, D. T. (ORG. **Os Planos Diretores**

Municipais Pós-Estatuto da Cidade: balanço crítico e perspectivas. [s.l.: s.n.].

SATHLER, D.; MONTE-MÓR, R. L.; DE CARVALHO, J. A. M. As redes para além dos rios: Urbanização e desequilíbrios na Amazônia brasileira. **Nova Economia**, v. 19, n. 1, p. 10–39, 2009.

SCHAFER, A. G.; NOGUEIRA, R. E.; SLUTER, C. R. Desenvolvimento de um banco de dados geográfico para a estimativa do potencial de retenção em áreas de drenagem. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR**, n. June 2015, p. 8709–8716, 2011.

SILVA, A. N. R. DA; COSTA, M. DA S.; MACÊDO, M. H. Planejamento Integrado, Organização Espacial e Mobilidade Sustentável no Contexto de Cidades Brasileiras. **Cidade e Movimento: Mobilidades e Interações no Desenvolvimento Urbano**, p. 81–100, 2015.

SILVA NETO, V. L. et al. Mapeamento de Chuvas Intensas para o Estado do Tocantins. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 1, p. 1–11, jan. 2020.

SOUZA, Arildo João de; ROSIMAR, Bizello Müller. **Geomorfologia**. 2010.

SOUZA, C. F. Mecanismos Técnico-Institucionais Para a Sustentabilidade Da Drenagem Urbana. **Dissertação (Mestrado) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas**, 2008.

SOUZA, M. J. N. **Bases Naturais e Esboço do Zoneamento Geoambiental do Estado do Ceará.** In: LIMA, L. C; SOUZA, M. J. N; MORAES, J. O. Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará. Fortaleza: FUNECE. 2000.

SOUZA, Vladimir Caramori Borges; MORAES, Luiz Roberto Santos; BORJA, Patrícia Campos. Déficit na drenagem urbana: buscando o entendimento e contribuindo para a definição. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, v. 1, n. 2, p. 162-175, 2013.

SUERTEGARAY, D. M. A. Geografia Física e Geomorfologia: uma releitura. Porto Alegre: Compasso, 2018.

TAGLIANI, C. R. A. **A mineração na porção média da Planície Costeira do Rio Grande do Sul: estratégia para a gestão sob um enfoque de Gerenciamento Costeiro Integrado.** Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geociências. UFRGS. Rio Grande do Sul - RS. 252 p. 2002.

TATUM, M. C.; LIU, J. Unmanned Aircraft System Applications in Construction. **Procedia Engineering**, v. 196, n. June, p. 167–175, 2017.

TEIXEIRA, L. F. C. A formação de Palmas. **Revista UFG**, v. Ano XI, n. 6, p. 91–99, 2009.

THORNTON, Peter E. et al. Modelar e medir os efeitos do histórico de perturbações e do clima nos orçamentos de carbono e água em florestas perenes de folhas agulhas. **Meteorologia agrícola e florestal**, v. 113, n. 1-4, pág. 185-222, 2002.

TOMINAGA, Lídia Keiko; SANTORO, Jair; AMARAL, Rosangela. Desastres naturais. **São Paulo: Editora Instituto Geológico**, 2009.

TOY, T. J. & HADLEY, R. F. (1987) *Geomorphology and Reclamation of Disturbed Lands*. Academic Press, New York.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE – Diretoria Técnica – SUPREN, 1977.

TUCCI, C. E. M. Plano Diretor de Drenagem Urbana- Princípios e Concepção.pdf. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 2, n. 2, p. 5–12, 1997.

VENEZIANI, Yuri; RODRIGUES, Cleide; DA COSTA MANTOVANI, Juliana. Geomorfologia fluvial do baixo ribeira de iguape, são paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 20, n. 3, 2019.

VEYRET, Y.; MESCHINET DE RICHEMOND, N. **O risco, os riscos**. In: VEYRET, Y. (Org.) *Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente*. São Paulo: Contexto, 2007. p. 23-79.

VICENS R.S.; MARQUES, J. S. Características Morfométricas E Sua Relação Com a Hidrologia De Bacias Hidrográficas De Tabuleiros Costeiros No Norte De Espírito Santo, Brasil. **VI Nacional de Geomorfologia/Regional Conference Geomorfology**, p. 1–14, 1932.

VICENTE, V. M. B.; RAMOS, A. M. Anais do Encontro de Gestão e Negócios - EGEN2014 Uberlândia, MG, 20 a 22 de outubro de 2014. **ândia, MG, 20 a 22 de outubro de 2014**, p. 1041–1065, 2014.

VILLANUEVA, A. O. N. et al. Da Formulação À Implementação. **Rega**, v. 8, n. 1, p. 5–18, 2005.

VILLELA, S.M., MATTOS, A. *A Hidrologia aplicada*. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.

VOSGUERITCHIAN, Andrea Bazarian. Infraestrutura e projetos de regeneração urbana. 2015. Tese (Doutorado em Planejamento Urbano e Regional) - **Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo**, 2015. doi:10.11606/T.16.2016.tde-29022016-160455. Acesso em: 2024-02-09.

WEISS, R. Identificação de fragilidade ambiental quanto a enchentes e desmoronamentos no perímetro urbano de Santa Maria-RS por geotecnologias. **Tese de Doutorado. Master Thesis in Geomática. Santa Maria, Brasil. Centro de Ciências Rurais**. Universidade Federal de Santa Maria, 2012. 108 p.

ZĂVOIANU, ION. *Morphometry of Drainage Basins*. *Developments in water science*, 20. **Amsterdam: Elsevier**, 1985. 238 p.