UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

CAMILA OLIVEIRA DE BRITTO SALGUEIRO

IMPACTO DO ARMAZENAMENTO DA ÁGUA DE CHUVA NO VOLUME ESCOADO PARA O SISTEMA DE DRENAGEM PLUVIAL

Recife
2021

CAMILA OLIVEIRA DE BRITTO SALGUEIRO

IMPACTO DO ARMAZENAMENTO DA ÁGUA DE CHUVA NO VOLUME ESCOADO PARA O SISTEMA DE DRENAGEM PLUVIAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Profa. Dra. Sylvana Melo dos Santos.

Recife

2021

Catalogação na fonte:
Bibliotecária Sandra Maria Neri Santiago, CRB-4 / 1267

S164i Salgueiro, Camila Oliveira de Britto.
Impacto do armazenamento da água de chuva no volume escoado para o sistema de drenagem pluvial / Camila Oliveira de Britto Salgueiro. – 2021.
80 f.: il., fig., tabs.

Orientadora: Profa. Dra. Sylvana Melo dos Santos.
TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Recife, 2021.
Inclui referências.

1. Engenharia civil. 2. Dois Unidos. 3. Drenagem urbana. 4. Telhados verdes. 5. Caixa d'água. I. Santos, Sylvana Melo dos (Orientadora). II. Título.

UFPE

624 CDD (22. ed.) BCTG/2022-105

CAMILA OLIVEIRA DE BRITTO SALGUEIRO

IMPACTO DO ARMAZENAMENTO DA ÁGUA DE CHUVA NO VOLUME ESCOADO PARA O SISTEMA DE DRENAGEM PLUVIAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 04/05/2021.

BANCA EXAMINADORA

_____
Profa. Dra. Sylvana Melo dos Santos (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

_____
Prof. Dr. Anderson Luiz Ribeiro de Paiva (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

_____
D. Sc. Janaína Maria Oliveira de Assis (Examinadora Externa)
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus pelo dom da vida e por todas as oportunidades que Ele vem me dando de evolução nessa encarnação. Gostaria de agradecer, também, aos meus pais, Leidjane e João, pois sei que esse sonho está longe de ser só meu: foi pensado, lutado e realizado em conjunto. Agradeço a compreensão antes e durante a pandemia, todas as vezes que seguraram minha mão quando estava preocupada com as provas e que entenderam quando não podia fazer algo porque tinha muita demanda na faculdade. Espero, de verdade, que, nesse novo ciclo, eu consiga ser tão boa quanto vocês, como pessoa e como profissional. Gratidão, também, a todos meus familiares por terem entendido as vezes em que não pude comparecer às reuniões de família e por todas as orações que, sei que, me foram direcionadas, em especial à Clarinha, Tia Mônica e Tia Kátia, que sempre torceram tanto por mim.

Agradeço a minha excelentíssima orientadora, Professora Sylvana Santos, que vem caminhando comigo academicamente desde 2017, mas que me conhece e apoia muito antes disso. Obrigada por toda atenção, confiança, mas, acima de tudo, por todo o carinho e cuidado que foram partilhados ao longo do curso. Aproveito, também, para agradecer aos Professores Roberto Azevedo e Anderson Paiva, aos quais tive a oportunidade de ser aluna no decorrer do curso e que se tornaram grandes incentivadores, sempre me dando força e acreditando no meu potencial.

Não poderia deixar de citar Gabriel, que esteve ao meu lado nesses últimos anos de curso, compreendendo e apoiando todos os meus desesperos, ansiedades e fazendo de tudo para que eu me sentisse mais tranquila em relação ao fim do curso. Obrigada por escutar todos os meus desabafos e por sempre falar “tenho certeza de que tudo vai dar certo” até quando eu achava que não iria conseguir.

Obrigada a todos os meus amigos, principalmente àqueles que tiveram paciência em ouvir a minha frase-tema nesses anos de curso: “esse final de semana não posso, tenho prova”. Obrigada pela paciência, compreensão e todo carinho que recebi, e aos meus colegas de curso, por terem vivido essa fase ao meu lado, sempre apoiando uns aos outros e na certeza que um dia lembraríamos disso como uma fase boa em nossas vidas.

Agradeço, do fundo do coração, a todos aqueles que me incentivaram, confiaram em mim e me deram força em momentos complicados. Se consegui, sei que não foi sozinha: devo a todos aqueles que me ajudaram a não desistir.

RESUMO

O aumento da urbanização, tem aumentado o escoamento superficial, com o crescimento de construções, diminuição da infiltração do solo e redução nos caminhos subterrâneos, resultando em desastres naturais. Possíveis episódios de eventos extremos de precipitação juntamente com a urbanização descrita têm resultado em problemas como alagamentos (acúmulo de água em determinados locais). Por isso, pesquisadores vêm buscando formas de minimizar tais problemas, visando a melhoria não só da conjuntura atual, mas também das próximas gerações, tais como o emprego de telhados verdes. Tal cenário de urbanização e de problemas também é observado no município de Recife-PE, onde, com o uso de imagens de satélite, foi possível identificar a distribuição de áreas verdes e áreas urbanizadas. Para definição da área de estudo, foram adotados, inicialmente, os limites estabelecidos pela Prefeitura de Recife com a divisão em RPA (região político-administrativa). Para escolha da área de estudo, foram considerados os seguintes critérios: aspectos socioeconômicos, grau de urbanização, existência de morros e geomorfologias, dados pluviométricos, e dimensões do sistema de drenagem urbana. Diante do exposto, foram escolhidos, nesta ordem, a RPA 2 e o bairro de Dois Unidos (pertencente à RPA2). Nessa área foram realizadas as seguintes atividades: definição das superfícies dos telhados e das principais vias públicas com imagens de satélite; identificação dos pontos baixos das vias para análise de alagamento com o uso de Modelo Digital de Elevação – MDE; verificação da ocorrência (ou não) de alagamento pela comparação entre a capacidade de escoamento das sarjetas e a vazão gerada pelas superfícies impermeáveis, identificadas nas imagens de satélite; cálculo da capacidade de armazenamento de água de chuva escoada dos telhados em dois cenários (uso de caixas d'água de 500 L e implantação de telhados verdes) na área de estudo; cálculo do custo aproximado com o emprego de cada uma dessas alternativas; e avaliação do impacto das duas alternativas na ocorrência dos possíveis alagamentos. Sobre os custos, a adaptação dos telhados para implantação das coberturas verdes foi mais onerosa (R$ 1.533,36) que a aquisição de caixas d'água de 500 L (R$ 250,00), para cada residência. Para a drenagem urbana, as duas ações, realizadas conjuntamente, foram ineficientes na resolução dos alagamentos. Por outro lado, tais ações podem contribuir para a redução das dimensões do projeto de drenagem urbana reduzindo o

volume de água pluvial excedente (acima da capacidade de escoamento da sarjeta) em cerca de 45% (de 46.033,30 m^3 para 20.902,23 m^3).

Palavras-chave: Dois Unidos; drenagem urbana; telhados verdes; caixa d'água.

ABSTRACT

The increase in urbanization has increased runoff, with the growth of buildings, decreased soil infiltration and reduction in underground paths, resulting in natural disasters. Possible episodes of extreme precipitation events together with the described urbanization have resulted in problems such as flooding (accumulation of water in certain locations). For this reason, researchers have been looking for ways to minimize such problems, aiming at improving not only the current situation, but also the coming generations, such as the use of green roofs. This urbanization and problems scenario is also observed in the city of Recife-PE, where, with the use of satellite images, it was possible to identify the distribution of green areas and urbanized areas. To define the study area, the limits established by the Municipality of Recife with the division into RPA (political-administrative region) were initially adopted. To choose the study area, the following criteria were considered: socioeconomic aspects, degree of urbanization, existence of hills and geomorphologies, rainfall data, and dimensions of the urban drainage system. Given the above, in this order, RPA 2 and the Dois Unidos neighborhood (belonging to RPA2) were chosen. In this area, the following activities were carried out: definition of the surfaces of the roofs and of the main public roads with satellite images; identification of the low points of the roads for flooding analysis using the Digital Elevation Model - DEM; verification of the occurrence (or not) of flooding by comparing the flow capacity of the gutters and the flow generated by the impermeable surfaces, identified in the satellite images; calculation of rainwater storage capacity drained from roofs in two scenarios (use of 500 L water tanks and implantation of green roofs) in the study area; calculation of the approximate cost of using each of these alternatives; and assessment of the impact of the two alternatives on the occurrence of possible flooding. Regarding costs, adapting roofs to implement green roofs was more costly (R $ 1.533,36) than the purchase of 500 L water tanks (R $ 250,00), for each residence. For urban drainage, the two actions, carried out together, were inefficient in resolving the floods. On the other hand, such actions can contribute to the reduction of the dimensions of the urban drainage project, reducing the volume of surplus rainwater (above the drainage capacity of the gutter) by about 45% (from 46.033,30 m^3 to 20.902,23 m^3).

Keywords: District Dois Unidos; urban drainage; green roofs; water tank.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Hídrico das áreas para cada tipo de cenário.	23
Figura 2 –	Efeito cumulativo do hidrograma relacionado aos impactos do processo de urbanização.	24
Figura 3 –	Fluxograma de procedimento metodológico.	29
Figura 4 –	Comparativo do funcionamento de diferentes telhados.	34
Figura 5 –	Mapa com divisão das unidades de Região Político–Administrativas (RPA) do Recife.	40
Figura 6 –	Fluxograma da metodologia adotada no processamento da imagem para o índice NDBI.	41
Figura 7 –	Número de lonas instaladas em áreas de risco por ano, no Recife.	43
Figura 8 –	Número de vistorias em áreas de risco por RPA, em 2019.	44
Figura 9 –	Número de chamados pela população em áreas de risco por RPA, em 2019.	44
Figura 10 –	Número de solicitações em áreas de risco por RPA, no Recife, em 2019.	44
Figura 11 –	Fluxograma da metodologia adotada no processamento da imagem – curvas de nível e sombreamento.	45
Figura 12 –	Quadrículas utilizadas para a obtenção do Modelo Digital de Elevação.	46
Figura 13 –	Exemplo da metodologia utilizada na aferição da largura da via (m).	53
Figura 14 –	Exemplo da metodologia utilizada na aferição da distância entre curvas de nível de cotas máxima e mínima da via (m).	54
Figura 15 –	Processamento de imagem pelo índice NDBI, em 28 de julho de 2013.	55
Figura 16 –	Processamento de imagem pelo índice NDBI, em 17 de outubro de 2019.	56
Figura 17 –	Comparação das imagens de bairro de Guabiraba (em destaque), situado na RPA 3.	57
Figura 18 –	Comparação das imagens dos bairros da Várzea e do Curado (em destaque), na RPA 5.	58

Figura 19 – – Comparação das imagens dos bairros das RPA’s 1,2, 3 e 4. 58
Figura 20 – Imagem pelo índice NDBI, em 17 de outubro de 2019 com divisão RPA. 59
Figura 21 – Modelo Digital de Elevação do Terreno (MDE) – Sombreamento. 60
Figura 22 – Modelo Digital de Elevação do Terreno (MDE) – Curvas de Nível (RPA 3) (1/4). 61
Figura 23 – Modelo Digital de Elevação do Terreno (MDE) – Curvas de Nível (RPA 2) (2/4). 61
Figura 24 – Modelo Digital de Elevação do Terreno (MDE) – Curvas de Nível (RPA 5 e RPA6) (3/4). 62
Figura 25 – Modelo Digital de Elevação do Terreno (MDE) – Curvas de Nível (RPA 4) (4/4). 62
Figura 26 – Localização dos principais postos pluviométricos na cidade do Recife. 65
Figura 27 – Distribuição dos pontos de alagamento Recife. 67
Figura 28 – Detalhamento área impermeável (Dois Unidos). 68
Figura 29 – Metodologia utilizada para encontrar as áreas de contribuição referentes a cada rua. 69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Coeficiente de Deflúvio (c) de acordo com a natureza da superfície.	30
Tabela 2 –	Coeficiente de Deflúvio (c) de acordo com o tipo de ocupação da área.	30
Tabela 3 –	Coeficiente de Simplificação em função da largura da Via.	32
Tabela 4 –	Parâmetros de avaliação para Áreas de Vulnerabilidade (Recife–PE).	39
Tabela 5 –	Listagem dos bairros por unidade de Região Político–Administrativa do Recife.	39
Tabela 6 –	Ângulos de elevação do sol e distância astronômica terra–sol de cada data.	41
Tabela 7 –	Porcentagem de bairros inseridos na RPA's que não tem ZEIS em sua área.	46
Tabela 8 –	Parâmetros sociecônomicos avaliados, em valores médios, nos bairros das RPA’s (1/2).	47
Tabela 9 –	Parâmetros Sociecônomicos Avaliados, em valores médios, nos bairros das RPA’s (2/2).	47
Tabela 10 –	Valores de precipitação diária máxima mensal referente a cada posto, em 2019.	35
Tabela 11 –	Principais logradouros no bairro de Dois Unidos, Recife–PE.	52
Tabela 12 –	Elementos de drenagem por RPA.	63
Tabela 13 –	Somatório de Postos com dias máximos em cada mês por RPA, em 2019.	64
Tabela 14 –	– Tabela-Resumo parâmetros estudados.	65
Tabela 15 –	– Pontos de alagamento por RPA, informações referentes ao ano de 2015.	66
Tabela 16 –	– Comparativo RPA 2 e Média Geral das RPA's (Elementos de Drenagem).	67
Tabela 17 –	– Parâmetros empregados no Método Racional.	69

Tabela 18 – – Vazão de contribuição ($Q_{máx}$) dos logradouros principais. 69
Tabela 19 – – Cálculo da vazão de escoamento dos principais logradouros (Dois Unidos). 58

SUMÁRIO

1	**INTRODUÇÃO**	**15**
1.1	JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO	17
1.2	OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS	18
2	**REFERENCIAL TEÓRICO**	**19**
2.1	ÁREA DE ESTUDO	19
2.2	IMPACTO DA URBANIZAÇÃO NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL	21
2.3	SISTEMA DE DRENAGEM URBANA (SDU) – EVOLUÇÃO E CONCEITOS	26
2.4	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA	29
2.5	ARMAZENAMENTO DA ÁGUA DE CHUVA	32
2.6	IMAGENS DE SATÉLITE COMO FERRAMENTA PARA DRENAGEM URBANA	35
2.7	MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO (MDE)	37
3	**MATERIAIS E MÉTODOS**	**38**
3.1	IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS VULNERÁVEIS EM RECIFE-PE	38
3.1.1	**Regiões com maior quantidade de áreas construídas**	**40**
3.1.2	**Áreas com Morros**	**42**
3.1.3	**Parâmetros socioeconômicos**	**46**
3.1.4	**Dados Pluviométricos**	**47**
3.2	CÁLCULO DO VOLUME DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL GERADO	50
3.3	POTENCIAL DE RESERVAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA COM CAIXA D'ÁGUA E TELHADOS VERDES	50
3.4	VERIFICAÇÃO DA OCORRÊNCIA DE ALAGAMENTOS	52
3.5	ESTIMATIVA DO IMPACTO DO ARMAZENAMENTO DA ÁGUA DE CHUVA NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL	54
4	**RESULTADOS E DISCUSSÕES**	**55**
4.1	IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS VULNERÁVEIS E DECLIVIDADES EM RECIFE-PE	55
4.2	DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	63

4.3	CÁLCULO DO VOLUME DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL GERADO ATUALMENTE	68
4.4	AVALIAÇÃO SOBRE A NECESSIDADE DE AÇÕES PARA EVITAR ALAGAMENTOS	70
4.5	CÁLCULO DO POTENCIAL DE RESERVAÇÃO DA ÁGUA DA CHUVA	72
5	**CONSIDERAÇÕES FINAIS**	**73**
	REFERÊNCIAS	**74**

1 INTRODUÇÃO

Com o aumento populacional exacerbado somado à aceleração no processo de urbanização, problemas ambientais têm se tornado uma realidade no cenário da cidade do Recife, interferindo diretamente na vida da sociedade como um todo e trazendo consequências tanto a curto como a longo prazo, tornando–se necessária a busca por medidas de solução. Nesse contexto, evidencia–se principalmente o crescimento desgovernado da população e do número de construções, o que, segundo Santos *et al*. (2013), hidrologicamente falando, gera a redução na taxa de infiltração graças ao aumento nas áreas impermeabilizadas. Ressalta–se que essa situação contribui para o aparecimento de alagamentos e inundações, problemas comuns de drenagem urbana nas grandes cidades. Sobre isso, Santos *et al*. (2013) afirmaram, também, que, a intensificação do escoamento superficial resulta no aumento da frequência e na magnitude dos topos do hidrograma de escoamento, com consequente elevação do nível d'água acima dos limites considerados normais para o escoamento.

De acordo com Moura e Silva (2015), o escoamento superficial tem como principal causa o excesso de precipitação, após chuvas intensas, podendo esse volume de água se deslocar tanto pela superfície terrestre quanto para o escoamento de um rio, alimentado por esse elevado grau de precipitação e pelas águas subterrâneas. Santos *et al*. (2013) ressaltam que a inundação, em aspectos gerais, é advinda das modificações do uso do solo, tendo como consequência o extravasamento do nível dos cursos d'água além dos seus limites máximos. Dessa forma, é válido citar que, a partir do momento que ocorre uma mudança no solo de permeável para impermeável, tem–se um impacto direto no aumento do escoamento superficial como um todo. Uma da principais problemáticas ambientais nos centros urbanos estão relacionados com as consequências dos eventos pluviométricos extremos que resultam em problemas com o escoamento superficial da água de chuva. Neste contexto, se inserem os conceitos de inundação, alagamento, enchente e enxurrada, que costumam ser confundidos entre si por se tratar de impactos que podem ser naturais ou não resultantes dos eventos pluviométricos extremos.

De acordo com Tucci (2007), a inundação ocorre quando as águas dos mananciais hídricos naturais e canais superficiais saem da calha normal de escoamento devido à falta de capacidade de transporte de um destes sistemas, sendo direcionadas para áreas ocupadas pela população. Para França e Suassuna (2018), o alagamento constitui a extrapolação da capacidade de escoamento de sistemas de drenagem urbana e consequente acúmulo de água em ruas, calçadas ou outras infraestruturas urbanas, em decorrência de precipitações intensas. Sobre as enchentes, Pompêo (2000) destaca que as mesmas são fenômenos naturais, que ocorrem periodicamente nos cursos d'água, e ocorrem em áreas urbanas, como consequência de chuvas intensas de longo período de retorno ou devido a transbordamentos de cursos d'água provocados por mudanças no equilíbrio no ciclo hidrológico em regiões a montante das áreas urbanas, podendo ainda ocorrer devido à própria urbanização. No que se refere à enxurrada, segundo França e Suassuna (2018), a enxurrada está relacionada com o escoamento superficial de alta velocidade e energia, provocado por chuvas intensas e concentradas. Sobre isso, os autores destacam que a enxurrada normalmente ocorre em pequenas bacias de relevo acidentado, e pela elevação súbita das vazões de determinada drenagem resultando em transbordamento brusco da calha fluvial, apresenta grande poder destrutivo.

Sobre os prejuízos resultantes dos problemas com o escoamento superficial da água de chuva, observados em áreas urbanas, Nagem (2008) classificou–os em dois principais grupos: tangíveis e intangíveis. Sendo os prejuízos tangíveis àqueles relacionados com a propriedade, os custos operacionais de congestionamentos urbanos e a manutenção de veículos, a infraestrutura urbana e as perdas de vidas humanos. Os prejuízos tangíveis estão relacionados com custos diretos, e de desvalorização de imóveis, custos com atendimentos de assistência a desabrigados e desalojados e custos de limpeza. No grupo de prejuízos intangíveis têm–se situações como empobrecimento progressivo da população atingida, perda de produção econômica, interrupção das atividades comerciais, prejuízos ambientais, entre outros.

Dessa forma, pesquisadores vêm buscando opções de minimização desses problemas, visando a melhoria não só da conjuntura atual, mas também das próximas gerações, tais como o emprego de telhados verdes. De forma geral, os telhados verdes que constituem uma opção tecnológica de melhoria no planejamento urbano,

a partir da aplicação de uma camada vegetal na cobertura de edificações, contribuindo para a minimização do escoamento superficial, a absorção do gás carbônico/emissão o gás oxigênio e a retenção da água da chuva para posterior uso, aplicação estudada neste trabalho.

Em relação a área de estudo, segundo Albuquerque *et al*. (2013), o município do Recife sofre intensamente com alagamentos, transbordamentos de córregos e rios, e deslizamentos de morros graças à intensificação da precipitação pluviométrica no período chuvoso, que normalmente vai de abril a junho. Diante do exposto, ressalta–se a necessidade de um estudo mais detalhado acerca do quantitativo do escoamento superficial, bem como a busca por medidas mitigadoras dos impactos, principalmente em áreas vulneráveis sob os aspectos social, econômico e ambiental. Como alternativa de minimização desses impactos, tem–se o armazenamento de água da chuva em reservatórios, sendo esse associado ao volume escoado de telhados.

Dessa forma, realiza–se o estudo em questão, visando minimizar o escoamento superficial, e em consequência a ocorrência de alagamentos e dos consequentes impactos em áreas de maior vulnerabilidade sócio–econômica.

1.1 JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO

Sabe–se que problemas com escoamento da água de chuva em eventos pluviométricos extremos afetam principalmente a parte da população de menor renda, que muitas vezes residem em áreas de maior vulnerabilidade. Dessa forma, a busca por ferramentas mitigadoras dos impactos é uma necessidade para a sociedade como um todo, mas especialmente para os residentes de áreas de risco, que sofrem diariamente com as consequências.

Além de contribuir para a melhoria da qualidade de vida da população de baixa renda, uma grande motivação para realização deste trabalho é a existência da Lei Municipal Nº. 18.112 (RECIFE, 2015), que tornou obrigatório o uso de telhados verdes em projetos de edificações habitacionais multifamiliares com mais de quatro pavimentos e não–habitacionais com mais de 400 m² de área de coberta, para sua aprovação. Além disso, a Lei determina que em lotes com área superior a 500 m², edificados ou não, que tenham área impermeabilizada superior a 25% da área total do lote, deverão ser executados reservatórios de águas pluviais como condição para

aprovação de projetos iniciais. Logo, de acordo com o instrumento legal indicado, desde 2015, o município conta com duas possibilidades de armazenamento da água em cada edificação sujeita à Lei: os reservatórios e os telhados verdes.

Em relação aos telhados verdes, de acordo com Mediondo e Cunha (2004), o uso de vegetação na cobertura dos telhados verdes aumenta a infiltração e resulta na diminuição do escoamento superficial, diferentemente do uso de telhados convencionais, no qual a maioria da água precipitada vai diretamente para o escoamento superficial. Para Castro e Goldenfum (2010), a implantação de coberturas vegetais pode proporcionar melhor dinâmica do escoamento superficial, redução da velocidade de liberação do excesso de água e redução nos volumes de escoamento.

Assim sendo, o iminente crescimento na quantidade de coberturas verdes sobre os telhados das edificações e de reservatórios de acúmulo da água de chuva, à luz da obrigatoriedade prevista na Lei, ratifica a necessidade de estudos sobre a tecnologia e as consequências dessas estruturas no escoamento superficial.

1.2 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

O presente trabalho tem como objetivo geral analisar o impacto da implantação de estruturas de reservação de água no dimensionamento de sistemas de drenagem urbana em áreas da cidade do Recife, a partir de imagens de satélites e cálculos aproximados de escoamento.

Em relação aos objetivos específicos, têm–se:

- Levantamento de áreas vulneráveis à ocorrência de inundações e alagamentos na cidade do Recife–PE.
- Avaliação do potencial de armazenamento de água de chuva em reservatórios residenciais.
- Avaliação do impacto do armazenamento residencial da água de chuva na redução do volume de escoamento superficial para o sistema de drenagem urbana.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesse capítulo será abordado as principais informações relacionadas ao trabalho em questão, sendo realizadas pesquisas e discussões acerca do tema. Para isso, detalham–se aspectos relacionados a área de estudo e impacto do processo de urbanização para o escoamento superficial em centros urbanos, assim como conceitos importantes e dimensionamento do sistema de drenagem urbana. Além disso, também se abordam estudos referentes a metodologia do armazenamento da água de chuva, utilização de imagens de satélite como ferramenta para a drenagem urbana e, por fim, o modelo digital de elevação (MDE).

2.1 ÁREA DE ESTUDO

No que diz respeito à cidade do Recife, sabe–se que grande parte de sua área está localizada em uma planície costeira, destacando–se em seu sistema natural de drenagem a confluência de três rios urbanos (Capibaribe, Beberibe e Tejipió), e onde se insere uma malha com mais de setenta e três canais. Recife está localizada no litoral do Nordeste brasileiro, na latitude 8º 03’14”S e na longitude 34º 52’51”O (GOMES, 2007). De acordo com Nóbrega, Santos e Moreira (2016), a altitude média de Recife é de apenas 4 m acima do nível do mar, compreendendo uma área de 218 km^2, e apresenta temperaturas médias mensais em torno de 25ºC, com amplitude térmica anual nunca superior a 5ºC, e umidade relativa do ar com valores médios anuais de 84%. Segundo os autores, o clima regional da cidade é o Tropical Atlântico de Costa Oriental (As’, segundo a classificação climática de Köppen), com chuvas de outono–inverno, sem inverno térmico em que as temperaturas médias mensais são superiores a 18ºC.

De acordo com o Banco do Nordeste do Brasil (2015), o estado de Pernambuco é dividido em cinco Mesorregiões, subdivididas em 19 Microrregiões geográficas, onde estão inseridos 185 unidades municipais e um distrito estadual, o Arquipélago de Fernando de Noronha. Dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2015) apontam que a capital de Pernambuco, Recife, concentra 17,3% do total da população, totalizando em 2014 cerca de 1,61 milhão de habitantes. A Mesorregião Metropolitana de Pernambuco compreende a área de influência de Recife e

corresponde a 41,9% da população do Estado. Recife é uma das cidades mais antigas do Nordeste e teve grande importância militar e comercial na fase colonial brasileira, sendo atualmente o principal centro econômico do Estado, com influência ultrapassando suas divisas (BNB, 2015). Segundo o BNB (2015), Recife tem um setor industrial forte, com grande parque tecnológico, o Porto Digital, e dentre a infraestrutura e os recursos naturais e patrimoniais existentes, podem ser destacados: o Complexo Industrial e Portuário de Suape, o Aeroporto Internacional do Recife, o rico acervo de edificações históricas e as belas paisagens naturais, responsáveis pela considerável movimentação turística durante todo ano.

Sobre as condições pluviométricas, de acordo com Silva (2010), o processo de urbanização desenfreado, principalmente no que diz respeito à ocupação das margens, tem resultado em graves problemas de escoamento das águas de chuva no Recife, tanto nos períodos úmidos como nos períodos mais secos. Para Silva Junior *et al*. (2020), a cidade do Recife, localizada em planície urbana costeira, é de pluviosidade elevada, urbanização desordenada e um sistema de drenagem com diversos problemas, principalmente devido à variabilidade das marés. Algumas características naturais observadas em Recife resultam em severos problemas para a drenagem urbana, como baixas cotas em relação ao nível do mar, área planas, influência das marés na rede de drenagem e lençol freático aflorante na estação chuvosa. Em relação ao sistema de drenagem, Silva Júnior (2015) ressaltou que a ocupação das margens de riachos urbanos por construções, alta taxa de impermeabilização do solo e problemas referentes ao manejo de resíduos sólidos e líquidos vem atrapalhando a dinâmica de funcionamento do sistema, influenciando diretamente na alta ocorrência de inundações. Nesse contexto, ressalta–se a necessidade de adaptar a infraestrutura de drenagem à realidade climática de Recife–PE.

No que diz respeito à geomorfologia, Cavalcanti (2012) afirmou que tal ciência abrange as ações de agentes capazes de modelar a paisagem, e todos os processos que envolvem a dinâmica desgaste/deposição, sendo assim de grande importância em planos de desenvolvimento e gestão dos grandes centros urbanos, já que esses estão constantemente sujeitos a alterações físico–ambiental. De acordo com Assis (2001), a Região Metropolitana do Recife (RMR) subdivide–se em oito grandes unidades de relevo: Planície Flúvio Lagunar, Praias Recentes, Planícies de Maré,

Terraços Marinhos, Colinas Tercio–Quaternárias, Planícies Aluvionares, Morros Cretáceos e Morros Cristalinos. O autor destacou que o município do Recife está localizado na unidade de relevo que se distribui ao longo do litoral, as Praias Recentes, e constitui uma faixa estreita composta de sedimentos predominantemente quartzosos.

2.2 IMPACTO DA URBANIZAÇÃO NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

O aumento da urbanização, no decorrer dos anos, tem gerado acréscimo no escoamento superficial, uma vez que, com o crescimento na quantidade de construções, ocorre a diminuição da infiltração do solo e a redução nos caminhos subterrâneos que a água viria a tomar no solo, gerando assim consequentes desastres naturais. Segundo Sousa (2016), tal fato ocorre devido ao aumento expressivo da quantidade de superfícies impermeáveis decorrentes da urbanização, como, por exemplo a pavimentação de ruas, a construção de áreas de estacionamento, de calçadas e de residências, entre outros. Nesse cenário se insere o conceito de Desastres Naturais, como sendo, de forma simplificada, segundo Tobin e Montz (1997 *apud* MARCELINO, 2008, p.10), “o resultado do impacto de um fenômeno natural extremo ou intenso sobre um sistema social, causando sérios danos e prejuízos que excede a capacidade dos afetados em conviver com o impacto.” Marcelino *et al.* (2018) afirmaram que tratar os fenômenos climáticos como algo essencialmente natural favorece equivocadamente a ideia da imprevisibilidade, permitindo tratar os problemas sociais latentes como fenômeno natural. Os autores salientaram que a gestão de riscos e desastres inclui a perspectiva de um controle urbano permanente e intervenções definitivas visando a proteção da vida.

Marcelino (2008) destaca que as precipitações intensas podem desencadear sérios desastres naturais, como as inundações e os escorregamentos. Assim sendo, em relação aos episódios extremos de precipitação juntamente com a má administração do processo de urbanização, os problemas mais comuns, de acordo com Caldana *et al.* (2018), são: alagamentos (acúmulo de água em determinados locais); inundações (transbordamento do corpo hídrico sobre sua várzea devido a problemas no sistema de drenagem); e enxurradas (semelhante à inundação, porém com maior abrangência e alto poder de transporte). Ainda nesse contexto, é válido

citar, que as enxurradas podem vir a gerar inundações em centros urbanos, uma vez que por ter um grande poder de transporte consegue levar materiais antes localizados em regiões altas para canais e rios, podendo esses assorear e como consequência, inundar. Sobre a inundação, Nagem (2008) destacou que, além das condições gerais da inundação como altura, velocidade do escoamento, duração do evento, frequência das inundações e taxa de elevação do nível d'água, fatores próprios da área interferem diretamente no impacto de tal evento na região atingida.

França e Suassuna (2018) afirmaram que os eventos hidrológicos, como as inundações, enxurradas e alagamentos, são uma realidade no cotidiano das cidades do núcleo metropolitano do Recife. Os autores destacaram que, nestas circunstâncias, a população fica exposta a transtornos que são, inclusive, apresentados diariamente nos meios de comunicação em massa local. Para França e Suassuna (2018) é necessário entender as características e vulnerabilidades das cidades frente aos eventos hidrológicos extremos e identificar se as instituições possuem estrutura e se estão preparadas para lidar com as fragilidades que ameaçam a integridade e segurança dos cidadãos.

Sobre vulnerabilidade, para Santana (2019) é um conjunto de condições sociais que acabam por deixar as pessoas mais expostas a algum tipo de evento, assim existindo a perda e danos sofridos por uma comunidade frente a desastres, na qual, somada ao perigo, pode vir a indicar risco. De acordo com Alheiros *et al.* (2004), considerando uma determinada área, para sua determinação, deve ser levados em consideração a litologia, bem como os fatores morfológicos, hidrológicos, antropológicos, entre outros.

Sobre a área construída, Costa, Poleto e Ramme (2016) ressaltaram que a retirada da cobertura vegetal original tem impacto direto no grau de infiltração da água precipitada, já que, em um cenário sem modificações, ao atingir o solo, parte dessa água seria infiltrada pelo solo e absorvida pela vegetação. Assim sendo, pode ocorrer o aumento nos níveis do escoamento superficial que podem resultar em inundações, erosões e danos à qualidade da água dos mananciais hídricos superficiais. Nesse contexto, Macedo, Vieira e Furigo (2018) detalharam um esquema do balanço hídrico, na Figura 1, em uma área urbana qualquer com o aumento na superfície impermeabilizada. As Figuras 1a, 1b e 1c estão associadas a três cenários de uso e ocupação do solo: área florestal (maior área vegetada e consequentemente valores

mais altos de infiltração, de 80–90%, e mais baixos no escoamento superficial, de 10–20%), área residencial (quantidade média de vegetação, gerando médios valores de infiltração, de 50–60%, e de escoamento, de 40–50%); e área urbana (menor, ou nenhuma, quantidade de vegetação, somando a menor porcentagem de água que infiltra na superfície, de 0–10%, e maiores porcentagens de escoamento, de 90–100%). Esse esquema ilustra a ideia de que quanto maior a quantidade de construções e menor a quantidade de vegetações, menor será a taxa de infiltração e maior será o escoamento da água pluvial em uma área.

Figura 1 – Hídrico das áreas para cada tipo de cenário.

a) Área florestal. b) Área residencial. c) Área urbana.

Fonte: Fonte Hídrica (2017 *apud* MACEDO, VIEIRA e FURIGO, 2018).

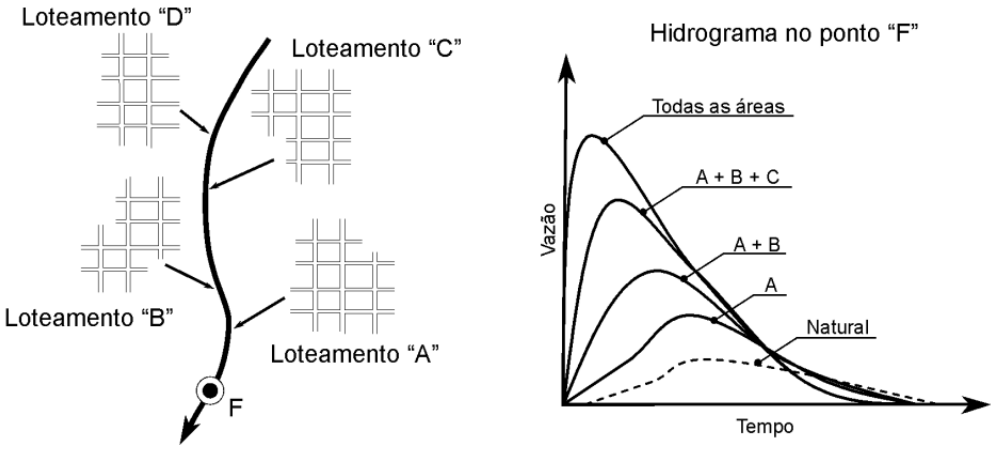
O aumento no escoamento resulta no aumento da vazão de escoamento que, segundo Sousa (2016), é um grande problema, uma vez que ocorre, muitas vezes, em locais originalmente não projetados para receber tais acréscimos. Situações de alagamentos e/ou inundações passam a ser mais decorrentes em áreas que não sofriam esse tipo de problema antes da urbanização, acarretando, inclusive, em prejuízos materiais e de vidas humanas.

Cardoso Neto (2010) ressaltou que já no início da implantação de uma cidade, o desmatamento consegue aumentar os picos e volumes, gerando a erosão do solo. Sabe–se, também, que se o desenvolvimento das áreas urbanas ocorrer de formar não organizada, pode existir uma série de problemáticas que intensificam ainda mais as situações iniciais, como o assoreamento em canais e galerias, diminuindo a capacidade de condução do fluxo de água. Nesse contexto, vale citar, que podem vir a existir problemas na rede de esgoto, interferindo nos parâmetros da qualidade de água e aumentando a possibilidade de ocorrência de inundações. Em conjunto com toda essa problemática, somam–se problemas operacionais na dinâmica da sociedade, como coletas de lixo ineficientes e comportamento indisciplinado da população, podendo entupir bueiros e galerias. Outro ponto importante a ser citado é

a ocupação irregular de várzeas, aumentando também os picos, produzindo maiores custos de utilidade pública e causando grandes prejuízos.

Com a consolidação do processo de urbanização dos municípios, impacta–se o hidrograma do exutório, no manancial superficial, Figura 2, sendo que o ponto de pico de cheia acontece mais rápido quanto maior for a quantidade de loteamentos adicionados, ou seja, quanto mais cidades construídas, em uma menor quantidade de tempo, sendo esse ponto formado pelo somatório das vazões dos demais loteamentos.

Figura 2 – Efeito cumulativo do hidrograma relacionado aos impactos do processo de urbanização.



Fonte: TUCCI (2013).

Tucci (2013) ressaltou que, a partir do início do processo de urbanização de uma cidade, têm–se o aumento das vazões máximas, chegando a movimentar–se cerca de 7 vezes mais, graças à ampliação da impermeabilização da superfície e à utilização de condutos e canais. Somado a isso, observa–se um acréscimo na produção de sedimentos, pela maior produção de resíduos sólidos e ocupação da superfície. Ainda nesse contexto, o autor analisa os impactos que aparecem a partir do momento que o processo de urbanização já está implantado, sendo esses: (1) construções obstruindo o escoamento, sendo essas pontes, taludes de estradas, entre outras coisas; (2) diminuição da seção do escoamento; (3) obstrução de rios e canais por lixos e sedimentos; (4) obras de drenagem inacabadas ou executadas de forma errônea. Nesse sentido, citou–se o quão tal problemática tem sido presente na atualidade, situação que além de não contida, tendo sido cada vez mais ampliada, sendo perceptível o tamanho das consequências referentes a falta de cuidado com sistema de drenagem em grandes centros urbanos.

Ainda no contexto relativo à influência do meio na ocorrência de eventos de inundação, têm–se na topografia da região como um dos principais fatores limitantes para o acontecimento desse tipo de evento. Silva Junior (2015) afirmou que para o estudo do escoamento superficial de alguma região, é fundamental o conhecimento da topografia da área em questão.

Sabe–se que as áreas de morros no Recife são conhecidas por serem extremamente problemáticas, uma vez que, segundo Santana (2019), um terço da cidade ocupa área de topografia mais elevada, sendo tais regiões ocupadas predominantemente por pessoas de baixa renda, as quais são possuem condições para construção de moradias em tais áreas. Além disso, é válido ressaltar que a situação de exclusão socio–ambiental no mercado imobiliário tem sido uma realidade na cidade, uma vez que sua expansão tem sido mais voltado para áreas mais favoráveis a construção de moradias, assim áreas que exigiam maior conhecimento técnico (morros e encostas) acabam não tendo o investimento necessário para oferecimento de condições de ocupação adequada, gerando como consequência a ocorrência de processos de escorregamentos.

Além disso, as cidades são conhecidas por apresentarem altos riscos de escorregamento e inundações, uma vez que além de serem localizados em áreas de características comuns a tais eventos, em sua maioria essas áreas são ocupadas por populações pobres, que são mais vulneráveis (SANTANA, 2019). Dessa forma, é válido concluir que bairros com índices socioeconômicos classificados como mais pobres, podem ser considerados mais vulneráveis.

Alheiros *et al*. (2004) afirmaram que processos de acidentes de morros podem ser advindos de três principais causas: (1) ação das águas sobre o relevo, uma vez que a partir do momento que ocorre algum corte em encosta, as águas que antes passavam sobre a encosta passam por um aumento na energia potencial e consequente velocidade devido a verticalização do perfil, além da falta de proteção oferecida pelo solo e pela vegetação; (2) erosão, podendo as água de escoamento superficial aumentar a ocorrência de tal acontecimento, dependendo da intensidade, duração da chuva e características do relevo, podendo assim remover grandes quantidades de sedimentos das planícies altas, levando–as para córregos e canais, assim gerando possíveis alagamentos e inundações; (3) movimentos de massa ,

como rastejos, rolamentos, deslizamentos, entre outros, impulsionados principalmente em períodos de altos índices pluviométricos.

No que diz respeito ao processo de urbanização do Recife, Mendes *et al*. (2019) ressaltou uma expansão urbana desenfreada, fato que gerou grandes consequências para o meio ambiente, sendo essas: adensamento urbano e modificações do ambientais, como mitigação de áreas verdes, crescimento de áreas urbanas e um aumento nas construções verticais. Ainda nesse contexto, é importante citar a falta de consideração no que diz respeito aos perfis urbanos, fato perceptível ao analisar–se a falta de organização e planejamento em leis, assim sendo notório que que o processo de urbanização da cidade do Recife não priorizou fatores sustentáveis, levando em consideração apenas o crescimento do econômico e territorial. Dessa forma, é de extrema importância o estudo referente à mitigação desses problemas, a fim de diminuir o escoamento superficial.

Além disso, Santana (2019) afirmou, em relação ao município de Recife, que a maior parte das áreas de morro são ocupadas por populações de baixa renda, sendo classificadas como áreas ZEIS (Zona Especial de Interesse Social) pelo zoneamento urbanístico municipal, ou seja, regiões de assentamento habitacionais para populações de baixa renda, “áreas de assentamentos habitacionais de população de baixa renda, surgidos espontaneamente, existentes, consolidados ou propostos pelo Poder Público, onde haja possibilidade de urbanização e regularização fundiária” (LEI Nº 16.176/96).

Vale ressaltar que tais parâmetros são de extrema importância, principalmente o que diz respeito a taxa de alfabetização, uma vez que que a partir disso pode–se implantar a educação ambiental, ponto importante para o estabelecimento de modo de vida mais sustentável. Além disso, estudou–se o valor do rendimento nominal médio mensal dos domicílios, assim analisando as RPA’s que concentram maior quantidade de pessoas com baixa renda, visto que o foco do trabalho é atender essa demanda.

2.3 SISTEMA DE DRENAGEM URBANA (SDU) – EVOLUÇÃO E CONCEITOS

Tassinari (2014) afirmou que a drenagem urbana é um conjunto de medidas que visam mitigar os riscos à população, diminuir os prejuízos causados pelas inundações e promover o desenvolvimento urbano de forma efetiva e sustentável.

Caldeira e Lima (2020) ressaltaram que o uso e a ocupação do solo, advindo do aumento dos processos de urbanização, têm como uma das principais causas o aumento na impermeabilização da bacia de drenagem, fator que somado ao aumento da população e ao uso indevido da capacidade de suporte do solo, gera degradação do meio ambiente. Nesse contexto, têm–se a necessidade de criação de uma rede de drenagem, que visa a prevenção de inundações, principalmente em áreas mais baixas, nas quais existem comunidades vulneráveis a alagamentos ou marginais aos cursos d'água.

Tucci (2002) afirmou que o crescimento no Brasil de 1960 até 1990 foi de 55% para 76% da população urbana, situação que tem se agravado ainda mais nos últimos anos. Dessa forma, esse aumento acontece principalmente na periferia das metrópoles, o que gera o risco de inundação, pois ocupam áreas de mananciais. Nesse contexto, têm–se a necessidade de aumento das infraestruturas e da capacidade do poder público de cobrar a aplicação da legislação nos grandes centros urbanos. É importante citar, segundo Caldeira e Lima (2020), que tal problemática não é exclusiva de áreas periféricas da cidade, porém tais localidades são as mais atingidas, uma vez que não dispõem de estruturas de micro e macrodrenagem urbana condizentes com as necessidades do ambiente.

Tradicionalmente o Sistema de Drenagem Urbana (SDU) subdivide–se em três partes: controle na fonte, microdrenagem e macrodrenagem. O controle na fonte corresponde ao conceito de controle estrutural alternativo ao convencional que, nos últimos anos, segundo Cruz, Souza e Tucci (2017), tem conquistado espaço no cenário da drenagem urbana brasileiro. Os autores destacam as práticas associadas à aplicação deste conceito e, dentre elas, as BMPs (*Best Management Practices*), que são técnicas com foco na não–transferência dos problemas para jusante pelo controle do escoamento na bacia, isto é, mais próximo de sua fonte e não no curso d'água. Microdrenagem, para Macedo, Vieira e Furigo (2018), constitui a parte do SDU composta por condutos, que são responsáveis por receber e conduzir as águas pluviais advindas de construções, ruas, praças, entre outras coisas. Os autores ressaltaram que tal sistema é composto por sarjetas, bocas de lobo, poços de visita, entre outros, sendo o sentido do escoamento pré-definido a partir dos traçados das ruas. Sobre a macrodrenagem, Becker (2016) descreveu como a parte do SDU

correspondente às galerias e aos canais que são alojados nos fundos dos vales, representando grandes troncos coletores. Macedo, Vieira e Furigo (2018) incluíram nesta parte do SDU componentes pré-existentes, ou seja, de antes do período de urbanização, formado principalmente por rios, córregos e talvegues, podendo esses sofrer modificações a partir de obras, como canalizações, barragens, entre outras. Sobre os impactos do gerenciamento da drenagem urbana, ressalta–se a diminuição da mortalidade infantil, nas doenças de veiculação hídrica, problemas devido à má gestão do resíduo sólido e do escoamento pluvial, e inundações. Além disso, questões como contaminação de aquífero, aumento dos sedimentos e materiais sólidos e parâmetros de qualidade da água pluvial estão diretamente ligados a problemas de gestão da drenagem em centros urbanos (TUCCI, 2002).

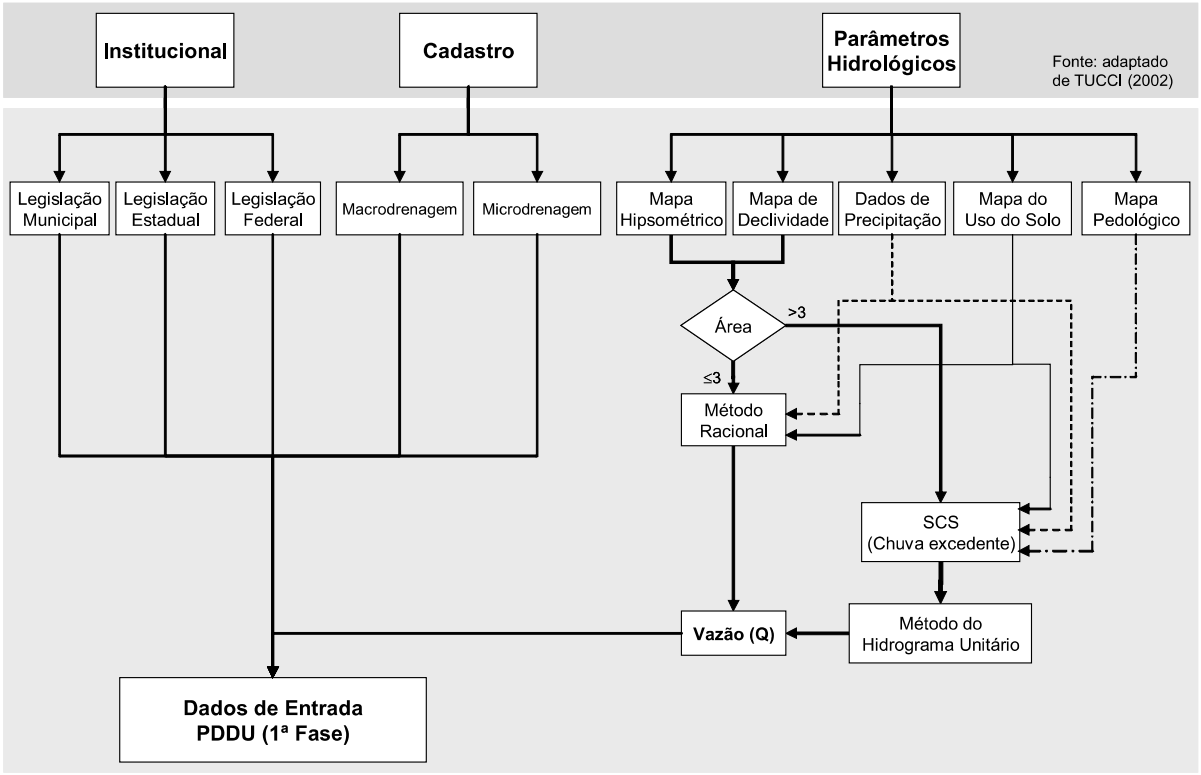
Tassinari (2014) destacou a evolução do conceito associado ao gerenciamento da drenagem urbana que inicialmente era empregado o método tradicional de drenagem de águas pluviais em áreas urbanas, em que se priorizada a captação e o afastamento da água de maneira mais rápida possível, com o escoamento a partir de redes de drenagem eficientes. O autor destaca que o conceito da rápida evacuação para jusante tem sido questionado, uma vez que a dinâmica dos corpos hídricos receptores, suas características quali–quantitativas, é alterada significativamente. Assim, torna–se necessário o estudo de técnicas de drenagem urbana que resultem em um menor impacto ambiental para o ambiente em que se insere.

De forma geral, para atenuar os problemas de inundações é necessário a realização de um planejamento do sistema de drenagem urbana, chamado de Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDU). De acordo com Parkinson *et al.* (2003), o PDDU é o conjunto de diretrizes que determinam a gestão do sistema de drenagem minimizando o impacto ambiental devido ao escoamento das águas pluviais. Tucci (2002) propôs um PDDU composto por cinco etapas: conjunto de informações, fundamentos, desenvolvimento, produto e programas. A primeira fase do PDDU proposta pelo autor divide–se em três fases, são elas: Institucional, Cadastro e Parâmetros Hidrológicos.

2.4 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA

A partir da proposta de Tucci (2002) para o PDDU, Becker (2016) elaborou o procedimento metodológico ilustrado no fluxograma da Figura 3, onde estas fases foram desdobradas em etapas. Na fase do cadastro são levantadas as redes de macrodrenagem e de microdrenagem.

Figura 3 – Fluxograma de procedimento metodológico.



Fonte: Becker (2016).

Para determinação da vazão de dimensionamento da rede de drenagem urbana, conforme apresentado na Figura 3, leva–se em consideração a dimensão da área de contribuição. De acordo com Schlickmann e Back (2020), existem diversos métodos disponíveis para estimativa de vazão de projeto, fundamentados em uma série de parâmetros que visam representar a vazão de projeto de uma área de drenagem. Nesse contexto, o Método Racional se destaca pela facilidade de uso, uma vez que relaciona a vazão com o coeficiente de escoamento, intensidade de precipitação e área de contribuição. Os autores destacam, entretanto, que, para grandes áreas, o Método Racional tende a superestimar a vazão máxima. Segundo Santos (2010), em pequenas bacias, com chuvas de curta duração, pode–se adotar o Método Racional,

e em bacias maiores, com chuvas mais demoradas, ou em casos em que se deseja, além da vazão máxima, o volume das cheias, é necessário utilizar modelos baseados no hidrograma unitário.

De acordo com Santos (2010), no PDDU de Porto Alegre, estabelece–se o uso do Método Racional em áreas menores ou iguais 2 km² e o Método Unitário (com uso da chuva excedente pelo Método SCS) para áreas maiores que 2 km². Outros autores (TUCCI, 2004; PINTO *et al.*, 1973 *apud* SANTOS, 2010) consideram que o uso do Método Racional é plausível para áreas de 2 a 5 km² e tempo de concentração menor que 1 hora. De acordo com Porto *et al.* (2004), o Método Racional é o mais utilizado para a determinação de vazões de pico em pequenas bacias, com área de até 2 km² e com baixa complexidade. Para Collischon e Dornelles (2015), esse método é ideal para bacias com área entre 1 e 3 km².

No âmbito do dimensionamento do sistema de drenagem urbana, para o cálculo da vazão máxima, utiliza–se a Equação 1 e adota–se um coeficiente único de deflúvio C, estimado com base nas características fisiográficas da bacia, de acordo com as Tabela 1 e Tabela 2.

$$Q_{máx} = 0{,}278\ C\ i\ A \qquad (1)$$

Onde: $Q_{máx}$ é a vazão máxima escoada da área de contribuição (m^3/s); C é o coeficiente de perdas ou de escoamento superficial, que pode ser obtido através das Tabela 1 e Tabela 2; i é a intensidade de chuva (mm/h) referente ao tempo de concentração (t_c); A é a área da bacia (km^2).

Tabela 1 – Coeficiente de Deflúvio (c) de acordo com a natureza da superfície.

Superfície	**Intervalo**	**Valor Esperado**
Asfalto	0,70 a 0,95	0,83
Concreto	0,80 a 0,95	0,88
Calçadas	0,75 a 0,85	0,80
Telhado	0,75 a 0,95	0,85
Áreas Rurais	0,0 a 0,30	–

Fonte: Adaptado de Collischon e Dornelles (2015).

Tabela 2 – Coeficiente de Deflúvio (c) de acordo com o tipo de ocupação da área.

Zonas	**C**
Centro da Cidade	0,70 a 0,95
Partes adjacentes ao centro com menor densidade	0,60 a 0,70
Áreas Residenciais com poucas superfícies livres	0,50 a 0,60

Áreas Residenciais com muitas superfícies livres	0,25 a 0,50
Subúrbios com alguma edificação	0,10 a 0,25
Matas, parques e campos de esportes	0,05 a 0,20

Fonte: Adaptado de Collischon e Dornelles (2015).

Segundo Silva Junior *et al*. (2020), no dimensionamento de um sistema de drenagem, utiliza–se como fator chave a chuva de projeto que advém da equação IDF (intensidade, duração e frequência) da área, associada a um período de retorno pré-definido. Nesse contexto, Maia *et al*. (2020) afirmaram que a curva obtida da equação IDF é utilizada na medição da quantidade de água de um ponto da bacia hidrográfica, relacionando intensidade (mm/h), duração (min) e seu tempo de retorno (anos).

Garotti e Barbassa (2010) afirmaram que para a utilização desse método são consideradas hipóteses principais: chuva uniformemente distribuída no tempo e no espaço; período de retorno da precipitação igual ao da vazão de pico; coeficiente C constante durante a chuva e, de chuva para chuva, e é estimado principalmente de acordo com as características da bacia; e duração da precipitação intensa de projeto igual ao tempo de concentração. Além disso, os autores citaram, que a impermeabilização do solo é um parâmetro urbanístico importante para a estimação do impacto da urbanização sobre o sistema de drenagem de águas pluviais.

Assim que se inicia a precipitação, uma vez escoada para fora do lote, a água de chuva segue pela sarjeta para ser conduzida no âmbito da microdrenagem. Segundo Guo (2000), a capacidade de escoamento das vias, que ocorre principalmente pelas sarjetas, é dependente das características hidrogeométricas destas e limitadas pelas características de tráfego local. De acordo com o autor, o princípio de cálculo emprega a Equação de Izzard, que é uma modificação da equação de Manning. A equação simplificada de Izzard está apresentada na Equação 2. Segundo Moraes (2015), tal equação é estabelecida a partir do coeficiente de simplificação encontrado em função da largura da via (K), em m³/s (Tabela 3) e da declividade da via (i), em m/m.

$$Q_{EscSup} = K \times \sqrt{i} \qquad (2)$$

Onde: Q_{EscSup} é a vazão do escoamento superficial pela sarjeta (m^3/s); K é o coeficiente de simplificação (adimensional); i é a declividade da via (m/m).

Tabela 3 – Coeficiente de Simplificação em função da largura da Via.

Largura da via (m)	K (m³/s)
3	0,539
4	0,718
5	0,898
6	1,077
7	1,257
8	1,436
9	1,616
10	1,795

Fonte: Moraes (2015).

De forma geral, quando a vazão máxima escoada da área de contribuição é maior que a capacidade de escoamento sobre a sarjeta ($Q_{máx} > Q_{EscSup}$), ocorre um ponto de alagamento e se faz necessário a implantação (ou revisão) do SDU e a colocação de uma boca de lobo, Moraes (2015).

2.5 ARMAZENAMENTO DA ÁGUA DE CHUVA

Sabe–se que a captação e o armazenamento de água não têm apenas benefícios ambientais, mas também econômicos, evitando desperdício de águas retiradas em mananciais naturais, contribuindo para a diminuição da conta de água, auxiliando na diminuição da ocorrência de eventos de alagamentos e inundações nas cidades, uma vez que diminui o escoamento superficial. Vale citar que a captação direta de águas pluviais pode reduzir a demanda dos sistemas públicos de abastecimento, no entanto torna–se necessário mais estudos sobre a viabilidade e a eficiência do atendimento aos usos pretendidos, riscos sanitários, dimensionamento do sistema de captação, coleta e armazenamento, entre outras coisas (MAIA *et al*., 2020)

Segundo levantamentos bibliográficos realizados por Gomes *et al*. (2014), no que diz respeito a experiências internacionais, ressalta–se que em uma região da Austrália com 450.000 pessoas poderia ser retardado por cerca de 34 anos a construção de grandes infraestruturas hidráulicas, caso houvesse a captação de águas pluviais, o que teria um grande impacto econômico e operacional. Ainda nesse contexto, cita–se que tais projetos, em áreas urbanas, são orientados em aspectos gerais pelo uso racional da água em cidades, com o objetivo de evitar a utilização em

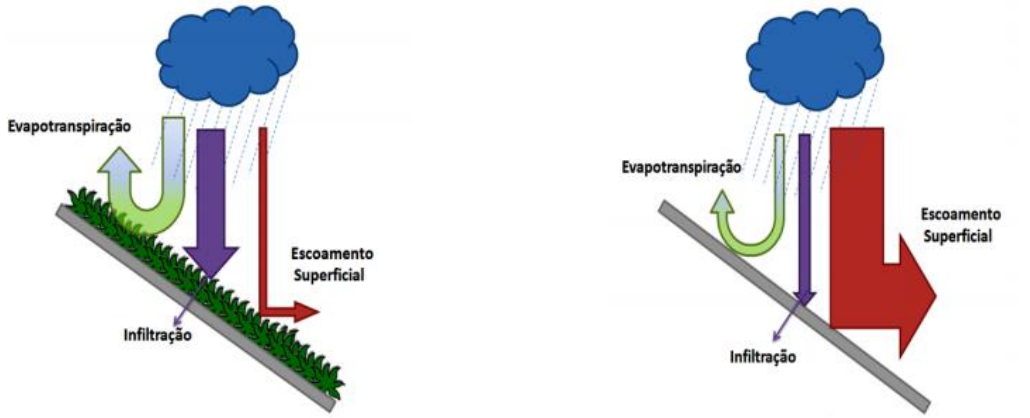
fins mais simples, como irrigação, descargas, limpeza doméstica e controle de enchentes.

Sobre o aproveitamento da água de chuva, Santos e Farias (2017) analisaram a relação com o abastecimento de água dos 1113 municípios localizados na região semiárida do Brasil, distribuídos em nove Estados, incluindo Pernambuco e observaram que o sistema de distribuição pública de água cobre apenas 60% da população, distribuindo água nove ou cinco dias por mês para os moradores das áreas urbanas e rurais, respectivamente. Nesse cenário, como opção, têm–se o emprego de telhados verdes, que consistem na aplicação de uma camada vegetal sobre a cobertura de edificações, tendo como principais benefícios a minimização do escoamento superficial, a absorção do gás carbônico/emissão o gás oxigênio e a retenção da água da chuva para posterior uso. De acordo com USEPA (2008), dentre as várias localidades em que se emprega o telhado verde, destaca–se a cidade de Toronto (Canadá), em que se observa a aplicação de cerca de 12 mil hectares dessa tecnologia, em um estudo realizado ao longo de 11 anos. Neste, foram apontados 5 principais benefícios: (1) escoamento de águas pluviais de eventos extremos separado do sistema de esgoto, (2) escoamento de águas pluviais no sistema de esgoto combinado, (3) melhoria da qualidade do ar, (4) diminuição dos efeitos das ilhas de calor urbano, e (5) redução do consumo de energia. Além disso, um ponto importante a ser citado como vantajoso em relação à essa tecnologia, é a possibilidade do reuso da água coletada, após análise dos parâmetros de qualidade, visto que telhados verdes normalmente comprometem a qualidade da água drenada dos mesmos. Outras características evidenciam a necessidade de estudos aprofundados sobre a tecnologia, como o alto custo inicial de implantação, possibilidade de apresentar problemas de vazamento e infiltrações, necessidade de manutenção para que não ocorram tais problemas, e necessidade de irrigação periódica dependendo do tipo de vegetação utilizado.

Em relação aos impactos da implantação de telhados verdes em áreas urbanas, a fim de captação e posterior armazenamento de água, têm–se a diminuição do escoamento superficial, como pode–se observar nas figuras abaixo advindas de Mediondo e Cunha (2004), na comparação entre o uso de telhado verdes (Figura 4a) e de um telhado convencional (Figura 4b), uma vez que com o uso de vegetação têm–se o aumento da infiltração e a ocasional diminuição do escoamento superficial,

diferentemente do uso de telhados convencionais, no qual a maioria da água precipitada vai diretamente para o escoamento superficial.

Figura 4 – Comparativo do funcionamento de diferentes telhados.
a) Telhado verde. b) Telhado convencional.



Fonte: Mediondo e Cunha (2004).

Comparando os custos entre sistemas de cobertura tradicionais e os que usam vegetação, vale citar Savi (2012), que investigou sete tipos de coberturas: três com sistemas convencionais de cobertura, e quatro com telhados verdes. O autor concluiu que é possível ter–se um sistema de telhado verde com custo inferior ao de telhados convencionais, uma vez que, após a análise dos resultados observou–se que o telhado verde com estrutura de madeira, chapa compensada e cobertura vegetada moldada *in loco* apresentou o menor custo entre todos os sistemas analisados, obtendo custo de 37% menor que o sistema de laje de concreto armado coberto com telha cerâmica, bem como peso três vezes menor.

Segundo Mota e Martins (2019), legislações específicas sobre coleta de água da chuva têm sido empregadas em diversas cidades do Brasil, como por exemplo São Paulo, Rio de Janeiro, Curitiba e Porto Alegre, a fim de diminuir os eventos de cheias em tais regiões. Citou–se, também, o estabelecimento de regras específicas para estabelecimentos novos, a fim não só de diminuir o pico das cheias, mas para armazenamento e utilização dessa água captada.

Sobre Recife–PE, área de estudo em questão, sabe–se que um dos motivadores desse trabalho, como já citado, é a existência da Lei Municipal Nº. 18.112 (RECIFE, 2015), que tornou obrigatório, em Recife, o uso de telhados verdes em projetos de edificações habitacionais multifamiliares com mais de quatro pavimentos

e não–habitacionais com mais de 400 m² de área de coberta, para sua aprovação. Além disso, a Lei determina que, em lotes com área superior a 500 m², edificados ou não, que tenham área impermeabilizada superior a 25% da área total do lote deverão ser executados reservatórios de águas pluviais como condição para aprovação de projetos iniciais. Dessa forma, têm–se a oportunidade de captação e armazenamento da água de chuva através do uso de tal tecnologia.

Avaliando a irregularidade na distribuição do regime de chuvas em Recife, além da existência de lei de obrigatoriedade, torna–se necessário estudos sobre a captação e o armazenamento de água pluvial para mitigação das problemáticas citados no decorrer do trabalho.

2.6 IMAGENS DE SATÉLITE COMO FERRAMENTA PARA DRENAGEM URBANA

A escassez de água tem sido uma realidade nos últimos anos, o que vem sendo ainda mais agravante com o aumento demográfico da população atual, principalmente em centros urbanos. Segundo Oliveira (2007), esse forte crescimento acarreta um aumento na demanda de água e de serviços de infraestruturas relacionados. Dessa forma, tem–se o Sensoriamento Remoto (SR), como uma ferramenta eficaz na análise de corpos hídricos, trabalhando como uma excelente forma de monitoramento, estudo e obtenção de informações necessárias às pesquisas. Sabe–se que tal artifício está, cada vez mais, presente em estudos de drenagem urbana, sendo possível, com seu uso, identificar áreas nas quais os níveis acumulados de água são maiores, onde há variação de níveis da superfície da Terra, e a quantidade de áreas de construção em determinado espaço, por exemplo. Além disso, esta técnica consiste, dentre diversas utilizações, na detecção de variações na cobertura do solo e na presença de corpo hídrico, através de parâmetros biofísicos proporcionando diagnósticos e gerenciamento socioambiental (BACALHAU, RIBEIRO NETO e OLIVEIRA, 2017).

Sobre imagens obtidas por meio de satélites, Becker (2016) caracterizou cada elemento unitário de informação como “pixel”, sendo importante citar como vantagens da utilização de tal artifício a resolução espectral (bandas), resolução espacial (escala da imagem) e resolução temporal (variabilidade temporal entre as passagens do sensor sobre uma mesma área).

No que diz respeito à utilização do SR como ferramenta de auxílio para o sistema de drenagem urbana, Vaeza *et al*. (2010) afirmaram que a partir da utilização do SR, é possível, através de análise de imagens, a obtenção de classes de uso e ocupação do solo, sendo assim possível a identificação dos mais diversos elementos da área urbana, na qual a alta resolução das imagens passa a ser de extrema importância para um estudo mais detalhado. Para aplicação do SR, tem–se o *software* gratuito QGIS, no qual pode–se, entre outras coisas, realizar o processamento de imagens por índices espectrais referentes. No que se refere à obtenção de imagens de satélites, destaca–se o satélite estadunidense Landsat8, que apresenta dois principais sensores: OLI (Sensor espectral), que tem como bandas espectrais B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8 e B9 e o TIRS (sensor termal), com bandas espectrais B10 e B11. Kalaf *et al*. (2013) analisaram a eficácia do sensor Landsat8 em relação a uma determinada área de estudo, afirmando a exatidão do posicionamento com bases em grande escala, condições de relevo e alta conectividade entre cenas, além da agilidade e simplicidade no uso desses dados.

Um outro conceito importante no SR é a reflectância, que pode ser entendida como a razão entre a parcela de energia solar que deixa a área no terreno (refletida) pela quantidade de energia incidente naquela área, no mesmo momento. Segundo Demattê *et al*. (2003), a reflectância espectral dos solos tem participação ativa na interpretação dos resultados da análise de dados de SR, como índices de vegetação e modelos de mistura. Ainda nesse contexto, Bezerra (2019) citou que no momento que a energia eletromagnética entra em contado com algum objeto da superfície terrestre pode ser refletida, absorvida e/ou transmitida. Sabe–se que a capacidade de refletir está diretamente ligada com a reflectância do corpo.

Para o cálculo da chamada reflectância, deve–se levar em consideração dois principais parâmetros referentes ao dia na qual a imagem foi captada: o Ângulo de Elevação do Sol (E) e o Distância Astronômica Terra–Sol (dr) de cada imagem, encontrado no metadados. Daí, aplicam–se operações matemáticas desenvolvidas na calculadora *Raster* quanto como auxílio da Equação 3, como citado em França *et al*. (2012).

$$\rho\lambda = \frac{M\rho * Qcal + A\rho}{CosZ * \left(\frac{1}{dr}\right)^2} \qquad (3)$$

Em que: ρλ corresponde a reflectância planetária no topo da atmosfera corrigida para cada banda (Wm–2 sr–1 μm–1); Mρ ao fator de escala multiplicativo da reflectância para cada banda (REFLECTANCE_MULT_BAND); Aρ é classificado como o fator de escala aditivo da reflectância para cada banda (REFLECTANCE_ADD_BAND); Qcal é valor do pixel da imagem de satélite, ou seja, números digitais (ND). Z corresponde ao ângulo zenital solar com argumento do cosseno em radianos, no qual Z é igual ao 90 subtraído do ângulo de elevação do Sol e dr é a distância astronômica Terra–Sol.

Calculada a reflectância, utilizam–se as bandas modificadas na Calculadora *Raster*, aplicando a Equação 4, assim encontrando a imagem processada em relação ao NDBI para cada ano, na qual. ρ_{IVm} e ρ_{IVp} , correspondem às bandas 6 e 5, respectivamente.

$$NDBI = \frac{\rho_{IVm} - \rho_{IVp}}{\rho_{IVm} + \rho_{IVp}} \quad (4)$$

2.7 MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO (MDE)

Moraes *et al*. (2014) citaram que a partir da análise de dados topográficos, sendo os principais elementos a drenagem, curvas e nível e pontos cotados, são utilizados mecanismos do geoprocessamento na qual a interpolação dos valores altimétricos conseguem formar uma superfície contínua, responsável por estabelecer o MDE. Sabe–se que tal modelo é representado a partir de uma matriz, em formato *Raster,* na qual para cada pixel é estabelecido um valor de elevação.

Assim, após o processamento da imagem, encontram–se as curvas de nível da área de estudo, sendo assim possível analisar o quão íngreme é o terreno. Além disso, têm–se o processamento da imagem afim de delimitar o Sombreamento, identificando as áreas de encostas e morro, consideradas áreas de maior vulnerabilidade no que diz respeito aos eventos críticos de cheia, assim atingindo a população residente de forma abrupta.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesse capítulo é abordada a descrição clara da forma em que o trabalho foi executado, sendo apresentado as ferramentas utilizadas para a elaboração.

Inicialmente, têm–se o detalhamento da metodologia de identificação de áreas vulneráveis em Recife–PE, a partir das regiões com maior quantidade de área construída, áreas com morros, parâmetros socioeconômicos e dados pluviométricos. Em seguida, descreve–se a estrutura aplicada no cálculo do volume de escoamento gerado, potencial de reservação tanto das caixas d'água quanto dos telhados verdes e verificação da ocorrência ou não dos alagamentos, a partir de metodologia a ser apresentada. Por fim, apresenta–se a estimativa do impacto do armazenamento da água de chuva no escoamento superficial, podendo diminuir ou cessar a ocorrência de cheias no Bairro de Dois Unidos.

3.1 IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS VULNERÁVEIS EM RECIFE–PE

Recife tem área territorial de 218.843 km² e população estimada em cerca de 1.653.461 habitantes, IBGE (2020), e conta com um PIB *per capita* igual a R$ 31.994,38, sendo as receitas realizadas de, aproximadamente, R$ 4.863.813.573,00 e despesas empenhadas com valor de R$ 4.359.406.348,04. Além disso, a densidade demográfica de tal município é igual a 7.039,64 hab./km². Para identificação das áreas vulneráveis, realizou–se um estudo sobre toda área de extensão do município de Recife–PE, sendo considerados os parâmetros de avaliação apresentados na Tabela 4, e a divisão da cidade em Regiões Político Administrativas, que englobam bairros com características comuns, Figura 5, que estão explicitados na Tabela 5, para que assim, fosse estabelecido o bairro de maior vulnerabilidade em relação à impermeabilização da superfície, área de risco de desmoronamento, parâmetros socioeconômicos e níveis pluviométricos, a ser utilizado como área de estudo no trabalho em questão.

Tabela 4 – Parâmetros de avaliação para Áreas de Vulnerabilidade (Recife–PE).

Parâmetro Avaliado	**Forma de avaliação**
Quantidade de áreas construídas	NDBI (Processamento de Imagens pelo *software* QGIS)
Ocorrência de morros íngremes	Sombreamento e Curvas de Nível – MDE (Processamento de Imagens pelo *software* QGIS)
Parâmetros Socioeconômicos	Banco de dados da Prefeitura do Recife
Níveis Pluviométricos	Banco de dados do CEMADEN

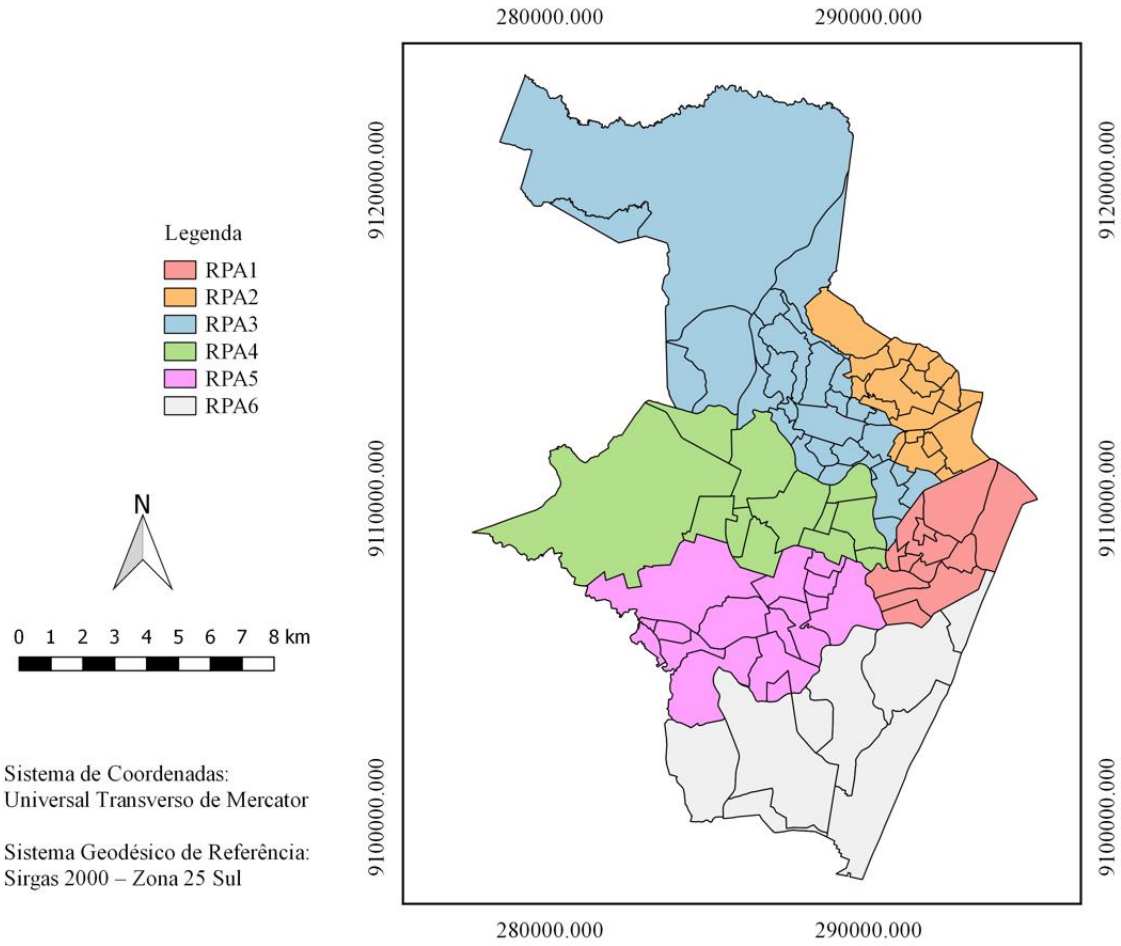
Fonte: A autora (2021).

Tabela 5 – Listagem dos bairros por unidade de Região Político–Administrativa do Recife.

RPA	**Bairros inseridos**
1	Soledade, Ilha do Leite, Santo Amaro, Boa Vista, Cabanga, Paissandu, Ilha Joana Bezerra, Santo Antônio, Recife, São José e Coelhos.
2	Fundão, Rosarinho, Campina do Barreto, Porto da Madeira, Cajueiro, Beberibe, Bomba do Hemetério, Dois Unidos, Linha do Tiro, Torreão, Peixinhos, Arruda, Ponto de Parada, Encruzilhada, Alto Santa Terezinha, Campo Grande, Água Fria e Hipódromo.
3	Passarinho, Dois Irmãos, Jaqueira, Santana, Sítio dos Pintos, Pau Ferro, Derby, Mangabeira, Tamarineira, Poco, Casa Forte, Parnamirim, Brejo Da Guabiraba, Alto José Bonifácio, Alto do Mandu, Morro da Conceição, Casa Amarela, Espinheiro, Aflitos, Vasco da Gama, Alto José do Pinho, Macaxeira, Brejo do Beberibe, Nova Descoberta, Monteiro, Graças, Apipucos, Guabiraba e Córrego do Jenipapo.
4	Cidade Universitária, Engenho do Meio, Várzea, Torrões, Iputinga, Zumbi, Cordeiro, Caxangá, Prado, Ilha do Retiro, Torre e Madalena.
5	Cacote, Curado, San Martin, Jardim São Paulo, Areais, Sancho, Barro, Estância, Tejipió, Coqueiral, Toto, Mangueira, Bongi, Mustardinha, Jiquia e Afogados.
6	Cohab, Ipsep, Jordão, Pina, Ibura, Brasília Teimosa, Boa Viagem e Imbiribeira.

Fonte: A autora (2021).

Figura 5 – Mapa com divisão das unidades de Região Político–Administrativas (RPA) do Recife.



RPA = Região Político–Administrativa.
Fonte: A autora (2021).

3.1.1 Regiões com maior quantidade de áreas construídas

No que diz respeito ao município do Recife, o acerto de imagens de satélites referentes à área tem como característica principal a presença de nuvens, fator que pode interferir nos resultados. Nesse contexto, foi inicialmente realizada uma pesquisa com os satélites Landsat8 e Sentinel–2 visando escolher qual desses abrange um ramo de imagens com menor ocorrência de nuvem. Além disso, foram investigadas as datas com imagens disponíveis, em que os melhores resultados foram as imagens advindas do satélite Landsat8, para os dias 28 de julho de 2013 e 17 de outubro de 2019.

Sobre o satélite estadunidense Landsat8, ressalta–se que esse apresenta dois principais sensores: OLI (Sensor espectral), que tem como bandas espectrais B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8 e B9 e o TIRS (sensor termal), com bandas espectrais B10 e

B11. Ressalta–se, também, que todo trabalho foi reprojetado para o sistema de referência SIRGAS 2000/UTM ZONE 25S, com código de EPSG 31985. Avaliou–se o banco de imagens da plataforma de dados *Remote Pixel* (2021), disponível *online.* Utilizou–se a órbita 214 no ponto 065, quadrícula que abrange a extensão do município de Recife–PE.

Sobre o Ângulo de Elevação do Sol (E) e o distância astronômica terra–sol (dr) de cada imagem, pela plataforma de dados *Remote Pixel* (2021), ao se avaliar os dias aferidos no estudo em questão, têm–se as informações descritas na Tabela 6.

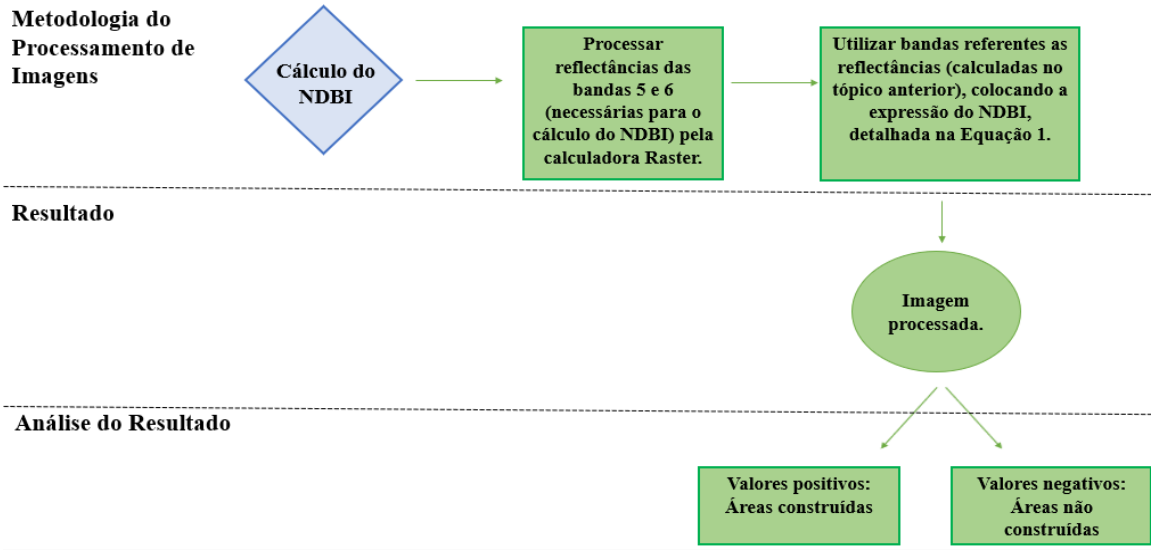
Tabela 6 – Ângulos de elevação do sol e distância astronômica terra–sol de cada data.

Data	Ângulo de elevação do sol (E)	Distância astronômica: terra–sol (dr)
28/07/2013	51.27250323	1.0153656
17/10/2019	65.97150182	0.9966498

Fonte: A autora (2021).

Em seguida, processou–se para os dois anos (2013 e 2019), o Índice de Construção por Diferença Normalizada (NDBI), responsável por identificar áreas urbanas e construídas, baseando–se no incremento da resposta espectral das áreas construídas entre as bandas construídas do infravermelho próximo e médio. Na Figura 6, detalha–se o fluxograma geral da metodologia adotada no processamento de tal índice (FRANÇA *et al.*, 2012).

Figura 6 – Fluxograma da metodologia adotada no processamento da imagem para o índice NDBI.



Fonte: A autora (2021).

As reflectâncias das bandas 5 e 6 foram calculadas, e em seguida realizou–se a comparação entre as datas citadas, para estudar as áreas que sofreram maior processo de urbanização a partir de construções no período entre essas. Segundo Silva, Costa Júnior e Lima (2014), dessa comparação é gerada uma imagem na qual são contidos apenas *pixels* de áreas construídas apresentam valores positivos, sendo os demais valores negativos. Além disso, os autores destacaram que esta técnica apresenta uma precisão de 92%.

3.1.2 Áreas com morros

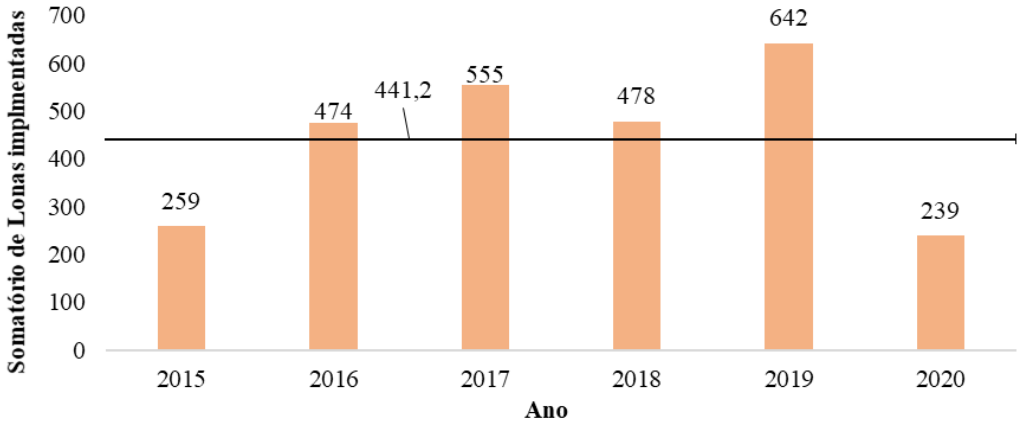
Para geomorfologia de um relevo são estabelecidos seis principais atributos: declividade, altura, perfil, comprimento, morfologia (curvatura) e drenagem da encosta. Sabe–se que a energia que movimenta a água sobre a encosta está diretamente ligada com os possíveis deslizamentos e processos erosivos que estão por vir, assim sabendo que quanto maior for a altura, declividade e o comprimento de uma encosta, maior será tal energia (PFALTZGRAFF, 2007).

Segundo Assis (2001), a ocupação desordenada das encostas é o principal motivo para o grande número de desabamentos e desmoronamentos que ocorrem na época das chuvas em morros da cidade do Recife. O autor destaca que a ocupação destas áreas foi adensada na década de 80 e concentra a parte da população mais carente. De acordo com Gusmão Filho (1993 *apud* ASSIS, 2001), nessas áreas existem muitas invasões e, no equivalente a 30% da cidade, na época, já havia uma concentração maior que 400.000 pessoas. Ainda sobre Recife, é válido ressaltar que as características geomorfológicas do município são naturalmente de alto risco para a população, sendo tais riscos ainda mais agravados devido à urbanização sem planejamento. Segundo Cavalcanti (2012), a configuração do relevo do Recife é marcado por quatro principais grupos: ambiente dos morros; ambiente das planícies; ambientes litorâneos; e ambientes aquáticos.

Considerando que essas áreas constituem de risco, foram utilizados os dados disponibilizados pela plataforma Dados Recife, referente ao Monitoramento de Áreas de Risco pela Secretaria Executiva de Defesa Civil de Pernambuco, para elaboração do gráfico da Figura 7, referente ao somatório de lonas implantadas em áreas de risco em Recife–PE visando evitar possíveis acidentes. A Secretaria da Defesa Civil de

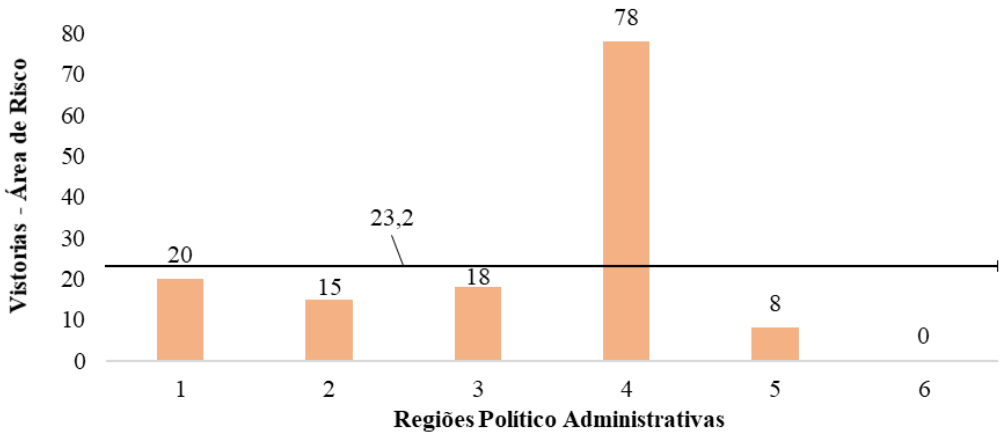
Pernambuco é responsável pelo monitoramento permanente das áreas de risco em morros e na planície, sujeitos a alagamentos, deslizamentos e enxurradas. É notório que o ano de 2019 foi um ano preocupante, tendo o maior somatório no período de 2015–2020, assim afirmando a importância da data escolhida para este estudo. Sobre isso, estão apresentados na Figura 7 até Figura 10, as quantidades de colocações de lona, vistorias, chamados e solicitações de cada região político administrativa no ano de 2019, sendo esses registros produzidos a partir do chamado de cidadãos. Sobre a quantidade de vistorias na área do Recife (Figura 8), é perceptível que a RPA 4 foi a que mais recebeu vistorias no ano de 2019, sendo a única com valores acima da média (23,2) das demais RPA's, e na RPA 6 não foram realizadas vistorias. No que se refere ao somatório de chamados, Figura 9, em três regiões político administrativas (RPA 1, RPA 2 e RPA 3) os valores foram acima da média, com destaque para a última citada com a maior quantidade de chamados da área. Considerando que em um chamado pode ser registrado mais de uma solicitação pela população, ou seja, em um mesmo chamado da prefeitura podem vir a ser solicitadas mais de uma medida, sabe–se que as principais áreas de risco do município podem estar associadas à maior quantidade de solicitações. Na Figura 10, observa–se que a maior quantidade de solicitações ocorreu na RPA 3, destacando essa região político administrativa na investigação do risco.

Figura 7 – Número de lonas instaladas em áreas de risco por ano, no Recife.



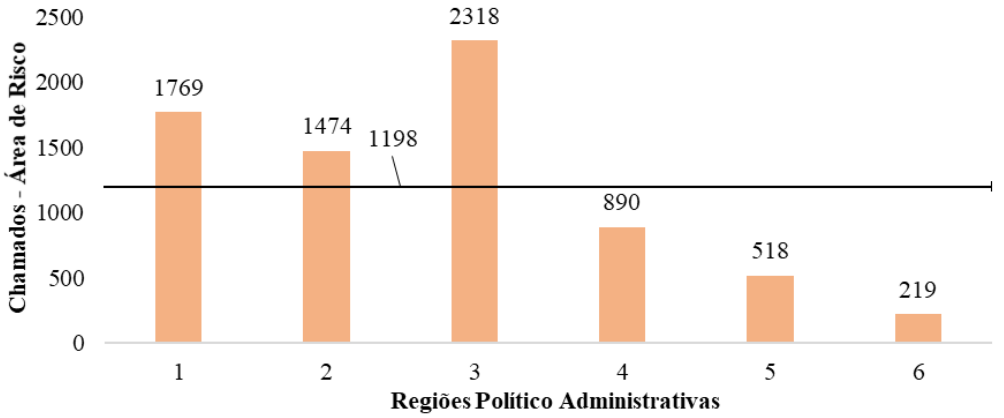
Fonte: Dados Recife (2021).

Figura 8 – Número de vistorias em áreas de risco por RPA, em 2019.



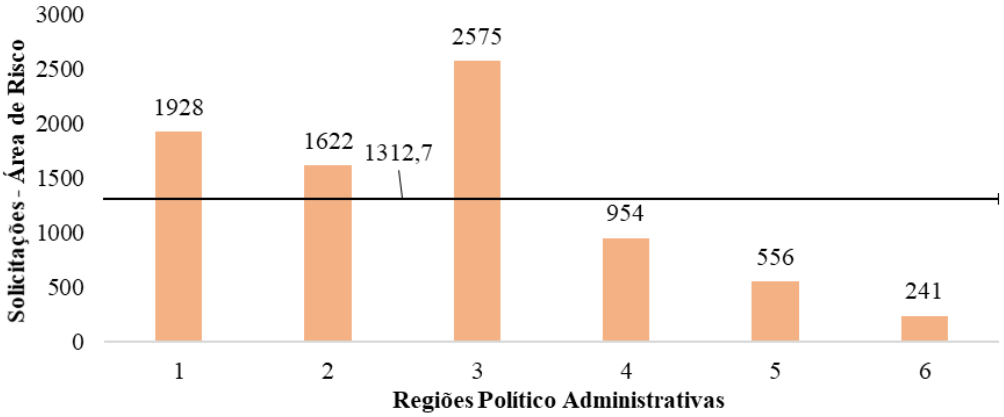
Fonte: Dados Recife (2021).

Figura 9 – Número de chamados pela população em áreas de risco por RPA, em 2019.



Fonte: Dados Recife (2021).

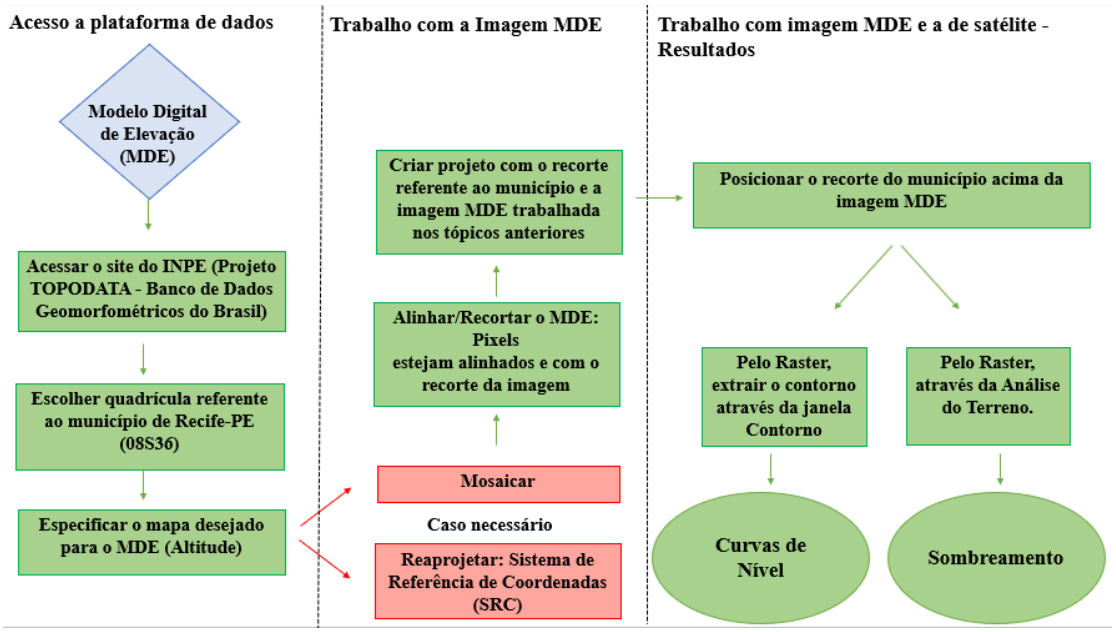
Figura 10 – Número de solicitações em áreas de risco por RPA, no Recife, em 2019.



Fonte: Dados Recife (2021).

O processamento do Modelo Digital de Elevação (MDE) foi realizado visando a análise dos terrenos nos bairros localizados na cidade do Recife, avaliando cada RPA citada, caracterizando, dessa forma, as áreas com a maior quantidade de morros. Na Figura 11, apresenta–se a metodologia para a obtenção de tais resultados.

Figura 11– Fluxograma da metodologia adotada no processamento da imagem – curvas de nível e sombreamento.

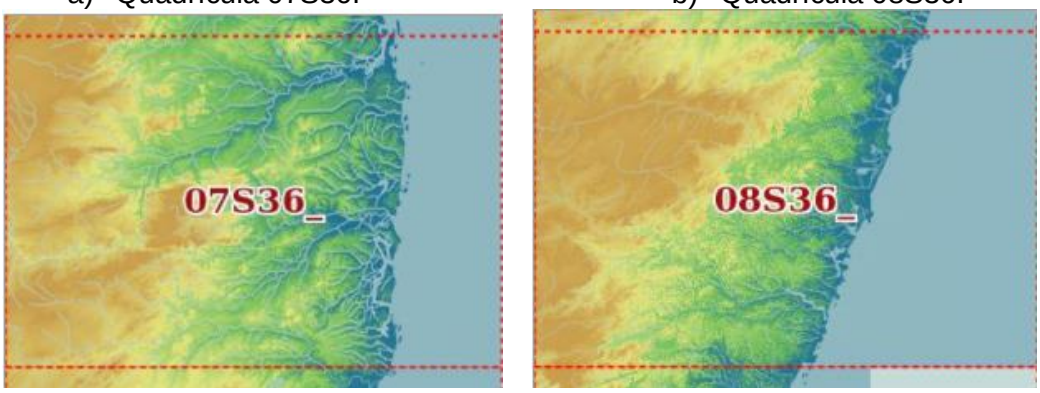


Fonte: A autora (2021).

Utilizou–se um dado *Raster*, que possibilita a obtenção do relevo terrestre, obtido da plataforma de dados, disponibilizada *online* no Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil, através do projeto TOPODATA (INPE, 2020). Para isso, utilizou–se as quadrículas 07S36 e 08S36, que abrangem a extensão do município do Recife, no âmbito do parâmetro de altitude, como detalhado na Figura 12a e Figura 12b.

Figura 12 – Quadrículas utilizadas para a obtenção do Modelo Digital de Elevação.

a) Quadrícula 07S36. b) Quadrícula 08S36.



Fonte: INPE (2021).

O MDE foi estabelecido a partir da superfície contínua formada pela interpolação dos valores altimétricos e, em seguida, foram encontradas as curvas de nível da área de estudo para analisar a declividade do terreno, que influencia na velocidade do escoamento das águas de chuva. Do processamento da imagem foi delimitado o sombreamento referente à visão tridimensional da água (áreas de encostas e morro), consideradas áreas de maior vulnerabilidade no que diz respeito aos eventos críticos de cheia, assim atingindo a população residente de forma abrupta.

3.1.3 Parâmetros socioeconômicos

Apresenta–se na Tabela 7 os dados referentes à porcentagem de bairros que não tem áreas de ZEIS (Zona Especial de Interesse Social) em cada RPA.

Tabela 7 – Porcentagem de bairros inseridos na RPA's que não tem ZEIS em sua área.

RPA	Quantidade de bairros	Bairro sem ZEIS	
		Quantidade	%
1	11	7	63,64%
2	18	6	33,33%
3	29	10	34,48%
4	12	2	16,67%
5	16	0	0,00%
6	8	1	12,50%

Legenda: RPA = Região Político Administrativa.

Fonte: Adaptado de Dados Recife (2021).

A partir de dados obtidos através da plataforma Dados Recife (2021), foram estudados e analisados dados referentes a área territorial, população residente, taxa de alfabetização de 10 anos e mais, densidade demográfica, total de domicílios particulares permanentes, média de moradores por domicílio e valor do rendimento nominal médio mensal dos domicílios de cada bairro inserido nas RPA's. Os valores médios dos bairros inseridos nas respectivas RPA's foram avaliados e estão apresentados na Tabela 8 e na Tabela 9.

Tabela 8 – Parâmetros sociecônomicos avaliados, em valores médios, nos bairros das RPA's (1/2).

RPA	Área territorial (ha)	População residente (habitantes)	Alfabetização da população de 10 anos e mais (%)	Densidade demográfica (habitante/ha)
1	139,64	7101,27	92,37%	60,23
2	82,22	12285,22	92,91%	148,40
3	266,48	10779,69	93,85%	126,45
4	351,00	23245,58	93,45%	101,10
5	187,25	16486,13	92,71%	139,14
6	486,50	47831,25	93,39%	132,95

Legenda: RPA = Região Político Administrativa.
Fonte: Adaptado de Dados Recife (2021).

Tabela 9 – Parâmetros Sociecônomicos Avaliados, em valores médios, nos bairros das RPA's (2/2).

RPA	Domicílios particulares permanentes (domicílios)	Moradores por domicílio (Habitante/Domicílio)	Rendimento Nominal Médio Mensal dos Domicílios (R$)
1	2269,00	2,88	R$ 2.221,28
2	3607,94	3,34	R$ 2.519,23
3	3270,66	3,33	R$ 4.332,95
4	7213,83	3,23	R$ 2.904,46
5	4900,44	3,32	R$ 1.533,20
6	15060,50	3,28	R$ 2.371,86

Legenda: RPA = Região Político Administrativa.
Fonte: Adaptado de Dados Recife (2021).

3.1.4 Dados pluviométricos

No que diz respeito a Pernambuco, Bandeira (2010) ressaltou que as chuvas anuais dos anos de 2008, 2009 e 2010 estavam abaixo da média, porém ocorreu uma concentração nas chuvas diárias, com altos índices de precipitação em curtos períodos.

Souza, Azevedo e Araújo (2012) afirmaram que, ao analisar as precipitações e impactos decorrentes na cidade do Recife, é perceptível a vulnerabilidade da população, principalmente aos chamados eventos extremos, pois tais episódios têm como consequência alagamentos, saturação dos solos das encostas que deslizam morro abaixo, assim prejudicando ainda mais os mais pobres que residem em áreas vulneráveis. Ainda com relação a Recife, de acordo com Melo *et al.* (2020), o período de chuvas contínuas está normalmente concentrado entre os meses de abril e julho, fato que aumenta o risco de deslizamento nesse período. Os autores associaram as precipitações acumuladas nos dias anteriores com possíveis deslizamentos de terra, sendo úteis na previsão de desastres. Nessas áreas ocorrem acidentes fora do período de inverno podem ser gerados pela fragilização do solo graças a alta incidência de chuva anteriormente, ou seja, deslizamentos não são apenas recorrentes em épocas de chuva, mas podem vir a ser consequência de um histórico de chuvas já acumulado de períodos anteriores.

Tornou–se necessária a avaliação em relação aos postos pluviométricos localizados no município do Recife. Inicialmente, para tal avaliação, foi prevista a utilização de dados da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC). No entanto, a partir de pesquisas *online* na plataforma de dados disponível, não foram encontrados dados referentes a todos aos principais postos localizados no município do Recife para o ano de 2019, daí, optou–se pela utilização da plataforma de dados do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), responsável por monitorar as possíveis ameaças naturais em áreas de riscos nos municípios brasileiros suscetíveis à ocorrência de desastres naturais. Assim sendo, foram coletados dados de precipitações diárias ocorridas no decorrer de 2019, ano de estudo do banco de dados do CEMADEN. Essa plataforma dispõe de dados aferidos de hora em hora, por isso, para obtenção dos dados diários foi realizado o somatório dos dados referentes a cada dia. Em seguida, foram avaliados os valores máximos mensais de cada posto, ou seja, o maior valor diário de precipitação aferido em determinado mês para cada posto, como visto na Tabela 10. Vale citar, que os valores destacados correspondem aos maiores valores de cada mês ao avaliar todos os postos. Foram considerados na definição da RPA a ser investigada neste trabalho, uma vez que os maiores valores pluviométricos constituem critério de risco de desastre para a respectiva RPA.

Tabela 10 – Valores de precipitação diária máxima mensal referente a cada posto, em 2019.

Mês	Posto																
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17
Janeiro	46,24	38,78	**78,80**	67,40	43,06	20,54	44,85	48,86	44,92	71,31	41,79	2,19	71,65	49,80	48,02	59,22	46,62
Fevereiro	26,00	67,27	23,00	19,60	61,11	21,13	**75,43**	17,70	20,29	29,33	70,18	26,25	21,26	31,00	37,87	41,52	42,03
Março	**58,30**	29,36	55,80	38,80	35,95	7,00	0,00	9,09	48,77	47,12	34,41	39,75	26,99	36,20	17,81	28,78	26,92
Abril	23,84	46,20	19,40	67,60	**77,08**	6,40	0,00	26,21	24,29	28,46	43,71	38,40	48,32	54,40	55,22	35,71	42,54
Maio	30,48	36,47	29,00	20,20	29,25	1,80	0,00	**44,15**	29,96	1,96	36,89	38,91	20,79	24,20	26,57	27,79	28,49
Junho	164,48	213,99	182,80	194,60	183,84	199,81	214,92	210,59	161,53	173,92	210,2	176,65	181,63	**230,20**	152,45	213,52	86,19
Julho	82,03	141,29	72,60	127,40	146,27	150,53	46,87	**181,50**	70,83	81,82	147,5	145,84	103,54	143,20	149,85	99,65	152,65
Agosto	27,75	30,32	32,40	26,60	32,41	38,21	0,00	**48,28**	32,56	28,71	28,58	37,11	21,87	27,80	18,78	32,75	20,29
Setembro	12,61	49,23	19,00	40,20	25,58	24,41	0,00	27,59	14,21	9,44	32,44	22,24	22,47	**63,00**	59,58	33,88	59,04
Outubro	13,60	16,74	18,00	9,20	18,12	17,92	0,00	6,57	13,66	17,55	19,71	**44,35**	6,31	12,40	19,13	9,48	23,27
Novembro	1,38	0,79	5,20	0,20	0,59	4,39	0,63	**10,64**	0,40	1,78	0,00	3,59	2,75	0,40	2,17	0,00	0,40
Dezembro	6,52	3,74	22,00	8,20	9,63	16,35	7,12	11,21	12,04	19,11	9,45	**27,48**	6,87	8,80	6,31	0,00	7,08

Legenda: P1 = Alto Bela Vista | P2 = Alto Mandu | P3 = Areias | P4 = Boa Vista | P5 = Campina do Barreto | P6 = Córrego Jenipapo | P7 = Dois Irmãos | P8 = Dois Unidos | P9 = Ibura | P10 = Imbiribeira | P11 = Morro da Conceição | P12 = Nova Descoberta | P13 = Pina | P14 = Porto | P15 = RECIFE–APAC | P16 = San Martin | P17 = Torreão.

Fonte: Adaptado de CEMADEN (2021).

3.2 CÁLCULO DO VOLUME DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL GERADO

Estabelecida a área de maior vulnerabilidade, tornou–se necessário o cálculo do volume de escoamento superficial gerado. Inicialmente, com o auxílio do *software* QGIS, foram encontradas as áreas referentes às avenidas asfaltadas e às edificações, considerados tradicionalmente como áreas impermeáveis, que favorecem o escoamento das águas pluviais. Dando sequência, foi instalado o complemento denominado "*QuickMapServices*", que permite incluir na plataforma bases de mapas, que facilitam a delimitação de regiões. Foram utilizadas imagens de satélites oriundas do Google, para geração de uma camada *shape* do tipo polígono visando a delimitação das áreas impermeáveis. Em seguida, a partir da análise da tabela de atributos referente às delimitações, a área impermeável total do bairro de Dois Unidos foi estimada.

Para o cálculo da vazão de contribuição, utilizou–se o Método Racional, sendo a intensidade da chuva dada pela equação IDF apresentada por Ramos (2010), para o município do Recife, Equação 5, considerando uma chuva de duração de 10 minutos, o tempo de retorno de 2 anos e o coeficiente de escoamento superficial de 0,95 (área se refere à superfície urbanizada e centro da cidade).

$$i = \frac{1423{,}97 \times T^{0{,}1124}}{(t_c + 21)^{0{,}7721}} \qquad (5)$$

Onde: i é a intensidade máxima (mm/h); t_c é o tempo de concentração (min); T é o tempo de retorno (anos).

3.3 POTENCIAL DE RESERVAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA COM CAIXAS D'ÁGUA E TELHADOS VERDES

Entendendo que para reduzir o escoamento da água de chuva que gera alagamento, faz–se necessário utilizar medidas de controle na fonte, foram considerados para esse fim duas possibilidades: uso de caixas d'água e implantação de telhados verdes. Sendo a consideração da primeira possibilidade relacionada com a facilidade de aquisição por parte do usuário devido a se encontrar facilmente no comércio, e a consideração da segunda oportunidade motivada pela existência da lei municipal que visa ampliar o uso dos telhados verdes no município de Recife–PE.

Sobre as caixas d'água, foi realizado um levantamento de dados referentes aos valores médios de custo e suas dimensões, a partir de catálogos de empresas, e foram localizadas caixas d'água, no comércio local, com capacidades para armazenamento de 310 L, 500 L, 1.000 L, 1.500 L, 2.000 L, 3.000 L e 5.000 L. Diante das possibilidades existentes, foi considerada a ação da Companhia Pernambucana de Saneamento, a Compesa, que, no âmbito do pacote de medidas para o enfrentamento da pandemia da Covid 19 iniciou em fevereiro de 2021 a distribuição de caixas d'água de 500 L para mais de 700 clientes cadastrados na tarifa social. Um dos critérios para ser cadastrado na tarifa social é possuir contracheque; benefício social ou benefício previdenciário, no valor de até 1(um) salário mínimo vigente (desde 1º. de janeiro de 2021, o valor do salário mínimo no Brasil é de R$ 1.100,00). Sendo que o Valor do Rendimento Nominal Médio Mensal dos Domicílios da área de estudo (bairro de Dois Unidos) é de R$ 1.028,96 (DADOS RECIFE, 2021). Diante do exposto, optou–se por avaliar o cenário com a adoção de caixas d'água de 500 L para armazenamento da água escoada dos telhados. Nesse caso, as dimensões da caixa d'água são 0,58 m de altura (sem tampa) e 1,22 m de diâmetro no topo (sem tampa) e 0,95 m na base, ou seja, diâmetro médio de 1,09 m, e o volume armazenável em cada caixa d'água é de aproximadamente 0,54 m^3.

No que se refere aos telhados verdes, adotou–se como referência a melhor capacidade de retenção encontrada por Silva (2017) em que, por meio de dados experimentais, observou uma boa capacidade de retenção com o emprego desta tecnologia. Segundo o autor, os valores foram de 75% e 86%, para os telhados verdes Babosa e Coroa–de–Frade, respectivamente. No experimento realizado por Silva (2017) no clima semiárido pernambucano, as condições experimentadas foram: precipitação com intensidade controlada de 26 mm/h e duração de 60 minutos, vertendo um volume total de 111,0 L sobre o telhado verde Babosa e um volume total de 88,1 L sobre o telhado verde Coroa–de–Frade. Assim sendo, o telhado com Babosa reteve cerca de 83,3 L e o com Coroa–de–Frade, 75,8 L.

Sobre a viabilidade de implantação das medidas de controle na fonte consideradas neste trabalho, realizou–se análise comparativa considerando as informações de custo e volume captado, visando não apenas o impacto técnico na drenagem urbana, mas também uma análise financeira aproximada para a realidade da área de estudo. Para isso, foram considerados os parâmetros socioeconômicos

“valor do rendimento nominal médio mensal dos domicílios” e “população residente (habitantes)” (descritos no tópico 3.1.3 Parâmetros socioeconômicos), como referência para os habitantes da área, a fim de estabelecer um parâmetro em relação as condições financeiras média da população residente e a quantidade média de medidas (caixas d’água de 500 L e/ou unidade de telhado verde) seria possível cada um adquirir. No caso das caixas d’água de 500 L, a pesquisa nos catálogos comerciais locais sugeriu um valor de R$ 250,00. Para os telhados verdes, considerou–se os estudos apresentados por Florêncio (2016), no qual foi analisado o custo de implementação de telhados verdes com coroa–de–frade e de telhados convencionais por metro quadrado, sendo esses iguais a R$ 168,19 e R$ 144,25, respectivamente. Levando em consideração que os telhados convencionais já estão instalados, admite–se como custo de implementação a diferença entre os dois tipos de cobertura, resultando no valor igual a R$ 23,94/m². Considerando como área de telhado de referência a superfície de 64,05 m^2, têm–se um custo de R$ 1.533,357, que seria o valor médio de implementação de telhado em verde em uma moradia no bairro de Dois Unidos.

3.4 VERIFICAÇÃO DA OCORRÊNCIA DE ALAGAMENTOS

Para verificação da ocorrência de alagamentos, foi realizada uma análise comparativa entre a vazão da área de contribuição ($Q_{máx}$), calculada pelo Método Racional, e a vazão de escoamento superficial (Q_{EscSup}), calculada pelo Método de Izzard. Inicialmente, foram localizados, por georreferenciamento, os principais logradouros localizados no bairro de Dois Unidos, utilizados para o cálculo da área impermeável. Os 19 logradouros identificados estão explicitados na Tabela 11.

Tabela 11 – Principais logradouros no bairro de Dois Unidos, Recife–PE.

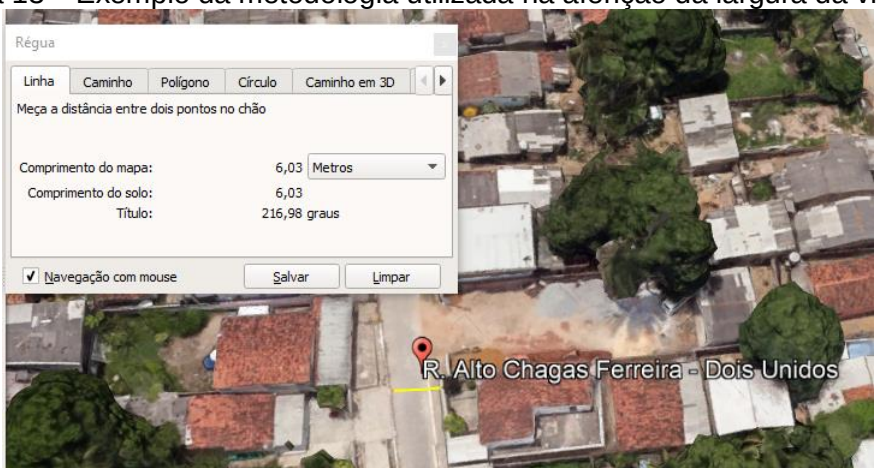
Ordem	Nome
1	Av Chagas Ferreira
2	Rua Canavieira
3	Sub Alto do Cap.
4	Rua Hilderbrando de Vasconcelos
5	Rua Jornalista Nelson Firmo
6	Rua da Mata
7	Rua Pedro Elias de Lima
8	Rua Divisópolis

Ordem	Nome
9	Rua Leôncio Rodrigues
10	Rua Alto Chagas Ferreira
11	Rua Sd. Cinco Mil Duzentos e Trinta e Nove
12	Rua Dorândia
13	Rua Mamede Coelho
14	Rua José Menezes Lyra Filho
15	Rua Expedicionário Teodoro Sativa
16	Rua Vinte e Um de Junho
17	Rua Tupiraçaba
18	Rua Arquelau Silveira Lira
19	Rua Manoel Lopes de Albuquerque

Fonte: A autora (2021).

Visando aplicar a Equação de Izzard, para calcular a vazão de escoamento, foram determinadas, para cada via pública de tráfego (logradouro), as respectivas larguras e declividades. No caso das larguras das principais vias consideradas, utilizou–se o artifício de medição de distâncias pela ferramenta linha do *software Google Earth* (Figura 13) e, com os valores obtidos, foram identificados os valores tabelados de K.

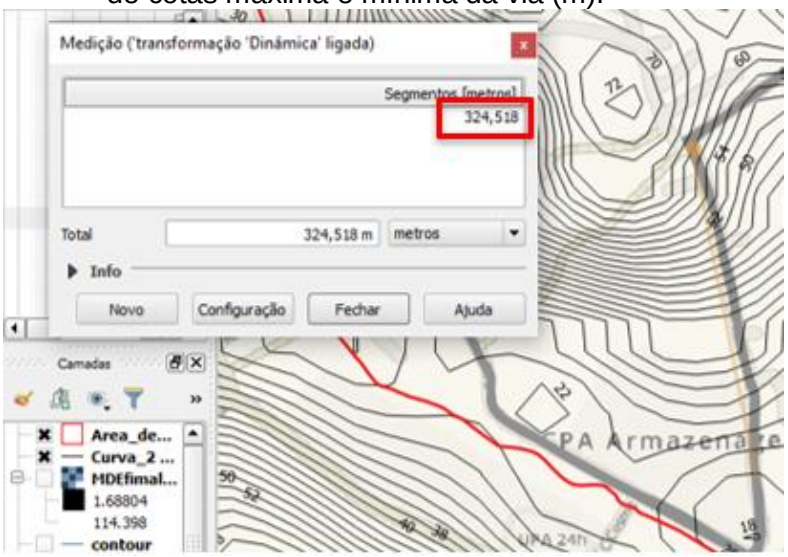
Figura 13 – Exemplo da metodologia utilizada na aferição da largura da via (m).



Fonte: A autora (2021).

Para determinação das declividades de cada logradouro é necessário determinar os valores referentes à maior e à menor cota da via, bem como da distância entre esses pontos. Para isso, foi utilizado o *software QGIS*, em que foram elaboradas curvas de nível a cada 2 m. Esse procedimento está ilustrado na Figura 14, e permite determinar uma estimativa do valor da declividade, levando em consideração parâmetros médios topográficos da área.

Figura 14 – Exemplo da metodologia utilizada na aferição da distância entre curvas de nível de cotas máxima e mínima da via (m).



Fonte: A autora (2021).

3.5 ESTIMATIVA DO IMPACTO DO ARMAZENAMENTO DA ÁGUA DE CHUVA NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Para estimativa do impacto do armazenamento da água de chuva na redução dos pontos de alagamento, foram considerados os dois cenários: uso de caixas d'água de 500 L e implantação de telhados verdes com Coroa–de–Frade.

Sobre a capacidade de armazenamento, foram feitas duas considerações:

1) Uso de caixas d'água de 500 L em cada domicílio, tendo sido considerado a quantidade de domicílios na região de 4.201 domicílios, e portanto, a capacidade de armazenamento, nesse caso, é de 2.100.500 L ou 2.100,50 m^3;

2) Uso de telhados verdes em modelo análogo ao utilizado por Silva (2017), com espessura de 20 cm e cobertura vegetal com Coroa–de–Frade, em que foi observado, pelo autor, a capacidade de armazenamento de 86% do volume precipitado. Neste caso, foi adotado para cada telhado a área de captação de 64,05 m^2, sendo a quantidade de domicílios na região de 4.201 domicílios. Para determinação do volume armazenado, será considerado um evento pluviométrico com duração de 1 hora em que o valor da intensidade a lâmina de água precipitada poderá ser calculado com a equação IDF local.

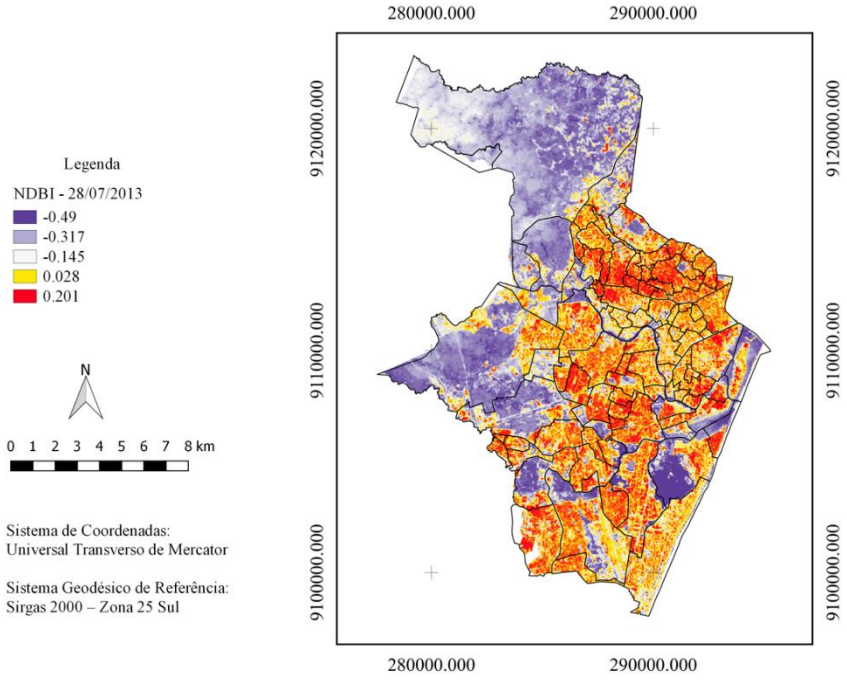
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da aplicação da metodologia descrita anteriormente, são apresentados nesse capítulo os resultados referentes, a partir de valores, imagens geoprocessadas, análises comparativas com estudos anteriores, entre outros.

4.1 IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS VULNERÁVEIS E DECLIVIDADES EM RECIFE–PE

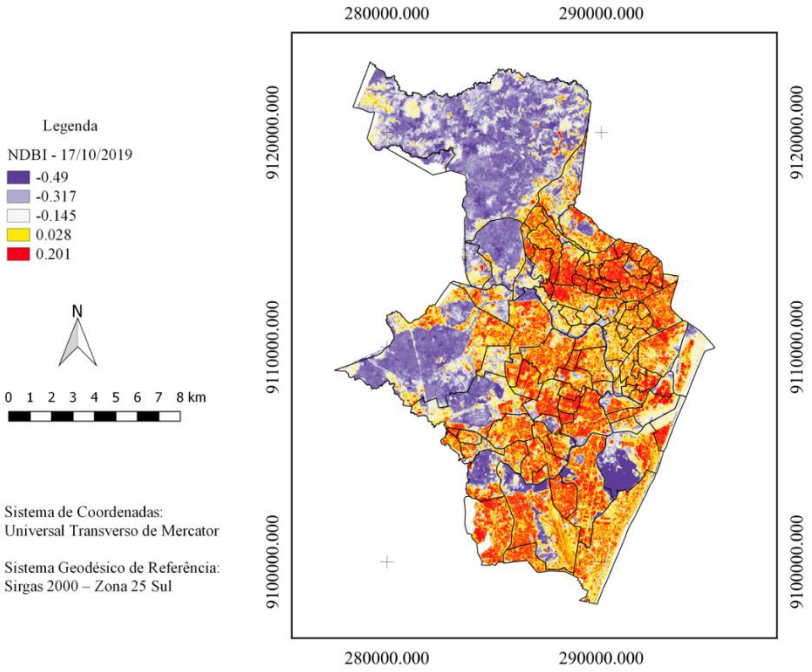
Apresenta–se na Figura 15 e na Figura 16 as imagens referentes ao processamento do NDBI no município de Recife–PE em 28 de julho de 2013 e em 17 de outubro de 2019, respectivamente. Ressalta–se que, como já citado, valores negativos representam áreas não construídas, variando de roxo escuro, roxo claro e branco, e valores positivos correspondem a áreas construídas, sendo essas expostas em amarelo e vermelho, área com maior índice, como visto nas imagens. Ao analisar tais imagens, é possível perceber que bairros que antes tinham predominação de tons representativos de áreas não construídas (roxo escuro, roxo claro e branco, ou seja, valores negativos), em 2013, passaram a ter pontos de áreas construídas, como Guabiraba, Pau Ferro, Sítio dos Pintos, entre outros, em 2019.

Figura 15 – Processamento de imagem pelo índice NDBI, em 28 de julho de 2013.



Fonte: a Autora (2021).

Figura 16 – Processamento de imagem pelo índice NDBI, em 17 de outubro de 2019.



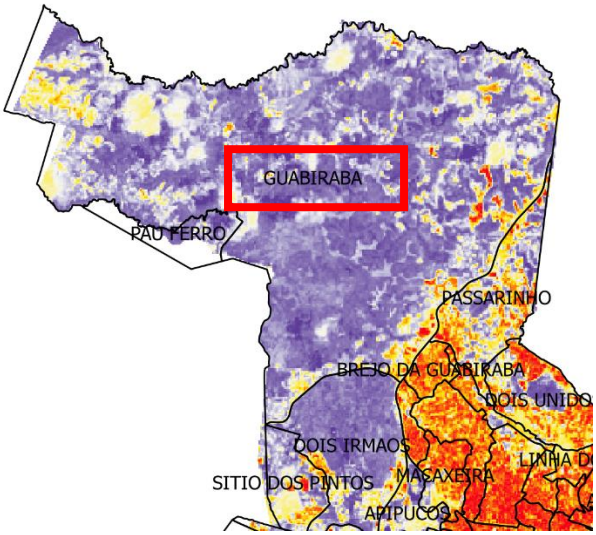
Fonte: A autora (2021).

Percebe–se ainda que algumas regiões antes cobertas pelo amarelo, em 2013, passaram a ser vermelhas, em 2019, o que indica um aumento na quantidade de construções, como Ibura, Cohab, Vasco da Gama, Bomba do Hemetério, Morro da Conceição, Torrões, San Martin, Engenho do Meio, entre outros. Nesse contexto, é notório o aumento nas áreas construídas no município do Recife ao comparar–se os dias estudados.

Visando validar a eficiência do SR e avaliar os resultados encontrados, comparou–se a Figura 16 com a coleta dos referidos pontos identificados por meio da imagem do *Google Earth* (2015). Detalha–se na Figura 17a, a área composta em sua maioria pelo bairro de Guabiraba, situado na RPA 3, na qual foi identificada nos resultados encontrados como sendo uma região com predominância de áreas não construídas, situação validada a partir da análise da Figura 17b, na qual observa–se uma grande quantidade de vegetação.

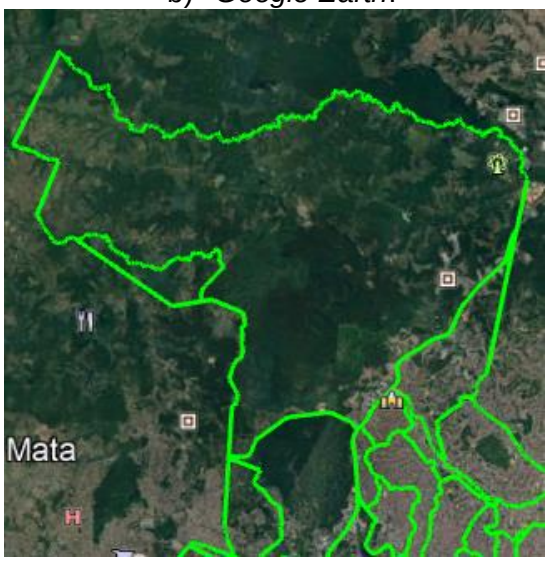
Figura 17 – Comparação das imagens de bairro de Guabiraba (em destaque), situado na RPA 3.

a) NDBI 2019.



Fonte: A autora (2021).

b) *Google Earth*.



Fonte: Google Earth (2021).

Já na Figura 18a, ao analisar os resultados referentes ao bairro da Várzea e grande parte do Curado (RPA 5) é perceptível a existência de áreas não construídas, uma vez que é predominante os tons de roxo e de branco em sua extensão, situação também observada em parte do bairro do Pina, localizado na RPA 6, Além disso, é válido notar as demais áreas variando no tom de amarelo e vermelho, o que mostra a existência de áreas construídas. Ao comparar os pontos com a Figura 18b é possível validar tais resultados, reafirmando o uso do SR como ferramenta eficaz de estudo.

Ao comparar a

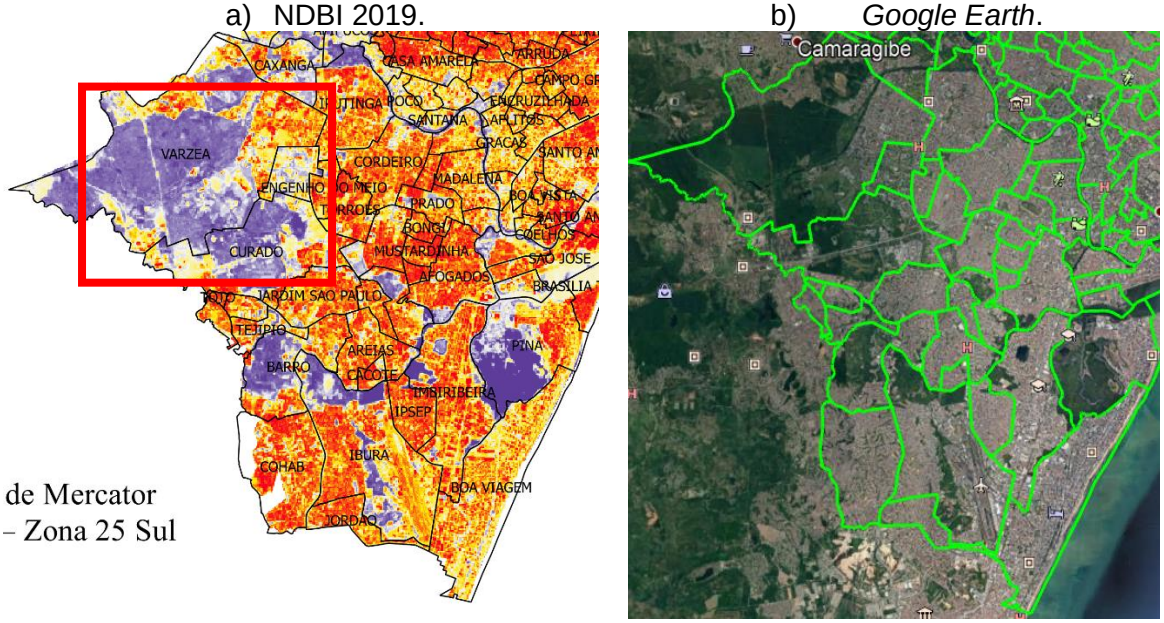
Figura 19 , que abrangem bairros das RPA's 1,2, 3 e 4, é notório a validação dos dados, uma vez que as áreas construídas e não construídas correspondem aos respectivos tons, já citados. Além disso, é importante ressaltar que a presença do corpo hídrico é notória na imagem processada, representada pelo tom branco.

Ao comparar tais resultados a partir da divisão Região Político Administrativa da cidade do Recife, Figura 20, é notório que os valores positivos, representados por amarelo e vermelho, que correspondem às áreas com maior quantidade de construção, sendo encontrados com maior frequência nas RPA 2 (verde), 5 (preto), 6 (roxo) e uma pequena parte da 3 (azul claro), assim influenciando na vulnerabilidade de tais áreas. Além disso, é perceptível que parte norte da RPA 3, mais especificamente em extensões do bairro de Guabiraba e que grande parte do bairro

da Várzea, inserido no lado Oeste da RPA 4, tem uma grande mancha em tons de roxo, que significam áreas menos urbanizadas.

Figura 18 – Comparação das imagens dos bairros da Várzea e do Curado (em destaque), na RPA 5.

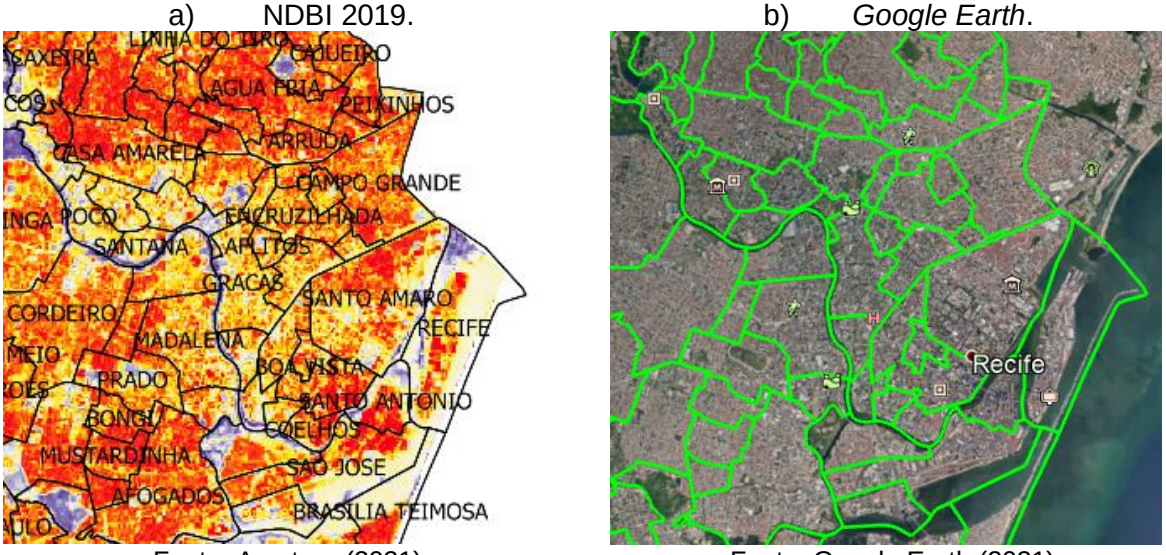
a) NDBI 2019. b) *Google Earth*.



Fonte: A autora (2021). Fonte: Google Earth (2021).

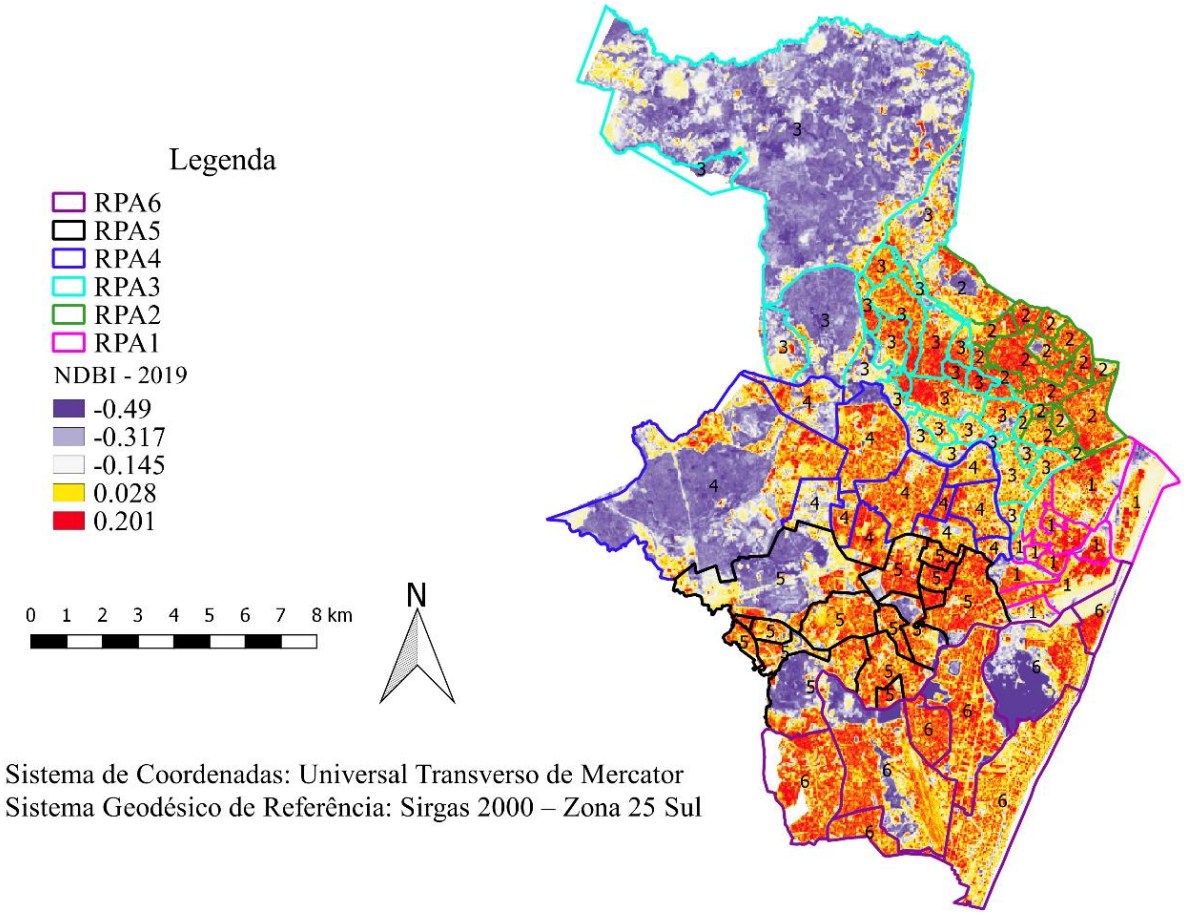
Figura 19 – Comparação das imagens dos bairros das RPA's 1,2, 3 e 4.

a) NDBI 2019. b) *Google Earth*.



Fonte: A autora (2021). Fonte: Google Earth (2021).

Figura 20 – Imagem pelo índice NDBI, em 17 de outubro de 2019 com divisão RPA.

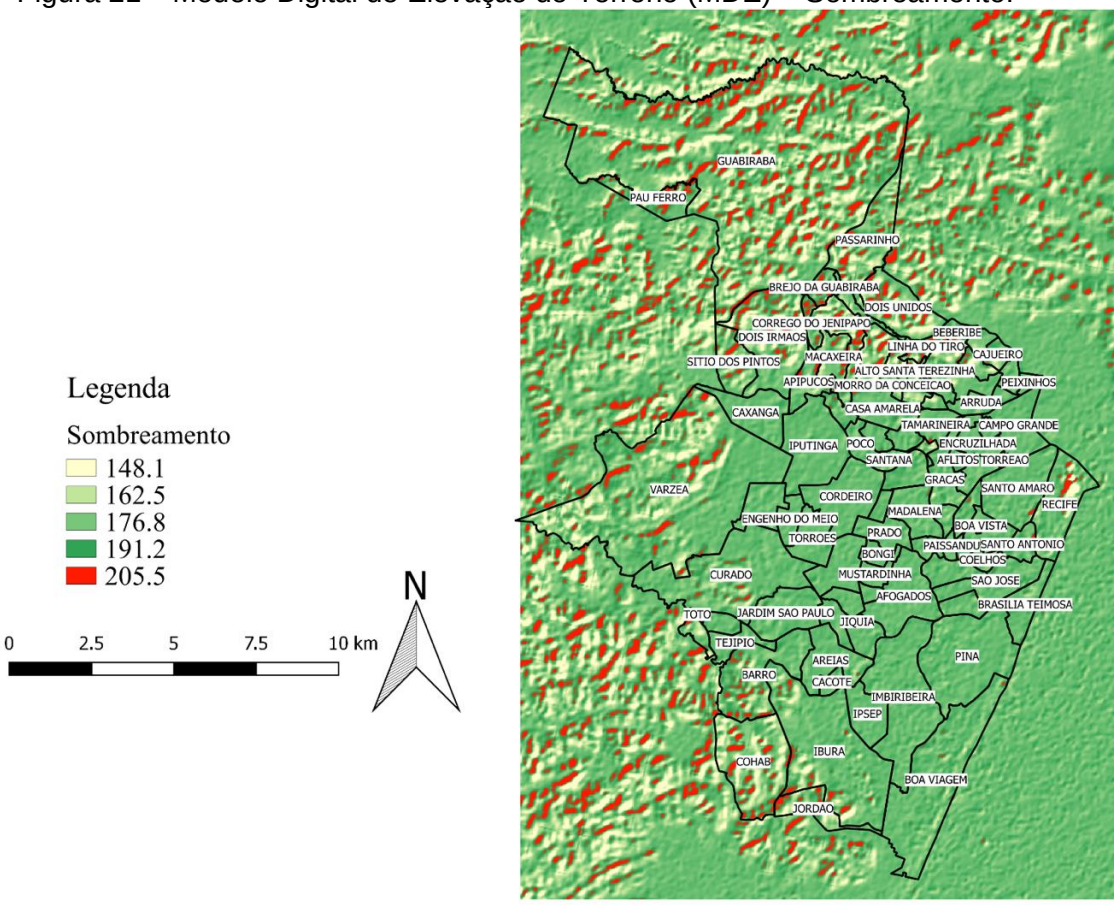


Fonte: A autora (2021).

No que diz respeito às áreas de morro do município, após o processamento de imagens, têm–se a Figura 21, referente ao sombreamento, na qual a cor vermelha corresponde às áreas com maiores cotas. Já da Figura 22 até Figura 25, indicam–se as curvas de nível, a fim de estudar os quão íngremes tais morros são.

Dessa forma, é notória a presença de morros na parte norte da RPA 3, mais especificamente nos bairros de Guabiraba, Pau Ferro, Dois Irmãos, Vasco da Gama, entre outros. Têm–se, também, uma extensão dessa área de morros nos bairros de Dois Unidos, Beberibe, Linha do Tiro, Água Fria, Fundão, Cajueiro, Porto de Madeira, Água Fria, Alto Santa Terezinha e Bomba do Hemetério, todos localizados na RPA 2. É perceptível, ainda, regiões de morros na extensão do bairro da Várzea (RPA 4) e em parte do Barro (RPA 5), Cohab e Jordão (RPA 6).

Figura 21 – Modelo Digital de Elevação do Terreno (MDE) – Sombreamento.

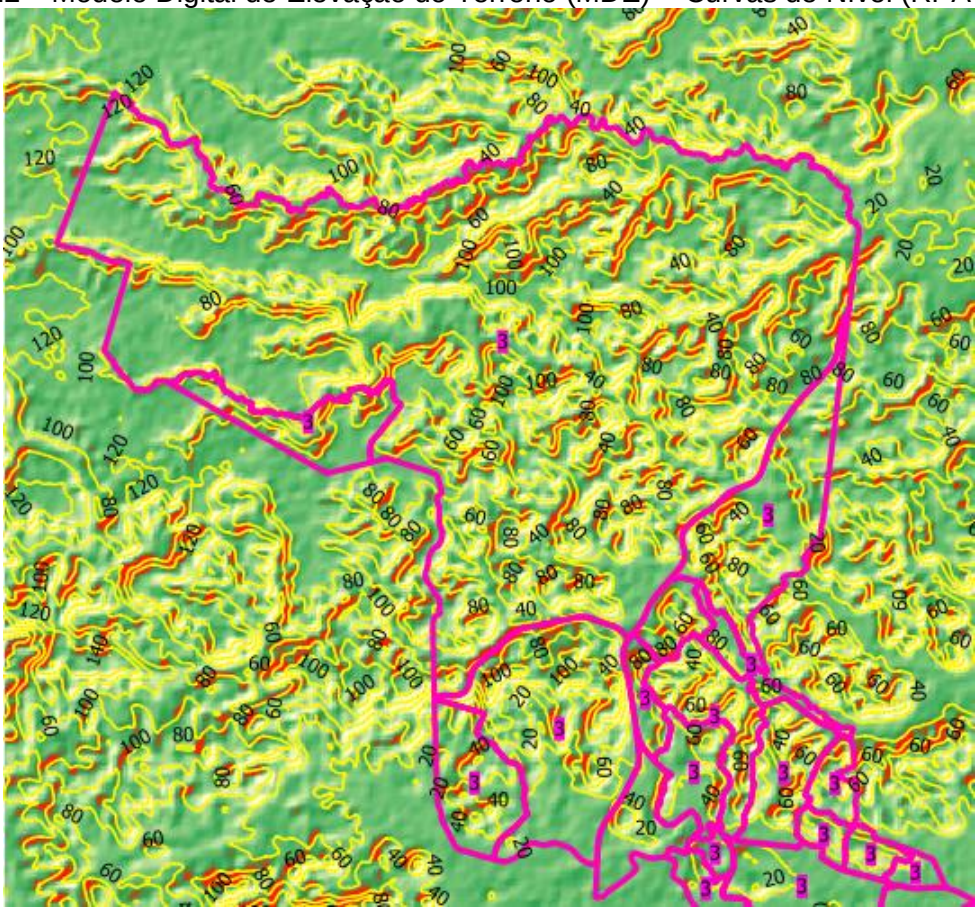


Fonte: A autora (2021).

Em seguida, observa–se na Figura 22 as curvas de nível referentes a RPA 3, onde se observa uma variação de 100 à 40, com maiores variações nas áreas dos bairros de Guabiraba e Pau Ferro. Já na Figura 23, referente à RPA 2, é perceptível uma variação de 60 à 40 nos bairros citados, mostrando a variabilidade dessa área. Além disso, ao comparar as duas curvas de nível, observa–se que o terreno dos morros referentes à RPA 2 é mais íngreme.

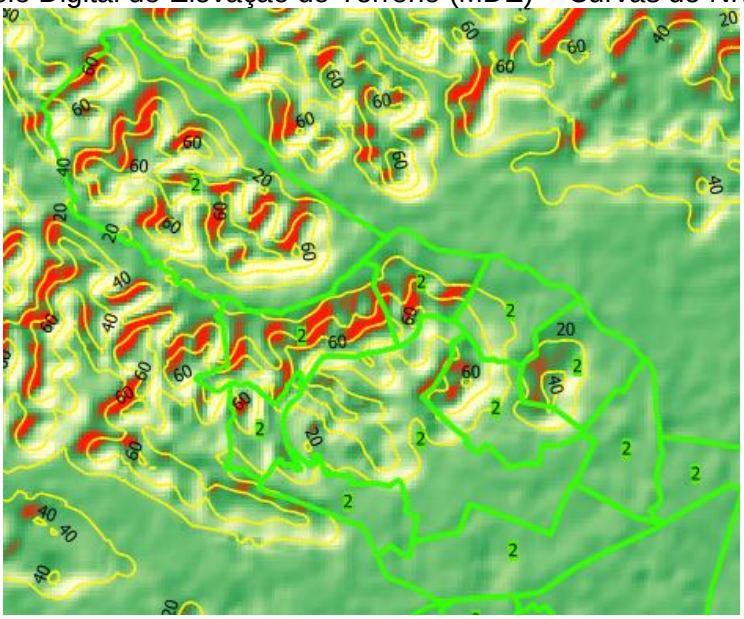
Observa–se na Figura 24 as curvas de nível referentes a área de morros das RPA 5 e 6, sendo representadas na cor preto e azul claro, respectivamente. Sabe–se que alguns pontos alcançam a cota 80, mas a grande parte da RPA 5 e RPA 6 variam entre 40–20 e 60–40, respectivamente. Tal imagem trata de um solo não tão íngreme, uma vez que as curvas de nível são mais próximas quando comparadas com a da Figura 25, referente a RPA 4.

Figura 22 – Modelo Digital de Elevação do Terreno (MDE) – Curvas de Nível (RPA 3) (1/4).



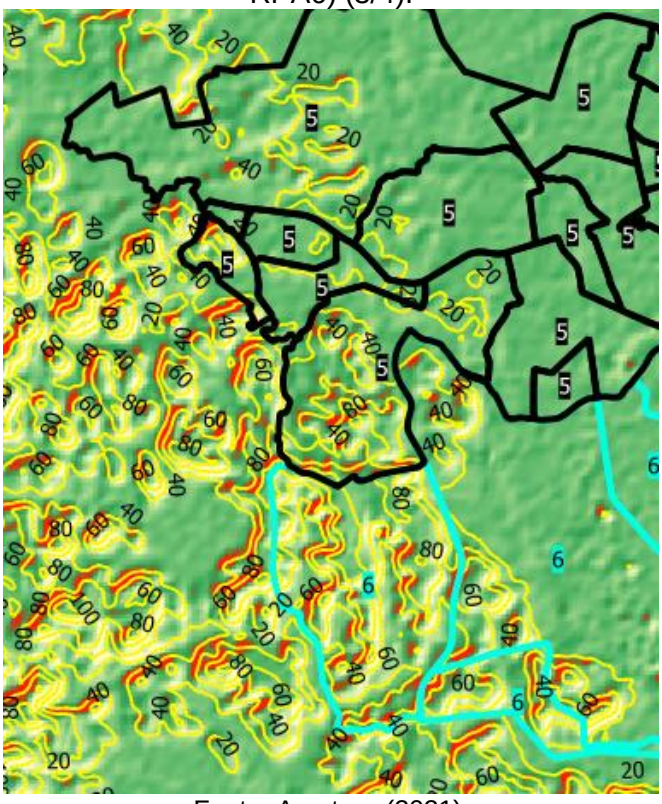
Fonte: A autora (2021).

Figura 23 – Modelo Digital de Elevação do Terreno (MDE) – Curvas de Nível (RPA 2) (2/4).



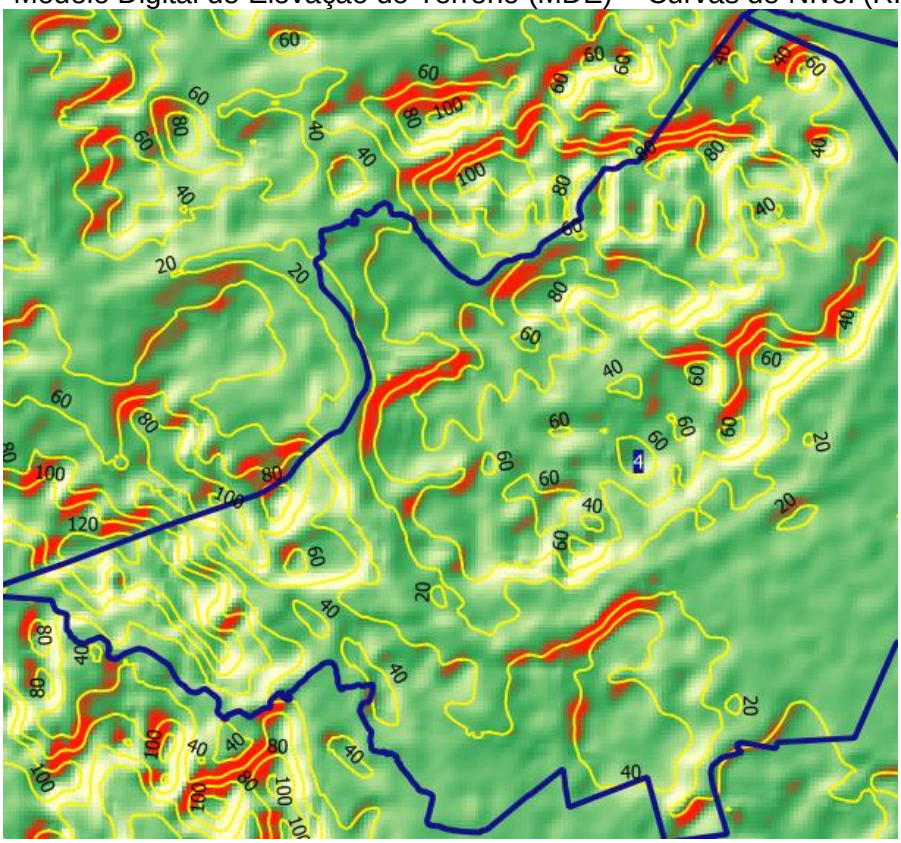
Fonte: A autora (2021).

Figura 24 – Modelo Digital de Elevação do Terreno (MDE) – Curvas de Nível (RPA 5 e RPA6) (3/4).



Fonte: A autora (2021).

Figura 25 – Modelo Digital de Elevação do Terreno (MDE) – Curvas de Nível (RPA 4) (4/4).



Fonte: A autora (2021).

Nesse contexto, após as análises das curvas de níveis, no que diz respeito a quão íngreme o relevo em questão é, têm–se destaque para as áreas do bairro da Várzea (Figura 25), localizado na RPA 4, e Dois Unidos, Beberibe, Linha do Tiro, Água Fria, Fundão, Cajueiro, Porto de Madeira, Água Fria, Alto Santa Terezinha e Bomba do Hemetério (Figura 23), situados na RPA 2.

Sobre os elementos de drenagem pertencentes ao município de Recife, Lafayette *et al*. (2018) elaboraram análise comparativa em relação à extensão das redes de condutos, das redes de canaletas, dos poços de visitas, das bocas de lobo e das caixas de gaveta, como detalhado na Tabela 12.

Tabela 12 – Elementos de drenagem por RPA.

Drenagem	RPA 1	RPA 2	RPA 3	RPA 4	RPA 5	RPA 6	Média
Rede de condutos (m)	128.058	125.444	114.899	248.036	172.379	268.463	**176.213**
Rede de canaletas (m)	10.244	103.454	158.353	21.170	29.560	75.251	**66.339**
Poço de visita (un.)	3.422	2.310	2.740	2.887	2.097	2.740	**2.699**
Boca de lobo (un.)	2.521	2.165	2.114	3.488	2.716	2.591	**2.599**
Caixa de gaveta (un.)	4.224	4.953	3.949	10.673	7.547	12.564	**7.318**

Legenda: un. = unidade. Fonte: Lafayette *et al*. (2018).

4.2 DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

População em situação econômica menos favorecida.

Em relação à divisão do município nas Regiões Político Administrativas, após o levantamento de dados realizado no tópico 3.1.3 Parâmetros socioeconômicos, caracterizou–se como RPA de menor média do valor do rendimento nominal médio mensal dos domicílios dos bairros inseridos, a **RPA 5** (R$ 1.533,20), além disso, todos os bairros inseridos nessa região apresentam áreas de ZEIS, indicando vulnerabilidade nesse quesito. Essa região apresenta a segunda menor taxa de alfabetização (92,71%), perdendo apenas para RPA 1.

Já no que diz respeito à **RPA 6**, essa apresenta maior média de população residente nos bairros inseridos (47.831,25 habitantes), é o terceiro menor valor do

rendimento nominal médio mensal dos domicílios (R$ 2.371,86) e a maior média total de domicílios permanentes dos bairros inseridos (15.060,50 domicílios).

Sobre a **RPA 3**, tem–se a maior média do valor do rendimento nominal médio mensal dos domicílios dos bairros inseridos (R$ 4.332,95), o que faz com que tal região não fosse considerada prioritária nesse estudo.

Já sobre a **RPA 2**, apresenta–se a maior média da densidade demográfica dos bairros inseridos, em habitante por hectare (148,40) e a maior média de moradores por domicílio dos bairros inseridos, em habitante por domicílio (3,34). Além disso, têm–se a terceira menor média da taxa de Alfabetização da População de 10 anos e mais dos bairros inseridos (92,91%).

Dados pluviométricos

Sobre as condições pluviométricas da cidade do Recife, após análise de dados vista no item 3.1.4, apresenta–se a Tabela 13, referente ao somatório de postos com dias máximos em cada mês por RPA, fato apresentado na Figura 26, na qual são mostradas as localizações georreferenciadas de tais postos, a partir da utilização do *software Google Earth*.

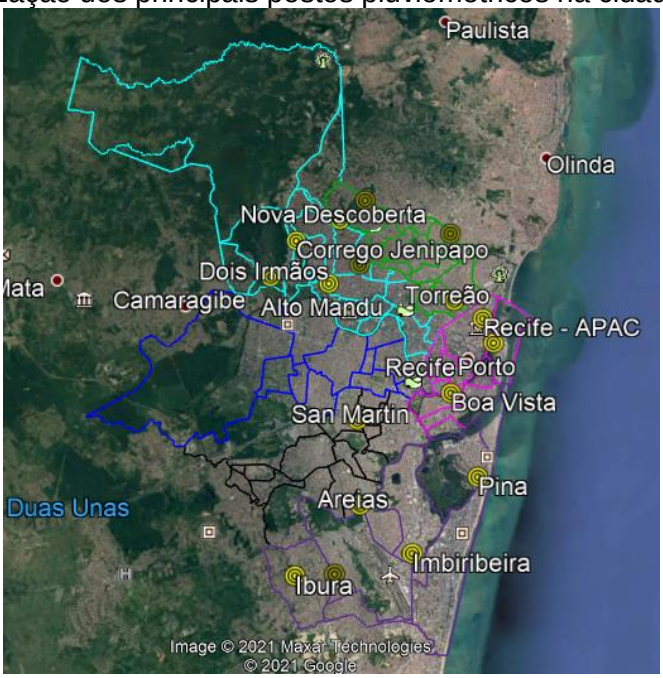
Nesse contexto, ressalta–se que as Regiões Político Administrativas 1, 2 e 6 têm a maior quantidade de postos com dias de precipitação máxima no mês, com destaque para o posto Alto Bela Vista, localizado na RPA 6, que captou o dia de máxima precipitação de 2019 no mês de junho (194,06 mm).

Tabela 13 – Somatório de Postos com dias máximos em cada mês por RPA, em 2019.

RPA	Somatório de Postos
1	2
2	**5**
3	3
4	0
5	2
6	0

Fonte: A autora (2021).

Figura 26 – Localização dos principais postos pluviométricos na cidade do Recife.



Fonte: Google Earth (2021).

Avaliados os parâmetros descritos, apresenta–se na Tabela 14, o resumo referente às vulnerabilidades das áreas descritas em relação aos demais tópicos já avaliados.

Tabela 14 – Tabela-Resumo parâmetros estudados.

Parâmetro Avaliado		**RPA**
Áreas construídas – NDBI	Maior quantidade Menor quantidade	**2**, 5 e 6 3 e 4
Áreas com morros – Sombreamento	Existência de morros	3, **2**, 4 e parte de 5/6
Áreas com morros – Curvas de Nível	Relevo do morro – mais íngreme	3 e parte de 5/6
Áreas com morros – Curvas de Nível	Relevo do morro – menos íngreme	**2** e 4

Fonte: A autora (2021).

É válido citar o estudo referente a Paz (2016), com uma análise comparativa entre o Número de áreas de vegetação por RPA. O autor em questão concluiu que a **RPA 2** corresponde a área com menores números, tendo em somatório de superfície um valor igual a 211.075,73 m², o que corresponde a apenas 7,07% do total da vegetação da cidade.

Ainda nesse contexto, Silva Júnior (2015), destacando que no ano de pesquisa, o município de Recife apresentou 159 pontos críticos de alagamento, sendo que em 29 vias observaram–se problemas de alagamento em toda sua extensão,

principalmente nos bairros de Jardim São Paulo (RPA 5) e Arruda (RPA 2), na qual encontra–se ruas integralmente alagadas. Dessa forma, tem–se a Tabela 15, detalhando os pontos críticos de alagamento por RPA.

Tabela 15 – Pontos de alagamento por RPA, informações referentes ao ano de 2015.

RPA	Observação
1	Somatório de ruas com registro de alagamentos igual a 32, totalizando 10 ruas nos bairros de Santo Amaro e São José, sendo os bairros com maiores quantidades de ruas com problemas de alagamentos.
2 e 3	Destaque para o bairro do Arruda, na qual foram aferidos pontos de alagamento, e destacou–se como o bairro com maior quantidade de problemas de drenagem, tendo o somatório de 42 ruas com ocorrência de alagamentos
4	Somatório de ruas com registro de alagamentos igual a 18 ruas, com destaque para o bairro da Cidade Universitária, com 6 vias.
5	Somatório de ruas com registro de alagamentos igual a 37 ruas, tendo destaque os bairros Jardim São Paulo, com 11 ruas e Estância, com 10 ruas.
6	Somatório de 35 ruas com eventos de alagamentos, sendo, dessas, 17 no bairro de Boa Viagem, 6 ruas no bairro do Ibura e 5 ruas no bairro da Imbiribeira.

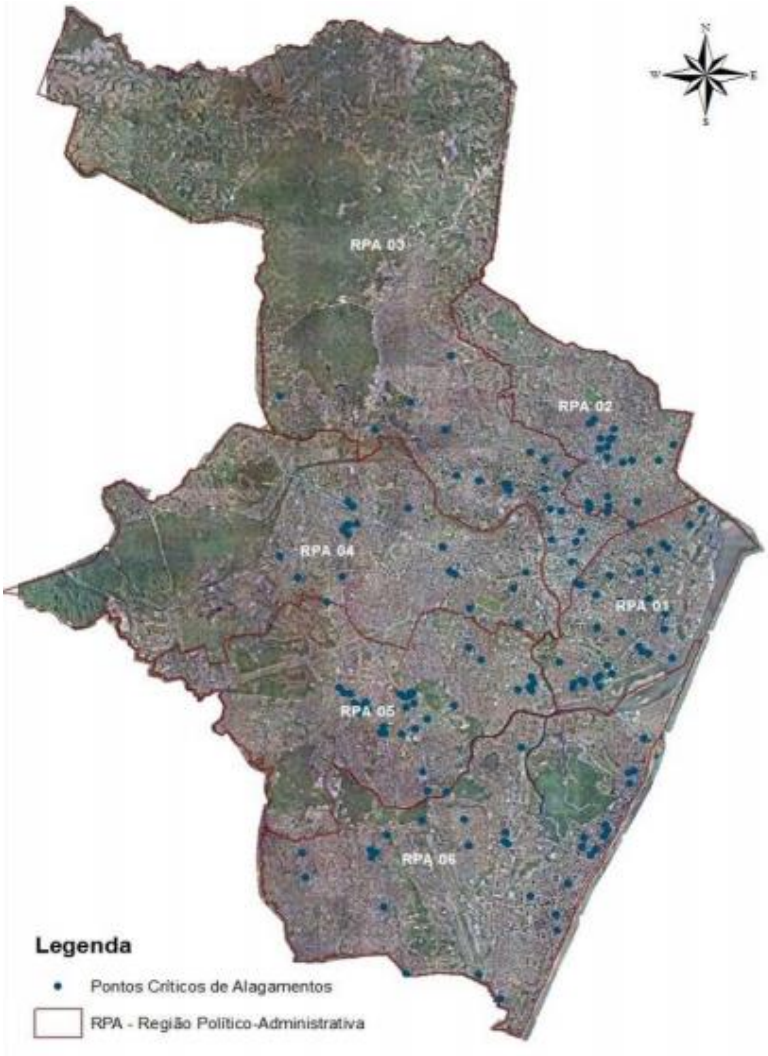
Fonte: Silva Júnior (2015).

Na Figura 27 detalha–se a distribuição dos pontos de alagamento, sendo possível observar maior concentração nas áreas das **RPA 2** e RPA 3.

Sobre os elementos de drenagem, como citado em Lafayette *et al*. (2018), sabe–se que a **RPA 2** apresenta quase todos os valores abaixo da média dos valores encontrados por cada RPA para a extensão e quantidade da rede de drenagem, com exceção apenas da rede de canaletas (Tabela 16).

Assim sendo, ficou definido como área de estudo a **RPA 2**, mais especificamente o bairro de **Dois Unidos**, que se destacou pela grande quantidade de áreas impermeáveis (construções), existência de morros, maior média da densidade demográfica dos bairros inseridos (habitante/hectare), segunda menor porcentagem média da taxa de alfabetização da população de 10 anos e mais dos bairros inseridos, quarta menor porcentagem de bairros sem ZEIS, sendo os quatro bairros escolhidos pertencentes às áreas com ZEIS e maior quantidade de postos com dias de valores mais altos do mês em relação à precipitação, com destaque para o posto de Dois Unidos, com a maior quantidade de precipitações em dias máximos.

Figura 27 – Distribuição dos pontos de alagamento Recife.



Fonte: Silva Júnior (2015).

Tabela 16 – Comparativo RPA 2 e Média Geral das RPA's (Elementos de Drenagem).

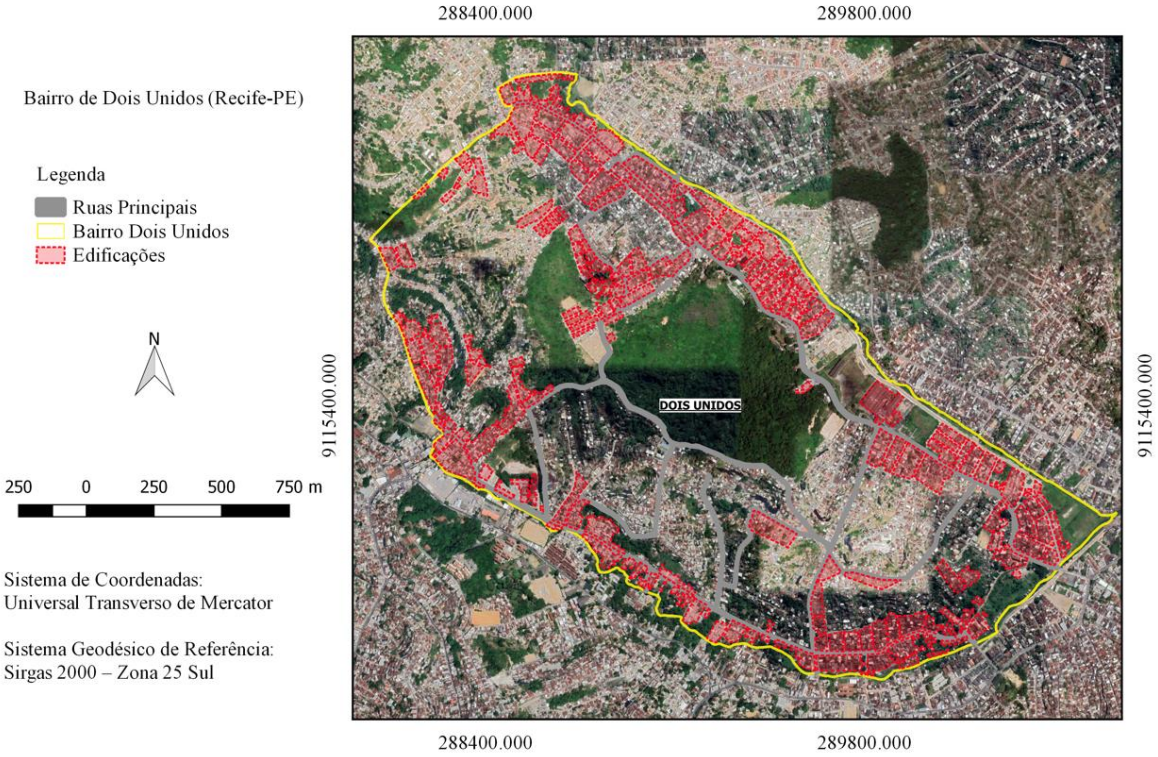
Drenagem	RPA 2	Média Geral das RPA's
Rede de condutos (m)	**125.444**	176.213
Rede de canaletas (m)	103.454	66.339
Poço de visita (un.)	**2.310**	2.699
Boca de lobo (un.)	**2.165**	2.599
Caixa de gaveta (un.)	**4.953**	7.318

Legenda: un. = unidade. Fonte: Lafayette *et al*. (2018).

4.3 CÁLCULO DO VOLUME DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL GERADO ATUALMENTE

Detalha–se, na Figura 28, as áreas impermeáveis no bairro de Dois Unidos. Estima–se o somatório dessa área como 1.369.186,11 m², sendo esse formado por 1.303.466,96 m² e 65.719,15 m² de edificações e das principais avenidas asfaltadas, respectivamente.

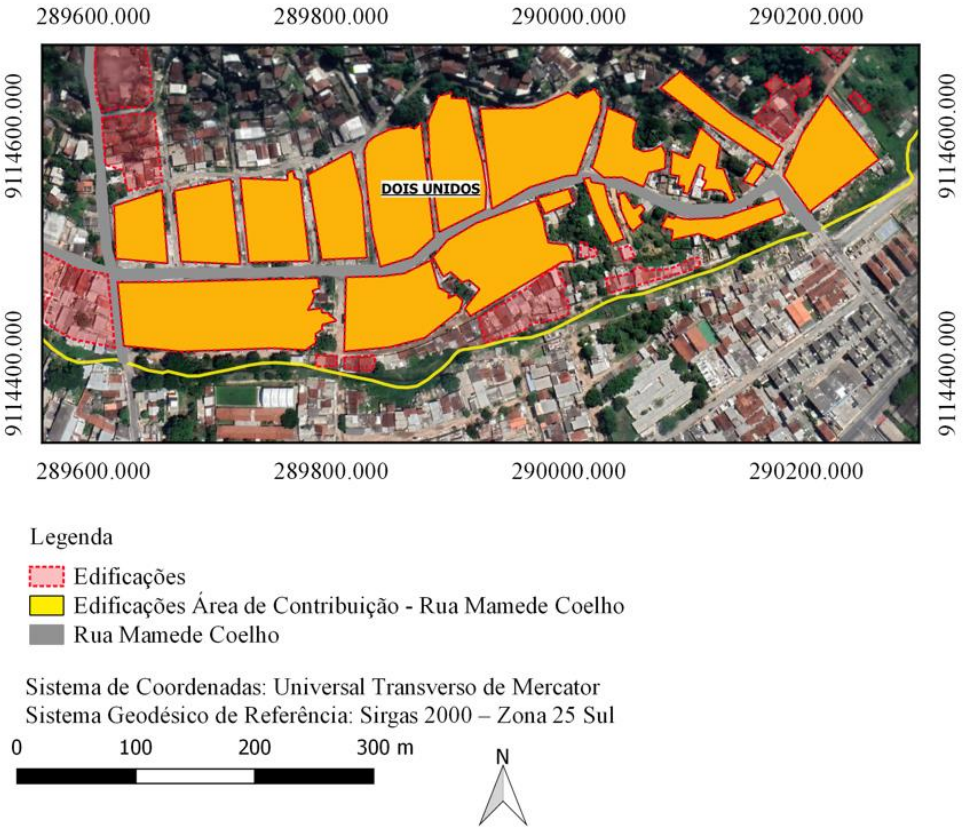
Figura 28 – Detalhamento área impermeável (Dois Unidos).



Fonte: A autora (2021).

Em seguida, foram identificadas as áreas de contribuição dos logradouros (exemplificada na Figura 29 no que diz respeito às edificações), para estabelecimento da vazão de cada área.

Figura 29 – Metodologia utilizada para encontrar as áreas de contribuição referentes a cada rua.



Fonte: A autora (2021).

Em relação à intensidade da chuva máxima, a partir de Ramos (2018), aplicou–se um tempo de retorno de 2 anos e duração de 10 minutos, valores usuais nesse tipo de aplicação, assim encontrando a intensidade de 108,61 mm/hora. Dessa forma, aplicou–se o Método Racional para cada rua, sendo válido citar que, por se tratar de uma área urbanizada, utilizou–se como coeficiente de escoamento superficial (C) o valor de 0,95, com descrito na Tabela 17. A vazão de contribuição referente a cada logradouro, está apresentado na Tabela 18.

Tabela 17 – Parâmetros empregados no Método Racional.

	Parâmetro	Valor	Unidade
C	Coeficiente de escoamento	0,95	–
i	Intensidade da precipitação	108,6066	mm/h

Fonte: A autora (2021).

Tabela 18 – Vazão de contribuição ($Q_{máx}$) dos logradouros principais.

Ordem	Logradouro	$Q_{máx}$ (m³/s)
1	Av Chagas Ferreira	3,597
2	Rua Canavieira	0,878
3	Sub Alto do Cap.	0,230
4	Rua Hilderbrando de Vasconcelos	2,457

Ordem	Logradouro	$Q_{máx}$ (m³/s)
5	Rua Jornalista Nelson Firmo	0,675
6	Rua da Mata	0,574
7	Rua Pedro Elias de Lima	0,296
8	Rua Divisópolis	0,811
9	Rua Leôncio Rodrigues	0,781
10	Rua Alto Chagas Ferreira	0,486
11	Rua Sd. Cinco Mil Duzentos e Trinta e Nove	0,767
12	Rua Dorândia	0,505
13	Rua Mamede Coelho	1,852
14	Rua José Menezes Lyra Filho	1,471
15	Rua Expedicionário Teodoro Sativa	1,533
16	Rua Vinte e Um de Junho	0,669
17	Rua Tupiraçaba	0,602
18	Rua Arquelau Silveira Lira	0,424
19	Rua Manoel Lopes de Albuquerque	0,334

Fonte: A autora (2021).

4.4 AVALIAÇÃO SOBRE A NECESSIDADE DE AÇÕES PARA EVITAR ALAGAMENTOS

Para investigação sobre a necessidade de ações que visem evitar/minimizar os alagamentos, foram comparados os valores da vazão da área de contribuição (Equação 1) com os valores da vazão de transporte da sarjeta (Equação 2). Na Tabela 19, estão os valores utilizados nos cálculos, bem como os resultados obtidos. Em função dos valores de largura das vias, determinados com o emprego do sensoriamento remoto, foram definidos os respectivos valores de K (m^3/s). Outros valores foram obtidos das imagens: maiores e menores cotas e as distâncias entre esses dois pontos. Em seguida foi calculada a declividade e a área de contribuição (impermeável), referente a cada logradouro. Em posse desses dados, a partir da utilização do *software* Excel, foram calculadas: vazão de escoamento e vazão de contribuição referente à cada logradouro. Da comparação de tais valores, pôde–se observar que todos os pontos estudados foram caracterizados como pontos de alagamento, reafirmando que o bairro de Dois Unidos apresenta muitos pontos de alagamento, em caso de chuvas intensas, indicando a necessidade de implantar ferramentas para minimização dos impactos consequentes.

Tabela 19 – Cálculo da vazão de escoamento dos principais logradouros (Dois Unidos).

Número	Nome	Largura da via (m)	K (m^3/s)	Curvas de Nível			Declividade – i (m/m)	Área de Contribuição Total (km^2)	Q_{EscSup} (m^3/s)	$Q_{máx}$ (m^3/s)	DQ (m^3/s)	Comparação das Vazões
				Maior Cota (m)	Menor Cota (m)	Distância entre cotas (m)						
1	Av Chagas Ferreira	5,94	1,077	30,00	18,00	887,63	0,014	0,126	0,125	3,597	3,472	É Ponto de Alagamento
2	Rua Canavieira	6,20	1,257	60,00	20,00	324,52	0,123	0,031	0,441	0,878	0,437	É Ponto de Alagamento
3	Sub Alto do Cap.	4,24	0,898	52,00	36,00	284,91	0,056	0,008	0,213	0,230	0,017	É Ponto de Alagamento
4	Rua Hilderbrando de Vasconcelos	8,97	1,616	36,00	12,00	2519,71	0,010	0,086	0,158	2,457	2,300	É Ponto de Alagamento
5	Rua Jornalista Nelson Firmo	6,39	1,257	30,00	22,00	50,24	0,159	0,024	0,502	0,675	0,173	É Ponto de Alagamento
6	Rua da Mata	4,33	0,898	70,00	66,00	127,02	0,031	0,020	0,159	0,574	0,414	É Ponto de Alagamento
7	Rua Pedro Elias de Lima	6,59	1,257	64,00	60,00	406,49	0,010	0,010	0,125	0,296	0,171	É Ponto de Alagamento
8	Rua Divisópolis	5,07	1,077	66,00	32,00	388,01	0,088	0,028	0,319	0,811	0,492	É Ponto de Alagamento
9	Rua Leôncio Rodrigues	7,53	1,436	34,00	20,00	166,95	0,084	0,027	0,416	0,781	0,365	É Ponto de Alagamento
10	Rua Alto Chagas Ferreira	6,03	1,257	70,00	64,00	51,23	0,117	0,017	0,430	0,486	0,056	É Ponto de Alagamento
11	Rua Sd. Cinco Mil Duzentos e Trinta e Nove	5,46	1,077	62,00	22,00	249,65	0,160	0,027	0,431	0,767	0,336	É Ponto de Alagamento
12	Rua Dorândia	9,24	1,795	66,00	62,00	53,15	0,075	0,018	0,492	0,505	0,012	É Ponto de Alagamento
13	Rua Mamede Coelho	4,90	0,898	14,00	10,00	750,26	0,005	0,065	0,066	1,852	1,787	É Ponto de Alagamento
14	Rua José Menezes Lyra Filho	7,03	1,436	60,00	24,00	312,67	0,115	0,051	0,487	1,471	0,984	É Ponto de Alagamento
15	Rua Expedicionário Teodoro Sativa	6,16	1,257	64,00	24,00	461,37	0,087	0,054	0,370	1,533	1,163	É Ponto de Alagamento
16	Rua Vinte e Um de Junho	6,65	1,257	64,00	30,00	342,01	0,099	0,023	0,396	0,669	0,272	É Ponto de Alagamento
17	Rua Tupiraçaba	4,74	0,898	66,00	46,00	145,67	0,137	0,021	0,333	0,602	0,270	É Ponto de Alagamento
18	Rua Arquelau Silveira Lira	9,12	1,795	20,00	18,00	43,77	0,046	0,015	0,384	0,424	0,041	É Ponto de Alagamento
19	Rua Manoel Lopes de Albuquerque	3,71	0,718	62,00	34,00	152,58	0,184	0,012	0,308	0,334	0,027	É Ponto de Alagamento

Fonte: A autora (2021).

4.5 CÁLCULO DO POTENCIAL DE RESERVAÇÃO DA ÁGUA DE CHUVA

Dos resultados apresentados na Tabela 16, observa–se que, no cenário de chuva intensa, ocorre alagamento em todos os pontos analisados, uma vez que a vazão gerada pela área impermeabilizada (edificações e vias públicas) é maior que a capacidade de transporte da sarjeta. Assim sendo, foram analisadas duas possibilidades para redução do volume escoado. Somando os valores de vazão gerados pela área impermeabilizada, obteve–se o valor de 18,942 m^3/s, que corresponde ao volume de 68.191,20 m^3 ao longo do período de 1 hora (3600 segundos). Nesse período o volume gerado pela vazão escoada pela sarjeta (6,155 m^3/s) é de 22.158,00 m^3. Observa–se, assim, que no intervalo de 1 hora, gera–se um excedente de vazão total de 12,787 m^3/s, o que corresponde ao volume de 46.033,30 m^3.

Com a instalação de caixas d'água de 500 L em cada um dos 4.201 domicílios é possível reter 2.100,50 m^3 de água de chuva, volume insuficiente para resolver o problema local de alagamento.

No que se refere ao emprego dos telhados verdes, adotou–se a configuração já explicitada anteriormente, com 20 cm de altura de substrato e capacidade de retenção de 86% de seu volume. Assim sendo, considerando a implantação de telhados verdes nos 4.201 domicílios, com área de telhado aproximada de 64,05 m^2, e sendo a intensidade de precipitação adotada neste trabalho de 108,6066 mm, ou seja, 0,1086066 m, o volume de água total disponível para armazenamento é de 29.223,22 m^3, e 86% desse montante, que é 25.131,97 m^3, retido pelos telhados verdes.

Conclui–se, portanto, que as duas ações realizadas conjuntamente na área de Dois Unidos ainda que não resolvam o problema de alagamento, podem contribuir substancialmente com a redução das dimensões do projeto de drenagem urbana no local, uma vez que reduziria o volume excedente em cerca de 45% (de 46.033,30 m^3 para 20.902,23 m^3).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da levantamento de dados referentes a descrição da identificação das áreas vulneráveis, foi possível avaliar padrões referentes a quantidade de áreas construídas, áreas com morros, parâmetros socioeconômicos e dados pluviométricos de toda a extensão do município, assim, após análises, foi estabelecido o bairro de Dois Unidos como a área que mais atendeu aos tópicos considerados relevantes para a vulnerabilidade do trabalho em questão, uma vez que possui área de grande quantidade de construção, com morros, padrões socioeconômicos vulneráveis e alta precipitação se comparado com as demais áreas.

Sobre o potencial de reservação de água, após análises comparativas referentes a caixa d'água de capacidade igual a 500 L e do telhado verde, observou–se uma grande diferença entre o custo de implementação deles e a capacidade de reservação dos mesmos, na qual encontra–se um valor médio de custo igual a R$ 250,00 e R$ 1.533,36 para a implementação de caixas d'água de 500 L e de telhados verdes, respectivamente, ambos em cada domicílio. No entanto, vale citar, que a tecnologia de telhados verdes oferece uma série de outros benefícios, sendo assim, uma alternativa com maiores vantagens a longo prazo, quando comparada com a caixa d'água, apesar do maior custo.

Sobre o impacto em relação ao armazenamento da água captada descrita anteriormente, pode–se concluir que devido à grande quantidade de pontos de alagamento no bairro a partir da aplicação da chuva máxima, torna–se de extrema importância a alternativa de reservação de água como ferramenta para diminuição do escoamento superficial. Nesse contexto, foi observado que, para uma chuva intensa de duração igual a 1 hora, tem–se um volume excedente de 46.033,30 m³. No cenário descrito, a capacidade de retenção com o uso de caixas d'água é de 2.100,50 m³ e no caso de telhados verdes é de 25.131,97 m³, valores que diminuem o volume de água escoado e contribuem para um menor impacto na magnitude dos alagamentos. Ressalta–se a importância da aplicação de sensoriamento remoto como ferramenta indispensável para a construção deste trabalho, desde a etapa de identificação de áreas vulneráveis, até a estimativa do impacto no armazenamento de água.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, R. T. D. B.; DANTAS, C. E. O.; ARAÚJO, E. L.; VASCONCELOS, T. L.. Distribuição Temporal das Precipitações no Município do Recife. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 6 (2): 245–252, 2013.

ALHEIROS, M. M.; SOUZA, M. Â. A.; BITOUN, J; MEDEIROS, S. M. G. M.; AMORIM JÚNIOR, W. M.. **Manual de Ocupação dos Morros da Região Metropolitana do Recife**. Fundação de Desenvolvimento M–nicipal FIDEM – Recife: Ensol, 384 –., 2004.

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Metadados**. Disponível em: <https://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home/> Acesso em: 26 de nov. –e 2020.

ASSIS, H. M. B.. **Atividades impactantes sobre o meio ambiente da Região Metropolitana do Recife**. CPRM, Recife, PE, 81 p., 2001.

BACALHAU, J. R.; RIBEIRO NETO, A.; OLIVEIRA, L. M. M.. Aplicação de índice de vegetação no monitoramento da seca: açude Algodões no sertão pernambucano. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, 2 (3): 283–293, 2017.

BANDEIRA, A. P. N.. **Parâmetros Técnicos para Gerenciamento de Áreas de Riscos de Escorregamentos de Encostas na Região Metropolitana do Recife**. Tese do Programa de Pós–Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, 369 p., 2010.

BECKER, P.. **Utilização do Sig no Cadastro da Rede de Macrodrenagem e Microdrenagem**. ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 7 p., 2016.

FLORÊNCIO, B. B. P.. Telhados Verdes: Contribuições ao Consumo de Energia. Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, 96 p., 2016.

BEZERRA, U. A.. **Índices espectrais utilizando os sensores oli/l74entinela e msi/sentinel–2, na bacia hidrográfica do rio Moxotó–PE**. Dissertação do Programa de Pós–Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da UFPE, 113 p., 2019.

BNB – Banco do Nordeste do Brasil. **Perfil socioeconômico de Pernambuco**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 192 p., 2015.

CALDANA, N. F. S.; YADA JUNIOR, G. M.; MOURA, D. A. V.; COSTA, A. B. F.; CARAMORI, P. H.. Ocorrências de Alagamentos, Enxurradas e Inundações e a Variabilidade Pluviométrica na Bacia Hidrográfica do Rio Iguaçu. **Revista Brasileira de Climatologia**, 23: 343–355, 2018.

CALDEIRA, L. A. C.; LIMA, D. P.. Drenagem urbana: uma revisão de literatura. **Engineering Sciences**, 8 (2): 1–9, 2020.

CARDOSO NETO, A.. **Sistemas Urbanos de Drenagem**. 2010. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/CDOC/ProducaoAcademica/Antonio%20Cardoso%20Neto/Introducao_a_drenagem_urbana.pdf.> Acesso em 11 de dezembro de 2020.

CASTRO, A. S.; GOLDENFUM, J. A.. Uso de telhados verdes no controle quantitativo do escoamento superficial urbano. **Revista Atitude**, Ano IV, 7: 75–81, 2010.

CAVALCANTI, R. M. S.. **Indicadores Geomorfológicos, Riscos e o Planejamento Urbano – uma apreciação teórico integradora para a cidade do Recife – PE**. Tese do Programa de Pós–Graduação em Engenharia Civil da UFPE, Recife, PE, 184 f., 2012.

CEMADEN – Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. **Pluviômetros Automáticos.** Disponível em < http://www.cemaden.gov.br/pluviometros–automatico/. Acesso em 30 de março de 2021.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F.. **Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais**. 2ª Edição. Porto Alegre. Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2015.

COSTA, J., POLETO, C., RAMME, S. S.. **Redução e retardo do escoamento superficial das águas pluviais em telhado verde**. Encontro de Iniciação Científica. Toledo, PR, Brasil, 13 p., 2016.

CRUZ, M. A. S.; SOUZA, C. F.; TUCCI, C. E. M.. Controle da Drenagem Urbana no Brasil: Avanços e Mecanismos para sua Sustentabilidade. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, **Anais..**, 18 p., 2017.

DEMATTÊ, J. A. M.; EPIPHANIO, J. C. N.; FORMAGGIO, A. R.. Influence of organic matter and iron oxides on the spectral reflectance of tropical soils. **Bragantia** [online], 62 (3): 451–464, 2003.

FRANÇA, A. F.; TAVARES JUNIOR, J. R.; MOREIRA FILHO, J. C. C.. Índices NDVI, NDWI e NDBI como ferramentas ao mapeamento temático do entorno da lagoa olho d'água, em Jaboatão dos Guararapes–PE. IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. **Anais..**, Recife – PE, p. 1–9, 2012.

FRANÇA, B. V.; SUASSUNA, C. C. A.. Avaliando Resiliência Urbana Institucional frente a Eventos Hidrológicos Extremos: o Caso de Camaragibe–PE. **Revista Paisagens & Geografias**, Universidade Federal de Campina Grande, 3 (2): 21–32, 2018.

GAROTTI, L. M.; BARBASSA, A. P.. Estimativa de área impermeabilizada diretamente conectada e sua utilização como coeficiente de escoamento superficial. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 15 (1): 19–28, 2010.

GOOGLE. *Google Earth website*. Disponível em<http://earth.google.com/>, 2015.

GOMES, E. T. A.. **Recortes de paisagens na cidade do Recife: uma abordagem geográfica**. Recife: Fundação Joaquim Nabuco, Ed. Massangana, 356 p., 2007.

GOMES, U. A. F.; DOMÈNECH, L; PENA, J. L.; HELLER, L.; PALMIER, L. R.. A Captação de Água de Chuva no Brasil: Novos Aportes a Partir de um Olhar Internacional. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 19 (1): 7–16, 2014.

GUO, J.C.Y.. Street Storm Water Conveyance Capacity. **Journal of Irrigation and Drainage Engeneering**, 126 (2): 119, 2000.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional por Amostra–de Domicílios – PNAD, 2013: síntese de indicadores**. Rio de Janeiro, RJ, 296 p., 2015.
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Topodata**. Disponível em: <http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/> Acesso em: 26 de jan. de 2020.

KALAF, R.; BRASILEIRO, R.; CARDOSO, P.V.; CRUZ, C. B. M. (2013). Landsat 8: Avanços para Mapeamento em Mesoescalas. **Jornada de Geotecnologias do Estado do Rio de Janeiro**, 1: 2–4, 2013.

LAFAYETTE, F. B.; DANTAS DA SILVA, M.; MONTENEGRO, S. M. G. L.;. OLIVEIRA DA SILVA, P.; GUSMÃO, R. D.. Plano De Gestão Da Manutenção Da Rede De Drenagem Da Cidade Do Recife. XIV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. **Anais..**, Maceió– AL, p. 5–6, 2018.

MACEDO, F. F.; VEIRA, F. H.; FURIGO, R. F. R.. Indicadores de Manutenção do Sistema de Drenagem Urbana em Mogi Mirim. **Revista Foco,** 15: 59–78, 2018.
MAIA, A. C. J.; DÂMASO, M. L. F.; SILVA, S. G.; SILVA JUNIOR, T. L.; MELO, M. B.. Reservatório para armazenamento de água da chuva em edificações na cidade de Maceió – AL. **Caderno– de Graduação – Ciências exatas e tecnológicas,** 6 (2): 219–231, 2020.

MARCELINO, E. V.. Desastres naturais e geotecnologias: conceitos básicos. Santa Maria: INPE/CRS, 39 p., 2008.

MARCELINO, A. G. B.; LUCENA, R.; PAIVA, A. C.; MACENA, V. R. O.. Redução de Riscos de Desastres e Direito a Moradia: Desafios para a Resiliência Urbana. **Revista Paisagens & Geografias**, Universidade Federal de Campina Grande, 3 (2): 9–20, 2018.

MEDIONDO, E. M.; CUNHA, A. R.. **Experimento Hidrológico Para Aproveitamento de Águas de Chuva Usando Coberturas Verdes Leves.** São Carlos, SP. USP/SHS – Processo FAPESP 03/06580–7, 2004.

MELO, C. R.; CIRILO, J. A.; AMORIM, S. F.; ALVES, F. H. B.; GUEDES, P. A.. Avaliação dos Índices de Precipitação nos Deslizamentos de Terra na Comunidade de Lagoa Encantada (Ibura – Recife) entre os Anos de 2013 e 2017. XV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Recife – PE, **Anais..**, 10 p., 2020.

MENDES, T. G. L.; SILVA, S. R.; ANJOS, R. S.; SANTOS, T. N.; MOREIRA, B. M.; NÓBREGA, R. S.. Abordagem científica sobre ilhas de calor em Recife–PE. **Journal of Environmental Analysis and Progress,** 4 (1): 001–013, 2019.

MORAES, I. C.; CONCEIÇÃO, F. T.; CUNHA, C. M. L.; MORUZZI, R. B.. Comparação de Metodologias na Definição de Fluxos Acumulados a Partir de Modelos Digitais de Elevação do Terreno Aplicado a Suscetibilidade de Inundações. **RBH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 19 (2): 5–14, 2014.

MORAES, A. P.. Procedimentos Técnicos De Dimensionamento Da Microdrenagem Do Município De Santo André. XIX Exposição de Experiências Municipais em Saneamento, **Anais..**, 2015.

MOTA, H. S.; MARTINS, J. H.. Avaliação da Capacidade de Captação e Armazenamento de Água das Chuvas no Alto Vale do Jequitinhonha: uma proposta para Mitigação do Efeito da Escassez de Água na Região. **Humanidades & Tecnologia Em Revista (FINOM)**, 18 (13): 188–202, 2019.

MOURA, E. F. S.; SILVA, S. R.. Estudo do grau de impermeabilização do solo e propostas de técnicas de drenagem urbana sustentável em área do Recife–PE. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, 3 (15): 78–93, 2015.
NAGEM, F. R. M.. **Avaliação econômica dos prejuízos causados pelas cheias urbanas (Rio de Janeiro)**. Dissertação de Mestrado. Programas de Pós–Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, 114 p., 2008.

NÓBREGA, R. S.; SANTOS, P. F. C.; MOREIRA, E. B. M.. Morfologia Urbana e Ilhas de Calor na Cidade do Recife/PE: Distribuição Espacial e Intensidade. **Revista de Geografia** (Recife), 33 (4): 319–333, 2016.

OLIVEIRA, E. W. N.. **Telhados Verdes para Habitação de Interesse Social: Retenção das Águas Pluviais e Conforto Térmico**. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós–Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 136 p., 2007.

PARKINSON, J.; MILOGRANA, J.; CAMPOS, L. C.; CAMPOS, R.. **Drenagem Urbana Sustentável no Brasil**. Relatório do Workshop em Goiana, Universidade de Goiás, 24 p., 2003.

PAZ, U. F.; **Gestão de áreas verdes públicas na cidade do Recife, Pernambuco, Brasil**. Dissertação submetida ao Programa de Pós–Graduação em Gestão Ambiental como parte do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, 197 p., 2016.

PFALTZGRAFF, P. A S.. **Mapa de Suscetibilidade a Deslizamentos na Região Metropolitana de Recife**. Tese de Doutorado Programa de Pós–Graduação em Engenharia Civil da UFPE, Recife, PE, 153 p., 2007.

POMPÊO, C. A.. Drenagem Urbana Sustentável. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 5 (1), 15–23, 2000.

PORTO, R.; ZAHED, K.; TUCCI, C.; BIDONE, F.. **Drenagem Urbana**. In: TUCCI, C. E. M., org. Hidrologia– Ciência e Aplicação. Porto Alegre: ABRH, 2004.

RAMOS, A. M.. **Influência das Mudanças Climáticas devido ao Efeito Estufa na Drenagem Urbana de uma Grande Cidade**. Tese de Doutorado do Programa de Pós–Graduação em Engenharia Civil – PPGEC da UFPE, Recife, PE, 139 f., 2010.

RECIFE. **Lei nº 18.112** que dispõe sobre a melhoria da qualidade ambiental das edificações por meio da 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 e dá outras providências. 1 p., 2015.

RECIFE. Secretaria Executiva de Defesa Civil–PE. Banco de dados Recife. 2020. Disponível em: < http://dados.recife.pe.gov.br/ >. Acesso em: 20 fev. 2021.
Remote Pixel. Disponível em: <https://remotepixel.ca/> Acesso em: 27 de fev. 2021.
SANTANA, J. K.. Análise Evolutiva da Ocupação dos Morros da Cidade do Recife. XVI Simpósio Nacional de Geografia Urbana, **Anais..**, p. 1–9, 2019.

SANTOS, L. C. C.. **Estimativa de Vazões Máximas de Projeto por Métodos Determinísticos e Probabilísticos.** Dissertação de Mestrado do Programa de Pós–Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, 173 f., 2010.

SANTOS, P. T. S., SANTOS, S. M., MONTENEGRO, S. M. G. L., COUTINHO, A. P., MOURA, G. S. S., ANTONINO, A. C. D.. Telhado verde: desempenho do sistema construtivo na redução do escoamento superficial. **Ambiente Construído**, 13 (1): 161–174, 2013.

SANTOS, S. M.; FARIAS, M. M. M. W. E. C.. Potential for Rainwater harvesting in a dry climate: Assessments in a semiarid region in northeast Brazil. **Journal of Cleaner Production,** 164: 1007 – 1015, 2017.

SAVI, A. C.. **Telhados verdes: análise comparativa de custo com sistemas tradicionais de cobertura**. Monografia de especialização do Curso de Especialização em Construções Sustentáveis da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 128 f., 2012.

SCHLICKMANN, R. L.; BACK, A. J.. Avaliação de métodos de estimativa de vazão máxima para dimensionamento de bueiros. **Revista Técnico–Científica de Engenharia Civil**, 3 (1), 16 p., 2020.

SILVA, P. O.. **Análise de técnicas compensatórias de drenagem urbana para atenuação de inundações em uma sub–bacia do rio Jiquiá no Recife**. Dissertação do Programa de Pós–Graduação em Engenharia Civil – PPGEC da UFPE, Recife, PE, 139 f., 2010.

SILVA, F. M.; COSTA JUNIOR, N. P.; LIMA, Z. M. C.. Avaliação microclimática de Natal/RN através de técnicas de sensoriamento remoto: uma contribuição aos estudos do clima urbano. **Sociedade e Território,** 26 (2): 163 – 180, 2014.

SILVA JÚNIOR, M. A. B.. **Alternativas compensatórias para controle de alagamentos em localidade do Recife–PE**. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós–Graduação em Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, Recife, 153 p., 2015.

SILVA, T. F.. **Tecnologia Alternativa em Drenagem Urbana: Telhado Verde**. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós–Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco, 136 p., 2017.

SOUSA, S. P. C.. **Avaliação do Impacto da Urbanização sobre o Escoamento Superficial por meio de Simulação Hidrológica**. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal da Paraíba, 72 p., 2016.

SOUZA, W. M.; AZEVEDO, P. V.; ARAÚJO, L. E.. Classificação da Precipitação Diária e Impactos Decorrentes dos Desastres Associados às Chuvas na Cidade do Recife–PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 2: 250–268, 2012.

TASSINARI, L. C. S.. **Dimensionamento de Sistemas de Drenagem Pluvial Utilizando Métodos de Baixo Impacto**. Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 80 p., 2014.

TUCCI, C. E. M.. **Plano Diretor de Drenagem Urbana**. Caxias do Sul, 2000.

TUCCI, C. E. M.. Gerenciamento da Drenagem Urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 7 (1): 5–27, 2002.

TUCCI, C. E. M. **Inundações urbanas: impactos da urbanização**. Porto Alegre: Ed. ABRH/RHAMA, 87–124, 2007.

TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 943 p., 2013.

USEPA – US Environmental Protection Agency. **Reducing Stormwater Costs through Low Impact Development (LID) Strategies and Practices**. EPA 841–F–07–006. Nonpoint Source Control Branch, Washington, D.C., 2008.

VAEZA, R. F.; FILHO, P. C. O.; GONÇALVES, A.; DISPERATI, A. A.. Uso e ocupação do solo em bacia hidrográfica urbana a partir de imagens orbitais de alta resolução. **Floresta e Ambiente**, 12 (1): 23–29, 2010.