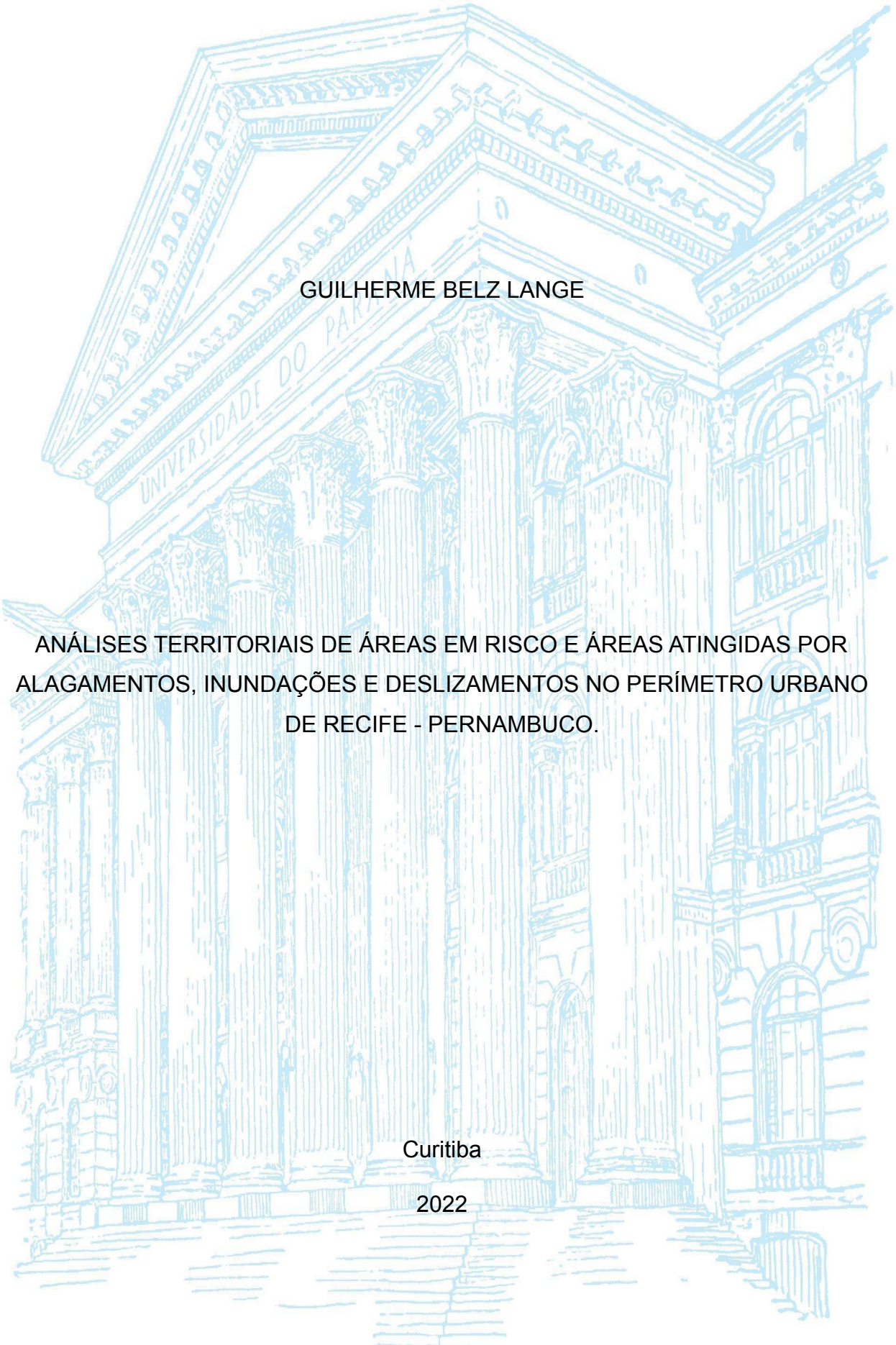
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ



GUILHERME BELZ LANGE

ANÁLISES TERRITORIAIS DE ÁREAS EM RISCO E ÁREAS ATINGIDAS POR ALAGAMENTOS, INUNDAÇÕES E DESLIZAMENTOS NO PERÍMETRO URBANO DE RECIFE - PERNAMBUCO.

Curitiba

2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GUILHERME BELZ LANGE

ANÁLISES TERRITORIAIS DE ÁREAS EM RISCO E ÁREAS ATINGIDAS POR ALAGAMENTOS, INUNDAÇÕES E DESLIZAMENTOS NO PERÍMETRO URBANO DE RECIFE - PERNAMBUCO.

Monografia apresentada na disciplina Projeto Final (GA158) de Graduação em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, Setor Ciências da Terra, Departamento de Geomática da Universidade Federal do Paraná, como requisito básico para obtenção do grau de Engenheiro Cartógrafo e Agrimensor.

Professor Orientador: Prof. Dr. Hideo Araki

Curitiba

2022

Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências da Terra
Engenharia Cartográfica e de Agrimensura

TERMO DE APROVAÇÃO

GUILHERME BELZ LANGE

ANÁLISES TERRITORIAIS DE ÁREAS DE RISCO ATINGIDAS POR ALAGAMENTOS, INUNDAÇÕES E DESLIZAMENTOS NO PERÍMETRO URBANO DE RECIFE - PERNAMBUCO

O Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná, foi APROVADO como requisito à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

Prof Dr Hideo Araki
Orientador(a) – Departamento de Geomática, UFPR

Prof Dr. Daniel Arana
Departamento de Geomática, UFPR

Profª. Drª. Naíssa Batista da Luz
Departamento de Geomática, UFPR

Curitiba, 20 de setembro de 2022.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo aplicar técnicas práticas de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura como Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas (SIG) a partir de problemas relacionados à chuva no meio urbano do município de Recife, capital do Estado de Pernambuco. Estas técnicas foram utilizadas inicialmente pela definição dos limites de estudo dada uma imagem orbital, desenvolvida a partir de métodos, como o de classificação por Árvore de Decisão, até a manipulação de dados geográficos, obtidos gratuitamente por órgãos públicos e privados. Foram definidas regiões críticas de risco para problemas pluviais no meio urbano a partir do seu território e das informações de áreas atingidas pelas fortes chuvas que atingiram o município no mês de maio e junho de 2022, desabrigando diversos moradores e causando muitas mortes na capital. A partir da análise deste fenômeno em específico pôde-se identificar as regiões atingidas e assim também compreender quais outros fatores contribuem para uma região ser atingida além da topografia da sua territorialidade. Por fim, buscou-se encontrar, a curto prazo, uma solução para as pessoas que se encontram desabrigadas, identificando por meio da malha urbana, regiões vazias para realocar essas pessoas por meio dos parâmetros de leis municipais, zoneamento e melhores condições para a população de baixa renda. Com o crescimento da densidade urbana nas cidades, será cada vez mais necessária a aplicação destas técnicas de gestão territorial, desenvolvendo da melhor forma o espaço e exigindo um grande volume de informações que deverão ser constantemente atualizadas. Sendo assim, o Sensoriamento Remoto pôde contribuir na elaboração de novas metodologias aplicando métodos urbanísticos de curto, médio ou longo prazo com vistas ao controle e caracterização da problemática de expansão territorial e seus fenômenos aplicados ao meio urbano.

Palavras-chave: sensoriamento remoto; sistemas de informações geográficas; desastres naturais; gestão territorial; planejamento urbano.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO……..4

2 REVISÃO DE LITERATURA……..6

2.1 ALAGAMENTOS, DESLIZAMENTOS E INUNDAÇÕES: DEFINIÇÕES E INTRODUÇÃO AO CONTEXTO BRASILEIRO…… 6

2.2 CONTEXTUALIZAÇÃO BRASILEIRA NO ASPECTO DE DESASTRES……..8

2.3 INUNDAÇÕES E DESLIZAMENTOS DE TERRA NO ESTADO DO PERNAMBUCO EM 2022…… 9

2.4 HISTÓRICO DE CHUVAS EM RECIFE-PE…… 13

2.5 SENSORIAMENTO REMOTO NOS PROCESSOS DE GESTÃO TERRITORIAL E PLANEJAMENTO URBANO…….. 15

3 MATERIAL E MÉTODOS…… 19

3.1 ÁREA DE ESTUDO……..21

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS……...24

3.3 PRÉ-PROCESSAMENTO DAS IMAGENS…….. 26

3.3.1 Definição dos Índices Espectrais de Interesse……...27

3.3.2 Definição de Bandas Espectrais de Interesse…… 27

3.3.3 Aplicação de Reamostragem……29

3.3.4 Reformatação e Recorte do Dimensionamento das Bandas Espectrais para Região de Interesse…… 29

3.3.5 Cálculo dos Índices Espectrais……..29

3.4 CLASSIFICAÇÃO PELO MÉTODO DA ÁRVORE DE DECISÃO……31

3.6 ÁREAS DE RISCO NO PERÍMETRO URBANO…… 41

3.7 ÁREAS ATINGIDAS NO PERÍMETRO URBANO……...47

3.8 DADOS COMPLEMENTARES AO MAPEAMENTO……...52

3.9 PROPOSTA DE SOLUÇÃO DE DESASTRES CAUSADOS PELAS CHUVAS - VAZIOS URBANOS…….. 56

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES……60

5 CONCLUSÃO……89

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS…….. 91

APÊNDICE 1……..95

APÊNDICE 2……..96

APÊNDICE 3……..97

APÊNDICE 4……..98

APÊNDICE 5……..99

APÊNDICE 6…… 100

1 INTRODUÇÃO

O aumento da ocorrência de desastres naturais em todo o mundo tem sido normalmente associado a diversos fatores como o aumento populacional, a fragmentação socioespacial, levando à ocupação de populações de baixa renda em áreas de risco e, principalmente, ao aumento de eventos extremos, frequentemente associados pelos cientistas ao aquecimento global. Nesse sentido, eventos de temporais, de chuvas intensas, de tornados ou de estiagens severas podem se tornar mais frequentes quando a atmosfera se encontra mais aquecida, aumentando assim a possibilidade de incidência de desastres.

De modo geral, este trabalho apresentou diversas aplicações no âmbito do planejamento urbano. De modo específico, a problemática estudada dar-se-á em torno da tentativa de modelar os problemas causados pela chuva, a partir de seu território, oriundo de um fenômeno prático ocorrido em março de 2022 como também uma solução a curto prazo para realocar habitações em áreas de risco com vistas a uma melhor convivência do meio natural e urbano. (DUARTE, 2015)

Assim, foram utilizadas técnicas de Sensoriamento Remoto e Sistema de Informações Geográficas (SIG) que, através de uma classificação de uma imagem orbital do satélite Sentinel, definiu os limites de uso e cobertura do solo e assim, buscou o melhor entendimento no meio urbano das áreas de risco por meio de seu território e do fenômeno ocorrido. Este processo foi realizado a partir da manipulação de dados geográficos como curvas de nível e a hidrografia local. Também foram estudadas informações que complementam o mapeamento das regiões atingidas tais como suas respectivas notícias e análises ao longo do tempo das ocorrências de suas precipitações.

A justificativa da escolha do tema empregado se deu na intenção de entender como as técnicas de Sensoriamento Remoto podem ser aplicadas na gestão territorial do meio urbano. Com a aplicação do método de classificação de árvore de decisão foi notável a identificação das características próprias na região presentes nas imagens orbitais e pela manipulação que poderá ser realizada de forma mais manual. Este último, portanto, possibilitou adaptar suas características de acordo com os seus propósitos a partir da escolha dos índices espectrais escolhidos para classificação e análise.

Os limites do campo em análise foram do município de Recife, capital do Estado de Pernambuco. Contudo, ao longo do trabalho, foram aplicadas técnicas para limitar as análises apenas para o espaço urbano de seu território. Os dados geográficos manipulados neste trabalho foram obtidos, de forma gratuita, pela disponibilização de órgãos públicos e privados. Tais dados também poderiam ser obtidos por métodos de outras áreas da Engenharia Cartográfica e de Agrimensura como, por exemplo, a obtenção de curvas de nível e nuvens de pontos por métodos de fotogrametria, a topografia e o processamento digital de imagens com levantamentos planejados de feições requeridas e ainda a aplicação do processo de super resolução nas imagens orbitais obtidas.

A finalidade deste trabalho foi o de aplicar estes conhecimentos e técnicas no contexto urbanístico de planejamento e gestão territorial. Este é um problema que atinge o Brasil recorrentemente em diferentes regiões, de diferentes formas e em diferentes órgãos nos quesitos de segurança, planejamento, prevenção e ações, sob eventualidade dos problemas relacionados a chuvas intensas. Desta maneira, foram identificados quais outras técnicas e assuntos que poderiam ser aplicados para a otimização da resolução deste problema e também para o devido mapeamento destas informações.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ALAGAMENTOS, DESLIZAMENTOS E INUNDAÇÕES: DEFINIÇÕES E INTRODUÇÃO AO CONTEXTO BRASILEIRO

Os eventos extremos de chuva são os principais deflagradores de movimentos de massa e inundações bruscas no Brasil e, consequentemente, na Região Metropolitana do Recife. Estudar a climatologia dos eventos extremos, sua frequência e impactos provocados por estes em determinadas localidades consideradas como áreas de risco a processos do meio físico, é uma atividade importante para a prevenção e mitigação de desastres.

As questões envolvendo alagamentos, inundações, deslizamentos de encostas, são periódicas e tendem a ocorrer em determinadas épocas do ano com eventos de intensidade variada em diferentes regiões da Terra. O clima e os deslizamentos de terra atuam apenas parcialmente de modo a sobrepor as escalas espaciais e temporais, sendo assim, dificultando a avaliação dos impactos climáticos em deslizamentos de terra.

De todos os organismos vivos, o ser humano é o responsável pelas maiores e mais importantes transformações ocorridas no relevo da terra. Com o crescimento demográfico acelerado e domínio tecnológico, rapidamente, o homem transformou a paisagem natural em paisagens rurais e urbanas. As ações necessárias para alterar as paisagens tais como as mudanças no relevo, na drenagem, na vegetação, poluição do ar, alteração do clima, tornaram o ser humano um poderoso agente modificador.

O crescimento desordenado do meio urbano no Brasil cresceu, em sua maior parte, sem nenhum planejamento, provocando diversos problemas ambientais e estruturais. Isso acarretou em diversos problemas urbanos de ordem social e ambiental. Eis alguns deles: a favelização, devido à falta de planejamento e de políticas públicas que fez com que muitas pessoas ao se dirigirem às cidades não encontrassem locais para se abrigarem e ocupassem determinadas áreas terrenas; o excesso de lixo; a poluição; a violência e as inundações.

Segundo FARINA (2006), a experiência brasileira quanto aos problemas que surgem no âmbito de planejamento territorial se dá na necessidade de resolver os

problemas gerados pela desorganização espacial. Problemas esses que, quando ignorados, podem gerar consequências danosas à sociedade, principalmente, ao se tratar de fenômenos intensos quando estes não são previsíveis. Exemplos de fenômenos que se apresentam de forma frequente no Brasil são os problemas pluviais como os alagamentos, inundações e deslizamentos. Estes problemas causam danos à propriedade física urbana tal como o uso habitacional de áreas de risco que, mesmo assim, são utilizadas como moradia; danos sociais, como na quantia exagerada de moradores em situação de rua que não tem onde ficar e dormir; danos na saúde e segurança, dada a má distribuição de hospitais, postos de saúde, postos policiais, que podem não atender a toda população e fazer falta em situações de emergência.

Além do planejamento da organização espacial urbana, também ocorrem fenômenos da natureza que atingem este meio como chuvas acentuadas, que quando em contato ao espaço antrópico geram problemas ambientais urbanos como enchentes, deslizamentos de terra ou chuvas ácidas. Esses problemas atingem o Brasil com bastante frequência e em variadas escalas, causando problemas urbanos irreversíveis, além da possibilidade de tirar vidas.

Com o aquecimento global crescendo vertiginosamente ao longo dos anos, eventos de inundações ocorrem cada vez com uma maior frequência e em uma maior intensidade de chuvas fortes. E assim, como sistema de drenagem das cidades brasileiras não são projetadas para as intensidades desses fenômenos, cada vez mais desastres relacionados ao contexto pluvial vem ocorrendo no Brasil.

Enchentes e deslizamentos são problemas antigos no Brasil, que estão se intensificando cada vez mais com o passar do tempo (ROSSIGNOLI, 2022). Além da chuva, a impermeabilização do solo e o descarte incorreto do lixo também são fatores que contribuem para os fenômenos das chuvas que são os alagamentos, deslizamentos e inundações.

O fenômeno do alagamento é o mais comum em centros urbanos, este ocorre quando há acúmulo de água em um local que não é próximo a um rio. Geralmente, está associado a uma falha (ou ausência) nos sistemas de drenagem (bueiros e tubulações subterrâneas que levam a água das chuvas para os leitos dos rios) naquele local. Relacionado às cheias de rios está a definição de enchente. Os rios perenes possuem dois tipos de leito: um menor, principal, onde a água está

sempre presente; e um maior, complementar, que é invadido pela água apenas em épocas de cheias. No clima tropical, por exemplo, essas cheias, também chamadas de enchentes, acontecem em decorrência das chuvas intensas de verão (ROSSIGNOLI, 2022). Já, por sua vez, a inundação ocorre quando a água transborda e sai do leito complementar do rio, atingindo o que está em volta dele. Geralmente, o que é noticiado como enchente na verdade é uma inundação, como foram os casos ocorridos nos estados do Rio de Janeiro, Bahia, São Paulo e Pernambuco no ano de 2022.

2.2 CONTEXTUALIZAÇÃO BRASILEIRA NO ASPECTO DE DESASTRES

O conhecimento sobre a demografia da população e as condições de vida em áreas de risco são cruciais para a gestão de risco e resposta a desastres. No Brasil, a única fonte de informações sobre a população brasileira disponível para todo o país, em escala intraurbana, é fornecida pelo Censo Demográfico desenvolvido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Entretanto, a associação das informações censitárias com as áreas de risco não pode ser feita de forma direta e automatizada, devido às diferentes geometrias entre as áreas de risco e os setores censitários.

Segundo DIAS (2018), o desenvolvimento socioeconômico brasileiro caracterizou-se por diferentes usos e ocupações do solo, revelando uma distribuição espacial heterogênea de sua população ao longo do território. Esse processo, associado à variabilidade climática interanual, intrínseca a um país de dimensões continentais, e a uma suscetibilidade natural do terreno, contribui para a ocorrência de desastres relacionados a deslizamentos e inundações. Não obstante, nos últimos 20 anos o número de desastres tem aumentado, devido à intensificação de eventos geodinâmicos, hidro meteorológicos e climáticos em muitas regiões, ou em razão do incremento da população que vive em áreas de risco. Na última década, um número significativo de desastres foi registrado no Brasil, sendo algumas das ocorrências consideradas eventos do século. Em 2008, a região do Vale do Itajaí, no estado de Santa Catarina, sofreu perdas econômicas e sociais significativas devido às chuvas intensas, enchentes e múltiplos deslizamentos, que terminaram em centenas de mortes e milhares de atingidos. Em 2010, eventos climáticos extremos causaram

danos nos estados de Pernambuco, Alagoas e deslizamentos de terra no estado do Rio de Janeiro, causando centenas de mortes e cerca de 12 milhões de pessoas afetadas, sendo 6 milhões na cidade do Rio de Janeiro somente em janeiro. Em janeiro de 2011, ocorreu o pior desastre natural já registrado no Brasil, na região serrana do estado do Rio de Janeiro. Houve mais de 900 mortes confirmadas, 300 desaparecidos e dezenas de milhares desalojados e desabrigados após o desastre.

Em 2022, já nos primeiros meses do ano, os Estados da Bahia, Minas Gerais, Goiás, Rio de Janeiro e Espírito Santo sentiram os efeitos das precipitações muito acima do esperado. Enquanto isso, municípios paulistas, como Sorocaba, enfrentam racionamento de água em meio à pior crise hídrica em 90 anos. No sul do país, houve recorde de calor e seca. Os efeitos do fenômeno climático La Niña são conhecidos, mas assusta a intensidade no contexto atual brasileiro. O ano de 2022, apresenta um aumento de aproximadamente 57% em relação a 2021. Desde 2019, o número de mortes pela chuva já vinha crescendo exponencialmente em relação aos anos anteriores.

2.3 INUNDAÇÕES E DESLIZAMENTOS DE TERRA NO ESTADO DO PERNAMBUCO EM 2022

Nas chuvas durante o mês de maio em Pernambuco, segundo os últimos dados reportados atualizados até o dia 5 de Julho, mais de 25 mil pessoas foram forçadas a deixar suas casas e 133 morreram nos deslizamentos e inundações que afetaram, principalmente, a região metropolitana do Recife, nessa que já se tornou a maior catástrofe dos últimos 50 anos do Estado (Época Negócios, 2022).

As chuvas extremas na região começaram em 23 de maio e continuaram até junho. Em menos de 24 horas, entre os dias 27 e 28 de maio, partes de Pernambuco receberam 70% de todo o volume de chuva esperado para o mês de maio. Mais de 40 cidades de Pernambuco decretaram ou estão em processo de decretar situação de emergência por conta das chuvas que atingem a Região Nordeste do país.

De acordo com a pesquisa, as avaliações iniciais mostram que as enchentes e, principalmente, os deslizamentos de terra afetaram desproporcionalmente as comunidades vulneráveis com devastação particular em bairros de baixa renda. Assim, a magnitude desse desastre sobre esses grupos foi exacerbada pela

vulnerabilidade estrutural pré-existente na região. Mais de 32 mil famílias moram em áreas de risco de deslizamentos somente no Recife.

Segundo Edvânia Pereira dos Santos, da Agência Pernambucana de Águas e Clima (Apac), os alertas dados pelo Estado ajudaram a prevenir uma tragédia ainda maior. O plano acionado para a tragédia, foi o plano de contingência. Este é um planejamento previsto em lei federal de 2012, determinando que os municípios tenham definidas ações de proteção e defesa civil. Elaborado a partir de uma hipótese de desastre, é nele que está a definição de procedimentos, ações e decisões em caso de eventos extremos, com preparação e resposta ao ocorrido. Com o plano acionado, a Defesa Civil enviou alerta por mensagem de texto a 32 mil famílias para que tivessem "atenção especial neste momento" e, qualquer necessidade, entrassem em contato com a Defesa Civil.

No Brasil, a instituição responsável pelo monitoramento e alerta precoce é o Centro Nacional de Monitoramento e Alerta Prévio de Desastres Naturais (CEMADEN), pertencente ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicação (MCTIC). Esse centro, criado em 2011, monitora municípios brasileiros em risco de deslizamentos, inundações e enchentes. Portanto, com a finalidade de melhorar o monitoramento e o alerta precoce, é fundamental ter acesso a informações sistematizadas sobre o território brasileiro, que podem então ser incorporadas aos sistemas de alerta precoce, contribuindo para medidas efetivas de prevenção, mitigação e resposta a desastres.

O CEMADEN emitiu um boletim geo-hidrológico alertando para “risco alto” de chuvas intensas e deslizamentos na região metropolitana de Recife (MADEIRO, 2022). A Prefeitura do Recife confirmou ter usado como referência os alertas da Apac e só acionou o plano de contingência dois dias após o alerta do CEMADEN.

Segundo uma nota emitida pela prefeitura, a Defesa Civil do Recife "toma como referência os alertas emitidos pela Apac, órgão competente para as previsões de tempo e temperatura no Estado de Pernambuco e integrante do sistema nacional de meteorologia". a Defesa Civil do Recife agiu imediatamente após a Apac emitir o alerta, no final da manhã de sexta, com a convocação de mais de 3 mil servidores municipais para atuarem em regime de plantão. Além o envio de alerta, via mensagem de texto (sms), para mais de 32 mil famílias que moram em áreas de risco; o reforço da orientação às pessoas que moram em áreas de risco para ficarem

atentas às chuvas e procurem locais seguros para se abrigarem; e a disponibilização de vagas nos abrigos Irmã Dulce e Emergencial para acolher os moradores que pretendiam se proteger.

Líderes comunitários afirmam que não foram alertados sobre a necessidade de desocupar as áreas nem receberam ajuda, como veículos que os levassem a abrigos seguros.

> Nenhum morador dessas comunidades recebeu alerta para que saíssem de suas casas; tampouco tiveram ajuda naquele momento anterior para que se antecipasse e não acontecessem as mortes", conta Carla Eduarda da Paz, coordenadora no estado do Movimento Nacional de Luta Pela Moradia. (FRAGA, 2022)

O gerenciamento para minimização dos riscos é a principal finalidade da Defesa Civil, consistindo na forma de utilização das informações para subsidiar as ações de mapeamento e monitoramento visando minimizar os riscos de deslizamentos de encostas no município. As Ações e Serviços da Defesa Civil dependem de informações sobre o território e suas características de riscos para poder planejar e executar com mais assertividade. Assim, compreender o perfil de risco da cidade do Recife é fundamental. O Plano Municipal de Redução de Risco (PMRR) consiste no diagnóstico do risco e contribui para otimizar as ações e recursos na busca da consolidação de investimentos e de indicação das soluções técnicas para morros e alagados. O PMRR serve para nortear as ações e recursos em curto, médio e longo prazo e dá uma visão global dos setores de riscos na estrutura descentralizada da SEDEC.

De acordo com dados do Plano Municipal de Redução de Riscos (PMRR) realizado em 2006, 469.332 pessoas ocupavam as áreas de morros, encontrando-se 10.364 pessoas em áreas ameaçadas por ocuparem moradias em setores de risco alto e muito alto. Neste mesmo plano foram identificadas 2.591 moradias ameaçadas em Recife. A cidade do Recife também apresenta um total de 677 setores de riscos, com grandes áreas susceptíveis à ocorrência de desastres, tanto pela vulnerabilidade da área, quanto pela incidência mais constante de eventos adversos. A composição da área territorial da cidade tem predominância de ocupação nos morros, com 67,43% e 23,26% áreas de planícies.

O Centro Nacional de Gerenciamento e Risco de Desastres (CENAD), órgão brasileiro responsável pelo gerenciamento de desastres, foi acionado no evento relacionado às chuvas em Pernambuco entre o final de maio e começo de junho, que segundo informações da Defesa Civil causaram muitas mortes e desaparecimento de civis em várias regiões do Estado. O CENAD é o usuário Autorizado no Brasil no âmbito do Disasters Charter - Carta Internacional Espaço e grandes desastres e acionou o *The Internacional Charter Space and Major Disasters* que dá o suporte para obter recursos de satélite, como imagens e mapas informativos para as regiões afetadas por desastres em todo o mundo, onde o INPE auxiliou na confecção de mapas com a colaboração de 16 alunos de Mestrado e Doutorado de seu Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto (PGSER) e em conjunto com o CEMADEN e o CENAD, onde produziram mais de 50 mapas das regiões afetadas pelas chuvas em Pernambuco em 2022.

Diante do exposto e visando a contribuição do Engenheiro Cartógrafo e Agrimensor para este contexto, em 2012, a Prefeitura de Recife elaborou uma avaliação de ações de prevenção de deslizamento de encostas no município de Recife para nortear ajustes para combater fraquezas e ameaças enfrentadas nas ações de contenção de deslizamentos de encostas no município. E assim, propôs encaminhamento das seguintes deliberações:

Recomenda-se à Secretaria de Controle, Desenvolvimento Urbano e Obras do município de Recife:

- Implementar soluções definitivas, tempestivamente e nos pontos com maior grau de risco, com o objetivo de reduzir o número de pontos de risco, o número de desastres e os custos com ações de prevenção; e
- Aplicar os critérios estabelecidos no Plano Municipal de Redução de Riscos, quando da definição das medidas estruturais a serem implementadas nos setores e pontos de risco do município.

Recomenda-se à Coordenadoria de Defesa Civil de Recife (Codecir):

- Atualizar de forma contínua e sistemática as informações sobre setores e pontos de risco do município de forma a retroalimentar permanentemente as informações levantadas quando da realização do PMRR;

- Adquirir sistema informatizado de banco de dados que contemple, dentre outras informações, o mapeamento e monitoramento dos setores e pontos de risco com critérios hierárquicos;
- Atualizar a base cartográfica do município com vistas a obter um georreferenciamento mais preciso e facilitar os trabalhos das equipes de campo;
- Planejar a realização das vistorias de monitoramento, independentemente da demanda da população, prioritariamente nos imóveis de risco alto e muito alto; e Realizar vistorias de monitoramento prioritariamente nos imóveis de risco alto e muito alto, especialmente nos meses que antecedem os períodos críticos de chuva, independentemente da demanda da população, com o intuito de dar providências a medidas preventivas e de acompanhar o cumprimento dos encaminhamentos tomados em vistorias anteriores.

Estas propostas serão instrumento para contribuir de forma mais efetiva em ações de prevenção de deslizamentos de encostas, diminuindo a ocorrência de acidentes e óbitos, diminuindo também os gastos com o restabelecimento da situação de normalidade e proporcionando resultados de indicadores de desempenho em patamares bem superiores aos atuais. Algumas destas atividades recomendadas nesta avaliação foram abordadas neste trabalho, de forma a colaborar de forma prática ao desempenho das ações de Prevenção de Deslizamento de Encostas no município de Recife.

2.4 HISTÓRICO DE CHUVAS EM RECIFE-PE

No início da década de 80, a Zona Norte do Recife foi atingida por vários escorregamentos com milhares de desabrigados e mais de 50 vítimas fatais (Gusmão Filho, 1990), em decorrência da ocupação desordenada das encostas pela população de baixa renda, sob a forma de invasões, onde se verificam taxas de ocupação maiores que 400 habitantes por hectare.

O problema de cheias no Recife é histórico e remonta aos períodos colonial e da invasão holandesa. "A primeira enchente que se tem notícia no Recife foi no

século 17, lá pelos anos 1600. Maurício de Nassau governou o Recife quando aconteceu a segunda grande enchente e ele foi uma das primeiras pessoas que mandou construir nas margens do Capibaribe, na região que seria mais ou menos Afogados [bairro da Zona Oeste do Recife]", acrescenta a historiadora.

A historiadora Gizelly Medeiros cita duas grandes enchentes na capital pernambucana ocorreram durante o período da ditadura militar (1964-1985). A cheia de 1966, na qual, ocorreu um número maior de mortes e mais pessoas foram atingidas. No entanto, a de 1975 foi mais caótica, causou mais danos e deixou o município de Recife completamente alagado (NÓBREGA, 2022).

Ana Patrícia Nunes BANDEIRA (2010) rememora que em abril de 1996, uma chuva extrema de 139,4mm/12 horas, foi uma das maiores dos 50 anos anteriores, segundo os jornais locais, as quais provocaram deslizamentos de encostas em quase todos os morros da Região Metropolitana de Recife, registrando-se um total de 62 mortes. No ano de 2000, milhares de pessoas sofreram as consequências das chuvas extremas que provocaram diversos processos de instabilidade de encostas e deixaram várias áreas inundadas em todo Estado de Pernambuco. No dia 01 de agosto de 2000 foi registrada a maior chuva diária da época, desde 1970. A estação pluviométrica Curado (Recife) registrou 185,9mm em 24 horas de duração. Nesse ano ocorreram 25 mortes por deslizamentos de encostas na Região Metropolitana de Recife e mais de 17.500 pessoas ficaram desabrigadas em todo o estado de Pernambuco.

Desde 1984 a Região Metropolitana do Recife apresenta registros oficiais de deslizamentos com vítimas fatais. No período de 1984 a 2009 registrou-se um total de 202 mortes por deslizamentos de encostas em toda região metropolitana do Recife, onde, só na capital Pernambucana registram-se 134 mortes.

Osvaldo GIRÃO (2006) lembra que as mortes das cheias do século passado e das chuvas deste ano têm características diferentes. Ele cita que as cheias dos anos de 1966 e 1975 foram num momento em que a população recifense era menor. Hoje temos 1,6 milhão de habitantes, mas naqueles anos tínhamos uma população certamente menor que 1 milhão, mas que habitava na área de planície. Por conta disso, os casos de óbitos eram majoritariamente ligados à questão de afogamento. Comparando com o momento atual, tivemos muitos mortos por movimentos de massa que são esses deslizamentos. O poder público, completa o professor, tem a

responsabilidade de fazer com que essas áreas não sejam ocupadas, mas que a população seja realocada. Essa, inclusive, não é uma demanda de apenas uma gestão, mas de duas ou três, segundo o professor.

2.5 SENSORIAMENTO REMOTO NOS PROCESSOS DE GESTÃO TERRITORIAL E PLANEJAMENTO URBANO

Técnicas de mapeamento como Sistemas de Informações Geográficas (GIS) e Sensoriamento Remoto são amplamente utilizadas para melhor compreender e gerenciar os riscos nas cidades modernas. Realizar um mapeamento de inundações em áreas urbanas representa um grande desafio para uma gestão territorial devido à complexidade dos ambientes naturais e antrópicos presente no espaço urbano, desde a geomorfologia, a cartografia, o saneamento básico e tantas outras complicações envolvidas nesta modelagem. Para poder realizar uma melhor análise sobre estes fatores, deve-se primeiramente identificar os tipos de desastres que interferem no espaço atingido. A falta de capacidade do sistema de drenagem, absorção do solo e escoamento das águas das chuvas, bem como o rompimento de barragens e comportas são exemplos de problemas causados por falhas do ser humano no planejamento urbano e segurança do seu espaço. Além disso, há inundações causadas pela cheia dos rios nas áreas de várzea e eventos marítimos que são exemplos de como eventos naturais podem atingir a civilização urbana de forma que cause danos.

Neste contexto, o Sensoriamento Remoto tem se destacado como uma ferramenta eficaz para o mapeamento da cobertura terrestre em larga escala (HANSEN et al., 2013) e tem sido amplamente utilizado na atualização dos mapas de uso e cobertura de terra bem como no mapeamento (LO; CHOI, 2004). Por meio do uso de imagens de sensores remotos é possível realizar mapeamentos, avaliações e monitoramento da cobertura terrestre (BELWARD; SKØIEN, 2015; CHENG; HAN, 2016).

Comumente é feita referência ao uso de imagens do satélite Landsat que representam registros valiosos e contínuos da superfície terrestre nas últimas décadas (USGS, 2018). Apesar disso, com o advento de novas tecnologias e melhorias no campo do Sensoriamento Remoto, torna-se necessário explorar novos

meios de obter informações, neste aspecto, pode-se citar o novo satélite Sentinel-2 (S-2), um sensor multiespectral de resolução espacial média produzido pela Agência Espacial Européia (ESA). O S-2 possui um sensor com 13 bandas espectrais, de alta e média resolução espacial (10, 20 e 60 m) e resolução radiométrica de 12 bits (ESA, 2018), sendo capaz de alcançar alta resolução temporal (10 dias ou então 5 dias com dois satélites) que garante a continuidade dos dados necessários para o monitoramento global da terra (VAN DER MEER et al., 2014).

Métodos digitais de classificação de imagens de Sensoriamento Remoto têm adquirido uma importância crescente no reconhecimento automático de padrões da superfície terrestre (RICHARDS et al., 2005). Desta forma, tendo ciência que o Sentinel-2/MSI é um satélite recente, pesquisas a respeito do seu potencial ainda são escassas. Nesse sentido, o acesso liberado aos dados de sensores com características inovadoras impulsiona a realização e a investigação de novos estudos.

Segundo RUIZ, CATEN e DALMOLIN (2014), nos últimos 40 anos, houve uma evolução no desenvolvimento de instrumentos que possibilitam a coleta de um grande volume de dados, a exemplo do Sensoriamento Remoto com plataformas e sensores com crescente ganho em resolução temporal, espacial, radiométrica e espectral. Simultaneamente ao aumento do volume de dados sobre a superfície terrestre, a capacidade de processamento dos computadores e a evolução dos algoritmos de reconhecimento de padrões para a classificação da cobertura da terra tornaram-se também mais sofisticados.

Os algoritmos de árvore de decisão apresentam vantagens para a classificação da cobertura da terra, entre elas, podem ser citadas: a facilidade de interpretação dos resultados, o baixo tempo de processamento, a capacidade do modelo trabalhar com dados medidos em distintas escalas, o fato de não demandar distribuição normal do dados e a capacidade em processar as relações não lineares entre os preditores e as classes de cobertura da terra (FRIEDL & BRODLEY, 1997).

De acordo com as definições de QUINLAN (1996), o algoritmo árvore de decisão pode ser entendido como uma hierarquia de ‘nós’ que são conectados por ramos, uma vez que sua estrutura traduz uma árvore invertida, a qual se desenvolve da raiz para as folhas. O nó de decisão possui um teste para algum atributo, e cada ramo descendente corresponde a um possível valor para esse atributo, sendo a

folha relacionada a uma classe. O caminho completo da árvore, que vai da raiz para a folha, determina uma regra de classificação. Na classificação, as características dos dados utilizados têm influência na classificação resultante. Fatores como o número de classes e o volume de dados para treinamento dos algoritmos são elementos críticos para a acurácia da classificação da cobertura da terra. Para o método utilizado, outra relação importante está na complexidade (tamanho) da árvore gerada com seu poder preditivo. Em geral, quanto mais complexa seus parâmetros, maior é seu potencial preditivo (PAL & MATHER, 2003). Por outro lado, árvores de decisão grandes são de difícil implementação em programas de Sistema de Informação Geográfica.

Para estes efeitos temos como definição para os Índices Espectrais a maximização da visualização de algum fenômeno presente em alguma determinada superfície associado, ou não, a uma variável ambiental mensurável. Este permite comparações espaciais e multitemporais a partir de operações matemáticas, podendo ser executadas por configurações simples. Um exemplo clássico dessas operações é o Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), que, a partir de conhecimento que a reflectância da vegetação é alta no infravermelho próximo (*Nir - Near Infra-Red*) e a vegetação sadia apresenta alta absorção no vermelho (*RED*), é possível obter por meio da relação do Infravermelho próximo com o Vermelho (*Nir/RED*), onde a partir da sua diferença (subtração) de bandas proporciona-se um índice de vegetação, onde seus valores variam de -1 a 1. Porém, para normalizar esta diferença, usa-se o contexto de contraste, que informa o estado da vegetação e é conhecido por índice de vegetação por diferença normalizada.

$$NDVI = \frac{Nir - RED}{Nir + RED}$$

Outros índices se configuram através deste princípio, porém contendo outros parâmetros de composição e com finalidades tanto ambiental, quanto urbana. A partir, desses e de outras operações matemáticas, das mais complexas às mais simples é possível fazer diversas análises quanto à superfície de interesse. Estes geralmente partem de um pré-processamento de correções geométricas e radiométricas, a qual, se é necessário escolher o método da detecção do fenômeno que queira ser identificado, aplicar um método de classificação deste índice se

necessário e então aplicar os devidos algoritmos o destacamento, suavização e detecção das alterações por meio de técnicas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), para que, por fim seja gerado os produtos cartográficos o qual se deseja e assim realizar seus cálculos e testes estatísticos para se ter o controle e garantia da qualidade avaliando suas precisões.

Pode-se afirmar que alterações em superfícies são acontecimentos constantes na natureza, e que foram agravados com as intervenções humanas conforme a tecnologia foi expandida para as mais variadas áreas. Sendo assim, o monitoramento de uso/cobertura de solo se mostra com grande importância dentro das mais variadas áreas.

A partir da visão de um mundo cada vez mais dinâmico com relação a suas feições e tecnologias, junto à demanda rápida de informações precisas, um dos principais objetivos do Sensoriamento Remoto se torna não apenas gerar informação a partir de imageamento de satélites, como também avaliar técnicas para melhor representar a superfície desejada, através de índices e estudos das bandas que compõem as imagens.

A precisão envolvida para cada estudo dependerá das escolhas feitas durante o processo de produção dos mapas, desde o pré-processamento, até a escolha de cores do produto final. Fatores como o encobrimento por nuvens influenciam na escolha da época da coleta das imagens também, visto que certas épocas do ano tendem a ser mais encobertas do que outras.

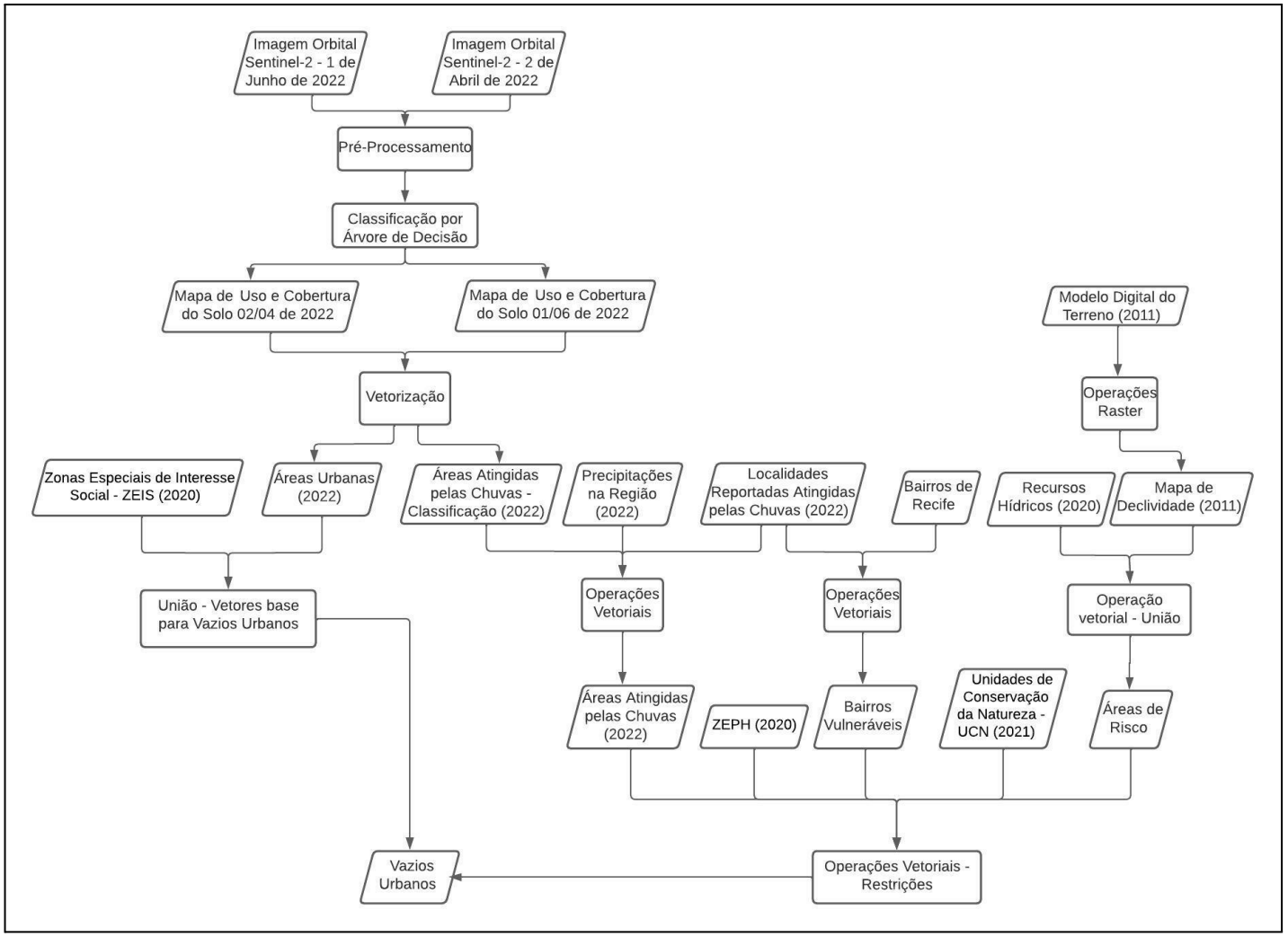
3 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho visa realizar uma análise prática dos problemas de alagamentos, inundações e deslizamentos no perímetro urbano, causado nas cidades brasileiras por conta do crescimento urbano desordenado e sem um planejamento para evitar tais complicações. A partir deste problema, que é recorrente no contexto brasileiro, o desenvolvimento deste trabalho se deu a partir de um exemplo prático para poder mapear essas informações de diferentes perspectivas.

Devido o contexto dos deslizamentos ocorridos no município de Recife-PE no ano de 2022, onde são reportadas ao menos 106 mortos conforme balanço da Secretaria Estadual de Defesa Social, foram desenvolvidas etapas para estruturar as informações e realizar análises através do contexto territorial no município deste fenômeno ocorrido.

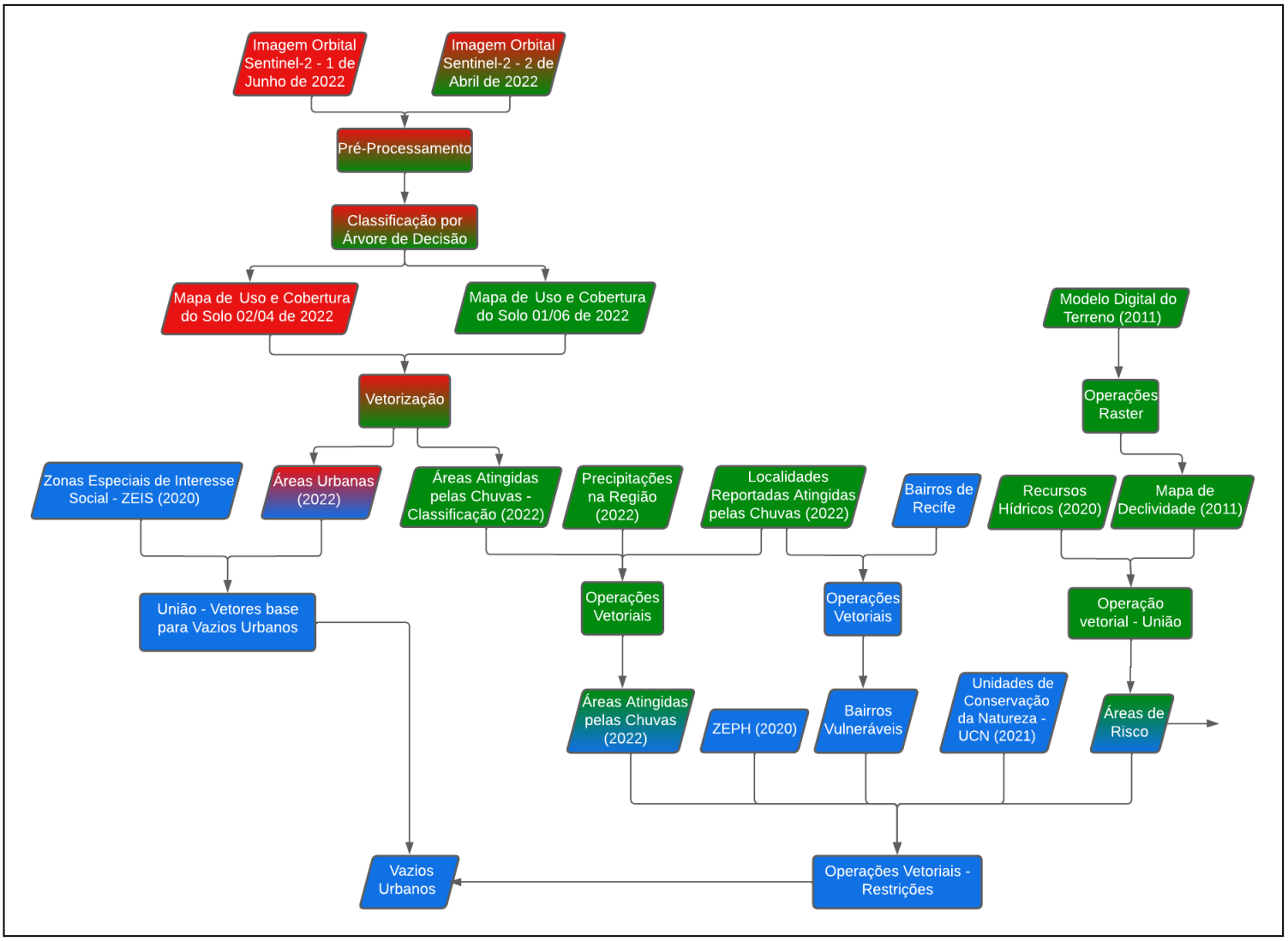
Para estabelecer a área de interesse neste trabalho foi gerado um mapa de uso e cobertura de solo da superfície do município por meio de uma classificação por meio da técnica de árvore de decisão a fim de reconhecer informações do terreno tais como vegetação, hidrografia e a área urbana através dos índices espectrais, através das bandas espectrais, presentes nas imagens. Dessa forma, foram escolhidos índices relacionados à vegetação (NDVI), água (NDWI) e área construída (NDBI) para o município estudado e as classificações foram executadas a partir dos valores de tais índices. Todos os dados e operações realizadas neste trabalho foram desenvolvidos conforme o diagrama apresentado na FIGURA 1 e a segmentação por etapas na FIGURA 2, onde em vermelho estão representados os processos da etapa 1, em verde os processos da etapa 2 e em azul os processos da etapa 3. Há processos e dados que foram utilizados em mais de uma etapa, estes, estão apresentados em mais de uma cor.

FIGURA 1 - Diagrama da Metodologia dos processamentos e dos dados utilizados para o desenvolvimento do trabalho



FONTE: Autor

FIGURA 2 - Diagrama segmentado por etapas da Metodologia dos processamentos e dos dados utilizados para o desenvolvimento do trabalho



FONTE: Autor

3.1 ÁREA DE ESTUDO

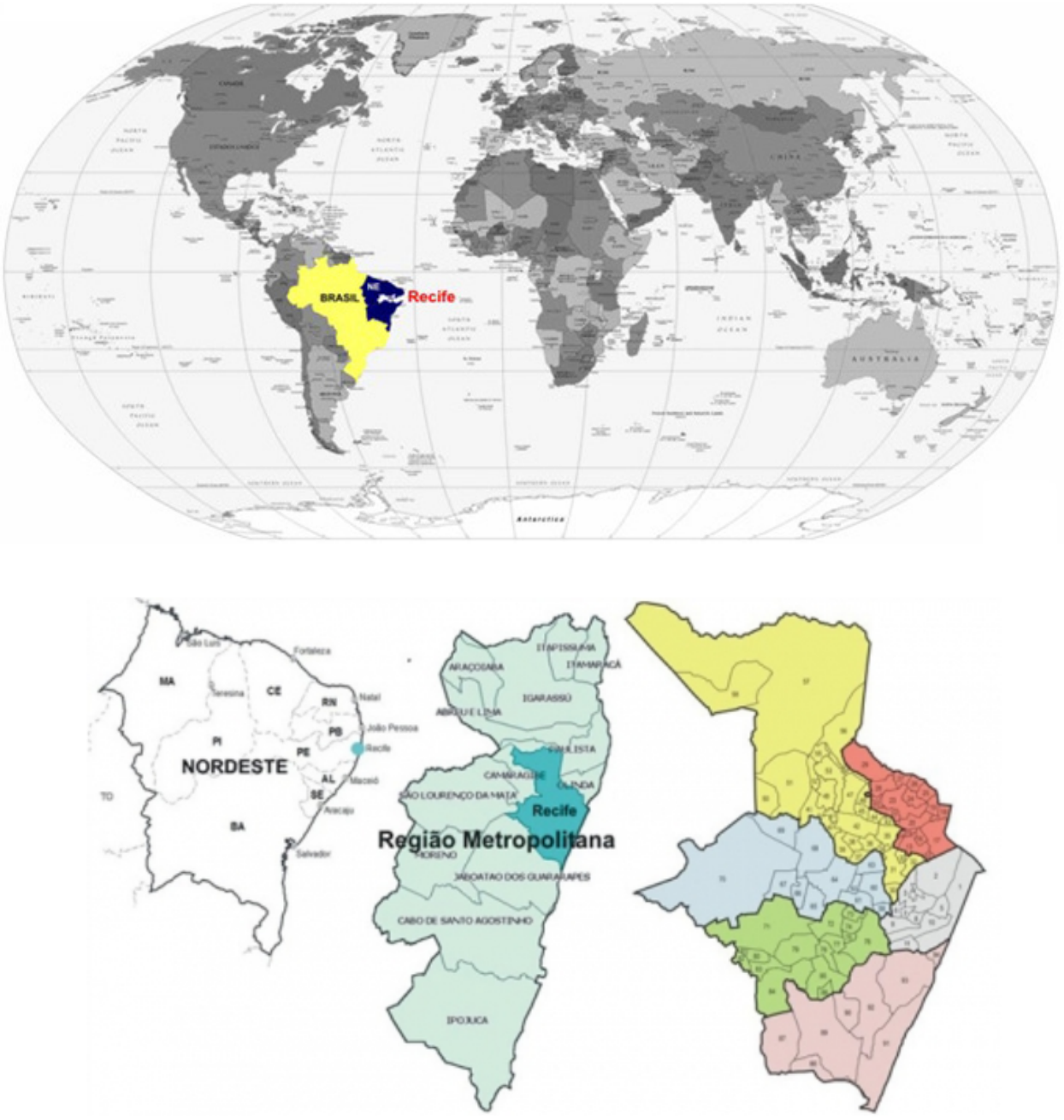
Como mencionado, a partir das chuvas no Nordeste do Brasil, a delimitação deste estudo estará no município de Recife, na qual, suas características territoriais apresentados por sua prefeitura são:

- Região: Nordeste;
- Estado: Pernambuco;
- Mesorregião: Metropolitana de Recife;
- Microrregião: Recife (capital do Estado);

- Ano de instalação: 1709 (ano de elevação do povoado à vila);
- Data cívica: 12 de março;
- Área: 217,01 km²;
- Número de bairros: 94 (divididos em 06 Regiões Politico-Administrativo – RPAs);
- População (2013): 1.599.513 habitantes (estimativa IBGE);
- Densidade Demográfica: 7.370,68 habitantes/ km²;
- Taxa de Urbanização: 100%;
- Gentílico: Recifense;
- Localização: Ocupa posição central no litoral do nordeste do Brasil, situando-se na área central da Região Metropolitana do Recife, a 800 km das metrópoles regionais de Salvador e Fortaleza;
- Limites: Limita-se ao norte com os municípios de Olinda e Paulista; ao sul, Jaboatão dos Guararapes; a leste com o oceano Atlântico e a oeste com São Lourenço da Mata e Camaragibe;
- Coordenadas geográficas: latitude 8º 04’ 03’’ s e longitude 34º 55’ 00’’ w;
- Altitude: 4 metros acima do nível do mar;
- Composição da área territorial: 67,43% de morros; 23,26% de planícies; 9,31% de aquáticas; e 5,58% de Zonas Especiais de Preservação Ambiental – ZEPA.
- Clima: tropical-úmido;
- Fuso horário: UTC-3 (Universal Time Coordinated – Tempo Universal Coordenado), a partir de menos 03 (três) horas do horário do Meridiano de Greenwich;

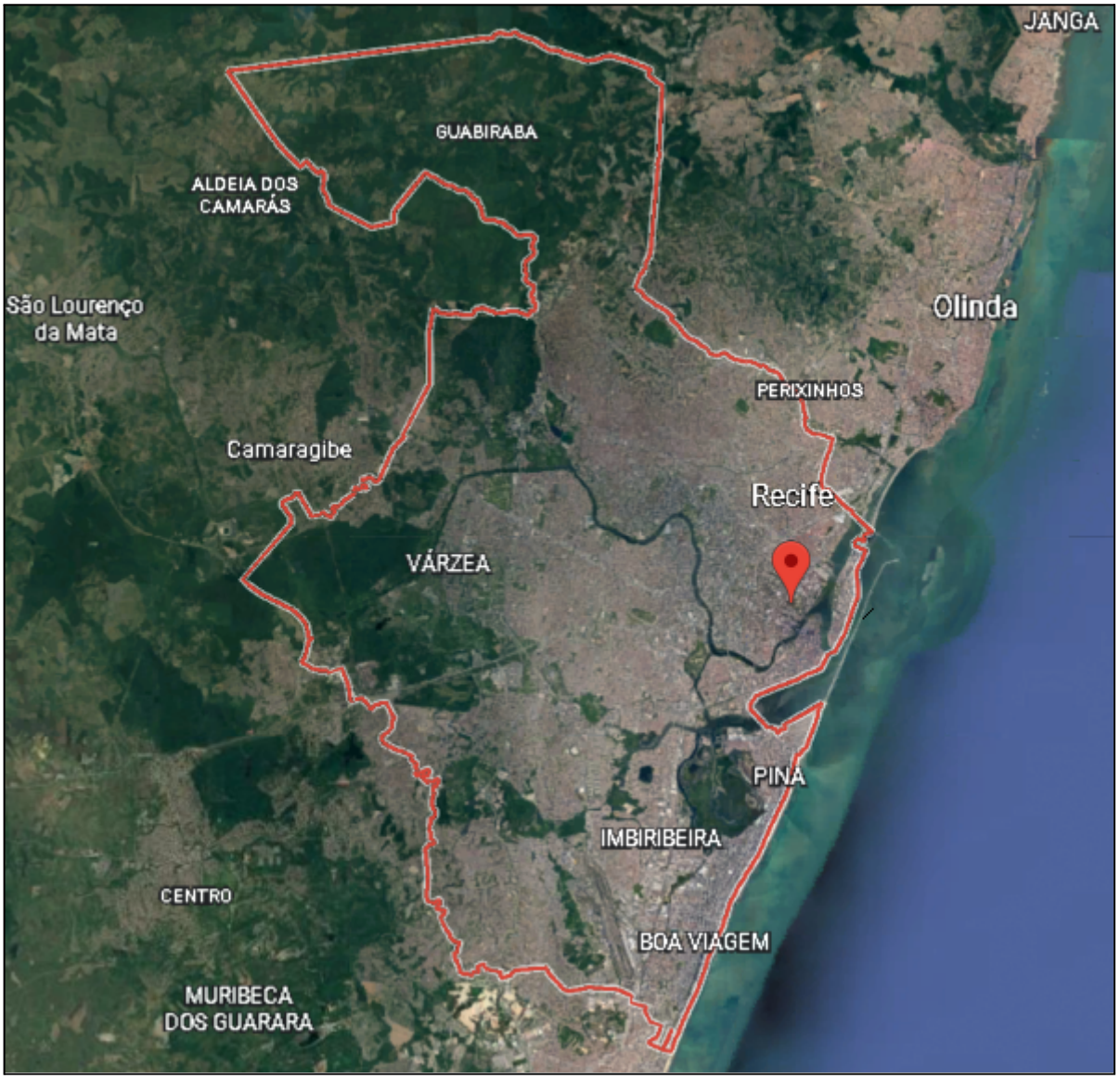
Para realizar uma melhor localização do município, a FIGURA 3 e 4 contribui para a identificação do posicionamento e para comparação dos resultados que serão alcançados ao longo do trabalho.

FIGURA 3 - Localização de Recife-PE, a área de estudo para este trabalho



Fonte: Prefeitura de Recife-PE

FIGURA 4 - Delimitação de Recife-PE, a área de estudo para este trabalho



Fonte: Google Earth

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O seguimento deste trabalho se deu a partir de 3 pontos de vistas diferentes para compreender de formas distintas como contribuir para o entendimento dos problemas causados pelas chuvas e identificar as áreas de risco no território do município de Recife. As 3 etapas desenvolvidas foram:

- ETAPA 1 - Análise Territorial datado antes da época dos Desastres (imagens de satélites obtidas no dia 02/04/2022) - Análise de Áreas de Risco no Perímetro Urbano - Onde Primeiramente foi delimitado o Perímetro Urbano por meio da técnica de Árvore de Decisão por amostragem gerando a classificação do uso e cobertura de solo a partir dos dados de imagens orbitais do satélite Sentinel, obtidas gratuitamente pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), datado em dias anteriores às tragédias que ocorreram no Nordeste por conta das fortes chuvas entre os meses de Maio e Junho de 2022. O objetivo desta etapa é o de analisar a contextualização do terreno de forma prática e verificar a existências de Áreas Suscetíveis aos Riscos de Desastres Naturais da forma mais simples e objetiva possível com relação aos parâmetros utilizados e produtos gerados, pretendendo realizar análises comparativas com as informações datadas nos dias em que ocorreu o desastre na malha urbana do município.

- ETAPA 2 - Análise do Fenômeno ocorrido na época dos Desastres em Recife-PE, na qual as chuvas se avolumaram na região a partir do dia 21 de Maio de 2022 e durante 28 e 29 de Maio de 2022 foram os dias críticos onde foI atingida grande parte da população no meio urbano. A Defesa Civil emitiu alerta de Riscos Alto e Muito Alto em diversas regiões do município. Nesta etapa serão realizadas análises de áreas atingidas no perímetro urbano, ou seja, a partir do perímetro urbano estabelecido, serão realizadas análises das informações obtidas no período dos desastres ocorridos no município de Recife. Os materiais obtidos e manuseados são de variadas vertentes tais como: imagens de satélite da época dos desastres, dados de precipitação e informações das áreas atingidas reportadas. Com estes dados, se tem a intenção de gerar um mapeamento de Áreas atingidas em Recife, permitindo realizar uma comparação com as Áreas de Risco estabelecidas previamente a partir dos dados do perímetro urbano por via de aplicação.

- ETAPA 3 - Análise de Áreas de Segurança para um planejamento de realocação das pessoas atingidas pelo Desastre - Nesta etapa será realizado uma análises dos vazios urbanos presentes no perímetro urbano de Recife através dos dados habitacionais como área, zoneamento e condições monetárias, no intuito de verificar locais habitacionais adequados quanto a segurança de desastres naturais e condições de uso.

Por fim, será realizada uma análise geral do território antes das inundações, das áreas atingidas durante o período de chuvas e uma proposta para uma possível realocação das pessoas atingidas a partir dos vazios urbanos.

3.3 PRÉ-PROCESSAMENTO DAS IMAGENS

As imagens obtidas para este estudo foram retiradas por meio gratuito do site do Serviço Geológico dos Estados Unidos, o USGS, por meio de seu serviço EarthExplorer. A reformatação dos arquivos para o arquivo adequado para manipulação foi realizada pelo *software Multispec* e OSGeo4W. O pré-processamento das imagens incluiu o recorte para a área de interesse e para o município de Recife e foram realizados, junto com a vetorização que delimitou a área urbana, por meio do *software GlobalMapper.* A reamostragem das bandas obtidas da imagem do Sentinel-2B foram realizadas pelo *software OSGeo4W*. Os índices de cobertura de solo foram gerados no software ENVI 5.3 e utilizados como parâmetros para a classificação do mapa temático.

Para a geração da área urbana de interesse, foram utilizadas duas imagens da região de Recife do satélite Sentinel-2B, uma datada do dia 02 de Abril de 2022 e outra do dia 01 de Junho de 2022. Estas datas foram definidas por se tratar de uma época próxima antes do desastre ocorrido na região e outra no período onde as precipitações estavam altas na região durante a ocorrência dos problemas causados pela chuva. Por se tratar de períodos onde havia muita chuva por todo o Nordeste, foram examinadas e escolhidas as imagens que possuíam uma quantidade menos relevante de nuvens e sombreamentos sobre a região em comparação às outras imagens datadas a épocas próximas ao evento dos desastres.

3.3.1 Definição dos Índices Espectrais de Interesse

Com o objetivo de gerar um Mapa de Uso e Cobertura de Solo de Recife, foi determinada a análise de 3 elementos no território: a vegetação, a hidrografia e as edificações presentes em sua extensão. O objetivo da geração deste mapa foi a determinação da região urbana de Recife, então os parâmetros utilizados desde a amostragem até a classificação por meio do método de árvore de decisão foram exercidos visando este objetivo.

Os três elementos foram definidos pelos índices *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) - Equação (1), *Normalized Difference Water Index* (NDWI) - Equação (2) e *Normalized Difference Built-up Land Index* (NDBI) - Equação (3). Estes serão estabelecidos a partir das bandas espectrais do Infravermelho Próximo (*Nir*), Infravermelho Médio (*SWIR*) e no espectro do visível com as bandas Verde (*GREEN*), Vermelho (*RED*) e Azul (*BLUE*). Estes índices são expressos pelas seguintes equações:

$$(1)\ NDVI = \frac{Nir - RED}{Nir + RED}$$

$$(2)\ NDWI = \frac{GREEN - Nir}{GREEN + Nir}$$

$$(3)\ NDBI = \frac{SWIR - Nir}{SWIR + Nir}$$

3.3.2 Definição de Bandas Espectrais de Interesse

Por fins de praticidade e economia de tempo de processamento, foram escolhidas para as análises apenas as bandas necessárias para este trabalho a partir dos índices definidos. A resolução espacial do Sentinel-2 possui 13 bandas espectrais como segue:

FIGURA 5 - Bandas do Sentinel 2 disponibilizadas e suas características

Resolução	Nr da Banda	Nome da Banda	Comprimento de Onda Central (nanômetro)	Combinações de Bandas
10 m	B02	Blue (Azul)	490	Cor Verdadeira RGB 04/03/02 Falsa Cor 1 e 2 RGB 08/04/03 e 04/08/03
	B03	Green (Verde)	560	
	B04	Red (Vermelho)	665	
	B08	NIR (Infravermelho Próximo)	842	
20 m	B05	Red Edge 1	705	SWIR 1 RGB 12/11/8A
	B06	Red Edge 2	740	
	B07	Red Edge 3	783	
	B08A	Red Edge 4	865	
	B11	SWIR 1	1610	
	B12	SWIR 2	2190	
60 m	B01	Aerossol	443	–
	B09	Water Vapor	940	
	B10	Cirrus	1375	

FONTE: Engesat

A partir de uma resolução radiométrica de 12 bits por pixel, foram definidas e separadas para manipulação neste trabalho as seguintes bandas:

- Banda 2 (Azul)
- Banda 3 (verde)
- Banda 4 (vermelho)
- Banda 8 (infravermelho próximo)
- Bandas 11 e 12 (infravermelho médio)

3.3.3 Aplicação de Reamostragem

Devido às bandas não estarem na mesma resolução espacial, apresentou-se a necessidade de equalizar estes valores para se aplicar os procedimentos necessários na geração de índices espectrais a partir de cálculos dos valores entre bandas. Este processo foi realizado nas bandas com uma resolução de 20m visando a equalização para as demais bandas utilizadas, ou seja, um processamento de reamostragem da resolução para 10m. Este processamento foi realizado a partir de uma linha de comando de funções no software OSGeo4W, onde foi definido seu sistema de orientação, aplicado a redução de resolução e foram transformadas do arquivo .jp2 originais do Sentinel-2 para o arquivo .tif para manipulação no software adequado.

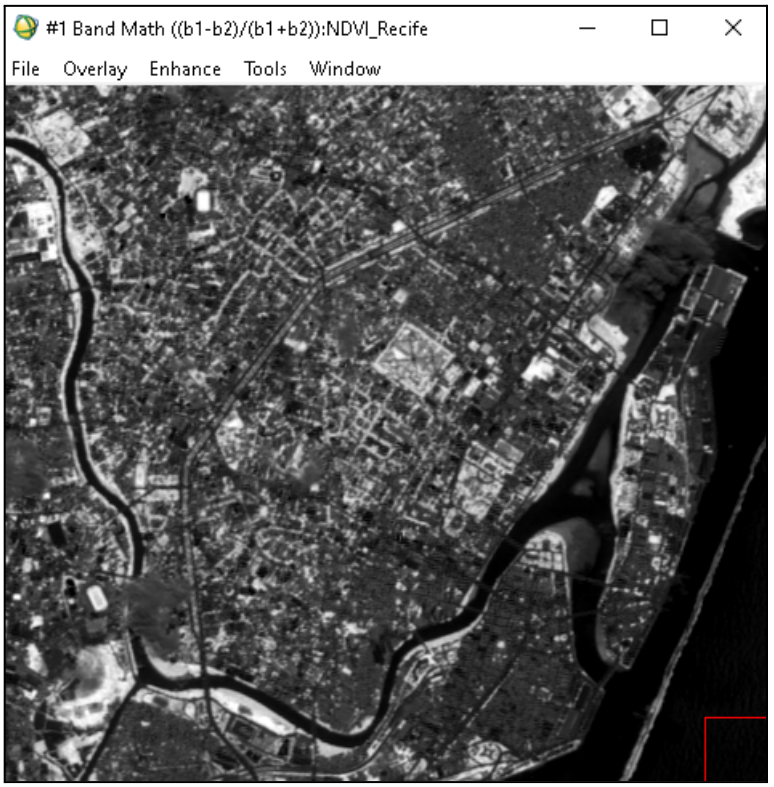
3.3.4 Reformatação e Recorte do Dimensionamento das Bandas Espectrais para Região de Interesse

Para as outras bandas de resolução de 10m a reformatação para o arquivo .tif foi realizada por meio do software Multispec. Além disso, foi necessário realizar o recorte das bandas originais por dois fatores: o tamanho total da imagem excedia o valor máximo que o software de manipulação, o ENVI, suporta e assim reduz o tempo de processamento da próxima etapa. Também, não é necessária a região metropolitana das cidades, já que a análise pode ser feita pontualmente em regiões mais centrais do município de Recife em particular.

3.3.5 Cálculo dos Índices Espectrais

Com as imagens reformatadas, reamostradas e recortadas para região de interesse, estas foram então encaminhadas para o software ENVI visando realizar a classificação e geração dos índices espectrais. Inicialmente se utilizou a função Band Math para o cálculo dos índices a partir das fórmulas apresentadas no item 3.1.1. Foram utilizadas variáveis para a definição da função e posteriormente definindo as bandas que serão aplicadas para cada variável.

FIGURA 6 - Resultado gerado do NDVI após aplicação de operação entre bandas



FONTE: Autor

FIGURA 7 - Resultado gerado do NDWI após aplicação de operação entre bandas

FONTE: Autor

FIGURA 8 - Resultado gerado do NDBI após aplicação de operação entre bandas

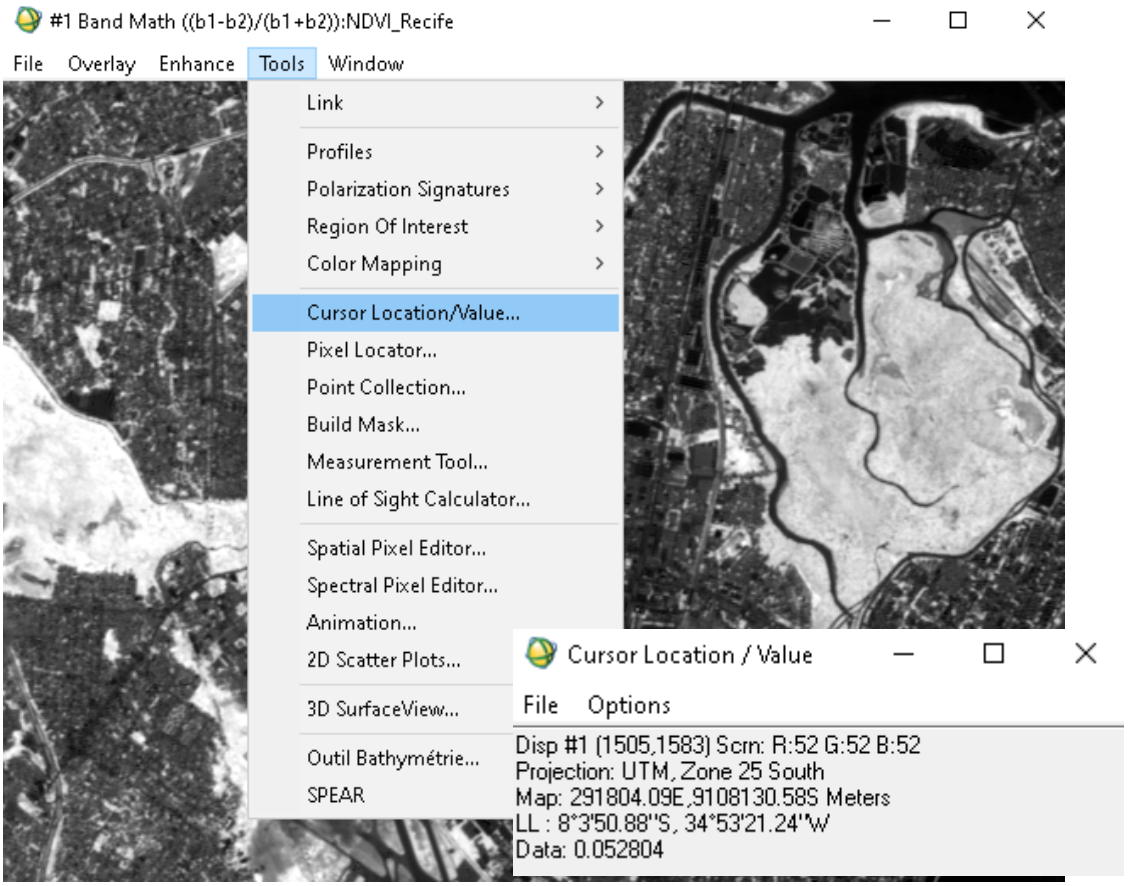
FONTE: Autor

Visivelmente nos exemplos das FIGURAS 6, 7 e 8, pode-se observar em cada resultado que as regiões mais refletidas são as regiões que representam cada índice, ou seja, no NDVI a área em que está mais refletida é a região em que há vegetação, assim como no NDWI, a área mais refletida serão áreas que possuem corpos d'água e assim por diante. A partir destes valores definidos individualmente em cada árvore de decisão de cada índice espectral, será definido uma só árvore para todos os índices e assim, pode-se gerar um mapa de uso e cobertura de solo da região de Recife-PE.

3.4 CLASSIFICAÇÃO PELO MÉTODO DA ÁRVORE DE DECISÃO

Por meio da ferramenta *Cursor Location/Value* foi possível coletar o valor do índice em cada região como indicado na FIGURA 9, e então, delimitar os elementos para cada intervalo de valor indicado na imagem dos índices espectrais.

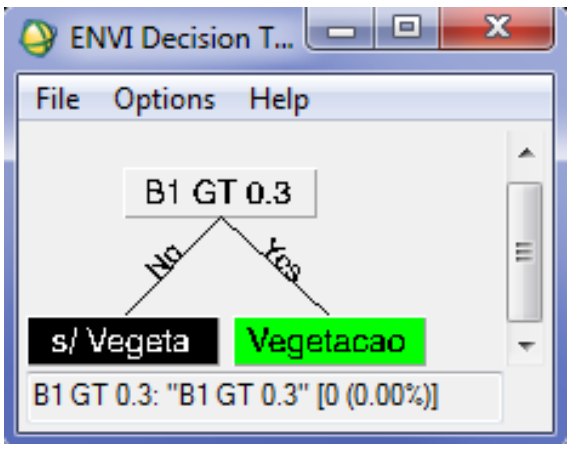
FIGURA 9 - Exemplo de coleta dos valores dos elementos a partir do índice NDVI



FONTE: Autor

Então, por meio do intervalo definido para os valores do elemento analisado, pode-se realizar uma classificação por meio do método da árvore de decisão, exemplificado na FIGURA 10.

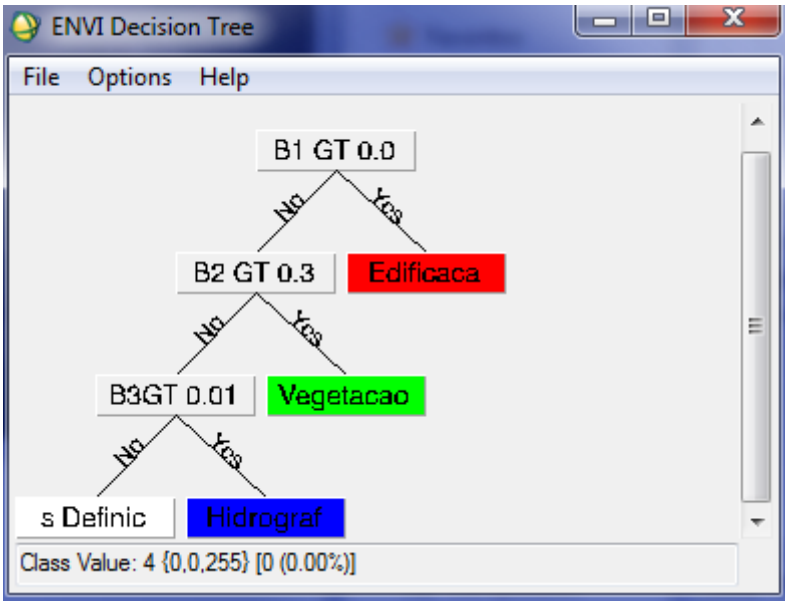
FIGURA 10 - Exemplo de classificação por meio do método de Árvore de Decisão



FONTE: Autor

Para a classificação da vegetação foi realizada a coleta de pixels na imagem comparando-a juntamente com a imagem no espectro do visível visando identificar os valores dos Índices NDVI, como se comportava cada elemento presente na imagem. De modo geral, a vegetação se encontrava com valores maiores que 0.3. Esta metodologia de coleta de amostras nos índices foi aplicada para os outros, e assim, a partir de um intervalo comum por meio dos valores ao longo do território, pode-se classificar os tipos de uso e cobertura de solo em que se requer mapear como demonstrado na FIGURA 11.

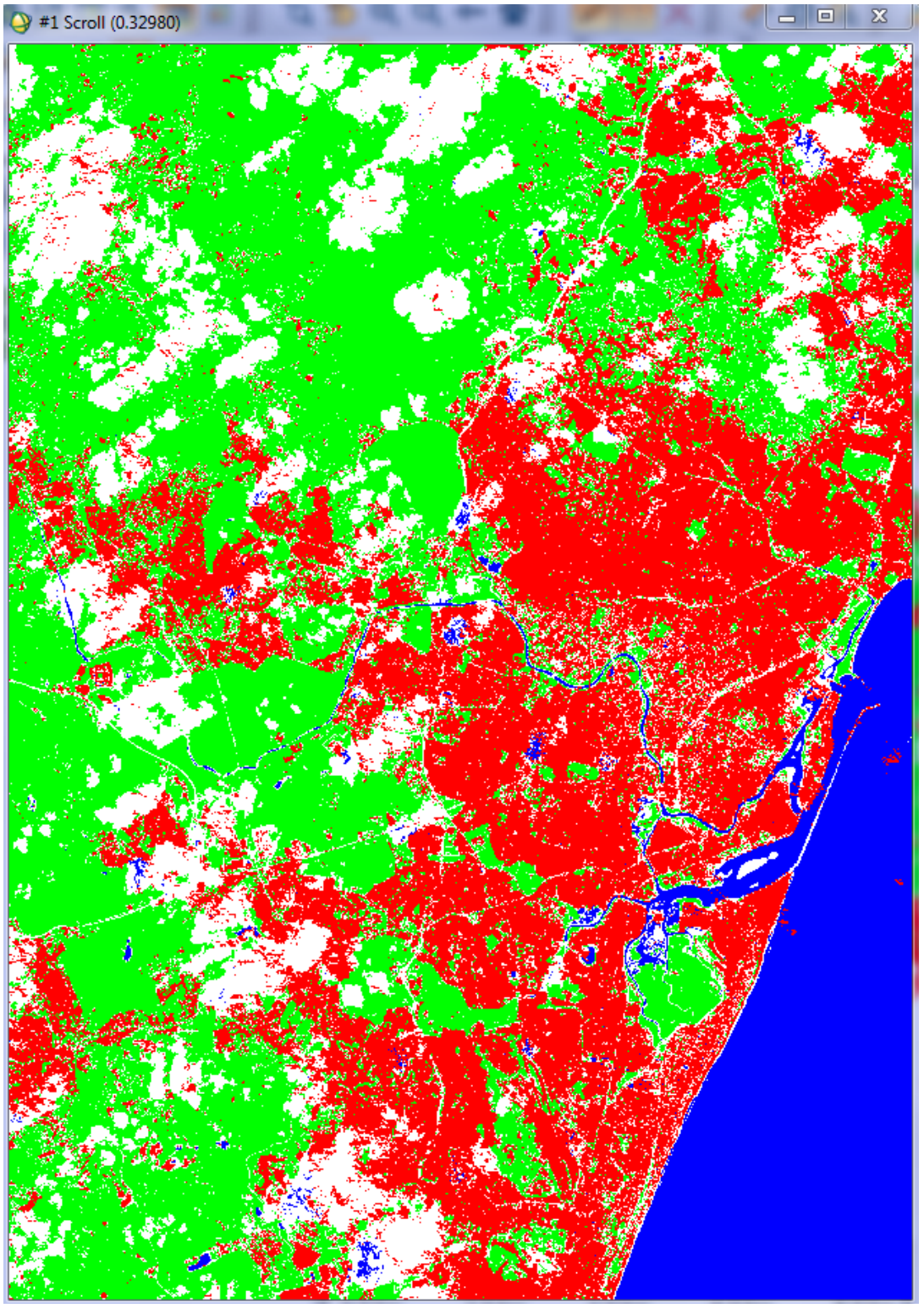
FIGURA 11 - Árvore de Decisão estabelecida para Classificação para o Município de Recife



FONTE: Autor

A árvore de decisão elaborada para este trabalho foi realizada a fim de gerar um perímetro urbano no município para que a partir deste, pudesse ser aplicado as devidas análises de diferentes perspectivas. Em cada condição estabelecida nesta montagem exige a variável B1, B2 e B3, estas variáveis são representadas por índices espectrais calculados NDBI, NDVI e NDWI respectivamente. Partindo disto, a primeira condição estipulada foi índice NDBI, na qual se encontrou melhor definido quando classificado individualmente e então, aplicado um valor para que se estivesse bem demarcado as regiões edificadas. A segunda condição foi a de vegetação, do índice NDVI, na qual foi definido o intervalo onde melhor se identificou os elementos de vegetação na etapa de coleta de valores de amostras. E por fim, a terceira condição foi definida a condição de hidrografia, o NDWI, definido a partir do valor do índice em que mais se integrou juntamente aos outros parâmetros na Árvore de Decisão e foi um valor que também foi bem recorrente na coleta de amostras para a indicação da classificação.

FIGURA 12 - Mapa prévio gerado da Região do município de Recife. Onde: Em vermelho estão as Edificações, em verde a vegetação do local e em azul a hidrografia como indicado na Árvore de Decisão

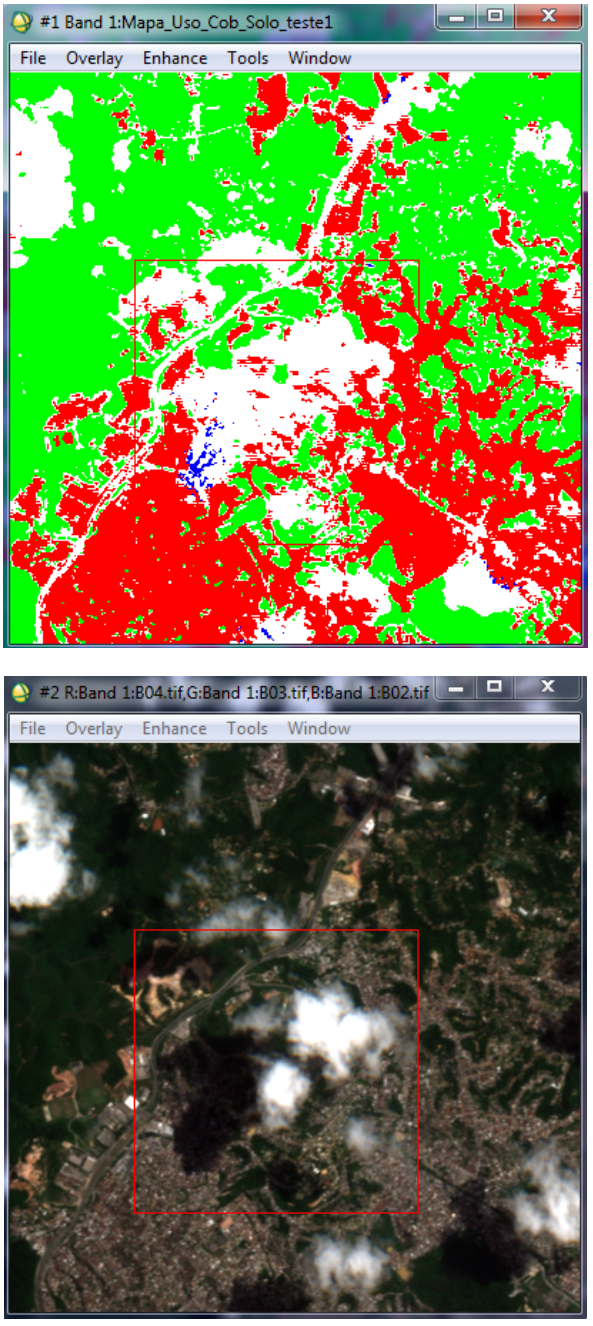


FONTE: Autor

A região em branco na FIGURA 12 são áreas não classificadas, geralmente causado pelas nuvens e sombreamentos gerando oclusões na superfície, na qual, oculta informações presentes no terreno.

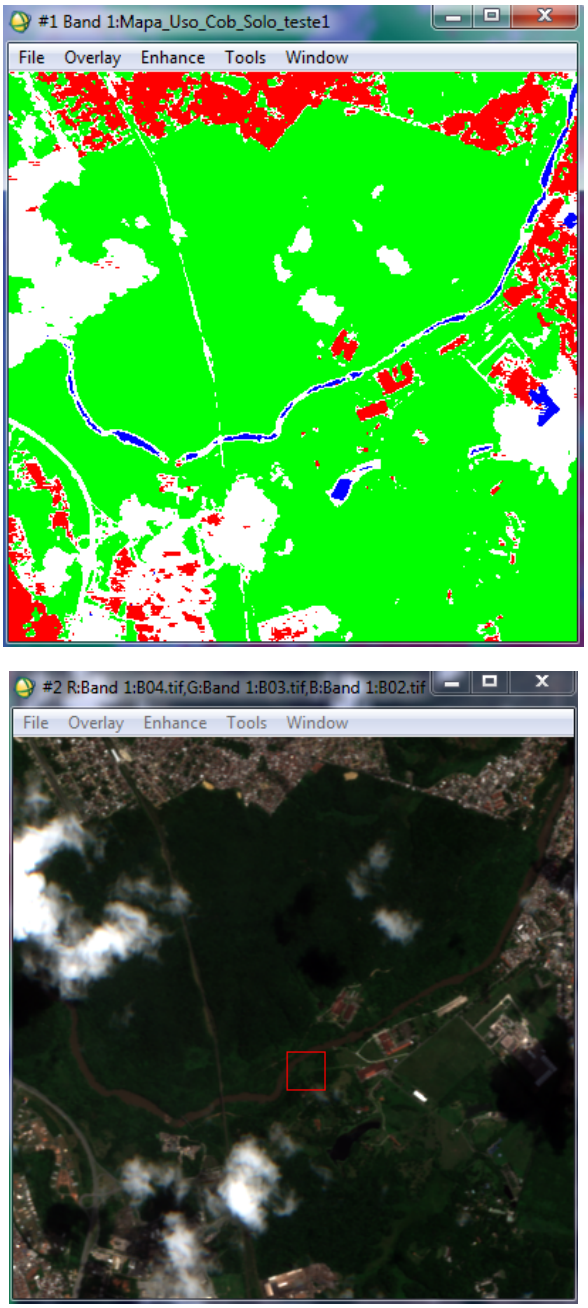
Alguns rios com larguras menores também não tiveram sua classificação bem definida. Alguns tipos de solos expostos isolados se confundiram com edificações na classificação. Porém, como o interesse da geração do Mapa de Uso e Cobertura de Solo era a identificação das áreas urbanas, na qual, foi bem estabelecida pelos valores gerados pelo índice NDBI e utilizada como primeira condição, que serviu como parâmetro com maior ênfase em relação aos outros índices.

FIGURA 13 - Oclusão gerada por nuvens e sombreamento, em que por meio da classificação, não foram definidas



FONTE: Autor

FIGURA 14 - Classificação mal-sucedida quanto às nuvens, sombras e rios.



FONTE: Autor

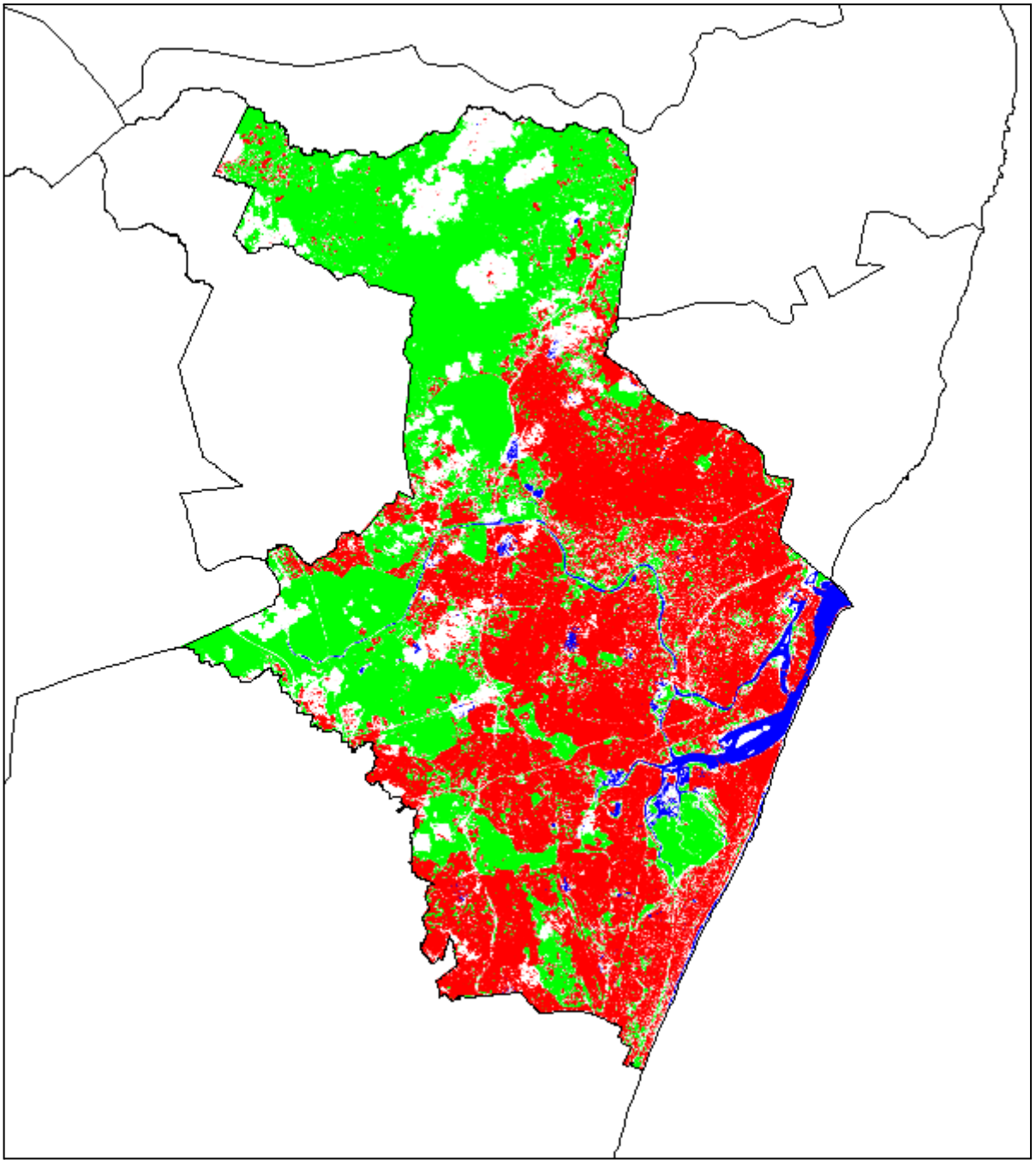
Alguns exemplos de irregularidades e parâmetros definidos para esta classificação foram:

- Algumas regiões não foram representadas nas áreas urbanas por conta de erros encontrados na classificação, como, solo exposto, areia, confusões no meio de nuvens e sombreamentos;
- Áreas sombreadas se configuraram muitas vezes como águas;

- Vilas pequenas e grandes galpões isolados no terreno não foram considerados como área urbana.

Após a Classificação por meio da Árvore de Decisão foi realizado o recorte apenas para área dentro do município por meio do software Global Mapper.

FIGURA 15 - Recorte da Região de Interesse para apenas a delimitação do município de Recife-PE



FONTE: Autor

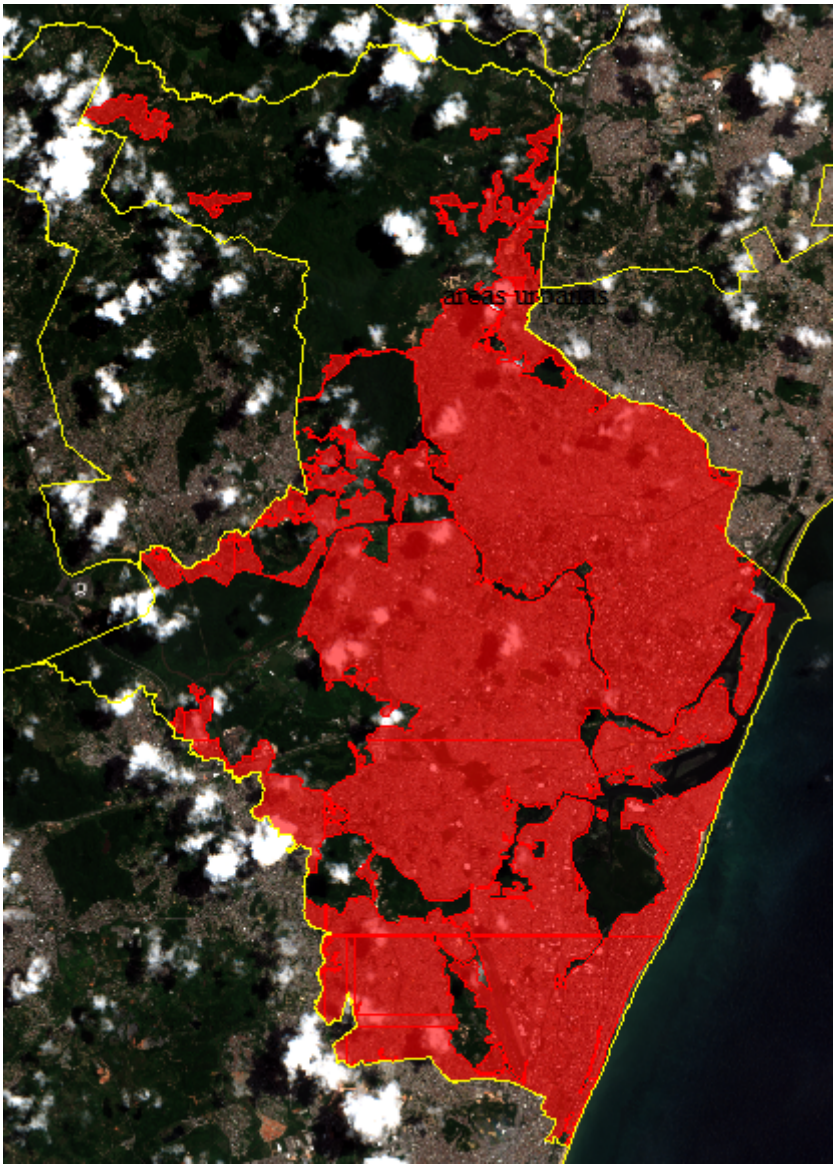
3.5 DEFINIÇÃO DO PERÍMETRO URBANO NA ÁREA DE INTERESSE

Segundo MARQUES, SILVA e DELGADO (2009), a expansão das áreas edificadas e, em particular, a forma como esse crescimento tem sido feito nas últimas décadas, tem vindo a ser alvo da atenção e preocupação por parte dos vários agentes com responsabilidades directas e indirectas na gestão do território, desde os políticos aos planejadores, passando pelos investigadores e, de um modo geral, por toda a sociedade. Para compreender a riqueza e a complexidade da urbanização atual, é necessário não só analisar as formas físicas, mas também tentar perceber a construção social e econômica do espaço.

Inicialmente, se tratando de análises no perímetro urbano, necessita-se a delimitação da região de estudo, para isso será realizado processos visando a classificação de imagens orbitais, por métodos de Árvore de Decisão e assim, após a geração do mapa de uso e cobertura do solo, pode-se demarcar a partir da densidade de edificações, a região em que se interessa estudar.

A partir da região de recorte, foram estabelecidos manualmente os limites das áreas urbanas por meio das áreas definidas como edificações do NDBI e por bandas na região do visível, na qual, está representada a partir da FIGURA 16. A escolha da definição manual, por meio da delimitação por vetorização da área urbana, foi realizada com o objetivo de identificar individualmente o comportamento de cada elemento conforme sua classificação e assim, ficando a critério do autor, se este elemento deverá ser enquadrado como área urbana ou não. Além disso, há uma maior facilidade de encontrar os eventuais detalhes que serão reportados no resultado da classificação conforme sua característica.

FIGURA 16 - Áreas Urbanas vetorizadas manualmente a partir das regiões relevantes estabelecidas a partir dos dados obtidos da classificação



FONTE: Autor

3.6 ÁREAS DE RISCO NO PERÍMETRO URBANO

A principal preocupação em relação às inundações e os alagamentos no meio urbano deve ser com as as áreas que atingem e prejudicam estruturas construídas que afetam a população, tais como ruas, avenidas e edificações. Estas áreas são consideradas áreas de risco no ambiente urbano, que são criados a partir de intervenções errôneas do ser humano ao ocupar regiões próximas a cheias dos rios e com um mal planejamento territorial.

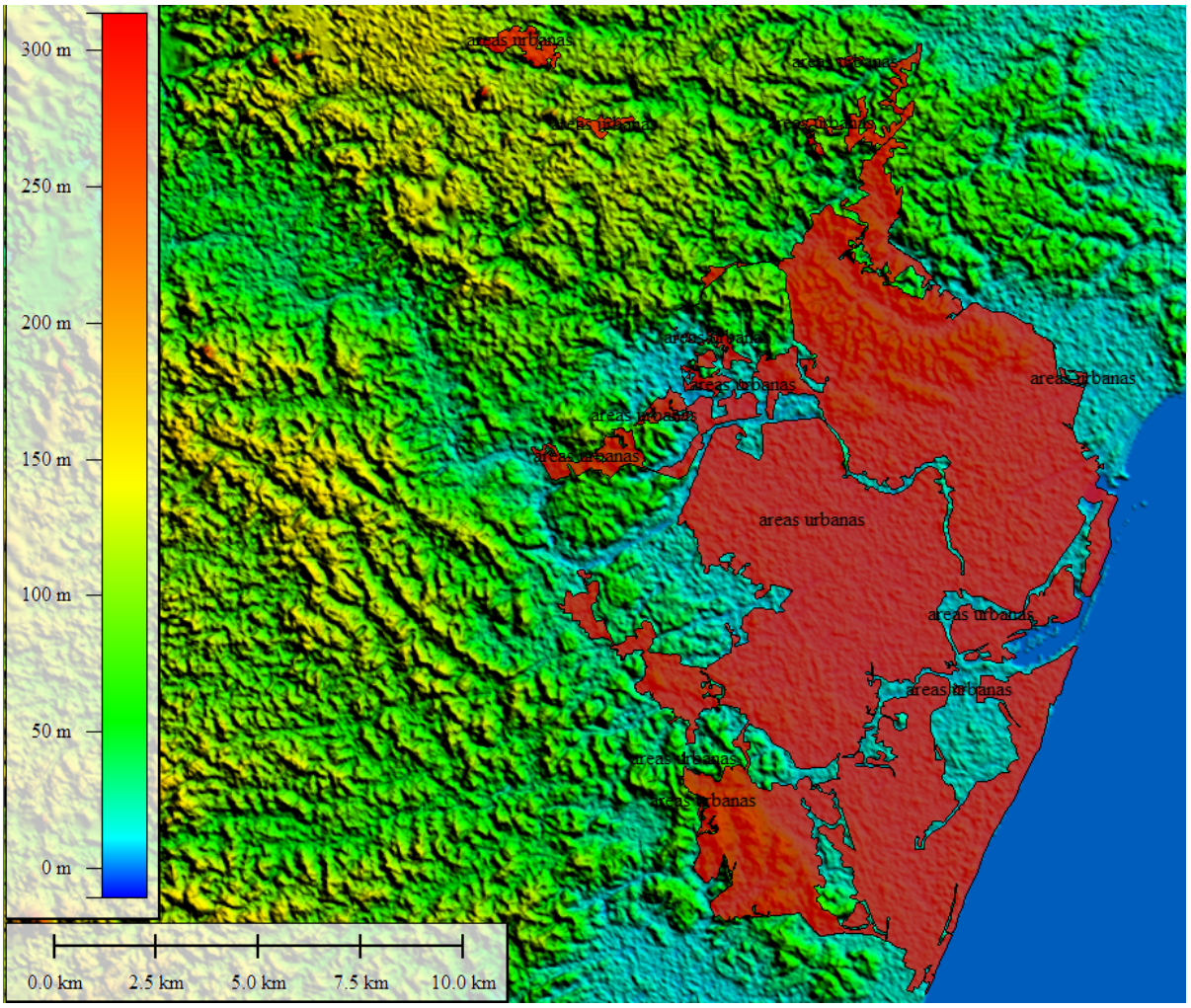
Para realizar uma análise de risco no perímetro urbano, foram determinados alguns parâmetros visando uma simplificação do mapeamento e utilização exclusiva dos dados do terreno para atingir um resultado de forma objetiva. Para isto, foram analisados os dados de declividade na região com auxílio de um MDT gerado a partir de curvas de nível em formato shapefile, fornecido gratuitamente pelo governo de Recife através de um portal de informações geográficas. Onde, também foi utilizado para coletar os dados de hidrografia da região.

Segundo BRANDÃO (2021), foi criado um projeto de lei datado no ano de 2021, que permite a regularização de edifícios às margens de rios, lagos e lagoas em áreas urbanas, não se aplicando em áreas para edificações que existam antes de 28 de abril de 2021, data de aplicação deste projeto de lei. O texto altera o Código Florestal, atribuindo a cada governo local o dever de regulamentar o tamanho das faixas de preservação, devendo respeitar apenas uma distância mínima de 15 metros.

Baseado nesses parâmetros, a partir dos dados de recursos hídricos do município de Recife, foi realizado um "*Buffer"* de 15 metros por meio de técnicas de geoprocessamento no *software* QGIS.

Os principais fatores naturais que condicionam a ocorrência de deslizamentos estão relacionados às características do relevo de uma dada região e as inundações estão relacionadas diretamente com as cheias de águas correntes, informações que subsidiam esta análise de áreas de risco. Com os dados do Buffer dos recursos hídricos, foi também realizado uma análise da declividade a partir de dados das altitudes a partir de um Modelo Digital de Terreno (MDT) obtido por meio do ASTER Global Digital Elevation Model v2, na qual possui, uma acurácia de 17 metros e nível de confiança de 95%. O estudo global do USGS descobriu que o GDEM2 está, em média, dentro de 3 metros do controle derivado do altímetro e também documentou a sensibilidade à altura do dossel das árvores. Como estes dados são datados do ano de 2011, a análise da declividade é uma generalização para os dias atuais, mas que servem para compreender como este tipo de produto colabora para a elaboração de produtos cartográficos para áreas de risco em relação a desastres.

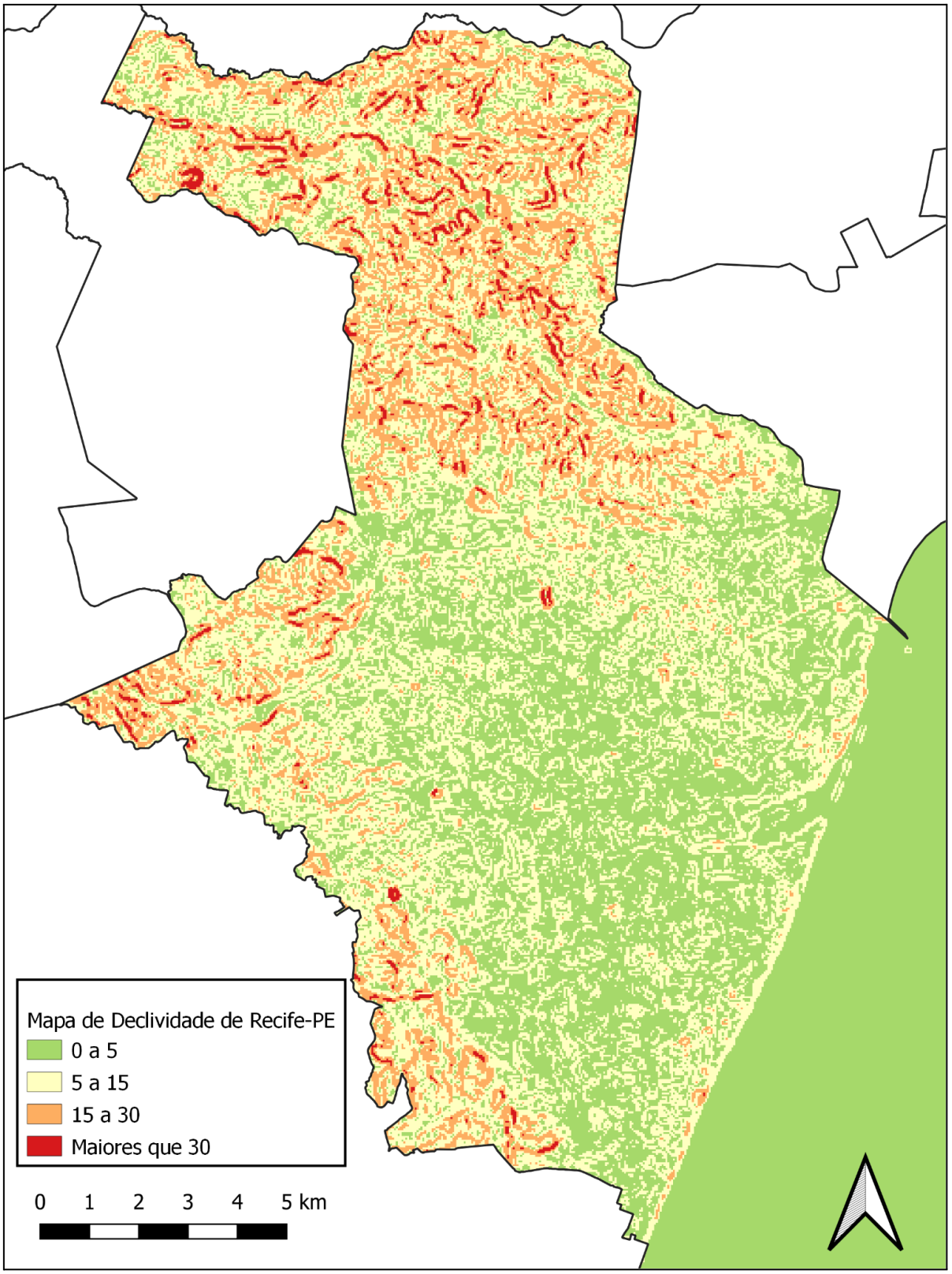
FIGURA 17 - MDT juntamente com as áreas urbanas definidas a partir da classificação de imagem orbital



FONTE: Autor

Com a imagem raster do MDT definido (onde a escala de gradiente se refere a altitude), é possível aplicar valores para cada *pixel* na imagem. A partir destes valores, são atribuídas classes de declividade de acordo com intervalos que refletem a vulnerabilidade do meio urbano para deslizamentos na superfície.

FIGURA 18 - Mapeamento da classificação de valores de declividade em Recife-PE



FONTE: Autor.

As classes definidas para o mapeamento na FIGURA 18 seguiram uma análise de condições de declividade sujeitas a deslizamento, sendo assim, a classe 1 (intervalo de 0 a 5) representando uma região de baixa declividade e com baixa susceptibilidade a escorregamentos (sem considerar o tipo de solo presente na superfície). A classe 2 (intervalo de 5 a 15) apresenta um risco médio de susceptibilidade a escorregamentos, a classe 3 (intervalo de 15 a 30) apresenta um risco alto e sucessivamente a classe 4 (valores maiores que 30) apresenta um risco muito alto para estes problemas. Para a composição das áreas de risco no ambiente urbano, serão consideradas as classes 3 e 4 para elaboração deste mapeamento.

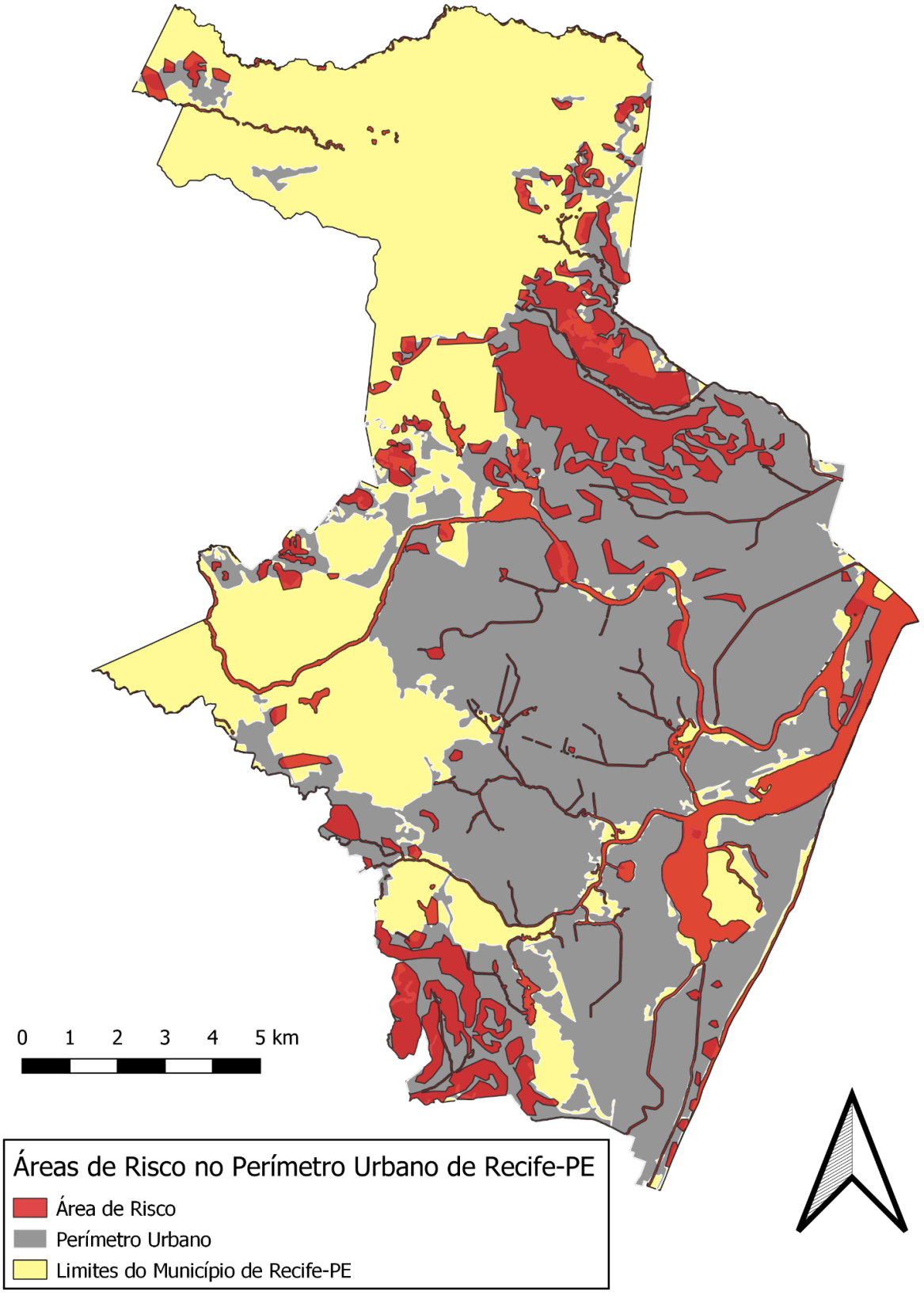
Com os dados de declividade em formato raster, por meio do software QGIS, se deve realizar a transformação deste para o formato shapefile. Assim, temos todos os arquivos disponíveis para a geração das áreas de risco no município de Recife, todos uniformemente vetorizados.

Devidamente exportado separadamente as classes 3 e 4 de declividade, é necessário então realizar a união deste com os dados do Buffer de 15 metros. Esta união define os parâmetros de áreas de risco para este tópico.

Para realizar esta união foi necessário realizar a delimitação manual por vetorização das áreas que compõem as classes 3 e 4 devido à complexidade da quantidade de feições transformadas de pixels das classes mais vulneráveis, além de facilitar reparações e otimizações do próprio arquivo, realiza uma seleção mais rigorosa das regiões relevantes sobre a área urbana, na qual, são ignorados pixels ‘soltos’ no mapeamento e auxiliando na aprimoração na visualização das áreas declives.

A partir da delimitação gerada recorrente das classes 3 e 4 no perímetro urbano e da hidrografia da região foi gerado um mapa explicitando estes resultados sob o dimensionamento do próprio perímetro urbano e da delimitação do município de Recife como está ilustrado na FIGURA 19:

FIGURA 19 - Áreas de Risco geradas por parâmetros de declividade e hidrografia sob o perímetro urbano do município de Recife



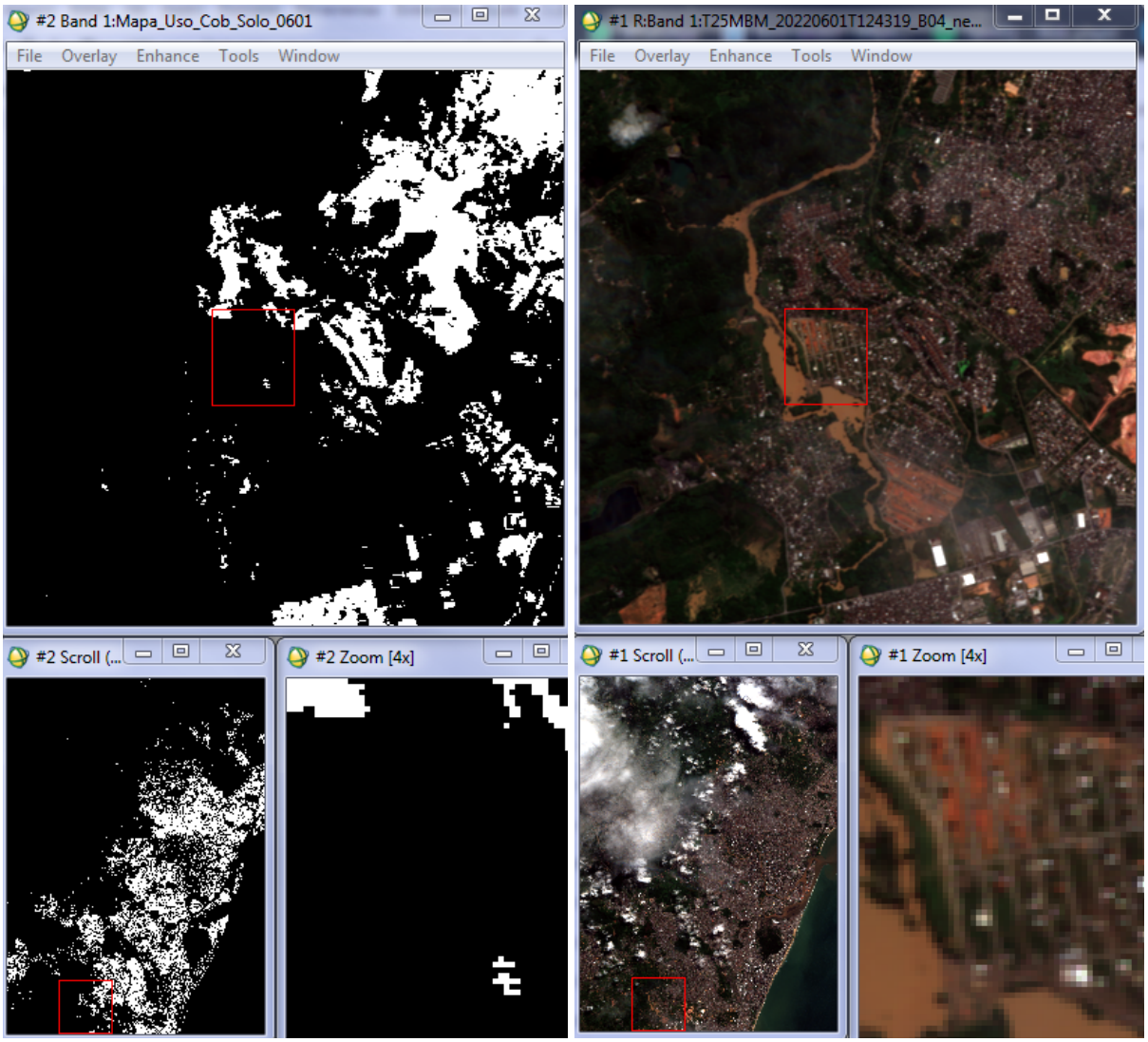
FONTE: Autor

3.7 ÁREAS ATINGIDAS NO PERÍMETRO URBANO

Este tópico foi desenvolvido a partir das informações obtidas do desastre que ocorreu diante das inundações e deslizamentos de terra no Nordeste do Brasil, com o foco integralmente de onde e como atingiu o município de Recife no estado de Pernambuco durante o período de fortes chuvas entre maio e junho de 2022.

Para este desenvolvimento, foi necessário identificar as áreas atingidas mediante este evento de deslizamentos, alagamentos e inundações no município. Para isso se teve a intenção de realizar uma análise espacial durante os dias dos desastres, a partir da análise da imagem orbital por uma classificação pelo método de árvore de decisão visando uma comparação com a classificação gerada antes dos desastres ocorrerem.

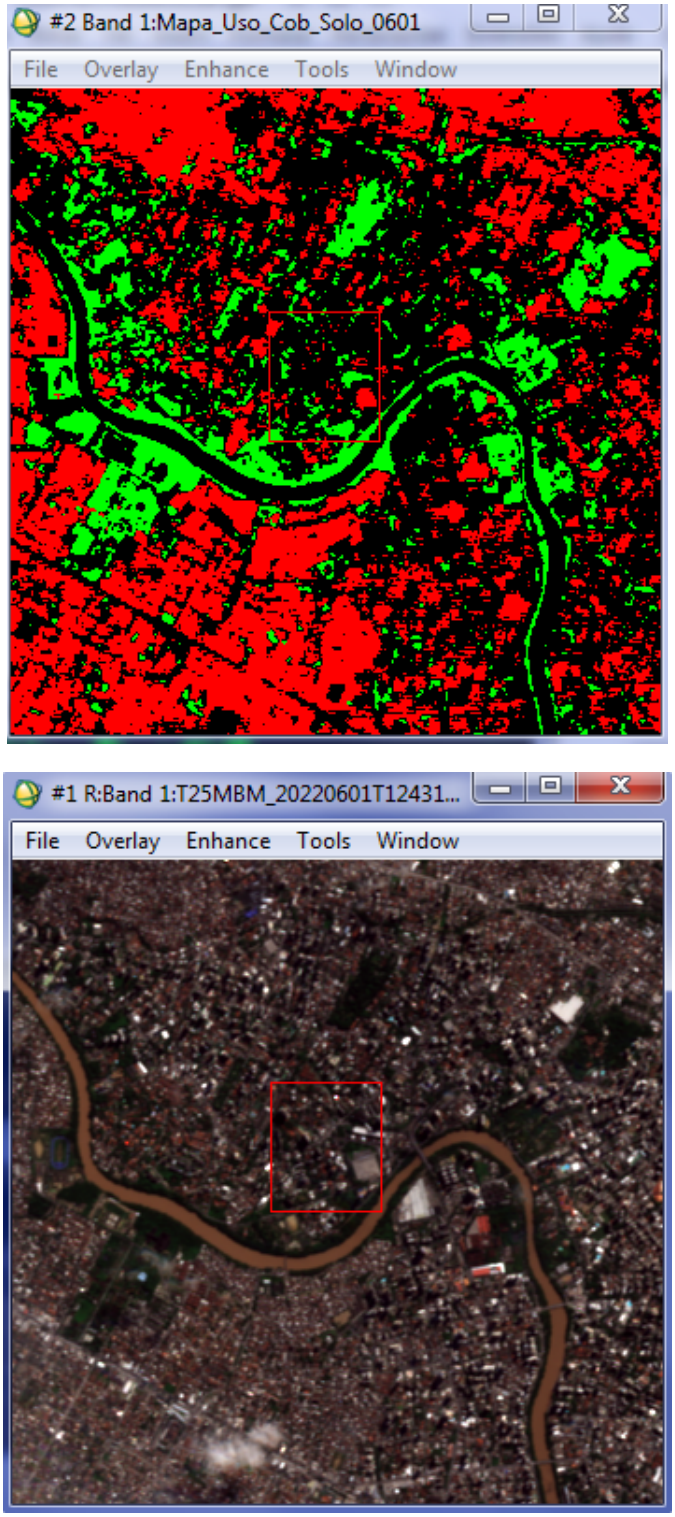
FIGURA 20 - Regiões não classificadas como Edificação pelo NDBI por conta das inundações



FONTE: Autor

No cálculo de índices espectrais, foram identificadas peculiaridades ao aplicar as operações entre bandas. Em regiões próximas aos rios (regiões que sofreram inundações), a aplicação do índice NDBI não classificou as edificações que se encontravam nesta região, reduzido a área de alcance para regiões alagadas.

FIGURA 21 - Exemplo de como áreas de inundações e alagamentos se classificaram por meio do método de Árvore de Decisão



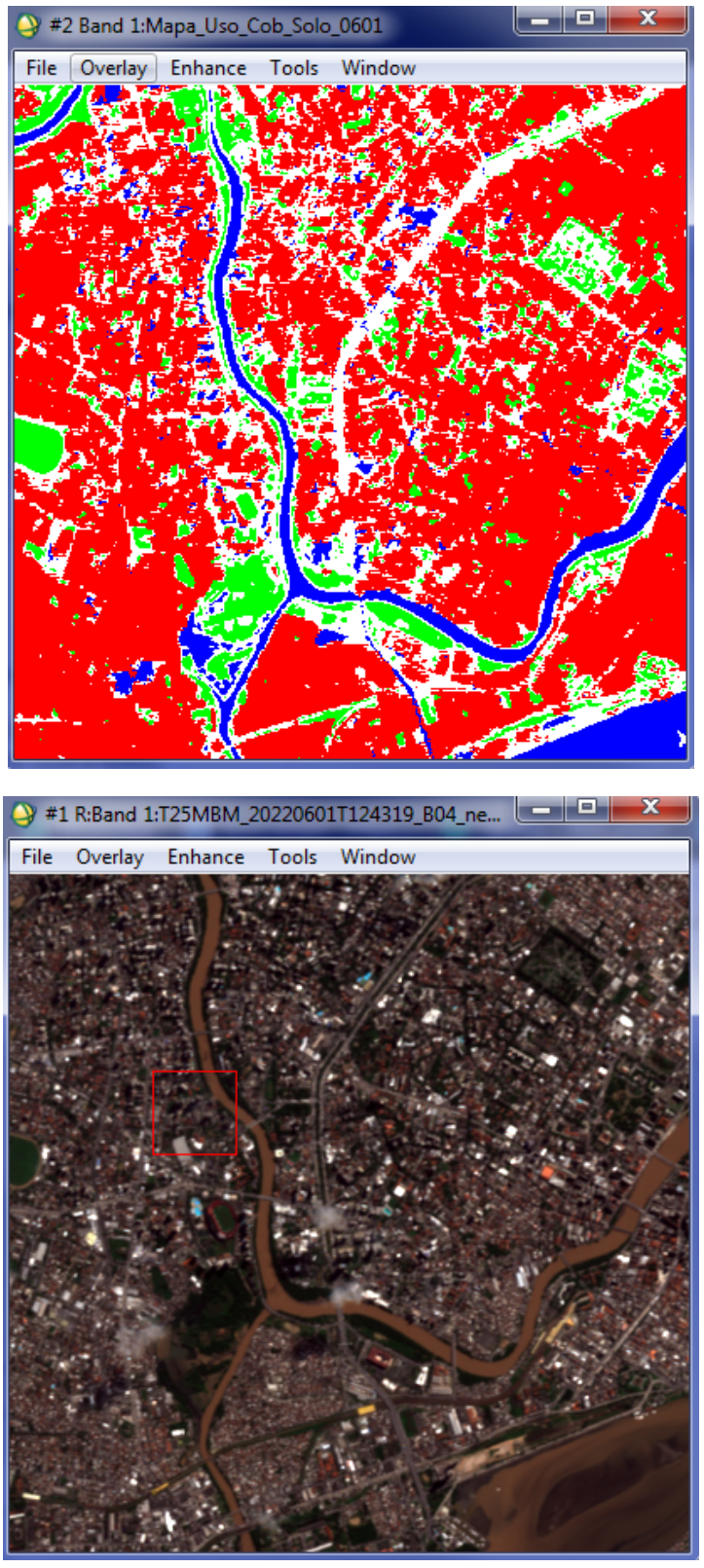
FONTE: Autor

Como no início de junho (período de coleta destas imagens), Recife ainda sofria com uma volumosa quantia de chuvas, a imagem obtida teve um recobrimento

considerável de nuvens e oclusões para regiões ao entorno do município. Porém em Regiões Centrais pode-se observar como o fenômeno das chuvas atingiu a área urbana nas FIGURAS 20 e 21.

As condições para realizar a Árvore de Decisão final para este caso, foram praticamente as mesmas (com leves mudanças no intervalo apenas do NDBI) em comparação ao caso de dias antes do desastre (02 de Abril 2022). Os problemas encontrados, principalmente o de oclusão e sombreamento, foram os mesmos encontrados nas duas classificações Estes problemas podem estar relacionados à dificuldade de diferenciar certos elementos na superfície do terreno ou por problemas de defini-los devido a inconstância de valores e as oclusões ao longo do território. Para este caso, consegue-se identificar quais regiões foram atingidas pelo excesso de chuvas no meio urbano.

FIGURA 22 - Exemplo de como a água se apresenta na classificação nas regiões urbanas atingidas pelas chuvas



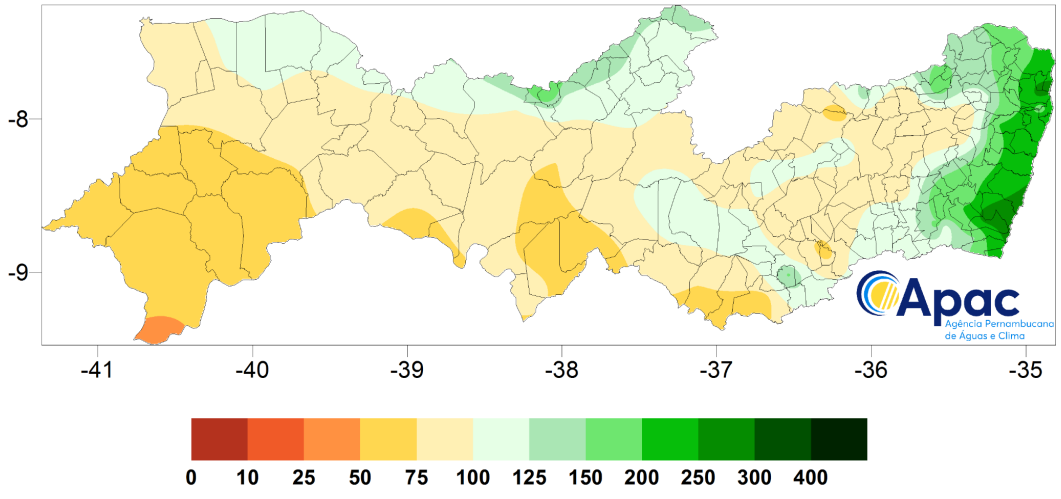
FONTE: Autor

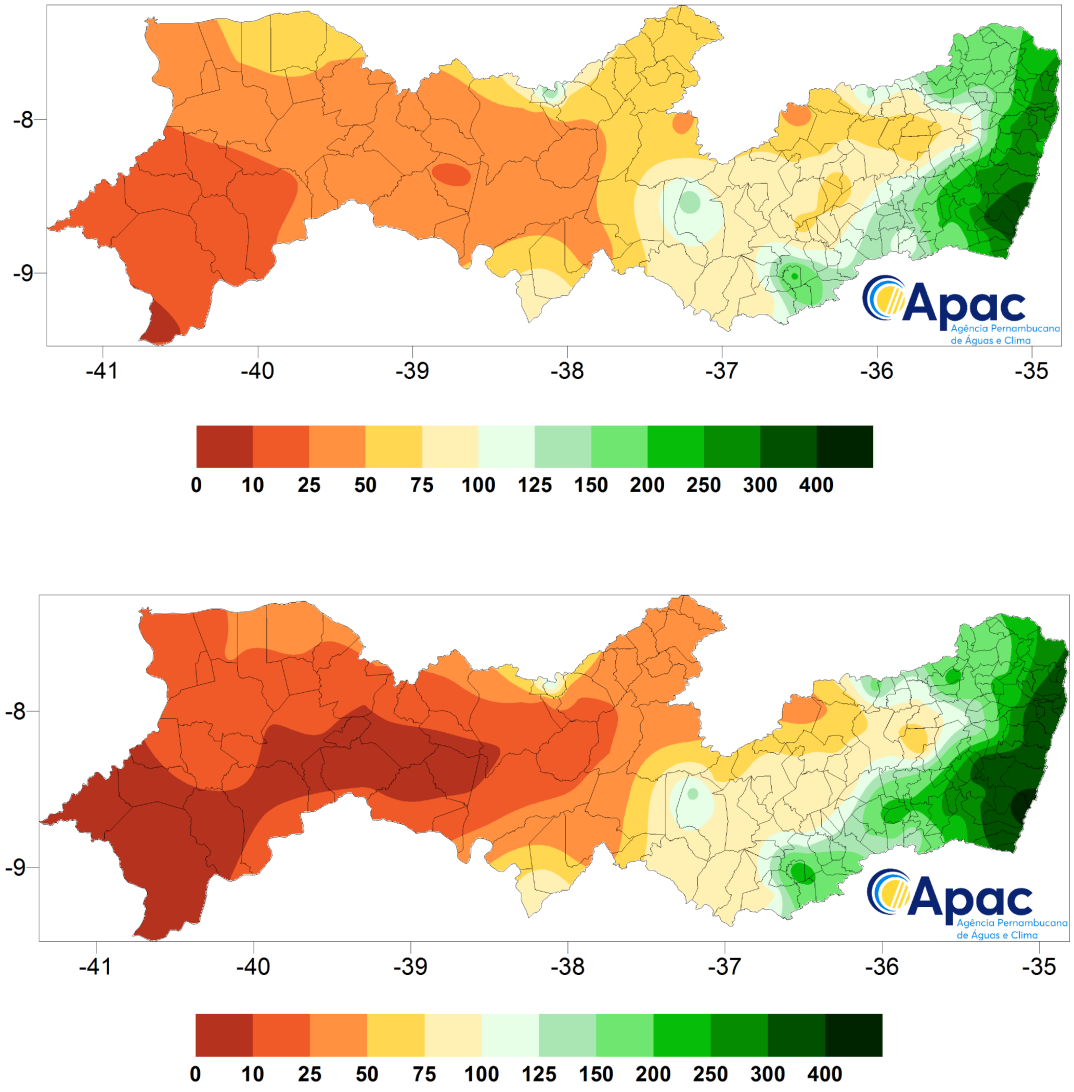
3.8 DADOS COMPLEMENTARES AO MAPEAMENTO

Para realizar um mapeamento completo das áreas atingidas pelas volumosas chuvas no Recife, dados complementares que informam as localidades de onde teve mais chuva e onde foi atingido, auxiliaram para um maior entendimento do que transcorreu na região e do que será necessário para acrescentar e aperfeiçoar as informações mapeadas. Em Recife chegaram a registrar 236 milímetros de chuva em 24 horas. O volume de um milímetro de chuva significa que em um espaço de um metro quadrado, um litro de água despejada subiria até a marca de 1 milímetro.

A Agência Pernambucana de Águas e Clima (Apac), disponibiliza alguns dados meteorológicos importantes para o histórico de chuvas em todo o estado de Pernambuco. A FIGURA 23 apresenta imagens que demonstram o quanto a precipitação aumentou em Pernambuco e instintivamente na Região de Recife conforme o passar dos meses.

FIGURA 23 - Aumento da precipitação mensal na Região de Recife e do Litoral Pernambucano entre os meses de Abril, Maio e Junho respectivamente





FONTE: Apac

Outro dado disponibilizado pela Apac é o histórico dos monitoramentos pluviométricos de estações no Estado Pernambucano. Para o intervalo em que as imagens estão disponíveis, há duas estações no Recife que realizaram o monitoramento pluviométrico completo de todos os dias, o posto Recife (Alto da Brasileira) no bairro Nova Descoberta e o posto Recife (Codecipe / Santo Amaro) no bairro Santo Amaro. A partir destes, pode-se analisar o comportamento das chuvas durante este período no formato de tabela a partir do índice pluviométrico. Alguns dados relevantes retirados deste monitoramento são apresentados no QUADRO 1, 2 e 3.

QUADRO 1 - Índice pluviométrico para o dia 4 de Abril de 2022 em Recife

Código	Posto	Mês/Ano	Dia 4
265	Alto da Brasileira	abr./2022	21,6
196	Codecipe / Santo Amaro	abr./2022	20,9

FONTE: Apac

QUADRO 2 - Índices mais altos somados entre os dois postos (Dia 28 de Maio de 2022 - Dia crítico de chuvas onde foram emitidos alerta de Risco Muito Alto em Recife)

Código	Posto	Mês/Ano	Dia 28
265	Alto da Brasileira	mai./2022	130,1
196	Codecipe / Santo Amaro	mai./2022	190

FONTE: Apac

QUADRO 3 - Índice pluviométrico para o dia 1 de Julho de 2022 em Recife

Código	Posto	Mês/Ano	Dia 1
265	Alto da Brasileira	jun./2022	22,1
196	Codecipe / Santo Amaro	jun./2022	15,2

FONTE: Apac

Outro dado que será utilizado para a identificação de áreas atingidas são os pontos de alagamento reportados (VALENÇA, PORTAL FOLHA DE PERNAMBUCO - 2022) para dias onde se constatou altos índices de precipitação e índices pluviométricos. As localidades dos pontos de alagamento relatadas foram:

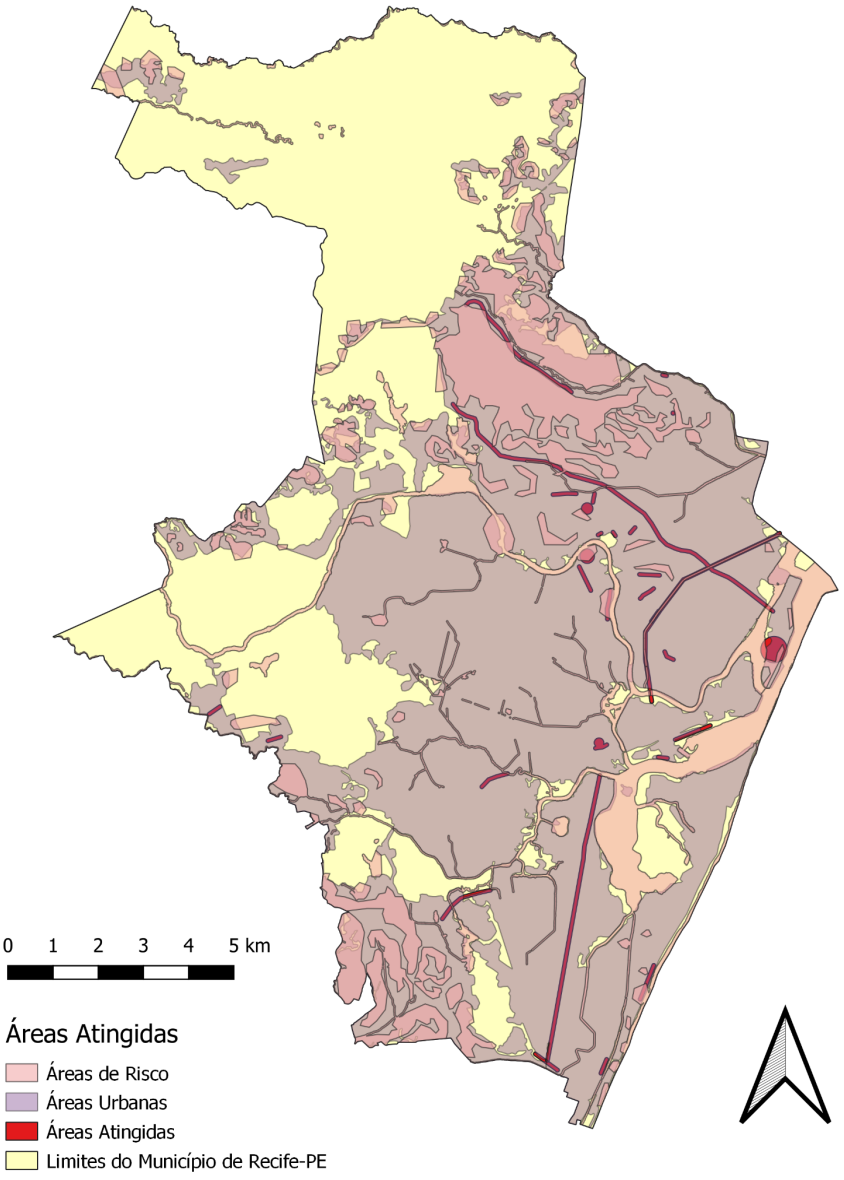
- Av. Agamenon Magalhães;
- Av. Norte;
- Diversos trechos da Av. Mascarenhas de Moraes;
- Av. Doutor José Rufino, próximo ao Colégio Visão;
- R. do Acre, próximo à Estrada dos Remédios;

- Av. Vereador Otacílio Azevedo;
- Av. Dois Rios - Entrada da Vila do SESI - Ibura;
- Estrada dos Remédios - Mercado de Afogados (sob o pontilhão);
- Av. Mal. Mascarenhas de Moraes - próximo à Laser Eletro;
- Túnel Felipe Camarão, no Jordão, foi interditado devido a alagamento.

Além dos pontos de alagamento, também foram informados pela Apac, a lista de precipitação informando quais locais mais choveram no Grande Recife. Como somente será realizada análise para o município de Recife, o local relatado nesta circunstância é o bairro do Porto e Cohab. Estas informações juntamente com a delimitação manual das áreas alagadas a partir de regiões classificadas como hidrografia no meio urbano definiram os parâmetros para gerar o mapeamento das áreas atingidas pelas chuvas.

As áreas atingidas foram determinadas a partir de todas estas informações fornecidas. Observou-se que as sombras dos prédios e nuvens nas regiões centrais foram classificadas como corpos d’água na classificação, então para definir uma região como atingida por chuvas a partir desta classificação foi observado as imagens no visível e outras informações coletadas para poder realizar esta decisão.

FIGURA 24 - Mapeamento das Áreas Atingidas em comparação às Áreas de Risco em meio às Áreas Urbanas



FONTE: Autor

3.9 PROPOSTA DE SOLUÇÃO DE DESASTRES CAUSADOS PELAS CHUVAS - VAZIOS URBANOS

Em um contexto de transformações econômicas e sociais que acontecem globalmente, os vazios urbanos vêm assumindo um importante papel, vinculado, por um lado, às implicações econômico-sociais dessa mercadoria especial que é a terra urbana e, por outro, à configuração espacial das cidades e áreas metropolitanas e a

potencialidade que representam para as necessidades dos diversos segmentos sociais. Os vazios urbanos para uso habitacional foram hierarquizados tendo como objetivo servir de apoio à tomada de decisão na elaboração de políticas habitacionais de interesse social (PEREIRA, 2011).

Neste tópico será abordado uma proposta de solução a curto prazo para a temática social dos desastres elucidados no decorrer do desenvolvimento deste estudo. Os vazios urbanos são o principal objeto para definir as regiões adequadas para uma realocação da população atingida pelas fortes chuvas no Recife. O objetivo então foi o de mapear, de qualificar e de classificar os vazios urbanos existentes na superfície da região de interesse, na qual, sua estrutura será definida pelo seguimento inicialmente da definição dos vazios urbanos a partir das restrições estabelecidas por meios territoriais e ambientais de uso e ocupação de solo; logo após, a segunda parte é efetuada por classificação dos solos urbanos e vazios que estão em regiões com potencial para uso habitacional; e por fim, a partir de análise das regiões estabelecidas e projetos adequados serão definidos os vazios eleitos para reabitação da população impactada pelos desastres.

A Lei de Uso e Ocupação de Solo de Recife-PE de 2020 compreende do território municipal, com o seguinte zoneamento:

I - Zonas de Urbanização Preferencial - ZUP;

II - Zonas de Urbanização de Morros - ZUM;

III - Zona de Urbanização Restrita - ZUR;

IV - Zonas de Diretrizes Específicas - ZDE.

As Zonas de Diretrizes Específicas - ZDE - compreendem as áreas que exigem tratamento especial na definição de parâmetros reguladores de uso e ocupação do solo e classificam-se em:

I - Zonas Especiais de Preservação do Patrimônio Histórico-Cultural - ZEPH;

II - Zonas Especiais de Interesse Social - ZEIS;

III - Zonas Especiais de Proteção Ambiental - ZEPA;

IV - Zonas Especiais de Centros - ZEC;

V - Zona Especial do Aeroporto - ZEA; e

VI - Zonas Especiais de Atividades Industriais - ZEAI.

Dados estes e outras subdivisões de dados e outras definições por lei, como o Plano Diretor Municipal de 2020 disponibilizado pela Prefeitura de Recife, foram utilizados como parâmetros de restrição para criação da região de vazios urbanos:

- Declividade sem risco de vulnerabilidade de escorregamentos (definidas no tópico anterior) (2011);
- Recursos Hídricos, que identifica geograficamente a bacia hidrográfica da cidade do Recife, contendo rios, braços de rios, riachos, bacias portuárias, canais, córregos, açudes, lagoas, alagados na cidade do Recife e juntamente com os dados de declividades foram as áreas de risco no território urbano (2020);
- As Unidades de Conservação da Natureza (UCNs), que são áreas naturais relevantes, legalmente instituídas pelo poder público visando conservar suas características ambientais, proteger a biodiversidade e contribuir para a manutenção dos serviços ecossistêmicos e ambientais (2021);
- Zonas Especiais de Preservação do Patrimônio Histórico-Cultural - ZEPH, requerem parâmetros e requisitos urbanísticos de uso e ocupação do solo, em função de suas características especiais (2020), divididos em:

I - Setor de Preservação Rigorosa - SPR;

II - Setor de Preservação Ambiental - SPA.

- Regiões atingidas pelos desastres causados pelas chuvas por meio de áreas e vias inundadas ou alagadas (2022);
- Os bairros mais vulneráveis serão restrições para este levantamento;

Para definição de potenciais para uso habitacional que serão definidos como base para definição dos vazios urbanos:

- As Zonas Especiais de Interesse Social - ZEIS - que são 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(2020);

- Áreas urbanas - que são regiões fundamentais para garantir a realocação da população em meio a convivência entre outros habitantes e estabelecimentos que garantem uma melhor qualidade de vida.

Tais elementos irão atender aos requisitos de manter distância às áreas de risco de enchentes, alagamentos e inundações, áreas de preservação ambiental e terão potenciais para o uso habitacional para a população de baixo risco. O processo de geração das regiões de vazios urbanos foi realizado por meio do software QGIS a partir das operações entre vetores que foram gerados, juntamente aos vetores do zoneamento que foram obtidos por meio de um portal do governo Recife do Plano de Ordenamento Territorial, na qual, vários dos dados de planejamento territorial estão disponibilizados como representado em azul pela metodologia na FIGURA 2.

Para lidar com o contexto de áreas de risco com relação às chuvas intensas, ao longo prazo, é amplamente discutido entre a comunidade do meio ambiente a permeabilização nas superfícies livres da cidades criando espaços para vegetação para que o tecido urbano tenha uma melhor convivência com os processos naturais que vem se intensificando ao longo dos anos a partir das mudanças climáticas.

Para que processos como este aconteçam, o planejamento urbano do município deverá se realizar de forma que sejam identificadas regiões de aglomerados urbanos que se encontram em áreas de risco e realizem uma desocupação da região para poder se ligar da melhor forma com a vegetação do local.

Essa solução a curto prazo por meio da determinação dos vazios urbanos visa uma realocação de habitantes em áreas de riscos. É necessário que estas regiões não interfiram no ambiente urbano novamente, logo, essa realocação se dá por meio de regiões em que não tenha restrições para o uso habitacional e que seja acessível para moradia de pessoas de baixa renda, ou seja, uma solução social desenvolvida por análise espacial.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As imagens empregadas para as análises territoriais do município de Recife, foram obtidas do Sentinel 2-B, contendo 13 bandas, na qual, 5 foram definidas para este trabalho e então foi realizado de um pré-processamento para fins de otimização e para realizar as devidas manipulações e assim, efetuar as análises necessárias. Então, para este trabalho foram utilizadas imagens com uma resolução espacial de 20 metros reamostradas para 10 metros, que não permitem a observação de pequenas áreas alagadas e inundadas. Tais aplicações poderiam avaliar feições mais detalhadas na superfície com a aplicação de algoritmos de processamentos digitais de imagem como a super resolução que busca produzir imagens com resolução superior à fornecida pelo dispositivo de aquisição.

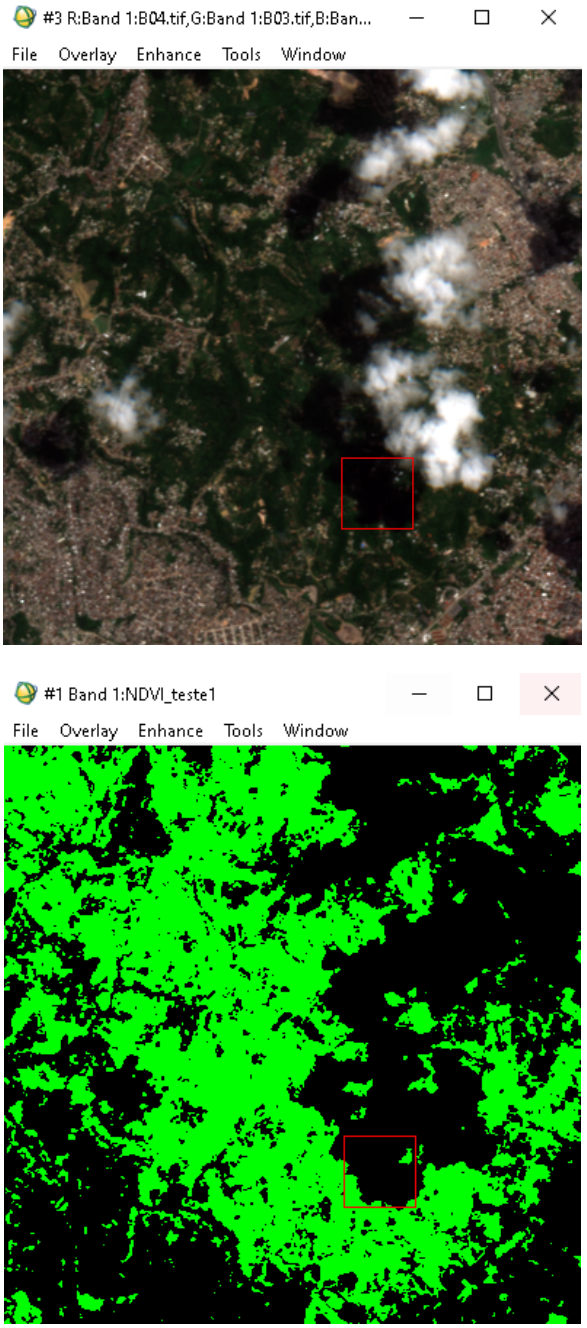
Com esta aplicação os índices espectrais estariam mais detalhados em suas bandas e índices. Estes que poderiam também ter sido aplicados com as mais diversas utilidades para analisar outros elementos na superfície do território. No entanto, a avaliação da vegetação, das áreas edificadas e hidrografia foram suficientes para entender o fenômeno das chuvas no perímetro urbano através da classificação de árvore de decisão, porém, outros testes poderiam ter sido realizados com maior qualidade de classificação.

Um exemplo que podemos observar é a partir do índice NDVI, na qual, a imagem resultante da operação entre bandas está definida na variável B1 no cálculo entre bandas. Neste caso foi identificado que a maioria das amostras da vegetação na superfície do recorte da imagem apresentava valores acima de 0.3, então, foi definido que o Índice NDVI aplicado para a variável B1 com valores maiores que 0.3 será classificado como vegetação, logo, B1 seguido da variável GT que representa a condição “maior que”, seguido do valor de 0.3, define a condição de classificação deste exemplo do NDVI. Se encontrados valores maiores que 0.3 sua definição será de vegetação, se forem menores sua definição será sem vegetação.

FIGURA 25 - Resultados gerados da classificação da vegetação por meio do método Árvore de Decisão, evidenciando regiões bem sucedidas

FONTE: Autor

FIGURA 26 - Resultados gerados da classificação por meio do método Árvore de Decisão, evidenciando regiões mal sucedidas devido sombreamento e oclusão



FONTE: Autor

Em um modo geral a vegetação foi representada corretamente, por meio de testes realizados a partir de diferentes intervalos definidos para a classificação por meio da Árvore de Decisão. É possível identificar que quanto menor o valor indicado há uma coleta de uma área maior da vegetação dando margem para encontrar erros de uma classificação mal sucedida de determinados elementos. Porém, um caso

bem evidente que não foi bem definido, foi em regiões sombreadas por nuvens. Sombras e nuvens causaram sérias interferências nas imagens orbitais degradando a resposta radiométrica ou provocando a completa oclusão de feições.

No NDVI, outro elemento que demonstrou constância em seus valores foram as regiões com água, como mar, rios e lagoas que continuamente apresentaram valores abaixo de 0, onde, decidiu-se defini-los na árvore de decisão, para verificar o seu comportamento.

Ao se definir valores abaixo de 0 no NDVI observou-se que várias edificações se confundiram como hidrografia, pelo material que cada telhado e pela coloração, pois a maioria dos telhados brancos, foram definidas como valores negativos. Mas onde havia uma região hidrográfica, também se obteve resultados bem definidos.

FIGURA 27 - Exemplos de classificação das superfícies com água mal sucedida a partir de testes no NDVI

FONTE: Autor

Para obter os melhores resultados quanto à hidrografia, foi estabelecido um Índice específico, o NDWI.

A dificuldade encontrada no NDWI, foi uma dificuldade também encontrada nas regiões classificadas pelo NDVI, que foram os valores de índices semelhantes entre telhados de materiais específicos e de coloração branca.

FIGURA 28 - Exemplo utilizado para classificação de corpos d'água com valores de NDWI maiores que 0.02

FONTE: Autor

FIGURA 29 - Exemplo utilizado para classificação de corpos d'água com valores de NDWI maiores que 0.04

FONTE: Autor

Uma forma de diferenciar estes elementos por meio da árvore de decisão seria identificando da melhor forma as edificações. E para isto, se utilizará um índice específico para esta identificação, o NDBI.

FIGURA 30 - Exemplo de classificação das edificações bem sucedida com a utilização do índice de Edificações (NDBI) para o Cemitério de Santo Amaro

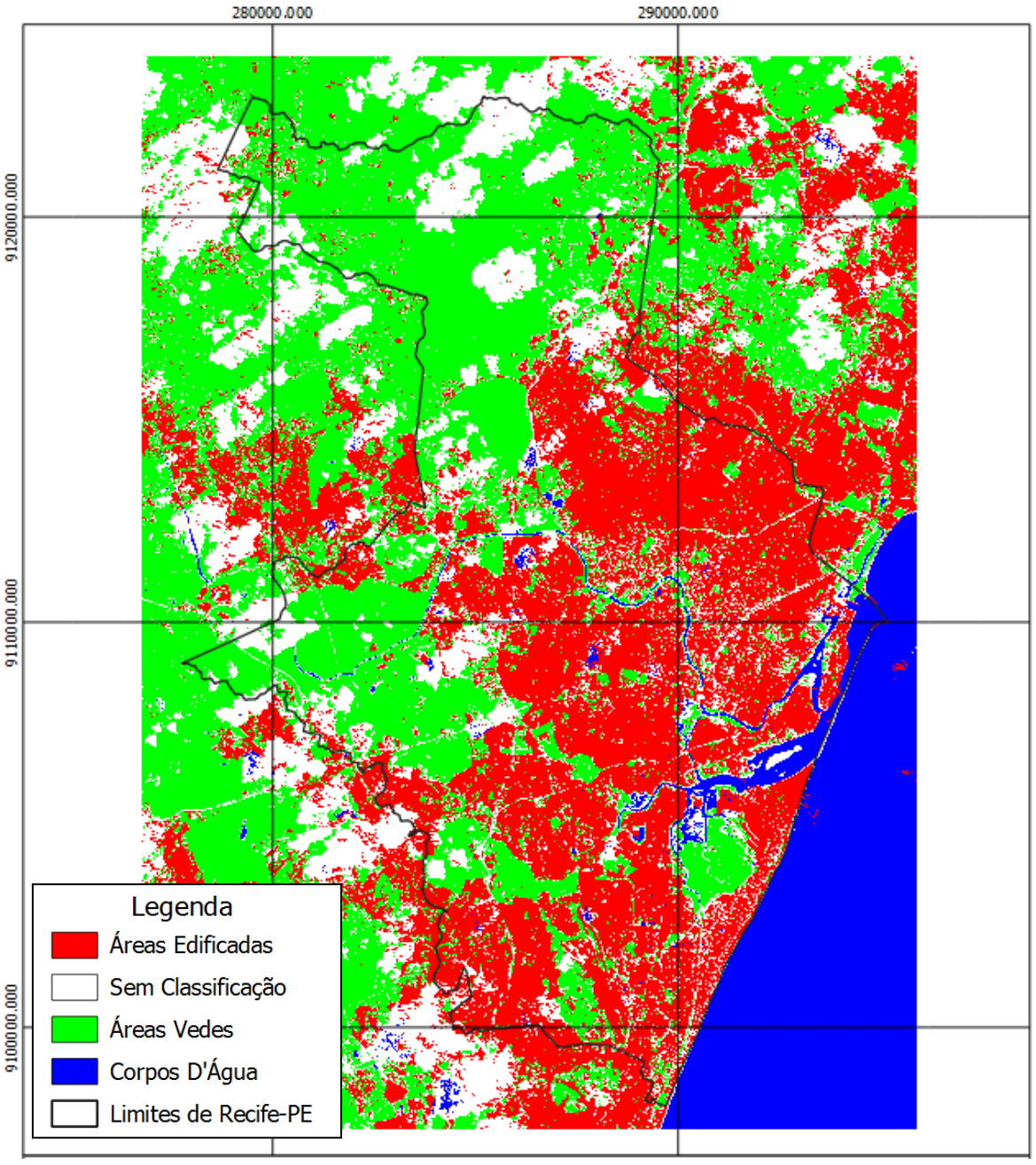
FONTE: Autor

Esta classificação se encontra definida ao longo de toda a região. Alguns terrenos com solo exposto se confundiram com edificação, mas sua extensão não foi significativa e essas serão desconsideradas para definição de áreas urbanas.

Neste caso, para otimizar os resultados das áreas urbanas numa região de dimensões grandes como a de Recife-PE poderá se realizar uma classificação por bloco, para, a partir da especificidade de cada bloco e região do município ser realizada uma classificação e assim, os resultados se apresentarão com uma maior concordância entre as amostras coletadas e a classificação gerada por meio de uma Árvore de Decisão.

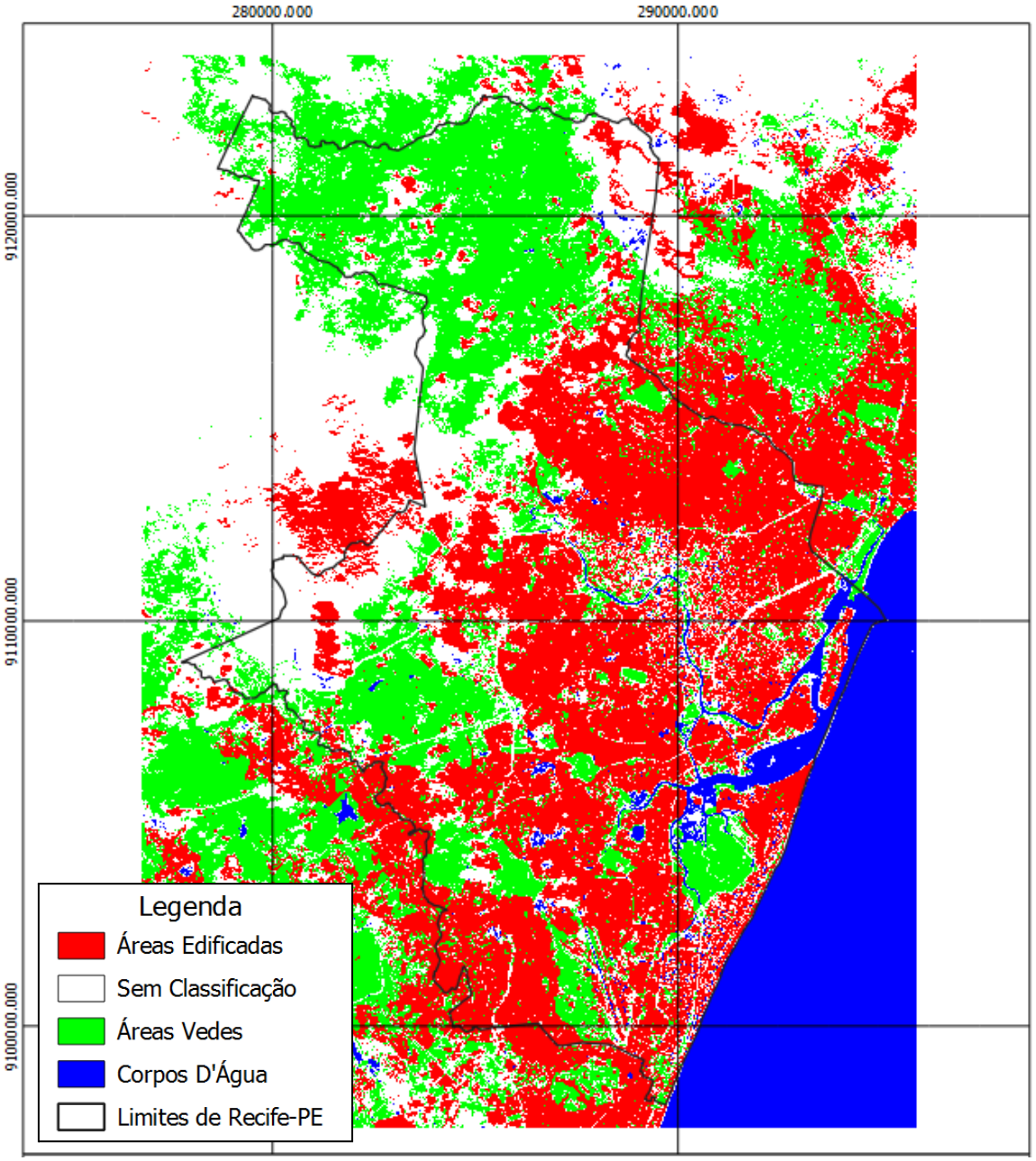
Seguindo as etapas estabelecidas pela metodologia foram gerados mapas de uso e ocupação do solo da superfície recifense. O mapeamento de ambas as imagens estão apresentadas a seguir:

FIGURA 31 - Mapa de Uso e Cobertura de Solo de Recife-PE gerado a partir de Classificação por Árvore de Decisão para o dia 01/04/2022



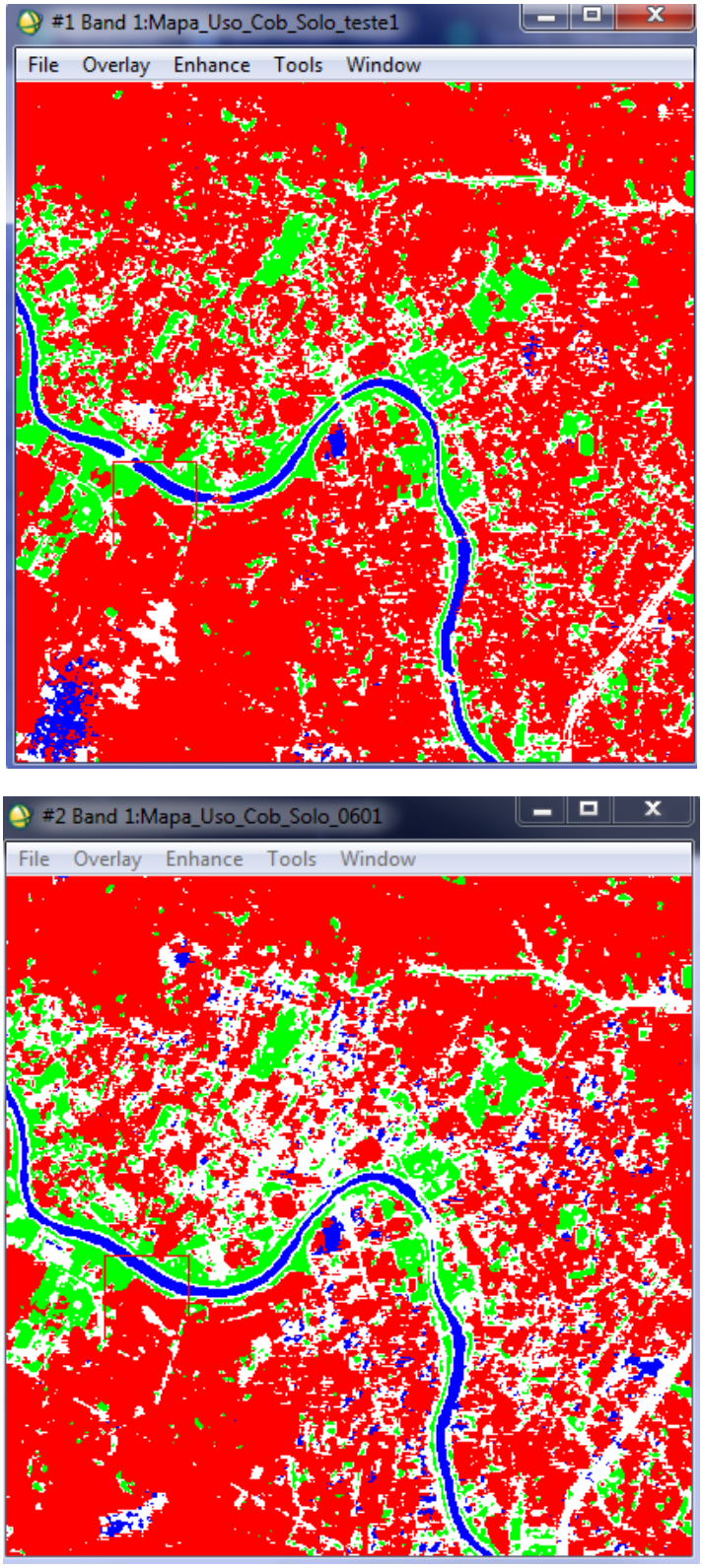
FONTE: Autor

FIGURA 32 - Mapa de Uso e Cobertura de Solo de Recife-PE gerado a partir de Classificação por Árvore de Decisão para o dia 01/06/2022



FONTE: Autor

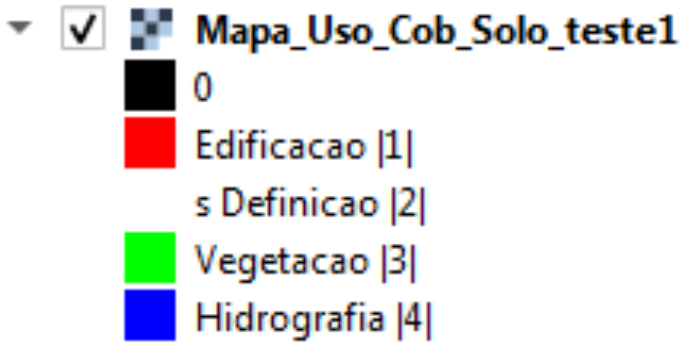
FIGURA 33 - Comportamento das Classificações por Árvore de Decisão de diferentes datas (02/04 - 01/06 de 2022 respectivamente)



FONTE: Autor

Relatório do Dimensionamento de Áreas (Raster) da Classificação recortada para o município de Recife-PE por meio da Imagem Orbital do Sentinel-2 para o dia 02 de Abril de 2022:

FIGURA 34 - Classes definidas para o mapeamento de Mapa de Uso e Cobertura do Solo em Recife para o dia 02 de Abril



FONTE: Autor

QUADRO 4 - Proporção das classes definidas para o mapeamento de Mapa de Uso e Cobertura do Solo em Recife para o dia 02 de Abril

Descrição	km²	Proporção ao total
Hidrografia |4|	5.95	2.72%
Sem Classificação (Nuvens/Sombreamento) |2|	41.77	19,08%
Vegetação |3|	76.84	35.10%
Edificação |1|	94.33	43.09%
TOTAL	218.91	100%

FONTE: Autor

Relatório do Dimensionamento de Áreas (Raster) da Classificação recortada para o município de Recife-PE por meio da Imagem Orbital do Sentinel-2 para o dia 01 de Junho de 2022 (o número total se diferenciou no relatório devido ao processamento aplicado):

FIGURA 35 - Classes definidas para o mapeamento de Mapa de Uso e Cobertura do Solo em Recife para o dia 1 de Junho

FONTE: Autor

QUADRO 5 - Proporção das classes definidas para o mapeamento de Mapa de Uso e Cobertura do Solo em Recife para o dia 1 de Junho

Descrição	km²	Proporção ao total
Hidrografia |4|	8.2206	3.8392%
Sem Classificação (Nuvens/Sombreamento) |2|	55.3664	25.8574%
Vegetação |3|	61.4168	28.6831%
Edificação |1|	93.9082	43.8573%
TOTAL	214.1221	100%

FONTE: Autor

Os mapas, as imagens comparativas e os dados relatados dos arquivos raster demonstram que o mapa da FIGURA 32 possui uma quantia maior com relação a corpos d'água em relação ao da FIGURA 31, apesar de algumas sobras de edificações se confundirem e se classificarem para hidrografia, muitas regiões não apresentavam essas características apresentando assim regiões de alagamento a partir das classes de hidrografia e sem classificação apresentarem valores maiores em relação às imagens classificadas há dias antes do desastre.

Além das sombras inerentes às feições do terreno como altas edificações, sombras projetadas por nuvens ocorrem com certa frequência nestas imagens por ser datado de uma época de temporais sobre a região. Nesse caso, além das áreas de baixa iluminação e contraste causadas pela projeção da sombra sobre a

superfície, há também a oclusão de informações por nuvens. Essa oclusão é evidente e se mostra no relatório reportado das informações de regiões não classificadas de ao menos 19% nestas imagens. Além disto algumas oclusões assumem valores de hidrografias ou edificações em dimensões menores, mas que poderiam ser solucionadas a partir da aplicação de índices diferentes para que assim sejam diferenciados e assim gerar uma classificação mais exata e informativa.

Para validação dos resultados atingidos na classificação foi utilizado o *Plug-In AcATaMa* do *QGIS* que a partir de 120 amostras aleatórias de pontos na imagem de classificação. Estas foram definidas pelas proporções pela área (definidos levando como base o QUADRO 4) e com sua distribuição se definiu qual classe estas amostras pertenciam. Gerando então um relatório da acurácia de classificação, na qual, as FIGURAS 37, 38 e 39 explicitam os resultados para a classificação do dia 2 de Abril de 2022.

Para estes valores os valores 1, 2, 3 e 4 representam respectivamente as classes:

1 - Edificações;

2 - Áreas não classificadas;

3 - Vegetação;

4 - Corpo D'Água;

FIGURA 36 - Proporção definida para geração das amostras para geração do relatório das acurácias para a classificação do dia 2 de Junho

Pix Val	Color	Num Samples
0		0
1		50
2		25
3		40
4		5

Fonte: Autor

FIGURA 37 - Matriz de Confusão para a classificação do dia 2 de Abril de 2022

	Classified values							
	1 (Edificacao)	2 (sClasse)	3 (Vegetacao)	4 (CorposDagua)	Total	User accuracy	Total class area (km²)	Wi
1	48	1	1	0	50	0.96	94.3317	0.43091
2	11	10	3	1	25	0.4	41.7738	0.19082
3	1	0	39	0	40	0.975	76.8496	0.35105
4	0	0	0	5	5	1.0	5.9569	0.02721
total	60	11	43	6	120		218.912	
Producer accuracy	0.8	0.90909	0.90698	0.83333		0.85		

Fonte: Autor

FIGURA 38 - Matriz de erro da proporção de área estimada para a classificação do dia 2 de Abril de 2022

	Classified values				
	1 (Edificacao)	2 (sClasse)	3 (Vegetacao)	4 (CorposDagua)	Wi
1	0.41368	0.00862	0.00862	-	0.43091
2	0.08396	0.07633	0.0229	0.00763	0.19082
3	0.00878	-	0.34228	-	0.35105
4	-	-	-	0.02721	0.02721
total	0.50641	0.08495	0.37379	0.03484	

Fonte: Autor

FIGURA 39 - Matriz de erro quadrático da proporção de área estimada para a classificação do dia 2 de Abril de 2022

	Classified values			
	1 (Edificacao)	2 (sClasse)	3 (Vegetacao)	4 (CorposDagua)
1	0.00015	7e-05	7e-05	-
2	0.00037	0.00036	0.00016	6e-05
3	8e-05	-	8e-05	-
4	-	-	-	-
total	0.02442	0.02094	0.01765	0.00763

Fonte: Autor

A acurácia geral desta classificação foi de 0.85949 que representa aproximadamente 86%.

Para validação dos resultados atingidos para classificação do dia 1 de Junho de 2022 foi utilizado o mesmo *Plug-In AcATaMa* do *QGIS*, na qual, sua diferença está no número de amostras definidas por 110. A partir destas amostras, foram definidas proporções pela área (definidos levando como base o QUADRO 5) e com sua distribuição se definiu para qual classe pertenciam. Gerando então um relatório da acurácia de classificação, na qual, as FIGURAS 41, 42 e 43 explicita os resultados para a classificação do dia 1 de Junho de 2022.

FIGURA 40 - Proporção definida para geração das amostras para geração do relatório das acurácias para a classificação do dia 1 de Junho

Pix Val	Color	Num Samples
0		0
1		50
2		25
3		30
4		5

Fonte: Autor

FIGURA 41 - Matriz de Confusão para a classificação do dia 1 de Junho de 2022

	Classified values							
	1 (Edificacao)	**2 (sClasse)**	**3 (Vegetacao)**	**4 (Corpos Dagua)**	**Total**	**User accuracy**	**Total class area (m²)**	**Wi**
1	41	9	0	0	50	0.82	93908200.0	0.42898
2	8	14	3	0	25	0.56	55366400.0	0.25292
3	0	0	30	0	30	1.0	61416800.0	0.28055
4	1	1	1	2	5	0.4	8220600.0	0.03755
total	50	24	34	2	110		218912000.0	
Producer accuracy	0.82	0.58333	0.88235	1.0		0.79091		

Fonte: Autor

FIGURA 42 - Matriz de erro da proporção de área estimada para a classificação do dia 1 de Junho de 2022

	Classified values				
	1 (Edificacao)	**2 (sClasse)**	**3 (Vegetacao)**	**4 (Corpos Dagua)**	**Wi**
1	0.35176	0.07722	-	-	0.42898
2	0.08093	0.14163	0.03035	-	0.25292
3	-	-	0.28055	-	0.28055
4	0.00751	0.00751	0.00751	0.01502	0.03755
total	0.4402	0.22636	0.31842	0.01502	

Fonte: Autor

FIGURA 43 - Matriz de erro quadrático da proporção de área estimada para a classificação do dia 1 de Junho de 2022

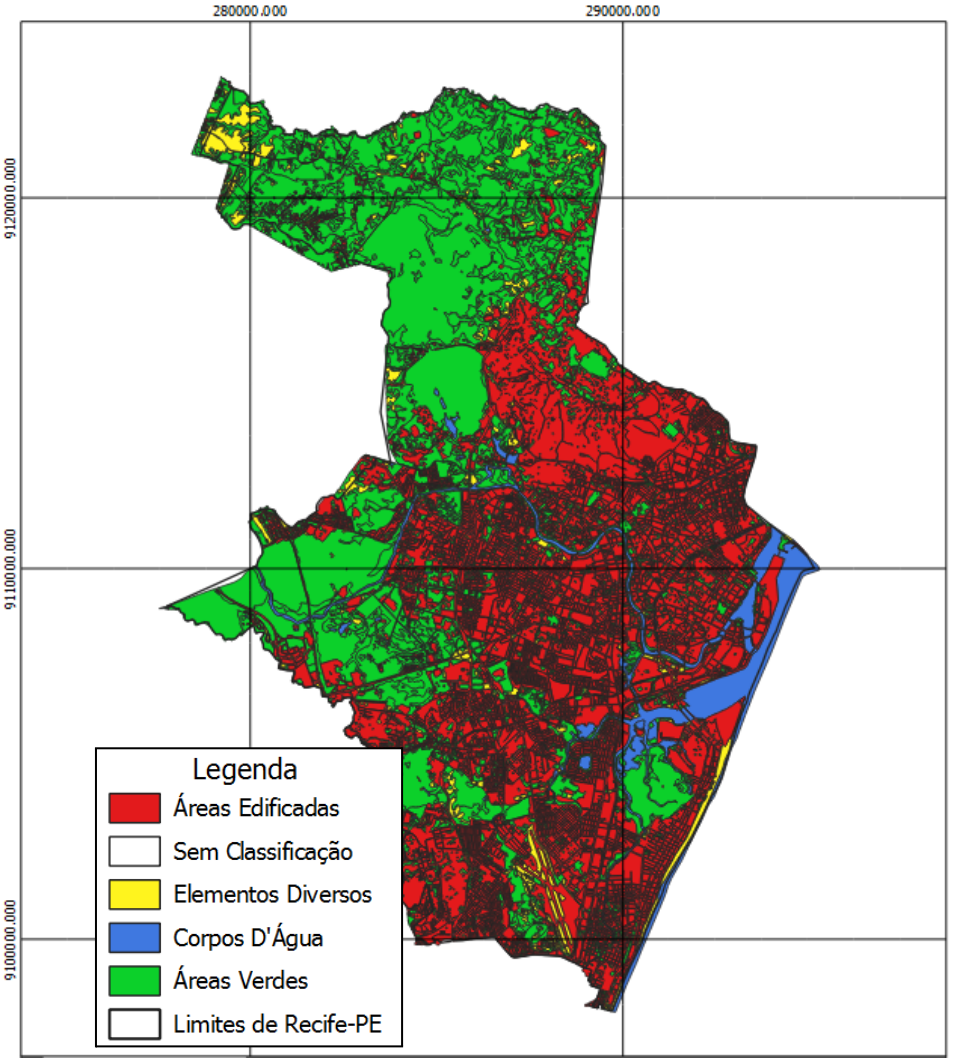
	Classified values			
	1 (Edificacao)	2 (sClasse)	3 (Vegetacao)	4 (Corpos Dagua)
1	0.00055	0.00055	-	-
2	0.00058	0.00066	0.00028	-
3	-	-	-	-
4	6e-05	6e-05	6e-05	8e-05
total	0.03451	0.0356	0.01838	0.0092

Fonte: Autor

A acurácia geral desta classificação foi de 0.78897 que representa aproximadamente 79%. Cerca de 7% a menos de acurácia geral em comparação a classificação do dia 2 de Abril de 2022.

Para fins de comparação, a prefeitura do Recife disponibiliza os dados espaciais do uso e cobertura de solo datado para época de 2013, com a finalidade comparativa de traçar um paralelo entre suas semelhanças e diferenças.

FIGURA 44 - Mapa de Uso e Cobertura de Solo de Recife-PE gerado a partir de dados livres fornecidos pela Prefeitura para o ano de 2013

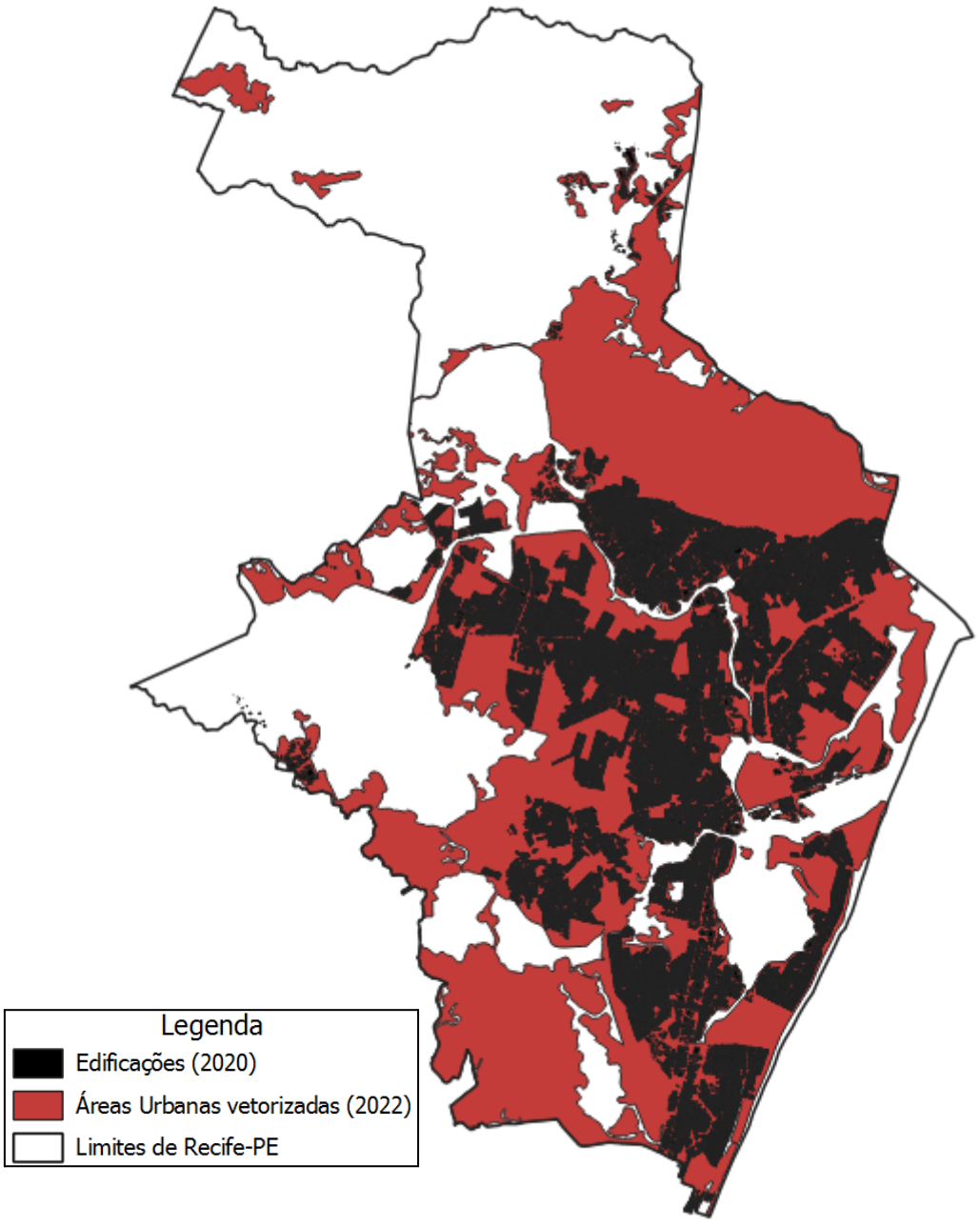


FONTE: Autor

Para esta classificação, não se sabe quais foram as formas das obtenções destes dados, mas pode-se observar que há elementos diferentes a este trabalho que foram identificados, como areia da praia e a pista do Aeroporto de Recife. Certas regiões que se encontravam confusas em relação a classificação na região perto das bordas do município decorrente de oclusões e nuvens puderam ser confirmadas suas áreas urbana por este modelo, confirmando a classificação errônea nestas áreas, porém, pode-se observar que nas regiões centrais, onde a maioria das amostras foram coletadas se observa uma classificação bem sucedida de todas regiões urbanas que foram classificadas tanto pelo modelo da árvore de

decisão, quanto pela vetorização que delimitou estes valores pelas densas malhas urbanas. Esta vetorização pode ser validada a partir dos dados disponibilizados pela Prefeitura, que apresenta o desenho de todas as edificações da cidade, separando os pavimentos e incluindo as edificações sem vínculo com lote reconstituído para o ano de 2020. Por estas razões o arquivo utilizado é grande para manipulação. As suas coincidências espaciais estão expressas a seguir:

FIGURA 45 - Mapa de Áreas Urbanas (2022) determinadas pela vetorização e Edificações de Recife (2020)



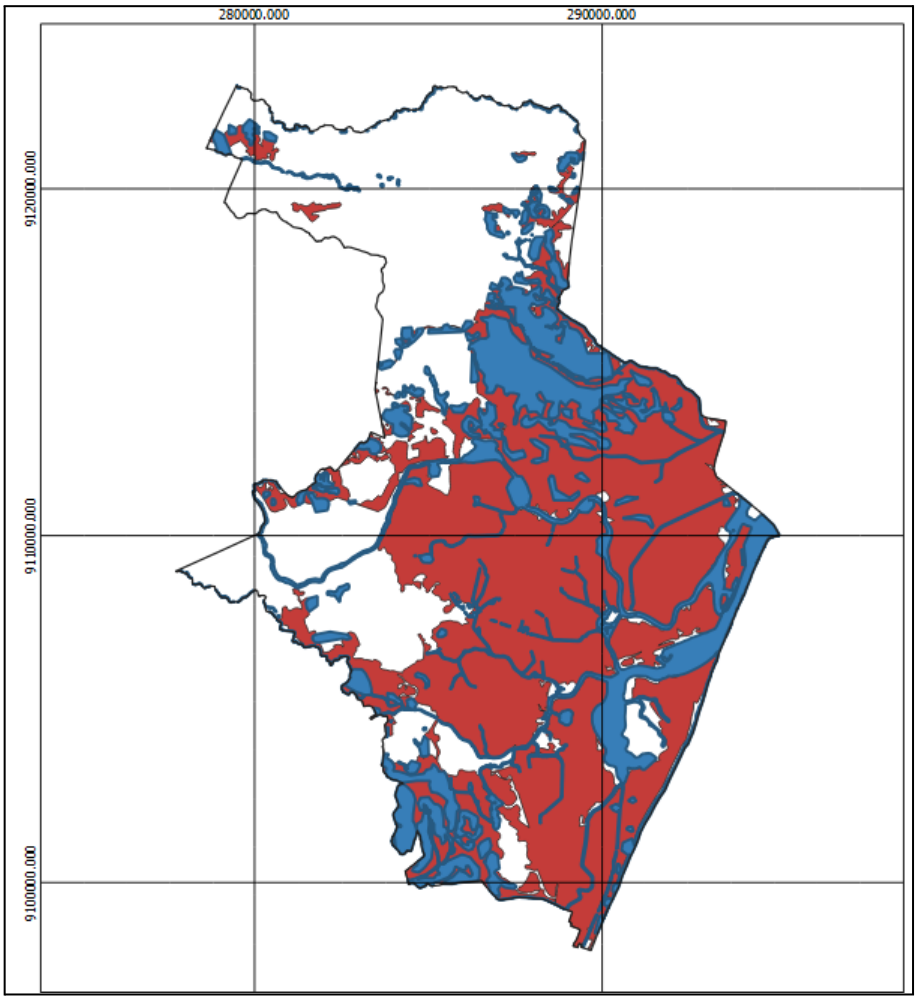
FONTE: Autor

As áreas urbanas foram definidas levando em conta as imagens orbitais no espectro do visível e de índices definidos para a árvore de decisão. Estas informações foram vetorizadas manualmente visando evitar classificações mal-sucedidas e áreas com pouca densidade urbanas (a classificação era realizada

a partir de edificações), informações que não se enquadram no objetivo da delimitação definida. Para determinar então, uma comparação para a validação destes dados,as edificações registradas pela Prefeitura de Recife estão todas sobrepostas nas áreas urbanas geradas pelos índices espectrais, as regiões urbanas que não possuem registros pela prefeitura são regiões do subúrbio e conglomerados urbanos isolados.

As áreas de risco estabelecidas para este tópico foram determinadas objetivamente por meio da declividade e recursos hidrográficos para comparações a partir de outros dados também gerados de forma objetiva, seu mapeamento está apresentado a seguir:

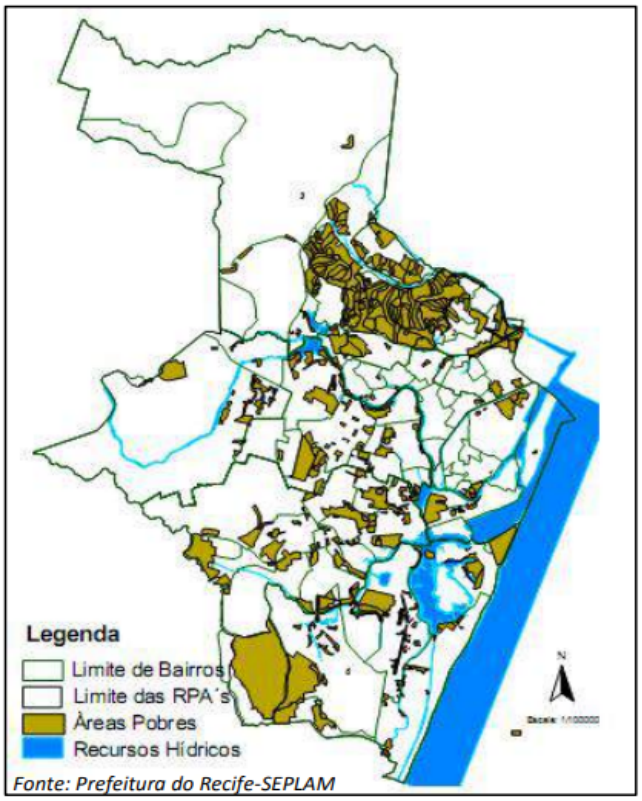
FIGURA 46 - Mapa de Áreas de Risco no Meio Urbano de Recife-PE

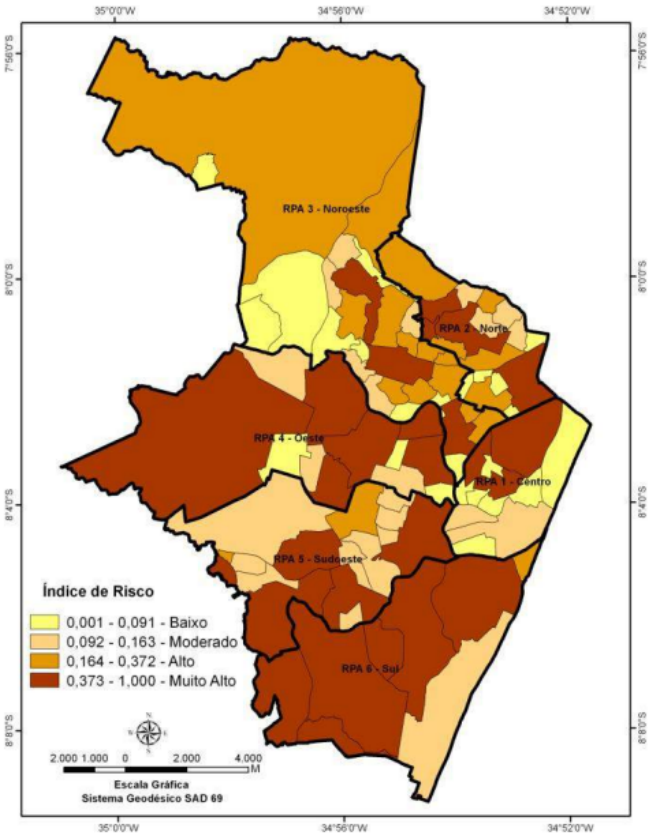


FONTE: Autor

A acertibilidade destes dados são incertos por ser estabelecidos com diferentes precisões e manuseado por diferentes datas (variando desde 2011 a 2022), logo, não se sabe como essas diferenças afetam o resultado final. Para conferir estas análises, os dados gerados foram comparados por meio de uma metodologia mais complexa e precisa com relação aos dados definidos. As áreas de risco para o município de Recife por SOUZA, ASSIS, SOBRAL e AZEVEDO (2014) seus resultados estão presentes na FIGURA 47-b.

FIGURA 47 - a) Identificação das áreas pobres na capital de Pernambuco (2008) e b) Índice de Risco por Bairro em Recife (2014)

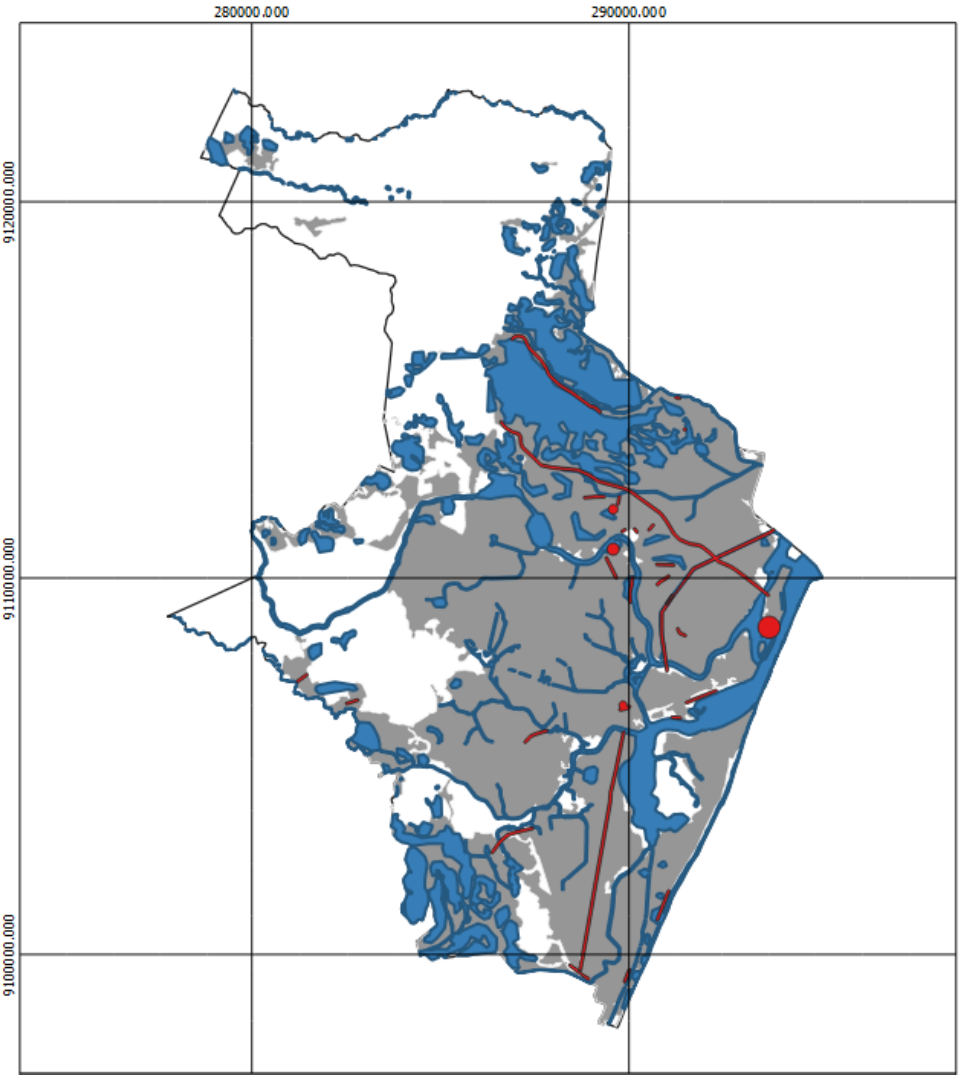




Fonte: SOUZA, ASSIS, SOBRAL e AZEVEDO (2014)

Com esta identificação das áreas pobres, pode-se observar que muitas delas foram consideradas áreas de risco neste trabalho, ocupada em regiões com altos índices de declividade e possivelmente de forma irregular, considerando-se como regular, os dados das edificações registradas disponibilizados por Recife como mostrado na FIGURA 45 de uma alta densidade demográfica. Pelas áreas dos índices de risco por bairros pode-se observar que estas regiões também apresentam risco tanto na porção Sul como na porção Norte validando grande parte das regiões escolhidas como áreas de risco para este trabalho.

FIGURA 48 - Mapa de Áreas de Atingidas pelo desastre causado pelas chuvas no Meio Urbano de Recife-PE em 2022.



FONTE: Autor

Pode-se observar na FIGURA 48 que as áreas atingidas se localizam no entorno de regiões a partir de informações de vias e bairros inundados ou alagados. Pode-se observar que todas estas estão envolvidas no meio urbano e nas vias principais de maior movimentação ou em regiões em que o aglomerado urbano é intenso. Informações de saneamento básico, gestão correta do território contribuem para as áreas afetadas na região, bem como a declividade no terreno que por situar moradias em áreas de alto declive, a composição de suas regiões não suportam o grande volume de chuvas e podem ter sido o motivo desta região ter sido atingida gerando diversos problemas.

Aqui se reforça a tese de que o convívio de áreas verdes no conjunto da paisagem urbana colaboram para um espaçamento adequado, saudável e colabora para evitar que problemas como este aconteçam.

O mapa de declividade foi gerado a partir de um Modelo Digital de Terreno para fins de aplicabilidade de técnicas e foi generalizado devido a não obtenção de dados no terreno aplicado à altimetria em si. A declividade apresentada foi utilizada em aplicações no meio urbano e seu relatório entre as classes definidas estão presentes a seguir:

FIGURA 49 - Classificação de intervalos de declividade

FONTE: Autor

Os valores apresentado para o relatório da declividade é o mesmo do apresentado nos métodos deste estudo no qual cada classe representa o seguinte intervalo:

1 - 0 a 5;

2- 5 a 15;

3 - 15 a 30;

4 - Acima de 30;

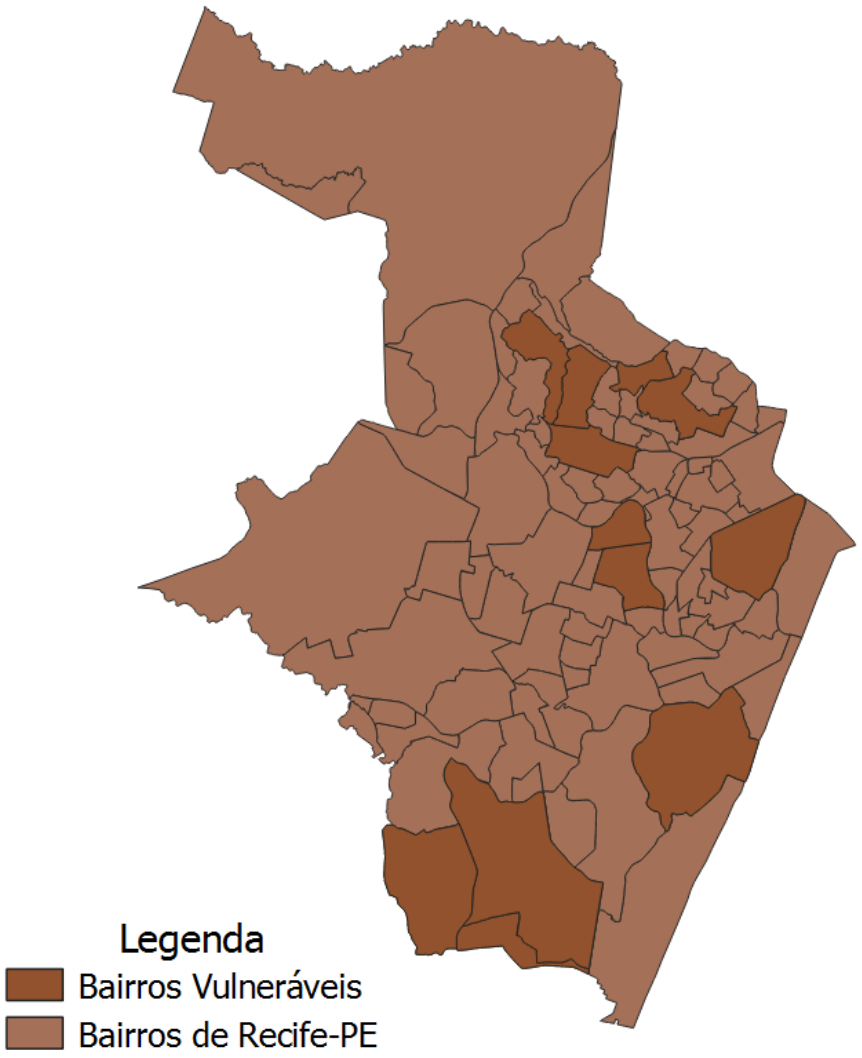
QUADRO 6 - Proporção da classificação de intervalos de declividade

Descrição	km²	Proporção ao total
Vulnerabilidade Muito Alta|4|	5.01	2.29%
Vulnerabilidade Alta|3|	38.01	17.39%
Vulnerabilidade Baixa|1|	75.47	34.54%
Vulnerabilidade Média|2|	100.00	45.77%
TOTAL	218.49	100%

FONTE: Autor

A partir de uma análise em todos os dados obtidos, de áreas atingidas, áreas de risco e índice de risco datado de 2014 explícito na FIGURA 47-b, pode se afirmar que os bairros mais vulneráveis a riscos de alagamentos, enchentes e inundações são:

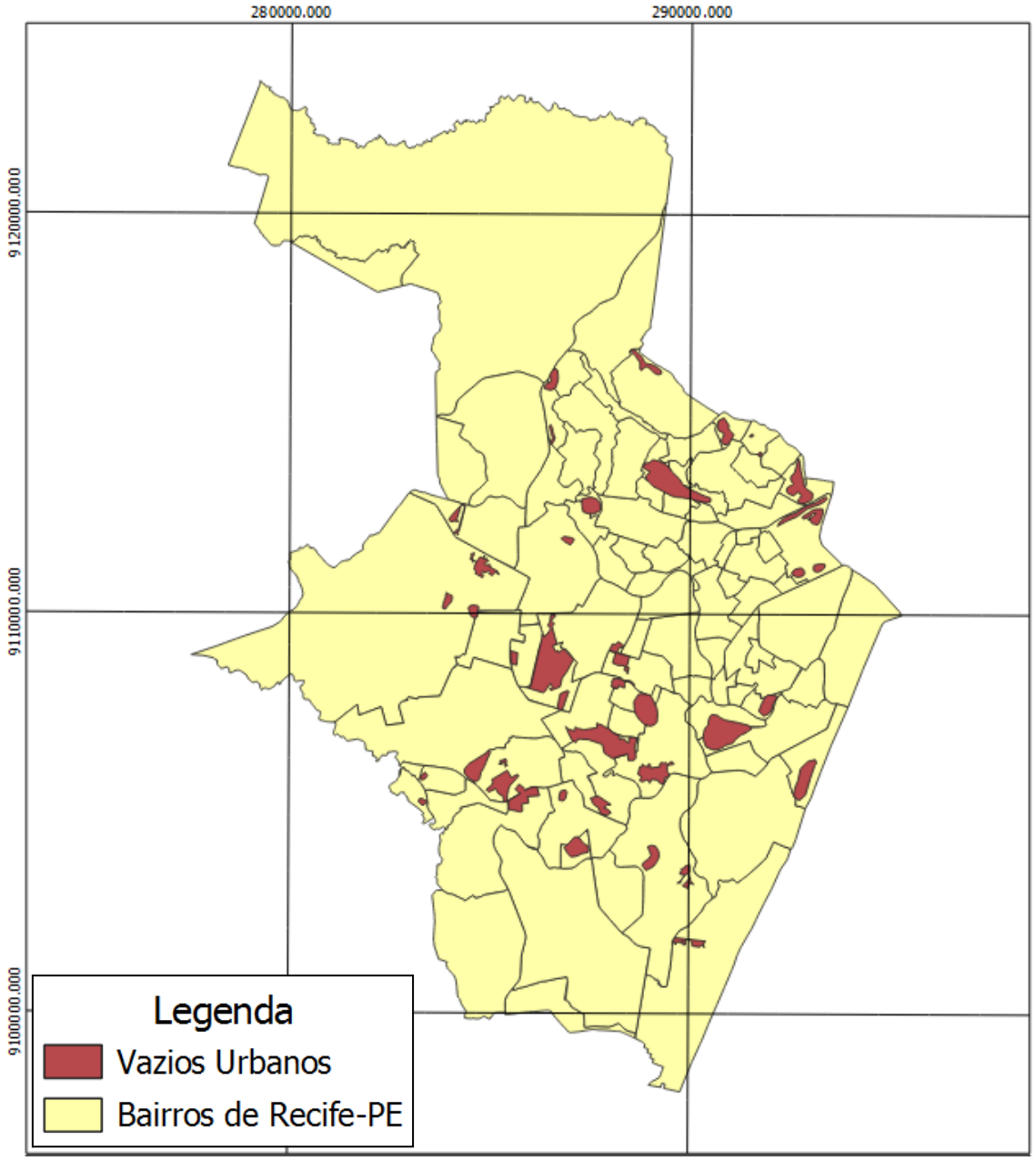
FIGURA 50 - Bairros mais vulneráveis a riscos de alagamentos, enchentes e inundações.



FONTE: Autor

Estes bairros são denominados: Água Fria; Casa Amarela; Cohab; Ibura; Jordão; Linha do Tiro; Madalena; Nova Descoberta; Pina; Santo Amaro; Torre e Vasco da Gama. Estes bairros foram definidos como restrições na construção dos vazios urbanos para a proposta de realocação. A partir da metodologia estabelecida, o resultado do mapeamento se apresenta na FIGURA 51.

FIGURA 51 - Vazios Urbanos para Uso Habitacional em Recife-PE.



FONTE: Autor

Tais dados foram gerados com base nas áreas urbanas delimitadas e pelo uso habitacional das ZEIS. Os resultados geraram vazios urbanos difundidos por todo o território Recifense. Com isto, uma realocação habitacional poderá ser realizada a partir de interesses do governo pelo zoneamento, em uma região segura que não degrada e cause danos tanto para o ambiente de convívio urbano quanto para população em si. Para isso seria necessário a aplicação de programas

priorizados para cidadãos atingidos pelos desastres com a intenção de manejar todo o contexto envolvido de forma organizada e primorosa.

4.1 RECOMENDAÇÕES

- Aplicar métodos para reduzir as oclusões de nuvens e sombras. Pode-se definir um índice específico para a identificação destes elementos e assim, melhor visualizar sua delimitação. A partir desta informação pode-se obter as informações ocultadas a partir de outras imagens de outra época da mesma região, desde que seja durante o mesmo período quanto a estação do ano, ou seja, clima semelhante ao da imagem com oclusões. A partir destes outros dados pode-se realizar operações entre imagens visando complementar as informações territoriais faltantes para um mesmo recorte de imagem;

- Aplicação de algoritmos para melhoria da qualidade das imagens. No caso das bandas utilizadas para a classificação de imagens, foi utilizado uma resolução espacial de 20 metros reamostradas para 10 metros. Porém, para encontrar uma quantia maior de detalhes no território pode-se aplicar métodos como o de Super Resolução que melhora a qualidade da resolução da imagem através de algoritmos de Processamento Digital de Imagens;

- Melhoria da precisão dos dados utilizados a partir de métodos cartográficos. Como para o Modelo Digital do Terreno por exemplo, onde seria necessário levantar ou obter dados de pontos ao redor do município de Recife para atribuir valores de elevação em curvas de nível para obter um novo e mais exato Modelo Digital do Terreno. Além deste exemplo, outros dados poderiam ter sido obtidos a partir de outras técnicas para obtenção de produtos de melhor exatidão;

- Melhoria na estruturação dos parâmetros, consolidando os resultados gerados. Na qual, a partir de uma análise de pertinência de novos parâmetros, poderia ser utilizado outros dados para originar produtos com uma maior robustez .

5 CONCLUSÃO

O resultado do projeto forneceu como conhecimento um conjunto de métodos e dados geográficos que permitem a tomada de decisões ágeis, imprescindíveis para o gerenciamento de uma cidade que cresce e se transforma rapidamente. Portanto, foi possível analisar os riscos antes das inundações, enchentes e deslizamentos acontecerem e observar que vários outros fatores podem ser mapeados para compreender como Recife foi ou será atingida e assim, entender e se prevenir para evento futuros, não só como uma proposta a curto prazo, mas sim, a médio e longo prazo. Mudanças deverão ser estimuladas no território para que surtam efeitos reais na vida de sua população a fim de que os danos causados por ocorrências como esta sejam os menores possíveis.

ALHEIROS (1998) sustenta que numa análise geral, a região metropolitana de Recife apresenta um território relativamente seguro, dada a baixa ocorrência de desastres espontâneos, mas surpreendentemente, tem sido palco de acidentes com grande número de mortes e altas perdas econômicas. Fica portanto clara a relação entre a ocorrência de acidentes e a ocupação do meio físico, exigindo um planejamento adequado e responsável para a expansão do espaço urbano.

Podemos constatar que o Sensoriamento Remoto contribui com o planejamento urbano e a prevenção de desastres com as mais diversas aplicações que serão discutidas e utilizadas para um mapeamento de informações. Podendo ser esta no contexto ambiental, social e territorial por meio de um zoneamento, por exemplo. Estes, serão delimitados realizando operações entre dados geoespaciais de diversas vertentes a partir de elementos territoriais, tais como, relevos topográficos, questões práticas relatadas de localidades atingidas por desastres e precipitação (meteorologia) como utilizado neste trabalho. Assim, todas as informações serão representadas por delimitações espaciais e estes dados se interligam entre si e então pode-se obter produtos dos mais diferentes temas relacionados à cartografia.

Ao utilizar dados e produtos com alta precisão e com uma estrutura bem definida quanto aos seus parâmetros, para o caso deste trabalho e suas análises, pode-se definir como elaborado e bem fundamentado quanto ao seu conteúdo e seus resultados. As mais diversas aplicações computacionais, de levantamentos de

informações de pontos, linhas e áreas, por métodos topográficos, geodésicos, fotogramétricos e sua complexidade para gerar uma estrutura para resguardar estes em um banco de dados, analisar seus resultados por meio de um rigor estatístico. Todos estes serviços colaboram cada vez para aprimorar a gestão urbanística territorial. Atualmente, surgindo cada vez mais casos de desastres com relação às chuvas e problemas urbanos como ocorrido no Recife, na região nordeste e em vários outros lugares no Brasil em 2022, estas técnicas deverão ser cada vez mais necessárias e seus produtos deverão ser monitorados e atualizados com maior frequência para prevenir desastres como estes.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALHEIROS, M. M. **Riscos de escorregamentos na Região Metropolitana do Recife**. Salvador: UFBA, 1998.

ALVES, A. **APAC - Agência Pernambucana de Águas e Climas**. Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br/>. Acesso em: 1 set. 2022.

BANDEIRA, A. P. N. **Parâmetros técnicos para gerenciamento de áreas de riscos de escorregamentos de encostas na região metropolitana do Recife**. 2010.

BELWARD, A. S.; SKØIEN, J. O. *Who launched what, when and why; trends in global land-cover observation capacity from civilian earth observation satellites*. ***ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing***, v. 103, p. 115-128, 2015.

BRANDÃO, M. Senado aprova construções às margens de rios e lagos em cidades Texto altera o Código Florestal. **Agência Brasil** Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/politica/noticia/2021-10/senado-aprova-construcoes-margens-de-rios-e-lagos-em-cidades>. Acesso em: 10 set. 2022.

BRASIL, C. **600 mil pessoas vivem em áreas de risco no Recife, diz Cemaden | NOVO DIA**. YouTube, 31. maio 2022. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=-zvr6llK2pw>. Acesso em: 1 out. 2022.

CHOI, J. *A hybrid approach to urban land use/cover mapping using landsat 7 enhanced thematic mapper plus (ETM) images.* ***International Journal of Remote Sensing***, v. 25, n. 14, p. 2687-2700, 2004.

DEFESA CIVIL: mais de 40 cidades de Pernambuco estão em emergência. **Agência Brasil**. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2022-05/defesa-civil-mais-de-40-cidades-de-pernambuco-estao-em-emergencia>. Acesso em: 9 set. 2022.

DER MEER, V. V. D. Werff & V. Ruitenbeek (2014) V. D. Meer FD, V. D. Werff HMA, V. Ruitenbeek FJA. *Potential of ESA's Sentinel-2 for geological applications*. ***Remote Sensing of Environment***, v. 148, p. 124-133, 2014.

DIAS, M. C. de A. et al. *Estimation of exposed population to landslides and floods risk areas in Brazil, on an intra-urban scale*. ***International Journal of Disaster Risk Reduction***, v. 31, p. 449-459, 2018.

DUARTE, C. C. **Eventos extremos de chuva e análise da suscetibilidade a movimentos de massa no município do Ipojuca-PE**. 2015.

FRAGA, C. D. **Catástrofe em Recife repete o ciclo trágico da falta de infraestrutura no Brasil.** Isto É. 2022. Disponível em: <https://istoe.com.br/tragedia-em-recife-repete-o-ciclo-tragico-da-falta-de-infraestrutura-no-brasil/#:~:text=%E2%80%9CNenhum%20morador%20dessas%20comunidades%20recebeu,Nacional%20de%20Luta%20Pela%20Moradia.>. Acesso em: 11 ago. 2022.

FRIEDL, M. A.; BRODLEY, C. E. *Decision tree classification of land cover from remotely sensed data*. ***Remote sensing of environment***, v. 61, n. 3, p. 399-409, 1997.

GIRÃO, O. CORRÊA, A. C. de B.; GUERRA, A. J. T. Influência da climatologia rítmica sobre áreas de risco: o caso da região metropolitana do Recife para os anos de 2000 e 2001. **Revista de Geografia, Recife**, v. 23, n. 1, p. 3-40, 2006.

HANSEN, M. C. et al. *High-resolution global maps of 21st-century forest cover change*. ***Science***, v. 342, n. 6160, p. 850-853, 2013.

INPE apresenta mapas no Disasters Charter em atendimento às chuvas em Pernambuco. **Observação da Terra**. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/OBT/noticias-obt-inpe/inpe-apresenta-mapas-no-disasters-charter-em-atendimento-as-chuvas-em-pernambuco>. Acesso em: 11 set. 2022.

Landslides in Brazil - Activations - International Disasters Charter. Disponível em: <https://disasterscharter.org/web/guest/activations/-/article/landslide-in-brazil-activation-758->. Acesso em: 5 set. 2022.

MADEIRO, C. **Recife só acionou plano contra tragédia 2 dias após alerta de alto risco**. Disponível em: <https://noticias.uol.com.br/colunas/carlos-madeiro/2022/05/30/recife-so-acionou-plano-contra-tragedia-2-dias-apos-alerta-de-alto-risco.htm>. Acesso em: 12 ago. 2022.

MARQUES, T. S.; SILVA, F. B.; DELGADO, C. **A ocupação edificada**: delimitação de áreas de densidade homogênea. 2009.

NÓBREGA, F. Maior tragédia do século em Pernambuco, mortes pelas chuvas de 2022 superam total da cheia de 1975. **Folha de Pernambuco**. Disponível em: <https://www.folhape.com.br/noticias/maior-tragedia-do-seculo-em-pernambuco-mortes-pelas-chuvas-de-2022/228963/>. Acesso em: 22 ago. 2022.

PAL, M.; MATHER, P. M. J. R. S. **An assessment of the effectiveness of decision tree methods for land cover classification**, v. 86, n. 4, p. 554-565. 2003.

Chuvas em Pernambuco têm influência da mudança climática? Cientistas explicam. **Época Negócios**. Disponível em: <https://epocanegocios.globo.com/Um-So-Planeta/noticia/2022/07/epoca-negocios-chuvas-em-pernambuco-tem-influencia-da-mudanca-climatica-cientistas-explicam.html#:~:text=Em%20menos%20de%2024%20horas,a%20regi%C3%A3o%20metropolitana%20do%20Recife>. Acesso em: 3 set. 2022.

Plano de Ordenamento Territorial - Diagnóstico Propositivo - Plano Diretor do Recife. **Prefeitura de Recife**. Disponível em: <https://planodiretor.recife.pe.gov.br/index.php/plano-de-ordenamento-territorial>. Acesso em: 25 ago. 2022.

Caracterização do Território. **Prefeitura de Recife**. Disponível em: <https://www2.recife.pe.gov.br/pagina/caracterizacao-do-territorio>. Acesso em: 25 set. 2022.

PORTAL FOLHA DE PERNAMBUCO. **Recife e RMR voltam a ter chuvas fortes e pontos de alagamento - Porto do Recife tem maior acumulado de chuvas.** Folha de Pernambuco. Disponível em: <https://www.folhape.com.br/noticias/recife-e-rmr-voltam-a-ter-chuvas-fortes-e-pontos-de-alagamento/229106/>. Acesso em: 1 set. 2022.

QUINLAN, J. R. Improved use of continuous attributes in C4. 5. **Journal of artificial intelligence research**, v. 4, p. 77-90, 1996.

REX, F. et al. Potencial de imagens MSI (Sentinel-2) para classificação do uso e cobertura da terra. **Enciclopédia Biosfera**, v. 15, n. 27, 2018.

RICHARDS, J. A. Analysis of remotely sensed data: The formative decades and the future. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 43, n. 3, p. 422-432, 2005.

ROSSIGNOLI, N.O. **Por que enchentes e deslizamentos acontecem?**. Linha do conhecimento. 2022. Disponível em: <https://ilhadoconhecimento.com.br/enchentes-e-deslizamentos/>. Acesso em: 25 set. 2022.

FARINA, F.C. **Abordagem sobre as técnicas de geoprocessamento aplicadas ao planejamento e gestão urbana**. Cadernos EBAPE.BR [online]. 2006, v. 4, n. 4. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1679-39512006000400007>. Acesso em: 25 set. 2022.

RUIZ, L. F. C.; CATEN, A. T.; DALMOLIN, R. S. D. Árvore de decisão e a densidade mínima de amostras no mapeamento da cobertura da terra. **Ciência Rura**l, v. 44, p. 1001-1007, 2014.

SILVA, C. F. A. et al. Análise multi-temporal dos processos de expansão urbana em áreas de risco utilizando técnicas fotogramétricas na cidade do Recife, Nordeste do Brasil. In: **Anais do XXVII Congresso Brasileiro de Cartografia e XXVI Exposicarta**. 2017.

PEREIRA, G. C. **Vazios Urbanos: mapeamento e classificação da terra urbana em Salvador/BA.** 2011.

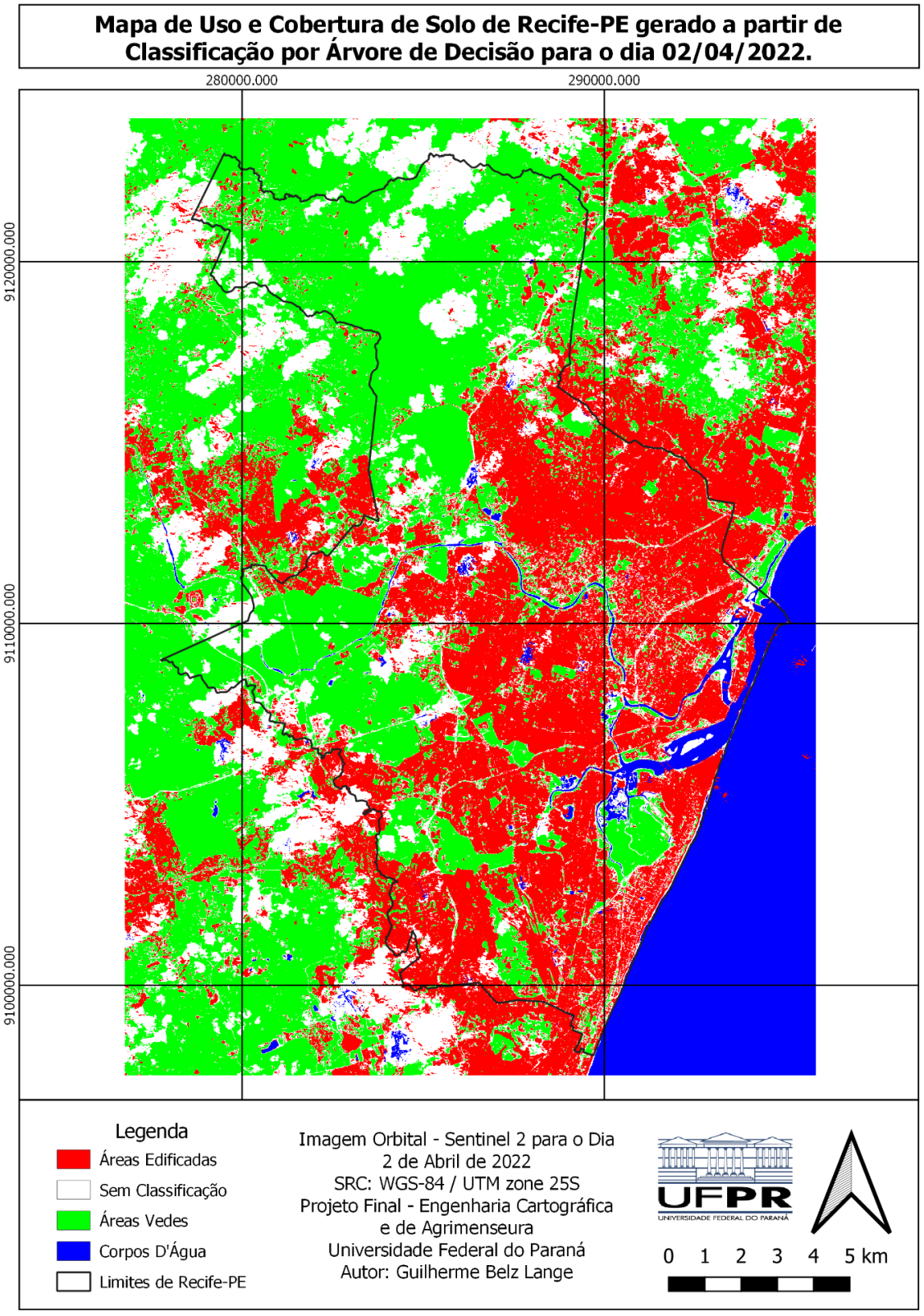
SOUZA, W. M. de et al. Áreas de risco mais vulneráveis aos desastres decorrentes das chuvas em Recife-PE. **Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online)**, n. 34, p. 79-94, 2014.

VALENÇA, J. CHUVAS NO RECIFE: confira os pontos de alagamentos no Recife hoje, 3/08. **Jornal do Commercio**. Disponível em: <https://jc.ne10.uol.com.br/pernambuco/2022/08/15056270-chuvas-no-recife-confira-os-pontos-de-alagamentos-no-recife-hoje-3-08.html>. Acesso em: 7 set. 2022.

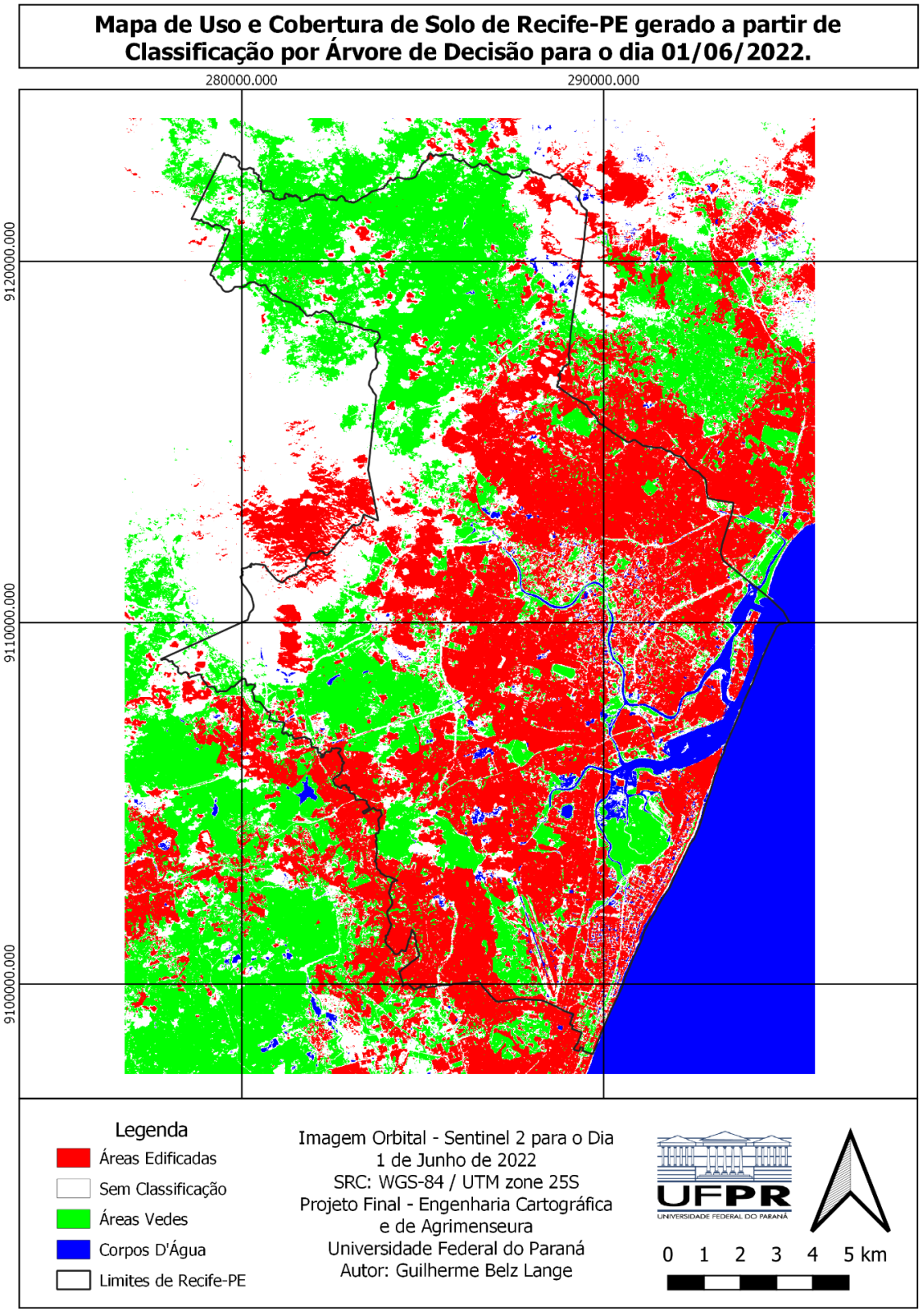
ZONEAMENTO, USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DE RECIFE - PE. **Leis Municipais - Recife - Pernambuco**. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/plano-de-zoneamento-uso-e-ocupacao-do-solo-recife-pe%20Zoneamento%20Uso%20e%20Ocupa%C3%A7%C3%A3o%20de%20Solo%20Recife-PE>. Acesso em: 12 ago. 2022.

GOOGLE. **Google Earth**. Disponível em: <https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>. Acesso em: 25 set. 2022.

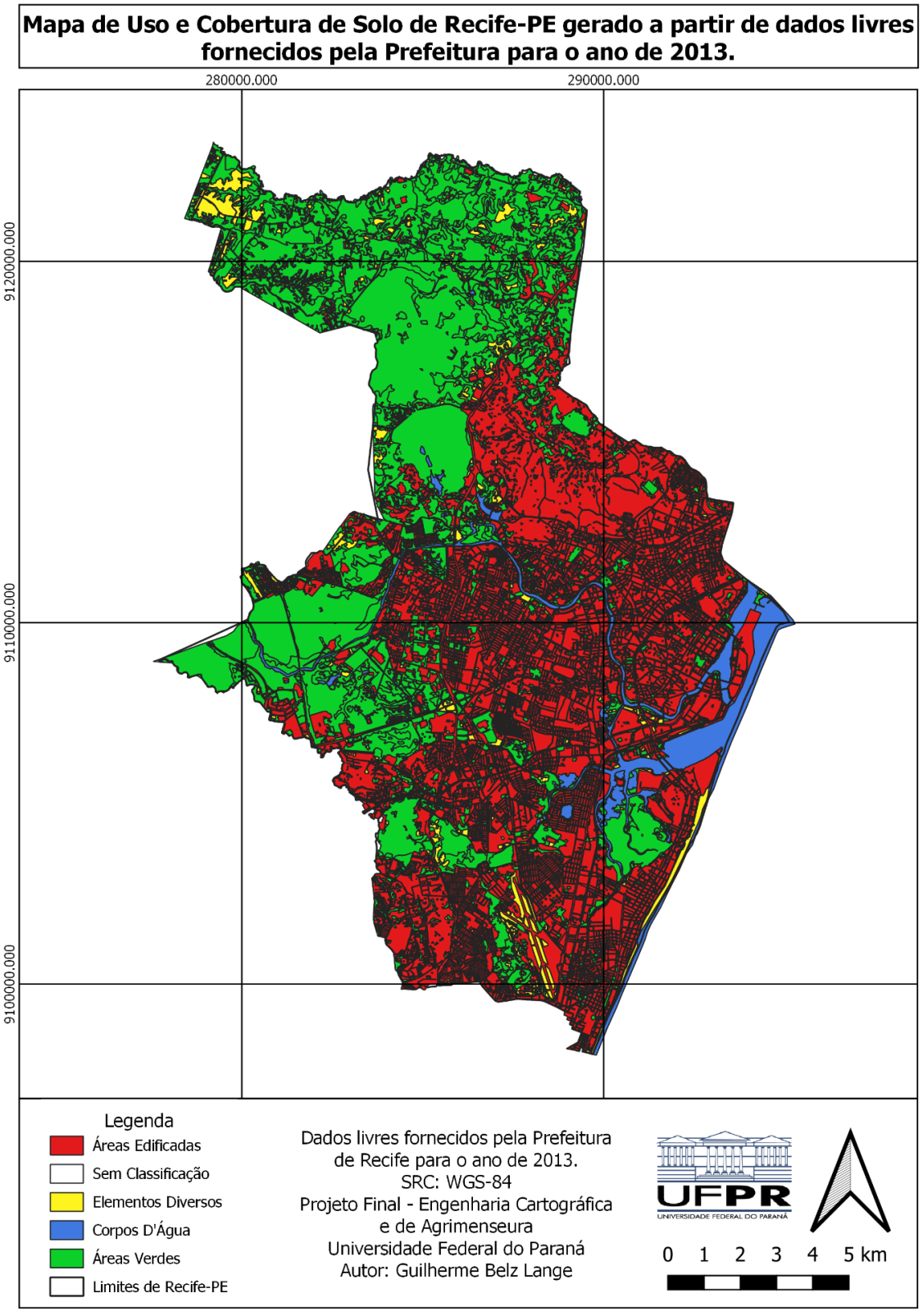
APÊNDICE 1


Mapa de Uso e Cobertura de Solo de Recife-PE gerado a partir de Classificação por Árvore de Decisão para o dia 02/04/2022.
280000.000
290000.000
9120000.000
9110000.000
9100000.000
Legenda
Áreas Edificadas
Sem Classificação
Áreas Vedes
Corpos D'Água
Limites de Recife-PE
Imagem Orbital - Sentinel 2 para o Dia 2 de Abril de 2022
SRC: WGS-84 / UTM zone 25S
Projeto Final - Engenharia Cartográfica e de Agrimenseura
Universidade Federal do Paraná
Autor: Guilherme Belz Lange
UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
0 1 2 3 4 5 km

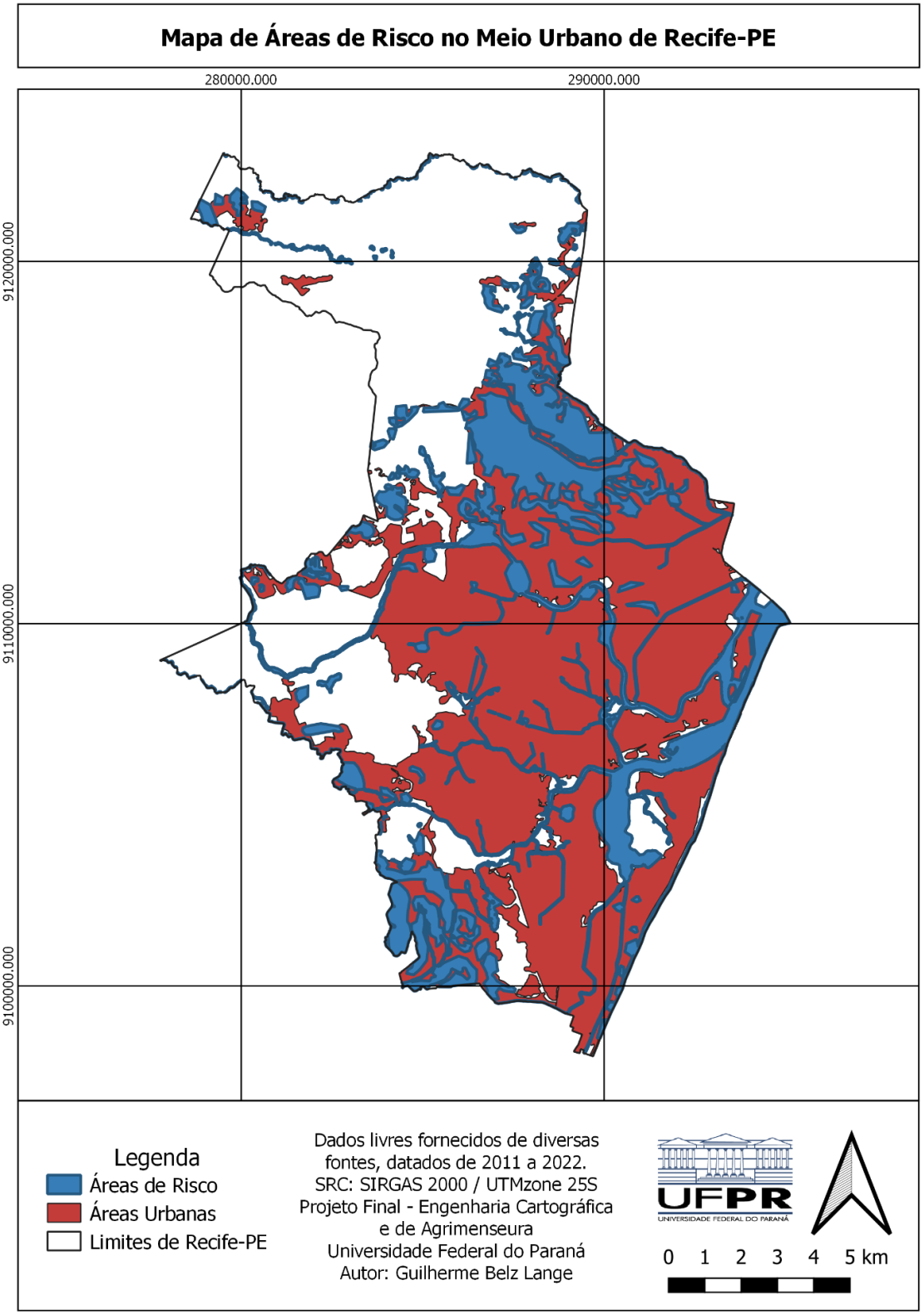
APÊNDICE 2


Mapa de Uso e Cobertura de Solo de Recife-PE gerado a partir de Classificação por Árvore de Decisão para o dia 01/06/2022.
280000.000
290000.000
9120000.000
9110000.000
9100000.000
Legenda
Áreas Edificadas
Sem Classificação
Áreas Vedes
Corpos D'Água
Limites de Recife-PE
Imagem Orbital - Sentinel 2 para o Dia 1 de Junho de 2022
SRC: WGS-84 / UTM zone 25S
Projeto Final - Engenharia Cartográfica e de Agrimenseura
Universidade Federal do Paraná
Autor: Guilherme Belz Lange
UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
0 1 2 3 4 5 km

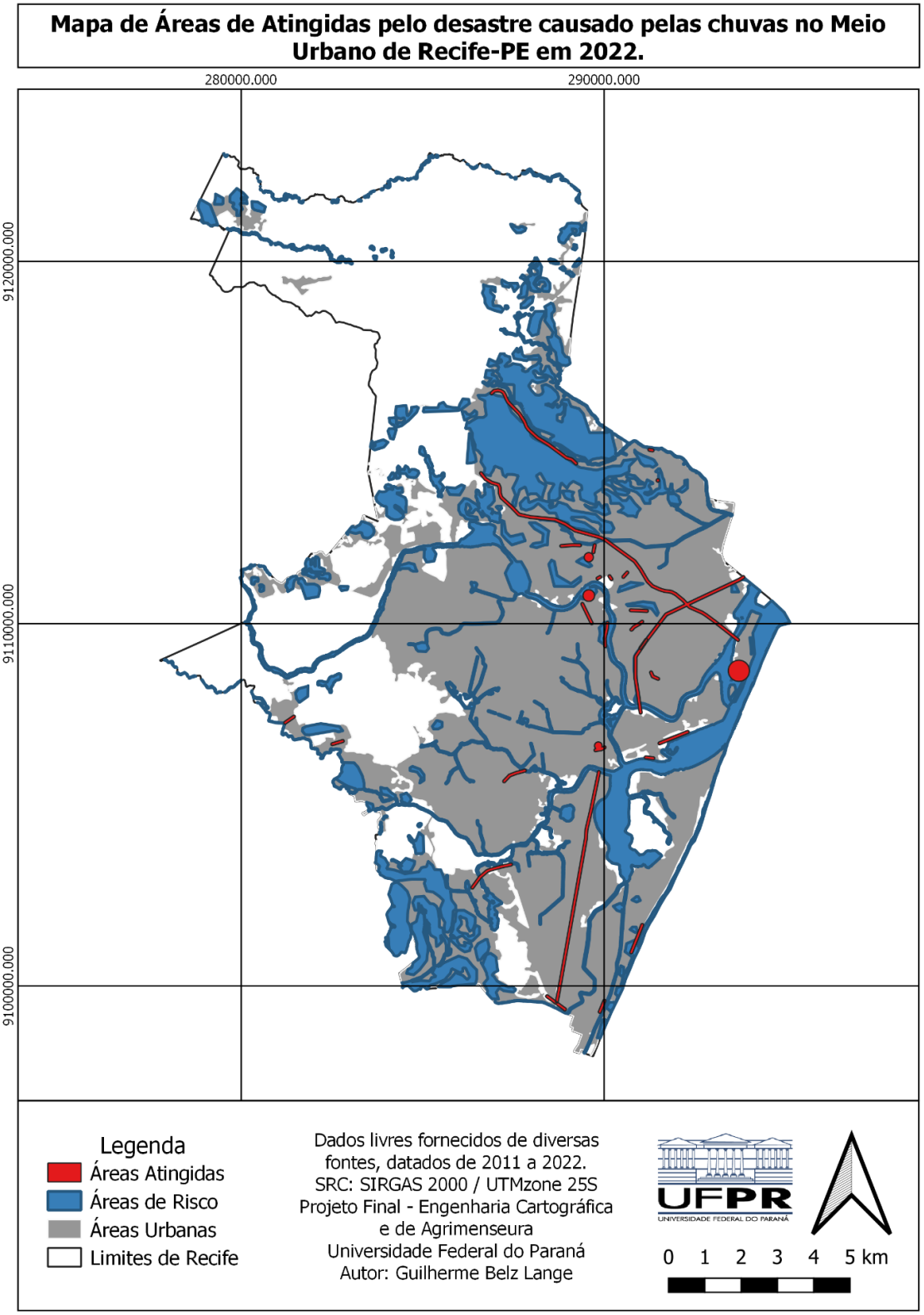
APÊNDICE 3


Mapa de Uso e Cobertura de Solo de Recife-PE gerado a partir de dados livres fornecidos pela Prefeitura para o ano de 2013.
280000.000
290000.000
9120000.000
9110000.000
9100000.000
Legenda
Áreas Edificadas
Sem Classificação
Elementos Diversos
Corpos D'Água
Áreas Verdes
Limites de Recife-PE
Dados livres fornecidos pela Prefeitura de Recife para o ano de 2013.
SRC: WGS-84
Projeto Final - Engenharia Cartográfica e de Agrimenseura
Universidade Federal do Paraná
Autor: Guilherme Belz Lange
UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
0 1 2 3 4 5 km

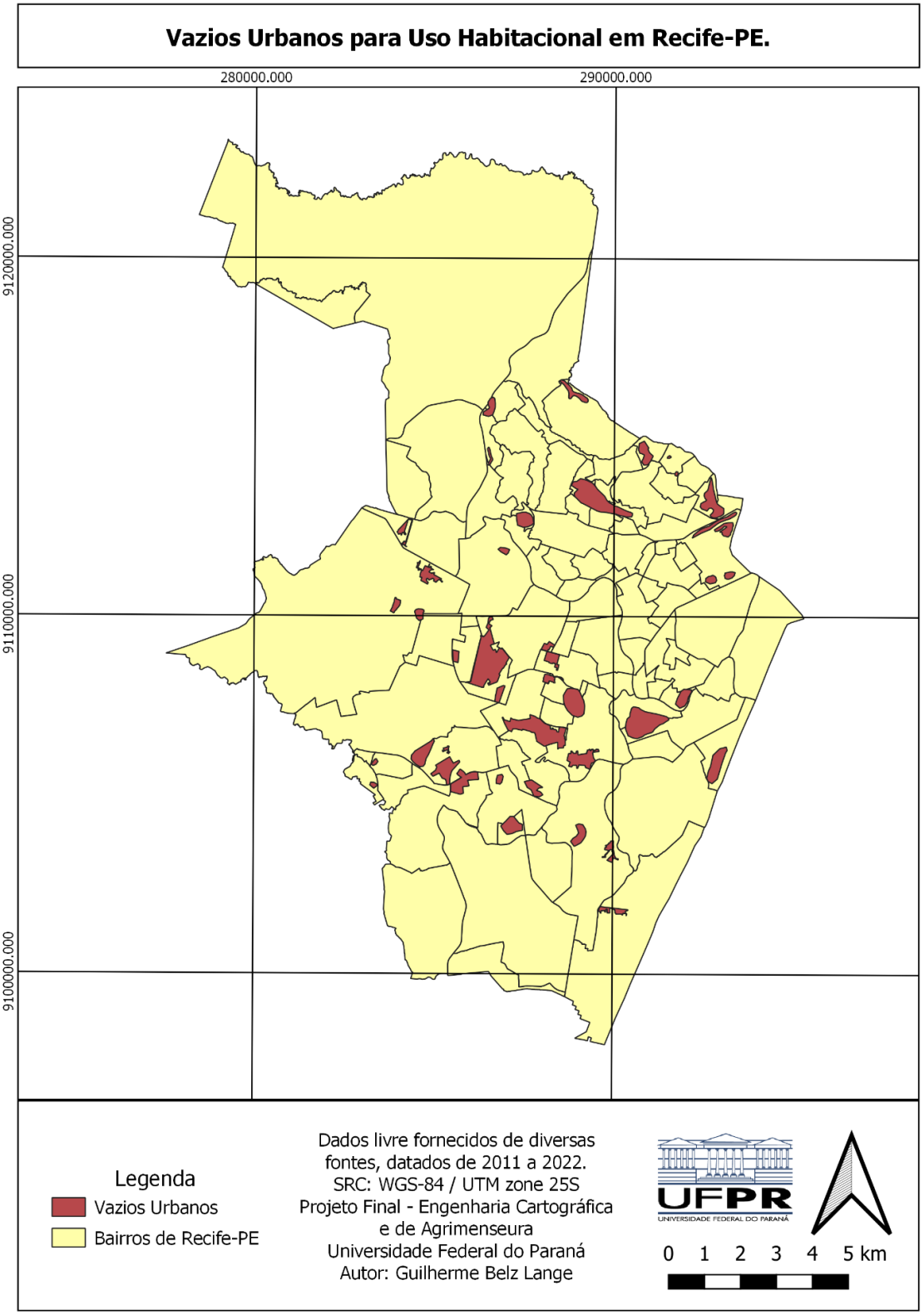
APÊNDICE 4


Mapa de Áreas de Risco no Meio Urbano de Recife-PE
280000.000
290000.000
9120000.000
9110000.000
9100000.000
Legenda
Áreas de Risco
Áreas Urbanas
Limites de Recife-PE
Dados livres fornecidos de diversas fontes, datados de 2011 a 2022.
SRC: SIRGAS 2000 / UTMzone 25S
Projeto Final - Engenharia Cartográfica e de Agrimenseura
Universidade Federal do Paraná
Autor: Guilherme Belz Lange
UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
0 1 2 3 4 5 km

APÊNDICE 5


Mapa de Áreas de Atingidas pelo desastre causado pelas chuvas no Meio Urbano de Recife-PE em 2022.
280000.000
290000.000
9120000.000
9110000.000
9100000.000
Legenda
Áreas Atingidas
Áreas de Risco
Áreas Urbanas
Limites de Recife
Dados livres fornecidos de diversas fontes, datados de 2011 a 2022.
SRC: SIRGAS 2000 / UTMzone 25S
Projeto Final - Engenharia Cartográfica e de Agrimenseura
Universidade Federal do Paraná
Autor: Guilherme Belz Lange
UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
0 1 2 3 4 5 km

APÊNDICE 6


Vazios Urbanos para Uso Habitacional em Recife-PE.
280000.000
290000.000
9120000.000
9110000.000
9100000.000
Legenda
Vazios Urbanos
Bairros de Recife-PE
Dados livre fornecidos de diversas fontes, datados de 2011 a 2022.
SRC: WGS-84 / UTM zone 25S
Projeto Final - Engenharia Cartográfica e de Agrimenseura
Universidade Federal do Paraná
Autor: Guilherme Belz Lange
UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
0 1 2 3 4 5 km