UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO

EVELY FERREIRA DO NASCIMENTO

CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO PARA ANÁLISE DA COBERTURA DO SOLO: caso no Bairro do Pina - Recife - PE

Recife
2022

EVELY FERREIRA DO NASCIMENTO

CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO PARA ANÁLISE DA COBERTURA DO SOLO: caso no Bairro do Pina - Recife - PE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

Área de concentração: Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

Orientadora: Profa. Dra. Ana Lúcia Bezerra Candeias.

Recife

2022

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

N244c Nascimento, Evely Ferreira do.
Classificação de imagens de alta resolução para análise da cobertura do solo: caso no Bairro do Pina – Recife – PE / Evely Ferreira do Nascimento. –2022.
69 f.: il., figs., tabs., abrev. e sigl.

Orientadora: Profa. Dra. Ana Lúcia Bezerra Candeias.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife, 2022.
Inclui referências e apêndices.

1. Engenharia cartográfica. 2. GEOBIA. 3. Orfeo Tolbox. 4. Classificação de cobertura de solo urbano. I. Candeias, Ana Lúcia Bezerra (Orientadora). II. Título

UFPE

526.1 CDD (22. ed.) BCTG/2022-176

EVELY FERREIRA DO NASCIMENTO

CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO PARA ANÁLISE DA COBERTURA DO SOLO: caso no Bairro do Pina - Recife - PE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Área de concentração: Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

Aprovada em: 01/12/2021.

BANCA EXAMINADORA

_____
Profa. Dra. Ana Lúcia Bezerra Candeias (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

_____
Profa. Dra. Andrea Flávia Tenório Carneiro (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

_____
Profa. Dra. Edvânia Torres Aguiar Gomes (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, todo-poderoso, pois sua bondade e misericórdia me fizeram alcançar coisas que não imaginei ser capaz. Por ter me salvado, guiado meus passos, me dado livramentos, me consolado, me fortalecido e me dado ânimo.

Aos meus pais, Marina e Ezequias, e a minha irmã, pelo amor, pelo companheirismo, pelo apoio e pelas orações. O amor de vocês expresso em atitudes me dava forças para continuar e por fim, chegar aonde almejei.

A minha orientadora, Professora Ana Lúcia, por todo auxílio e incentivo, por enriquecer minha vida com ideias, pela paciência e por ser uma amiga para mim e me aconselhar. Devo muito das minhas realizações profissionais a você. Você é a razão de eu ter conseguido concluir o mestrado.

Ao programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação (PPGCGTG), a todos os professores que compõe o corpo docente com quem tive o prazer de ter aulas, por seu esforço colaborativo durante todo o curso e aos demais funcionários, pelo aporte.

Aos amigos que fiz durante a vida acadêmica que muito me ajudaram e pelas memórias boas que construímos mesmo em meio as dificuldades, em especial Laízy, Gabriel, Eduardo, Léo, Charlene, Ricardo, Sabrina e Vanessa.

A todos os amigos com quem desabafava quando me sentia cansada.

RESUMO

Diversas técnicas de análise de imagens de sensores de alta resolução espacial têm sido usadas para mapear alvos urbanos, uma delas é a análise de imagens baseadas em objetos. As imagens de alta resolução proporcionam informações detalhadas da superfície terrestre, porém, uma das principais limitações para se fazer o mapeamento mais preciso tem sido a baixa resolução espectral, o que dificulta a discriminação de objetos urbanos com respostas espectrais semelhantes. Para melhorar o resultado da classificação, dados auxiliares têm sido utilizados. Neste trabalho foram utilizadas estatísticas das razões entre bandas e índices de vegetação GLI, VARI, RGBVI e GRVI para realizar a classificação. As imagens foram processadas no QGIS 3.16.4 utilizando a ferramenta Orfeo Toolbox. As ortofotos fazem parte do acervo cartográfico da Prefeitura da cidade do Recife-PE e possuem resolução espacial de 8cm. A análise das áreas foi feita utilizando os dados dos setores censitários do IBGE coletadas no censo 2010. Os resultados obtidos mostram que 11,58% da área dos setores que sobrepõe o a área de estudo é de vegetação e que há relação entre os aspectos físicos (cobertura do solo) e socioeconômicos nessas regiões, e as informações obtidas podem ser úteis para auxiliar a tomada de decisões por parte de órgãos públicos, como por exemplo, estudos de medidas de controle de doenças epidemiológicas.

Palavras-chave: GEOBIA; Orfeo Tolbox; classificação de cobertura de solo urbano.

ABSTRACT

Several high spatial resolution sensor image analysis techniques have been used to map urban targets. One such technique is object-based image analysis. High-resolution images provide detailed information on the earth's surface, however, one of the main limitations for making a more accurate mapping has been the low spectral resolution, which makes it difficult to discriminate urban objects with similar spectral responses. To improve the classification result, auxiliary data have been used. In this work, statistics of the ratios between bands and vegetation indices GLI, VARI, RGBVI and GRVI were used to perform the classification. The images were processed in QGIS 3.16.4 using the Orfeo Toolbox tool. The orthophotos are part of the cartographic collection of the City Hall of Recife-PE and have a spatial resolution of 8cm. The analysis of the areas was carried out using data from the IBGE census sectors collected in the 2010 census. The results obtained show that 11.58% of the area of the sectors that overlap the neighborhood are covered by vegetation and that there is a relationship between the physical aspects (coverage of the soil) and socioeconomic conditions in these regions, and the information obtained can be useful to aid decision-making by public bodies, such as studies of measures to control epidemiological diseases.

Keywords: GEOBIA; Orfeo Tolbox; urban land cover classification.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Igreja do Pina, na Avenida Herculano Bandeira. A) anos 1920. B) 2021.....	18
Figura 2 –	Área de Estudo no Bairro do Pina.....	19
Figura 3 –	Zoneamento Recife e área de estudo.....	20
Fluxograma 1–	Metodologia utilizada para a classificação de imagens.....	22
Figura 4 –	Densidade Demográfica por setor censitário.....	28
Figura 5 –	Renda Média por setor no Pina.....	29
Figura 6 –	Erros topológicos no arquivo de segmentação.....	30
Figura 7 –	Classificação orientada a objeto usando camadas auxiliares..	32
Figura 8 –	Áreas classificadas dos setores 1 a 4.....	33
Figura 9 –	Áreas classificadas dos setores 5 a 8.....	33
Figura 10 –	Áreas classificadas dos setores 9 a 12.....	34
Figura 11 –	Áreas classificadas dos setores 13 a 16.....	34
Figura 12 –	Áreas classificadas dos setores 16 a 20.....	35
Figura 13 –	Áreas classificadas dos setores 20 a 24.....	35
Figura 14 –	Setor com maior renda e menor densidade demográfica no Pina.....	36
Figura 15 –	Setor com menor renda e maior densidade demográfica no Pina.....	37
Figura 16 –	Densidade demográfica e vegetação no Bairro do Pina.....	38
Figura 17 –	Renda média e vegetação no Bairro do Pina.....	38
Figura 18 –	Densidade demográfica e telhados de cerâmica no Pina.....	39
Figura 19 –	Renda média e telhado de cerâmica.....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Identificação dos setores nos documentos do IBGE..... 21
Tabela 2 – Equações da Razão entre bandas e dos índices..... 26
Tabela 3 – Quantidade de polígonos selecionados para a classificação.. 26
Tabela 4 – Áreas das classes..... 32

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

GEOBIA	Geographic Object-Based Image Analysis
GIS	Geographic Information System
GLI	Gren Leaf Index
GRVI	Green-Red Vegetation Index
IBGE	Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística
OTB	Orfeo Toolbox
RPA	Região Político Administrativa
RGBV	Red Green Blue Vegetation Index
SR	Sensoriamento Remoto
VARI	Visible Atmospherically Resistant

SUMÁRIO

1	**INTRODUÇÃO**.....	**12**
2	**OBJETIVOS**.....	**14**
2.1	OBJETIVO GERAL	14
2.2	OBJEIVOS ESPECÍFICOS.....	14
3	**REVISÃO DE LITERATURA**.....	**15**
3.1	ASPECTOS TEÓRICOS.....	15
3.2	PANORAMA DOS ASSENTAMENTOS INFORMAIS NO PINA-RECIFE.....	16
4	**MATERIAL E MÉTODOS**.....	**19**
4.1	ÁREA DE ESTUDO.....	19
4.2	ORFEO TOOLBOX.....	21
4.3	AQUISIÇÃO DOS DADOS.....	21
4.4	SEGMENTAÇÃO.....	23
4.5	VALIDAÇÃO TOPOLÓGICA.....	24
4.6	ESTATÍSTICAS ZONAIS.....	24
4.7	CAMADAS AUXILIARES.....	25
4.7.1	**Razão de Bandas**.....	**25**
4.7.2	**Índices de Vegetação**.....	**25**
4.8	AMOSTRAS DE APRENDIZAGEM E DE CONTROLE.....	26
4.9	TREINAMENTO.....	27
4.10	CLASSIFICAÇÃO.....	27
5	**RESULTADOS E DISCUSSÃO**.....	**28**
5.1	GEOMETRIAS INVÁLIDAS.....	30
5.2	RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO.....	30
6	**CONCLUSÃO**.....	**41**
	REFERÊNCIAS.....	**42**
	APÊNDICE A – IMAGEM CLASSIFICADA (SETOR 1).....	**46**
	APÊNDICE B – IMAGEM CLASSIFICADA (SETOR 2).....	**47**
	APÊNDICE C – IMAGEM CLASSIFICADA (SETOR 3).....	**48**
	APÊNDICE D – IMAGEM CLASSIFICADA (SETOR 4).....	**49**
	APÊNDICE E – IMAGEM CLASSIFICADA (SETOR 5).....	**50**

APÊNDICE F – IMAGEM CLASSIFICADA (SETOR 6)..... 51
APÊNDICE G – IMAGEM CLASSIFICADA (SETOR 7)..... 52
APÊNDICE H – IMAGEM CLASSIFICADA (SETOR 8)..... 53
APÊNDICE I – IMAGEM CLASSIFICADA (SETOR 9)..... 54
APÊNDICE J – IMAGEM CLASSIFICADA (SETOR 10)..... 55
APÊNDICE K – IMAGEM CLASSIFICADA (SETOR 11)..... 56
APÊNDICE L – IMAGEM CLASSIFICADA (SETOR 12)..... 57
APÊNDICE M – IMAGEM CLASSIFICADA (SETOR 13)..... 58
APÊNDICE N – IMAGEM CLASSIFICADA (SETOR 14)..... 59
APÊNDICE O – IMAGEM CLASSIFICADA (SETOR 15)..... 60
APÊNDICE P – IMAGEM CLASSIFICADA (SETOR 16)..... 61
APÊNDICE Q – IMAGEM CLASSIFICADA (SETOR 17)..... 62
APÊNDICE R – IMAGEM CLASSIFICADA (SETOR 18)..... 63
APÊNDICE S – IMAGEM CLASSIFICADA (SETOR 19)..... 64
APÊNDICE T – IMAGEM CLASSIFICADA (SETOR 20)..... 65
APÊNDICE U – IMAGEM CLASSIFICADA (SETOR 21)..... 66
APÊNDICE V – IMAGEM CLASSIFICADA (SETOR 22)..... 67
APÊNDICE W – IMAGEM CLASSIFICADA (SETOR 23)..... 68
APÊNDICE X – IMAGEM CLASSIFICADA (SETOR 24)..... 69

1 INTRODUÇÃO

Há diversas alternativas de classificadores de imagens de alta resolução espacial, dentre elas, a metodologia de análise geográfica de imagens baseada em objeto GEOBIA (Geographic Object-Based Image Analysis) (HAY & CASTILLA 2008) vem sendo alvo de estudos nos últimos anos. Essa metodologia trouxe avanço nos processos de classificação automática de imagens orbitais, pois possibilita a modelagem do conhecimento humano referente a características específicas dos alvos, como, por exemplo, textura, formato, contexto, tamanho, brilho, relações de vizinhança, entre outros, tendo como foco a classificação de segmentos de imagem em vez de pixels isolados.

Em relação aos classificadores tradicionais que utilizam apenas a resposta espectral, a análise de imagem baseada em objetos, a OBIA, possibilita a construção de um modelo de conhecimento que é responsável por armazenar o conhecimento do intérprete sobre a área de estudo e com base na qual os objetos são classificados (FURTADO, FRANCISCO & ALMEIDA, 2013).

Alguns métodos de classificação de Imagens (assim como a GEOBIA) envolve a Segmentação, processo no qual divide-se a imagem e tem-se como resultado um conjunto de regiões que devem corresponder às áreas de interesse da aplicação. Entende-se por regiões um conjunto de "pixels" contíguos, que se espalham em duas direções e que sejam uniformes. Existe uma vasta literatura sobre segmentação em Sensoriamento Remoto (SR). Uma grande parte lida com baixa resolução imagens de satélite, enquanto este trabalho lida com imagens aéreas de alta resolução (ALVES et. Al, 1996; NASCIMENTO, 1997; VASCONCELOS & Novo, 2004; SCHULTZ et. Al 2016; SOARES, 2018).

Estudos demonstram que o acelerado processo de crescimento das cidades é um fenômeno constante, causando algumas situações em que deve haver um monitoramento permanente dos cenários em constante alteração para sua avaliação. Nessas situações específicas, as técnicas de Sensoriamento Remoto são ferramentas que desempenham um importante papel no processo de planejamento e reestruturação do ambiente urbano, pois as imagens permitem identificar as características dos objetos e correlacioná-los às origens dos agentes modificadores do espaço. Além disso, permitem verificar a extensão e a intensidade das alterações provocadas pelas ações antrópicas (BIAS, BRITES e ROSA, 2012).

A Região Metropolitana de Recife compreende quatorze municípios, 4 onde reside população de 3.691.057 habitantes em 1.247.497 domicílios segundo os dados do censo do IBGE em 2010. Esta aglomeração ocupa apenas 2,82% da área de Pernambuco, porém representa 42% da população do estado. Deste total, 3.589.674 habitantes são residentes da zona urbana (51% da população urbana em Pernambuco).

Para Queiróz (2015) uma das dificuldades de se comparar os dados populacionais de regiões com características de aglomerados subnormais é a baixa qualidade das bases cartográficas. Além disso, em virtude do alto custo de atualização, muitos municípios utilizam, por muito tempo, um mapa já existente como base cartográfica.

Considerando a grande quantidade de detalhes em um conjunto de dados de veículos aéreos não tripulados de alta resolução espacial, o mapeamento detalhado de paisagens urbanas heterogêneas é bastante desafiador devido à semelhança espectral entre as classes. Para melhorar a qualidade do mapeamento de uso do solo obtidos a partir de imagens de alta resolução, alguns estudiosos utilizam informações auxiliares de uma forma automática. Variáveis como altimetria e razão de bandas (operações realizadas para discriminar alvos específicos) foram utilizadas por Silva (2020) na classificação para mapeamento de uma área localizada nas margens do riacho Parnamirim, em Recife, Pernambuco e a autora concluiu que as informações espectrais presentes nas imagens de alta resolução não são suficientes para o reconhecimento de padrões capazes de definir limiares entre classes de alvos urbanos e que o uso de camadas auxiliares viabiliza a classificação do solo urbano e, por conseguinte, a atualização cartográfica municipal.

Para identificar as características da população habitante na área de estudo, o que é útil para subsidiar ações estratégicas de diversas naturezas, utilizou-se os dados populacionais coletados no censo demográfico de 2010 (IBGE).

2 OBJETIVOS

Esta seção apresenta os objetivos desta pesquisa.

2.1 OBJETIVO GERAL

Classificar imagens de alta resolução usando a GEOBIA e ferramentas gratuitas (Orfeo Toolbox no QGIS) em Região de aglomerado subnormais no Pina-Recife.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

• Fazer a análise do resultado da classificação e da cobertura do solo.
• Comparar o resultado fatores socioeconômicos obtidos pelo censo do IBGE.

3 REVISÃO DE LITERATURA

Esta seção apresenta a revisão da literatura utilizada como embasamento para o desenvolvimento desta pesquisa.

3.1 ASPECTOS TEÓRICOS

De acordo com HAY e CASTILLA (2008) a GEOBIA é uma subdisciplina da Ciência da Informação Geográfica (GIScience) dedicada ao desenvolvimento de métodos automatizados para particionar imagens de SR em objetos de imagem significativos e avaliar suas características por meio de escalas espaciais, espectrais e temporais, de forma a gerar novas informações geográficas em formato compatível com o SIG (Sistemas de Informação Geográfica). Inda segundo os mesmos autores, GIScience se refere à ciência por trás da tecnologia da Informação Geográfica. Visto que GEOBIA depende de dados SR e gera saída pronta SIG, ele representa uma ponte crítica entre o domínio raster do SR e o domínio vetorial (predominantemente) do SIG. A "ponte" que liga os dois lados desses domínios é a geração de polígonos (ou seja, imagens-objetos classificados) que representam objetos geográficos.

A segmentação de imagens é o primeiro passo da GEOBIA, e envolve o particionamento de uma imagem em regiões relativamente homogêneas, ou seja, “segmentos de imagem” ou “objetos de imagem” (Blaschke et al. 2000), além disso, constituem papel muito importante pois o resultado da segmentação pode influenciar a precisão da classificação.

Normalmente, os dados usados na GEOBIA são imagens ópticas adquiridas por satélite ou sensores aéreos. Porém, um de seus desafios envolve a flexibilidade de aquisição de dados, como os dados do VANTs (ou drones) que têm a capacidade de coletar imagens de alta e altíssima resolução (Chen et al., 2018).

Kotaridis e Lazaridou (2020) estudaram a implementação de um framework metodológico de análise de imagens baseado em objetos, no Orfeo ToolBox usando imagens de satélite de resolução espacial moderada, alta e muito alta para gerar mapas temáticos de cobertura do solo da área de estudo localizada em Thessaloniki, Grécia. Os resultados mostraram que OBIA, neste caso, funciona bem com dados Landsat-8 e QuickBird e excepcionalmente bem com dados Sentinel-2A com mais de 90% de precisão geral.

De acordo com Silva (2020) os principais fatores que dificultam o mapeamento urbano são: i) a pequena dimensão das feições e a sua disposição complexa no espaço; ii) a diversidade de materiais de que são compostos os objetos e as suas semelhanças espectrais; iii) as regiões de sombra e oclusão em imagens aéreas e; iv) a constante dinâmica territorial. Esses fatores exigem uma combinação de imageamento de alta resolução e mecanismos potenciais de atualização cartográfica, dentre eles os métodos de processamento de imagens digitais.

Radoux et al. focaram no tópico de mapeamento de ecótopos (menores características ecologicamente distintas da paisagem em um sistema de mapeamento e classificação da paisagem) usando um fluxo de trabalho GEOBIA e dados de sensoriamento remoto multissensor. Eles descobriram que a fusão de imagens ópticas aéreas (faixas azul, verde, vermelho e infravermelho próximo) e dados topográficos lidar (modelo digital de altura) melhorou a delineação automatizada de ecótopos.

No estudo feito por Gibril et al. (2020) onde foi realizado o mapeamento de paisagens urbanas heterogêneas, chegaram a conclusão de que a seleção e incorporação de recursos derivados do MDT, com outros recursos selecionados, contribuíram notavelmente na diferenciação de classes espectralmente semelhantes, como telhados de fibrocimento, telhados de concreto escuro, pavimentos antigos e asfalto.

Outros autores, por exemplo, Blaschke 2010; Chen et al. 2012; Blaschke et al. 2014 ; Ma et al. 2017, abrangeram fundamentos teóricos e algoritmos típicos em GEOBIA na literatura.

3.2 PANORAMA DOS ASSENTAMENTOS INFORMAIS NO PINA-RECIFE

A área que estabeleceu a Região Metropolitana do Recife, bem como outras regiões Metropolitanas no Brasil, foi instituída pela União, por meio da Lei Complementar 14, de 8 de junho de 1973. A região central do Recife foi habitada ainda no século XVI e vem sofrendo transformações há muitos anos. A ocupação do centro do Recife se deu forma desorganizada até a chegada dos holandeses que promoveram uma transformação urbana na cidade (ARRUDA, 2015).

A região Metropolitana compreende 14 municípios,4 onde reside população de mais de 3,5 milhões de habitantes em 1.247.497 domicílios (IBGE, 2011). Esta

aglomeração, de acordo com o último censo ocupava apenas 2,82% da área de Pernambuco, mas representava 42% da população do estado. Deste total, 51% da população urbana em Pernambuco eram residentes da zona urbana da RM (CALVACANTI, MIRANDA, SOUZA & NEVES, 2016).

Recife, representa 7,2% da área metropolitana e concentra 41,6% dos habitantes desta região.

Entre 1910 e o início de 1930, começaram os primeiros adensamentos no Pina. Os limites das ruas se davam pelos limites das casas. Em 1909, no governo de Herculano Bandeira, foi elaborado o Plano de Esgotamento Sanitário do Recife, que lançou um emissário de esgoto que atravessou o Rio Pina, ele era sustentado por uma ponte de ferro, despejava os dejetos nas águas da Praia do Pina (ARRUDA, 2015).

No período de 1991-2000, o Projeto Terras de Ninguém concedeu o título de posse dos terrenos às famílias residentes em Casa Amarela, Pina e Brasília Teimosa. Nestas áreas, alguns setores subnormais, em 1991, foram classificados – para o Censo Demográfico 2000 – como setores normais, não especiais (CALVACANTI, MIRANDA, SOUZA & NEVES, 2016).

O bairro do Pina vem acompanhando o processo de desenvolvimento urbano. Com a construção da Avenida Boa Viagem, na década de 60, em Boa Viagem, aumentou a demanda de grandes empreendimentos imobiliários, destinados à classe média e alta. Essas mudanças fizeram com que muitos migrantes atraídos por todo desenvolvimento da cidade, de forma geral, mudassem no intuito de ocupar a Cidade.

Durante o período colonial e no início do século XIX, ainda não havia na cidade uma mancha urbana. Algumas imagens do ano de 1974, mostram a ausência dos manguezais, justificada por Arruda (2015) pela imposição da expansão urbana que se acelerou nos espaços vazios existentes até o final do século XIX e depois o ressurgimento pelo replantio das espécies de mangue.

Figura 1 - Igreja do Pina, na Avenida Herculano Bandeira. A) anos 1920. B) 2021

Fonte: A - http://plubambo.blogspot.com.br/2012/04/fotos-avenida-boa-viagem-e-pina.html
B – Google Earth

Atualmente o bairro do Pina sofre uma das maiores intervenções urbanas de sua história, seja com a construção do Shopping Rio Mar, que trouxe consigo uma enorme busca por novos terrenos e com isso novos empreendimentos imobiliários que fez o com que o preço do metro quadrado se tornasse o mais alto do Recife, seja com a construção da Via Mangue, via de trânsito rápido que liga a região central do Recife a zona sul da capital, margeado o Parque dos Manguezais, o maior perímetro contínuo de manguezal em área urbana da Cidade

4 MATERIAL E MÉTODOS

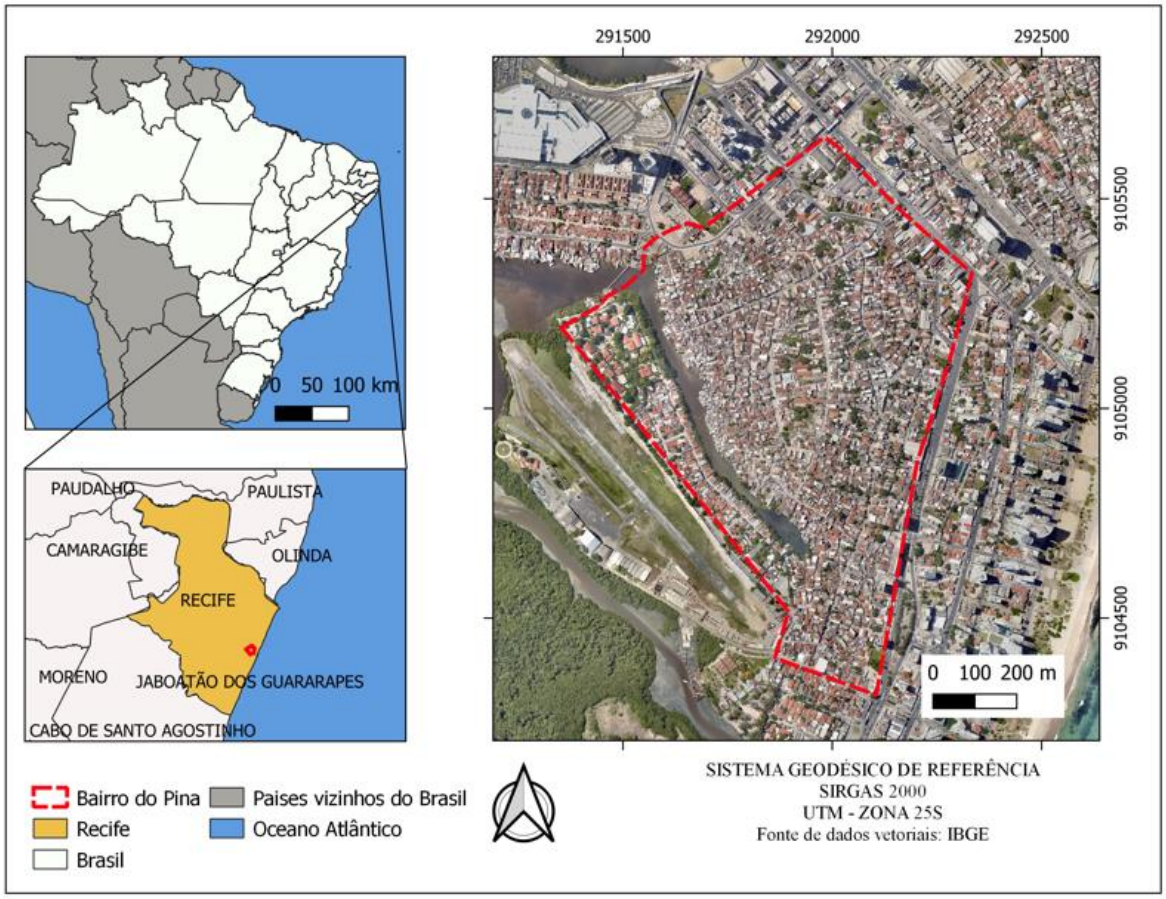
Nesta seção são descritos a área de estudos escolhida para a realização da classificação, os materiais utilizados e o detalhamento dos métodos.

4.1 ÁREA DE ESTUDO

Ao longo dos últimos anos, muitas cidades no Brasil sofreram um processo de crescimento urbano, que advém, principalmente, de investimentos tanto privados como públicos e também do crescimento populacional.

O bairro do Pina também enfrentou esse crescimento urbano e está em constante mudança (Figura 2). O Pina pertence ao município de Recife, região do litoral de Pernambuco, onde se apresentam feições urbanas e costeiras. Possui área de 629 ha com 29.176 habitantes (IBGE, 2010). A área de estudos fica localizada próximo aos bairros Boa Viagem e Imbiribeira.

Figura 2- Área de Estudo no Bairro do Pina



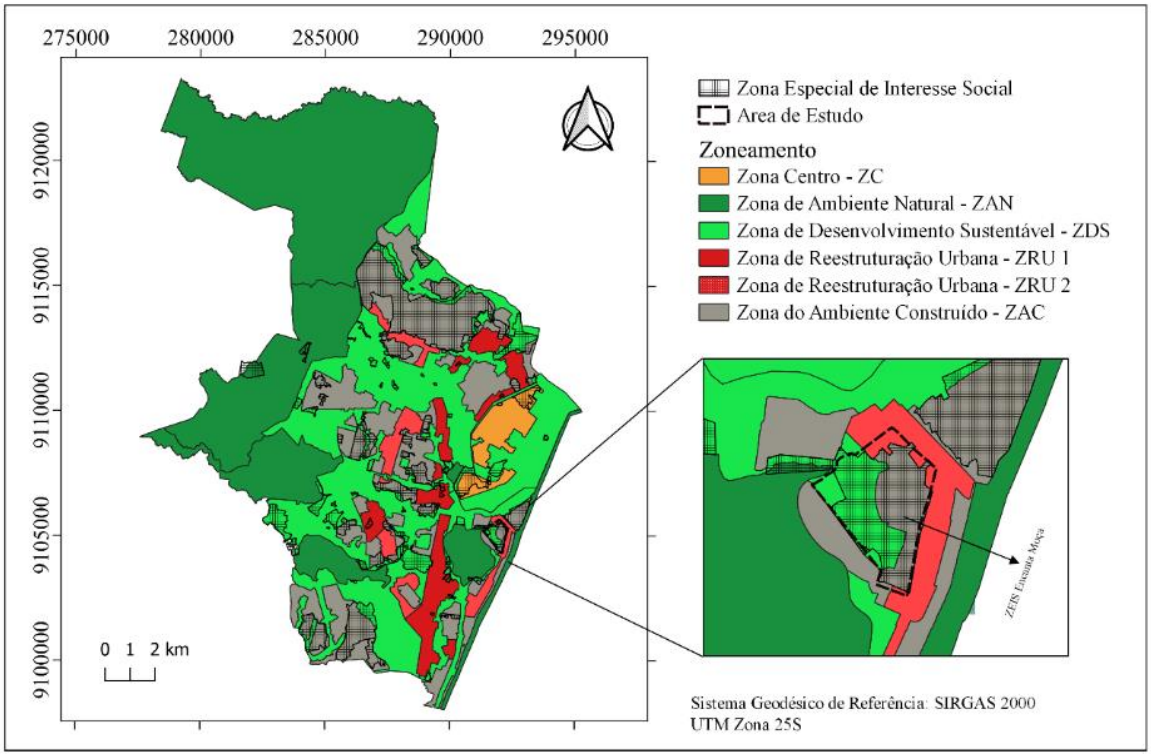
Fonte: A autora (2021).

O município do Recife é dividido em Regiões Político Administrativas. A área de estudo está contida na Região Político Administrativa VI (RPA6), a qual é composta pelos bairros: Boa Viagem; Brasília Teimosa; Imbiribeira; Ipsep; Pina; Ibura; Jordão; Cohab.

As Zonas Especiais de Interesse Social (ZEIS), de acordo com o Plano Diretor de Recife, situadas no bairro do Pina, são ZEIS 1 e 2. A ZEIS Encanta Moça/Pina (ou a comunidade de baixa renda do Bode), compreende grande parte da área de estudo. Trata-se de assentamentos habitacionais populares, que surgiram espontaneamente a partir de ocupações em áreas públicas e privadas, sem infraestrutura básica de urbanização e sem ter a sua situação fundiária regularizada (Figura 3). Ela apresenta grande parte das habitações em alvenaria, e outra sobre palafitas, às margens do Rio Pina.

A comunidade do Bode, dentro do bairro do Pina, tem grande parte da população muito pobre, o que reflete na estrutura das casas, de palafitas, feitas de madeira, com cobertura de lata e plástico. Bode, como também é conhecida, encontra-se numa das áreas de maior pressão imobiliária de Pernambuco, próxima do terreno onde está o Shopping Rio Mar.

Figura 3 – Zoneamento Recife e área de estudo



Fonte: A autora (2021).

4.2 ORFEO TOOLBOX

Quando o objetivo é usar imagens de satélite de alta resolução para mapeamento rápido, várias etapas de pré-processamento são necessárias antes do próprio mapeamento. O OTB (Orfeo Toolbox) permite que o usuário processe imagens de diferentes fontes (satélite, aérea) com diferentes níveis de pré-processamento.

O pacote OTB é um software gratuito e de código aberto que é atualizado regularmente e fornece ferramentas de processamento gratuitas com uma curva de aprendizado associada a resultados robustos em ecossistemas florestais. O OTB oferece muitas aplicações relacionadas a tarefas de sensoriamento remoto, como acesso a imagens, modelagem geométrica, filtragem, extração de recursos, segmentação de imagens, extração de objeto, classificação e detecção de mudança (Christophe et al., 2008).

4.3 AQUISIÇÃO DOS DADOS

Os arquivos shapefile dos Setores Censitários, bem como as variáveis socioeconômicas em arquivos de planilha foram obtidas a partir do banco de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), e selecionados as informações dos setores na área de estudos. Os setores censitários que recobrem a área são 24. Eles foram renomeados para facilitar a identificação. A Tabela abaixo apresenta o código correspondente de cada Setor na planilha do IBGE.

Tabela 1 – Identificação dos setores nos documentos do IBGE

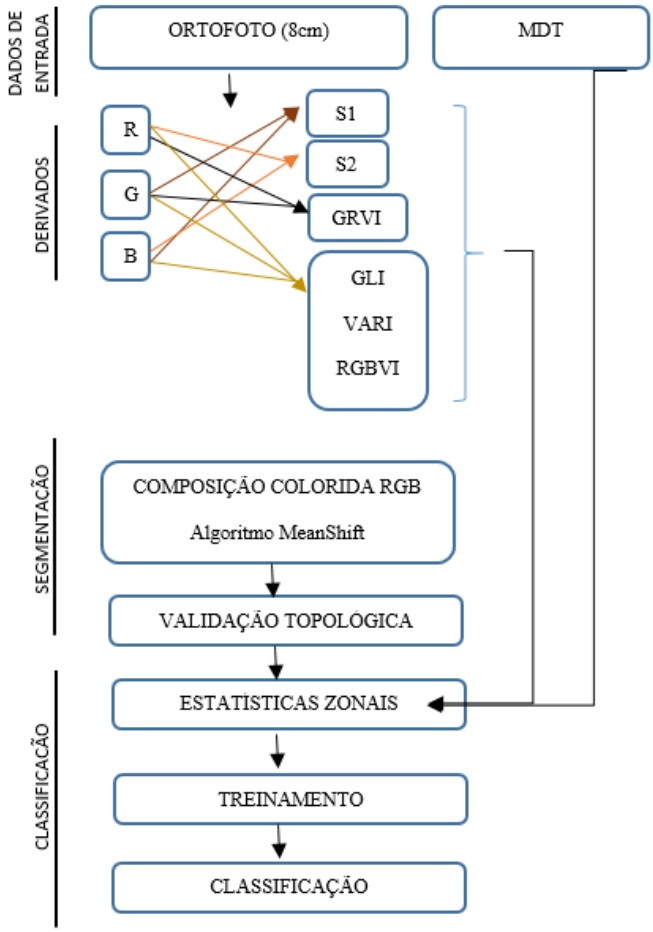
Setor	Código do Setor no IBGE	Setor	Código do Setor no IBGE
1	261160605230116	**13**	261160605230097
2	261160605230107	**14**	261160605230295
3	261160605230470	**15**	261160605230368
4	261160605230109	**16**	261160605230114
5	261160605230108	**17**	261160605230101
6	261160605230314	**18**	261160605230471
7	261160605230111	**19**	261160605230367
8	261160605230098	**20**	261160605230104
9	261160605230475	**21**	261160605230103
10	261160605230106	**22**	261160605230365
11	261160605230105	**23**	261160605230102
12	261160605230096	**24**	261160605230113

Fonte: A autora (2021).

As imagens utilizadas para desenvolver a pesquisa fazem parte do acervo cartográfico da prefeitura da cidade do Recife disponibilizadas ao Departamento de Engenharia Cartográfica da UFPE. O material é oriundo de um projeto financiado pela prefeitura, realizado no ano de 2013 e intitulado: “Serviços de Engenharia para Cobertura Aerofotogramétrica, Perfilamento a Laser Aerotransportado, com Obtenção de Polígonos 2D, 3D e Restituição Estereofotogramétrica”. Foram adquiridos ortofotos com GSD de 8 centímetros, Modelos Digitais do Terreno e Modelos Digitais de Elevação.

O fluxograma apresentado abaixo mostra a metodologia de análise de imagens com base em objetos que foi implementada para produzir os produtos de classificação da imagem na área de estudo.

Fluxograma 1 - Metodologia utilizada para a classificação de imagens



Fonte: A autora (2021).

4.4 SEGMENTAÇÃO

A segmentação é a primeira fase do procedimento de classificação orientado a objetos e seu resultado é um arquivo vetorial no qual cada polígono representa um objeto. As imagens originais são subdivididas em um conjunto de objetos (ou segmentos) que são espacialmente adjacentes, compostos por um conjunto de pixels com homogeneidade ou significado semântico e, coletivamente, cobrem toda a imagem. A forma de cada objeto notável deve ser representada por um objeto real na imagem. A segmentação concentra-se não apenas nas informações radiométricas dos pixels, mas também nas propriedades semânticas de cada segmento, na estrutura da imagem e em outras informações de fundo (cor, intensidade, textura, trama, forma, contexto, relações dimensionais e posição) cujos valores descrevem a associação entre pixels adjacentes.

O comando '*segmentation*' no OTB executa a segmentação de uma imagem e produz um arquivo raster ou vetorial. No modo vetorial, grandes conjuntos de dados de entrada são suportados.

Na etapa da segmentação utilizou-se o software *Quatum GIS*, versão 3.16.4, onde foi realizada a composição colorida e o recorte das imagens para a área de estudo. Na interface do QGIS, dentro do OTB, foi selecionada a ferramenta *Segmentation* e os parâmetros foram ajustados da seguinte forma:

- Algoritmo de segmentação: *meanshift*;
- Raio espacial: 5;
- Tamanho mínimo da região: 100;
- Conectividade de 8 vizinhos.

Os demais parâmetros foram mantidos os padrões da ferramenta.

É importante lembrar que não há um guia adequado na literatura sobre a seleção dos valores dos parâmetros. Com o objetivo de determinar os melhores valores dos parâmetros, uma série de testes foi realizada. Eles incluíram um procedimento de tentativa e erro com base na interpretação visual.

4.5 VALIDAÇÃO TOPOLÓGICA

Topologia descreve as relações entre pontos, linhas e polígonos que representam as feições de uma região geográfica (QGIS, 2020).

O arquivo resultante da segmentação pode obter geometrias inválidas, o que pode comprometer a qualidade da classificação. A geometria inválida é um erro de construção que pode ocorrer nas situações: elementos complexos no meio da geometria que ocorre quando o usuário acidentalmente “cria uma volta” no interior da geometria. Outras situações é quando pontas de polígonos se tocam e quando há vértices duplicados.

Para selecionar esses erros topológicos no QGIS, gerados pelo processo semiautomático, será utilizado o complemento ‘verificador de topologia’, onde são inseridas as regras de verificação. Essa ferramenta permite identificar todas as geometrias inválidas. Em seguida, a ferramenta ‘Corrigir geometrias’, também no QGIS, que pode ser encontrada na caixa de ferramentas.

4.6 ESTATÍSTICAS ZONAIS

Dentro do QGIS, serão calculadas as estatísticas zonais. Esta ferramenta calcula estatísticas zonais a partir da imagem do rótulo ou dados vetoriais. É inserida uma imagem multibanda de entrada e outra entrada para definição de zonas. As zonas podem ser definidas numa camada de dados vetoriais, no caso deste trabalho, o shapefile resultante da segmentação. As seguintes estatísticas são calculadas para cada zona: média, mínimo, máximo e desvio padrão. As estatísticas podem ser exportadas em uma camada vetorial (se a definição da zona de entrada for uma imagem de rótulo, ela será vetorizada) ou em um arquivo XML.

Nesta etapa entram como dados de entrada as camadas auxiliares para melhorar o resultado da classificação. Delas foram extraídos para cada polígono da segmentação a soma, média, mediana, desvio padrão, mínimo, máximo e variância.

4.7 CAMADAS AUXILIARES

Esta seção apresenta as camadas auxiliares utilizadas na classificação.

4.7.1 Razão de Bandas

Para discriminar pequenas variações de reflectância de alguns alvos utiliza-se métodos que destaquem as propriedades do alvo específico. A razão de bandas é utilizada para esta finalidade e tornou-se uma das mais úteis técnicas de transformação de imagem.

Neste trabalho foram utilizados os dados auxiliares propostos por Silva (2020), foram então realizadas as razões de bandas denominadas de S1 (Equação 1) e S2 (Equação 2). Alguns autores como Dos Santos e Pereira Filho (2020) e Caballero et. al (2019) chegaram à conclusão que a razão de bandas possibilita o mapeamento de alvos distintos, até mesmo em imagens de alta resolução, sendo assim, possibilitam a resolução de semelhanças espectrais.

O fato de os valores das operações de razão de bandas e índices de vegetação resultarem em números pequenos e fracionários, eles podem ser multiplicados por um valor escalar para recolocá-los ou expandi-los para o intervalo 0 a 255 de uma imagem de 8 bits. Uma constante deve ser somada aos valores reescalonados para apenas obter um deslocamento (offset) do histograma para uma posição mais central entre 0 a 255, a fim de possibilitar um equilíbrio no realce da imagem.

4.7.2 Índices de Vegetação

Foram utilizados quatro índices que utilizam as bandas do visível, os quais são: i) Green-Red Vegetation Index (GRVI); ii) Gren Leaf Index (GLI); iii) Visible Atmospherically Resistant (VARI); iv) Red Green Blue Vegetation Index (RGBVI).

Nas equações abaixo, Blue representa a faixa do azul, Green representa a faixa do verde e Red representa a faixa do vermelho.

Tabela 2 – Equações da Razão entre bandas e dos índices

Nome	Equação	Referencia
S1	$a * \left(\frac{G}{B}\right) + b$	Silva (2020)
S2	$a * \left(\frac{R}{R}\right) + b$	Silva (2020)
GRVI	$a * \left[\frac{(G - R)}{(G + R)}\right] + b$	Tucker (1979), Falkowsk et. al. (2005) e Motohka et al. (2010)
GLI	$a * \left[\frac{(2 * G - R - B)}{(2 * G + R + B)}\right]$	Louhaichi, Borman e Johnson (2001), Gitelson et al. (2002) e Hunt et al. (2013)
VARI	$a * \left[\frac{(G - R)}{(G + R - B)}\right]$	Louhaichi, Borman e Johnson (2001), Gitelson et al. (2002) e Hunt et al. (2013)
RGBVI	$a * \left[\frac{\left(G^{2-} - (B * R)\right)}{\left(G^{2-} + (B * R)\right)}\right]$	Bendig et al. (2015) e Lussen et al. (2018)

Onde a=10 e b=50.

Fonte: A autora (2021).

4.8 AMOSTRAS DE APRENDIZAGEM E DE CONTROLE

Foram selecionados polígonos de cada uma das classes para se fazer a aprendizagem e controle da classificação. O total de amostras pode ser observado na Tabela abaixo:

Tabela 3 – Quantidade de polígonos selecionados para a classificação

Classe	Amostra	Controle
1 – Vegetação	202	40
2 – Sombra	60	15
3 – Solo exposto	32	9
4 – Cobertura pav.	72	24
5 – Telha cerâmica	337	39
6 – Telhado cor cinza	158	30
7 - Agua	16	6

Fonte: A autora (2021).

4.9 TREINAMENTO

O treinamento do vetor é feito através da ferramenta TrainVectorClassifier do OTB. Ela permite treinar um classificador com base em geometrias rotuladas e uma lista de recursos a serem considerados para a classificação.

Dados vetoriais de entrada: geometrias de entrada usadas para treinamento (nota: todas as geometrias da camada serão usadas). Neste caso, o arquivo shapefile contendo os polígonos para o treinamento. E também é possível inserir o vetor com os dados de validação.

Matriz de confusão de saída ou tabela de contingência: Arquivo de saída contendo a matriz de confusão ou tabela de contingência (formato .csv). A tabela de contingência é gerada quando algoritmos não supervisionados são usados, caso contrário, a matriz de confusão é gerada.

Modelo de saída: É obrigatório definir o local de saída do modelo. O mesmo é utilizado para fazer a classificação.

Há diversos algoritmos de aprendizagem de máquina de classificação orientada a objetos implementados no OTB, tanto não supervisionados quanto supervisionados (por exemplo, *RF, SVM, Bayes* normal, árvore de decisão, k-vizinhos mais próximos). Neste trabalho foi utilizado o RF (Floresta aleatória). De acordo com Li et al. (2016) este classificador supervisionado é considerado um dos mais adequados para GEOBIA porque seu desempenho de classificação foi excelente.

4.10 CLASSIFICAÇÃO

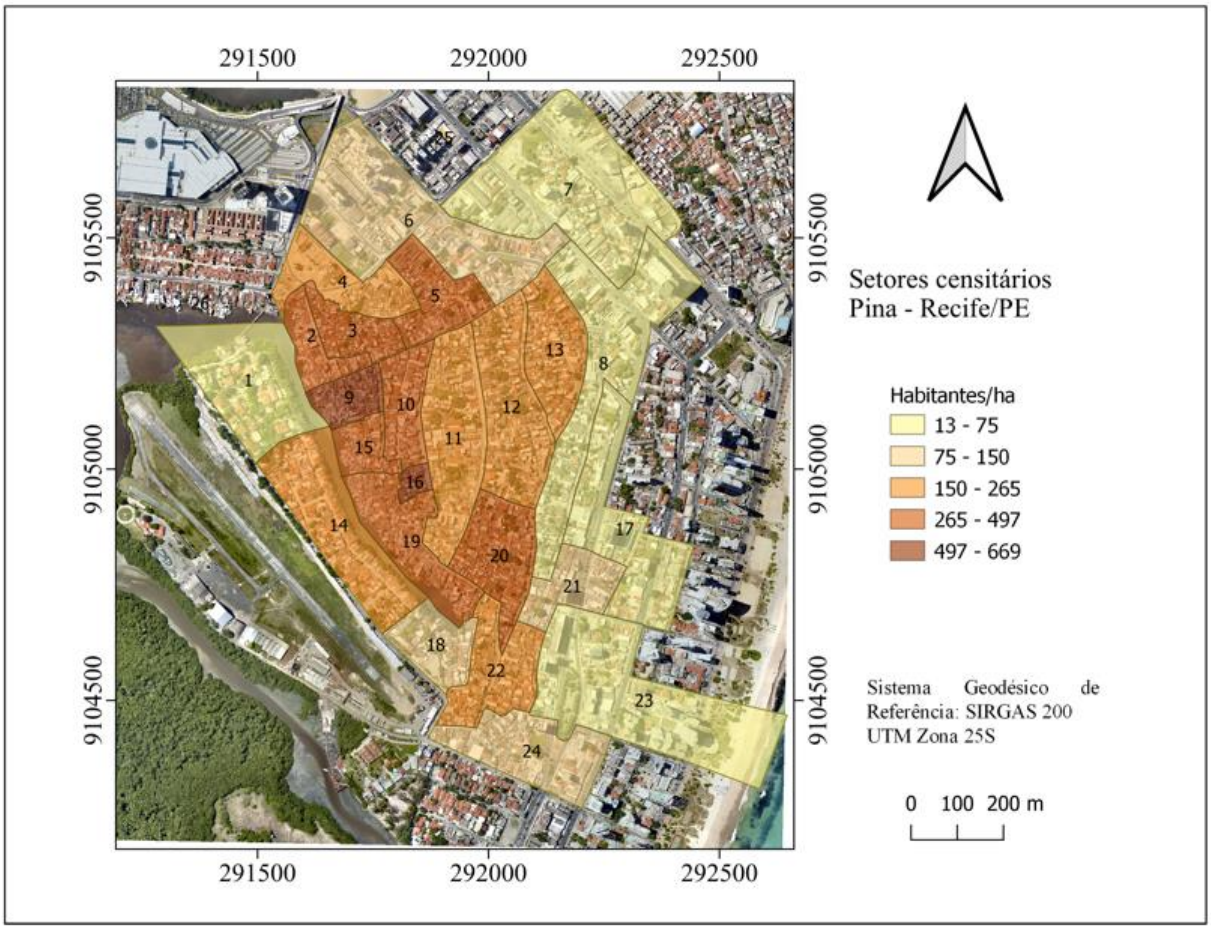
A ferramenta VectorClassifier do OTB executa a classificação dos dados vetoriais de entrada de acordo com um arquivo de modelo gerado na etapa anterior.

Em um dos modos de execução, ele insere um campo no arquivo de entrada que contém a classificação prevista.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para fazer uma análise da variação socioeconômica na região, foi feito o mapeamento da densidade demográfica (Figura 4) e da renda média dos responsáveis familiares. Vale lembrar que as variáveis socioeconômicas estão relacionadas entre si. Por isso, não se pode negligenciar que a distribuição de renda e densidade habitacional estejam relacionados.

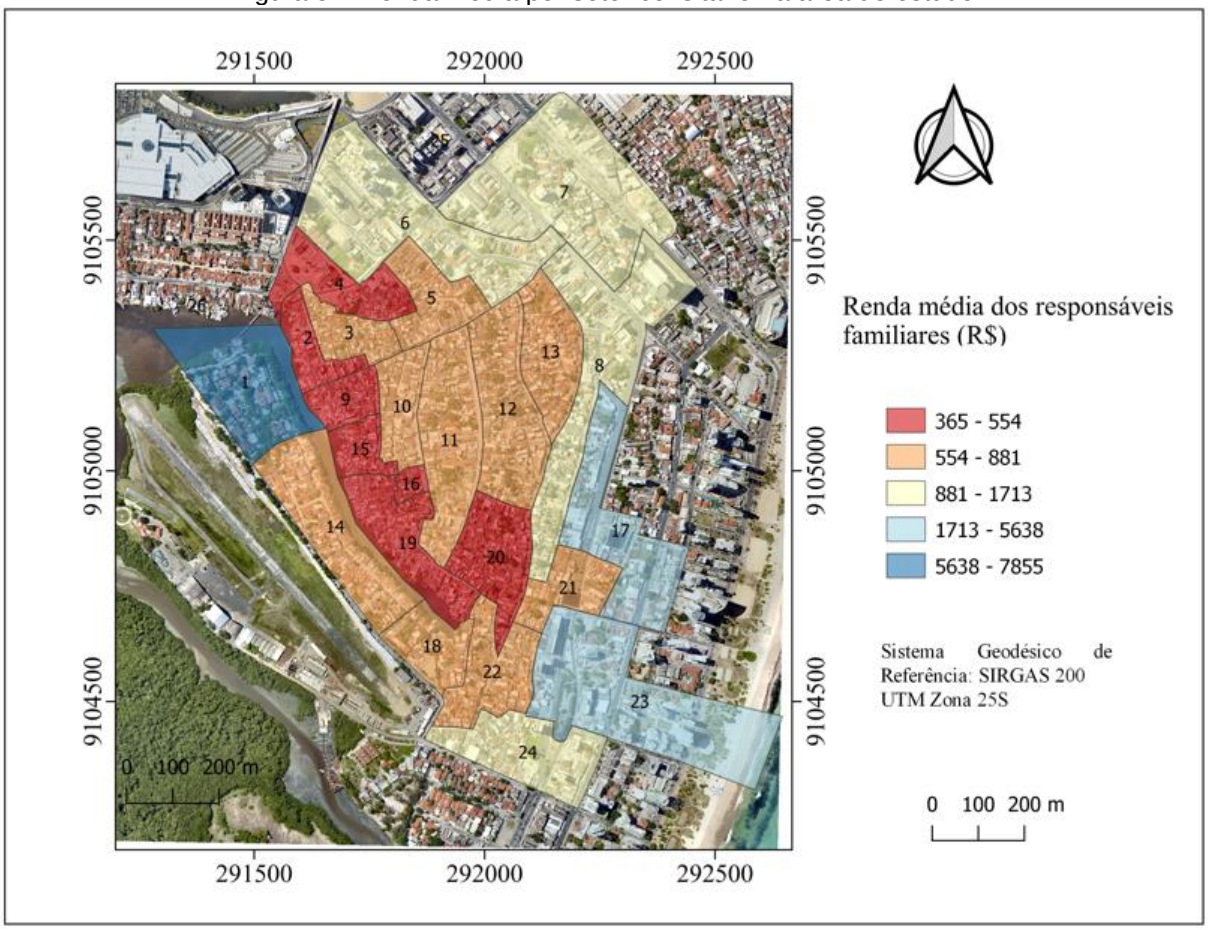
Figura 4 – Densidade Demográfica por setor censitário na área de estudo



Fonte: A autora (2021).

Em relação a distribuição espacial da renda média mensal dos chefes de família (Figura 5), observa-se que existe uma desigualdade considerável na distribuição da renda, que varia de R$ 365,00 a R$ 7855,00. Vale lembrar que durante o censo de 2010, o valor do salário mínimo era de R$ 510,00, segundo a Lei 12.255/2010.

Figura 5 – Renda Média por setor censitário na área de estudo



Fonte: A autora (2021).

De acordo com Anjos (2020), embora os valores de salário mínimo sejam alterados anualmente, os padrões espaciais de concentração de renda, tendem a permanecer ao longo dos anos.

Levando isso em consideração, observa-se em sua distribuição que as áreas onde são apresentadas as maiores rendas do município estão concentradas em duas áreas principais: a área mais próxima da praia e a área que fica a margem do rio Capibaribe, no Oeste do Bairro do Pina. As áreas que apresentam as menores rendas, estão associadas a áreas onde há maior densidade de imóveis, áreas de aglomerações subnormais.

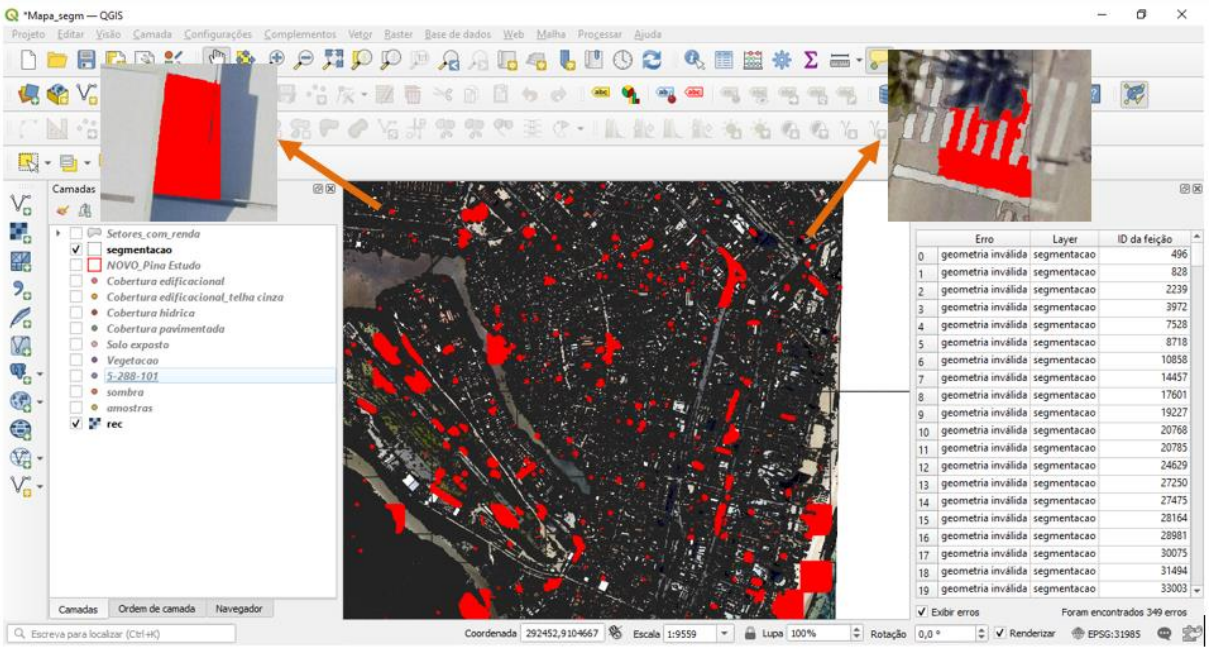
No geral, os setores que apresentaram as maiores rendas médias mensais, foram os que apresentaram a menor densidade demográfica.

5.1 GEOMETRIAS INVÁLIDAS

Após realizada a etapa de segmentação, realizada a verificação do arquivo de segmentação, foi necessário eliminar os erros detectados nas geometrias obtidas, conhecido como erros topológicos, normalmente ocorrido por intersecção das geometrias.

Os polígonos que apresentaram esses erros estão na Figura abaixo.

Figura 6 – Erros topológicos no arquivo de segmentação



Fonte: A autora (2021).

5.2 RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO

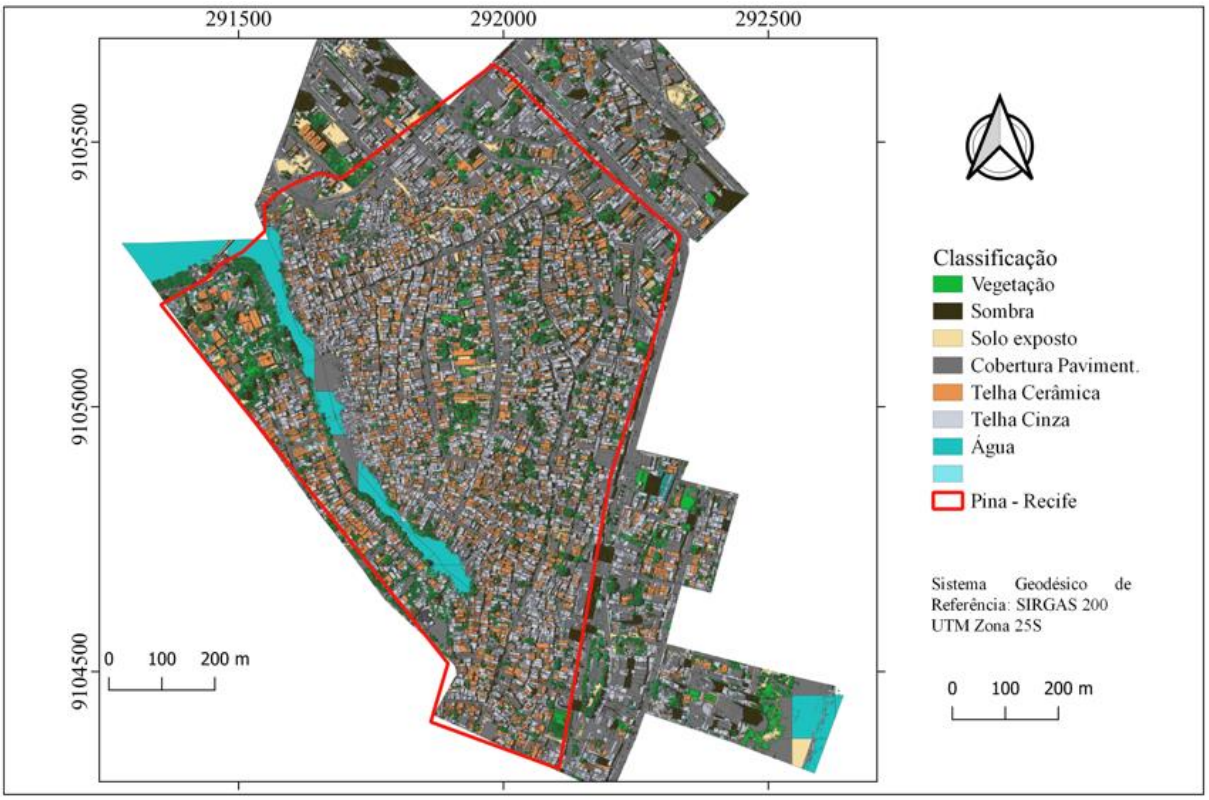
O relatório obtido na etapa de treinamento utilizando o *TreinVectorClassifier* mostrou bons resultados para a classificação principalmente para as classes 1 (vegetação) e 5 (telhado cerâmica), enquanto que os piores as classes 4 (cobertura pavimentada) e 6 (telhado cinza).

Essas informações podem ser vistas no relatório abaixo, onde contem a precisão para cada classe. O relatório também mostra a performance global, índice kappa, igual a 0,879. De acordo com Galparsoro e Fernández (2001), valores de kappa entre 0,81 e 1 indicam o grau de concordância da classificação digital com a realidade de campo muito bom.

```
(INFO) TrainVectorClassifier: Precision of class [1] vs all: 1
(INFO) TrainVectorClassifier: Recall of class [1] vs all: 1
(INFO) TrainVectorClassifier: F-score of class [1] vs all: 1

(INFO) TrainVectorClassifier: Precision of class [2] vs all: 0.882353
(INFO) TrainVectorClassifier: Recall of class [2] vs all: 1
(INFO) TrainVectorClassifier: F-score of class [2] vs all: 0.9375

(INFO) TrainVectorClassifier: Precision of class [3] vs all: 1
(INFO) TrainVectorClassifier: Recall of class [3] vs all: 0.777778
(INFO) TrainVectorClassifier: F-score of class [3] vs all: 0.875

(INFO) TrainVectorClassifier: Precision of class [4] vs all: 0.653846
(INFO) TrainVectorClassifier: Recall of class [4] vs all: 0.708333
(INFO) TrainVectorClassifier: F-score of class [4] vs all: 0.68

(INFO) TrainVectorClassifier: Precision of class [5] vs all: 1
(INFO) TrainVectorClassifier: Recall of class [5] vs all: 1
(INFO) TrainVectorClassifier: F-score of class [5] vs all: 1

(INFO) TrainVectorClassifier: Precision of class [6] vs all: 0.827586
(INFO) TrainVectorClassifier: Recall of class [6] vs all: 0.8
(INFO) TrainVectorClassifier: F-score of class [6] vs all: 0.813559

(INFO) TrainVectorClassifier: Precision of class [7] vs all: 1
(INFO) TrainVectorClassifier: Recall of class [7] vs all: 0.833333
(INFO) TrainVectorClassifier: F-score of class [7] vs all: 0.909091

(INFO) TrainVectorClassifier: Global performance, Kappa index: 0.879293
(INFO) TrainVectorClassifier: mapOfIndicesValid[0] = 1
(INFO) TrainVectorClassifier: mapOfIndicesValid[1] = 2
(INFO) TrainVectorClassifier: mapOfIndicesValid[2] = 3
(INFO) TrainVectorClassifier: mapOfIndicesValid[3] = 4
(INFO) TrainVectorClassifier: mapOfIndicesValid[4] = 5
(INFO) TrainVectorClassifier: mapOfIndicesValid[5] = 6
(INFO) TrainVectorClassifier: mapOfIndicesValid[6] = 7
```

A Figura 7 apresenta o resultado da classificação utilizando informações dos produtos LIDAR, razões de bandas e índices de vegetação. Foram classificadas sete classes de objetos: vegetação, sombra, solo exposto, cobertura pavimentada, telhado cerâmica, telhado cinza e água.

Figura 7 – Classificação orientada a objeto utilizando camadas auxiliares



Fonte: A autora (2021).

As áreas correspondentes a cada classe e a porcentagem em relação a área total classificada encontram-se na Tabela 4. A classe mais presente na área é a classe Telhado cinza. A mesma misturou-se com a classe cobertura pavimentada em algumas regiões.

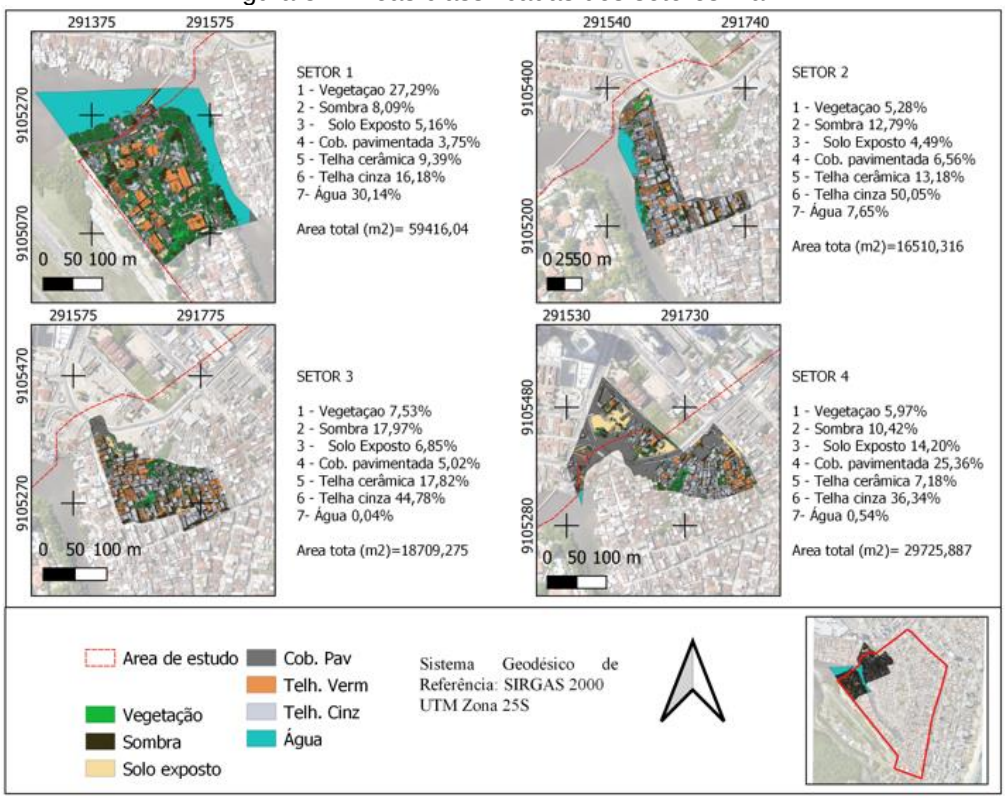
Tabela 4 – Áreas das classes

Classe	Área (m2)	%
Vegetação	120941,57	11,58%
Sombra	153372,69	14,68%
Solo exposto	52430,45	5,02%
Cob. Pavimentada	153860,98	14,73%
Telhado cerâmica	119107,52	11,40%
Telhado cinza	403109,26	38,59%
Água	41896,21	4,01%

Fonte: A Autora (2021).

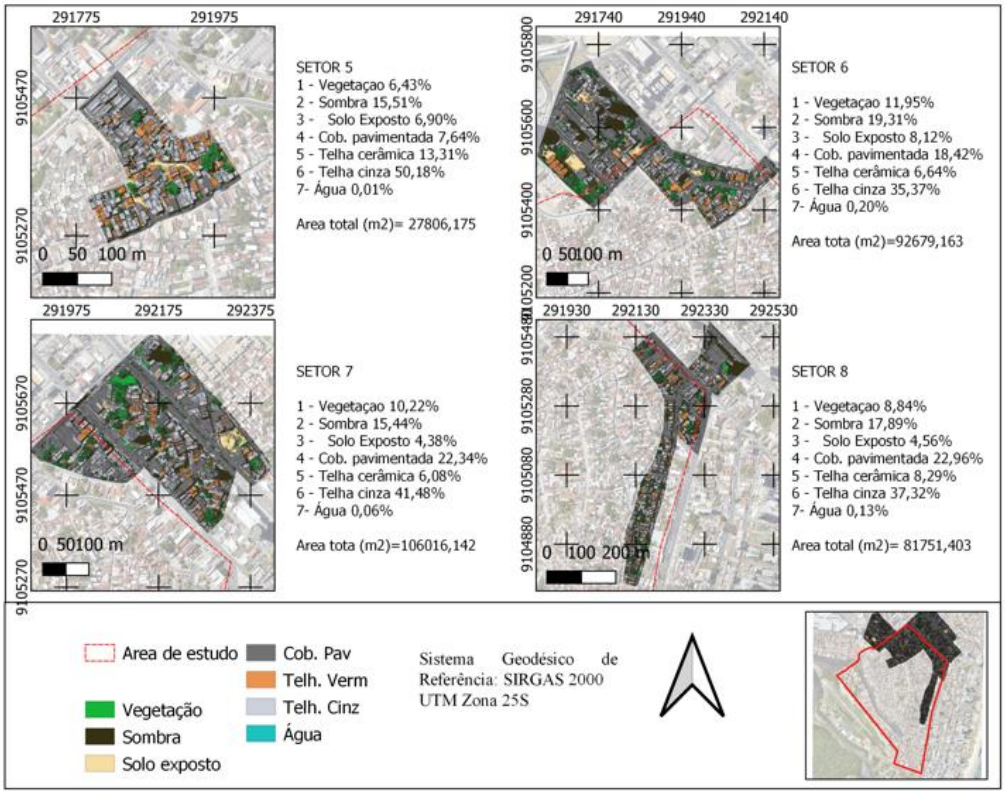
A porcentagem de cada classe por Setor Censitário pode ser vista nas Figuras 8 a 13. Os detalhes podem ser melhor observados nos apêndices.

Figura 8 – Áreas classificadas dos setores 1 a 4



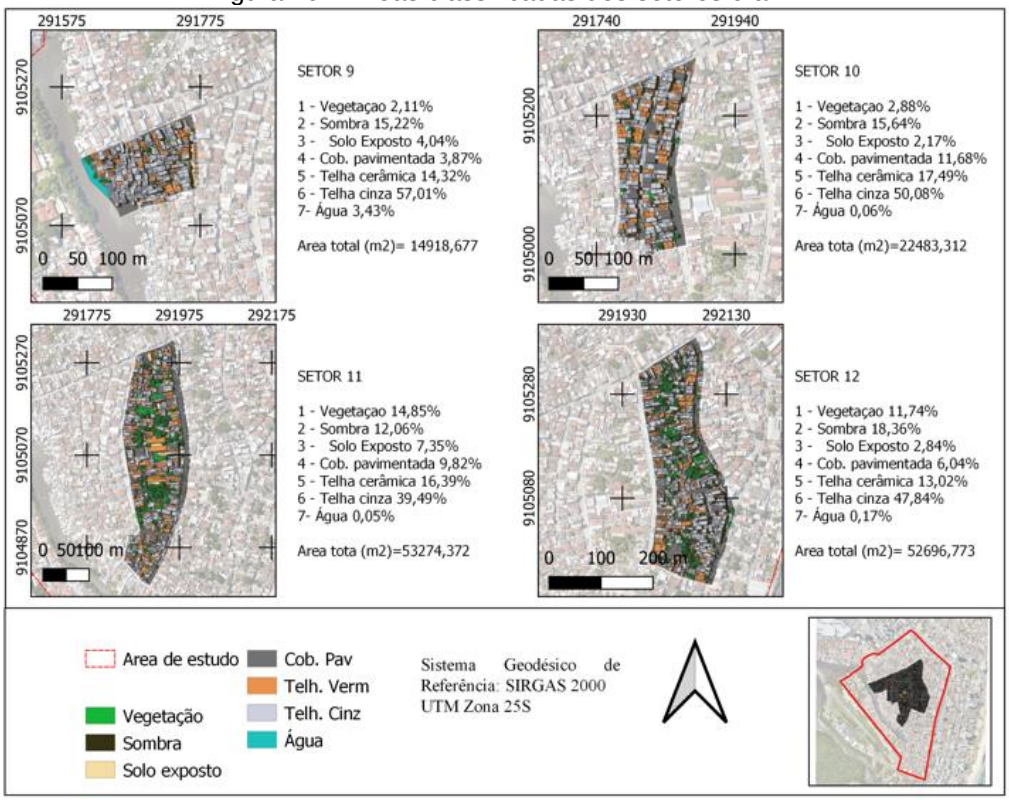
Fonte: A Autora (2021).

Figura 9 – Áreas classificadas dos setores 5 a 8



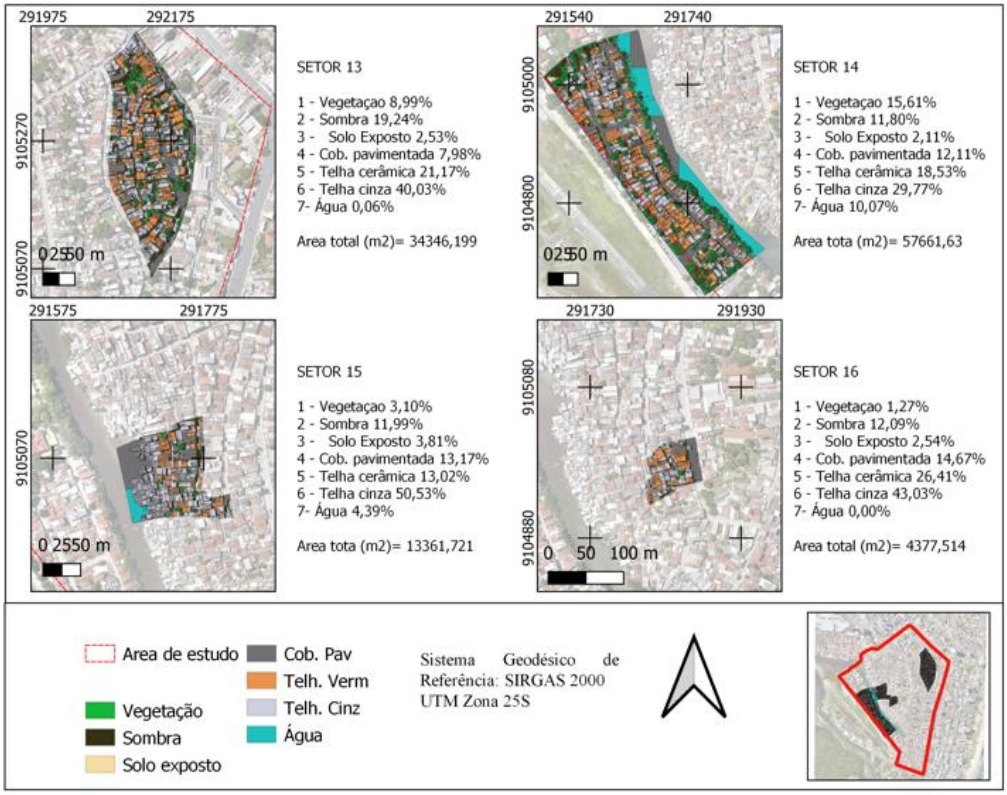
Fonte: A Autora (2021).

Figura 10 – Áreas classificadas dos setores 9 a 12



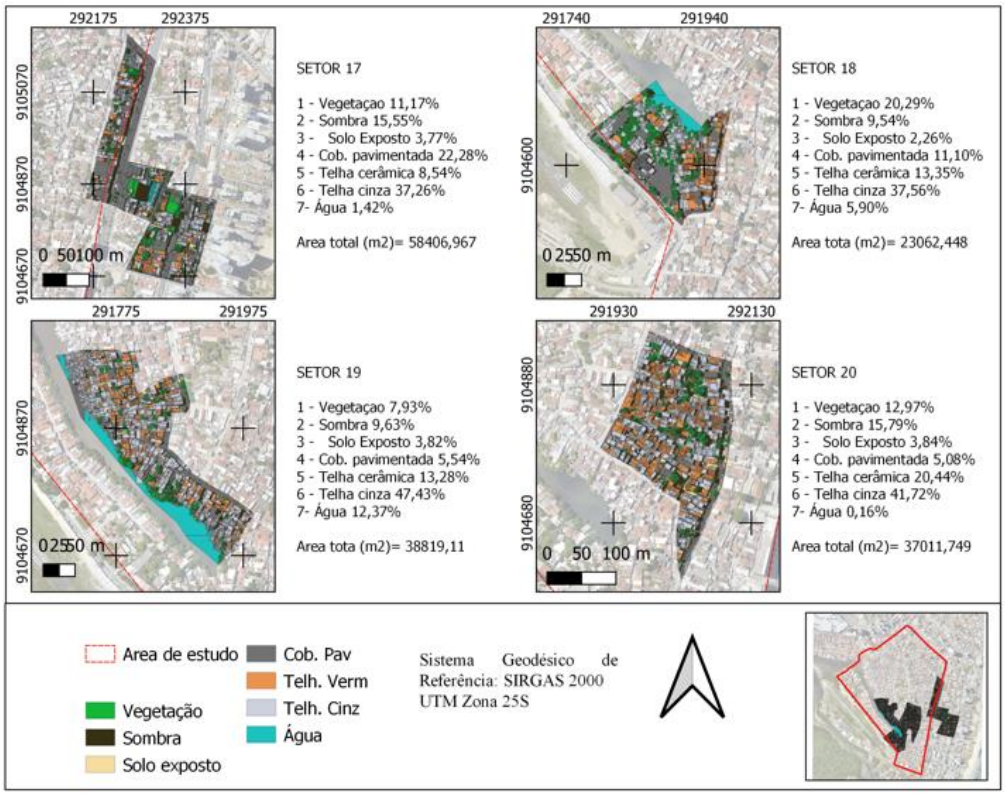
Fonte: A Autora (2021).

Figura 11 – Áreas classificadas dos setores 13 a 16



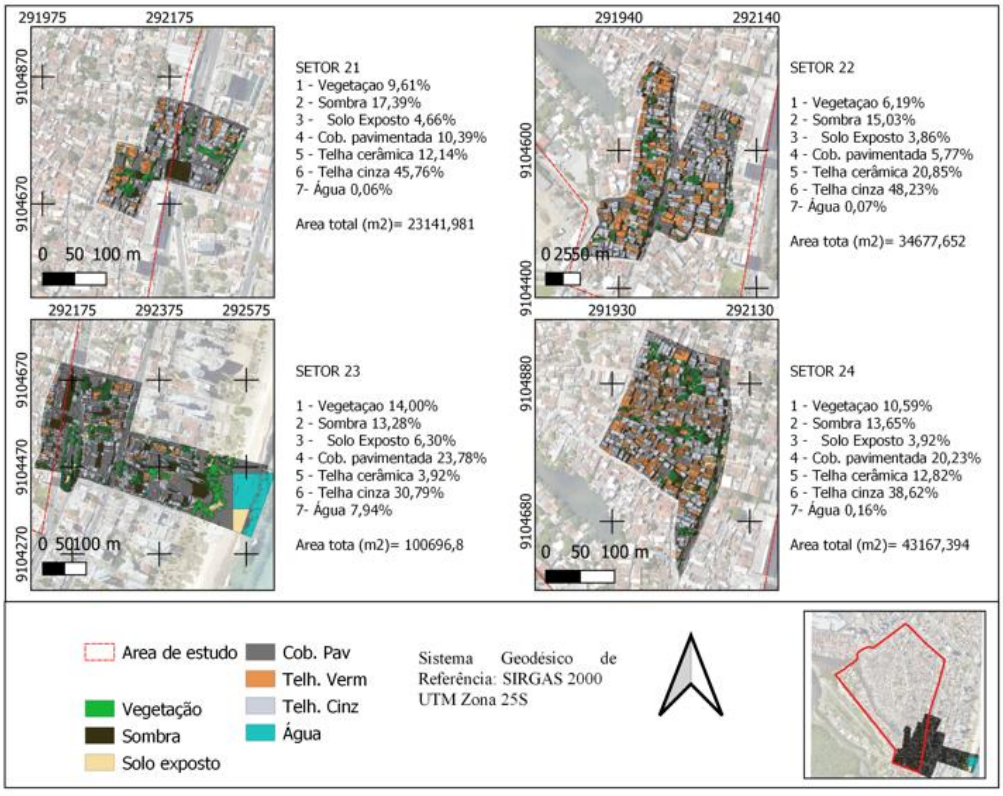
Fonte: A autora (2021).

Figura 12 – Áreas classificadas dos setores 17 a 20



Fonte: A Autora (2021).

Figura 13 – Áreas classificadas dos setores 17 a 24

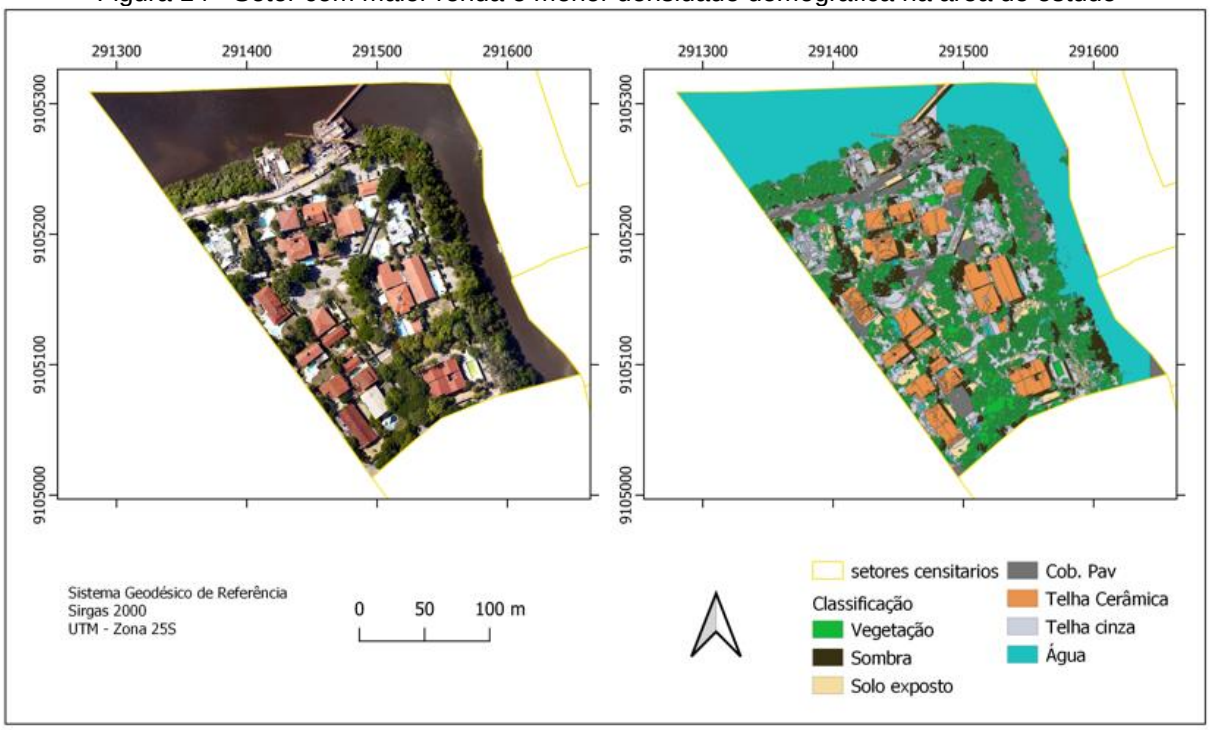


Fonte: A autora (2021).

Observa-se que em alguns casos é possível identificar os becos, que são as passagens estreitas e curtas, as vezes sem saída, que servem de acesso as casas mais distantes da rua. Há uma dificuldade de se realizar o mapeamento dos becos, que em alguns casos apresenta restrições ao acesso.

Mais detalhes do setor com maior renda e menor densidade demográfica, (setor 1) e do setor com menor renda e maior densidade demográfica (setor 9), respectivamente, pode ser visto nas Figuras 14 e 15, onde observam-se as características espaciais.

Figura 14 - Setor com maior renda e menor densidade demográfica na área de estudo



Fonte: A autora (2021).

O Setor 1 caracteriza-se pela grande quantidade de árvores, além da predominância de telhados cerâmica em relação aos telhados cinzas, com tamanhos grandes e pouca textura. Já o Setor 9 caracteriza-se pela predominância do telhado cinza (Figura 15).

Figura 15 - Setor com menor renda e maior densidade demográfica na área de estudo

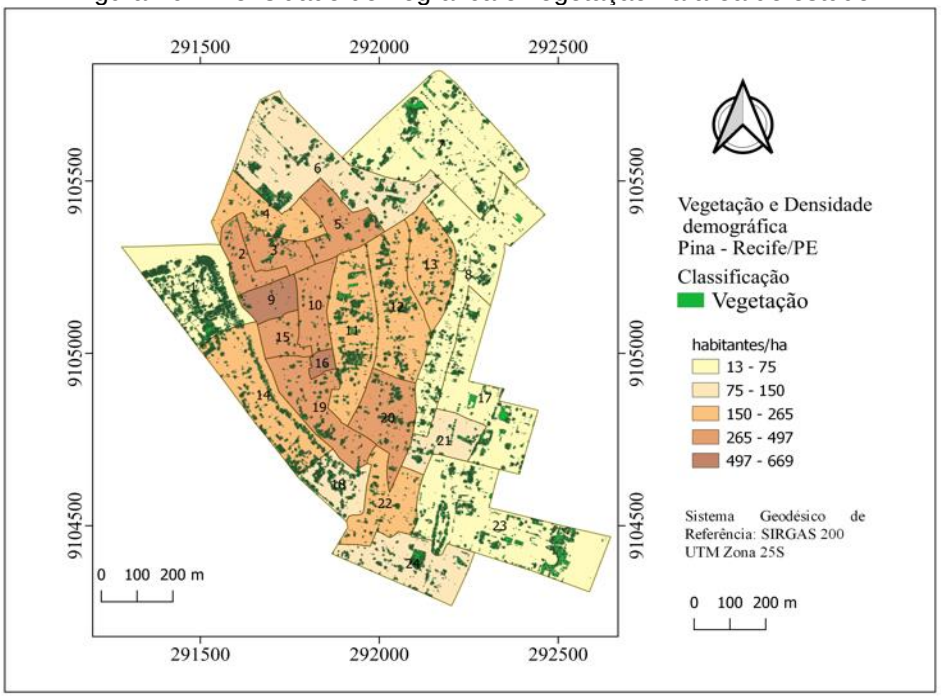
Fonte: A autora (2021).

Neste Setor observa-se a escassez de áreas pavimentadas. Em áreas assim é comum que o acesso as edificações se dê por becos. A predominância nessa área é do telhado cinza e a classificação encontra-se bastante segmentada, indicando que pode haver diferentes tipos de telhas cinzas, ou superfícies rugosas, telhados escuros com manchas.

O Setor 1 apresentou mistura entre as classes cobertura pavimentada e telhado cinza. Já no Setor 9 a classe solo exposto apresentou piores resultados. A mesma foi identificada onde há área pavimentada.

A vegetação é um elemento importante na análise da qualidade ambiental e para a qualidade de vida da população. A distribuição da vegetação entre os setores vista na Figura 16 mostra a relação entre ela e a densidade demográfica. Observa-se que os setores 9 e 16, onde há maior quantidade de habitantes por metro quadrado, quase não há áreas verdes, visto que não há presença de grandes edifícios habitacionais e a maior parte do espaço é ocupado por casas.

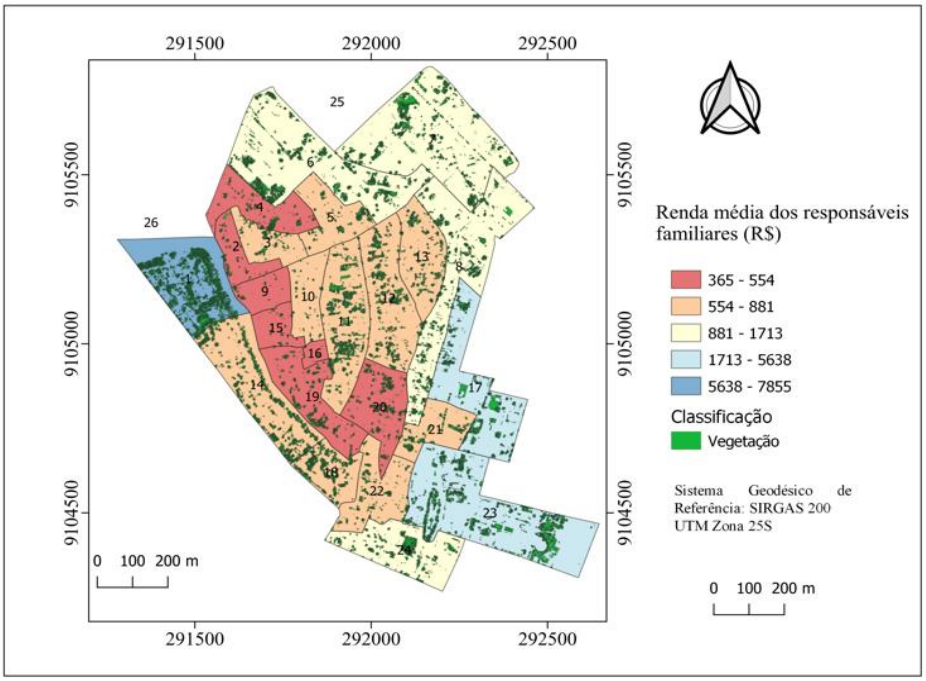
Figura 16 – Densidade demográfica e vegetação na área de estudo



Fonte: A autora (2021).

Em relação a renda, observa-se que, no nesta região do Bairro do Pina, a vegetação, no geral, é menor em áreas com menor renda média dos responsáveis familiares.

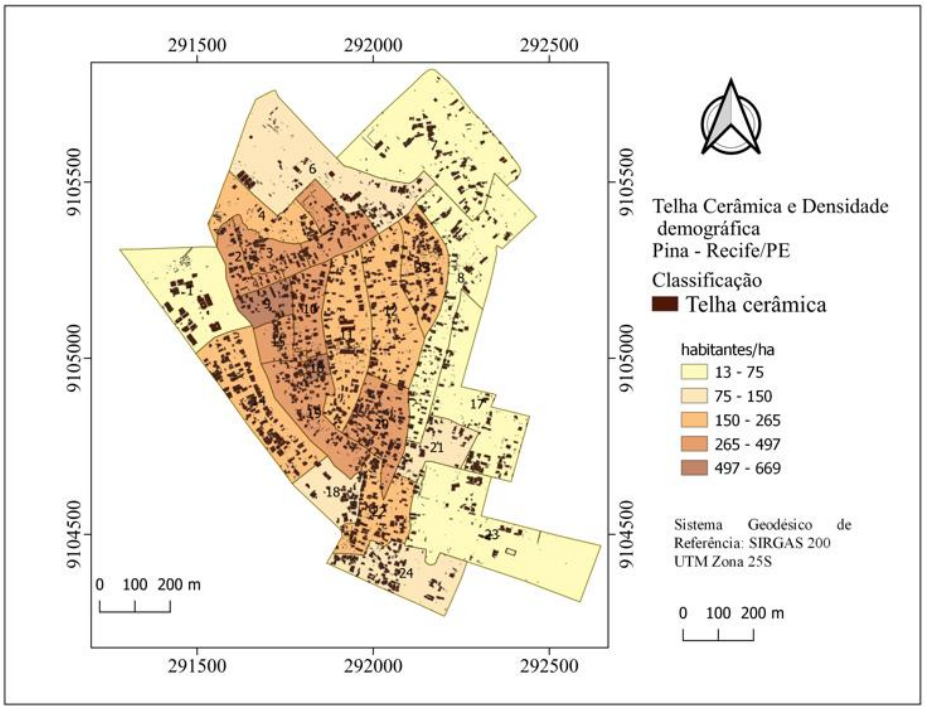
Figura 17 – Renda média e vegetação na área de estudo



Fonte: A autora (2021).

Quanto a cobertura das edificações, alguns materiais, como as telhas de cimento ou alumínio, podem influenciar no aumento da temperatura, o que está diretamente relacionado com o conforto térmico. Em contrapartida, o telhado de cerâmica não influencia muito no aumento da temperatura local. Essa informação, sobreposta com as informações de densidade demográfica e distribuição da renda, permite identificar possíveis disparidades sociais em algumas áreas.

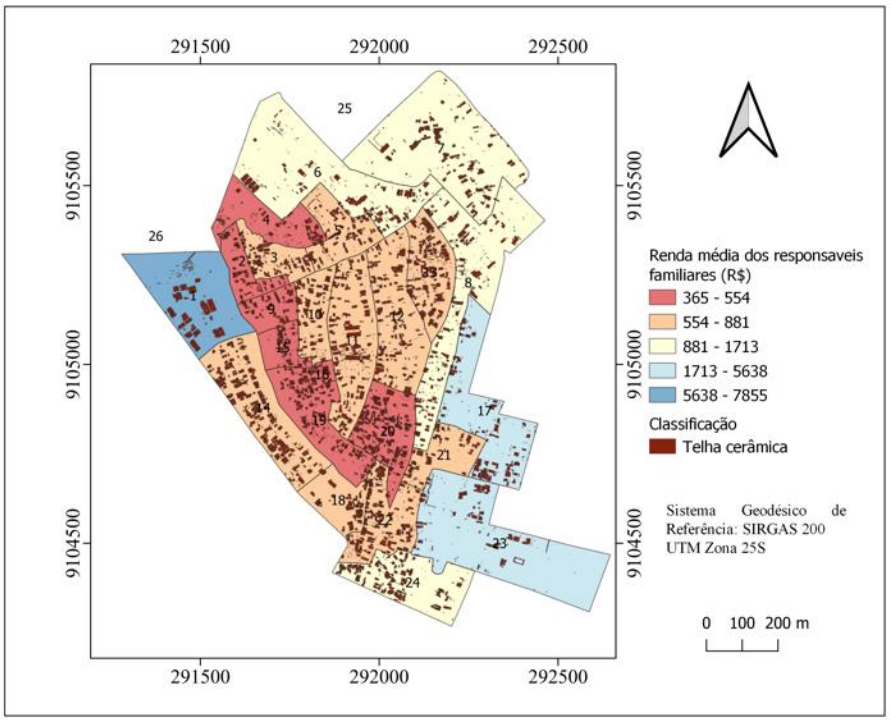
Figura 18 – Densidade demográfica e telhados de cerâmica na área de estudo



Fonte: A autora (2021).

Os tamanhos dos telhados de cerâmica, em muitos casos, estão também relacionados com a renda média. Nos setores com menor renda média dos responsáveis familiares, além dos telhados de cerâmica serem menores, há muitos pequenos polígonos que formam uma única cobertura, indicando telhados mais antigos ou remendados.

Figura 19 - Renda média e telhado de cerâmica na área de estudo



Fonte: A autora (2021).

6 CONCLUSÃO

Diante dos resultados obtidos com a classificação baseada em objeto inserindo dados auxiliares realizada no QGIS através do OTB, conclui-se que esta metodologia é mais adequada para o mapeamento de vegetação e telhado de cerâmica, uma vez que a correspondência com a realidade terrestre se mostrou mais elevada. Por outro lado, alvos como solo exposto, telhados cinza (metálicos, fibrocimento, etc) e a cobertura pavimentada não apresentaram resultados muito satisfatórios, necessitando de estudos que testem outros dados complementares afim de obter melhor classificação.

Além da classificação de imagens baseada em objeto se mostrar eficaz como metodologia de mapeamento de áreas urbanas, estando próxima da realidade terrestre, ela é capaz de eliminar pixels soltos e padronizar o tamanho dos polígonos, de acordo com o interesse do usuário.

De acordo com os resultados da classificação, a área de estudo é ocupada por 11,57% de vegetação. Dentre os Setores censitários que o compõe, destacam-se 1, 18, 14 e 11 com as maiores áreas por metro quadrado ocupadas por vegetação.

Através desta metodologia, com o uso de técnicas de análises espaciais, foi possível mapear o bairro e facilitou a obtenção de informações que dizem respeito a qualidade ambiental urbana. Considera-se que as classes obtidas em conjunto com as informações disponibilizadas pelo IBGE de cada Setor, permitem fazer análises de qualidade ambiental e outros tipos de análises em outras regiões.

Este método pode ser utilizado em atividades de identificações de edificações, como por exemplo, na detecção de novos imóveis presentes nos bairros, permitindo a atualização do banco de dados com informações importantes para o planejamento urbano e demais ações. Outros estudos também devem ser feitos para melhorar o resultado da classificação, tornando a metodologia do trabalho mais viável visto que o trabalho apresentou algumas inconsistências na classificação dos telhados de cerâmica, concreto, metal e fibrocimento.

Fica como sugestão para trabalhos futuros, dar ênfase aos becos em mapeamentos com imagens de alta resolução, visto que essas áreas raramente são mapeadas devido uma série de dificuldades e constituem parte importante das regiões de aglomerados subnormais.

REFERÊNCIAS

ALVES, D. S; MOREIRA, J. C; MELLO, EMK; SOARES, JV; SILVA, OF; ALMEIDA, SAS; ORTIZ, J. O; AMARAL, S. Mapeamento do uso da terra em Rondônia utilizando técnicas de classificação e classificação de imagens TM. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)**, 8., 1996, Salvador. Disponível em: http://marte.dpi.inpe.br/col/sid.inpe.br/deise/1999/01.27.15.19/doc/T211.pdf. Acesso em: 12/05/2021

ARRUDA, F. P; *A especulação imobiliária e o ecologismo dos pobres: o caso do Bairro do Pina – Recife (PE).* Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Pernambuco, 2015. P.130. Disponível em: https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/15606. Acesso em: 05/01/2021.

BIAS, E. S.; BRITES, R. S.; ROSA, A. N. C.: **Imagens de alta resolução especial. In: Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Org. MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, Tati. 1a Ed., v. 1. Brasília: CNPq, 2012. Disponível em: https://memoria.cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-b82a-e9693e4f69d8. Acesso em: 05/01/2021.

BLASCHKE, T. 2010. Object Based Image Analysis for Remote Sensing. **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924271609000884. Acesso em: 15/04/2021.

BLASCHKE, T., G. J. HAY, M. KELLY, S. LANG, P. HOFMANN, E. ADDINK, R. Q. FEITOSA, et al. 2014. Geographic Object-Based Image Analysis – Towards a New Paradigm. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing** 87: 180–191. doi:10.1016/j.isprsjprs.2013.09.014. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924271613002220. Acesso em: 05/01/2021.

CARABELLO et. al. Sensoriamento remoto aplicado ao estudo de águas interiores: monitoramento de clorofila-a em uma lagoa subtropical. **XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos** (ISSN 2318-0358). 2019.

CAVALCANTI, H.; MIRANDA, L.; SOUZA, M. A; NEVES, N. Tipologia e caracterização dos assentamentos precários: Região Metropolitana do Recife. In: Caracterização e **Tipologia de Assentamentos Precários: estudos de caso brasileiros.** Brasília: IPEA, 53-74, 2016. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/160718_caracterizacao_tipologia.pdf. Acesso em: 06/06/2021.

CHEN, G., G. J. HAY, L. M. T. CARVALHO, e M. WULDER. 2012. Object-Based Change Detection**. International Journal of Remote Sensing** 33: 4434–4457. doi:10.1080/01431161.2011.648285. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01431161.2011.648285. Acesso: 03/05/2021.

CHEN, G., WENG, Q., HAY, G. J. & HE, Y. (2018) Geographic object-based image analysis (GEOBIA): emerging trends and future opportunities, **GIScience & Remote Sensing**, 55:2, 159-182, DOI: 10.1080/15481603.2018.1426092

CHRISTOPHE, E., INGLADA, J., GIROS, A., 2008. Orfeo toolbox: a complete solution for mapping from high resolution satellite images**. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XXXVII** (Part B4), 1263-1268. Disponível em: https://www.semanticscholar.org/paper/ORFEO-TOOLBOX-%3A-A-COMPLETE-SOLUTION-FOR-MAPPING-Christophe-Inglada/aab7c84c98b17ecb0f854ad12f1ea06c331f82b8. Acesso em: 21/07/2021.

FURTADO, L. F. A. FRANCISCO, C. N. ALMEIDA, C. M.; **Análise de imagem baseada em objeto para classificação das fisionomias da vegetação em imagens de alta resolução espacial**; São Paulo, UNESP, Geociências, v. 32, n.3. 2013. Disponível em: https://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/GEOSP/article/view/7291. Acesso em: 03/05/2021.

GALPARSORO, L. U. FERNÁNDEZ, S. P. **Medidas de concordância: el índice Kappa. 2001**. Disponível em: http://www.fisterra.com/mbe/investiga/kappa/kappa.asp. Acesso em: 01/062021.

GIBRIL, M.B.A.; KALANTAR, B.; AL-RUZOUQ, R.; UEDA, N.; SAEIDI, V.; SHANABLEH, A.; MANSOR, S.; SHAFRI, H.Z.M. Mapping Heterogeneous Urban Landscapes from the Fusion of Digital Surface Model and Unmanned Aerial Vehicle-Based Images Using Adaptive Multiscale Image Segmentation and Classification. **Remote Sens**. 2020, 12, 1081. Disponível em: https://doi.org/10.3390/rs12071081. Acesso em: 14/12/2020.

GITELSON, A. A.; KAUFMAN, Y. J.; STARK, R. et alii. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. **Remote Sensing of Environment**, v. 80, p. 76-87, 2002. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425701002899. Acesso em: 13/01/2021.

HAY, G. J.; CASTILLA, G. Geographic Object-Based Image Analysis (GEOBIA): A new name for a new discipline? In: BLASCHKE, T.; LANG, S.; HAY, G. J. (Eds.) **Object-based image analysis spatial concepts for knowledge-driven remote sensing applications.** Berlin: Springer, 2008. p.75-89. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/235863512_Object-Based_Image_Analysis_Spatial_Concepts_for_Knowledge-Driven_Remote_Sensing_Applications . Acesso em 14/12/2020.

HUNT, E. et. al. **A visible band index for remote sensing leaf chlorophyll content at the canopy scale**. Publications from USDA-ARS / UNL Faculty. 1156, 2013. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0303243412001791. Acesso em: 04/01/2021.

KOTARIDIS, I., & LAZARIDOU, M. (2020). Object-Based Image Analysis Of Different Spatial Resolution Satellite Imageries In Urban And Suburban Environment. **ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences,** 105-112. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/343800958_OBJECT-BASED_IMAGE_ANALYSIS_OF_DIFFERENT_SPATIAL_RESOLUTION_SATELLITE_IMAGERIES_IN_URBAN_AND_SUBURBAN_ENVIRONMENT. Acesso em: 04/04/2021

LI, M.; MA, L.; BLASCHKE, T.; CHENG, L.; TIEDE, D. A systematic comparison of different object-based classification techniques using high spatial resolution imagery in agricultural environments. **Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.** 2016, 49, 87–98. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0303243416300125. Acesso em: 01/02/2021.

LOUHAICHI, M.; BORMAN, M. M.; JOHNSON, D. E. Spatially Located Platform and Aerial Photography for Documentation of Grazing Impacts on Wheat. **Geocarto International**, v. 16, n. 1, p. 65–70, 2001. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10106040108542184. Acesso em: 04/01/2021.

MA, L., M. LI, X. MA, L. CHENG, P. DU, AND Y. LIU. 2017b. A Review of Supervised Object-Based Land-Cover Image Classification. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing** 130: 277–293. doi:10.1016/j.isprsjprs.2017.06.001.

MOTOHKA, T.; NASAHARA, K. N.; OGUMA, H.; TSUCHIDA, S. Applicability of green-red vegetation index for remote sensing of vegetation phenology. **Remote Sensing,** v. 2, p. 2369-2387, 2010. Disponível em: https://www.mdpi.com/2072-4292/2/10/2369. Acesso em: 11/02/2021.

NASCIMENTO, P.S.R. 1997. **Avaliação de técnicas de segmentação e classificação em imagens Landsat-TM visando o mapeamento de unidades de paisagem na Amazônia.** São José dos Campos. Dissertação (Mestrado) -Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE. 120p.

QUEIROZ FILHO, A. P; As definições de assentamentos precários e favelas e suas implicações nos dados populacionais: abordagem da análise de conteúdo. **urbe, Rev. Bras. Gest. Urbana [online]**. 2015, vol.7, n.3, pp.340-353. Epub Sep 18, 2015. ISSN 2175-3369. https://doi.org/10.1590/2175-3369.007.003.AO03.

RADOUX, J.; BOURDOUXHE, A.; COOS, W.; DUFRÊNE, M.; DEFOURNY, P. Improving Ecotope Segmentation by Combining Topographic and Spectral Data. **Remote Sens**. 2019, 11, 354. https://doi.org/10.3390/rs11030354

SCHULTZ, B.; FORMAGGIO, AR; EBERHARDT, IDR; SANCHES, I.DA; OLIVEIRA, JC & LUIZ, AJB 2016. Classificação orientada a objetos em imagens multitemporaisLandsat aplicado na identificação de cana-de-açúcare soja. **Revista Brasileira de Cartografia**, 68(1): 131-146.

SILVA, A. A.; CANDEIAS, A. L. B.; TAVARES JUNIOR, J. R. Inserção de dados altimétricos na diferenciação de tipos florestais em brejos de altitude**. Revista Brasileira de Cartografia**, n. 62, p. 247-260, 2010. Edição especial.

SILVA, M. L. **Classificação da cobertura do solo urbano utilizando imagens aéreas, produtos LIDAR, índices de vegetação e razão de bandas**. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação) – UFPE. Recife, p. 90. 2020.

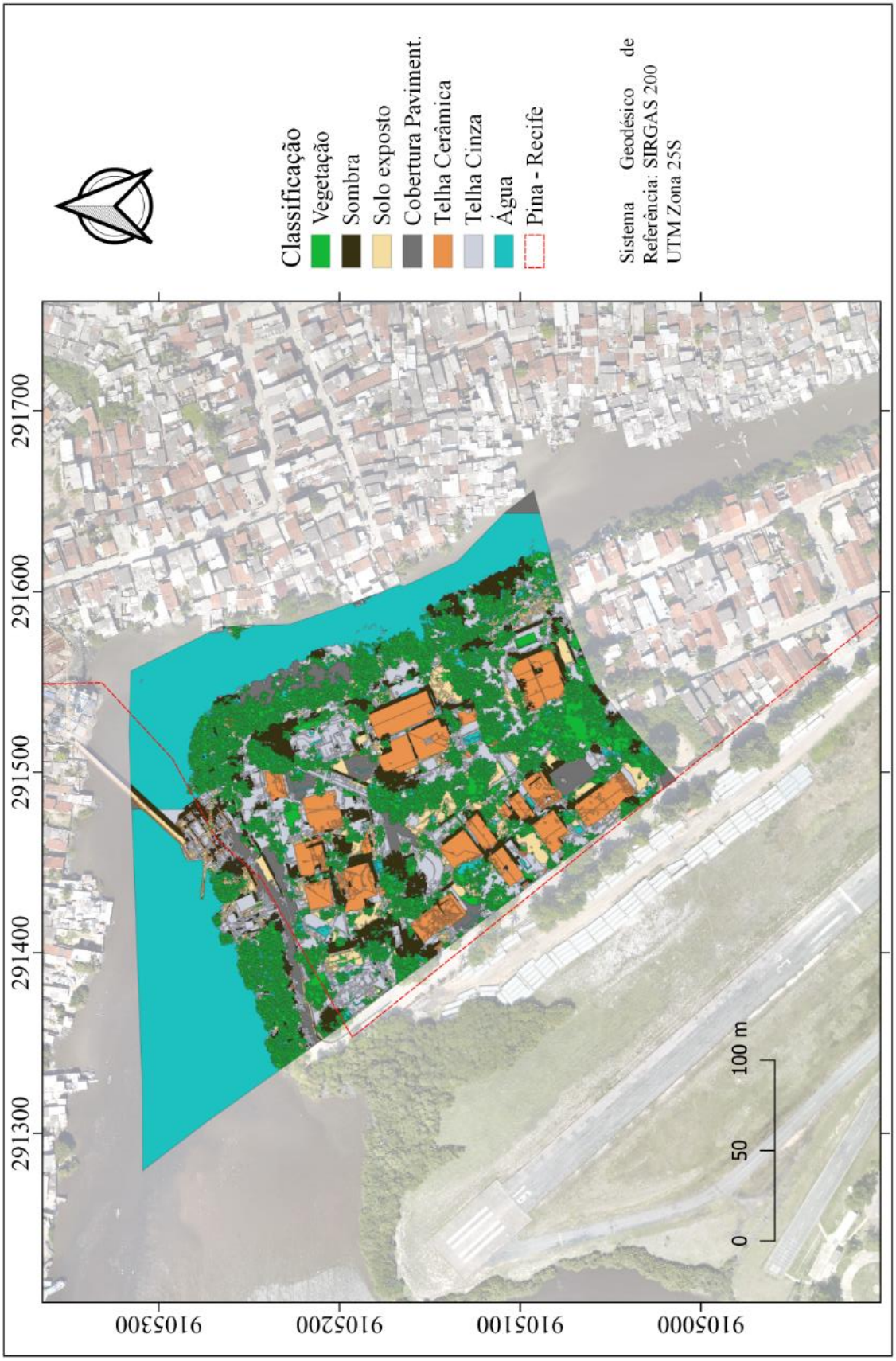
SOARES, A. S.. **Mapeamento do uso e ocupação do solo do município de Grupiara/Mg usando técnicas de segmentação de imagens. 2018.** 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica) – Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, 2018.

SOUZA JÚNIOR, X. S. S. **Os atores sociais na organização sócio-espacial do bairro do Pina Recife-PE (Convergência e Dissilência)**. Dissertação de Mestrado: Programa de Pós Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2001.

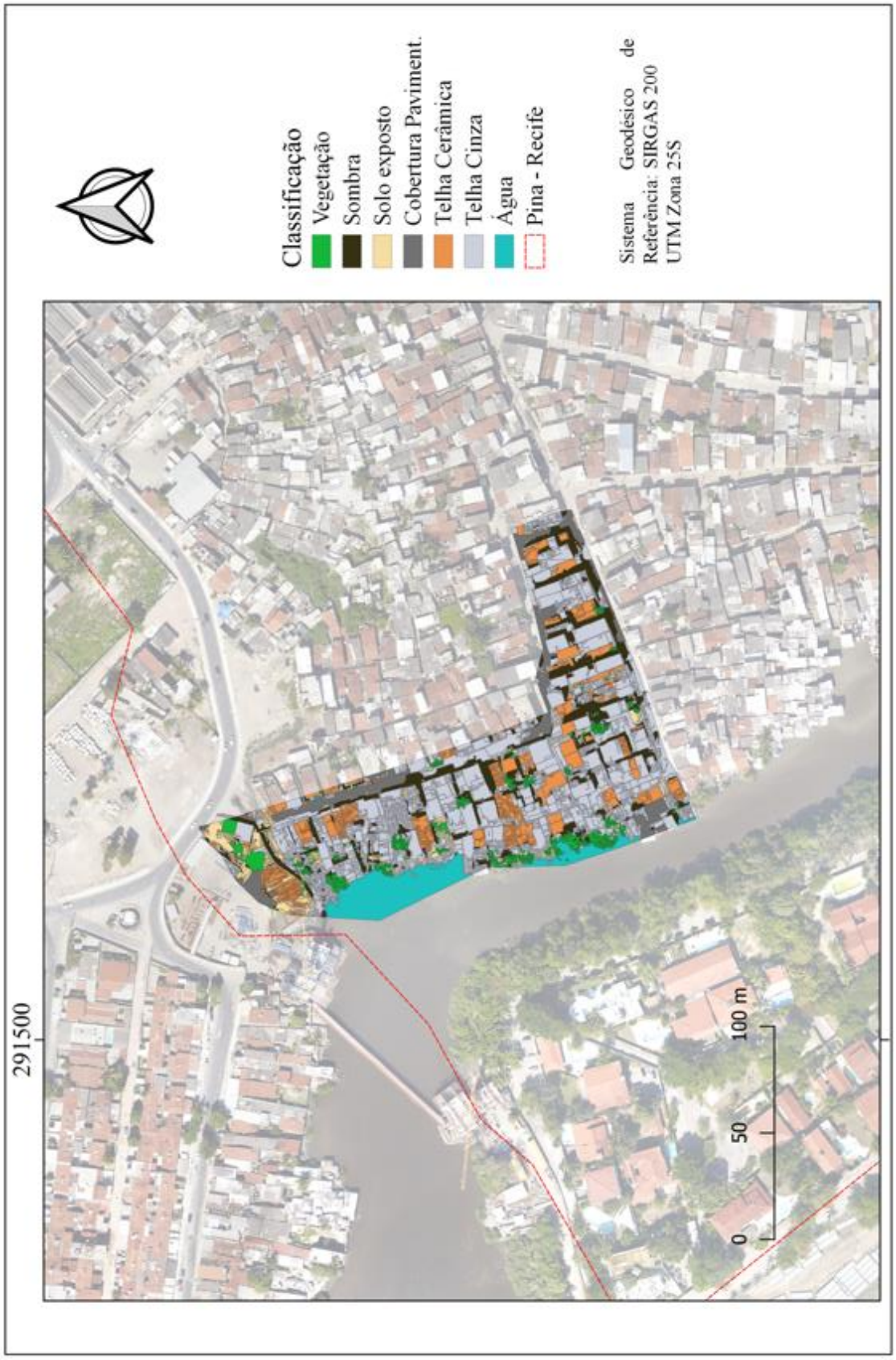
TUCKER, C.J. **Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. Remote Sens. Environ**. v. 8, p. 127-150, 1979.

VASCONCELOS, C. H; NOVO, E. M. L. M. **Mapeamento do uso e cobertura da terra a partir da segmentação e classificação de imagens – fração solo, sombra e vegetação derivadas do modelo linear de mistura aplicado a dados do sensor TM/Landsat5, na região do reservatório de Tucuruí – PA**. Acta Amazônica 2004; 34:487-93.

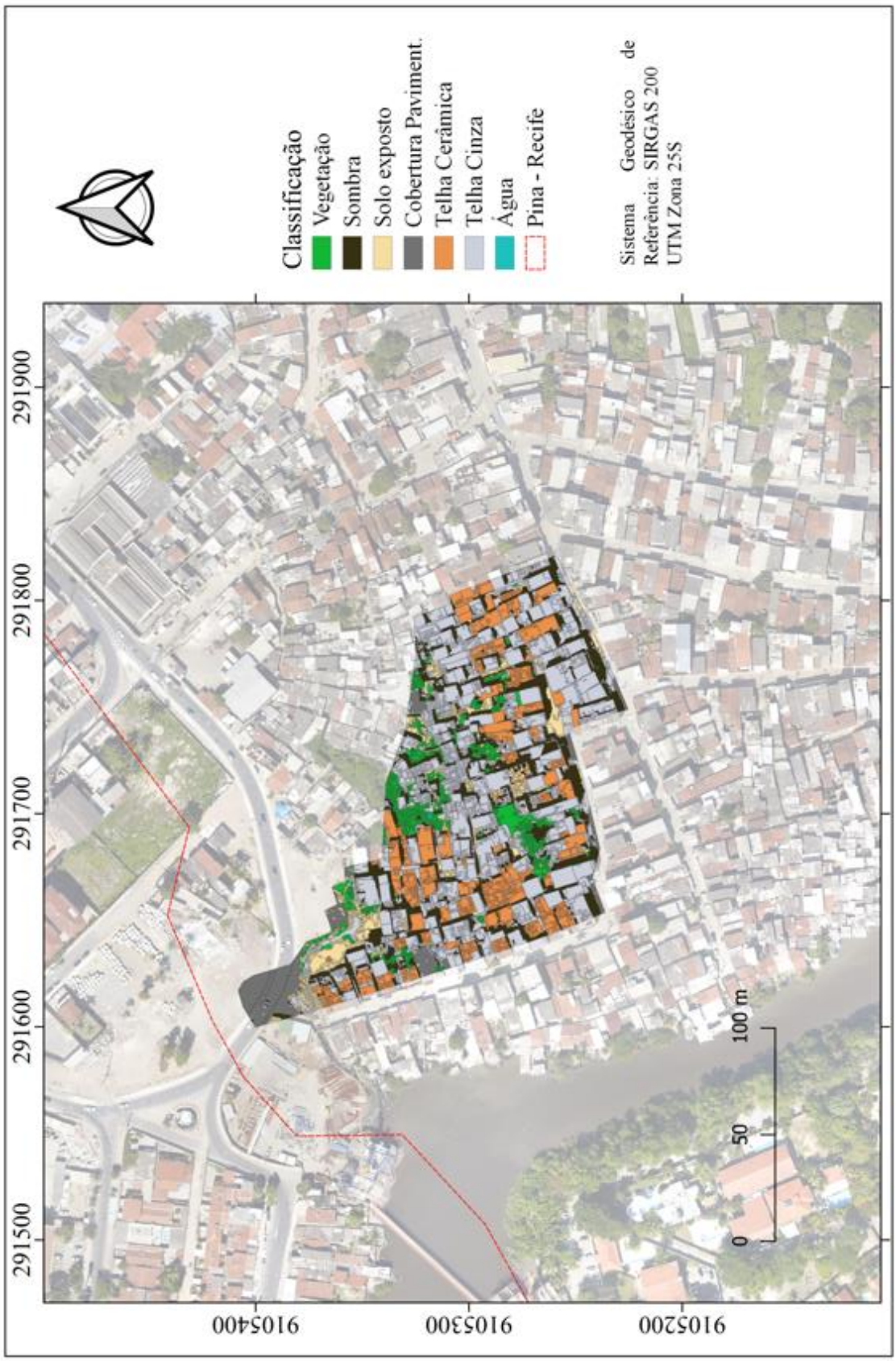
APÊNDICE A – IMAGEM CLASSIFICADA (SETOR 1)



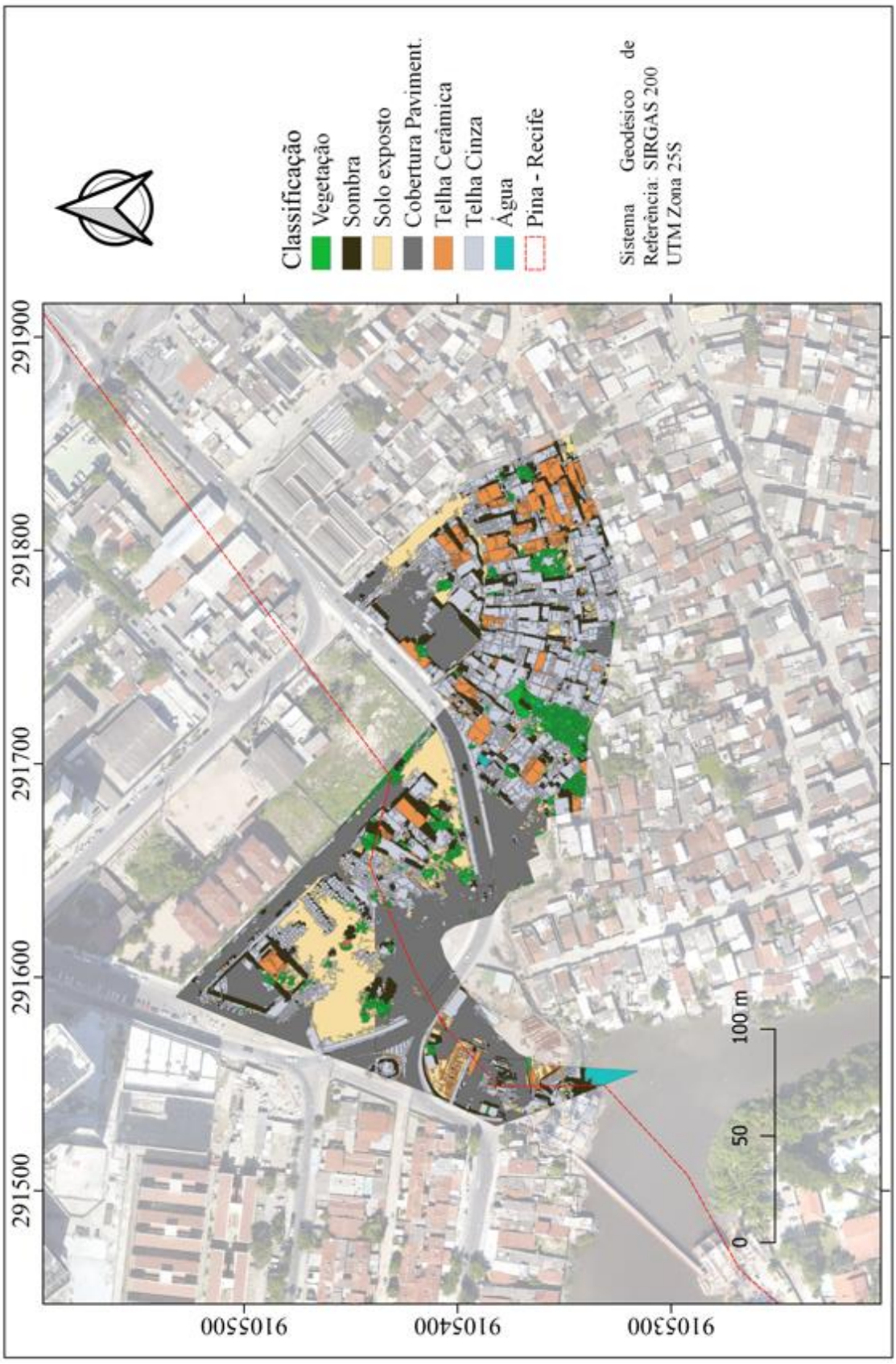
APÊNDICE B – IMAGEM CLASSIFICADA (SETOR 2)



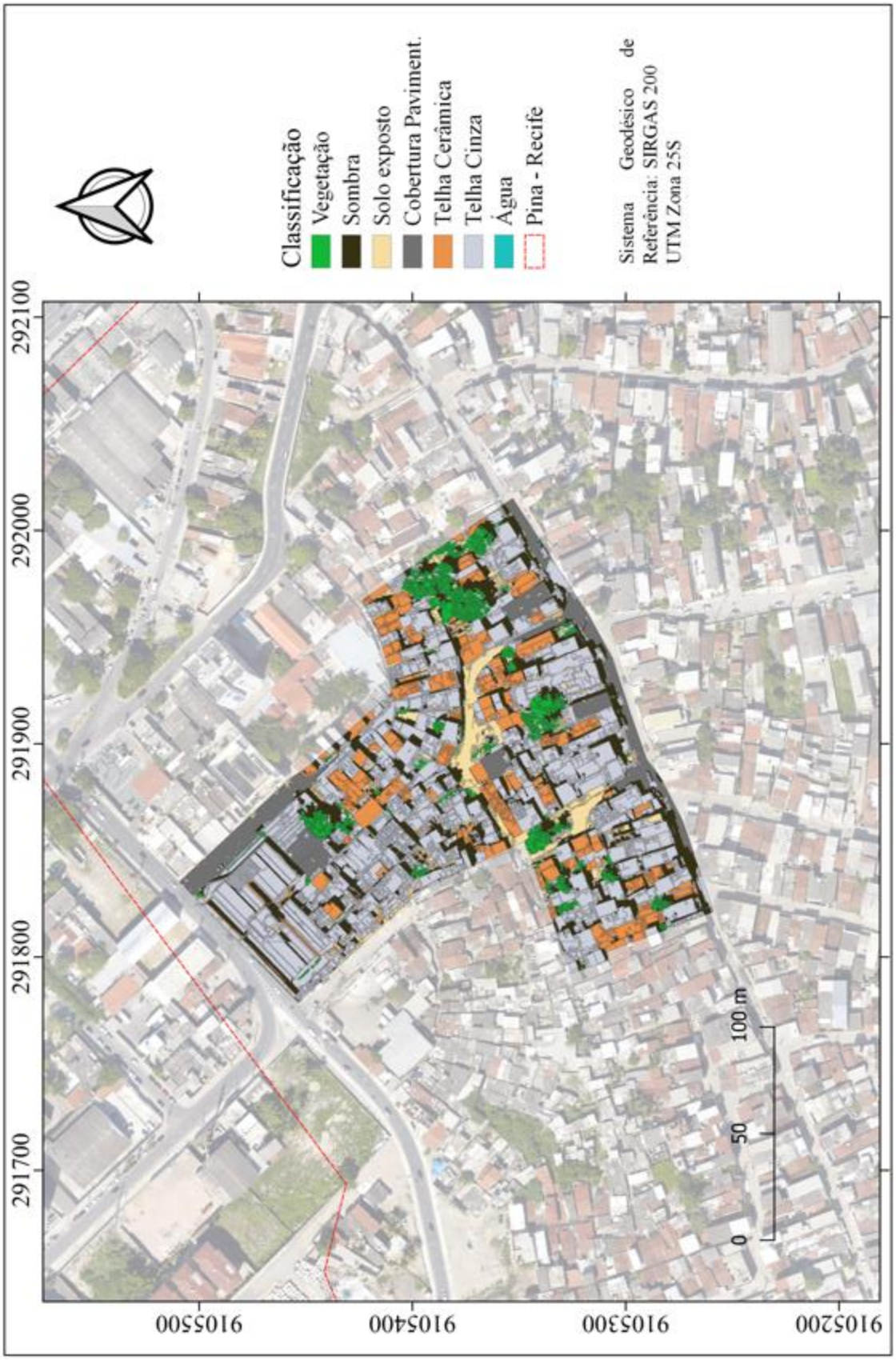
APÊNDICE C – IMAGEM CLASSIFICADA (SETOR 3)



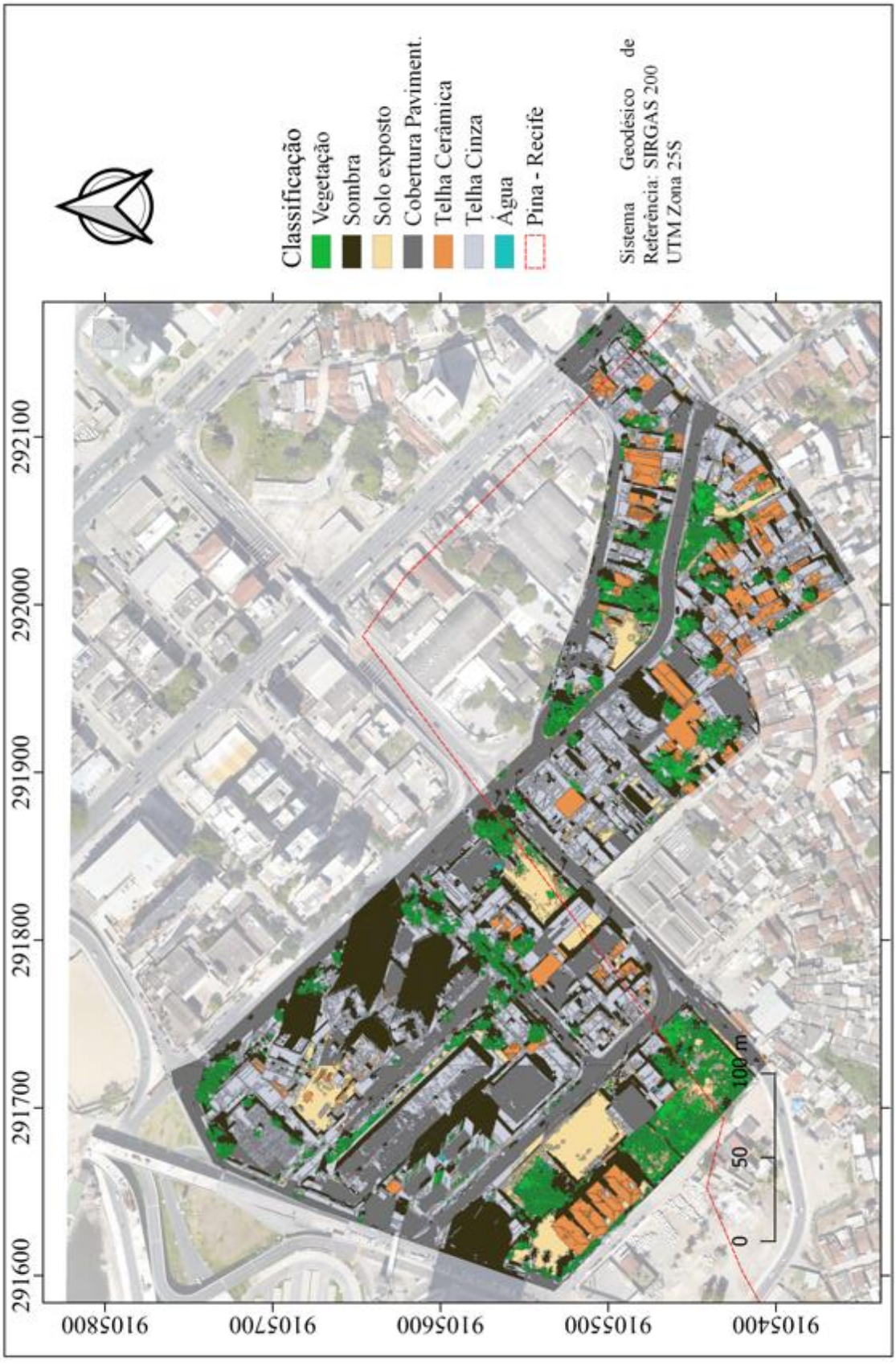
APÊNDICE D – IMAGEM CLASSIFICADA (SETOR 4)



APÊNDICE E – IMAGEM CLASSIFICADA (SETOR 5)

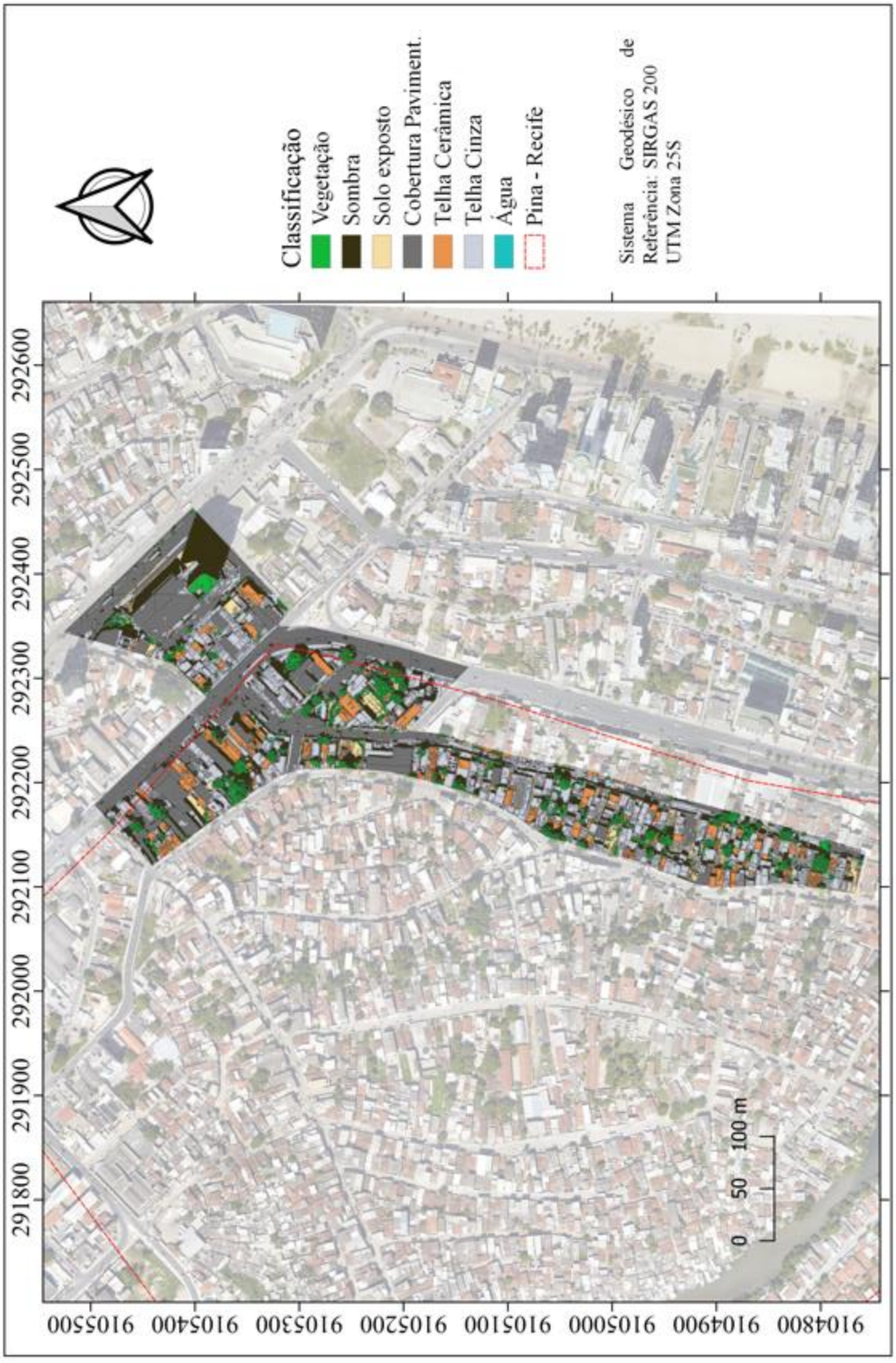


APÊNDICE F – IMAGEM CLASSIFICADA (SETOR 6)

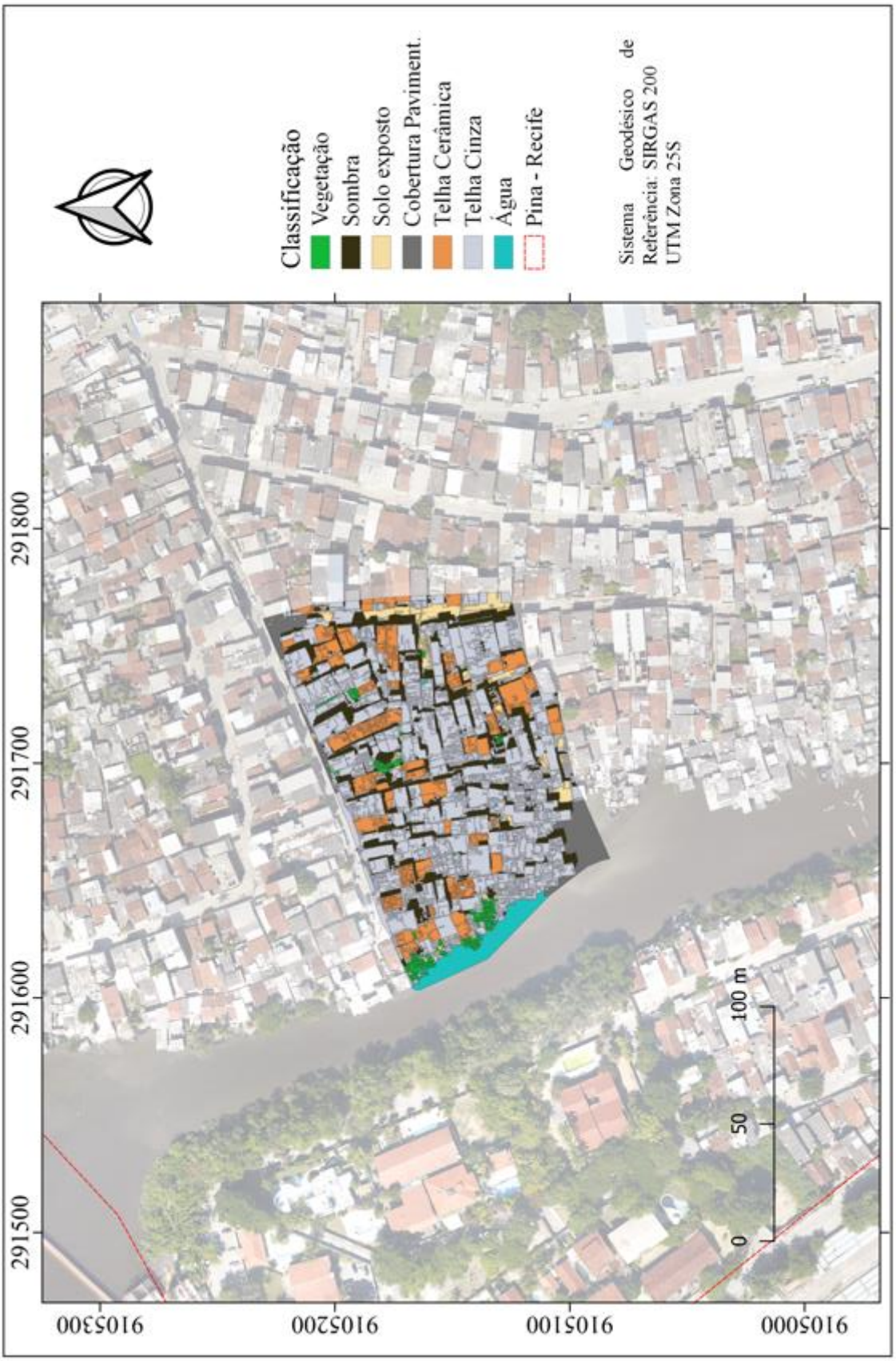


APÊNDICE G – IMAGEM CLASSIFICADA (SETOR 7)

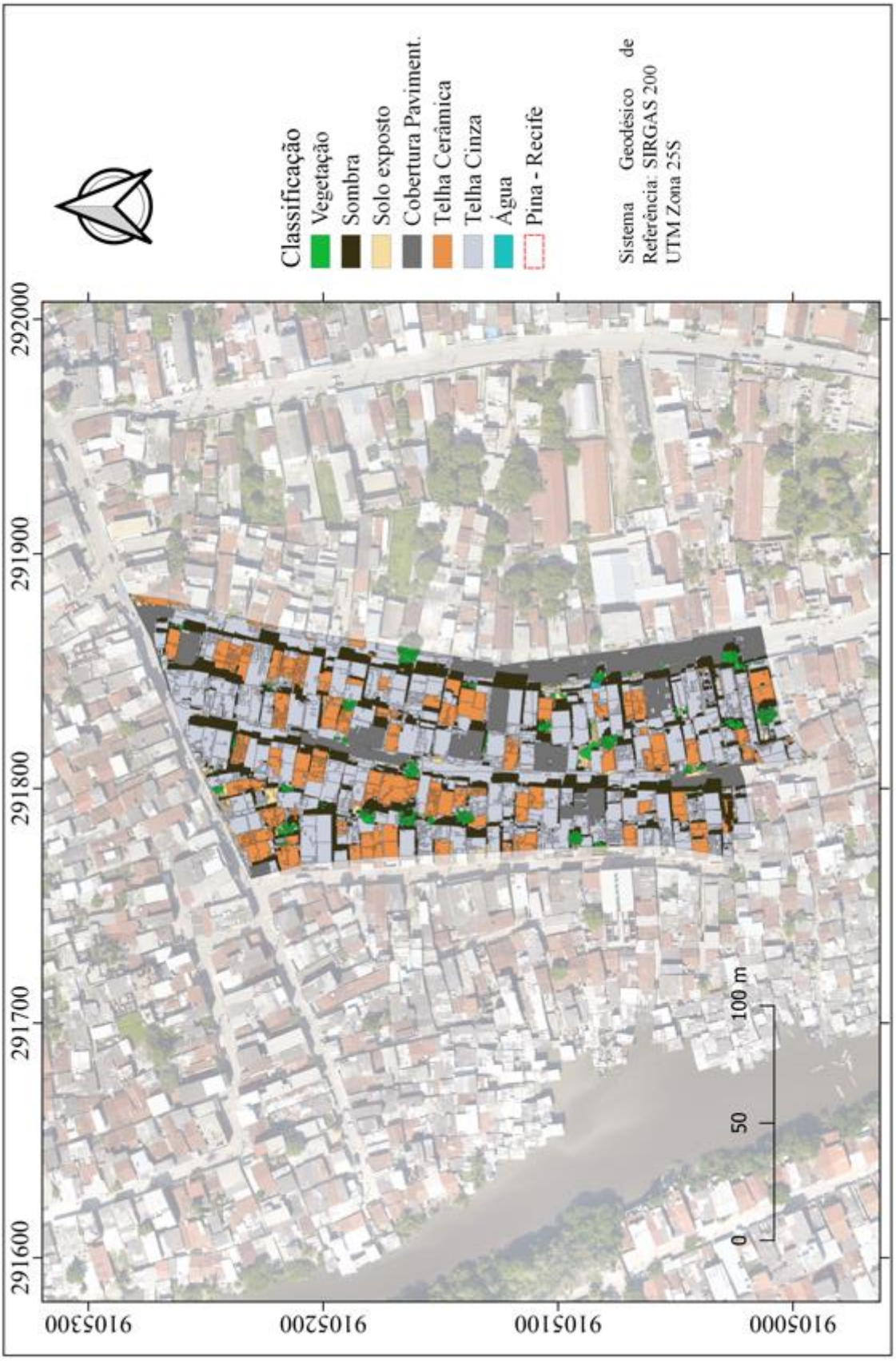
APÊNDICE H – IMAGEM CLASSIFICADA (SETOR 8)



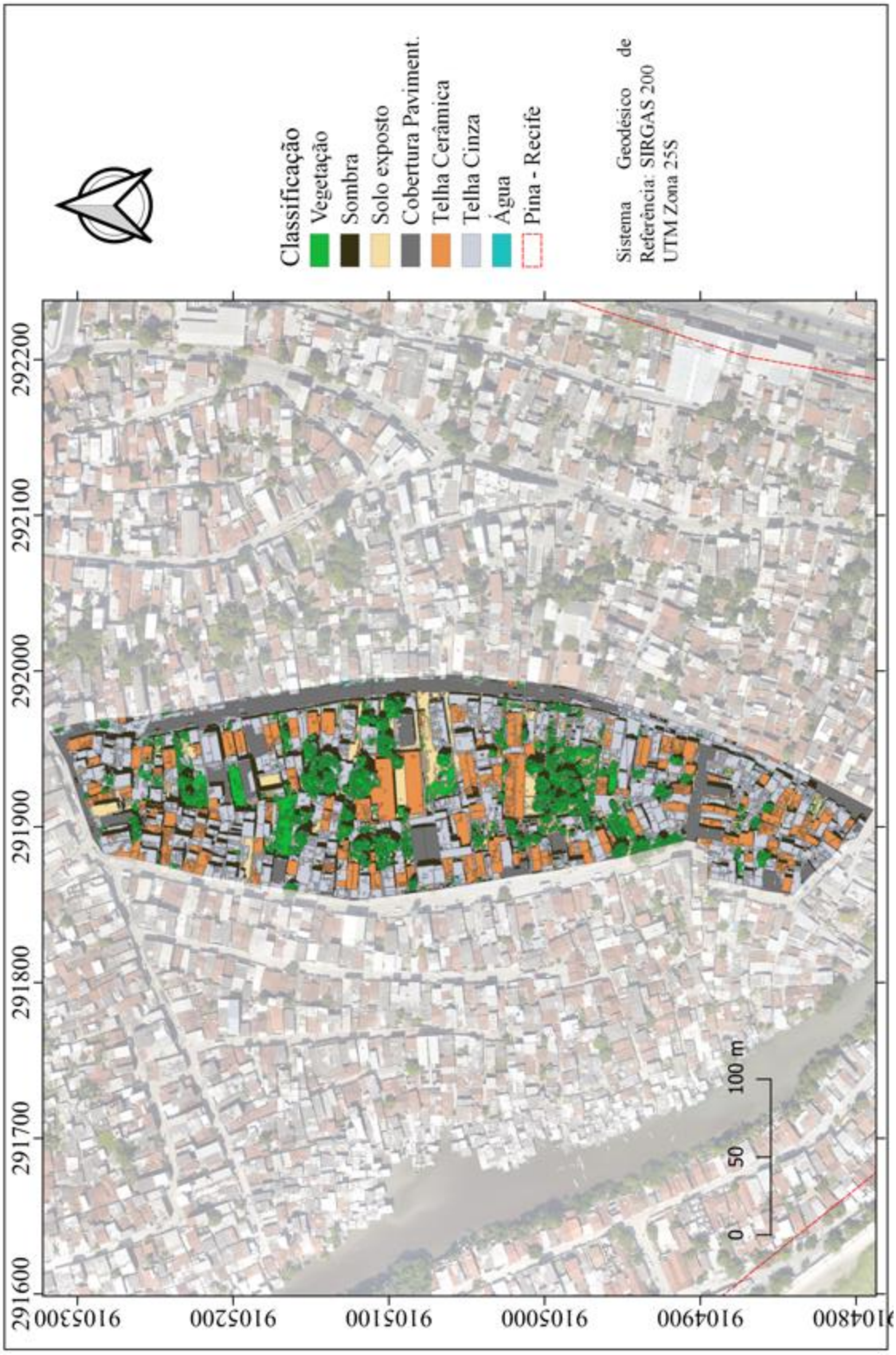
APÊNDICE I – IMAGEM CLASSIFICADA (SETOR 9)



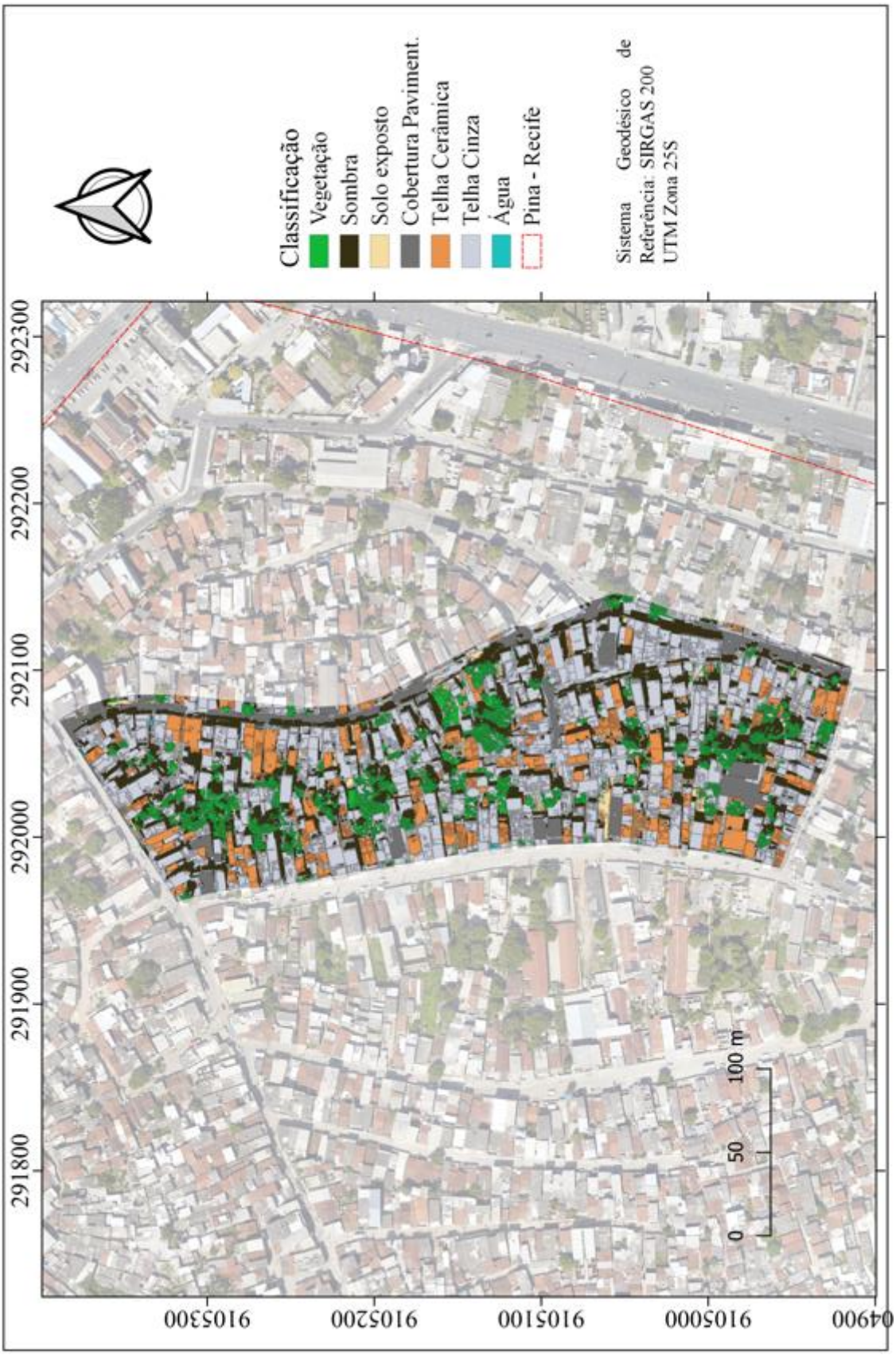
APÊNDICE J – IMAGEM CLASSIFICADA (SETOR 10)



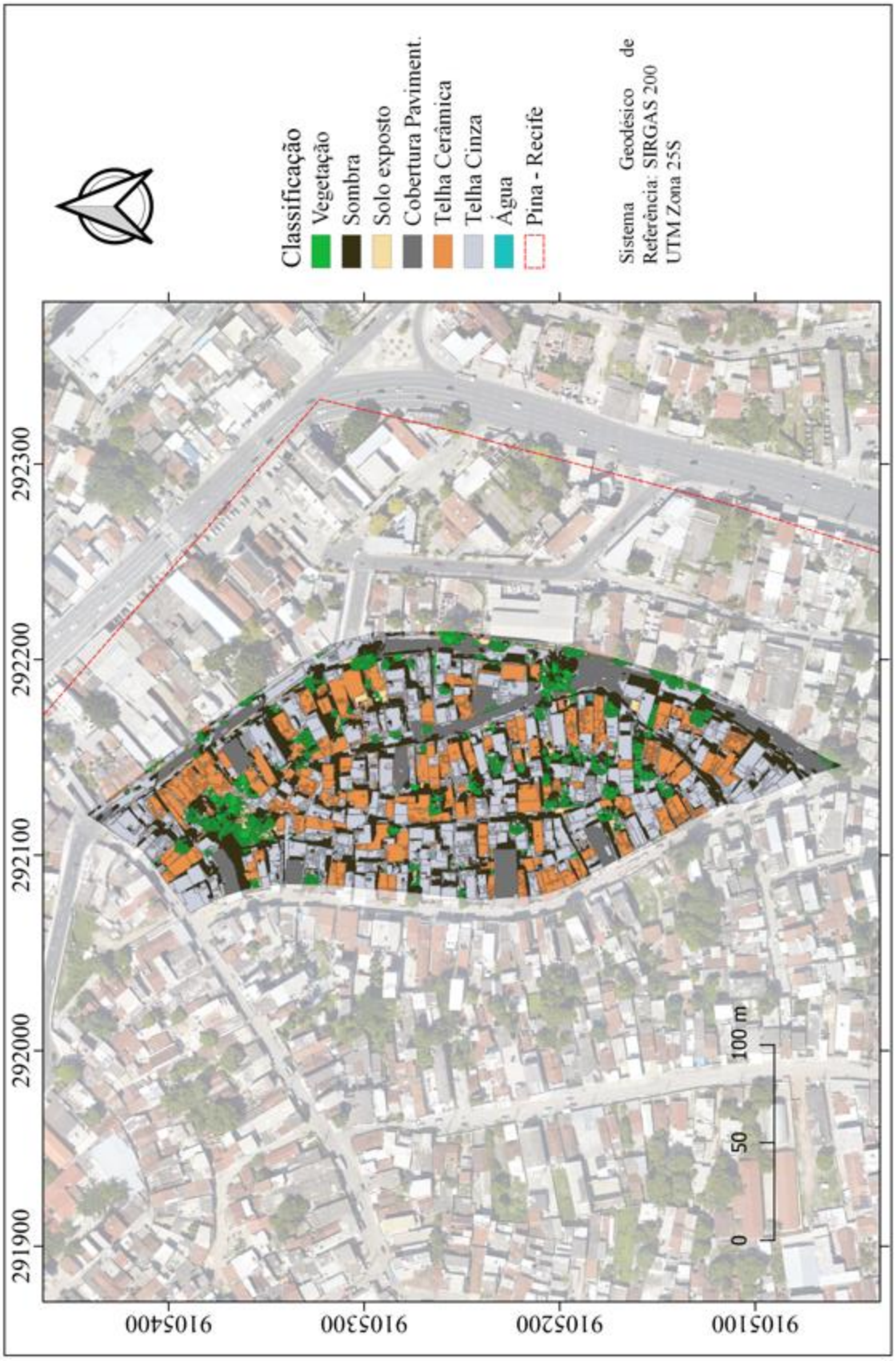
APÊNDICE K – IMAGEM CLASSIFICADA (SETOR 11)



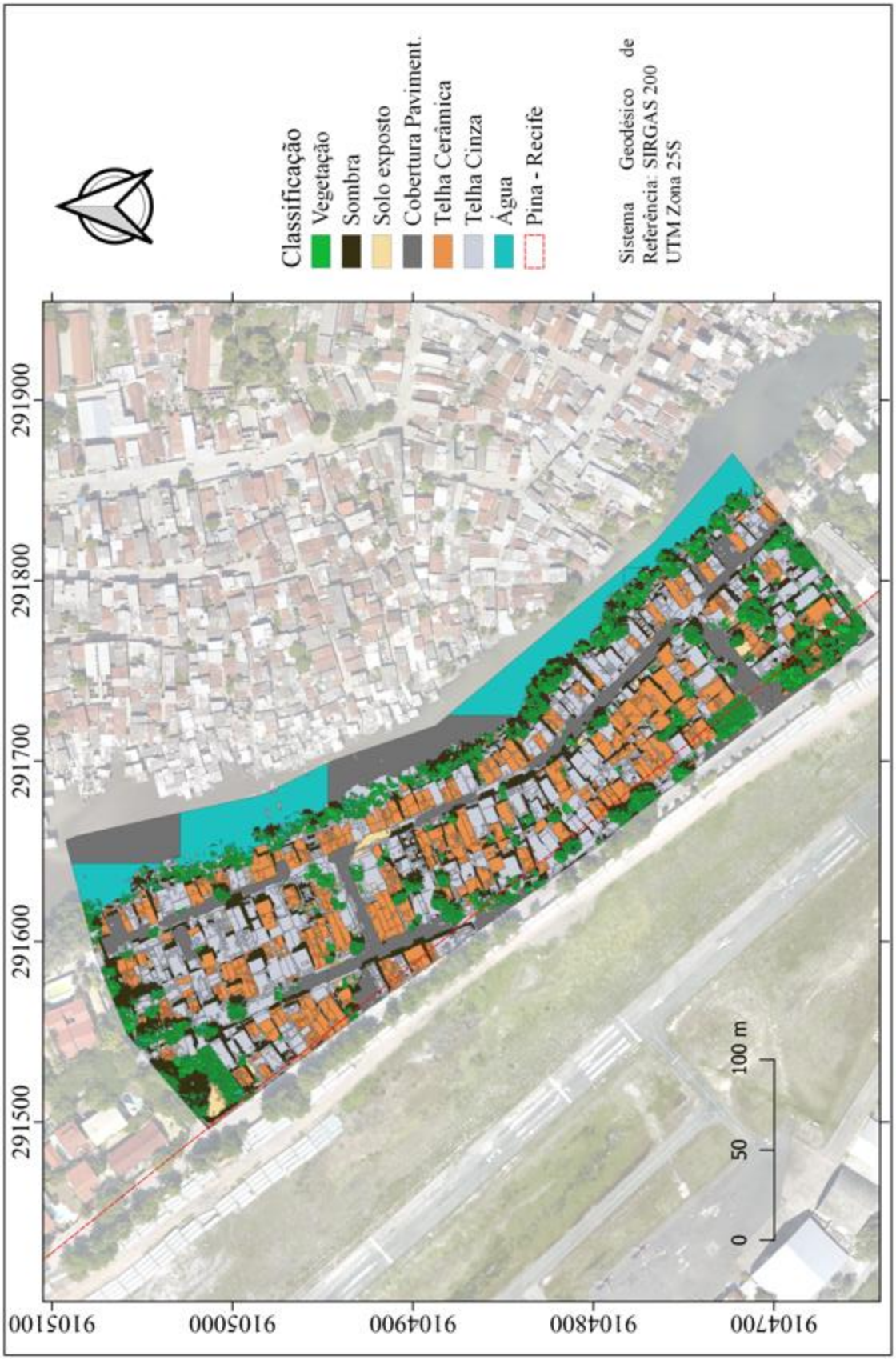
APÊNDICE L – IMAGEM CLASSIFICADA (SETOR 12)



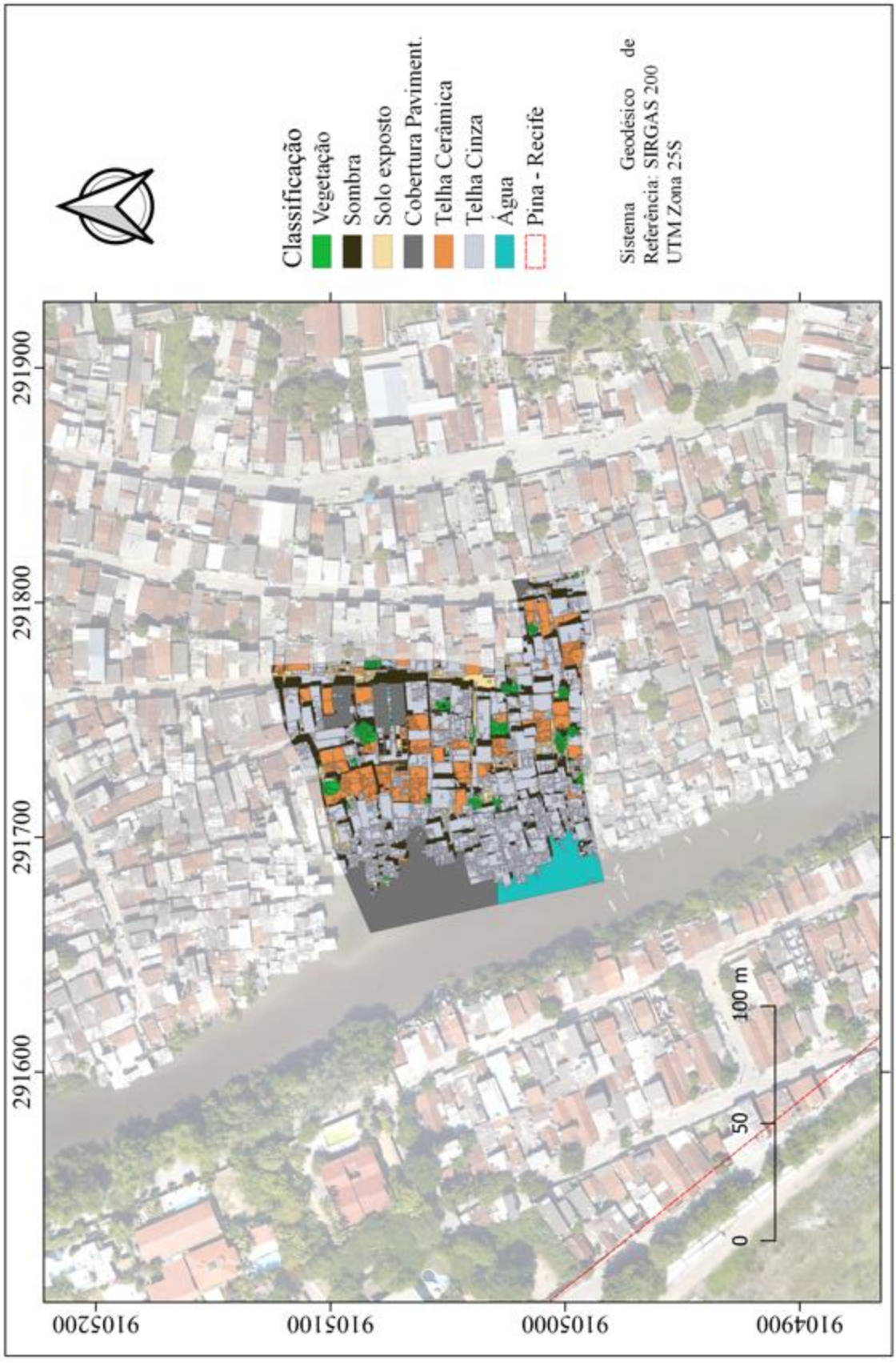
APÊNDICE M – IMAGEM CLASSIFICADA (SETOR 13)



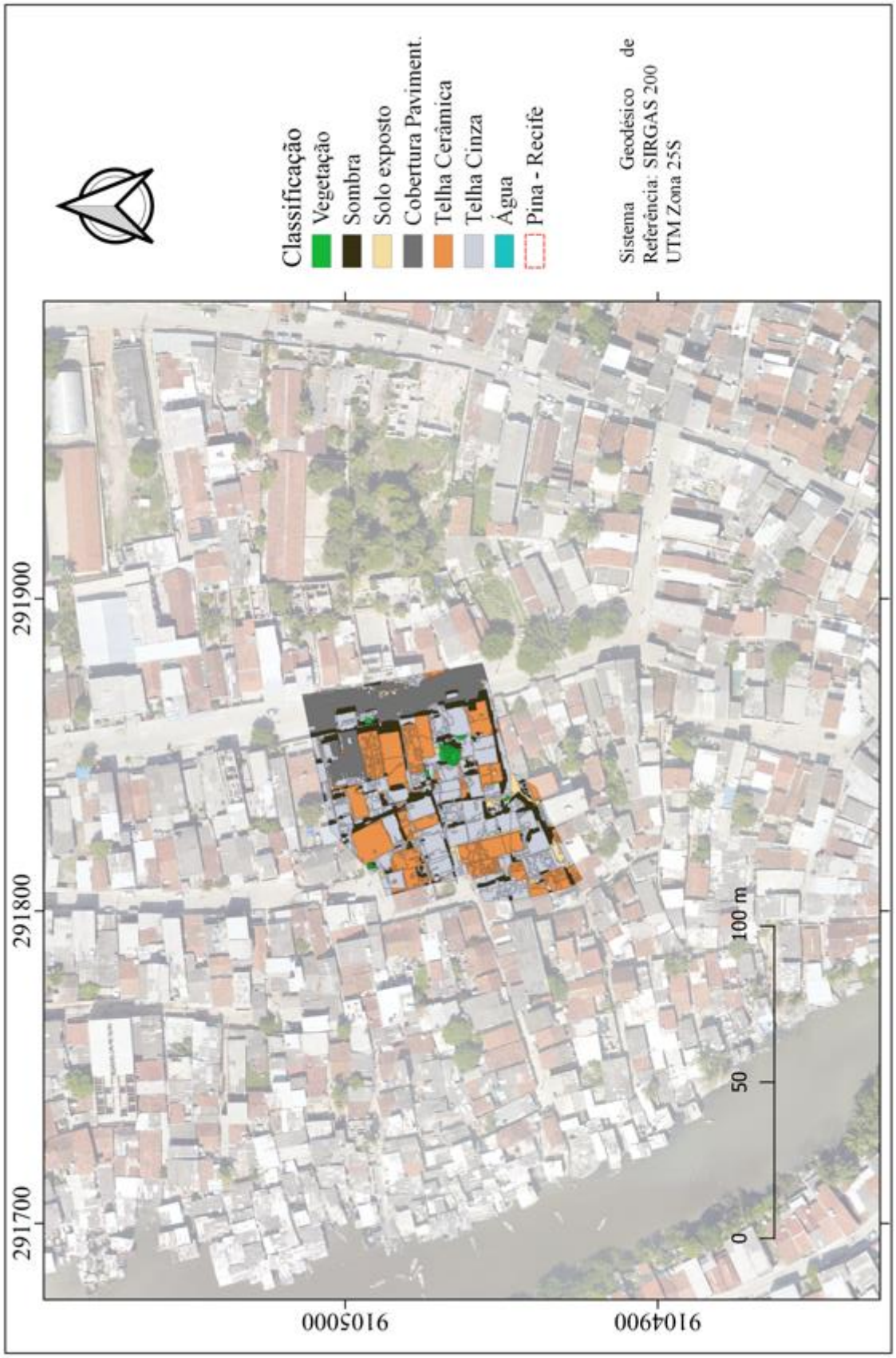
APÊNDICE N – IMAGEM CLASSIFICADA (SETOR 14)



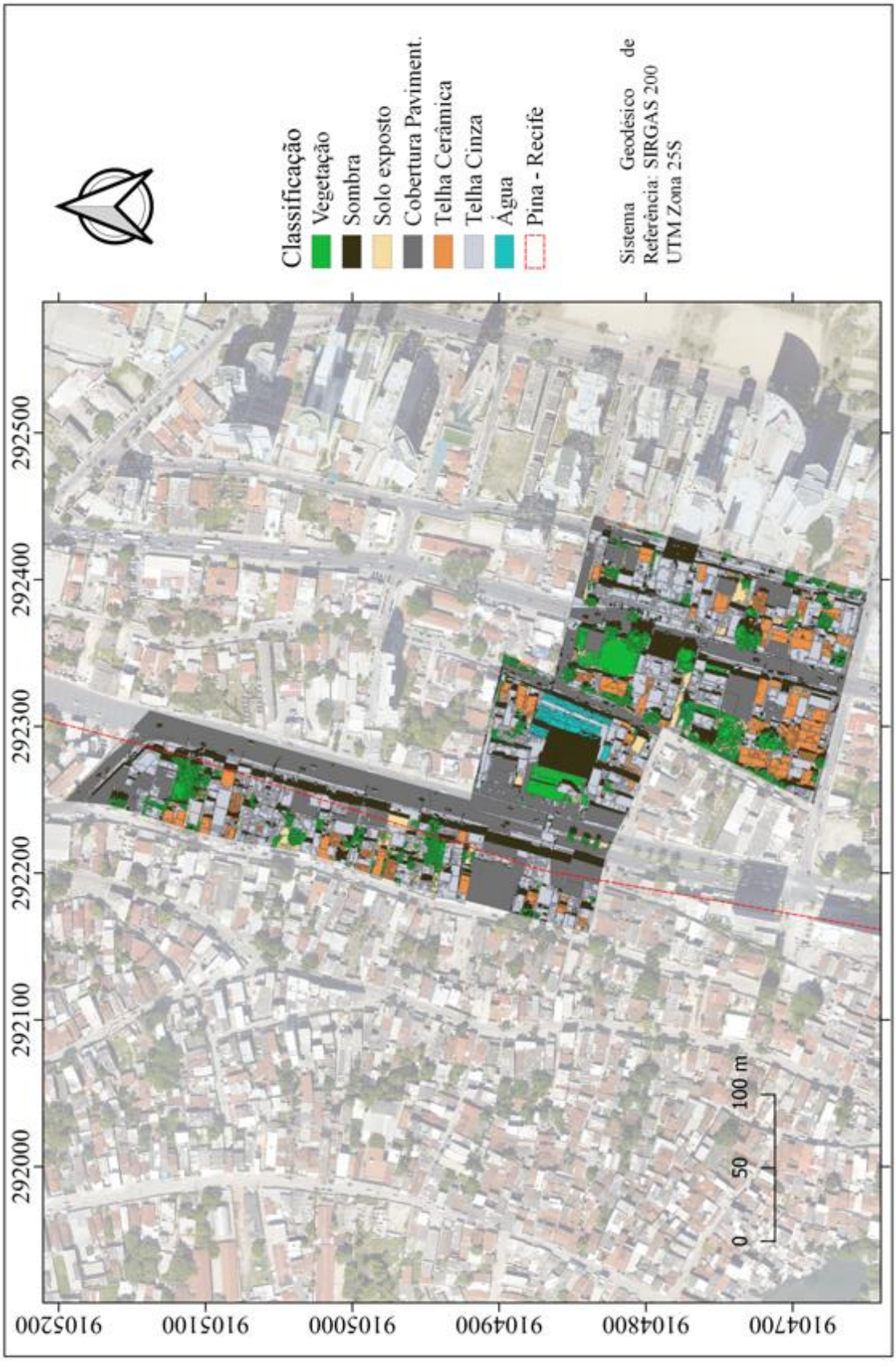
APÊNDICE O – IMAGEM CLASSIFICADA (SETOR 15)



APÊNDICE P – IMAGEM CLASSIFICADA (SETOR 16)

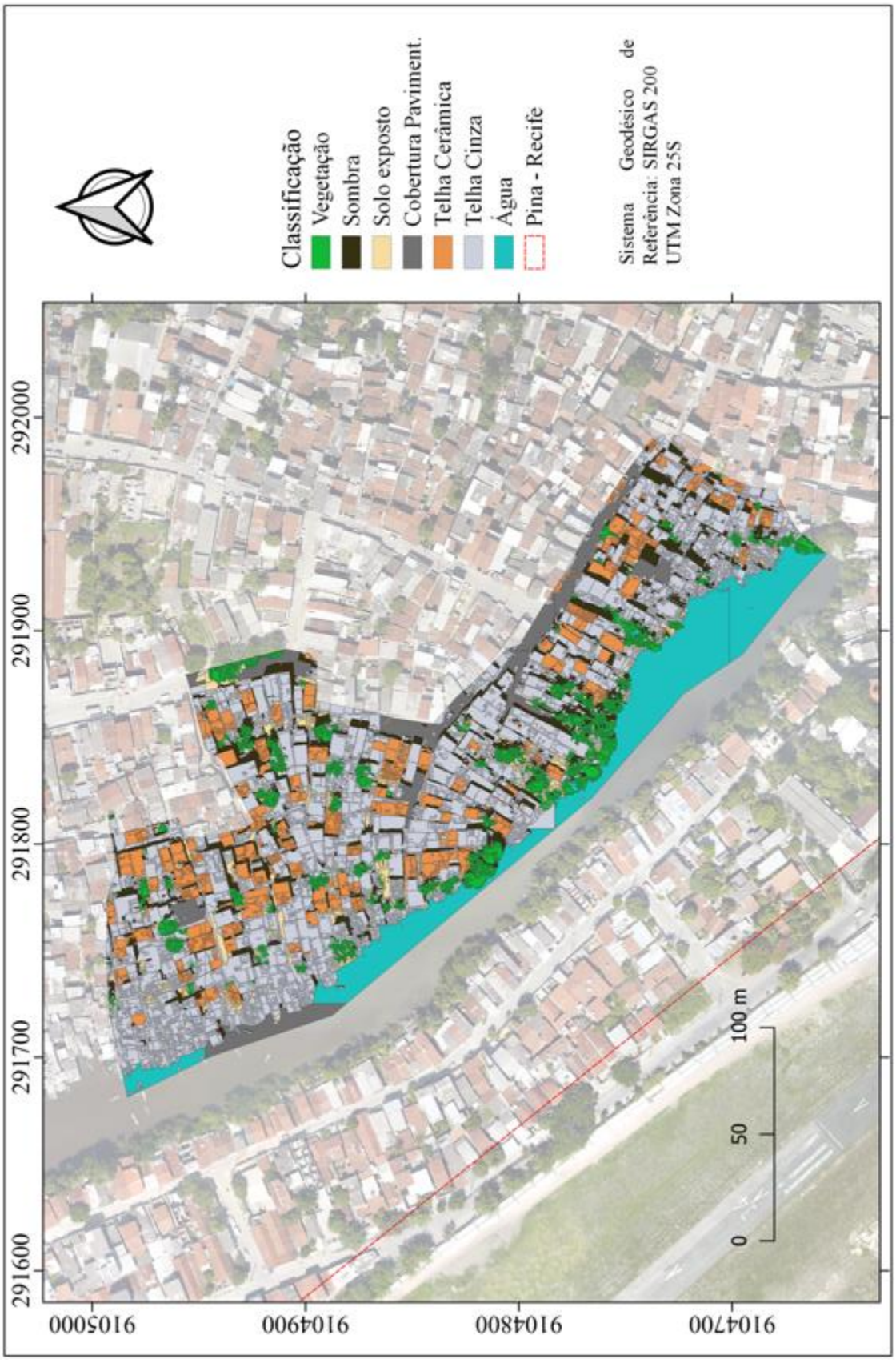


APÊNDICE Q – IMAGEM CLASSIFICADA (SETOR 17)

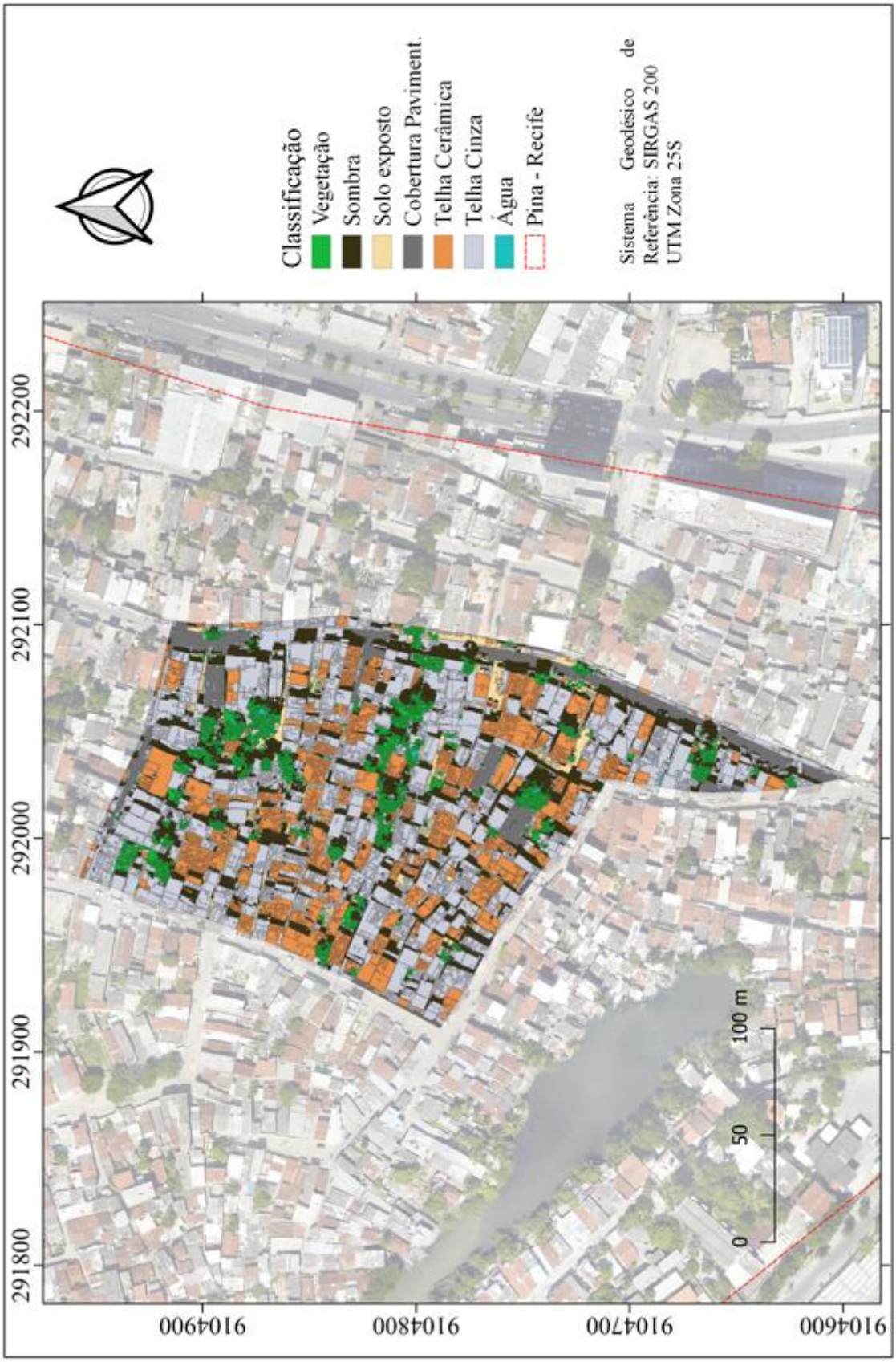


APÊNDICE R – IMAGEM CLASSIFICADA (SETOR 18)

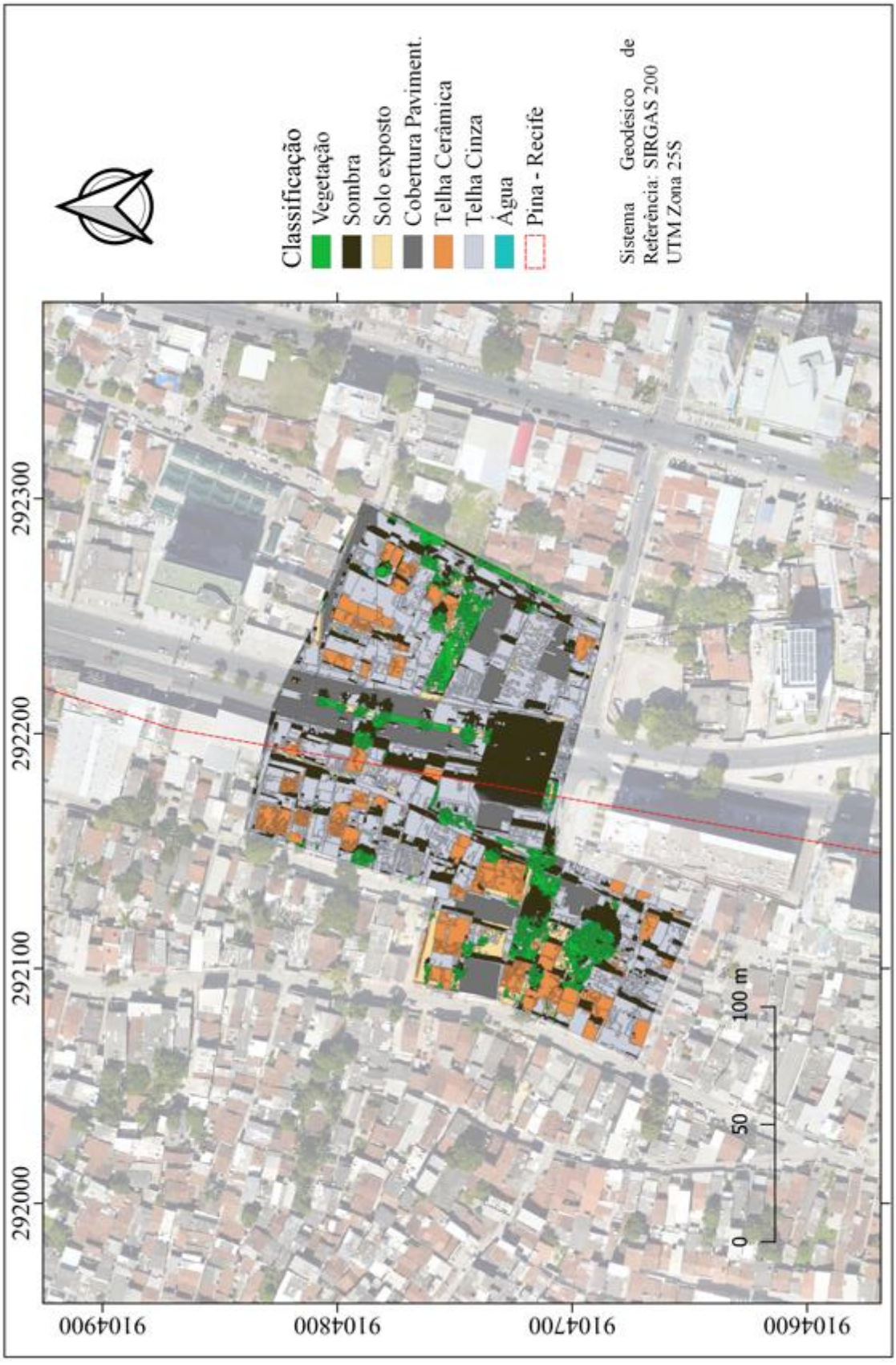
APÊNDICE S – IMAGEM CLASSIFICADA (SETOR 19)



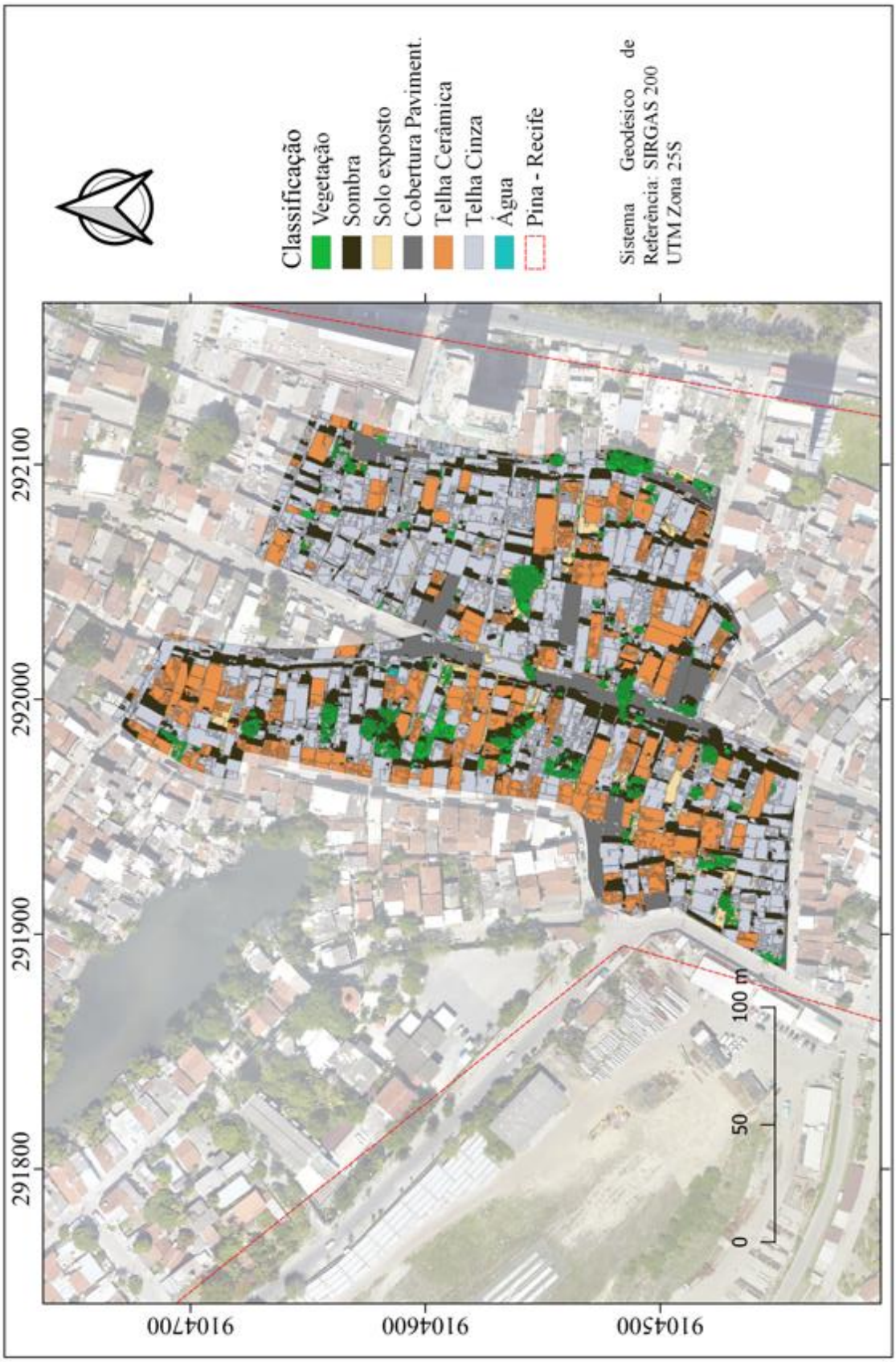
APÊNDICE T – IMAGEM CLASSIFICADA (SETOR 20)



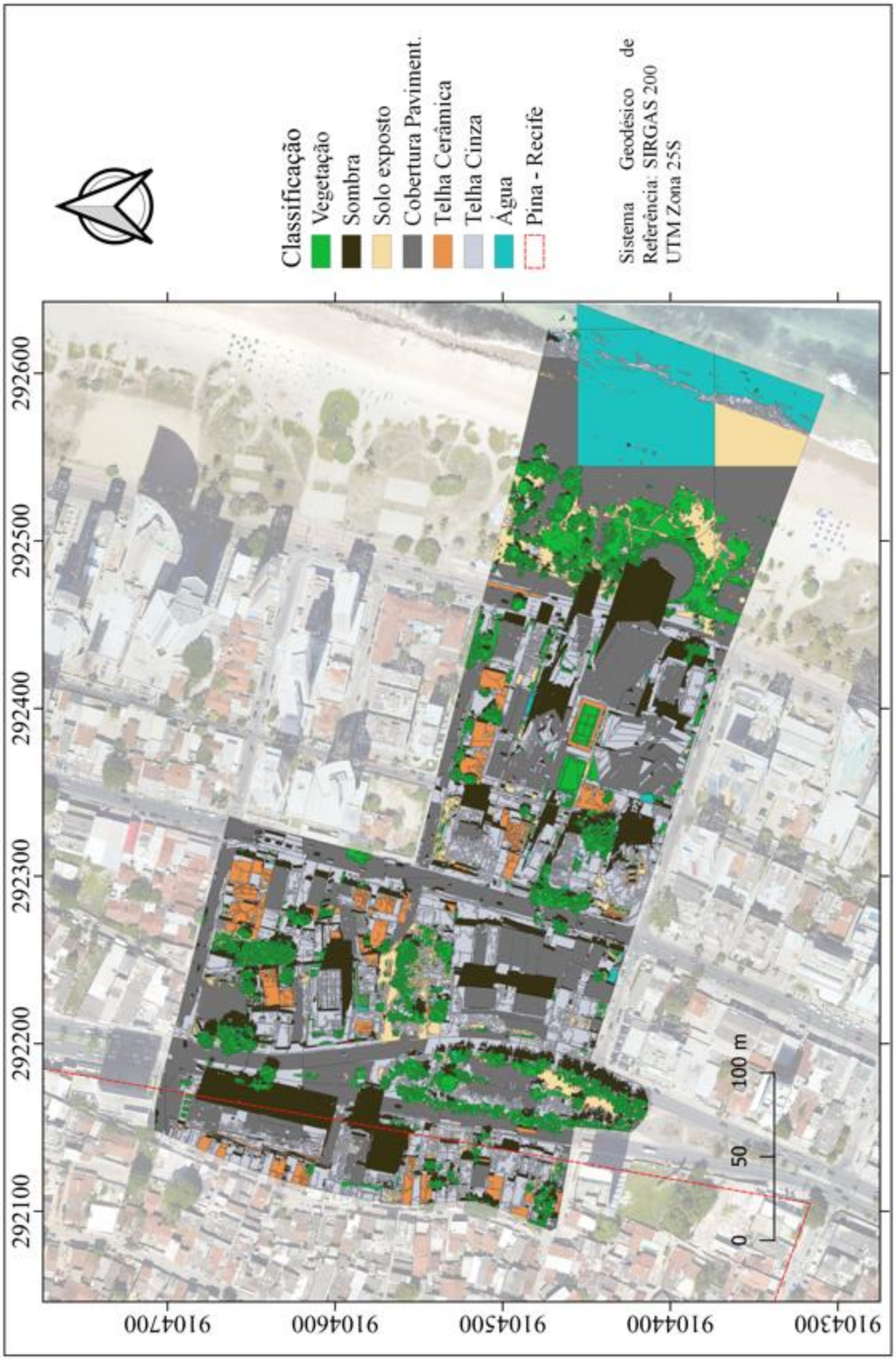
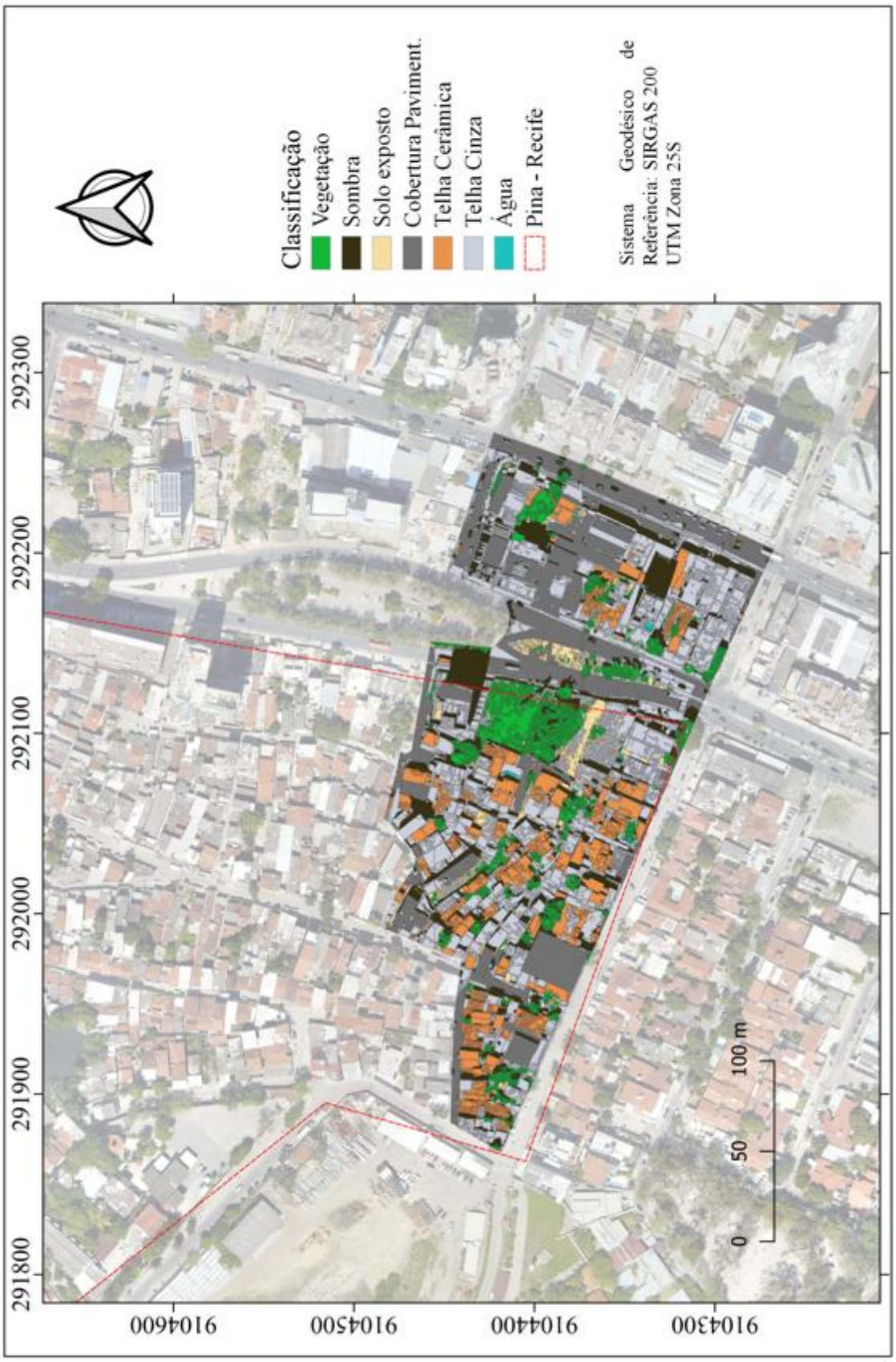
APÊNDICE U – IMAGEM CLASSIFICADA (SETOR 21)



APÊNDICE V – IMAGEM CLASSIFICADA (SETOR 22)



APÊNDICE W – IMAGEM CLASSIFICADA (SETOR 23)



APÊNDICE X – IMAGEM CLASSIFICADA (SETOR 24)