

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Quantificação da cobertura arbórea nas áreas urbanas das capitais
brasileiras utilizando imagens de satélite CBERS04A**

Matheus Rosa Taxa

Trabalho de conclusão de curso apresentado como
parte dos requisitos para obtenção do título de
Engenheiro Florestal

**Piracicaba
2022**

Matheus Rosa Taxa

**Quantificação da cobertura arbórea nas áreas urbanas das capitais
brasileiras utilizando imagens de satélite CBERS 4A**

Orientador(a):

Prof. Dr. **DEMÓSTENES FERREIRA DA SILVA FILHO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como
parte dos requisitos para obtenção do título de
Engenheiro Florestal

**Piracicaba
2022**

AGRADECIMENTOS

A minha mãe, Valéria, pelo amor incondicional, pelo incentivo, pelo apoio nos em todos os momentos, e por estar sempre ao meu lado.

Ao meu pai, Alexandre, por fornecer apoio, coragem e conselhos durante toda minha vida

Ao meu irmão, Felipe, pelos momentos legais proporcionados, pela amizade e companheirismo.

Ao meu orientador, Professor Dr. Demóstenes Ferreira da Silva Filho, essencial para elaboração deste trabalho, pelos conhecimentos disponibilizados, disposição, pela ajuda e colaboração, pela calma em resolver dúvidas, e pela disponibilidade até em finais de semanas!

Ao Dr. Jefferson Lordello Polizel, sempre disposto em ajudar, pelo auxílio nas atividades de SIG, pela paciência nos momentos de dificuldade e sua humildade incrível.

A todos meus Professores durante minha graduação, pelos conhecimentos ensinados.

A Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, que proporcionou estrutura e momentos importantes para minha formação.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE TABELAS	9
LISTA DE GRÁFICOS.....	11
1. Introdução.....	13
1.2 Objetivos	14
2. Desenvolvimento	15
2.1 Revisão Bibliográfica.....	15
2.1.1 Contexto Histórico da Arborização Urbana.....	15
2.1.2 Importância e benefícios da Arborização Urbana	16
2.1.3 Sensoriamento remoto	18
2.1.4 Programa CBERS.....	19
2.1.5 Geoprocessamento e o Sistema de Informação Geográfica (SIG).....	20
2.1.6 Classificação de imagens	21
2.2 Materiais e Métodos	22
2.2.1 Áreas de estudo.....	22
2.2.2 Procedimentos metodológicos.....	28
2.2.3 Dados do IBGE.....	33
2.3 Resultados e Discussão.....	35
2.3.1 Nordeste	35
2.3.2 Centro-Oeste	36
2.3.3 Norte	36
2.3.4 Sudeste	37
2.3.5 Sul	38
2.3.6 Panorama geral	39
2.3.7 Relação entre as variáveis.....	39
3. Conclusão.....	45
4. Referências Bibliográficas	47
ANEXOS	55

RESUMO

Quantificação da cobertura arbórea nas áreas urbanas das capitais brasileiras utilizando imagens de satélite CBERS04A

O crescimento dos centros urbanos quando não acompanhado com preservação de maciços florestais urbanos e de uma arborização adequada em vias públicas, comprometem a sustentabilidade ambiental desses locais, como aumento da amplitude e desconforto térmico, aumento da poluição sonora e do ar e perda da biodiversidade, além de favorecer o aumento de ocorrência de desastres ambientais, como enchentes e desabamentos, ocasionadas, principalmente, pelo intenso escoamento superficial de água da chuva em solos impermeabilizados ou não arborizados. Neste contexto, a quantificação da cobertura arbórea dentro dos limites urbanos passa a ser uma importante ferramenta para análise ambiental. Diante disto, foi observado a importância de se quantificar a cobertura arbórea das áreas urbanas das 27 capitais brasileiras, que possuem os mais populosos e desenvolvidos centros urbanos de todas as regiões do Brasil. Para realizar as quantificações foram utilizadas imagens do satélite CBERS 04A (Câmera WPM) de alta resolução espacial (2 metros) pelo método de classificação de pixels supervisionado. O processamento das imagens foi feito por meio do plugin CBERS 04A *Downloader*, utilizando a composição de imagem cor verdadeira (R-3, G-2, B-1 e NIR-4), a classificação supervisionada executada com auxílio do plugin *Dzetsaka: Classification tools* e a quantificação dos pixels dos mapas temáticos por meio do plugin *LecoS - Landscape Ecology*, todos processos realizados no software QuantumGIS. Os dados obtidos foram apresentados sob forma de Percentual de Cobertura Arbórea (PCA) e Índice de Cobertura Arbórea por habitante (ICAH) e foi verificado possíveis relações desses dados com o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 2010 e Produto Interno Bruto (PIB) per capita de 2019. O PCA teve uma amplitude de 4,11% e 23,06% de cobertura arbórea, e o ICAH de 6,28 e 50,21 m² de cobertura arbórea por habitante. Não houve relação dos dados obtidos com o IDHM e com o PIB per capita. Deve-se atentar que a média geral do Percentual de Cobertura Arbórea (PCA) foi menor do que 20%, valor mínimo recomendado pela *Urban Forestry e Woodland Advisory Committee Network* para cidades inglesas, de forma que os benefícios da cobertura arbórea em áreas urbanas sejam proporcionados de forma adequada, e que apenas 24% das capitais apresentaram valores de PCA maiores que o recomendado.

Palavras-chaves: Centros urbanos, maciços florestais urbanos, arborização em vias públicas, sustentabilidade ambiental, ferramenta para análise ambiental, CBERS 04A, CBERS 04A *Downloader*, *Dzetsaka: Classification tools*, *LecoS - Landscape Ecology*, Percentual de Cobertura Arbórea (PCA), Índice de Cobertura Arbórea por habitante (ICAH).

ABSTRACT

Quantification of tree cover in urban areas of Brazilian capitals using satellite images CBERS04A

The growth of urban centers, when not accompanied by the preservation of urban forest massifs and adequate afforestation on public roads, compromises the environmental sustainability of these places, such as increased amplitude and thermal discomfort, increased noise and air pollution and loss of biodiversity. , in addition to favoring the increase in the occurrence of environmental disasters, such as floods and landslides, caused mainly by the intense surface runoff of rainwater on waterproofed or non-forested soils. In this context, the quantification of tree cover within urban limits becomes an important tool for environmental analysis. In view of this, it was observed the importance of quantifying the tree cover of urban areas of the 27 Brazilian capitals, which have the most populous and developed urban centers in all regions of Brazil. To carry out the quantifications, images from the CBERS 04A satellite (WPM Camera) of high spatial resolution (2 meters) were used by the supervised pixel classification method. Image processing was done using the CBERS 04A Downloader plugin, using true color image composition (R-3, G-2, B-1 and NIR-4), supervised classification performed with the aid of the Dzetsaka: Classification plugin. tools and the quantification of the thematic maps pixels through the LecoS - Landscape Ecology plugin, all processes performed in the QuantumGIS software. The data obtained were presented in the form of Percentage of Tree Coverage (PTC) and Tree Coverage Index per inhabitant (TCII) and possible relationships of these data with the Municipal Human Development Index (MHDI) of 2010 and Gross Domestic Product (GDP) per capita in 2019. The PCA had an amplitude of 4.11% and 23.06% of tree cover, and the ICAH of 6.28 and 50.21 m² of tree cover per inhabitant. There was no relationship between the data obtained with the MHDI and with GDP per capita. It should be noted that the general average of the Percentage of Tree Coverage (PCA) was less than 20%, the minimum value recommended by the Urban Forestry and Woodland Advisory Committee Network for England cities, so that the benefits of tree cover in urban areas are adequately provided, and that only 24% of the capitals presented values higher than recommended.

Keywords: Urban centers, urban forest massifs, afforestation on public roads, environmental sustainability, tool for environmental analysis, CBERS 04A, CBERS 04A Downloader, Dzetsaka: Classification tools, LecoS - Landscape Ecology, Percentage of Tree Coverage (PTC), Tree Coverage Index by inhabitant (TCII).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Imagem representativa do satélite CBERS 04A	19
Figura 2 - Fluxograma dos procedimentos metodológicos utilizados para quantificação da cobertura arbórea nas áreas urbanas das capitais brasileiras	28
Figura 3 - Exemplo de processo de Intersecção das áreas urbanizadas de Aracajú/SE com seu limite municipal.	30
Figura 4 - Mapa da área urbana dentro do limite municipal de Aracaju - SE	55
Figura 5 - Mapa temático da área urbana de Aracaju - SE	56
Figura 6 - Mapa da área urbana dentro do limite municipal de Fortaleza - CE	57
Figura 7 - Mapa temático da área urbana de Fortaleza - CE	58
Figura 8 - Mapa da área urbana do limite municipal de João Pessoa - PB.....	59
Figura 9 - Mapa temático da área urbana de João Pessoa - PB.....	60
Figura 10 - Mapa da área urbana dentro do limite municipal de Maceió - AL	61
Figura 11 - Mapa temático da área urbana de Maceió - AL	62
Figura 12 - Mapa da área urbana dentro do limite municipal de Natal - RN.....	63
Figura 13 - Mapa temático da área urbana de Natal - RN.....	64
Figura 14 - Mapa da área urbana dentro do limite municipal de Recife - PE	65
Figura 15 - Mapa temático da área urbana de Recife - PE	66
Figura 16 - Mapa da área urbana dentro do limite municipal de Salvador - BA	67
Figura 17 - Mapa da temático da área urbana de Salvador - BA	68
Figura 18 - Mapa da área urbana dentro do limite municipal de São Luis - MA.....	69
Figura 19 - Mapa da temático da área urbana de São Luís - MA.....	70
Figura 20 - Mapa da área urbana dentro do limite municipal de Teresina - PI.....	71
Figura 21 - Mapa temático da área urbana de Teresina - PI.....	72
Figura 22 - Mapa da área urbana dentro do limite municipal de Brasília - DF	73
Figura 23 - Mapa temático da área urbana de Brasília - DF	74
Figura 24 - Mapa da área urbana dentro do limite municipal de Campo Grande - MS	75
Figura 25 - Mapa temático da área urbana de Campo Grande - MS	76
Figura 26 - Mapa da área urbana dentro do limite municipal de Cuiabá - MT.....	77
Figura 27 - Mapa temático da área urbana de Cuiabá - MT.....	78
Figura 28 - Mapa da área urbana dentro do limite municipal de Goiânia - GO	79
Figura 29 - Mapa temático da área urbana de Goiânia - GO	80

Figura 30 - Mapa de área urbana dentro do limite municipal de Belém - PA.....	81
Figura 31 - Mapa temático da área urbana de Belém - PA.....	82
Figura 32 - Mapa da área urbana dentro do limite municipal a de Boa Vista - RR ...	83
Figura 33 - Mapa da temático da área urbana de Boa Vista - RR	84
Figura 34 - Mapa da área urbana dentro do limite municipal de Macapá - AP	85
Figura 35 - Mapa temático da área urbana de Macapá - AP	86
Figura 36 - Mapa da área urbana dentro do limite municipal de Palmas - TO.....	87
Figura 37 - Mapa temático da área urbana de Palmas - TO.....	88
Figura 38 - Mapa da área urbana dentro do limite municipal de Porto Velho - RO...	89
Figura 39 - Mapa temático da área urbana de Porto Velho - RO.....	90
Figura 40 - Mapa da área urbana dentro do limite municipal de Manaus - AM.....	91
Figura 41 - Mapa temático da área urbana de Manaus - AM.....	92
Figura 42 - Mapa da área urbana dentro do limite municipal de Rio Branco - AC	93
Figura 43 - Mapa temática da área urbana de Rio Branco - AC	94
Figura 44 - Mapa da área urbana dentro do limite municipal de Belo Horizonte - MG	95
Figura 45 - Mapa temático da área urbana de Belo Horizonte - MG	96
Figura 46 - Mapa da área urbana dentro do limite municipal do Rio de Janeiro - RJ	97
Figura 47 - Mapa temático da área urbana do Rio de Janeiro - RJ	98
Figura 48 - Mapa da área urbana dentro do limite municipal de São Paulo - SP	99
Figura 49 - Mapa temático da área urbana de São Paulo - SP	100
Figura 50 - Mapa da área urbana dentro do limite municipal de Vitória - ES.....	101
Figura 51 - Mapa temático da área urbana de Vitória - ES.....	102
Figura 52 - Mapa da área urbana dentro do limite municipal de Curitiba - PR	103
Figura 53 - Mapa temático da área urbana de Curitiba - PR	104
Figura 54 - Mapa da área urbana dentro do limite municipal de Florianópolis - SC	105
Figura 55 - Mapa temático da área urbana de Florianópolis - SC	106
Figura 56 - Mapa da área urbana dentro do limite municipal de Porto Alegre - RS	107
Figura 57 - Mapa temático da área urbana de Porto Alegre - RS.....	108

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Característica das câmeras do CBERS 04A.	20
Tabela 2 - Data das imagens utilizadas para quantificação da cobertura arbórea	29
Tabela 3 - Valores dos Índice Kappa e suas concordâncias	32
Tabela 4 - Informações de População, Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) e Produto Interno Bruto (PIB) <i>per capita</i> das capitais brasileiras.....	34
Tabela 5 - Índice Kappa dos mapas temáticos, Área de copa, Índice de Cobertura Arbórea por habitante (ICAH) e Percentual de Cobertura Arbórea (PCA) das áreas urbanas nas capitais da Região Nordeste.....	35
Tabela 6 - Índice Kappa dos mapas temáticos, Área de copa, Índice de Cobertura Arbórea por habitante (ICAH) e Percentual de Cobertura Arbórea (PCA) das áreas urbanas nas capitais da Região Centro-Oeste.....	36
Tabela 7 - Índice Kappa dos mapas temáticos, Área de copa, Índice de Cobertura Arbórea por habitante (ICAH) e Percentual de Cobertura Arbórea (PCA) das áreas urbanas nas capitais da Região Norte	37
Tabela 8 - Índice Kappa dos mapas temáticos, Área de copa, Índice de Cobertura Arbórea por habitante (ICAH) e Percentual de Cobertura Arbórea (PCA) das áreas urbanas nas capitais da Região Sudeste	38
Tabela 9 - Índice Kappa dos mapas temáticos, Área de Copa, Índice de Cobertura Arbórea por habitante (ICAH) e Percentual de Cobertura Arbórea (PCA) das áreas urbanas nas capitais da região Sul	39
Tabela 10 - Proporção das classes temáticas de Aracajú –SE	56
Tabela 11 - Proporção das classes temáticas de Fortaleza - CE.....	58
Tabela 12 - Proporção das classes temáticas de João Pessoa - PB	60
Tabela 13 - Proporção das classes temáticas de Maceió - AL.....	62
Tabela 14 - Proporção das classes temáticas de Natal - RN	64
Tabela 15 - Proporção das classes temáticas de Recife - PE.....	66
Tabela 16 - Proporção das classes temáticas de Salvador - BA.....	68
Tabela 17 - Proporção das classes temáticas de São Luís - MA	70
Tabela 18 - Proporção das classes temáticas de Teresina - PI	72
Tabela 19 - Proporção das classes temáticas de Brasília - DF	74
Tabela 20 - Proporção das classes temáticas de Campo Grande - MS.....	76
Tabela 21 - Proporção das classes temáticas de Cuiabá - MT	78

Tabela 22 - Proporção das classes temáticas de Goiânia - GO	80
Tabela 23 - Proporção das classes temáticas de Belém - PA	82
Tabela 24 - Proporção das classes temáticas de Boa Vista - RR.....	84
Tabela 25 - Proporção das classes temáticas de Macapá - AP.....	86
Tabela 26 - Proporção das classes temáticas de Palmas - TO	88
Tabela 27 - Proporção das classes temáticas de Porto Velho - RO	90
Tabela 28 - Proporção das classes temáticas de Manaus - AM.....	92
Tabela 29 - Proporção das classes temáticas de Rio Branco - AC	94
Tabela 30 - Proporção das classes temáticas de Rio Branco - AC	96
Tabela 31 - Proporção das classes temáticas de Rio de Janeiro - RJ.....	98
Tabela 32 - Proporção das classes temáticas de São Paulo - SP	100
Tabela 33 - Proporção das classes temáticas de Vitória - ES	102
Tabela 34 - Proporção das classes temáticas de Curitiba - PR.....	104
Tabela 35 - Proporção das classes temáticas de Florianópolis - SC.....	106
Tabela 36 - Proporção das classes temáticas de Florianópolis - SC.....	108

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Relação do Percentual de Cobertura arbórea (PCA) e do Índice de Desenvolvimento Humano Municipais (IDHM) das capitais brasileiras	40
Gráfico 2 - Relação das médias do Percentual de Cobertura Arbórea (PCA) e do Índice de Desenvolvimento Humano Municipais (IDHM) das capitais brasileiras por região	40
Gráfico 3 - Relação do Percentual de Cobertura arbórea (PCA) e do Produto Interno Bruto (PIB) <i>per capita</i> das capitais brasileiras.....	41
Gráfico 4 - Relação das médias do Percentual de Cobertura Arbórea (PCA) e do Produto Interno Bruto (PIB) <i>per capita</i> das capitais brasileiras por região	41
Gráfico 5 - Relação do Índice de Cobertura Arbórea por Habitante (ICAH) e do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) das capitais brasileiras.....	42
Gráfico 6 - Relação das médias do Índice de Cobertura Arbórea por Habitante (ICAH) e do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) das capitais brasileiras por região	42
Gráfico 7 - Relação do Índice Percentual de Cobertura Arbórea por Habitante (ICAH) e do Produto Interno Bruto (PIB) <i>per capita</i> das capitais brasileiras.	43
Gráfico 8 - Relação das médias do Índice Percentual de Cobertura Arbórea por Habitante (ICAH) e do Produto Interno Bruto (PIB) <i>per capita</i> das capitais brasileiras por região	43

1. Introdução

Entende-se arborização urbana como toda cobertura vegetal de porte arbóreo existente no espaço urbano das cidades, ocupando as áreas livres de uso público e potencialmente coletivas, áreas particulares e que acompanham o sistema viário (RODRIGUES et al., 2002).

As árvores proporcionam para as áreas urbanas diversos benefícios, como redução da temperatura do ar, melhoria do conforto térmico, ambientes mais favoráveis para a circulação de pessoas, práticas esportivas e de lazer (OLIVA, 2016). Podem mitigar os efeitos negativos das ilhas de calor nas cidades por meio de sombreamento e evapotranspiração (JONSSON, 2004). Promovem redução da poluição pelos processos de oxigenação, purificação do ar, pela reciclagem dos gases em processos fotossintéticos, por depuração das bactérias e outros microrganismos, fixação de poeiras, resíduos e gases tóxicos (LOBODA; DE ANGELIS, 2005). A presença de árvores nos centros urbanos atrai e abriga grande diversidade de animais, como aves e insetos, proporcionando um maior equilíbrio das cadeias alimentares e diminuição de pragas e agentes vetores de doenças (RODRIGUES et al., 2008). Centros urbanos arborizados promovem o embelezamento das cidades, transmitindo sensação de bem estar psicológico e quebra de monotonia para a população (LOBODA; DE ANGELIS, 2005).

Com o crescente processo de urbanização registrados mundialmente, efeitos negativos ambientais são frequentemente observados, dentre eles o aumento de impermeabilização do solo, supressão de vegetação nativa, aumento da poluição do ar pela queima de combustíveis fósseis, alto consumo de energia, e aumento de riscos de enchentes e inundações (ANGEOLETTO et al., 2017).

Neste sentido, a quantificação da cobertura arbórea nas áreas urbanas é de grande importância para avaliação da situação ambiental dos municípios; para desenvolvimento de gestões públicas; implantação, planejamento e monitoramento de projetos relacionados com arborização urbana; além do caráter informativo para a população.

Normalmente, informações de cobertura arbórea são originadas de pesquisas de campos. Porém inventários de campo, principalmente censos (inventário 100%), são demorados, caros e requerem uma curta periodicidade para serem eficazes, para isso, fotografias aéreas podem ser usadas com sucesso (SILVA FILHO, 2004).

Principalmente quando se trata de um levantamento em área total de grandes áreas urbanas, e que envolvem não somente as vias urbanas.

Com a evolução da informática, o aumento da capacidade de processamento dos equipamentos computacionais, aprimoração de programas e a necessidade de maior agilidade de pesquisas, tecnologias de geoprocessamento vem sendo cada vez mais utilizadas (CÂMARA, 2006).

Técnicas de processamento digital de imagens são comumente utilizadas para mapeamento do uso e ocupação do solo (NERY et al., 2013). Para mapeamento do uso do solo, é necessário utilizar técnicas de classificação de imagens digitais, nesse processo atribui-se uma classe para cada pixel dependendo da classe espectral e/ou espacial. Podendo ser uma classificação não supervisionada ou supervisionada, dependendo do grau de intervenção do analista (NOVO, 1992).

As capitais brasileiras possuem os maiores e mais populosos limites urbanos do país, segundo o levantamento censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2010), e são representativas em todas as regiões do país. Diante disso, foi visto a importância de se obter dados de cobertura arbórea nas áreas urbanas das capitais brasileiras.

1.2 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo quantificar a cobertura arbórea das áreas urbanas das 27 capitais brasileiras, utilizando imagens de satélites e aplicando técnicas de geoprocessamento em ambiente SIGs.

2. Desenvolvimento

2.1 Revisão Bibliográfica

2.1.1 Contexto Histórico da Arborização Urbana

O emprego das árvores como componente do meio urbano não é recente. O uso das mesmas foi registrado, sob importância estética e espiritual, na história da civilização pelos egípcios, fenícios, persas, gregos, chineses e romanos. Composto bosques e jardins sagrados, destacando e emoldurando templos. A utilização das árvores deliberou conhecimentos rudimentares sobre as mesmas e sua manutenção (BERNATZKY, 1980 apud MILANO; DALCIN, 2000).

Na Idade Média esses conhecimentos foram desenvolvidos e aprimorados com o surgimento de jardins botânicos, em que predominavam as espécies de valor medicinal. Por volta dos anos de 1700 as árvores passaram a ser objeto de estudos científicos mais apropriados nos jardins botânicos (MILANO; DALCIN, 2000).

Em 1800, com os *squares* de Londres e os *boulevards* de Paris, as árvores marcaram sua presença nas “urbes”, e passaram a ser componentes obrigatórios do ambiente urbano até os dias de hoje (GREY; DANEKE, 1978).

No Brasil o material histórico sobre arborização é escasso, mas observa-se que as diferenças culturais no território brasileiro proporcionam diferentes modelos urbanos. As diferentes culturas colonizadoras foram responsáveis pela implementação e/ou manutenção das florestas urbanas, à medida que se dava a formação das cidades (NETO, 2011).

Durante a colonização portuguesa no Brasil, a formação das cidades se caracterizou por um desenho urbano, em que as árvores não fazia parte da urbanização e estava presente somente no entorno das cidades, pois a vegetação dificultava a defesa contra inimigos ou invasores que poderia atacar e se esconder nas florestas (HENRIQUE, 2009). Além disso, a política de colonização não tinha enfoque em políticas de urbanização e sim pela exploração dos recursos naturais (NETO, 2011).

Possivelmente, a cidade de Recife foi o primeiro núcleo urbano brasileiro a dispor de arborização urbana, que ocorreu durante a colonização holandesa, no século XVII, com iniciativa do Conde João Maurício de Nassau (MESQUITA, 1996 apud MENEGHETTI, 2003).

No século XIX, a revolução industrial e consequente poluição nos meios urbanos promoveram um maior distanciamento entre as cidades e o mundo natural, e a partir disso, uma necessidade de alteração crucial nos modelos urbanos que passaram a atribuir novos papéis da natureza na cidade, passando a ser compreendida como um sistema e a ter funções de higiene e de estética urbanas (MATOS, 2006).

De acordo com SEGAWA (1996) no final do século 19, o conceito da rua e dos parques arborizados como “pulmões” urbanos estava amplamente assimilado. Em um debate, durante o Congresso de Engenharia e Indústria no Rio de Janeiro, em 1901, o congressista Frederico Augusto Liberalli propunha mais praças públicas para maior volume de ar oxigenado.

Atualmente, a arborização urbana é estratégica, seja como resposta às condições ambientais adversas e/ou como elemento estético da paisagem urbana, buscando compatibilização com projetos de renovação para o tecido urbano (MILANO; DALCIN, 2000).

2.1.2 Importância e benefícios da Arborização Urbana

A crescente expansão das áreas urbanas pelo mundo, geram, cada vez mais, uma demanda por uma relação mais equilibrada entre a natureza e urbanidade, induzindo um desejo social de árvores em ambientes urbanos, como por exemplo, uma contramedida ao aquecimento global (RAŠKOVIĆ; DECKER, 2015).

A população urbana brasileira carece no que diz respeito ao conforto nos espaços abertos públicos e privados, especialmente nos médios e grandes centros urbanos. As árvores e os espaços verdes exercem influência positiva e decisiva para condicionar um microclima mais adequado e combater efeitos negativos adversos, como as ilhas de calor e a poluição (SILVA FILHO, 2004 apud OLIVA, 2016).

A arborização urbana desempenha um papel fundamental no conforto humano no ambiente, as características naturais das árvores proporciona sombra para pedestres e veículos, redução da poluição sonora, melhoria da qualidade do ar, redução da amplitude térmica, abrigo para pássaros e equilíbrio estético, que ameniza a diferença entre a escala humana e os componentes urbanos, como prédios, muros e grandes avenidas (SILVA FILHO et al., 2002).

2.1.2.1 Conforto térmico

Segundo Gobo (2013) o conforto térmico pode ser visto e analisado sob dois aspectos: do ponto de vista pessoal e do ponto de vista ambiental. Sob ponto de vista pessoal, trata-se aquele no qual um indivíduo se encontra em um determinado ambiente em estado de conforto com relação à sua sensação térmica. E sob o ponto de vista ambiental, trata-se do estabelecimento de um estado térmico para um específico ambiente, com relação às suas variáveis físicas. Para Amorim e Braga (2009), os parâmetros para medir a satisfação dos indivíduos com o ambiente térmico são os mesmos que conformam o clima: radiação solar, temperatura e velocidade do ar e umidade relativa.

A presença de vegetação na cidade na forma de áreas verdes públicas e particulares, além de quintais, ruas e avenidas, pode contribuir de maneira significativa para o resfriamento do ar e economia de energia. A vegetação possui uma menor capacidade e condutividade térmica do que os materiais de edificação. Uma árvore, dependendo da densidade de sua folhagem, extensão e espessura de copa, pode alcançar valores altas de radiação absorvida, sendo uma parte refletida para cima e o resto absorvido pela própria árvore nos processos de transpiração e fotossíntese, conseqüentemente, diminuindo a temperatura do ar próxima (BARBIRATO; TORRES; SOUZA, 2011).

Monteiro e Mendonça (2003, apud BARBIRATO; TORRES; SOUZA, 2011) estimaram que árvores plantadas próximas a edificações podem reduzir entre 15% a 35% os custos de condicionamento do ar no verão.

Um estudo realizado por Shashua-Bar, Hoffman e Tzamir (2005) que comparou a temperatura do ar entre ruas arborizadas e não arborizadas em algumas avenidas e ruas em Tel-Aviv - Israel, constatou uma queda de 1 a 2.5 °C nos locais arborizados às 15:00 horas, horário mais quente do dia.

O dossel das árvores pode influenciar diretamente no conforto térmico, e o comportamento do indivíduo arbóreo em microclima pode ser modificado de acordo com o tipo, altura, idade, estação, e disposição em espaços exteriores urbanos (PEIXOTO et. al., 1995; BROWN; GILLESPIE, 1995 apud OLIVA, 2016). Oliva (2016) constatou em um estudo em Piracicaba – SP que para diminuir de 0,5 a 1 °C

da temperatura média urbana é necessário acrescentar 14,31% de cobertura arbórea na estação seca e 27,70% na estação chuvosa.

Chang e Li (2014) em um estudo realizado em sobre os efeitos dos parques urbanos no ambiente térmico urbano na cidade de Taipé, capital de Taiwan, obtiveram resultados em que os parques afetaram o ambiente térmico fora de seus domínios, e que embora os bairros dos parques não fossem tão frios quanto os parques, durando os dias de verão as ruas dentro de três décimos de largura dos parques maiores de 1 hectare podem ser, em média, 0,3 °C mais frios do que os bairros mais distantes dos parques. Assim, os autores afirmam que a floresta urbana pode ser usada para esfriar porções de áreas urbanas, reduzindo os impactos das ilhas de calor. Entretanto, Chang, Li e Chang (2007) reforçam a necessidade do levantamento de informações específicas e rigorosas com enfoque, climatológico.

Morakinyo et al. (2018) demonstrou que 30% de cobertura arbórea em um bairro urbano de Hong Kong proporcionou quedas na temperatura de 0,5 a 0,9 °C às 15 horas e uma economia de energia de 1900 a 3000 kWh (Quilowatt-hora) em um dia típico de verão.

2.1.2.2 Qualidade do ar

A poluição do ar nos centros urbanos é uma causa conhecida por uma série de doenças que afetam o ser humano, comumente sendo cardíacas e respiratórias. Estudos recentes indicam que, nos últimos anos, os níveis de exposição aumentaram consideravelmente em algumas regiões do mundo, mais frequentemente em países rapidamente industrializados e de grandes populações. Em 2010, dados indicam que houveram 223.000 mortes por câncer de pulmão no mundo todo, ocasionadas pela poluição do ar (IARC, 2013).

A arborização urbana possui um papel importante na redução da poluição do ar. Loboda e De Angelis (2005) lista categoricamente algumas atuações benéficas das árvores sob a composição atmosférica das cidades:

- Introdução de oxigênio na atmosfera;
- Depuração bacteriana e outros microrganismos;
- Reciclagem de gases em processos fotossintéticos;
- Fixação de gases tóxicos;
- Fixação de poeiras e materiais residuais.

Arantes (2017) avaliou a influência das árvores urbanas na manutenção da qualidade do ar na cidade de São Paulo/SP. A autora aponta, com embasamento em outros artigos, diversos aspectos positivos da arborização no meio urbano da cidade de São Paulo. Dentre eles, que a copa arbórea/arbustiva e relvado podem ser utilizados como ferramentas eficientes na gestão pública da cidade de São Paulo/SP, no combate à poluição por Material Particulado de 10 µm. Salienta também que, apesar das publicações que envolvem o tema Florestas Urbanas, Qualidade do Ar e Saúde Pública estarem em crescente no âmbito acadêmico nos últimos anos, ainda há necessidade da realização de mais estudos que englobam o tema.

2.1.2.3 Fauna

O processo de urbanização modifica consideravelmente a estrutura física e biótica do habitat, podendo influenciar diretamente em diversos processos ecológicos entre a fauna e a flora nestes locais. A intervenção antrópica resulta em

uma paisagem urbana fragmentada em mosaico de diferentes ambientes, e tanto a estrutura da vegetação quanto a sua composição florística diferem daquela originalmente presente (ARGEL-DE-OLIVEIRA, 1996 apud MENDONÇA; ANJOS, 2005).

Assim, o papel da arborização urbana nas áreas urbanas é fundamental para a integração entre regiões circundantes, dando continuidade biológica e das características ambientais e climática (SILVA; MAGALHÃES, 1993, apud BRUN; LINK; JOSÉ BRUN, 2019).

Em estudo elaborado sobre abelhas sem ferrão, Meliponina (Apidae), no Campus Federação da Universidade Federal da Bahia, Salvador – BA, em que foram avaliadas as espécies presentes, a diversidade das espécies existentes, a abundância e densidade dos ninhos das abelhas no campus, Souza et al. (2005) observaram que em locais antropizados a arborização (compondo árvores vivas e mortas) foi essencial para a construção dos ninhos dessas abelhas. Os autores relataram a presença de 94 ninhos, pertencentes às espécies *Trigona spinipes*, *Plebeia droryana*, *Oxytrigona tataíra*, *Tetragonisca angustula* e *Nannotrigona testaceicornis*.

As árvores urbanas fornecem abrigo e alimentos para a fauna, e apesar de muitas vezes não houver diversificação das espécies de árvores, existe uma boa quantidade de aves que procuram as árvores para se abrigar e se alimentar (SANCHOTENE, 1989 apud SCHUCH, 2006). Para Andrade (1993 apud FILHO; MEDEIROS, 2006) a presença de aves no ambiente é indicação de que o mesmo é saudável e funcional.

2.1.3 Sensoriamento remoto

De acordo com JENSEN (2009) o sensoriamento remoto é definido como “registro da informação das regiões do ultravioleta, visível, infravermelho e micro-ondas do espectro eletromagnético, sem contato, por meio de instrumentos tais como câmeras, escâneres, lasers, dispositivos lineares e/ou matriciais localizados em plataformas tais como aeronaves ou satélites, e a análise da informação adquirida por meio visual ou processamento digital de imagens”, e trata-se de uma alternativa cada vez mais utilizada para se obter informações por meio de imagens ou fotografias de um determinado local. O mesmo autor enfatiza que a ciência do sensoriamento remoto é diferente da cartografia ou do GIS (Ciência da Informação Geográfica) porque estas ciências apoiam-se em dados obtidos por outras. O sensoriamento remoto proporciona nova e fundamental informação científica, que sob condições controladas, fornece localização em x e y; elevação ou profundidade em z; biomassa; temperatura e teor de água.

Florenzano (2011) designa sensoriamento remoto como a tecnologia para obtenção de imagens, e outros tipos de dados, da superfície terrestre, por meio da captação e do registro da energia que é refletida ou emitida na superfície terrestre. Sendo o termo remoto se refere à obtenção dos dados à distância, sem contato físico entre o sensor e os objetos da superfície terrestre. O processamento, a análise e a interpretação dos dados, englobam o sensoriamento remoto.

O mesmo autor, afirma que a origem do sensoriamento remoto está vinculada com o surgimento da fotografia aérea e está estritamente interligada com o uso militar. Em 1856 a primeira fotografia aérea foi tirada de um balão, no ano de 1962, na guerra civil americana, em que balonistas de um exército faziam o reconhecimento de tropas confederadas com fotografia aéreas. Dessa forma, o autor

divide a história do sensoriamento remoto em duas fases: a primeira, de 1860 a 1960, baseado no uso de fotografias aéreas; e a segunda, de 1960 até os dias de hoje, caracterizada pela variedade de imagens de satélite.

Contextualizando o sensoriamento remoto nacional, o Brasil foi o terceiro país, depois de EUA e Canadá, a receber dados Landsat (primeiro programa satélite desenvolvido voltado à pesquisas de recursos naturais) em sua própria estação terrestre em Cuiabá, há mais de 40 anos. Na mesma época foi criado um programa de pós-graduação em sensoriamento remoto no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, se envolvendo em pesquisas de sensoriamento remoto e desenvolvimento de aplicativos, fornecendo especialistas em sensoriamento em universidades, agências governamentais e empresas em geral (FONSECA et al., 2014).

Os mesmos autores enfatizam que nos últimos 40 anos, com o desenvolvimento de muitos satélites e sensores, as aplicações ambientais evoluíram muito, principalmente por causa do sensoriamento remoto e dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Neste contexto, o Programa CBERS, tem um papel importante no desenvolvimento do sensoriamento remoto no Brasil

2.1.4 Programa CBERS

O Programa CBERS é fruto de uma parceria inédita entre Brasil e China no setor técnico-científico espacial. Ingressando o Brasil no seleto grupo de Países detentores da tecnologia de geração de dados primários de sensoriamento remoto. Obtendo uma poderosa ferramenta para monitorar seu território com satélites próprios de sensoriamento remoto (INPE, 2018).

Na primeira fase do Programa foram criados os satélites CBERS-1, CBERS-2 e CBERS-2B. Na segunda fase, os satélites CBERS-3 e CBERS-4 foram criados. O lançamento do CBERS-3 falhou (FONSECA et al., 2014).

Pelo sucesso do lançamento do CBERS-4, Brasil e China resolveram assinar um novo protocolo complementar para fabricação do novo satélite CBERS 04A (INPE, 2018). O projeto CBERS 04A foi concebido a partir da disponibilidade de diversos equipamentos fabricados para os satélites CBERS 3 e 4 (HIGA et al., 2022). A Figura 1 representa o satélite CBERS 04A.

Figura 1 - Imagem representativa do satélite CBERS 04A



Fonte: AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA (2020)¹

¹ Disponível em: <https://www.gov.br/aeb/pt-br/assuntos/noticias/inpe-finaliza-as-atividades-de-comissionamento-do-satelite-cbers-04a>. Acesso: 5 mai. 2022.

O satélite CBERS 04A comportam câmeras imageadoras, que são instrumentos responsáveis pela aquisição dos dados, e são as seguintes: (INPE, 2019):

- a. Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura (WPM);
- b. Câmera Multiespectral (MUX);
- c. Câmera de Campo Largo (WFI);

A câmera Multiespectral (MUX) tem três bandas no visível (azul, verde vermelho) e uma no infravermelho, com resolução espacial de 16 metros. A câmera de Campo Largo (WFI) dispõe de três bandas no visível (azul, verde e vermelho) e uma no infravermelho próximo, com resolução espacial de 55 metros. Por último, destaca-se a câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura (WPM) que possui as bandas azul (*Blue*), verde (*Green*), vermelho (*Red*), infravermelho próximo (NIR) e pancromática (PAN), e fornecem uma resolução multiespectral de 8 metros e resolução panorâmica de 2 metros (pancromática) simultaneamente na órbita do satélite (INPE, 2019). Na Tabela 1 é possível observar as características de todas as câmeras que comportam o satélite CBERS 4A.

Tabela 1 - Característica das câmeras do CBERS 04A.

Características das câmeras do CBERS 04A			
Característica	WPM	MUX	WFI
Bandas Espectrais	0,45-0,52 μ m (B) 0,52-0,59 μ m (G) 0,63-0,69 μ m (R) 0,77-0,89 μ m (NIR) 0,45-0,90 μ m (PAN)	0,45-0,52 μ m (B) 0,52-0,59 μ m (G) 0,63-0,69 μ m (R) 0,77-0,89 μ m (NIR)	0,45-0,52 μ m (B) 0,52-0,59 μ m (G) 0,63-0,69 μ m (R) 0,77-0,89 μ m (NIR)
Resolução	2 m 8 m	16,5 m	55 m
Largura da Faixa Imageada	92 km	95 km	684 km
Visada Lateral de Espelho	não	não	não
Revisita	31 dias	31 dias	5 dias
Quantização	10 bits	8 bits	10 bits
Taxa de Dados Bruta	1800.8 Mbps 450.2 Mbps	65 Mbps	50 Mbps

Fonte: INPE (2019)

2.1.5 Geoprocessamento e o Sistema de Informação Geográfica (SIG)

Segundo Assad & Sano (1998) o termo Geoprocessamento denota uma disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para tratamento de informações geográficas. Os mesmos autores afirmam que esta tecnologia tem influenciado cada vez mais as áreas de cartografia, análise de recursos naturais, transportes, comunicações, energia e planejamento urbano e regional.

O Geoprocessamento consiste em analisar dados geográficos por meio de ferramentas computacionais. Os SIG's obtêm conjunto de ferramentas que verifica e agrega dados, possibilitando a obtenção de informações (CIPRIANO; FILHO, 2017).

O termo geoprocessamento surgiu a partir dos conceitos de manipulação de dados espaciais das ferramentas denominada Sistema de Informação Geográfica – SIG's (ORTIZ, 1993 apud CIPRIANO; FILHO, 2017).

Um SIG pode ser definido como um sistema provido de quatro grupos de atributos com finalidade de manusear dados georreferenciados: entrada, gerenciamento, manipulação e análise, e saída. Dados georreferenciados são aqueles que possuem dimensão física e localização (ARONOFF, 1989).

ROSA (2005) define GIS (*Geographic Information Systems*) ou SIG (Sistema de Informações Geográficas) como: “Um conjunto de ferramentas computacionais composto de equipamentos e programas que, por meio de técnicas, integra dados, pessoas e instituições, de forma a tornar possível a coleta, o armazenamento, o processamento, a análise e a oferta de informação georreferenciada produzida por meio de aplicações disponíveis, que visam maior facilidade, segurança e agilidade nas atividades humanas referentes ao monitoramento, planejamento e tomada de decisão relativas geográfico.”

As principais características do SIG's são: Integrar, em uma única base de dados, informações espaciais oriundas de dados cartográficos, dados de censo e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno. Combinar as várias informações, com algoritmos de manipulação, para gerar mapeamento derivados. Consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados geocodificados. Podendo identificar os seguintes componentes: (ASSAD; SANO, 1998).

- Interface com o usuário;
- Entrada e integração de dados;
- Consulta, análise espacial;
- Visualização e plotagem;
- Armazenamento e recuperação de dados.

O mesmo autor afirma que os dados tratados em SIG's são: imagens de satélites, modelos numéricos de terreno, mapas temáticos, redes e dados tabulares.

Existem diversos *softwares* de SIGs disponíveis, alguns pagos e outros gratuitos. Alguns deles são: ArcGIS, SPRING, QuantumGIS, entre outros.

2.1.6 Classificação de imagens

O processo de classificação de imagens consiste em atribuir a cada pixel de uma imagem um grupo de classes (MENESES; ALMEIDA, 2012).

Segundo os mesmos autores, para extração das informações das imagens é necessário estabelecer métodos de análises com regras claras e lógicas. Essas regras determinam critérios para análise dos elementos que compõe a paisagem, envolvendo propriedades da cor, textura, sombras, estrutura e homologia, que são específicas para cada classe alvo. O resultado final da classificação trata-se de uma imagem digital que compõem um mapa de pixels classificados, representados em polígonos as classes de alvos, chamado de mapa digital temático. Sendo a classificação supervisionada e não supervisionada técnicas comumente utilizadas pelos usuários de sensoriamento remoto e adotadas pelos *softwares* comerciais de processamento de imagens.

A classificação supervisionada trata-se da identificação prévia das classes (tipos de usos e cobertura do solo) por um analista, denominadas de áreas de treinamento, que são representações do comportamento médio das classes que

serão mapeadas automaticamente (NOVO, 1992 apud TONGERINO; LOURENÇO, 2013).

A classificação não supervisionada não requer informações sobre as classes de interesse, sem necessidade do auxílio ou participação de um analista para que haja agrupamentos espectrais divididos em classes (ROSA, 2009 apud TONGERINO; LOURENÇO, 2013).

Com o conhecimento das características físicas dos alvos em uma determinada região, e seu comportamento espectral (interação da radiação do solo com os elementos da superfície terrestre como rios, vegetação, tipos de solos, entre outros) é possível realizar monitoramento das condições ambientais de um determinado local. Sendo o método mais usual e difundido entre os pesquisadores para classificar grandes áreas é a classificação supervisionada. Sendo esta técnica adotada pelos softwares SIG comerciais e livres (RODRIGUES et al., 2019).

2.2 Materiais e Métodos

2.2.1 Áreas de estudo

As quantificações de cobertura arbórea serão realizadas nas áreas urbanas, definidas pelo IBGE (2015), das capitais de todas as unidades federativas do Brasil.

2.2.1.1 Norte

2.2.1.1.1 Aracajú - Sergipe

Aracajú (SE) está localizado sob coordenadas geográficas 10°55'28.33"S de latitude e 37° 3'54.49"O de longitude de Greenwich, possuindo uma área territorial de 182,163 km² (IBGE, 2021) e com área urbana dentro do limite municipal de 69,254 km².

Segundo Koppen o clima é classificado como As - tropical chuvoso com estação seca no inverno (CLIMATE-DATA, 2022), com bioma predominante de Mata Atlântica (IBGE, 2019).

2.2.1.1.2 Fortaleza - Ceará

Fortaleza (CE) está localizado sob coordenadas geográficas 3°43'57.79"S de latitude e 38°31'37.25"O de longitude de Greenwich, possuindo uma área territorial total de 312,353 km² (IBGE, 2021) e área urbana dentro do limite municipal de 245,175 km².

Segundo Koppen o clima é classificado como Aw - tropical chuvoso com chuvas de verão (CLIMATE-DATA, 2022), com bioma predominante de Caatinga (IBGE, 2019).

2.2.1.1.3 João Pessoa - Paraíba

João Pessoa (PB) está localizado sob coordenadas geográficas 7° 7'8,60"S de latitude e 34°52'52,70"O de longitude de Greenwich, possuindo uma área territorial de 210,044 km² (IBGE, 2021) e área urbana dentro do limite municipal de 103,449 km².

Segundo Koppen o clima de João Pessoa é classificado como Aw - tropical chuvoso com chuvas de verão (CLIMATE-DATA, 2022). Com bioma predominante de Mata Atlântica (IBGE, 2019).

2.2.1.1.4 Maceio - Alagoas

Maceió (AL) está localizado sob coordenadas geográficas 9°39'48.95"S de latitude e 35°43'40.94"O de longitude de Greenwich, possuindo uma área territorial total de 509,320 km² (IBGE, 2021) e área urbana dentro do limite municipal de 102,095 km².

Segundo Koppen o clima de Maceio é classificado como As, tropical chuvoso com verão de menor pluviosidade que no inverno (CLIMATE-DATA, 2022), com bioma predominante de Mata Atlântica (IBGE, 2019).

2.2.1.1.5 Natal - Rio Grande do Norte

Natal (RN) está localizado sob coordenadas geográficas 5°47'3.01"S de latitude e 35°11'59.90"O de longitude de Greenwich, possuindo uma área territorial total de 167,401 km² (IBGE, 2021) e área urbana dentro do limite municipal de 94,088 km².

O clima segundo Koppen é classificado como Aw - tropical chuvoso com estação seca no inverno (CLIMATE-DATA, 2022), com bioma predominante de Mata Atlântica (IBGE, 2019).

2.2.1.1.6 Recife - Pernambuco

Recife (PE) está localizado sob coordenadas geográficas 5°47'10.77"S de latitude e 35°12'0.93"O de longitude de Greenwich, possuindo uma área territorial total de 218,843 km² (IBGE, 2021) e área urbana dentro do limite municipal de 125,445 km².

O clima segundo Koppen é classificado como Aw - tropical chuvoso com chuvas de verão (CLIMATE-DATA, 2022), com bioma predominante de Mata Atlântica (IBGE, 2019).

2.2.1.1.7 Salvador - Bahia

Salvador (BA) está localizado sob coordenadas geográficas 12°58'52.04"S de latitude e 38°29'33.31"O de longitude de Greenwich, possuindo uma área territorial total de 693,453 km² (IBGE, 2021) e área urbana dentro do limite municipal de 181,033 km².

Segundo Koppen o clima é classificado como Am - tropical chuvoso com pluviosidade significativa o ano inteiro (CLIMATE-DATA, 2022), com bioma predominante de Mata Atlântica (IBGE, 2019).

2.2.1.1.8 São Luis - Maranhão

São Luís (MA) está localizado sob coordenadas geográficas 2°31'51.32"S de latitude e 44°17'48.03"O de longitude de Greenwich, possuindo uma área territorial total de 693.453 km² (IBGE, 2021) e área urbana dentro do limite municipal de 135.405 km².

Segundo Koppen o clima é classificado como Aw - tropical chuvoso com chuvas de verão (CLIMATE-DATA, 2022), com bioma predominante de Amazônia (IBGE, 2019).

2.2.1.1.9 Teresina - Piauí

Teresina (PI) está localizado sob coordenadas geográficas 5° 5'5.05"S de latitude e 42°45'44.29"O de longitude de Greenwich, possuindo uma área territorial total de 1.391,293 km² (IBGE, 2021) e área urbana dentro do limite municipal de 132,987 km².

Segundo Koppen o clima é classificado como Aw - tropical chuvoso com chuvas de verão (CLIMATE-DATA, 2022), com bioma predominante de Cerrado (IBGE, 2019).

2.2.1.2 Centro-Oeste

2.2.1.2.1 Brasília - Distrito Federal

Brasília (DF) está localizado sob coordenadas geográficas 15°48'3.00"S de latitude e 47°53'21.49"O de longitude de Greenwich, possuindo uma área territorial total de 5,761 km² (IBGE, 2021) e área urbana dentro do limite municipal de 509,376 km².

Segundo Koppen o clima é classificado como Aw - tropical chuvoso com chuvas de verão (CLIMATE-DATA, 2022), com bioma predominante de Cerrado (IBGE, 2019).

2.2.1.2.2 Campo Grande - Mato Grosso do Sul

Campo Grande (MS) está localizado sob coordenadas geográficas 20°27'53.47"S de latitude e 54°37'18.65"O de longitude de Greenwich, possuindo uma área territorial total de 8.082,978 km² (IBGE, 2021) e área urbana dentro do limite municipal de 191,277 km².

Segundo Koppen o clima é classificado como Aw - tropical chuvoso com chuvas de verão (CLIMATE-DATA, 2022), com bioma predominante Cerrado (IBGE, 2019).

2.2.1.2.3 Cuiabá - Mato Grosso

Cuiabá (MT) está localizado sob coordenadas geográficas 15°36'5.29"S de latitude e 56° 5'26.80"O de longitude de Greenwich, possuindo uma área territorial total de 5.077,181 km² (IBGE, 2021) e área urbana dentro do limite municipal de 114,650 km².

Segundo Koppen o clima é classificado como Aw - tropical chuvoso com chuvas de verão (CLIMATE-DATA, 2022), com bioma predominante de Cerrado (IBGE, 2019).

2.2.1.2.4 Goiânia - Goiás

Goiânia (GO) está localizado sob coordenadas geográficas 16°41'11.03"S de latitude e 49°15'55.54"O de longitude de Greenwich, possuindo uma área territorial

total de 729,296 km² (IBGE, 2021) e área urbana dentro do limite municipal de 282,592 km² (IBGE, 2015).

Segundo Koppen o clima é classificado como Aw - tropical chuvoso com chuvas de verão. Com temperatura média anual de 23,4 °C e pluviosidade média anual de 1270 mm (CLIMATE-DATA, 2022), com bioma predominante é de Cerrado (IBGE, 2019).

2.2.1.3 Norte

2.2.1.3.1 Belém - Pará

Belém (PA) está localizado sob coordenadas geográficas 1°27'22.42"S de latitude e 49°15'55.54"O de longitude de Greenwich, possuindo uma área territorial total de 1.059,466 km² (IBGE, 2021) e área urbana dentro do limite municipal de 137,182 km².

Segundo Koppen o clima é classificado como Am - tropical chuvoso com chuvas significativas o ano inteiro (CLIMATE-DATA, 2022), com bioma predominante Amazônia (IBGE, 2019).

2.2.1.3.2 Boa Vista - Roraima

Boa Vista (RR) está localizado sob coordenadas geográficas 2°49'13.16"N de latitude e 60°40'26.47"O de longitude de Greenwich, possuindo uma área territorial total de 5.687,037 km² (IBGE, 2021) e área urbana dentro do limite municipal de 85,671 km².

Segundo Koppen o clima é classificado como Aw - tropical chuvoso com chuvas de verão (CLIMATE-DATA, 2022), com bioma predominante Amazônia (IBGE, 2019).

2.2.1.3.3 Macapá - Amapá

Macapá (AP) está localizado sob coordenadas geográficas 0°2'32.66"N de latitude e 51°3'26.64"O de longitude de Greenwich, possuindo uma área territorial total de 6.563,849 km² (IBGE, 2021) e área urbana dentro do limite municipal de 54,530 km².

Segundo Koppen o clima é classificado como Am - tropical chuvoso com chuvas significativas o ano inteiro (CLIMATE-DATA, 2022), com bioma predominante de Amazônia (IBGE, 2019).

2.2.1.3.4 Palmas - Tocantins

Palmas (TO) está localizado sob coordenadas geográficas 10°14'56.73"S de latitude e 48°19'27.43"O de longitude de Greenwich, possuindo uma área territorial total de 2.277,329 km² (IBGE, 2021) e área urbana dentro do limite municipal de 78,492 km².

Segundo Koppen o clima é classificado como Aw - tropical chuvoso com chuvas de verão (CLIMATE-DATA, 2022), com bioma predominante de Cerrado (IBGE, 2019).

2.2.1.3.5 Porto Velho - Rondônia

Porto Velho (RO) está localizado sob coordenadas geográficas 8°45'43.49"S de latitude e 63°53'0.72"O de longitude de Greenwich, possuindo uma área territorial total de 34.090,952 km² (IBGE, 2021) e área urbana dentro do limite municipal de 93,480 km².

Segundo Koppen o clima é classificado como Am - tropical chuvoso com chuvas significativas o ano inteiro. (CLIMATE-DATA, 2022), com bioma predominante de Amazônia (IBGE, 2019).

2.2.1.3.6 Manaus - Amazonas

Manaus (AM) está localizado sob coordenadas geográficas 3°7'9.79"S de latitude e 60°1'17.05"O de longitude de Greenwich, possuindo uma área territorial total de 11.401,092 km² (IBGE, 2021) e área urbana dentro do limite municipal de 240,473 km².

Segundo Koppen o clima é classificado como Af - tropical chuvoso úmido o ano todo (CLIMATE-DATA, 2022), com bioma predominante de Amazônia (IBGE, 2019).

2.2.1.3.7 Rio Branco - Acre

Rio Branco (AC) está localizado sob coordenadas geográficas 9°58'25.76"S de latitude e 67°48'35.65"O de longitude de Greenwich, possuindo uma área territorial total de 8.835,154 km² (IBGE, 2021) e área urbana dentro do limite municipal de 65,094 km².

Segundo Koppen o clima é classificado como Aw - tropical chuvoso com chuvas de verão (CLIMATE-DATA, 2022), com bioma predominante de Amazônico (IBGE, 2019).

2.2.1.4 Sudeste

2.2.1.4.1 Belo Horizonte - Minas Gerais

Belo Horizonte (MG) está localizado sob coordenadas geográficas 19°55'21.96"S de latitude e 43°56'39.86"O de longitude de Greenwich, possuindo uma área territorial total de 331,354 km² (IBGE, 2021) e área urbana dentro do limite municipal de 268,643 km².

Segundo Koppen o clima é classificado como Cwa - subtropical chuvoso com inverno seco e verão quente (CLIMATE-DATA, 2022), com bioma predominante de Mata Atlântica (IBGE, 2019).

2.2.1.4.2 Rio de Janeiro - Rio de Janeiro

Belo Horizonte (MG) está localizado sob coordenadas geográficas 22°54'25.70"S de latitude e 43°10'25.11"O de longitude de Greenwich, possuindo uma área territorial total de 1.200,329 km² (IBGE, 2021) e área urbana dentro do limite municipal de 594,608 km².

Segundo Koppen o clima é classificado como Aw - tropical com inverno seco (CLIMATE-DATA, 2022), com bioma predominante de Mata Atlântica (IBGE, 2019).

2.2.1.4.3 São Paulo - São Paulo

São Paulo (SP) está localizado sob coordenadas geográficas 23°33'10.24"S de latitude e 46°38'22.57"O de longitude de Greenwich, possuindo uma área territorial total de 1.521,202 km² (IBGE, 2021) e área urbana dentro do limite municipal de 897,783 km².

Segundo Koppen o clima é classificado como Cfa - subtropical com verão quente (CLIMATE-DATA, 2022), com bioma predominante de Mata Atlântica (IBGE, 2019).

2.2.1.4.4 Vitória - Espírito Santo

Vitória (ES) está localizado sob coordenadas geográficas 20°19'11.09"S de latitude e 40°20'18.61"O de longitude de Greenwich, possuindo uma área territorial total de 97,123 km² (IBGE, 2021) e área urbana dentro do limite municipal de 45,992 km².

Segundo Koppen o clima é classificado como Cfa - subtropical com verão quente (CLIMATE-DATA, 2022), com bioma predominante de Mata Atlântica (IBGE, 2019).

2.2.1.5 Sul

2.2.1.5.1 Curitiba - Paraná

Curitiba (PR) está localizado sob coordenadas geográficas 25°26'18.77"S de latitude e 49°16'12.77"O de longitude de Greenwich, possuindo uma área territorial total de 434,892 km² (IBGE, 2021) e área urbana dentro do limite municipal de 309,140 km².

Segundo Koppen o clima é classificado como Cfb – temperado com verão ameno (CLIMATE-DATA, 2022), com bioma predominante de Mata Atlântica (IBGE, 2019).

2.2.1.5.2 Florianópolis - Santa Catarina

Florianópolis (SC) está localizado sob coordenadas geográficas 27°35'41.73"S de latitude e 48°33'8.77"O de longitude de Greenwich, possuindo uma área territorial total de 674,844 km² (IBGE, 2021) e área urbana dentro do limite municipal de 100,116 km².

Segundo Koppen o clima é classificado Cfa - subtropical com verão quente (CLIMATE-DATA, 2022), com bioma predominante de Mata Atlântica (IBGE, 2019).

2.2.1.5.3 Porto Alegre - Rio Grande do Sul

Porto Alegre (RS) está localizado sob coordenadas geográficas 30° 2'19.21"S de latitude e 51°12'26.37"O de longitude de Greenwich, possuindo uma área territorial total de 494,390 km² (IBGE, 2021) e área urbana dentro do limite municipal de 189,993 km².

Segundo Koppen o clima é classificado Cfa - subtropical com verão quente (CLIMATE-DATA, 2022), com bioma predominante de Pampa (IBGE, 2019).

2.2.2 Procedimentos metodológicos

Os procedimentos metodológicos deste trabalho, podem ser separados, resumidamente, em 6 etapas: 1. Aquisição das imagens de satélite; 2. Processamento; 3. Recorte das imagens; 4. Classificação supervisionada; 5. Verificação dos Índices Kappa; 6. Quantificação dos pixels. Representado pelo fluxograma abaixo (Figura 2).

Figura 2 - Fluxograma dos procedimentos metodológicos utilizados para quantificação da cobertura arbórea nas áreas urbanas das capitais brasileiras



Fonte: Autor (2022)

Todos os processos realizados, após a aquisição das imagens, foram realizados no *software* QuantumGIS (QGIS), plataforma de Sistema de Informações Geográficas (SIG). O QGIS trata-se de um software livre licenciado pela GNU General Public License, fundado por Gary Sherman.

2.2.2.1 Aquisição das imagens de satélite

As imagens utilizadas foram do satélite CBERS 04A obtidas pela Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura (WMP), disponibilizadas gratuitamente por meio do catálogo *online* de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE².

Em estudos de levantamento de cobertura arbórea, imagens de alta resolução geram resultados mais precisos e confiáveis, por isso, utilizou-se imagens obtidas pela câmera WPM, que possui a maior resolução dentre elas, com 2 metros de resolução espacial

As datas das imagens, representadas na Tabela 2, variaram pela escolha de imagens com menor área ocupada por nuvens possível.

²Disponível em: <http://www2.dgi.inpe.br/catalogo/explore>. Acesso: 13 fev. 2021.

Tabela 2 - Data das imagens utilizadas para quantificação da cobertura arbórea

Região	Município	Data da imagem
Nordeste	Aracaju/SE	mar-21
	Fortaleza/SE	jun-20
	João Pessoa/PB	nov-21
	Maceió/AL	jun-20
	Natal/RN	jul-21
	Recife/PE	nov-20
	Salvador/BA	mar-21
	São Luís/MA	mai-21
	Teresina/PI	set-21
Centro-Oeste	Brasília/DF	set-21
	Campo Grande/MS	fev-22
	Cuiabá/MT	out-20
	Goiânia/GO	out-20
Norte	Belém/PA	ago-20
	Boa Vista/RR	jan-22
	Macapá/AP	ago-21
	Palmas/TO	ago-21
	Porto Velho/RO	jun-21
	Manaus/AM	mai-22
	Rio Branco/AC	ago-21
Sudeste	Belo Horizonte/MG	set-20
	Rio de Janeiro/RJ	jan-20
	São Paulo/SP	set-20
	Vitória/ES	jun-21
Sul	Curitiba/PR	jul-21
	Florianópolis/SC	jan-22
	Porto Alegre/RS	nov-21

Fonte: Autor, 2022

2.2.2.2 Processamento

Para cada local de estudo foram disponibilizadas imagens multiespectrais (bandas 1, 2, 3, 4 e pancromática), sendo necessário o processamento dessas múltiplas imagens para obtenção de uma única imagem colorida e com resolução espacial de 2 metros.

O processamento das imagens foi realizado por meio do plugin *CBERS4A Downloader*, criado por Sandro Klippel. Por meio deste, foi realizada a composição colorida das imagens, utilizando a composição cor verdadeira (banda 3-R; banda 2-G; banda 1-B; e banda 4-NIR), e por conseguinte a fusão das imagens.

As técnicas de fusão de imagens consistem em integrar a melhor resolução espacial da banda pancromática com a melhor resolução espectral das demais

bandas, produzindo uma imagem colorida que reúne ambas as características (FONSECA, 2000 apud CARVALHO et al., 2011).

O método de fusão de imagem utilizado foi o Pansharpening.

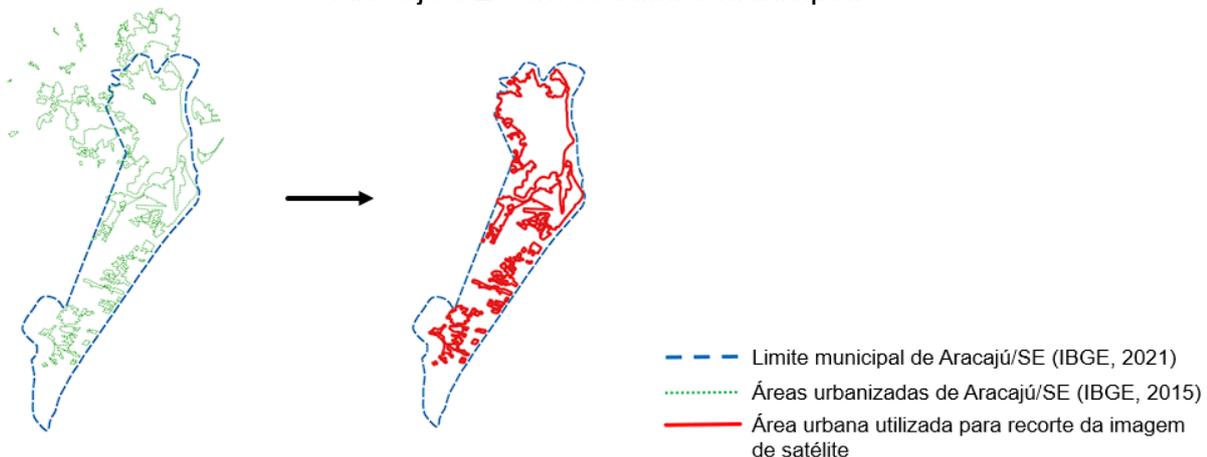
O método Pansharpening trabalha com dados de imagens 8 bits, 16 bits, 32 bits e pode fusionar imagens adquiridas simultaneamente pelo mesmo sensor ou provenientes de diferentes sensores (LEONARDI et al., 2009). Segundo Zhang (2002), este método tende a ter resultados superiores quando comparado a outros métodos de fusão de imagens, pois preservam as características espectrais da imagem (cor da imagem). Sendo a média, o desvio padrão e o formato do histograma para cada canal aproximadamente preservados.

2.2.2.3 Recorte das imagens

As áreas urbanas utilizadas para recorte das imagens de satélite e delimitação das áreas à serem quantificadas foram mapeadas em um projeto realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE em 2015 com objetivo de acompanhar o estágio de urbanização no território brasileiro, estabelecido pela vetorização das áreas construídas a partir de imagens de satélite (IBGE, 2017), fornecidas em formato de *shapefile* e obtidas gratuitamente pelo portal *online* do IBGE³.

Nota-se que algumas das áreas urbanas, disponibilizadas no *shapefile*, englobavam regiões metropolitanas das capitais que extrapolavam as fronteiras municipais, e assim, foi necessário realizar a intersecção dos vetores geoprocessados das áreas urbanizadas com seu respectivo limite do municipal, definido pelo IBGE (2021). Este processo pode ser exemplificado pela Figura 3.

Figura 3 - Exemplo de processo de Intersecção das áreas urbanizadas de Aracajú/SE com seu limite municipal.



Fonte: Autor (2022)

A partir disso, as imagens de satélites foram recortadas utilizando as áreas urbanas situadas, exclusivamente, dentro de seus respectivos limites municipais.

³Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/redes-geograficas/15789-areas-urbanizadas.html?=&t=downloads>. Acesso: 03 ago. 2021.

2.2.2.4. Classificação supervisionada

Para mapeamento da cobertura arbórea das imagens é preciso realizar a classificação das imagens, realizada pelo método supervisionado. Para a elaboração da classificação foi identificado os pixels das imagens, classificando no mínimo 15 amostras, das seguintes classes:

1. Copa de Árvores;
2. Relvado ou Gramíneas;
3. Solo Exposto;
4. Asfalto;
5. Sombra;
6. Rio/Lago;
7. Piscina;
8. Telha Clara;
9. Telha Escura;
10. Telha Cinza;
11. Telha Cerâmica;
12. Nuvem (caso haja ocorrência na imagem).

A classificação do uso e ocupação do solo foi realizado com o complemento Dzetsaka: Classification tools, criado por Nicolas Karasiak, plugin do QuantumGIS, utilizando o algoritmo Random Forest (BREIMAN, 2001). Segundo Pal (2005) o Random Forest é um dos algoritmos mais utilizados para classificação do uso e cobertura do solo, pois tem uma configuração simples e boa acurácia.

Esse método de classificação pelo Dzetsaka possui como principais características a simplicidade e agilidade junto à um excelente produto de classificação (SILVA et al., 2020).

Em relação à escolha pelo algoritmo Random Forest, Cano & Júnior (2021) apontaram bom desempenho do Random Forest nos testes realizados em um estudo do mapeamento de florestas urbanas e apontaram outros estudos bem-sucedidos com vegetação arbórea, dos seguintes autores: PUISSANT et al., 2014; MA et al., 2017; MASCHLER; ATZBERGER; IMMITZER, 2018; PERSSON; LINDBERG; REESE, 2018; HARTLING; SAGAN; MAIMAITIJIANG, 2021.

2.2.2.5 Verificação do Índice Kappa

Para estimar estatisticamente a exatidão dos mapeamentos temáticos utilizou-se a estatística Kappa, que conforme Landis e Koch (1977) e Moreira (2003) foi obtida pelo programa de geoprocessamento microimages TNT Mips verão 7.2. (MOREIRA; SILVA FILHO; POLIZEL, 2007).

Em sensoriamento remoto é comum o uso do uso da estatística Kappa para avaliar a concordância do mapa temático e a verdade terrestre, obtida por meio da confecção de um segundo treinador denominado de auditor a partir da fotointerpretação da verdade terrestre, avaliada neste trabalho com imagens do Google Street View. Sendo uma grande vantagem dessa estatística é que se incluem no coeficiente Kappa todos os elementos da matriz de erro e não somente os elementos da diagonal principal, como o da exatidão geral (CONGALTON, 2001; MOREIRA, 2003; apud MOREIRA; SILVA FILHO; POLIZEL, 2007).

Nesse sentido, a validação das classificações foi realizada de acordo com o Índice de Kappa, proposto por Landis e Koch (1977), possuindo uma variação de

acurácia de 0 a 1, cada intervalo do índice representa uma concordância em relação a classificação realizada (Tabela 3).

Tabela 3 - Valores dos Índice Kappa e suas concordâncias

Índice Kappa	Concordância
<0,00	Insignificante (<i>poor</i>)
0,00 a 0,20	Fraca (<i>slight</i>)
0,21 a 0,40	Razoável (<i>fair</i>)
0,41 a 0,60	Moderada (<i>moderate</i>)
0,61 a 0,80	Forte (<i>substantial</i>)
0,81 – 1	Excelente (<i>almost perfect</i>)

Fonte: Landis e Koch (1977)

2.2.2.6. Quantificação dos pixels

Para quantificação da cobertura arbórea e das outras classes é necessário realizar a quantificação dos pixels classificados nas imagens. Para isso, foi utilizado o plugin LecoS – Landscape Ecology (JUNG, 2016).

O plugin LecoS – Landscape Ecology quantifica os pixels classificados e calcula o percentual da área ocupada de cada classe em relação a área total de estudo.

Dessa forma, obteve-se o Percentual de Cobertura Arbórea (PCA) e o Índice de Cobertura Arbórea por habitante (ICAH).

2.2.2.6.1. Percentual de Cobertura Arbórea (PCA)

O Percentual de Cobertura Arbórea (PCA) é a proporção da área de cobertura arbórea pela área total de uma cidade ou setor urbano (TEIXEIRA; GONÇALVES, 2020), que no caso deste trabalho utilizou-se o setor urbano. Podendo ser representado sob a seguinte equação (Equação 1):

$$PCA = \frac{CA (m^2)}{AU (m^2)} \times 100 \quad (1)$$

PCA: Percentual de cobertura arbórea (%)

CA: Cobertura arbórea na área urbana (m²)

AU: Área urbana (m²)

Sendo a área de cobertura arbórea (CA) calculada em função do número de pixels de copa de arbórea (quantificado pelo plugin) multiplicado pelo tamanho de cada pixel que, pela resolução espacial de 2 metros, representa espaço terrestre 4 m² (2x2 metros) (Equação 2).

$$CA (m^2) = NPCA \times 4 m^2 \quad (2)$$

CA: Cobertura arbórea na área urbana (m²)

NPCA: Número de pixels de copa de árvore

A área de cobertura arbórea (CA) pode ser calculada também pela representação decimal do Percentual de Cobertura Arbórea (PCA) multiplicado pela área urbana (AU) (Equação 3).

$$CA (m^2) = \frac{PCA (\%)}{100} \times AU (m^2) \quad (3)$$

CA: Cobertura arbórea na área urbana (m²)

PCA: Percentual de cobertura arbórea (%)

AU: Área urbana (m²)

2.2.2.6.2 Índice de Cobertura Arbórea por Habitante (ICAH)

O Índice de Cobertura por Habitante trata-se da proporção de cobertura arbórea pela quantidade de pessoas total de uma cidade ou de um setor urbano (TEIXEIRA; GONÇALVES, 2020). Correspondendo pela seguinte equação (Equação 4):

$$ICAH = \frac{CA (m^2)}{NH} \quad (4)$$

ICAH: Índice de Cobertura Arbórea por Habitante (m²/hab)

CA: Cobertura arbórea na área urbana (m²)

NH: Número de habitantes

2.2.3 Dados do IBGE

Para cálculo do Índice de Cobertura Arbórea por Habitante (ICAH) considerou-se a população dos municípios levantado no censo do IBGE (2010).

Para verificação de possíveis relações entre os valores de cobertura arbórea obtidos com indicadores sociais e econômicos, foi utilizado o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) (IBGE, 2010) e o Produto Interno Bruto (PIB) *per capita* (IBGE, 2019) dos municípios estudados.

Segundo Chediek et. al (2013) o IDH reúne três dos requisitos mais importantes para a expansão das liberdades das pessoas: a oportunidade de se levar uma vida longe e saudável – saúde –, ter acesso ao conhecimento – educação – e poder desfrutar de um padrão de vida digno – renda. Sendo o IDHM seguindo as mesmas três dimensões, mas se adequando a metodologia global ao contexto brasileiro e à disponibilidade de indicadores municipais, acompanhando mais de 200 indicadores socioeconômicos que dão suporte à análise e ampliam a compreensão dos fenômenos e dinâmicas voltados ao desenvolvimento municipal.

O Produto Interno Bruto (PIB) é a soma de todos os bens e serviços produzidos por um país, estado ou cidade, geralmente em um ano. Sendo um indicador de fluxo de novos bens e serviços finais produzidos durante um período. Assim, o PIB *per capita* é a divisão do Produto Interno Bruto pelo número de habitantes (IBGE, 2022).

Os coletados podem ser observados na Tabela 4.

Tabela 4 - Informações de População, Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) e Produto Interno Bruto (PIB) *per capita* das capitais brasileiras

Região	Municípios/UF	População (2010)	IDH (2010)	PIB per capita (2019)
Nordeste	Aracajú/SE	571.149	0,770	R\$ 26.688,23
	Fortaleza/SE	2.452.185	0,754	R\$ 25.254,44
	João Pessoa/PB	723.515	0,763	R\$ 25.768,09
	Maceió/AL	932.748	0,721	R\$ 22.976,51
	Natal/RN	803.739	0,763	R\$ 28.113,21
	Recife/PE	1.537.704	0,772	R\$ 33.232,26
	Salvador/BA	2.675.656	0,759	R\$ 22.213,24
	São Luís/MA	1.014.837	0,768	R\$ 29.135,32
	Teresina/PI	814.230	0,751	R\$ 25.458,50
Centro Oeste	Brasília/DF	2.570.160	0,824	R\$ 90.742,75
	Campo Grande/MS	786.797	0,784	R\$ 33.744,98
	Cuiabá/MT	551.098	0,785	R\$ 40.199,11
	Goiânia/GO	1.302.001	0,799	R\$ 34.901,35
Norte	Belém/PA	1.393.399	0,746	R\$ 21.708,55
	Boa Vista/RR	284.313	0,752	R\$ 26.482,05
	Macapá/AP	398.204	0,733	R\$ 22.718,28
	Palmas/TO	228.332	0,788	R\$ 34.933,66
	Porto Velho/RO	428.527	0,736	R\$ 33.825,46
	Manaus/AM	1.802.014	0,737	R\$ 38.880,73
	Rio Branco/AC	336.038	0,727	R\$ 22.448,30
Sudeste	Belo Horizonte/MG	2.375.151	0,810	R\$ 38.695,31
	Rio de Janeiro/RJ	6.320.446	0,799	R\$ 52.833,25
	São Paulo/SP	11.253.503	0,805	R\$ 62.341,21
	Vitória/ES	327.801	0,845	R\$ 59.693,66
Sul	Curitiba/PR	1.751.907	0,823	R\$ 49.706,64
	Florianópolis/SC	421.240	0,847	R\$ 43.842,54
	Porto Alegre/RS	1.409.351	0,805	R\$ 55.555,39

Fonte: IBGE (2010)⁴ IBGE (2010)⁵, IBGE (2019)⁶⁴ Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 03 mar. 2022.⁵ Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/>. Acesso: 03 mar. 2022⁶ Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/>. Acesso: 03 mar. 2022

2.3 Resultados e Discussão

2.3.1 Nordeste

Os Índices Kappa dos municípios do Nordeste tiveram excelente concordância, de acordo os valores propostos por Landis e Koch (1977).

Os municípios dessa região que tiveram os maiores Percentuais de Cobertura Arbórea (PCA) foram Fortaleza/CE e Maceió/AL, apresentando valores de 23,06% e 20,80%, respectivamente. João Pessoa/PB com 7,56% e Aracajú/SE com 4,71% apresentaram os menores valores.

Em relação ao Índice de Cobertura Arbórea por habitante (ICAH), Teresina/PI e Natal/RN obtiveram os melhores resultados, de 27,78 e 24,35 m² de cobertura arbórea por habitante, respectivamente. Salvador/BA e Aracajú/SE apresentaram os menores valores, apresentando os seguintes valores: 6,28 e 5,71 m² por habitante, respectivamente.

As capitais da região Centro-Oeste tiveram um Percentual de Cobertura Arbórea (PCA) médio de 13,75% e um Índice de Cobertura Arbórea por Habitante (ICAH) médio de 15,83 m² de cobertura arbórea por habitante.

Os resultados obtidos da região podem ser observados na Tabela 5.

Tabela 5 - Índice Kappa dos mapas temáticos, Área de copa, Índice de Cobertura Arbórea por habitante (ICAH) e Percentual de Cobertura Arbórea (PCA) das áreas urbanas nas capitais da Região Nordeste

<i>Municípios/UF</i>	<i>Índice Kappa</i>	<i>Área de copa (m²)</i>	<i>ICAH (m²/hab.)</i>	<i>Cobertura arbórea</i>
Aracaju/SE	0,94	2.849.666	4,99	4,11%
Fortaleza/SE	0,98	56.541.133	23,06	23,06%
João Pessoa/PB	0,98	7.822.978	10,81	7,56%
Maceió/AL	0,97	21.655.181	23,22	21,21%
Natal/RN	0,98	19.570.792	24,35	20,80%
Recife/PE	0,97	11.195.130	7,28	8,92%
Salvador/BA	0,98	16.803.812	6,28	9,28%
São Luís/MA	0,97	14.941.745	14,72	11,03%
Teresina/PI	0,97	22.618.975	27,78	17,01%
Média	0,97	19.333.268	15,83	13,67%

Fonte: Autor (2022)

Os mapas dos limites urbanos e os mapas temáticos junto às proporções das classes, estão em anexos: Anexo 1 - Aracajú/SE; Anexo 2 - Fortaleza/CE; Anexo 3 - João Pessoa/PB; Anexo 4 - Maceió/AL; Anexo 5 - Natal/RN; Anexo 6 - Recife/PE; Anexo 7 - Salvador/BA; Anexo 8 - São Luís/MA; e Anexo 9 - Teresina/PI.

2.3.2 Centro-Oeste

Os Índices Kappa dos municípios do Centro-Oeste tiveram excelente concordância, segundo os valores propostos por Landis e Koch (1977).

Goiânia/GO e Brasília/DF tiveram os maiores valores de Percentual de Cobertura arbórea (PCA) e Índice de Cobertura Arbórea por Habitante (ICAH) da região. Goiânia/GO apresentou 20,81% e 45,17 m²/hab., e Brasília com 19,09% e 37,68 m²/hab.

Cuiabá/MT com 9,42% de cobertura arbórea e 19,59 m² de cobertura arbórea por habitante apresentou os menores valores de PCA e ICAH.

As capitais da região Centro-Oeste tiveram um Percentual de Cobertura Arbórea (PCA) médio de 15,93% e um Índice de Cobertura Arbórea por Habitante (ICAH) médio de 34,4 m² de cobertura arbórea por habitante.

Os valores obtidos da região podem ser observados na Tabela 6.

Tabela 6 - Índice Kappa dos mapas temáticos, Área de copa, Índice de Cobertura Arbórea por habitante (ICAH) e Percentual de Cobertura Arbórea (PCA) das áreas urbanas nas capitais da Região Centro-Oeste

<i>Municípios/UF</i>	<i>Índice Kappa</i>	<i>Área de copa (m²)</i>	<i>ICAH (m²/hab.)</i>	<i>Cobertura arbórea</i>
Brasília/DF	0,96	96.845.929	37,68	19,01%
Campo Grande/MS	0,98	27.679.021	35,18	14,47%
Cuiabá/MT	0,98	10.796.422	19,59	9,42%
Goiânia/GO	0,97	58.805.105	45,17	20,81%
Média	0,97	48.531.619	34,40	15,93%

Fonte: Autor (2022)

Os mapas dos limites urbanos e os mapas temáticos junto às proporções das classes, estão em anexos: Anexo 10 - Brasília/DF; Anexo 11 - Campo Grande/MS; Anexo 12 - Cuiabá/MT - Anexo 12; Anexo 13 - Goiânia/GO.

2.3.3 Norte

Os Índices Kappa dos municípios do Norte tiveram excelente concordância, segundo os valores propostos por Landis e Koch (1977).

Na região Norte, Porto Velho/TO, Rio Branco/AC e Macapá/AP apresentaram os maiores valores de Percentual de Cobertura Arbórea (PCA), sendo esses valores representados por 23,02%, 19,54% e 19,01% de cobertura arbórea na região

urbana, respectivamente, enquanto Palmas/TO teve o menor valor percentual de 7,96%.

Porto Velho/RO, Rio Branco/AC resultaram nos maiores valores de Índice de Cobertura Arbórea por habitante (ICAH), de 50,21 e 37,84 m² de cobertura arbórea por habitante, respectivamente.

As capitais da região Norte tiveram um Percentual de Cobertura Arbórea (PCA) médio de 16,09% e um Índice de Cobertura Arbórea por Habitante (ICAH) médio de 29,82 m² de cobertura arbórea por habitante.

Os resultados obtidos da região Norte podem ser observados na Tabela 7.

Tabela 7 - Índice Kappa dos mapas temáticos, Área de copa, Índice de Cobertura Arbórea por habitante (ICAH) e Percentual de Cobertura Arbórea (PCA) das áreas urbanas nas capitais da Região Norte

<i>Municípios/UF</i>	<i>Índice Kappa</i>	<i>Área de copa (m²)</i>	<i>ICAH (m²/hab.)</i>	<i>Cobertura arbórea</i>
Belém/PA	0,95	21.540.040	15,46	15,70%
Boa Vista/RR	0,98	7.779.964	27,36	9,08%
Macapá/AP	0,98	10.367.372	26,04	19,01%
Palmas/TO	0,95	6.251.341	27,38	7,96%
Porto Velho/RO	0,97	21.518.366	50,21	23,02%
Manaus/AM	0,98	44.104.908	24,48	18,34%
Rio Branco/AC	0,96	12.717.017	37,84	19,54%
Média	0,97	17.754.144	29,82	16,09%

Fonte: Autor (2022)

Os mapas dos limites urbanos e os mapas temáticos junto às proporções das classes, estão em anexos: Anexo 14 - Belém/PA; Anexo 15 - Boa Vista/RR; Anexo 16 - Macapá/AP; Anexo 17 - Palmas/TO; Anexo 18 - Porto Velho/RO; Anexo 19 - Manaus/AM; e Anexo 20 - Rio Branco/AC.

2.3.4 Sudeste

Os Índices Kappa dos municípios do Sudeste tiveram excelente concordância, segundo os valores propostos por Landis e Koch (1977).

Rio de Janeiro/RJ e Vitória/ES apresentaram os maiores valores de Percentual de Cobertura Arbórea (PCA) da região, com 18,74 e 16,58% de cobertura arbórea na região urbana, respectivamente. São Paulo teve o menor valor de percentual, de 15,56% de cobertura arbórea.

Em relação ao Índice de Cobertura Arbórea por habitante (ICAH) o município de Vitória/ES possui o maior valor, apresentando 22,49 m² de cobertura arbórea por habitante. São Paulo/SP teve o menor valor, com 12,42 m² por habitante.

As capitais da região Sudeste tiveram um Percentual de Cobertura Arbórea (PCA) médio de 16,65% e um Índice de Cobertura Arbórea por Habitante (ICAH) médio de 17,66 m² por habitante.

Os resultados obtidos desta região podem ser observados na Tabela 8.

Tabela 8 - Índice Kappa dos mapas temáticos, Área de copa, Índice de Cobertura Arbórea por habitante (ICAH) e Percentual de Cobertura Arbórea (PCA) das áreas urbanas nas capitais da Região Sudeste

<i>Municípios/UF</i>	<i>Índice Kappa</i>	<i>Área de copa (m²)</i>	<i>ICAH (m²/hab.)</i>	<i>Cobertura arbórea</i>
Belo Horizonte/MG	0,97	43.668.191	18,39	16,26%
Rio de Janeiro/RJ	0,97	109.545.138	17,33	18,74%
São Paulo/SP	0,97	139.725.605	12,42	15,56%
Vitória/ES	0,97	7.372.815	22,49	16,58%
Média	0,97	75.077.937	17,66	16,65%

Fonte: Autor (2022)

Os mapas dos limites urbanos e os mapas temáticos junto às proporções das classes, estão em anexos: Anexo 21 - Belo Horizonte/MG; Anexo 22 - Rio de Janeiro/RJ; Anexo 23 - São Paulo/SP; e Anexo 24 - Vitória/ES.

2.3.5 Sul

Os Índices Kappa dos municípios do Sul tiveram excelente concordância, segundo os valores propostos por Landis e Koch (1977).

Porto Alegre/RS apresentou o maior Percentual de Cobertura Arbórea (PCA) da Região Sul, com 18,33% de cobertura arbórea. Florianópolis/SC teve a menor porcentagem, apresentando 12,54% de cobertura arbórea.

Florianópolis/SC possuiu o maior Índice de Cobertura Arbórea por habitante (ICAH) com 37,08 m² de cobertura arbórea por habitante. O município que teve o menor valor de ICAH foi Curitiba/PR, apresentando um valor de 22,13 m²/hab.

As capitais da região Sudeste tiveram um Percentual de Cobertura Arbórea (PCA) médio de 15,49% e um Índice de Cobertura Arbórea por Habitante (ICAH) médio de 27,98 m² por habitante.

Os resultados obtidos desta região podem ser observados na Tabela 9.

Tabela 9 - Índice Kappa dos mapas temáticos, Área de Copa, Índice de Cobertura Arbórea por habitante (ICAH) e Percentual de Cobertura Arbórea (PCA) das áreas urbanas nas capitais da região Sul

<i>Municípios/UF</i>	<i>Índice Kappa</i>	<i>Área de copa (m²)</i>	<i>ICAH (m²/hab)</i>	<i>Cobertura arbórea</i>
Curitiba/PR	0,95	38.775.227	22,13	12,54%
Florianópolis/SC	0,95	15.620.511	37,08	15,60%
Porto Alegre/RS	0,94	34.832.915	24,72	18,33%
Média	0,95	29.742.885	27,98	15,49%

Fonte: Autor (2022)

Os mapas dos limites urbanos e os mapas temáticos junto às proporções das classes, estão em anexos: Anexo 25 - Curitiba/PR; Anexo 26 - Florianópolis/SC; Anexo 27 - Porto Alegre/RS.

2.3.6 Panorama geral

Dentre todas as capitais, as áreas urbanas de Fortaleza/CE e Porto Velho/RO tiveram as maiores porcentagens de ocupação por cobertura arbórea, com valores próximos de 23,06 e 23,02%, respectivamente. Aracaju/SE apresentou a menor área ocupada por cobertura arbórea, com apenas 4,11%. Em relação ao Índice de Cobertura Arbórea por Habitante (ICAH), Porto Velho/RO e Goiânia/GO tiveram os maiores valores, com 50,21 e 45,16 m² de cobertura arbórea por habitante. Aracaju/SE apresentou o menor valor, com 4,99 m² por habitante.

A média total do Percentual de Cobertura Arbórea (PCA) foi 15,28% e do Índice de Cobertura Arbórea (ICAH) de 23,83 m² por habitante.

Os municípios que tiveram suas áreas ocupadas por nuvens foram: João Pessoa/PB (6,10%); Maceió/AL (0,36%); Natal/RN (1,10%); Recife/PE (5,97%); Salvador/BA (4,22%); São Luís/MA (8,35%); Belém/PA (0,84%); Macapá/AP (2,81%); Manaus/AM (1,58%); Rio de Janeiro/RJ (1,92%); e Vitória/ES (0,91%).

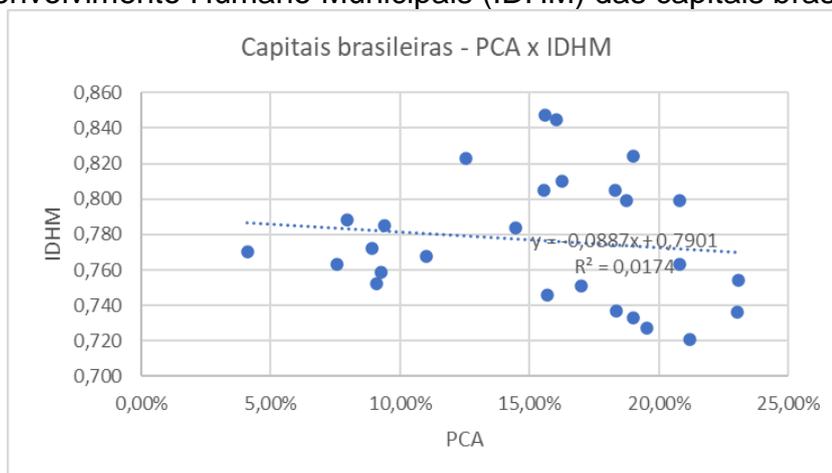
2.3.7 Relação entre as variáveis

Como forma de análise de prováveis relações entre as variáveis, foram construídos modelos de regressão linear simples e analisado os valores do coeficiente de determinação (r^2), que segundo Martins (2018) dá a porcentagem de variabilidade das variáveis y 's (variáveis preditoras ou à prever) que fica explicada em função da variabilidade dos x 's (variável preditora). Assim, um valor de r^2 estar próximo de 1 significa, em princípio, a nuvem de pontos apresenta no diagrama de dispersão está próxima da reta de regressão, considerada para o modelo de regressão. Quando o r^2 está próximo de 0 já não se vislumbra uma estrutura linear. Ou seja, valores de coeficientes de variação iguais ou próximos de 1, indica que o modelo explica a variabilidade dos dados de resposta ao redor de sua média

2.3.7.1 Percentual de Cobertura Arbórea (PCA) e Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM)

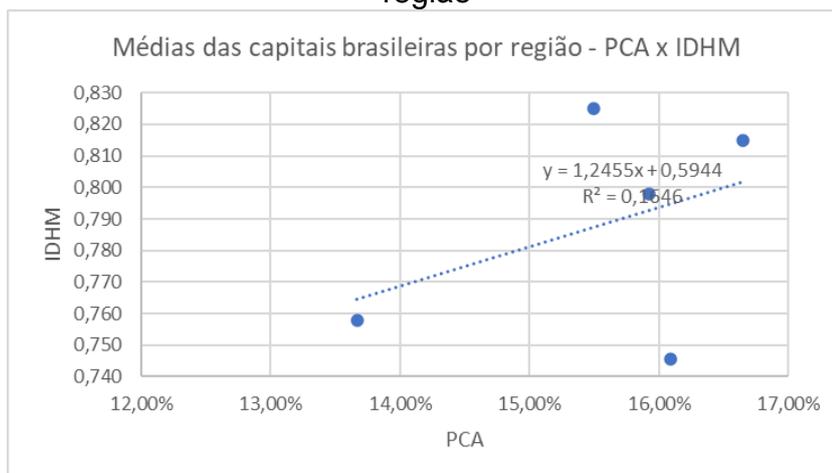
Para analisar se há uma possível relação entre as variáveis Percentual Cobertura Arbórea (PCA) e o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) dos respectivos municípios, foi construído dois modelos de regressão linear simples, um deles utilizando os dados de todos os municípios (27 amostras) (Gráfico 1), e outro com as médias das regiões (5 amostras) (Gráfico 2). Em ambos se definiu a variável preditora (x) como o Percentual de Cobertura Arbórea e a variável resposta (y) como o Índice de Desenvolvimento Humano.

Gráfico 1 - Relação do Percentual de Cobertura arbórea (PCA) e do Índice de Desenvolvimento Humano Municipais (IDHM) das capitais brasileiras



Fonte: Autor (2022)

Gráfico 2 - Relação das médias do Percentual de Cobertura Arbórea (PCA) e do Índice de Desenvolvimento Humano Municipais (IDHM) das capitais brasileiras por região



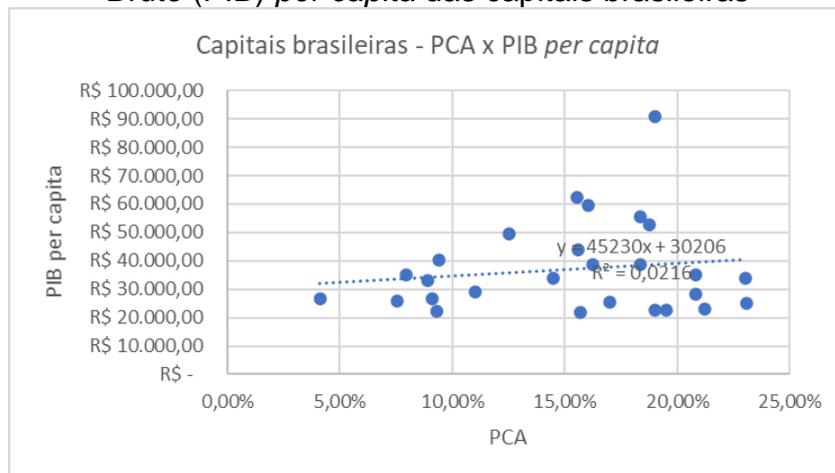
Fonte: Autor (2022)

O Gráfico 1 apresentou uma linha de tendência levemente decrescente, diferente do Gráfico 2, que teve uma tendência moderadamente crescente. Porém, com valores coeficientes de determinação (r^2) de 0,0174 (Gráfico 1) e 0,1646 (Gráfico 2), demonstram que os modelos não explicam a variabilidade dos dados de resposta ao redor da média.

2.3.7.2 Percentual de Cobertura Arbórea (PCA) e Produto Interno Bruto (PIB) *per capita*

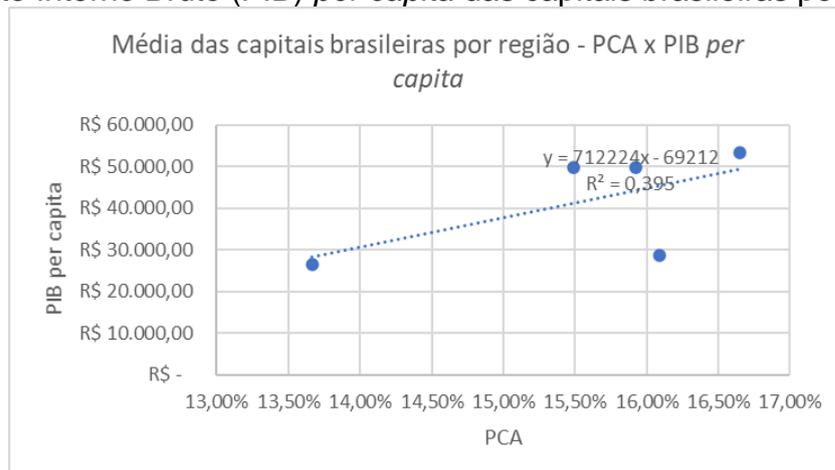
Para analisar se há uma possível relação entre as variáveis Percentual de Cobertura Arbórea (PCA) e o Produto Interno Bruto (PIB) *per capita* dos respectivos municípios, foi construído dois modelos de regressão linear simples, um deles utilizando os dados de todos os municípios (27 amostras) (Gráfico 3), e outro com as médias das regiões (5 amostras) (Gráfico 4). Em ambos se definiu a variável preditora (x) como o Percentual de Cobertura Arbórea e a variável resposta (y) como o Produto Interno Bruto (PIB) *per capita*.

Gráfico 3 - Relação do Percentual de Cobertura arbórea (PCA) e do Produto Interno Bruto (PIB) *per capita* das capitais brasileiras



Fonte: Autor (2022)

Gráfico 4 - Relação das médias do Percentual de Cobertura Arbórea (PCA) e do Produto Interno Bruto (PIB) *per capita* das capitais brasileiras por região



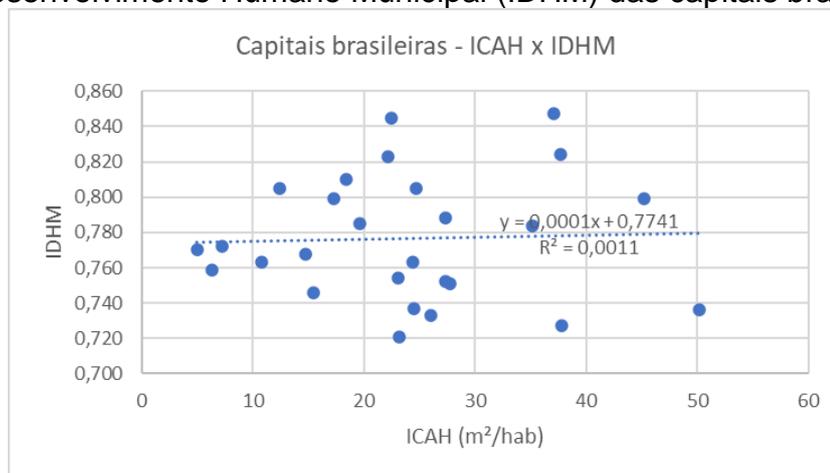
Fonte: Autor (2022)

Ambos os modelos apresentaram uma linha de tendência suavemente crescente. Porém, com coeficientes de determinação (r^2) de 0,0216 (Gráfico 3) e 0,395 (Gráfico 4), não explicam a variabilidade dos dados de resposta.

2.3.7.3 Índice de Cobertura Arbórea por Habitante (ICAH) e Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM)

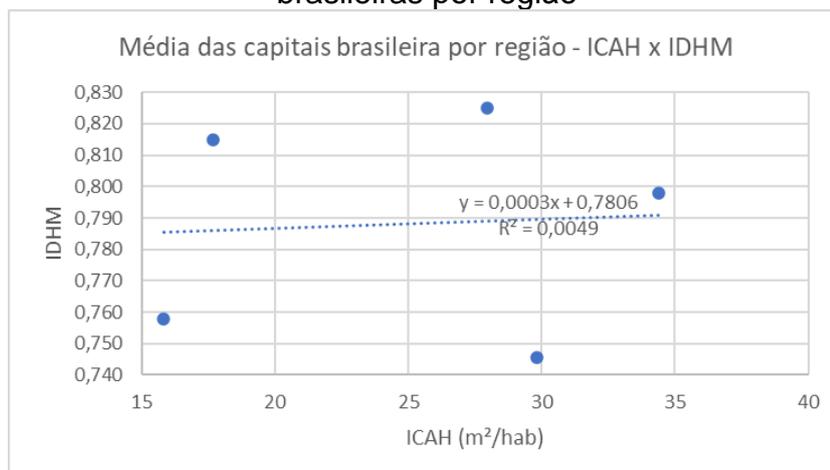
Para analisar se há uma possível relação entre as variáveis Índice de Cobertura Arbórea (ICAH) por habitante e o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) dos respectivos municípios, foi construído dois modelos de regressão linear simples, um deles utilizando os dados de todos os municípios (27 amostras) (Gráfico 5), e outro com as médias das regiões (5 amostras) (Gráfico 6). Em ambos se definiu a variável preditora (x) como o Índice de Cobertura Arbórea por Habitante (ICAH) e a variável resposta (y) como o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM).

Gráfico 5 - Relação do Índice de Cobertura Arbórea por Habitante (ICAH) e do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) das capitais brasileiras



Fonte: Autor (2022)

Gráfico 6 - Relação das médias do Índice de Cobertura Arbórea por Habitante (ICAH) e do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) das capitais brasileiras por região



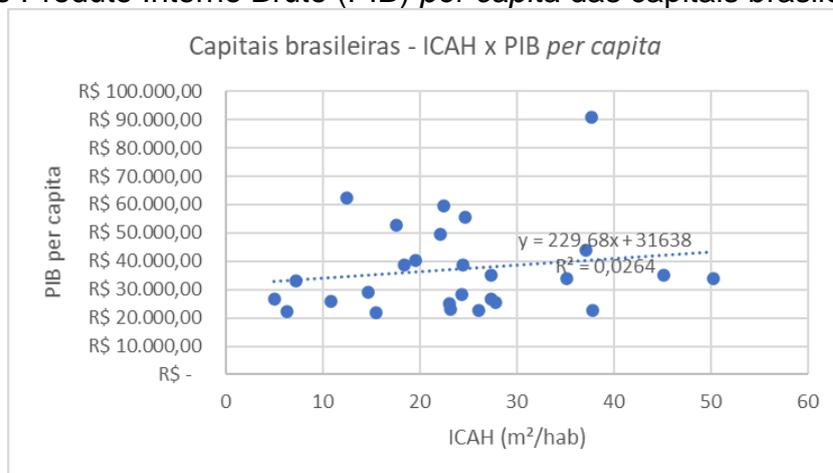
Fonte: Autor (2022)

Observa-se pelos Gráficos 5 e 6 que as linhas de tendência apresentam uma leve tendência crescente, mas com os valores dos coeficientes de determinação (r^2) de 0,0011 e 0,0049, respectivamente, os modelos não explicam a variabilidade dos dados de resposta ao redor da média.

2.3.7.4 Índice de Cobertura Arbórea por Habitante (ICAH) e Produto Interno Bruto (PIB) *per capita*

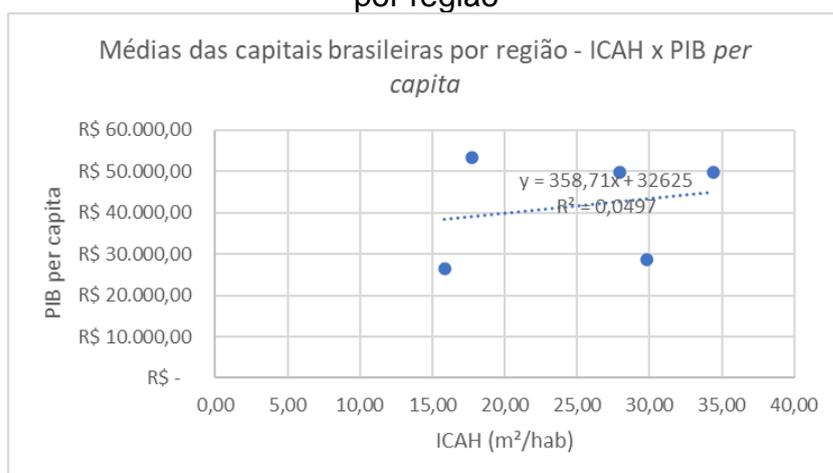
Para análise de uma provável relação as variáveis Índice de Cobertura Arbórea por Habitante (ICAH) e o Produto Interno Bruto (PIB) *per capita* dos respectivos municípios, foi construído dois modelos de regressão linear simples, em um deles utilizando os dados de todos os municípios (27 amostras) (Gráfico 7), e outro com as médias das regiões (5 amostras) (Gráfico 8). Definindo a variável preditora (x) como o Índice de Cobertura Arbórea por Habitante (ICAH) e a variável resposta (y) como o Produto Interno Bruto (PIB) *per capita*.

Gráfico 7 - Relação do Índice Percentual de Cobertura Arbórea por Habitante (ICAH) e do Produto Interno Bruto (PIB) *per capita* das capitais brasileiras.



Fonte: Autor (2022)

Gráfico 8 - Relação das médias do Índice Percentual de Cobertura Arbórea por Habitante (ICAH) e do Produto Interno Bruto (PIB) *per capita* das capitais brasileiras por região



Fonte: Autor (2022)

As linhas de tendência em ambos os gráficos também foram suavemente crescentes, com valores de coeficientes de determinação (r^2) de 0,0264 (Gráfico 7) e 0,0497 (Gráfico 8), distantes de 1, não é possível afirmar relação entre as variáveis.

3. Conclusão

Embora os resultados não terem demonstrado relação direta dos valores obtidos de cobertura arbórea (PCA e ICAH) com o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) das 27 capitais brasileiras, os valores de PCA e ICAH são de alta representatividade para a situação ambiental dos maiores centros urbanos do Brasil, além da importância dos diversos benefícios gerados pelas árvores para as pessoas que habitam os centros urbanos, como conforto térmico, sensação de bem-estar psicológico, diminuição da poluição sonora e do ar, disponibilidade de ambientes adequados para de atividades de lazer e práticas esportivas, além do papel essencial no equilíbrio ambiental e ecológico.

Além disso, deve-se atentar que, neste estudo, a média geral do Percentual de Cobertura Arbórea (15,28%) foi inferior à 20%, um valor mínimo padrão recomendado pela Urban Forestry e Woodland Advisory Committee Network (2018) para cidades inglesas, de forma que os benefícios da cobertura arbórea em áreas urbanas sejam proporcionados de forma adequada, e que apenas 5 das 27 capitais estudadas (Fortaleza/CE, Porto Velho/RO, Goiânia/GO, Maceió/AL e Natal/RN) apresentaram valores de PCA superiores a 20%.

O caráter informativo desse tipo de levantamento também se apresenta de alta relevância, de forma, cada vez mais, os cidadãos tenham maior participação e cobrança em questões de gestão e políticas públicas voltada em arborização urbana, além de atuações em organizações não governamentais ou beneficentes.

Nota-se que os valores de Percentuais de Cobertura Arbórea (PCA) e dos Índices de Cobertura por habitante (ICAH) neste trabalho devem ser considerados exclusivamente para as áreas utilizadas neste trabalho nas referidas datas das imagens utilizadas, que variou conforme à escolha de imagens com menor presença de nuvens possível.

Dessa forma, algumas considerações devem ser levantadas, primeiramente a desatualização das áreas urbanas em relação à data de elaboração deste trabalho, que pode ser justificada pela escolha de uma padronização pelas áreas urbanas estabelecidas pelo IBGE, um órgão público e de boa confiabilidade, que limitou a escolha dos limites urbanos estabelecidos em 2015, que até o momento de elaboração deste trabalho foi o último ano de levantamento realizado.

Deve-se considerar também, que a presença de nuvens nas capitais: João Pessoa/PB, Maceió/AL, Natal/RN, Recife/PE, Salvador/BA, São Luís/MA, Belém/PA, Macapá/AP, Manaus/AM, Rio de Janeiro/RJ e Vitória/ES, ocorreram pela falta de disponibilidade de imagens do satélite CBERS 04A (WPM) desses locais com 0% de área ocupada por nuvem, até o momento de elaboração deste trabalho, e que, foram feitas periódicas buscas de melhores imagens entre o ano de 2021 até maio de 2022.

4. Referências Bibliográficas

ANDRADE, M.A. **A vida das aves**: Introdução à biologia e conservação. Belo Horizonte: Editora Littera Maciel, 1993. 160p.

ANGEOLETTO, F.; RICHARD, E.; VACCHIANO, M. C.; LEANDRO, D. S.; BOHRER, J. F. C.; LEITE, L. B.; SANTOS, J. W. M. C. **ARBORIZAÇÃO URBANA NO BRASIL**: um reflexo de injustiça ambiental. *Terr Plural*, [S. l.], v. 11, n. 2, p. 291–303, 2011. DOI: 10.5212/terraplural.v.11i2.0008.

ARANTES, Bruna Lara. **Arborização urbana e qualidade do ar na cidade de São Paulo**. [S. l.], p. 87, 2017.

ARONOFF, S. **Geographical Information Systems**: A Management Perspective. Ottawa, WDI Publications, 1989.

ASSAD, E. D.; SANO E.E. **Sistema de informações geográficas**: aplicações na agricultura. Brasília: Embrapa-SPI/ Embrapa-CPAC, 1998.

BARBIRATO, Gianna Melo; TORRES, Simone Carnaúba; SOUZA, Lea Cristina Lucas de. **Clima urbano e eficiência energética nas edificações**. Rio de Janeiro: Procel Edifica, 2011.

BERNATZKY, A. **Tree ecology and preservation**. 2 ed. Amsterdam. Elsevier, 1980. 357p.

BREIMAN, Leo. **Random forests**. *Machine learning*, v. 45, n. 1, p. 5-32, 2001.

BROWN, R.D.; GILLESPIE, T.J. **Microclimatic Landscape Design**: Creating Thermal Comfort and Energy Efficiency..Canada: John Wiley & Sons, Inc., 1995.

CÂMARA, G. **Sistema de informação geográfica para aplicações ambientais e cadastrais**: uma visão geral. Disponível em <[http://www. Dpi.inpe.Br/spring](http://www.Dpi.inpe.Br/spring)>. Acesso em: 30 maio 2006.

CANO, P. L. G.; JUNIOR, J. M. **Aplicação de aprendizado de máquina com dados de sensoriamento remoto para o mapeamento de florestas urbanas**. *Revista Geociências-UNG-Ser*, v. 20, n. 2, p. 16-27, 2021.

CARVALHO, M. V. A.; KUX, H. J. H.; FLORENZANO, T. G.; MOREIRA, M. A. **Fusão de imagens aplicada a estudos urbanos**: avaliação de diferentes técnicas em imagens WorldView-2. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, 30-5 de maio de 2011, Curitiba, PR. Anais... São José dos Campos, SP: INPE, 2011. p. 941-948.

CHANG, Chi-Ru; LI, Ming-Huang. **Effects of urban parks on the local urban thermal environment**. *Urban Forestry & Urban Greening*, v. 13, n. 4, p. 672-681, 2014.

CHANG, C.; LI, M.; CHANG, S. **A preliminary study on the local cool-island intensity of Taipei city parks**. *Landscape and Urban Planning*, Amsterdã, v. 80, p. 386-395, 2007..pr

CIPRIANO, F. F.; LIMA FILHO, LUIZ A.. **ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG), NO CONTROLE DE PERDAS DE ÁGUA NO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO NA CIDADE DE ANÁPOLIS–GO**. 2017.

CLIMATE-DATA. ORG. **Dados climáticos para cidades mundiais**. 2022.

Congalton, R.G. **Accurcy assessment and validation of remotely sensed and other spatial information**. *International Journal of Wildland Fire*, v. 10, p.321-328, 2001

DE LIRA FILHO, José Augusto; MEDEIROS, Maria Aparecida Severo. **Impactos adversos na avifauna causados pelas atividades de arborização urbana**. 2006.

DE SOUZA, Solon Guimarães Xavier et al. **As abelhas sem ferrão (Apidae: Meliponina) residentes no campus Federação/Ondina da Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia, Brasil**. 2015.,

EUGÉNIA GRAÇA MARTINS, Maria. **Coefficiente de determinação**. *Revista de Ciência Elementar*, [S. l.], v. 6, n. 1, p. 24927, 2018. DOI: 10.24927/rce2018.024.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 3 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

FONSECA, Leila M. G.; EPIPHANIO, José C. N.; VALERIANO, Dalton M.; SOARES, João V; DALGE, Julio C. L.; SANTOS, Márcia A. **Earth Observation Applications in Brazil with Focus on the CBERS Program**. [S. l.], n. June, p. 53–55, 2014.

FONSECA, L.M.G. **Processamento digital de imagens**. (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – São José dos Campos), 2000. Apostila curso disciplina SER-437 Processamento Digital de Imagens de Sensores Remotos – Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto.

FORESTRY, U.; NETWORK, W. A. C.; NETWORK, C. **England ' s Urban Forests Using tree canopy cover data to secure**. [S. l.], n. 294344, 2018.

GIZELE KÖNIG BRUN, Flávia; LINK, Dionísio; JOSÉ BRUN, Eleandro. O Emprego Da Arborização Na Manutenção Da Biodiversidade De Fauna Em Áreas Urbanas. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, [S. l.], v. 2, n. 1, p. 117, 2019. DOI: 10.5380/revsbau.v2i1.66253.

GOBO, J. P. A. **Regionalização climática do Rio Grande do Sul com base no zoneamento do conforto térmico humano**. 2013. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

GREY, G. W.; DENEKE, F. J. **Urban forestry**. New York, John Wiley & Sons, 1986. 279p.

HARTLING, S.; SAGAN, V.; MAIMAITIJIANG, M. **Urban tree species classification using UAV-based multi-sensor data fusion and machine learning**. *GIScience & Remote Sensing*, p. 1-26, 2021.

HENRIQUE, Wendel. **O direito à natureza na cidade**. [s.l.: s.n.]. DOI: 10.7476/9788523209117.

HIGA, Leandro et al. **Active Fire Mapping on Brazilian Pantanal Based on Deep Learning and CBERS 04A Imagery**. *Remote Sensing, [S. l.]*, v. 14, n. 3, p. 1–19, 2022. DOI: 10.3390/rs14030688.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER (IARC) / WORLD HEALTH ORGANIZATION. **IARC: Outdoor air pollution a leading environmental cause of cancer deaths**. PRESS RELEASE N° 221, 2013. Disponível em: http://www.iarc.fr/en/media-centre/iarcnews/pdf/pr221_E.pdf. Acesso em: 27 mai. 2022

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Áreas Urbanizadas**, 2015. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/redes-geograficas/15789-areas-urbanizadas.html?=&t=acesso-ao-produto>>. Acesso 01 jul. 2021.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Áreas Urbanizadas do Brasil**. *Ibge*, v. 44, 2017. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/apps/areas_urbanizadas/. Acesso: 01 jul. 2021

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Biomass**, 2019. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/informacoes-ambientais/15842-biomass.html?=&t=acesso-ao-produto>>. Acesso em: 14 mai. 2022.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Malha Municipal**, 2021. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=acesso-ao-produto>>. Acesso: 03 mar. 2022.

CHEDIEK, J.; PERAL, A.; NERI, M. C.; CHAVES, M. **Índice de Desenvolvimento Humano Municipal Brasileiro**. Brasília: PNUD, Ipea, FJP, 2013

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Tabela 1.6 - **População nos Censos Demográficos, segundo os municípios das capitais - 1872/2010**. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=6>>. Acesso: 01 mai. 2021.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Proporção da população do município da capital em relação a da Unidade da Federação, nos Censos Demográficos, segundo os municípios das capitais - 2000/2010**. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=7&uf=00>. Acesso: 01 mai. 2021.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produto Interno Bruto - PIB**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/pib.php#:~:text=O%20que%20%C3%A9%20o%20PIB,R%24%208%2C7%20trilh%C3%B5es>>. Acesso: 01 mai. 2022.

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Sobre o CBERS**, 2018. Disponível em: <<http://www.cbbers.inpe.br/sobre/index.php>>. Acesso: 01 mai. 2022.

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Câmeras Imageadoras CBERS 04A**, 2019. Disponível em: <<http://www.cbbers.inpe.br/sobre/cameras/cbbers04a.php>>. Acesso: 01 mai. 2022.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres**. Tradução: José Carlos Neves Epiphanyo (Coordenador) [et. al.]. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009.

JONSSON, Per. **Vegetation as an urban climate control in the subtropical city of Gaborone, Botswana**. *International Journal of Climatology*, [S. l.], v. 24, n. 10, p. 1307–1322, 2004. DOI: 10.1002/joc.1064.

JUNG, Martin. **Ecological Informatics LecoS — A python plugin for automated landscape ecology analysis**. *Ecological Informatics*, [S. l.], v. 31, p. 18–21, 2016. DOI: 10.1016/j.ecoinf.2015.11.006. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoinf.2015.11.006>.

LANDIS, J. Richard; KOCH, Gary G. **The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data**. *Biometrics*, [S. l.], v. 33, n. 1, p. 159, 1977. DOI: 10.2307/2529310.

LEONARDI, Fernando et al. **Fusao de imagens cbbers 2b: Ccd-hrc**. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), v. 14, p. 6951-6958, 2009.

LOBODA, Carlos Roberto; DEANGELIS, Bruno Luiz Domingos. **Áreas Verdes Públicas Urbanas: Conceitos, usos e funções**. *Ambiência - Revista do Centro de Ciências Agrárias e Ambientais*, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 125–139, 2005.

Ma, L.; Li, M.; Ma, X.; Cheng, L.; Du, P.; Liu, Y. **A review of supervised object-based land-cover image classification**. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 2017, 130, 277–293.

MASCHLER, J.; ATZBERGER, C.; IMMITZER, M. **Individual tree crown segmentation and classification of 13 tree species using airborne hyperspectral data**. *Remote Sensing*, v. 10, n. 8, p. 1218, 2018.

MENEGHETTI, Gabriela Ignarra Pedreira. **Estudo de dois métodos de amostragem para inventário da arborização de ruas dos bairros da orla marítima do município de Santos, SP**. Escola Superior Agrícola" Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba, p. 98, 2003.

ARAÚJO, Rosana Matos de. **Natureza na Cidade**: Reflexos de visões de natureza sobre modelos urbanos. 2006..

MENDONÇA, Luciana Baza; ANJOS, Luiz Dos. **Beija-flores (Aves, Trochilidae) e seus recursos florais em uma área urbana do Sul do Brasil**. Revista Brasileira de Zoologia, [S. l.], v. 22, n. 1, p. 51–59, 2005. DOI: 10.1590/s0101-81752005000100007.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Universidade de Brasília: Brasília, 2012.

MESQUITA, L. B. **Memórias do verde urbano do Recife**. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE ARBORIZAÇÃO URBANA, 3., Salvador, 1996. Anais. Salvador, 1996. p.60-70.

MILANO, M. S.; DALCIN, E. **Arborização de vias públicas**. Rio de Janeiro: Light, 2000. 226p.

MONTEIRO, C.A de F. , MENDONÇA, F. (Org.) **Clima urbano**. São Paulo: Contexto, 2003.

MORAKINYO, Tobi Eniolu; LAU, Kevin Ka Lun; REN, Chao; NG, Edward. **Performance of Hong Kong's common trees species for outdoor temperature regulation, thermal comfort and energy saving**. Building and Environment, [S. l.], v. 137, n. January, p. 157–170, 2018. DOI: 10.1016/j.buildenv.2018.04.012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.04.012>.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 2.ed. Viçosa: UFV, 2003. 307p.

MOREIRA, T. C. L.; SILVA FILHO, D. F.; POLIZEL, J. L. **Extração de cobertura arbórea intra-urbana de imagens de alta resolução**. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, v. 13, p. 5403-5409, 2007.

NERY, César Vinícius Mendes; FERNANDES, Fernando Hiago Souza; MOREIRA, Adriana Aparecida; BRAGA, Fernando Luiz. Avaliação das Técnicas de Classificação MAXVER, MAXVER – ICM e Distância Mínima Euclidiana de acordo com Índice Kappa. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S. l.], v. 06, n. 2, p. 320–328, 2013.

LIMA NETO, Everaldo Marques de. **Aplicação do sistema de informações geográficas para o inventário da arborização de ruas de Curitiba**, PR. 2011.

NOVO, E. M. **Sensoriamento remoto**: princípios e aplicações. Edgard Blücher, 1992.

OLIVA, G. T. **Relação do conforto humano com métricas de cobertura arbórea**. [S. l.], p. 99, 2016.

PAL, Mahesh. **Random forest classifier for remote sensing classification**. International journal of remote sensing, v. 26, n. 1, p. 217-222, 2005.

PEIXOTO, M. C.; LABAKI, L. C.; SANTOS, R. F.; **Conforto Térmico nas Cidades: Avaliação de Efeitos da Arborização no Controle da Radiação Solar**. In: ENTAC - ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONTRUIDO, 1995, Rio de Janeiro, RJ. Anais... Rio de Janeiro, RJ: ANTAC, 1995. p. 629- 634

PERSSON, M.; LINDBERG, E.; REESE, H. **Tree species classification with multi-temporal Sentinel-2 data**. Remote Sensing, v. 10, n. 11, p. 1794, 2018.

PUISSANT, A.; ROUGIER, S.; STUMPF, A. **Object-oriented mapping of urban trees using Random Forest classifiers**. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, v. 26, p. 235-245, 2014.

RAŠKOVIĆ, Silvia; DECKER, Reinhold. **The influence of trees on the perception of urban squares**. Urban Forestry & Urban Greening, v. 14, n. 2, p. 237-245, 2015.

RODRIGUES, Cristina Aparecida Gonçalves; BEZERRA, Bernardino da Costa; ISHII, Iria Hiromi; CARDOSO, Evaldo Luis; SORIANO, Balbina Maria Araújo; OLIVEIRA, Henrique De. **Árvores : Importância Para a Arborização Urbana**. [S. l.], p. 2, 2008. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAP-2009-09/56879/1/FOL140.pdf>.

RODRIGUES, CRistina Aparecida Gonçalves; BEZERRA, Bernardino da Costa; ISHII, Iria Hiromi; CARDOSO, Evaldo Luis; SORIANO, Balbina Maria Araújo; OLIVEIRA, Henrique De. **Arborização Urbana e Produção de Mudanças de Essências Florestais Nativas em Corumbá, MS**. EMBRAPA Pantanal. Documentos 42, [S. l.], p. 26p, 2002.

RODRIGUES, Mikael Timóteo; RODRIGUES, Bruno Timóteo; GEHRING, Lincoln; SOUZA, Felipe De; TAGLIARINI, Nogueira; LEME, Mateus De Campos; LUIZE, Flávia; SOUZA, Pereira De. **Geoprocessamento, Sensoriamento Remoto, Processamento de Imagens, Uso do solo**. [S. l.], p. 2446–2449, [s.d.].

ROSA, R. Geotecnologias na Geografia aplicada; GEOTECHNOLOGIES ON APPLIED GEOGRAPHIE. **Revista do Departamento de Geografia**, [S. l.], v. 16, p. 81–90, 2005. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47288>.

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. Uberlândia: EDUFU, 2009.

SHASHUA-BAR, L.; HOFFMAN, M. E.; TZAMIR, Y.; **Integrated thermal effects of generic built forms and vegetation on the UCL microclimate**. Building and Environment, v.41, p. 343-354, 2005.

SANCHOTENE, M.C.C. **Frutíferas nativas úteis à fauna na arborização urbana**. Porto Alegre: Sagra, 1989.

SCHUCH, Mara Ione Sarturi. **Arborização urbana**: uma contribuição à qualidade de vida com uso de geotecnologias. Dissertação de mestrado. UFSM, [S. l.], p. 102, 2006.

SEGAWA, H. **Ao amor do público**: jardins no Brasil. São Paulo: Studio Nobel: FAPESP, 1996. 255p.

SILVA, E. R. M.; ROCHA, E. J. P.; BARBOSA, I. C. C.; SILVA, H. J. F.; COSTA, L. G. S. **Diagnóstico Ambiental da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Apeú através de Fatores Geoambientais e Climáticos**. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, [S. l.], v. 11, n. 3, p. 137–154, 2020. DOI: 10.6008/cbpc2179-6858.2020.003.0013.

SILVA FILHO, Demóstenes Ferreira Da; PIZETTA, Patrícia Unger César; ALMEIDA, João Batista Salmito Alves De; PIVETTA, Kathia Fernandes Lopes; FERRAUDO, Antônio Sérgio. **Banco de dados relacional para cadastro, avaliação e manejo da arborização em vias públicas**. Revista Árvore, [S. l.], v. 26, n. 5, p. 629–642, 2002. DOI: 10.1590/s0100-67622002000500014.

SILVA FILHO, D.F. **Aplicação de videografia aérea multiespectral na avaliação de floresta urbana**. 2004. 88 f. Tese (Doutorado em Agronomia), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2004.

SILVA, R. S.; MAGALHÃES, H. **Ecotécnicas urbanas**. Ciência & Ambiente. n. 7, p. 33 -42. 1993.

TANGERINO, D. F.; LOURENÇO, R. T. **Comparação da exatidão de métodos de classificação supervisionada e não supervisionada a partir do índice kappa na microbacia do Ribeirão Duas Águas em Botucatu/SP**. XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, v. 4093, 2013.

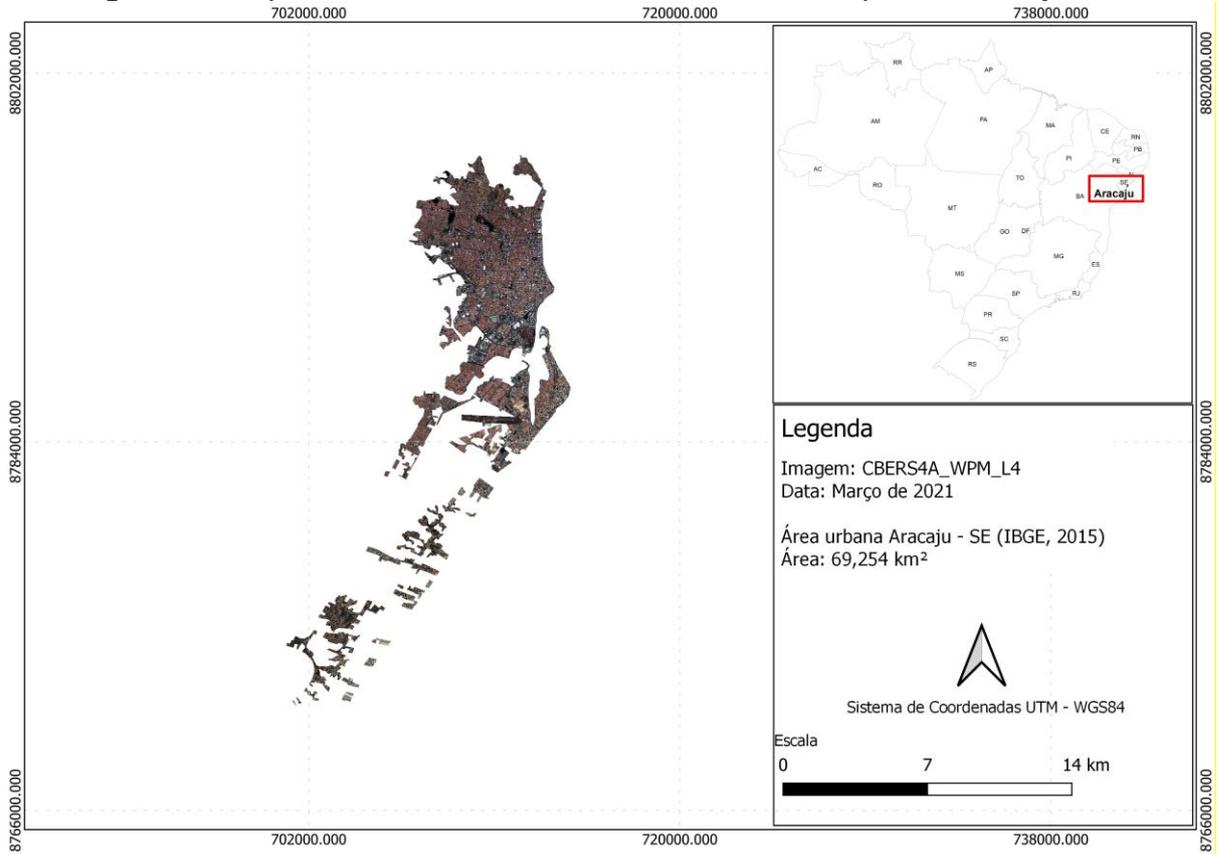
TEIXEIRA, Italo Filippi; GONÇALVES, Everton Bastos. Determinação Do Percentual De Cobertura Arbórea (Pca) É Do Índice De Cobertura Arbórea Por Habitante (Icah) Para a Área Urbana De São Gabriel – Rs, Através De Imagens Do Satélite Rapideye / Determination of the Percentage of Arboreal Coverage (Pca) and th. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 6, n. 9, p. 64126–64139, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n9-009.

ZHANG, Yun. **Problems in the fusion of commercial high-resolution satellite as well as Landsat 7 images and initial solutions**. International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences, v. 34, n. 4, p. 587-592, 2002.

ANEXOS

ANEXO 1

Figura 4 - Mapa da área urbana dentro do limite municipal de Aracaju - SE



Fonte: Autor (2022)

Figura 5 - Mapa temático da área urbana de Aracaju - SE

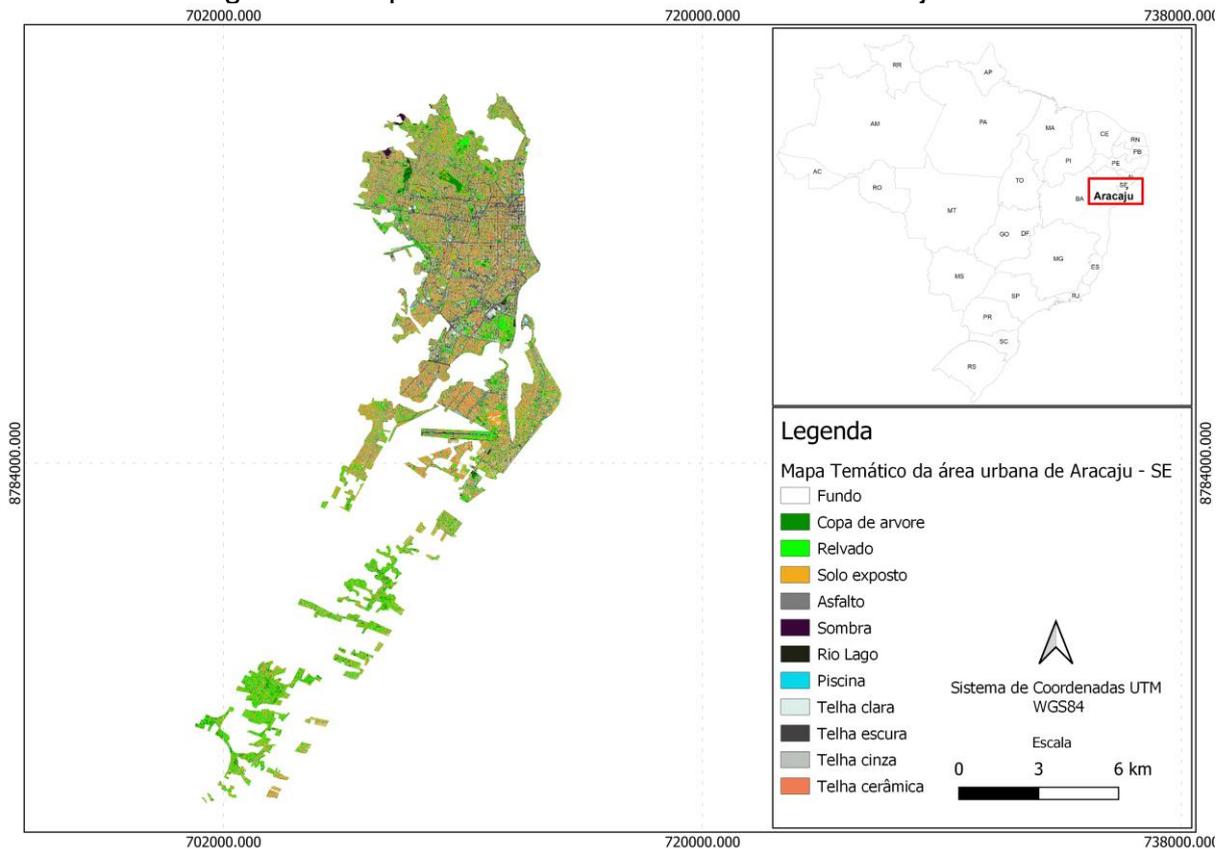


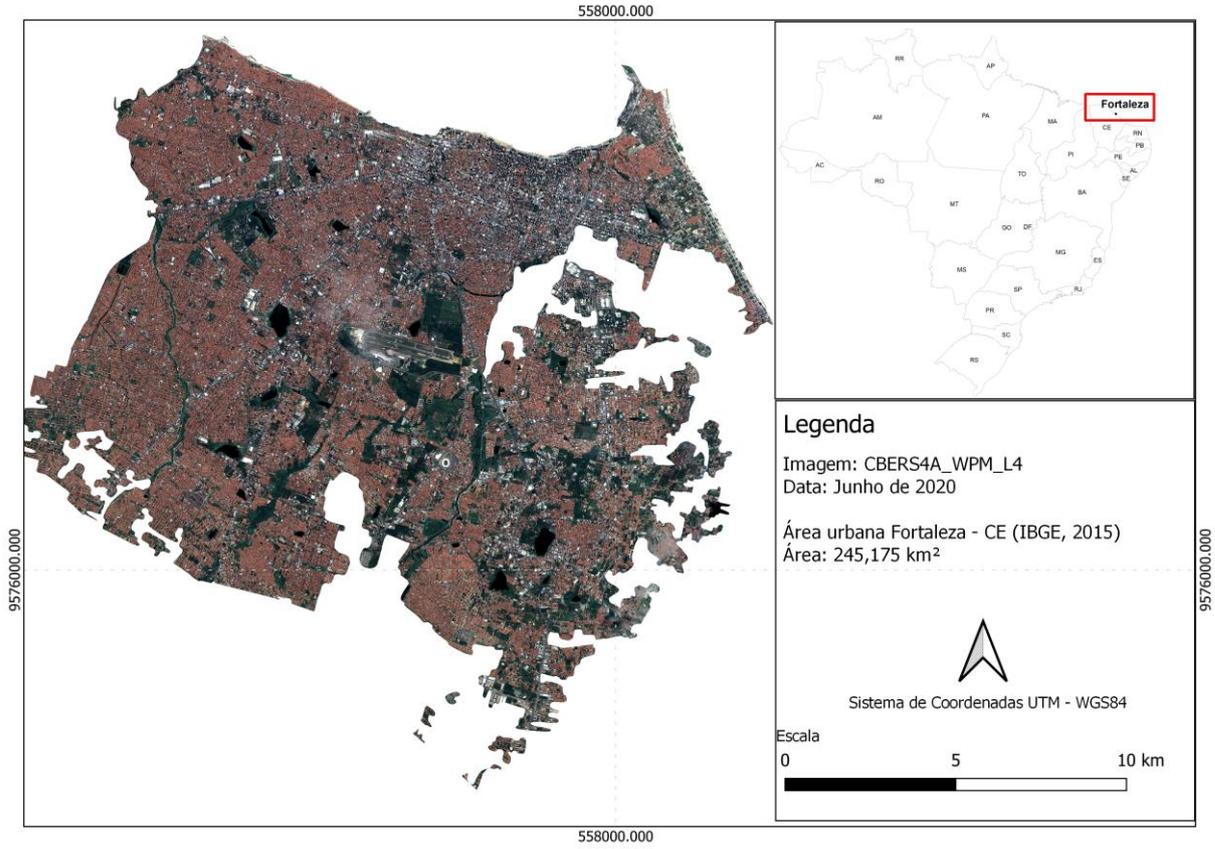
Tabela 10 - Proporção das classes temáticas de Aracaju –SE

Classes	Proporção
Copa de Árvore	4,11%
Gramíneas	17,10%
Solo Exposto	25,97%
Asfalto	10,16%
Sombra	1,66%
Rio ou Lago	0,23%
Piscina	4,00%
Telha Clara	3,51%
Telha Escura	8,65%
Telha Cinza	15,79%
Telha Cerâmica	8,81%

Fonte: Autor (2022)

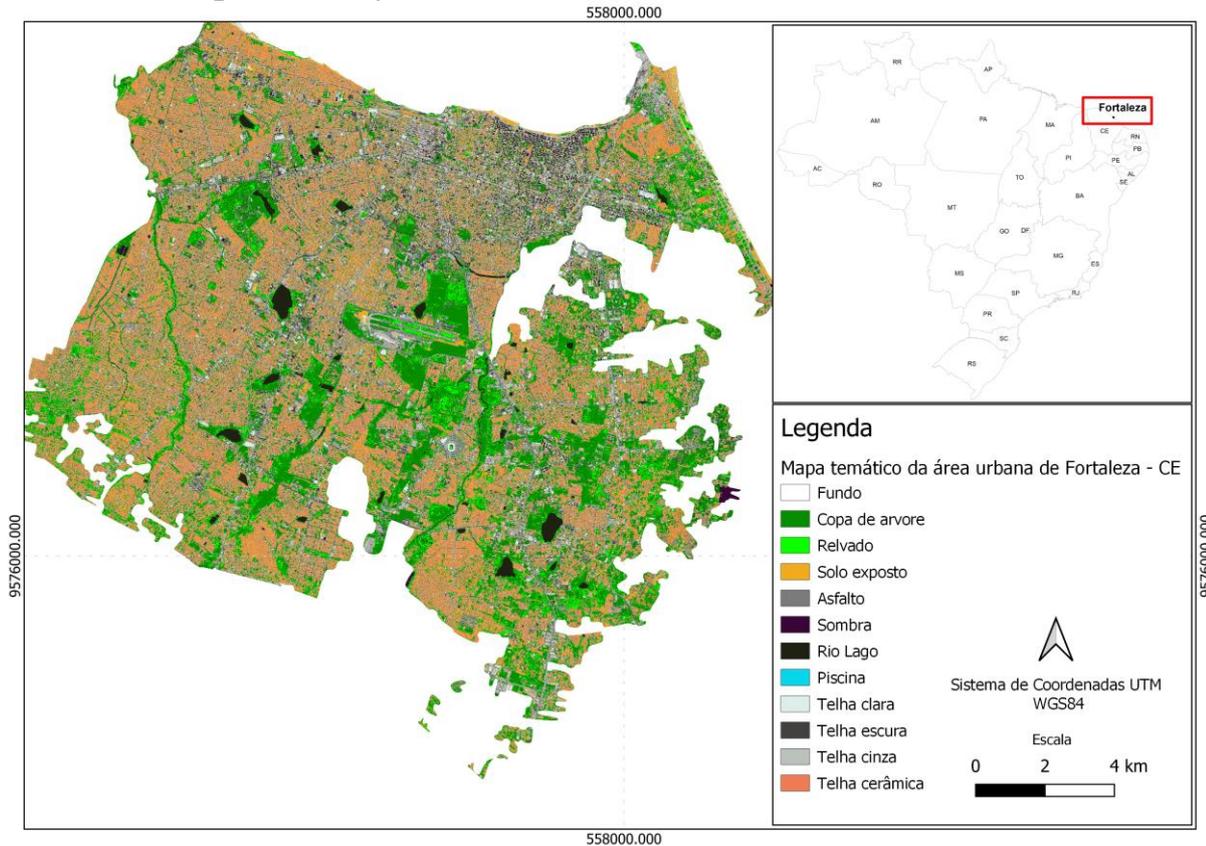
ANEXO 2

Figura 6 - Mapa da área urbana dentro do limite municipal de Fortaleza - CE



Fonte: Autor (2022)

Figura 7 - Mapa temático da área urbana de Fortaleza - CE



Fonte: Autor (2022)

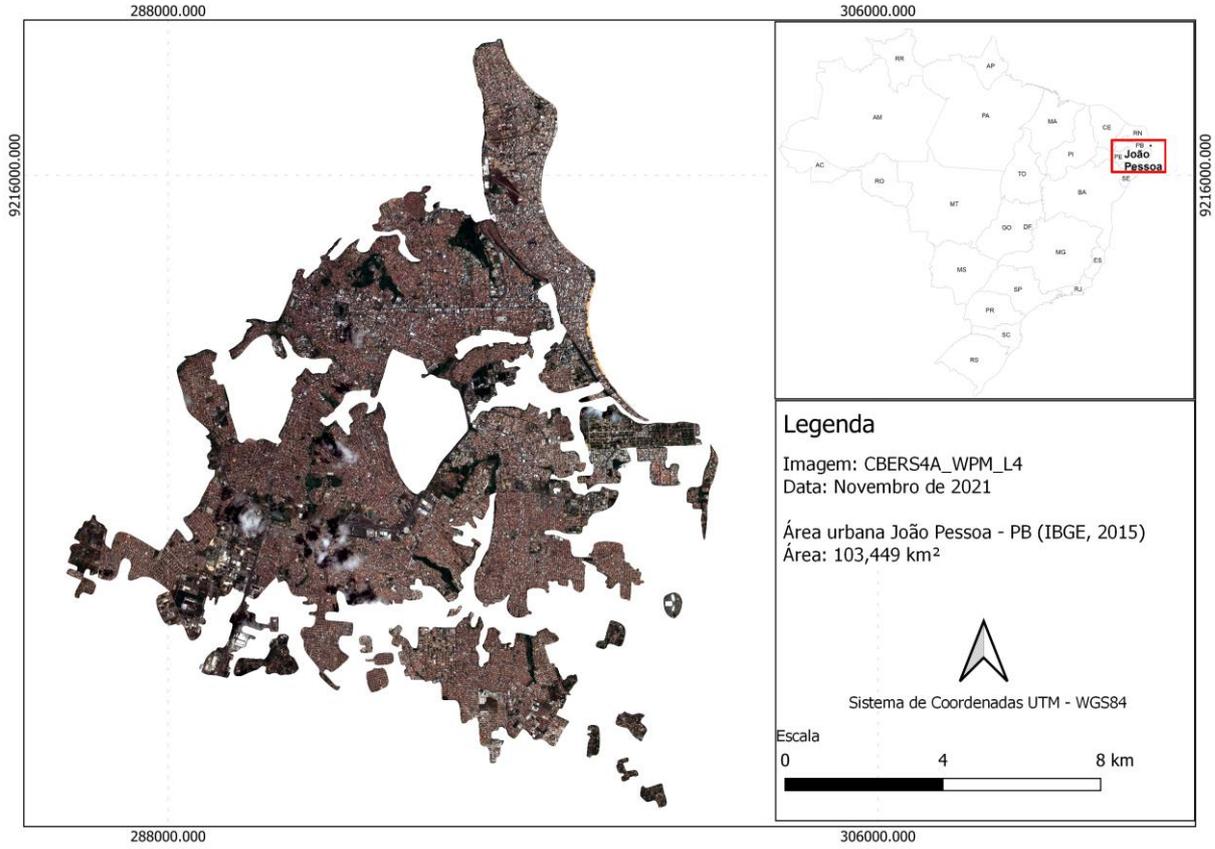
Tabela 11 - Proporção das classes temáticas de Fortaleza - CE

Classes	Proporção
Copa de árvore	23,06%
Gramíneas	5,38%
Solo exposto	14,23%
Asfalto	15,54%
Sombra	1,45%
Rio ou lago	1,56%
Piscina	0,00%
Telha clara	1,86%
Telha escura	3,48%
Telha cinza	18,06%
Telha cerâmica	15,38%

Fonte: Autor (2022)

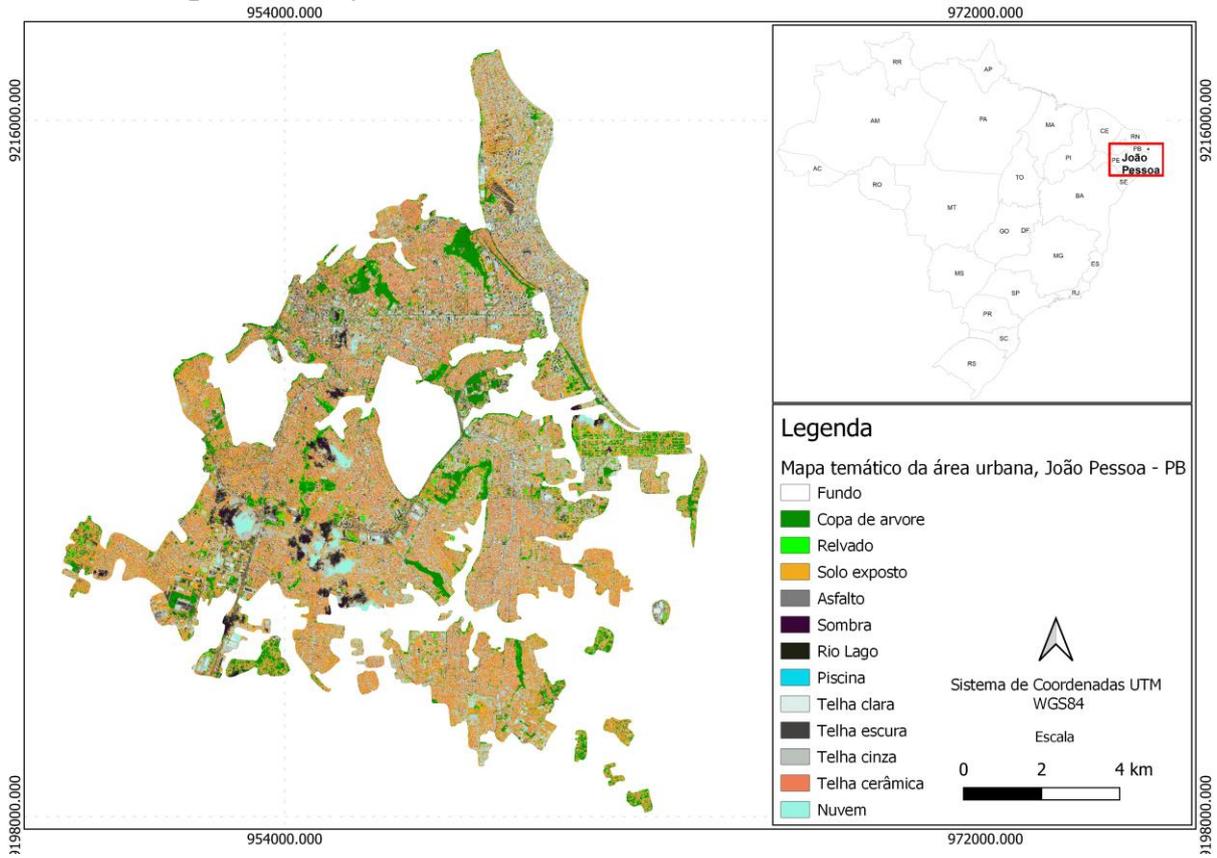
ANEXO 3

Figura 8 - Mapa da área urbana do limite municipal de João Pessoa - PB



Fonte: Autor (2022)

Figura 9 - Mapa temático da área urbana de João Pessoa - PB



Fonte: Autor (2022)

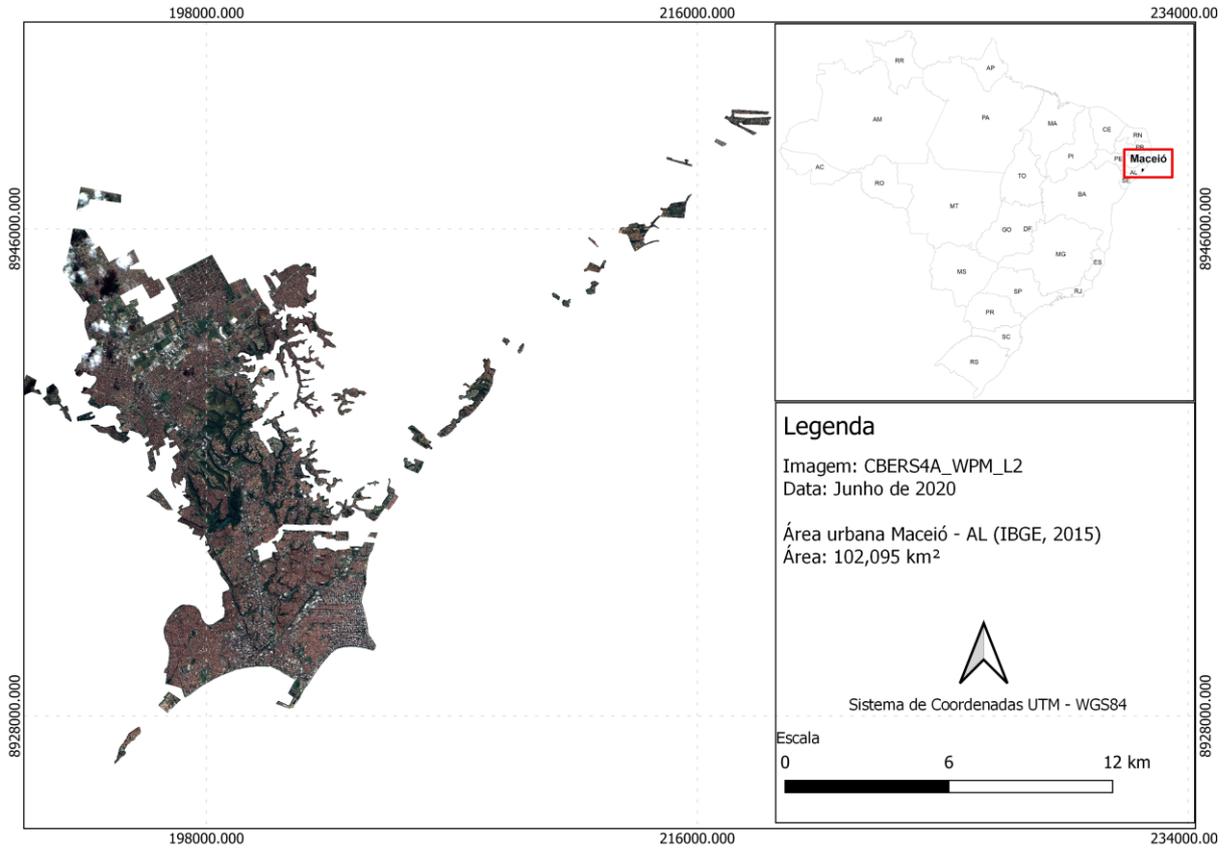
Tabela 12 - Proporção das classes temáticas de João Pessoa - PB

Classes	Proporção
Copa de árvore	7,56%
Gramíneas	4,21%
Solo exposto	24,06%
Asfalto	5,14%
Sombra	0,45%
Rio ou lago	0,78%
Piscina	0,02%
Telha clara	1,46%
Telha escura	6,68%
Telha cinza	23,80%
Telha cerâmica	19,73%
Nuvem	6,10%

Fonte: Autor (2022)

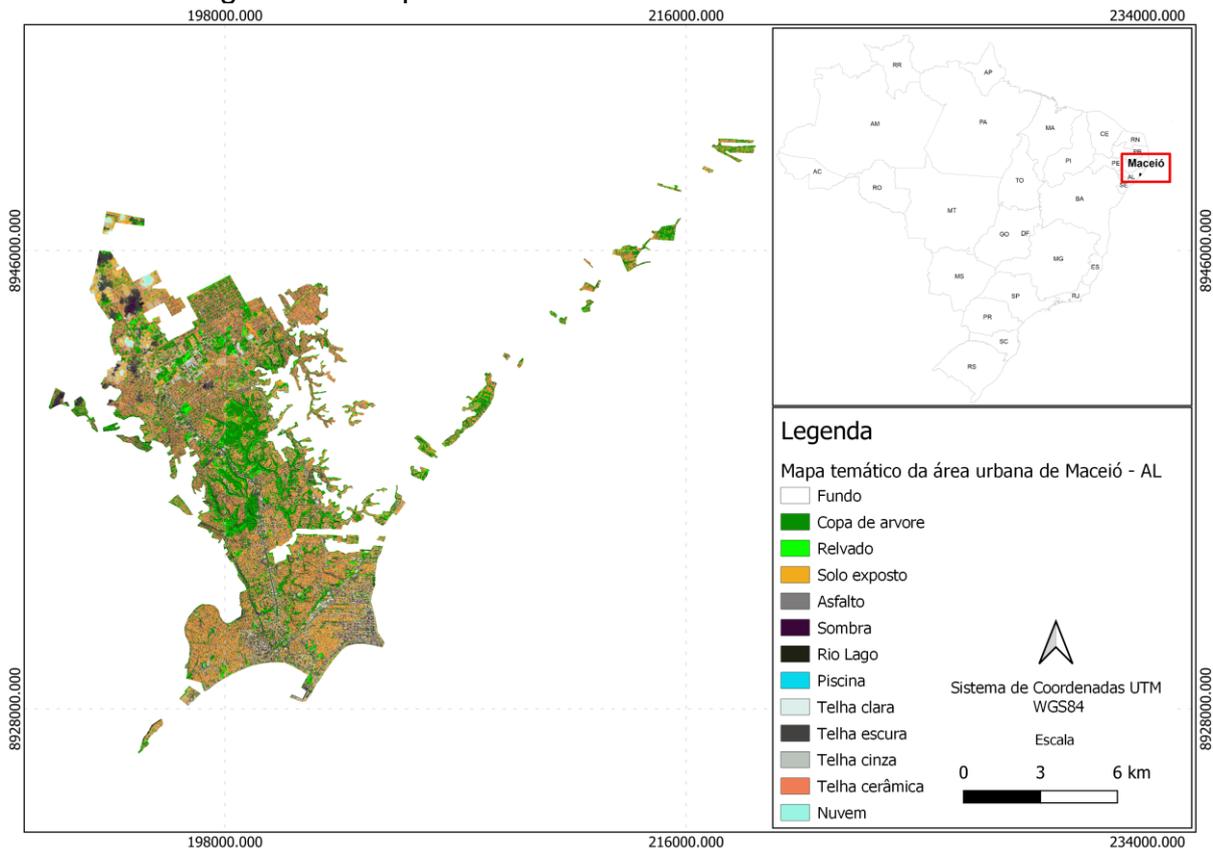
ANEXO 4

Figura 10 - Mapa da área urbana dentro do limite municipal de Maceió - AL



Fonte: Autor (2022)

Figura 11 - Mapa temático da área urbana de Maceió - AL



Fonte: Autor (2022)

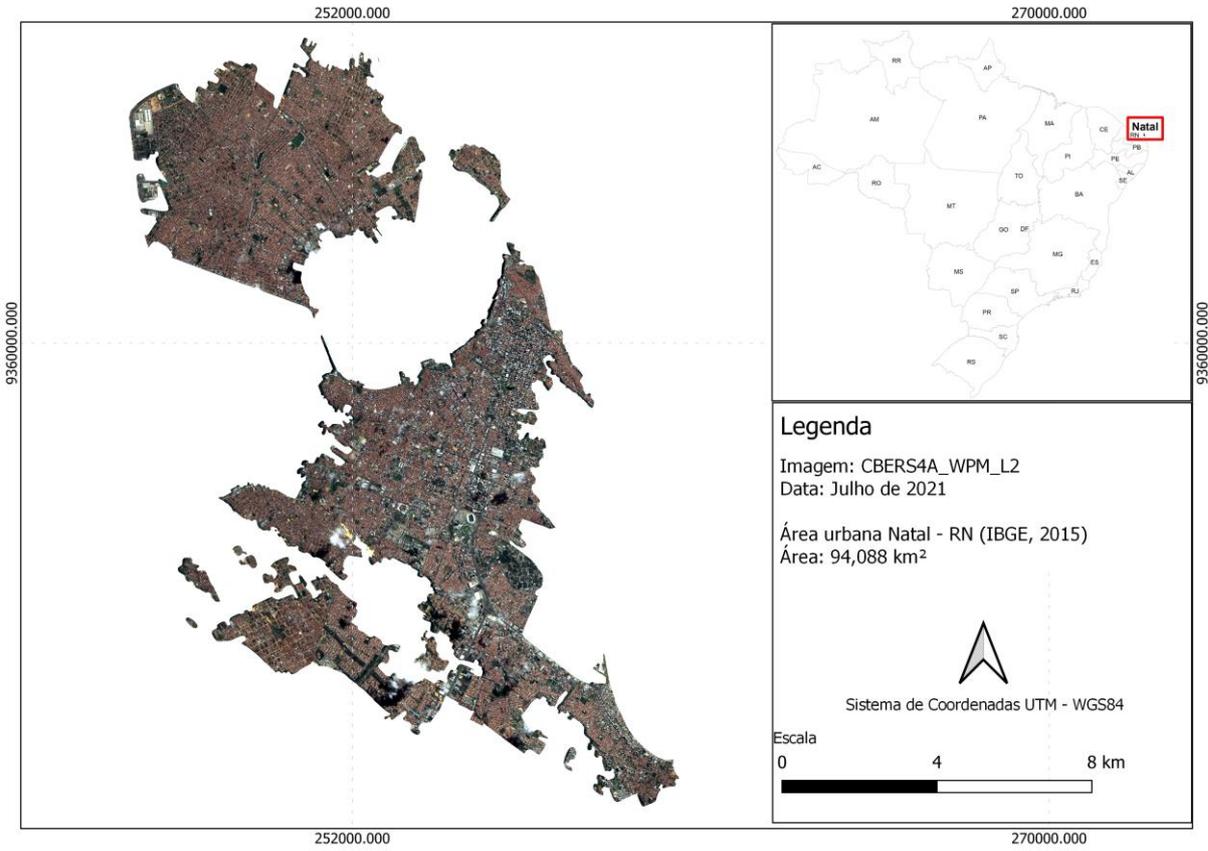
Tabela 13 - Proporção das classes temáticas de Maceió - AL

Classes	Proporção
Copa de árvore	21,21%
Gramíneas	4,77%
Solo Exposto	19,28%
Asfalto	5,11%
Sombra	1,49%
Rio ou lago	0,21%
Piscina	0,16%
Telha clara	1,71%
Telha escura	17,39%
Telha cinza	10,99%
Telha cerâmica	17,34%
Nuvem	0,35%

Fonte: Autor (2022)

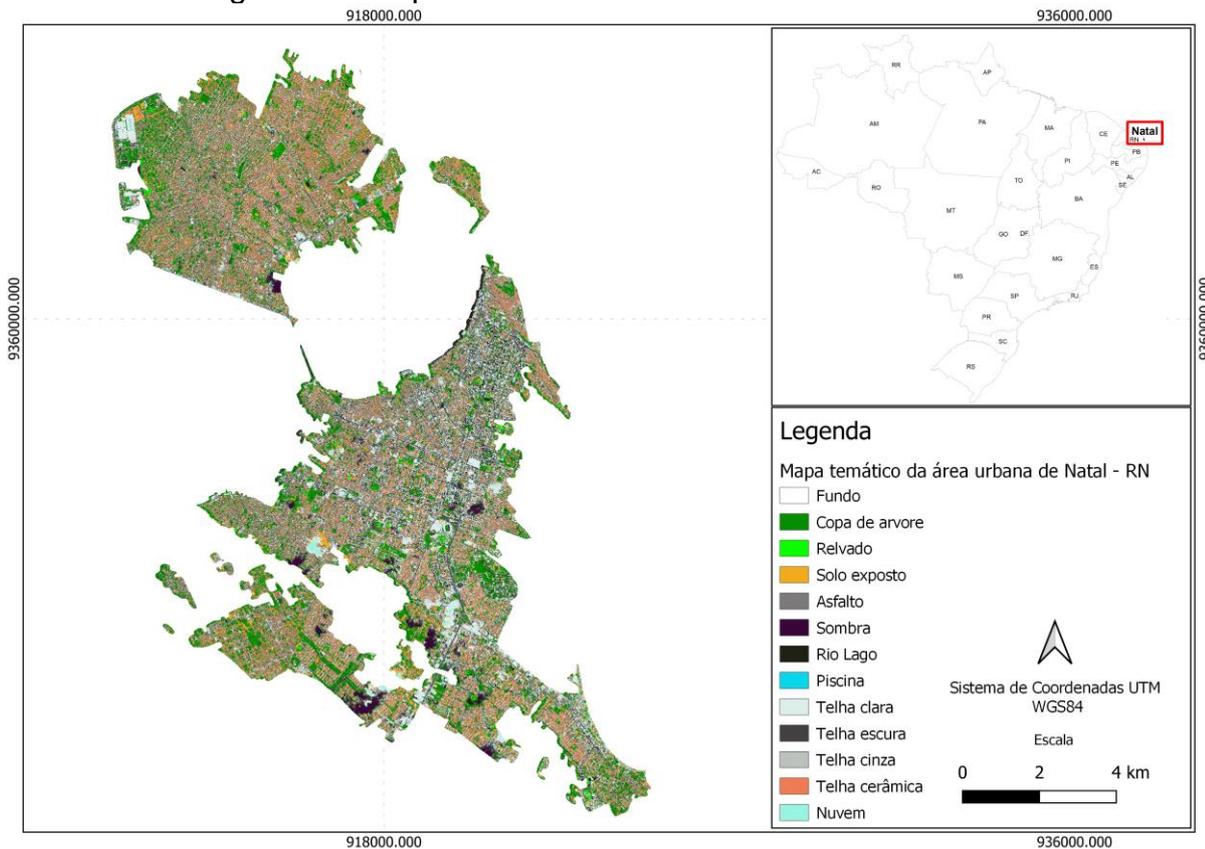
ANEXO 5

Figura 12 - Mapa da área urbana dentro do limite municipal de Natal - RN



Fonte: Autor (2022)

Figura 13 - Mapa temático da área urbana de Natal - RN



Fonte: Autor (2022)

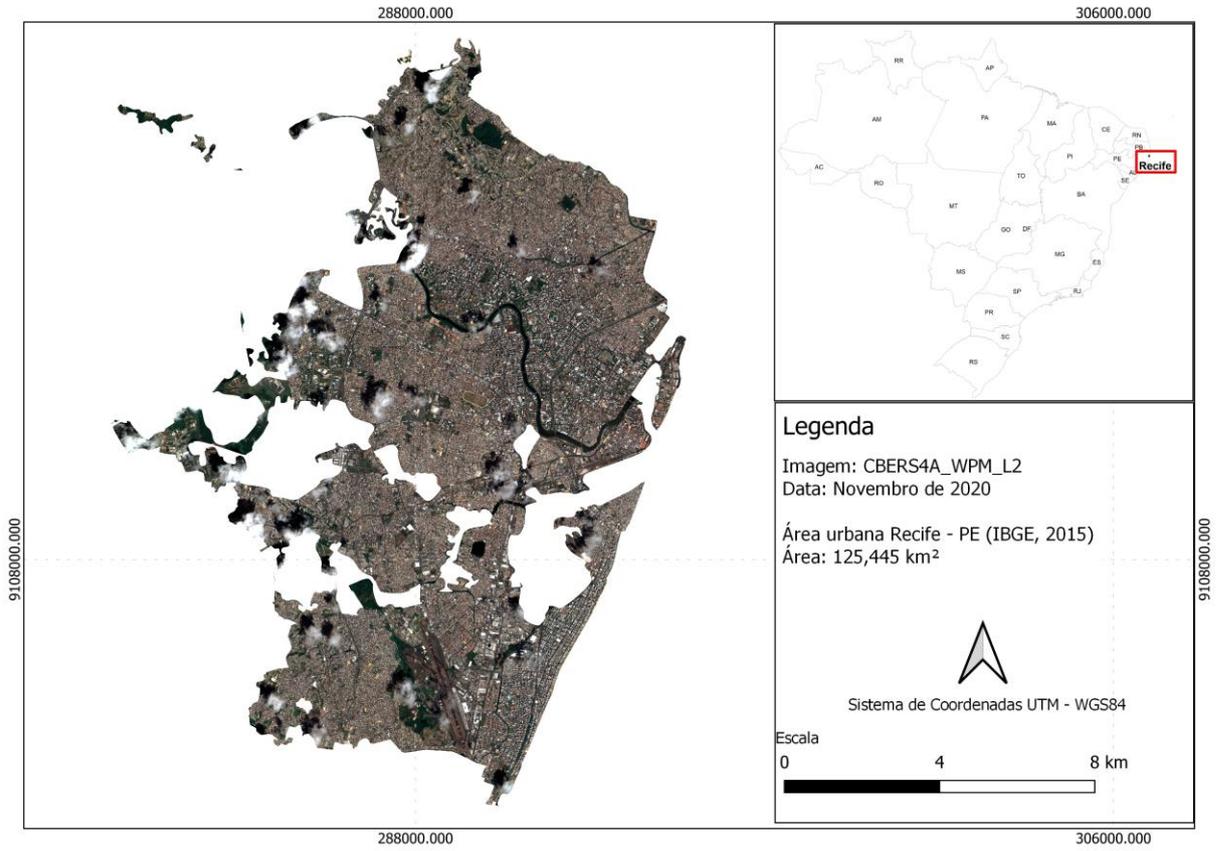
Tabela 14 - Proporção das classes temáticas de Natal - RN

Classes	Proporção
Copa de Árvore	20,80%
Gramíneas	1,17%
Solo Exposto	3,91%
Asfalto	19,53%
Sombra	2,16%
Rio ou Lago	0,69%
Piscina	0,36%
Telha Clara	15,10%
Telha Escura	10,30%
Telha Cinza	7,52%
Telha Cerâmica	17,37%
Nuvem	1,10%

Fonte: Autor (2022)

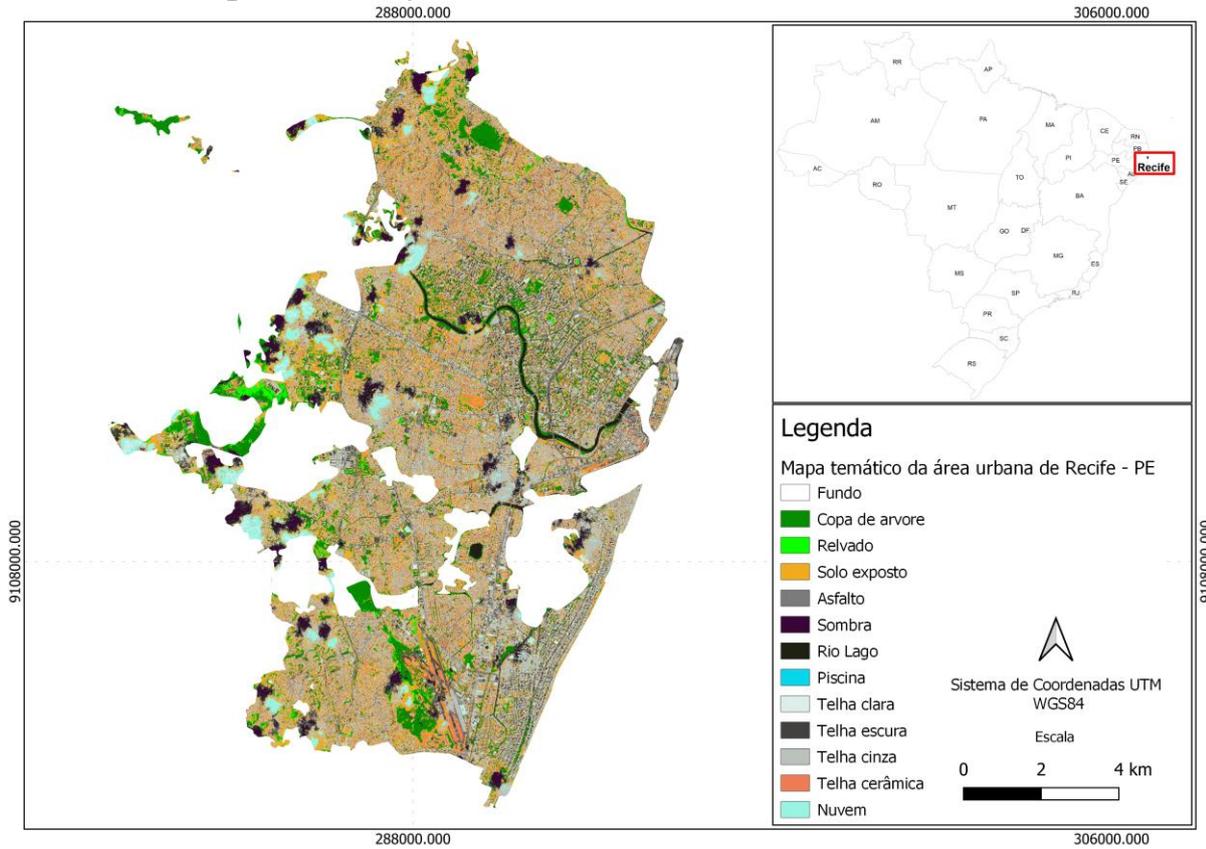
ANEXO 6

Figura 14 - Mapa da área urbana dentro do limite municipal de Recife - PE



Fonte: Autor (2022)

Figura 15 - Mapa temático da área urbana de Recife - PE



Fonte: Autor (2022)

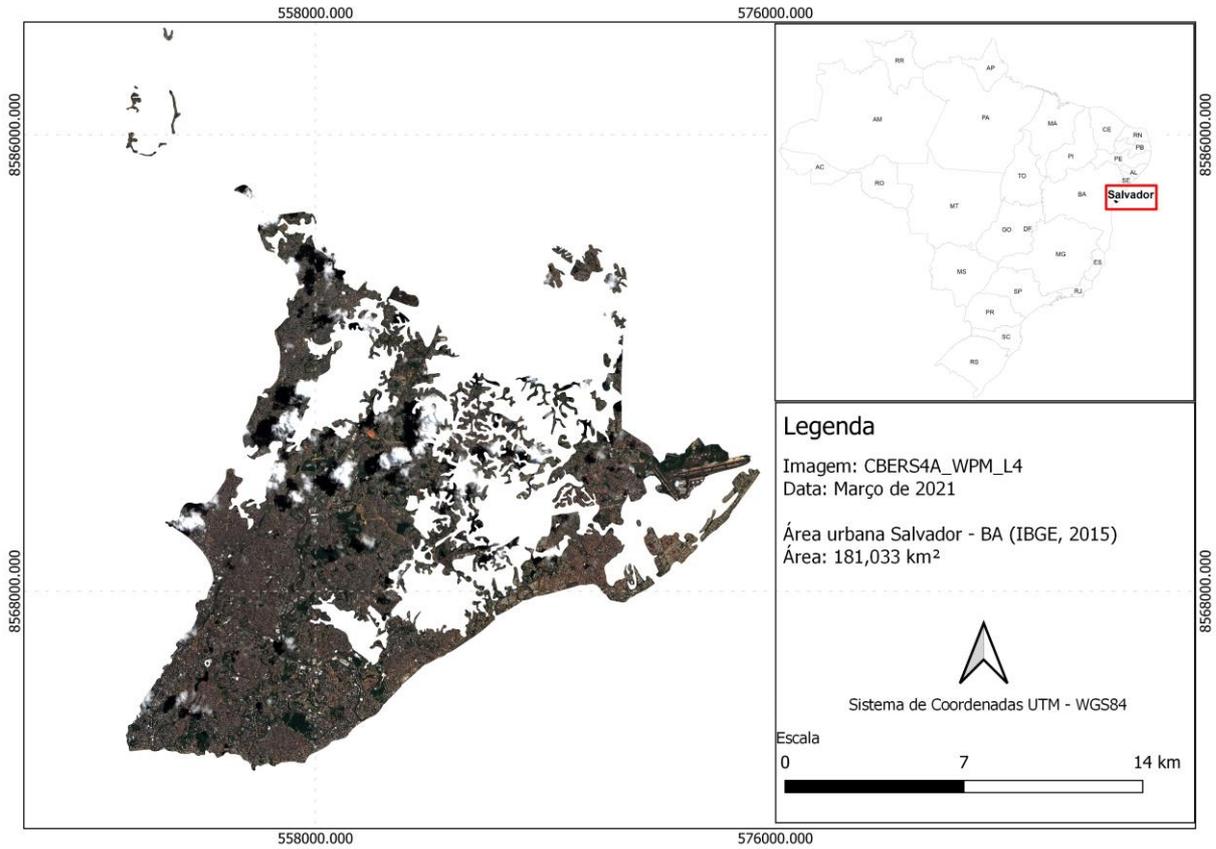
Tabela 15 - Proporção das classes temáticas de Recife - PE

Classes	Proporção
Copa de Árvore	8,92%
Gramíneas	2,24%
Solo Exposto	20,34%
Asfalto	7,59%
Sombra	3,15%
Rio ou Lago	1,38%
Piscina	0,02%
Telha Clara	1,55%
Telha Escura	8,52%
Telha Cinza	27,32%
Telha Cerâmica	12,99%
Nuvem	5,97%

Fonte: Autor (2022)

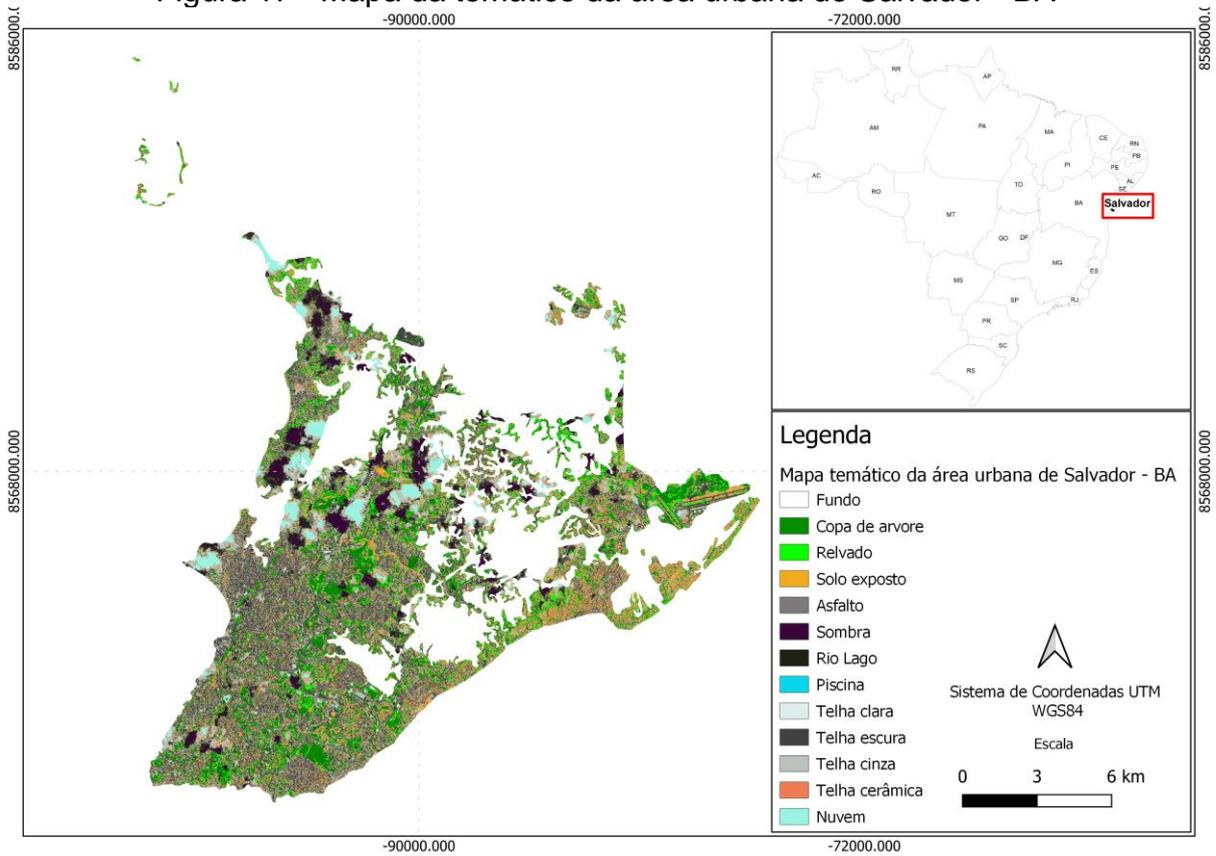
ANEXO 7

Figura 16 - Mapa da área urbana dentro do limite municipal de Salvador - BA



Fonte: Autor (2022)

Figura 17 - Mapa da temática da área urbana de Salvador - BA



Fonte: Autor (2022)

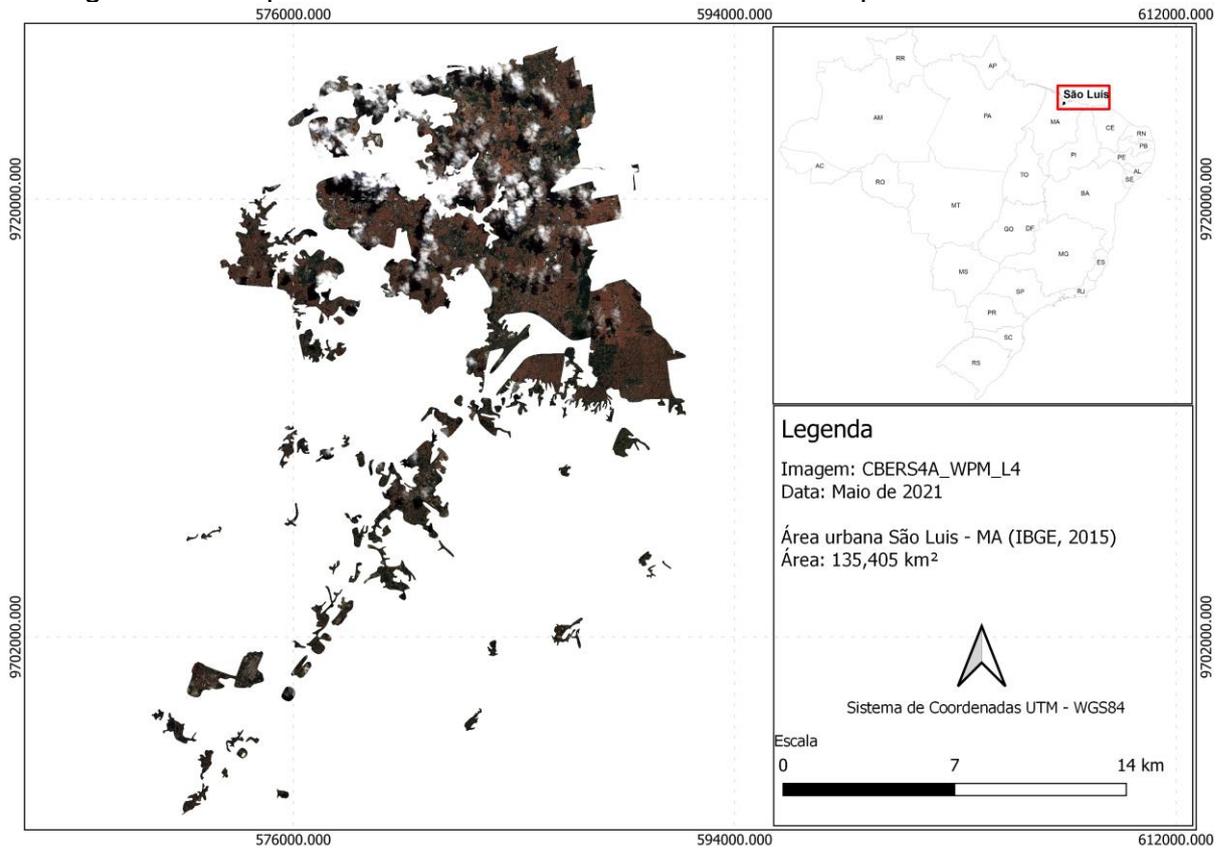
Tabela 16 - Proporção das classes temáticas de Salvador - BA

Classes	Proporção
Copa de Árvore	9,28%
Gramíneas	10,42%
Solo Exposto	7,86%
Asfalto	2,25%
Sombra	3,91%
Rio ou Lago	2,83%
Piscina	0,14%
Telha Clara	0,56%
Telha Escura	29,53%
Telha Cinza	19,04%
Telha Cerâmica	9,96%
Nuvem	4,22%

Fonte: Autor (2022)

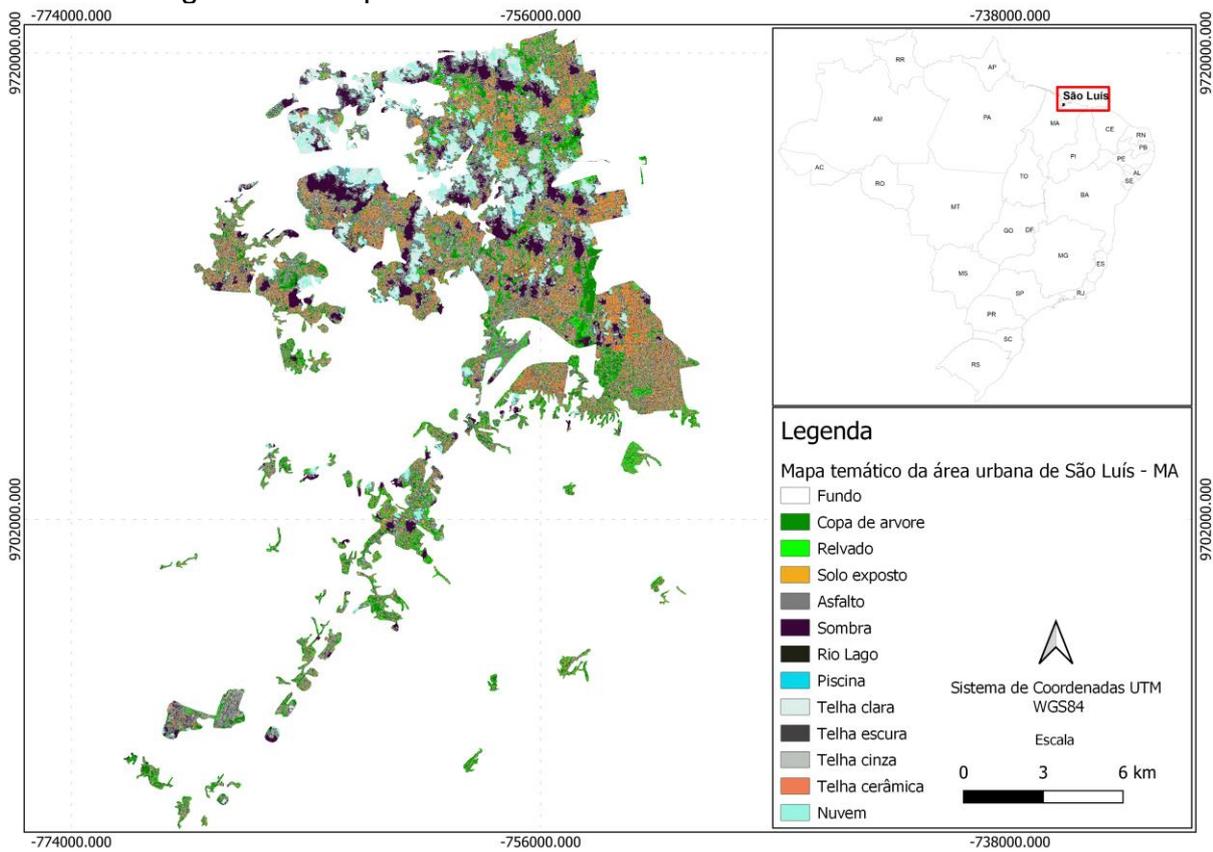
ANEXO 8

Figura 18 - Mapa da área urbana dentro do limite municipal de São Luis - MA



Fonte: Autor (2022)

Figura 19 - Mapa da temática da área urbana de São Luís - MA



Fonte: Autor (2022)

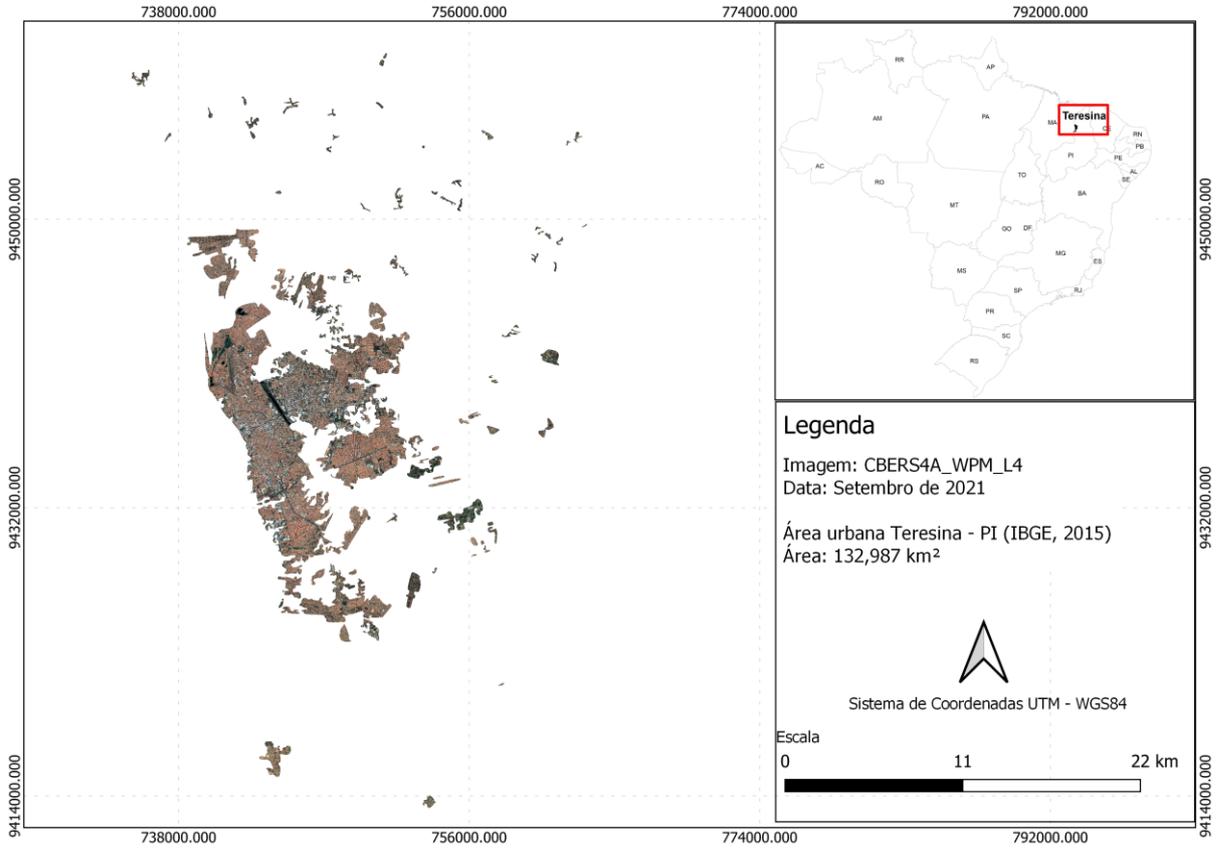
Tabela 17 - Proporção das classes temáticas de São Luís - MA

Classes	Proporção
Copa de Árvore	11,03%
Gramíneas	6,18%
Solo Exposto	6,45%
Asfalto	19,78%
Sombra	10,47%
Rio ou Lago	0,02%
Piscina	0,70%
Telha Clara	7,03%
Telha Escura	11,59%
Telha Cinza	8,86%
Telha Cerâmica	9,54%
Nuvem	8,35%

Fonte: Autor (2022)

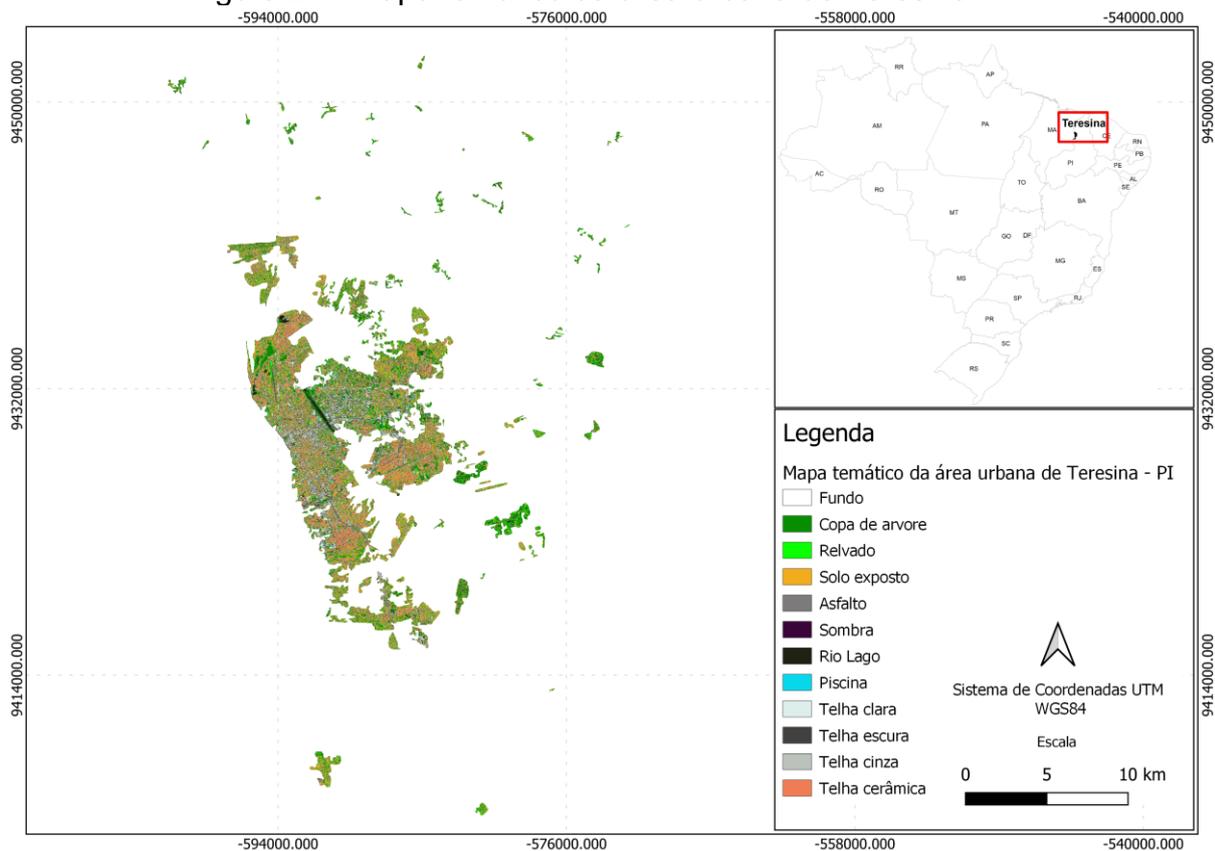
ANEXO 9

Figura 20 - Mapa da área urbana dentro do limite municipal de Teresina - PI



Fonte: Autor (2022)

Figura 21 - Mapa temático da área urbana de Teresina - PI



Fonte: Autor (2022)

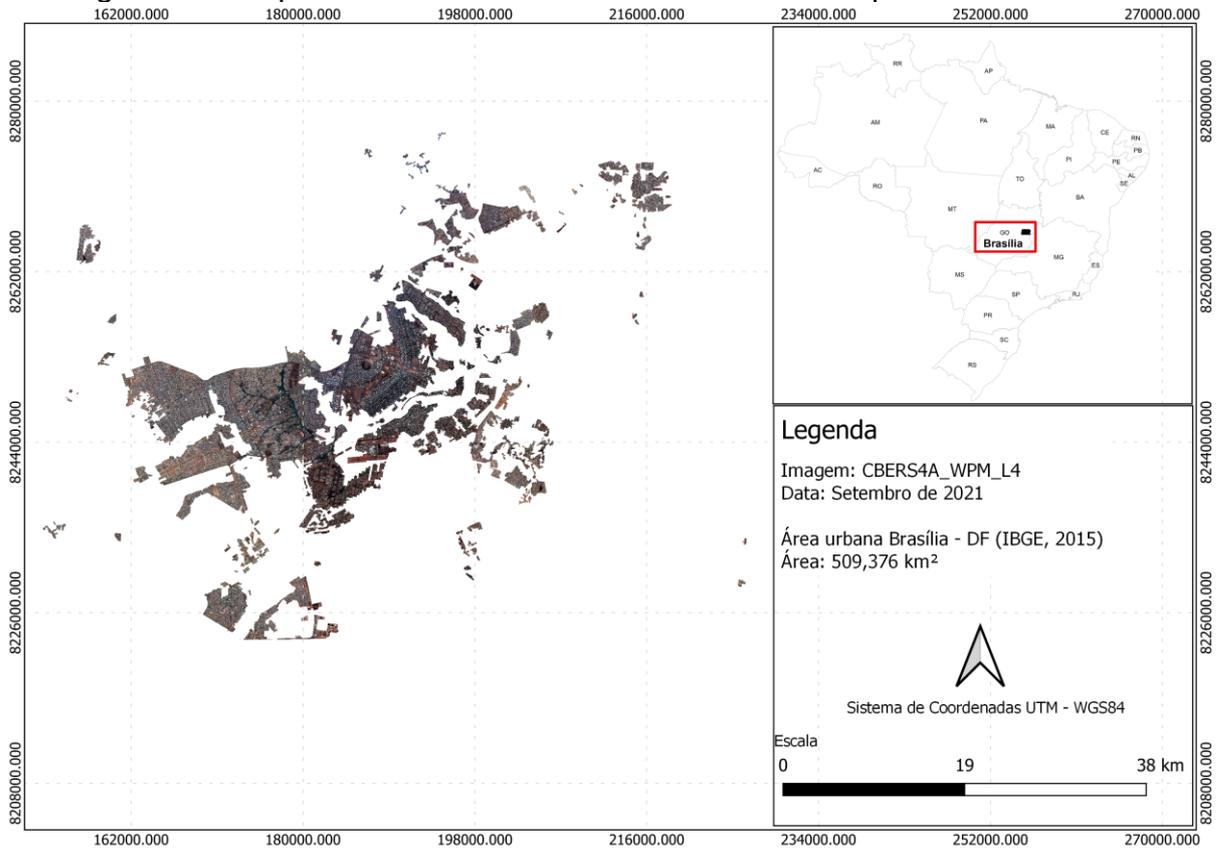
Tabela 18 - Proporção das classes temáticas de Teresina - PI

Classes	Proporção
Copa de Árvore	17,01%
Gramíneas	9,09%
Solo Exposto	18,60%
Asfalto	22,65%
Sombra	0,66%
Rio ou Lago	1,40%
Piscina	0,77%
Telha Clara	3,36%
Telha Escura	7,19%
Telha Cinza	5,79%
Telha Cerâmica	13,50%

Fonte: Autor (2022)

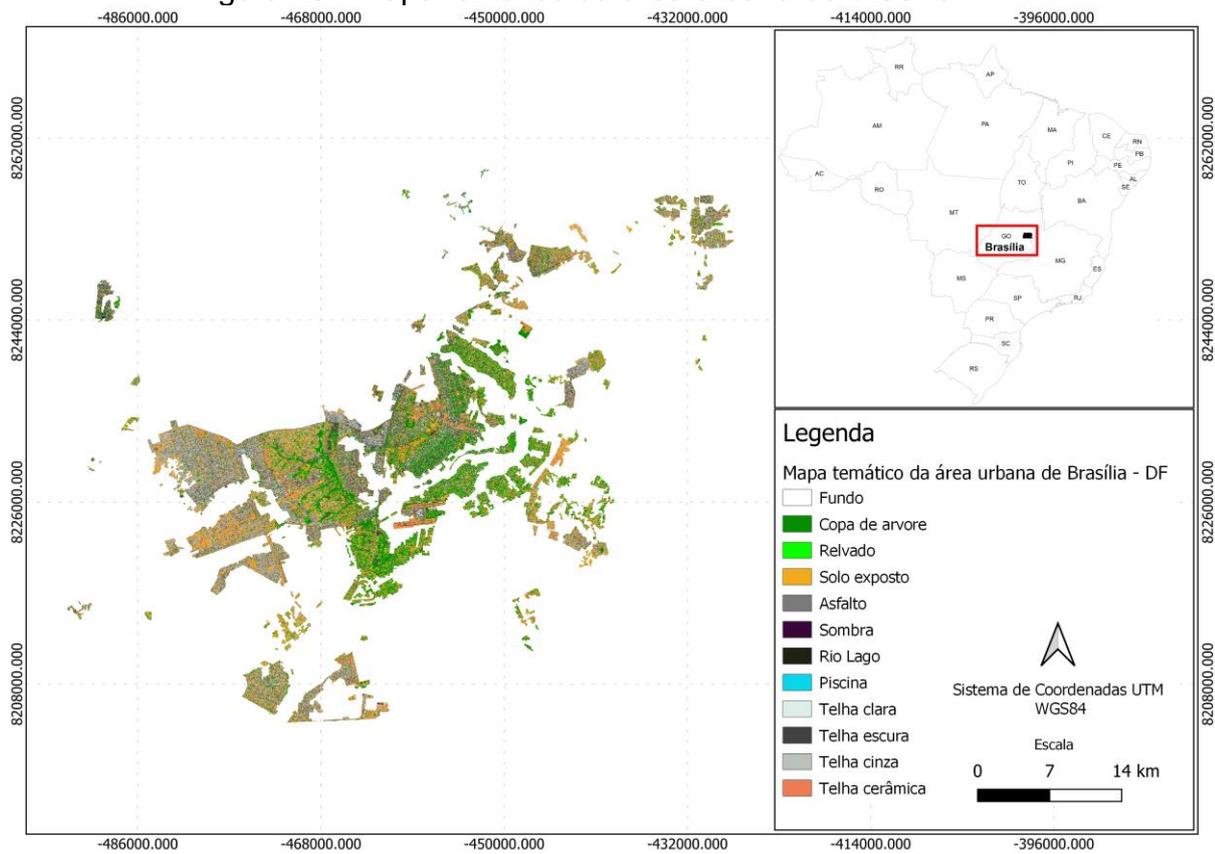
ANEXO 10

Figura 22 - Mapa da área urbana dentro do limite municipal de Brasília - DF



Fonte: Autor (2022)

Figura 23 - Mapa temático da área urbana de Brasília - DF



Fonte: Autor (2022)

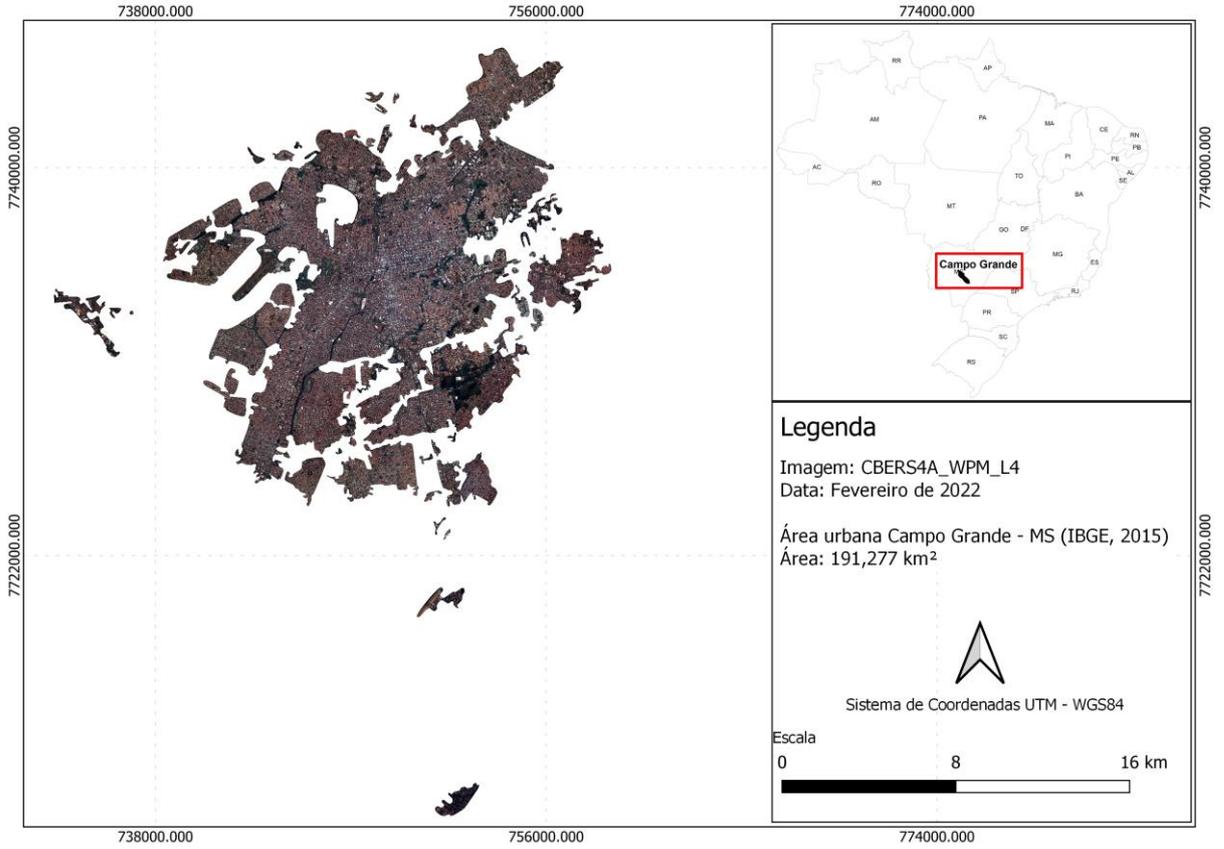
Tabela 19 - Proporção das classes temáticas de Brasília - DF

Classes	Proporção
Copa de Árvore	19,01%
Gramíneas	5,68%
Solo Exposto	18,79%
Asfalto	12,59%
Sombra	0,56%
Rio ou Lago	0,05%
Piscina	0,03%
Telha Clara	2,12%
Telha Escura	11,88%
Telha Cinza	15,06%
Telha Cerâmica	14,22%

Fonte: Autor (2022)

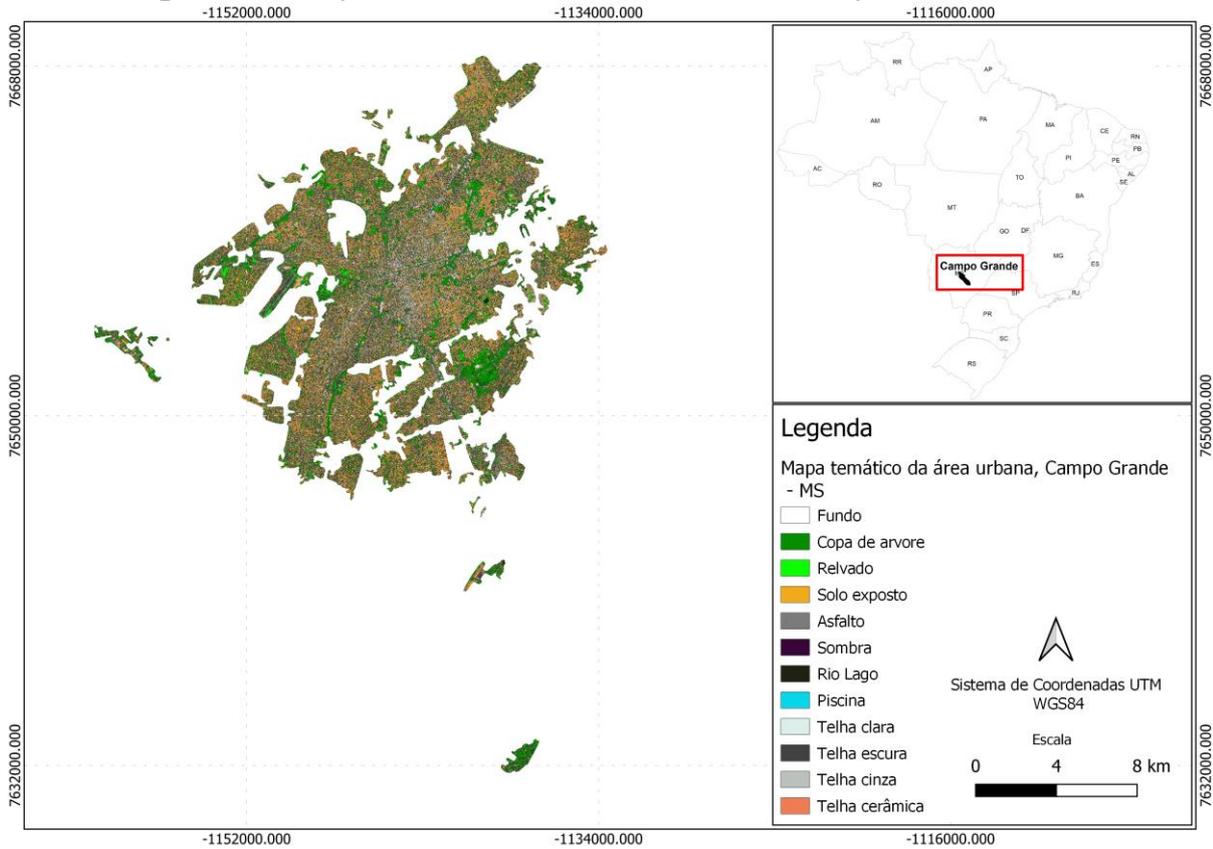
ANEXO 11

Figura 24 - Mapa da área urbana dentro do limite municipal de Campo Grande - MS



Fonte: Autor (2022)

Figura 25 - Mapa temático da área urbana de Campo Grande - MS



Fonte: Autor (2022)

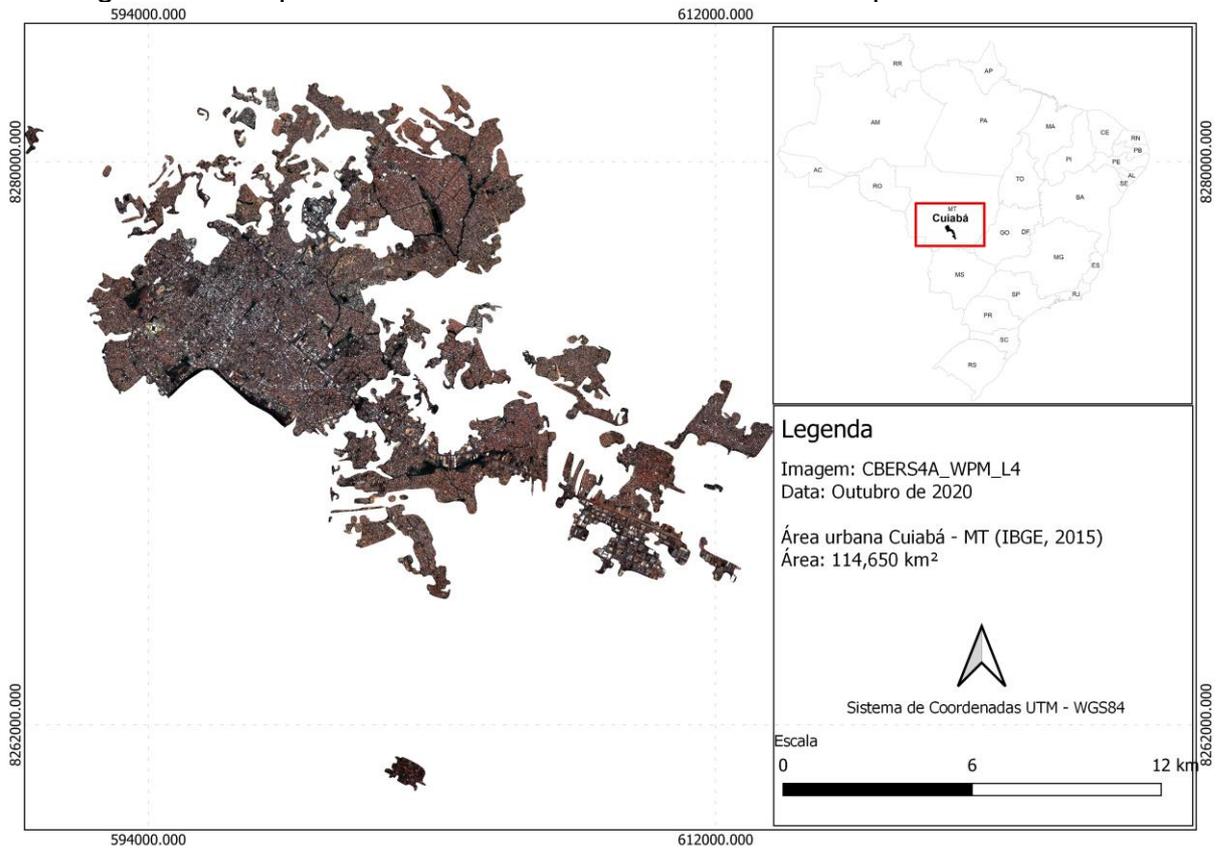
Tabela 20 - Proporção das classes temáticas de Campo Grande - MS

Classes	Proporção
Copa de Árvore	14,47%
Gramíneas	2,78%
Solo Exposto	15,12%
Asfalto	5,71%
Sombra	0,34%
Rio ou Lago	1,85%
Piscina	0,07%
Telha Clara	1,54%
Telha Escura	40,55%
Telha Cinza	8,81%
Telha Cerâmica	8,76%

Fonte: Autor (2022)

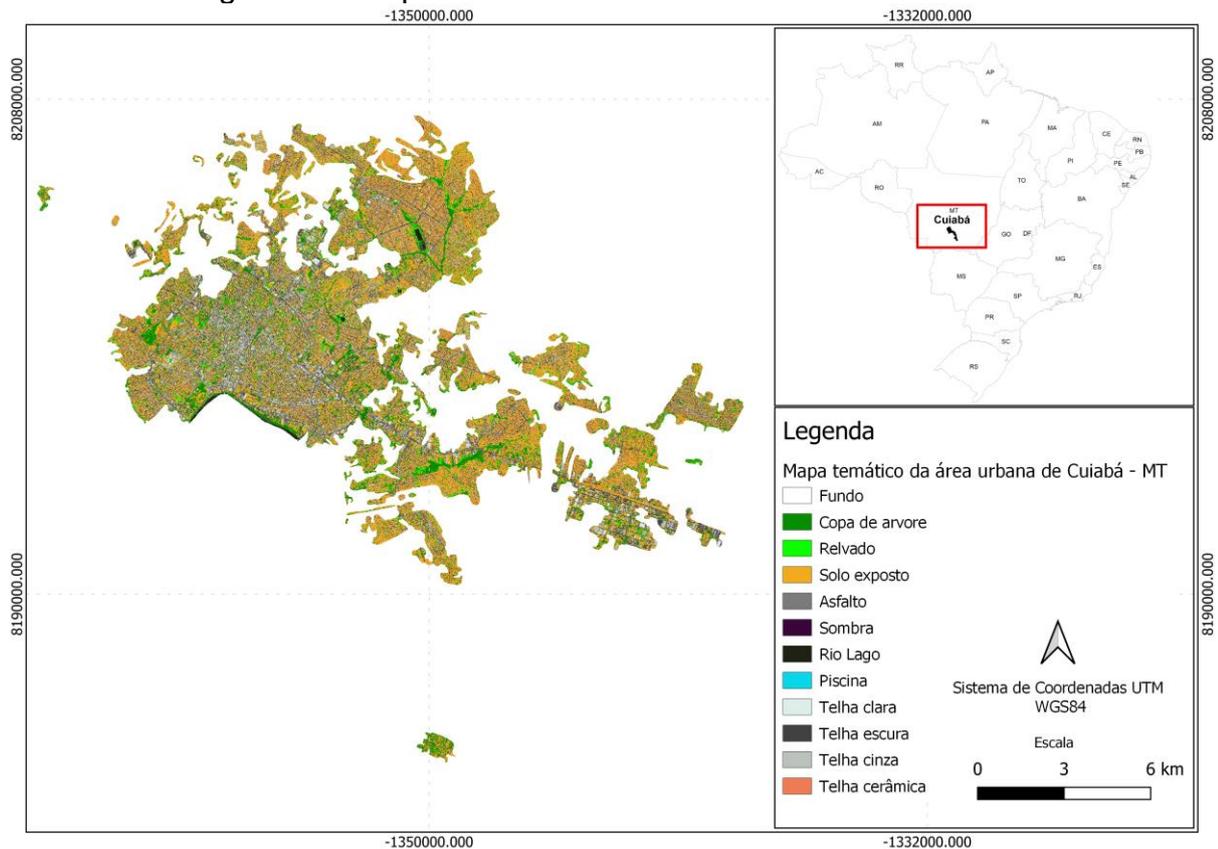
ANEXO 12

Figura 26 - Mapa da área urbana dentro do limite municipal de Cuiabá - MT



Fonte: Autor (2022)

Figura 27 - Mapa temático da área urbana de Cuiabá - MT



Fonte: Autor (2022)

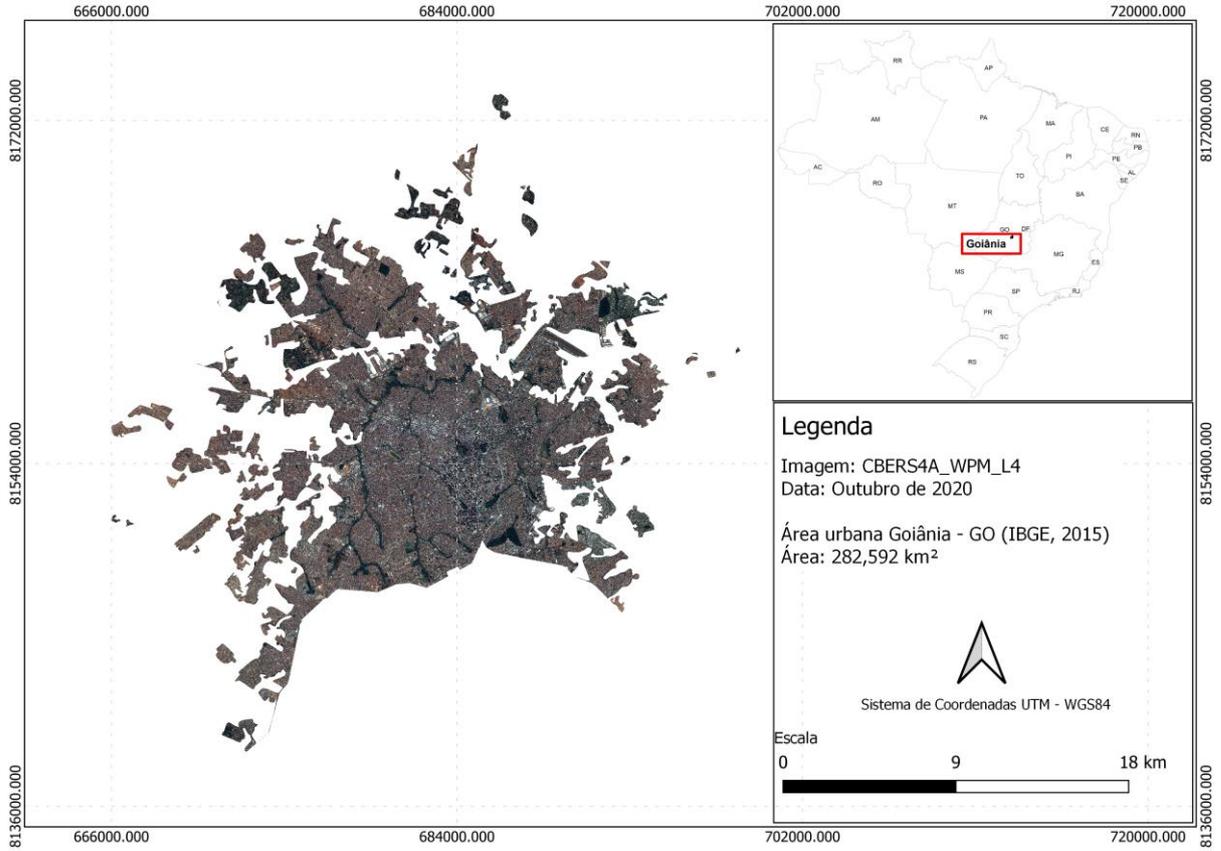
Tabela 21 - Proporção das classes temáticas de Cuiabá - MT

Classes	Proporção
Copa de Árvore	9,42%
Gramíneas	4,66%
Solo Exposto	39,42%
Asfalto	5,01%
Sombra	0,20%
Rio ou Lago	0,23%
Piscina	0,04%
Telha Clara	2,13%
Telha Escura	20,20%
Telha Cinza	13,89%
Telha Cerâmica	4,83%

Fonte: Autor (2022)

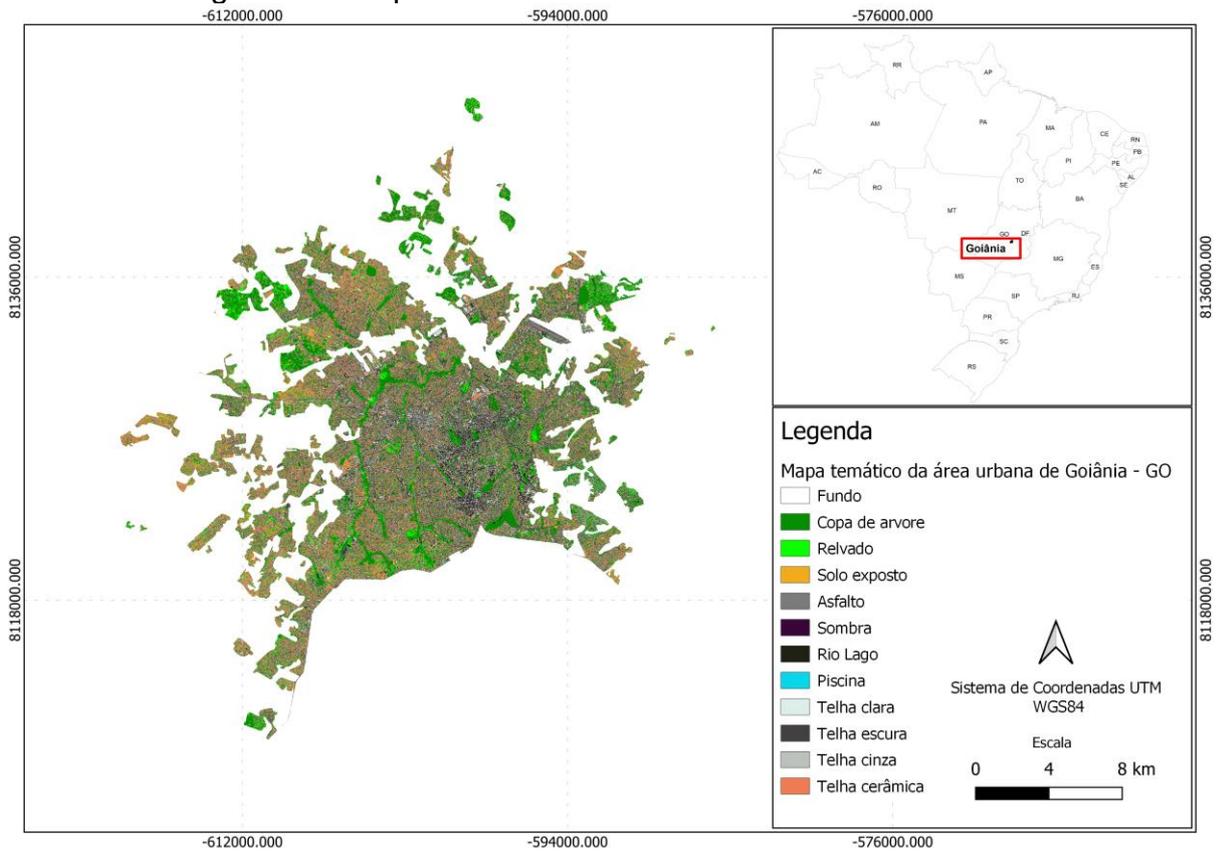
ANEXO 13

Figura 28 - Mapa da área urbana dentro do limite municipal de Goiânia - GO



Fonte: Autor (2022)

Figura 29 - Mapa temático da área urbana de Goiânia - GO



Fonte: Autor (2022)

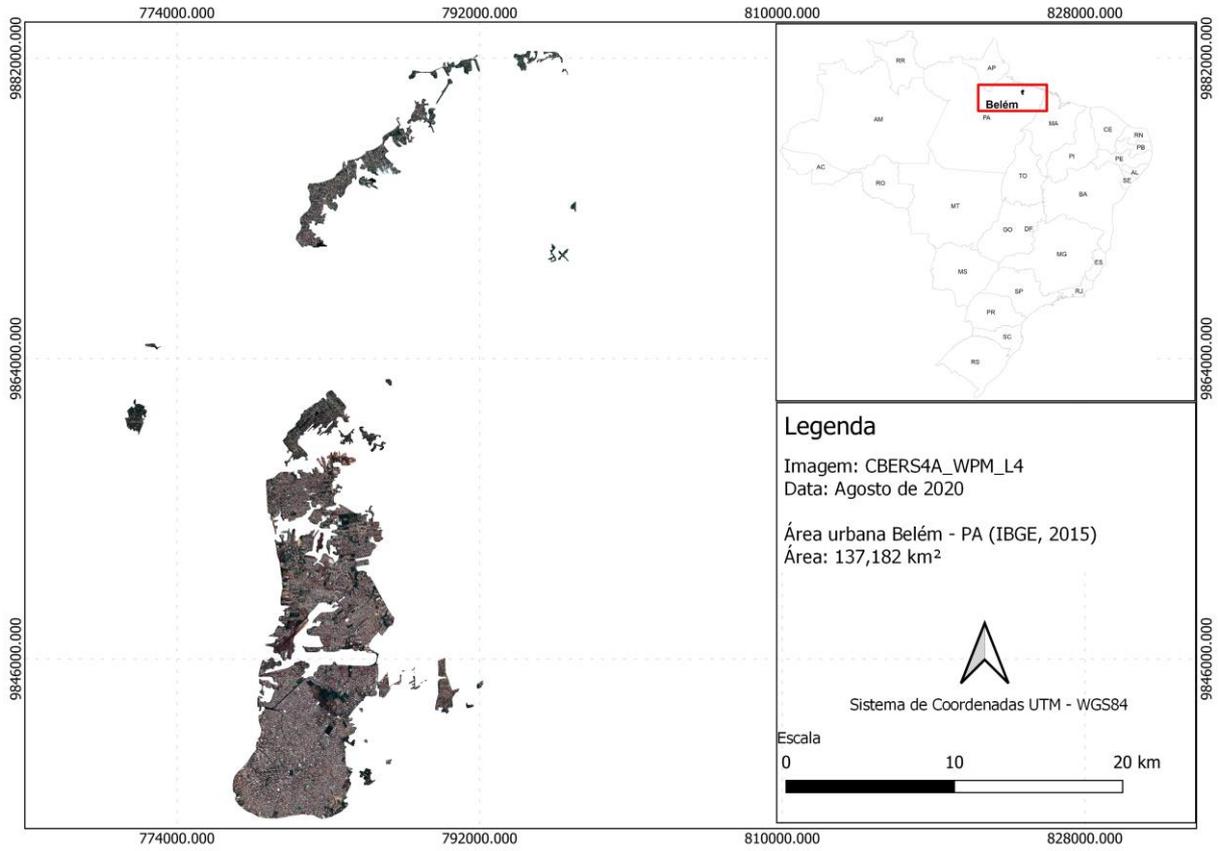
Tabela 22 - Proporção das classes temáticas de Goiânia - GO

Classes	Proporção
Copa de Árvore	20,81%
Gramíneas	6,28%
Solo Exposto	4,53%
Asfalto	25,02%
Sombra	1,02%
Rio ou Lago	3,25%
Piscina	1,03%
Telha Clara	2,07%
Telha Escura	11,41%
Telha Cinza	5,21%
Telha Cerâmica	19,37%

Fonte: Autor (2022)

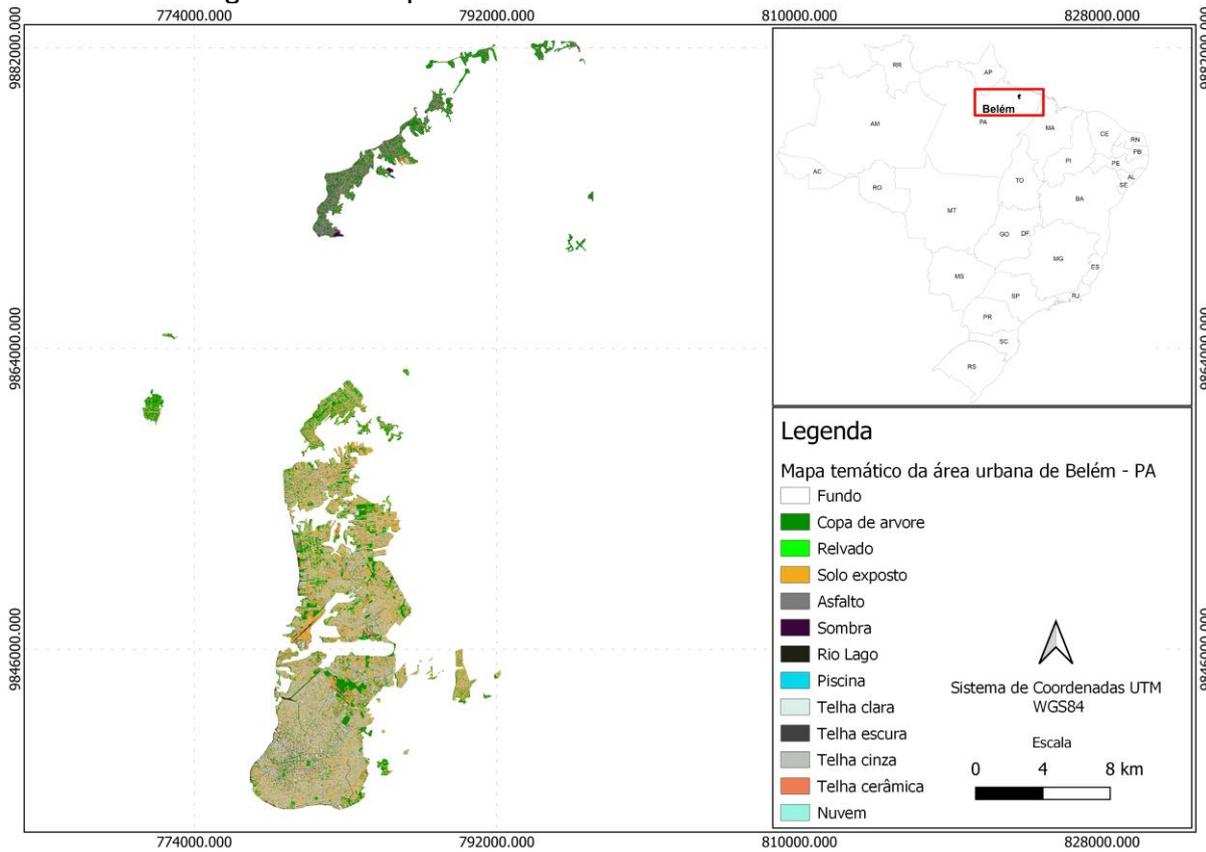
ANEXO 14

Figura 30 - Mapa de área urbana dentro do limite municipal de Belém - PA



Fonte: Autor (2022)

Figura 31 - Mapa temático da área urbana de Belém - PA



Fonte: Autor (2022)

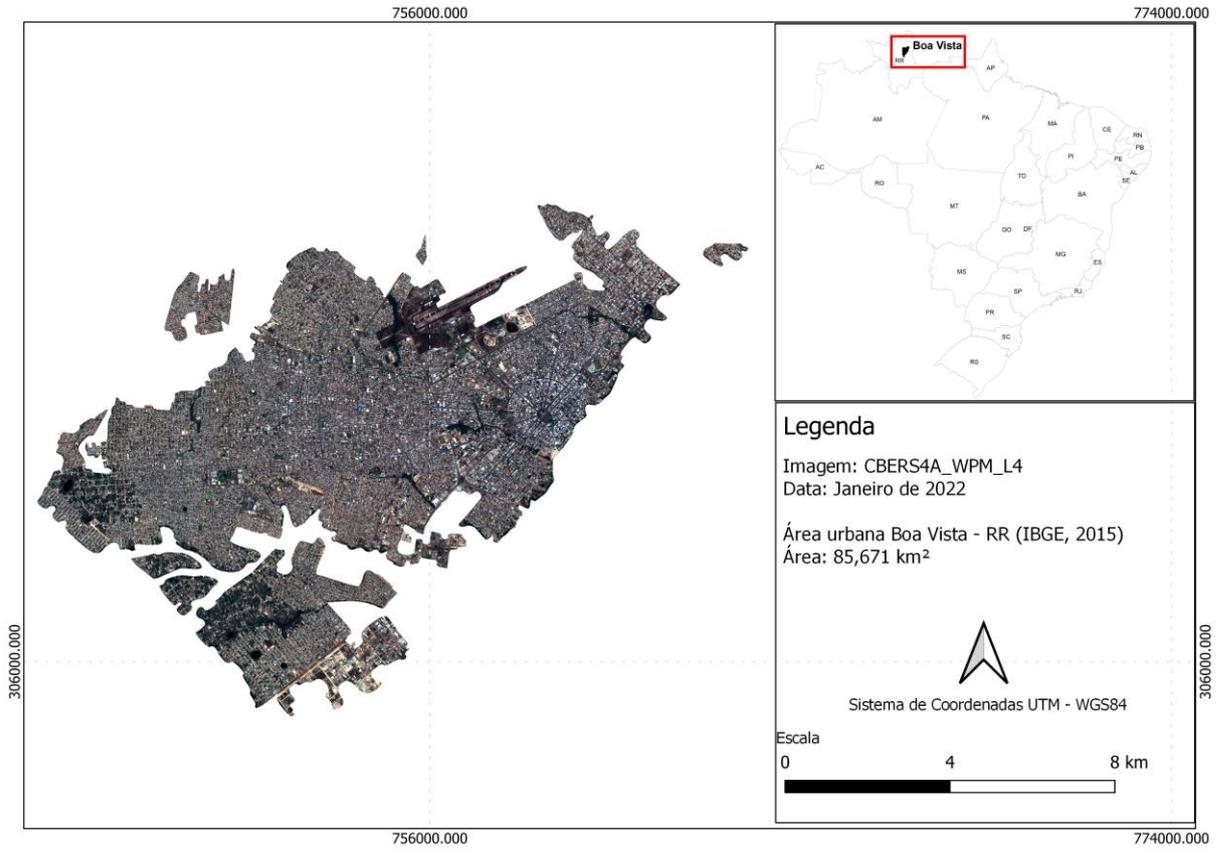
Tabela 23 - Proporção das classes temáticas de Belém - PA

Classes	Proporção
Copa de Árvore	15,70%
Gramíneas	4,51%
Solo Exposto	24,05%
Asfalto	10,63%
Sombra	1,12%
Rio ou Lago	0,97%
Piscina	0,05%
Telha Clara	2,38%
Telha Escura	2,83%
Telha Cinza	31,56%
Telha Cerâmica	5,36%
Nuvem	0,84%

Fonte: Autor (2022)

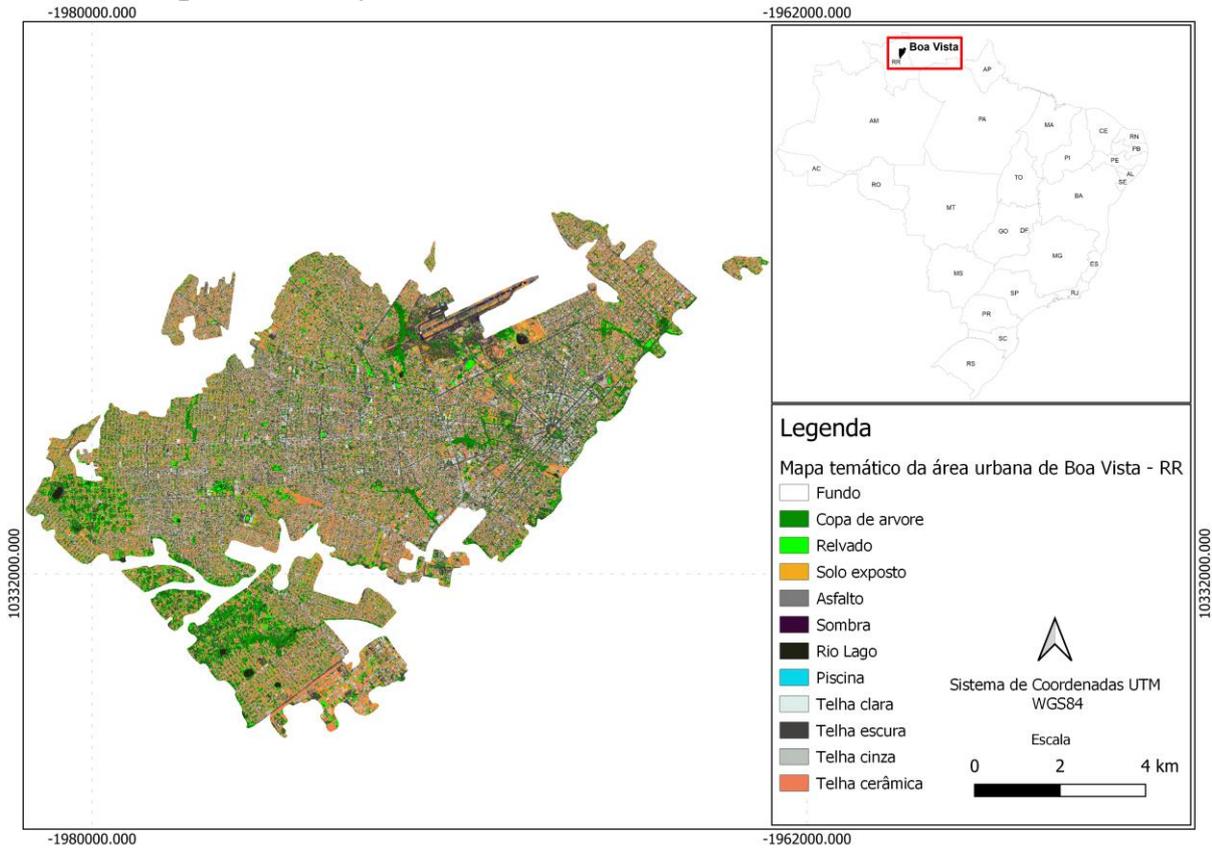
ANEXO 15

Figura 32 - Mapa da área urbana dentro do limite municipal a de Boa Vista - RR



Fonte: Autor (2022)

Figura 33 - Mapa da temática da área urbana de Boa Vista - RR



Fonte: Autor (2022)

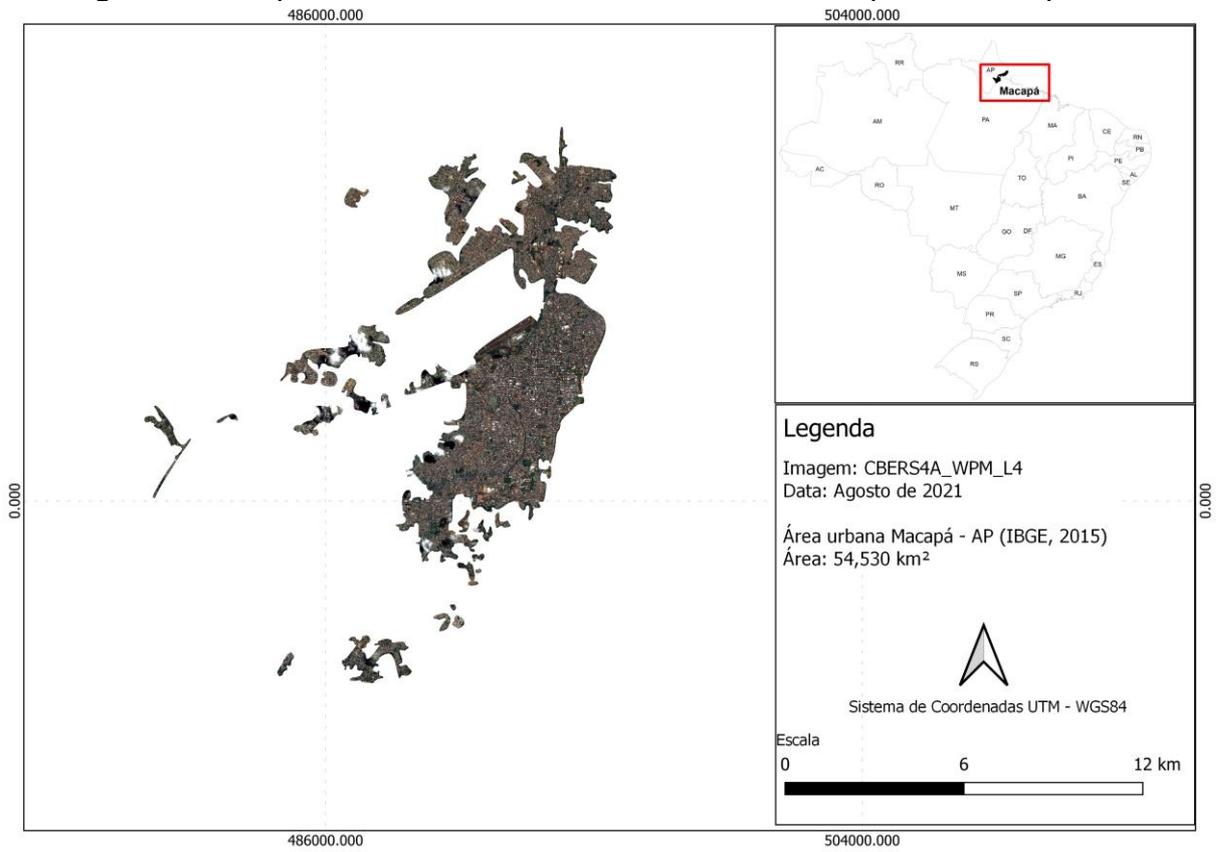
Tabela 24 - Proporção das classes temáticas de Boa Vista - RR

Classes	Proporção
Copa de Árvore	9,08%
Gramíneas	7,33%
Solo Exposto	12,21%
Asfalto	18,23%
Sombra	0,90%
Rio ou Lago	0,93%
Piscina	0,17%
Telha Clara	1,70%
Telha Escura	17,61%
Telha Cinza	14,79%
Telha Cerâmica	17,06%

Fonte: Autor (2022)

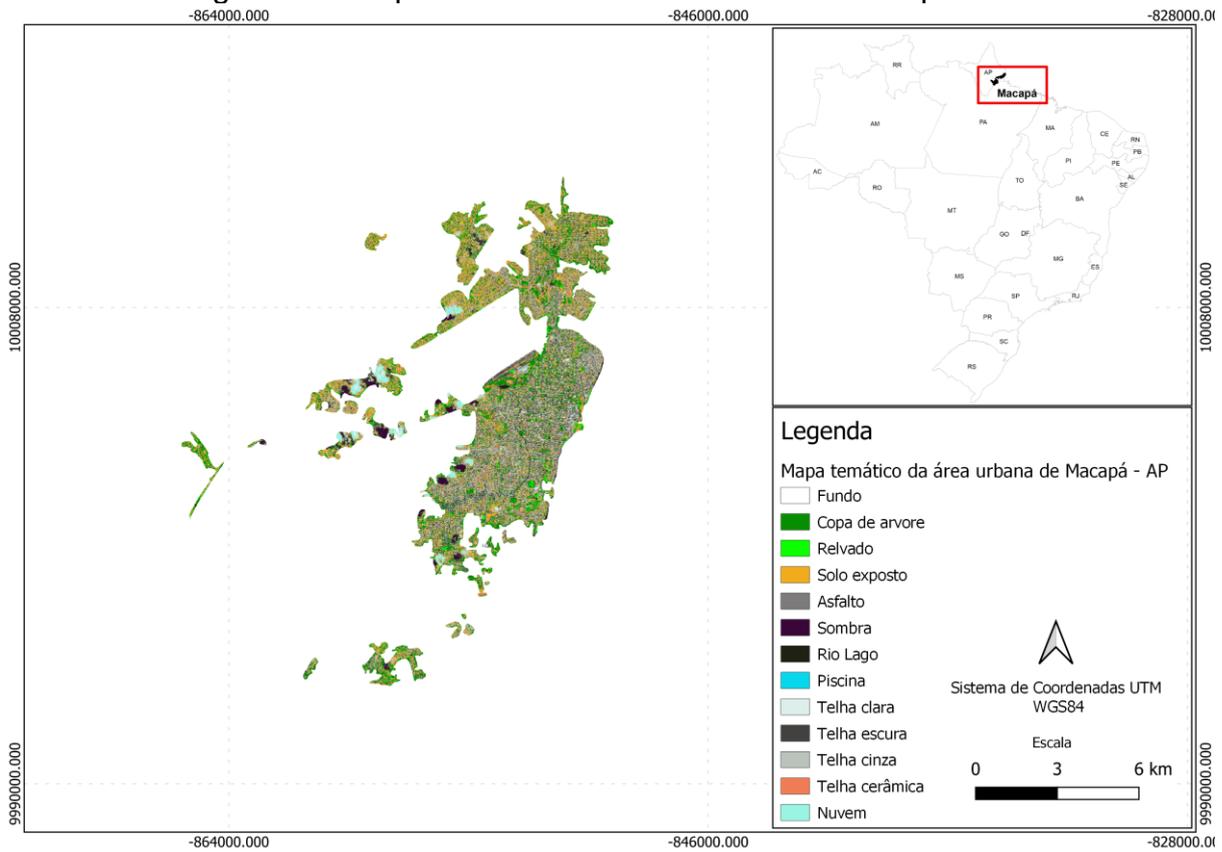
ANEXO 16

Figura 34 - Mapa da área urbana dentro do limite municipal de Macapá - AP



Fonte: Autor (2022)

Figura 35 - Mapa temático da área urbana de Macapá - AP



Fonte: Autor (2022)

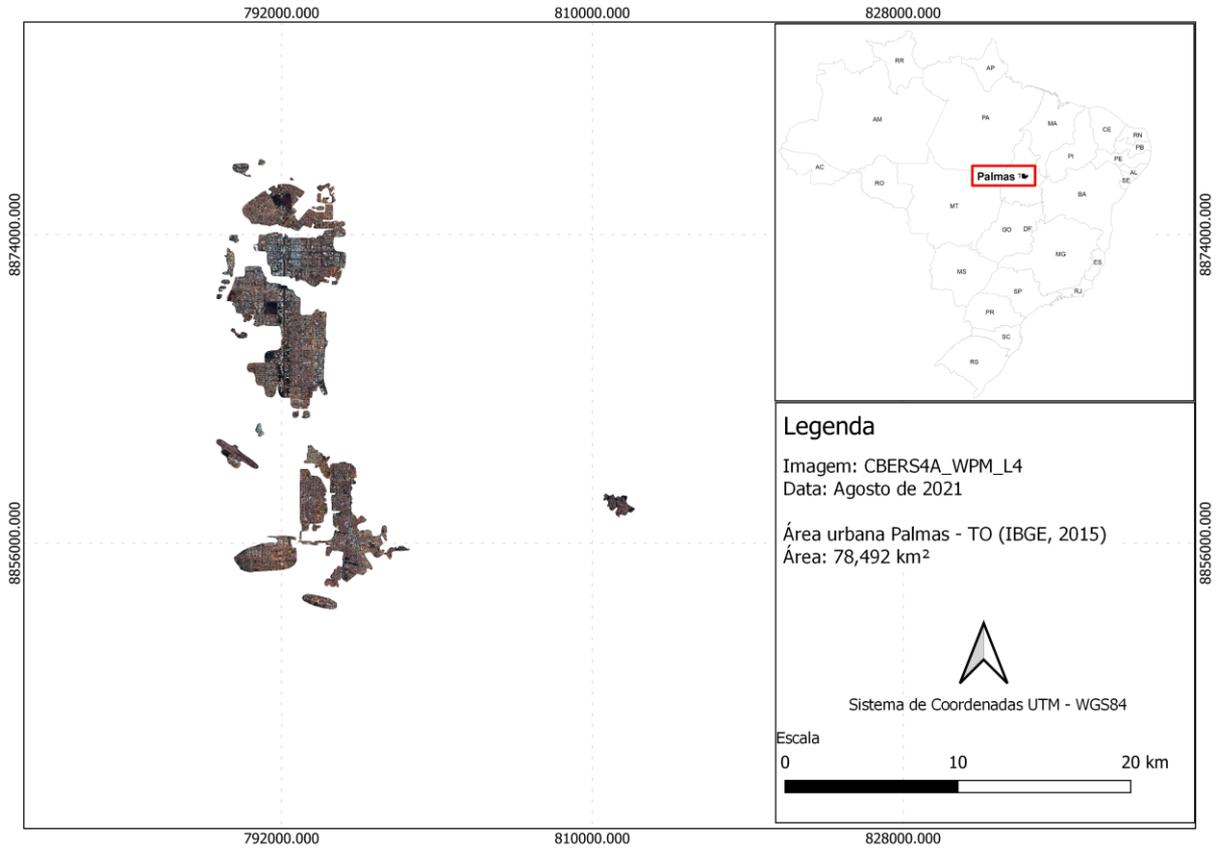
Tabela 25 - Proporção das classes temáticas de Macapá - AP

Classes	Proporção
Copa de Árvore	19,01%
Gramíneas	3,91%
Solo Exposto	18,04%
Asfalto	15,09%
Sombra	1,53%
Rio ou Lago	1,96%
Piscina	0,10%
Telha Clara	1,33%
Telha Escura	10,17%
Telha Cinza	19,71%
Telha Cerâmica	6,34%
Nuvem	2,81%

Fonte: Autor (2022)

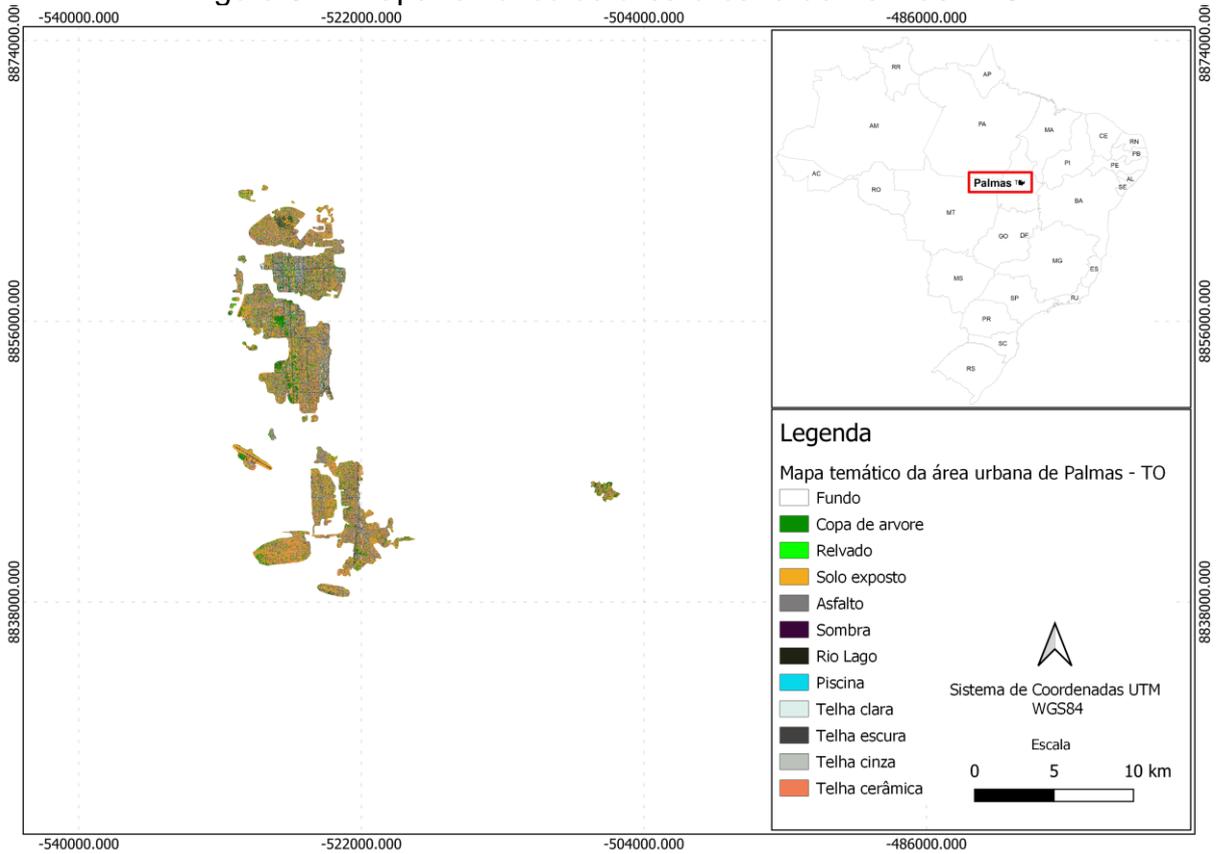
ANEXO 17

Figura 36 - Mapa da área urbana dentro do limite municipal de Palmas - TO



Fonte: Autor (2022)

Figura 37 - Mapa temático da área urbana de Palmas - TO



Fonte: Autor (2022)

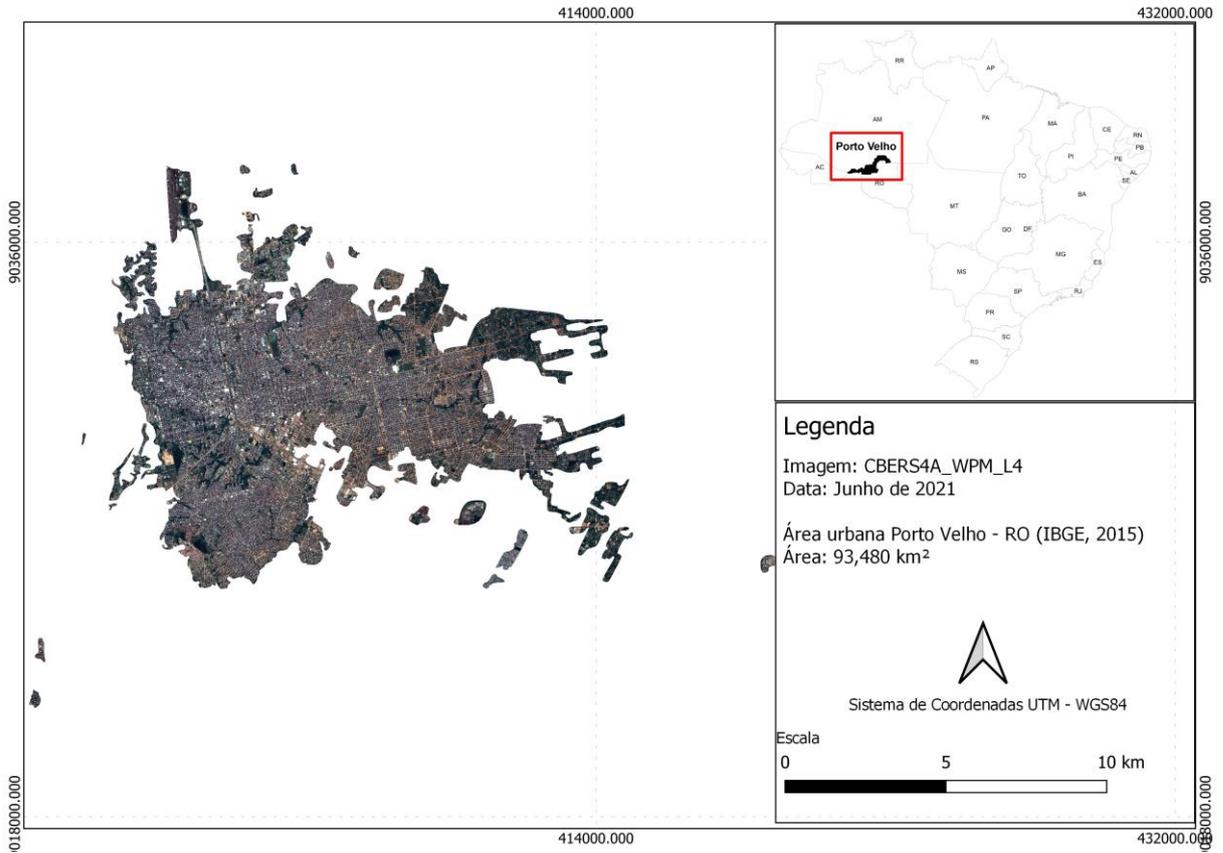
Tabela 26 - Proporção das classes temáticas de Palmas - TO

Classes	Proporção
Copa de Árvore	7,96%
Gramíneas	3,20%
Solo Exposto	26,20%
Asfalto	31,80%
Sombra	0,79%
Rio ou Lago	0,01%
Piscina	0,35%
Telha Clara	1,47%
Telha Escura	11,72%
Telha Cinza	3,33%
Telha Cerâmica	13,18%

Fonte: Autor (2022)

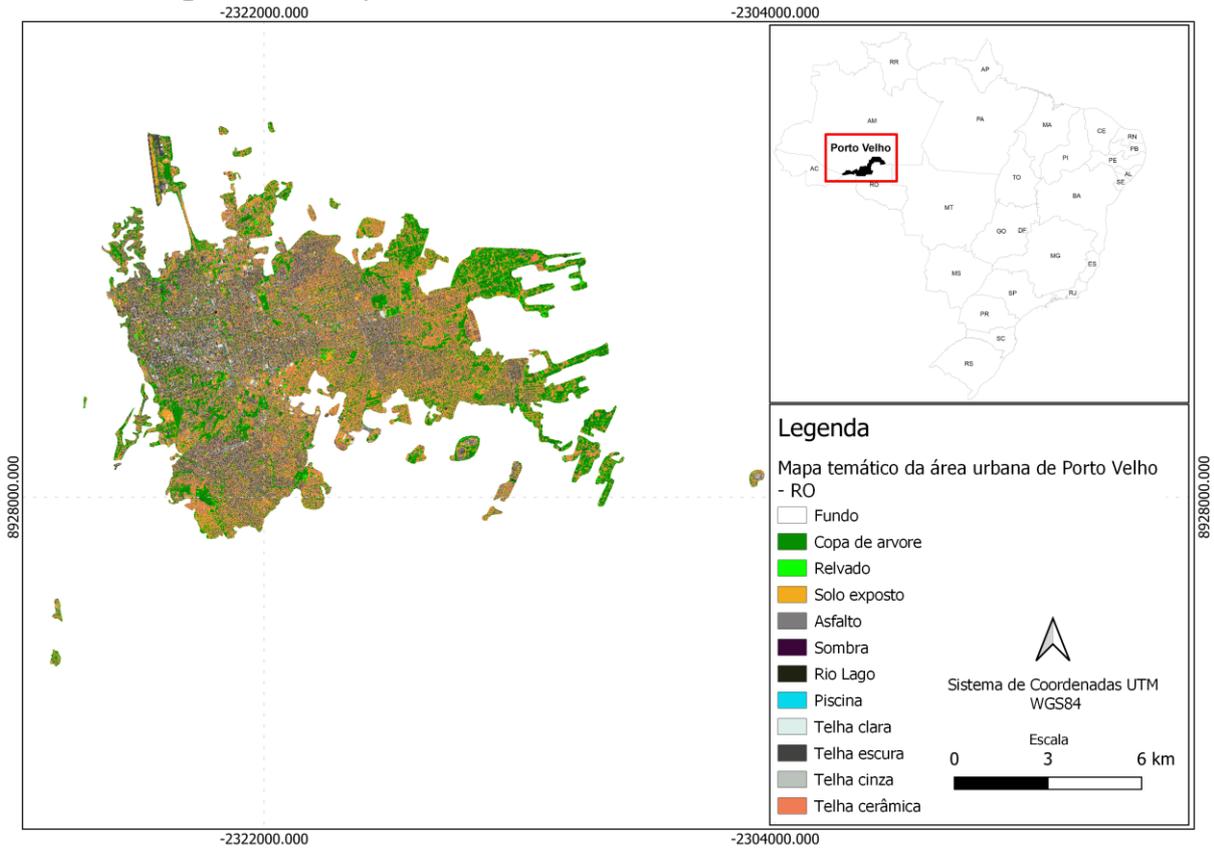
ANEXO 18

Figura 38 - Mapa da área urbana dentro do limite municipal de Porto Velho - RO



Fonte: Autor (2022)

Figura 39 - Mapa temático da área urbana de Porto Velho - RO



Fonte: Autor (2022)

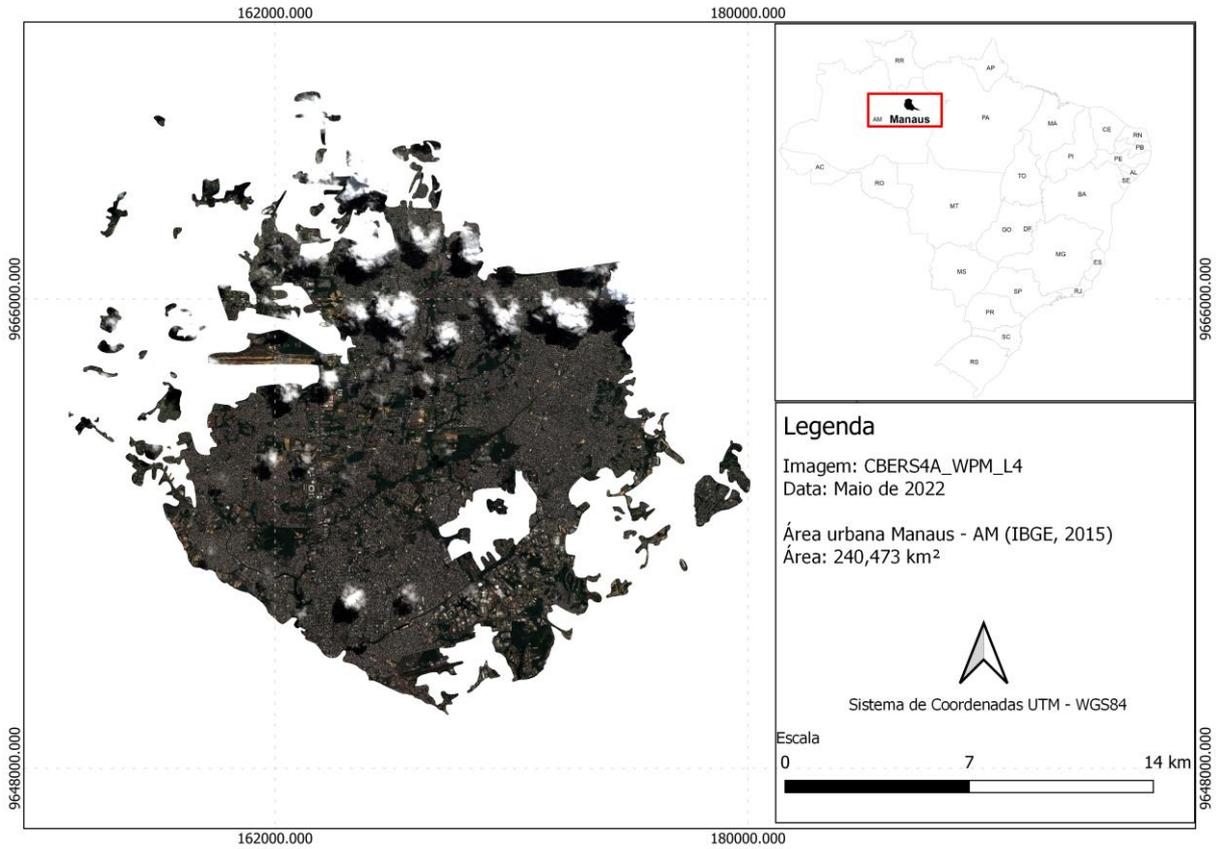
Tabela 27 - Proporção das classes temáticas de Porto Velho - RO

Classes	Proporção
Copa de Árvore	23,02%
Gramíneas	2,64%
Solo Exposto	20,12%
Asfalto	18,55%
Sombra	1,35%
Rio ou Lago	0,38%
Piscina	0,03%
Telha Clara	1,60%
Telha Escura	11,69%
Telha Cinza	4,31%
Telha Cerâmica	16,31%

Fonte: Autor (2022)

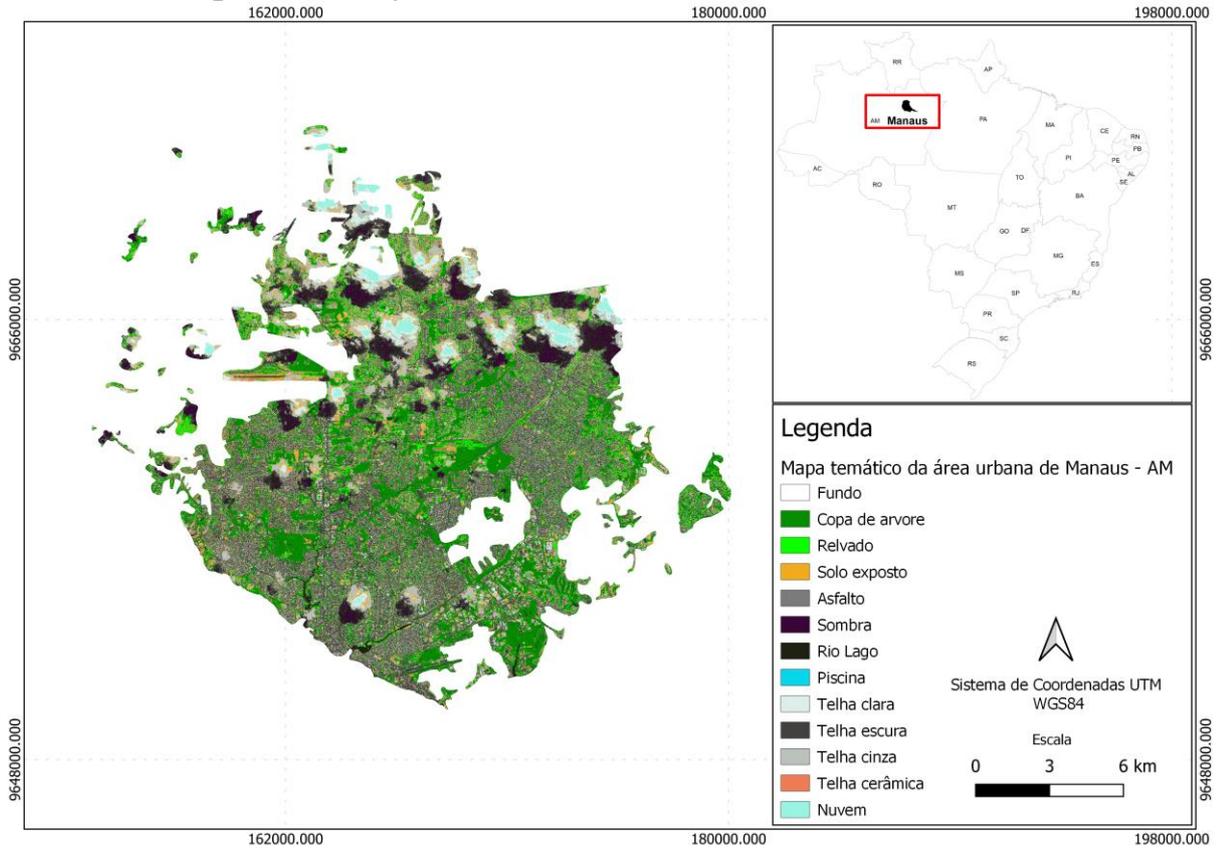
ANEXO 19

Figura 40 - Mapa da área urbana dentro do limite municipal de Manaus - AM



Fonte: Autor (2022)

Figura 41 - Mapa temático da área urbana de Manaus - AM



Fonte: Autor (2022)

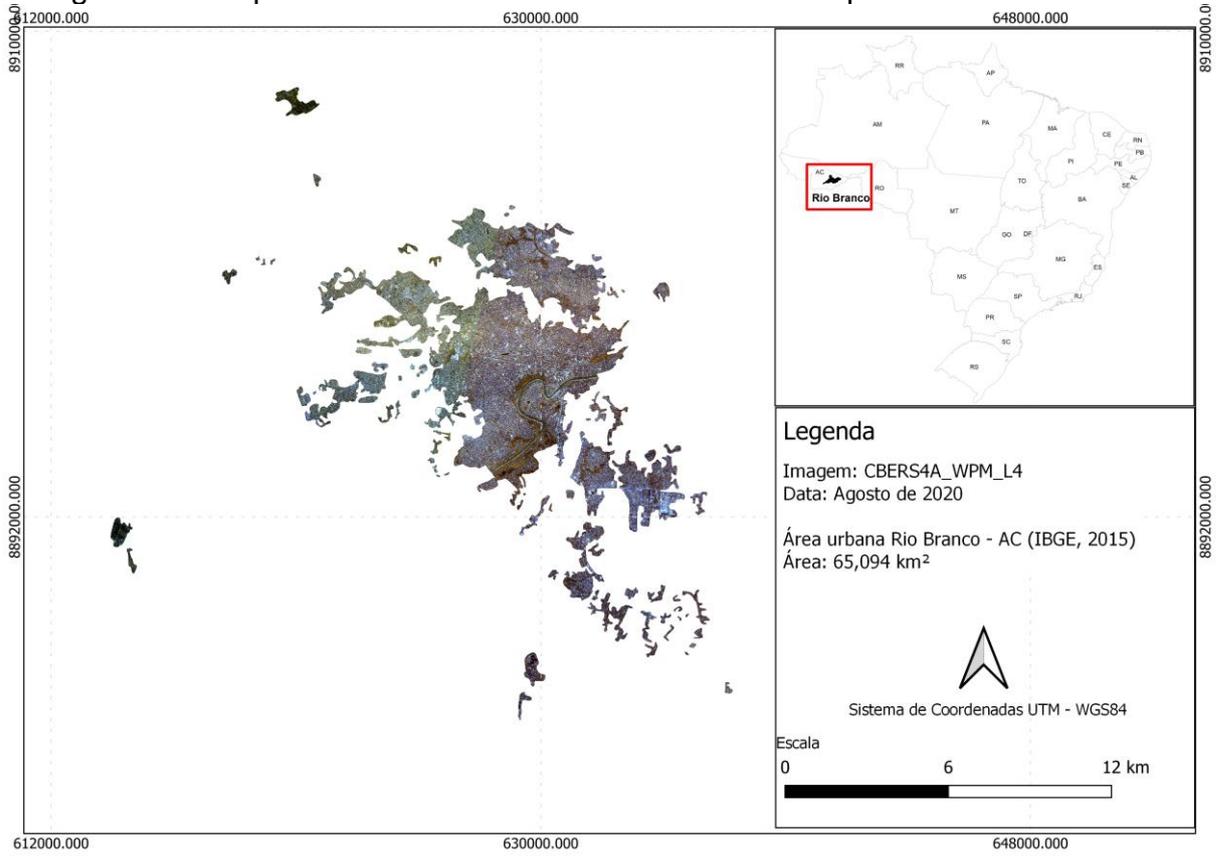
Tabela 28 - Proporção das classes temáticas de Manaus - AM

Classes	Proporção
Copa de Árvore	18,34%
Gramíneas	10,73%
Solo Exposto	3,27%
Asfalto	6,08%
Sombra	3,76%
Rio ou Lago	2,51%
Piscina	0,12%
Telha Clara	2,65%
Telha Escura	27,93%
Telha Cinza	15,70%
Telha Cerâmica	7,35%
Nuvem	1,58%

Fonte: Autor (2022)

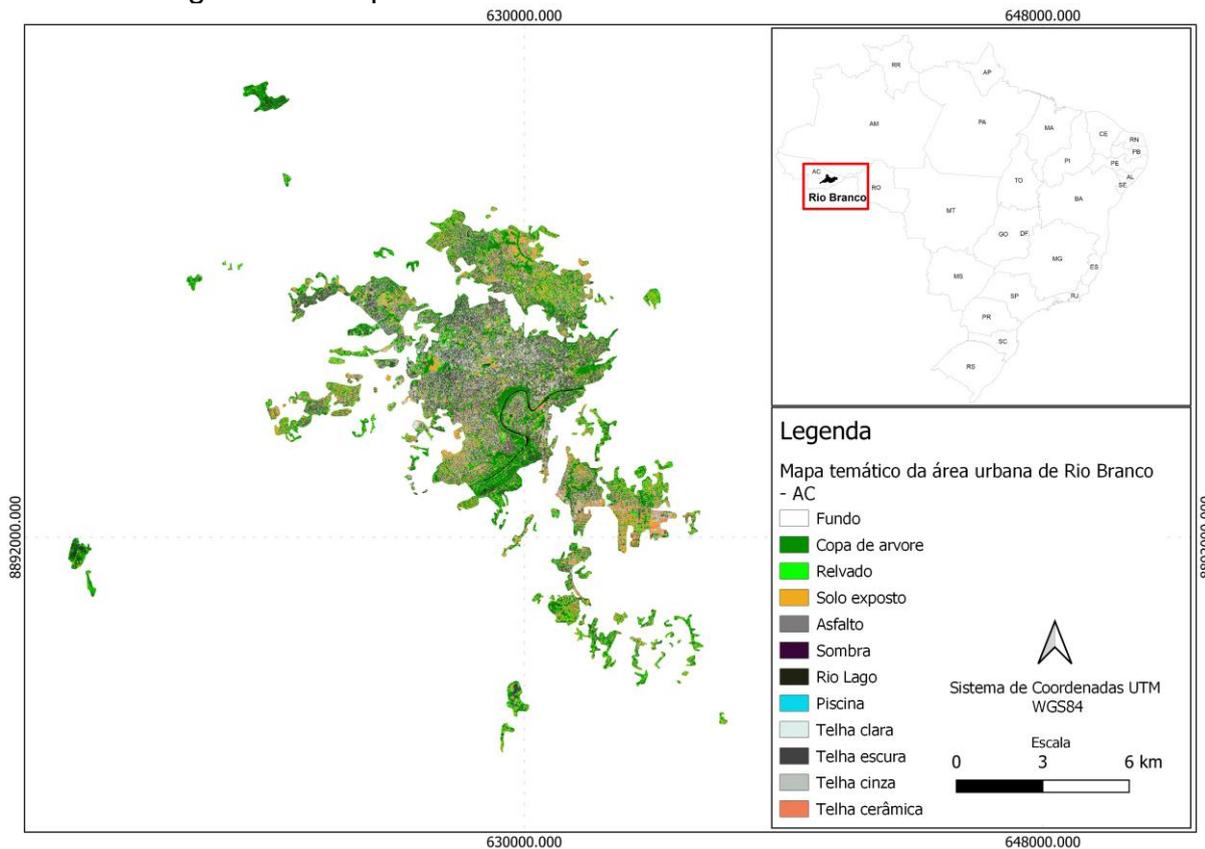
ANEXO 20

Figura 42 - Mapa da área urbana dentro do limite municipal de Rio Branco - AC



Fonte: Autor (2022)

Figura 43 - Mapa temático da área urbana de Rio Branco - AC



Fonte: Autor (2022)

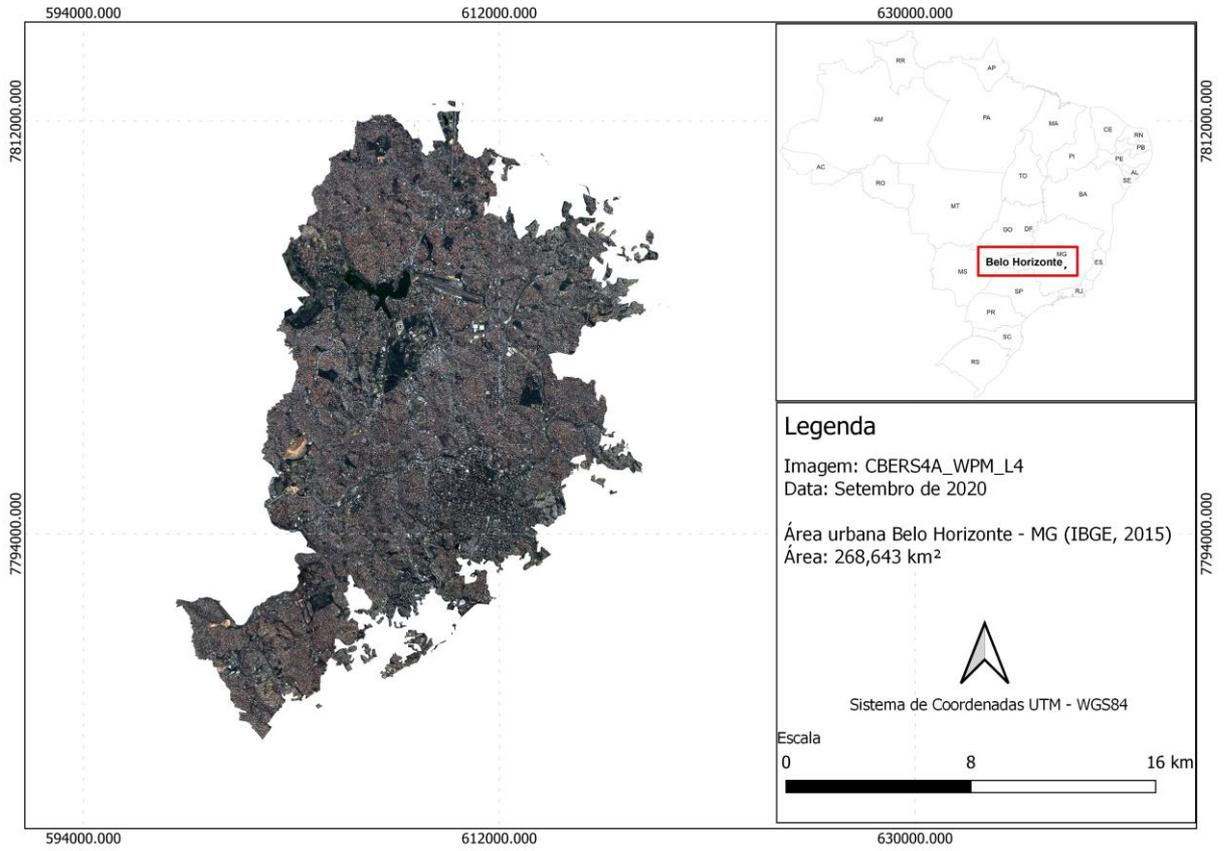
Tabela 29 - Proporção das classes temáticas de Rio Branco - AC

Classes	Proporção
Copa de Árvore	19,54%
Gramíneas	14,11%
Solo Exposto	13,09%
Asfalto	5,31%
Sombra	1,16%
Rio ou Lago	0,68%
Piscina	0,26%
Telha Clara	2,53%
Telha Escura	19,87%
Telha Cinza	16,99%
Telha Cerâmica	6,47%

Fonte: Autor (2022)

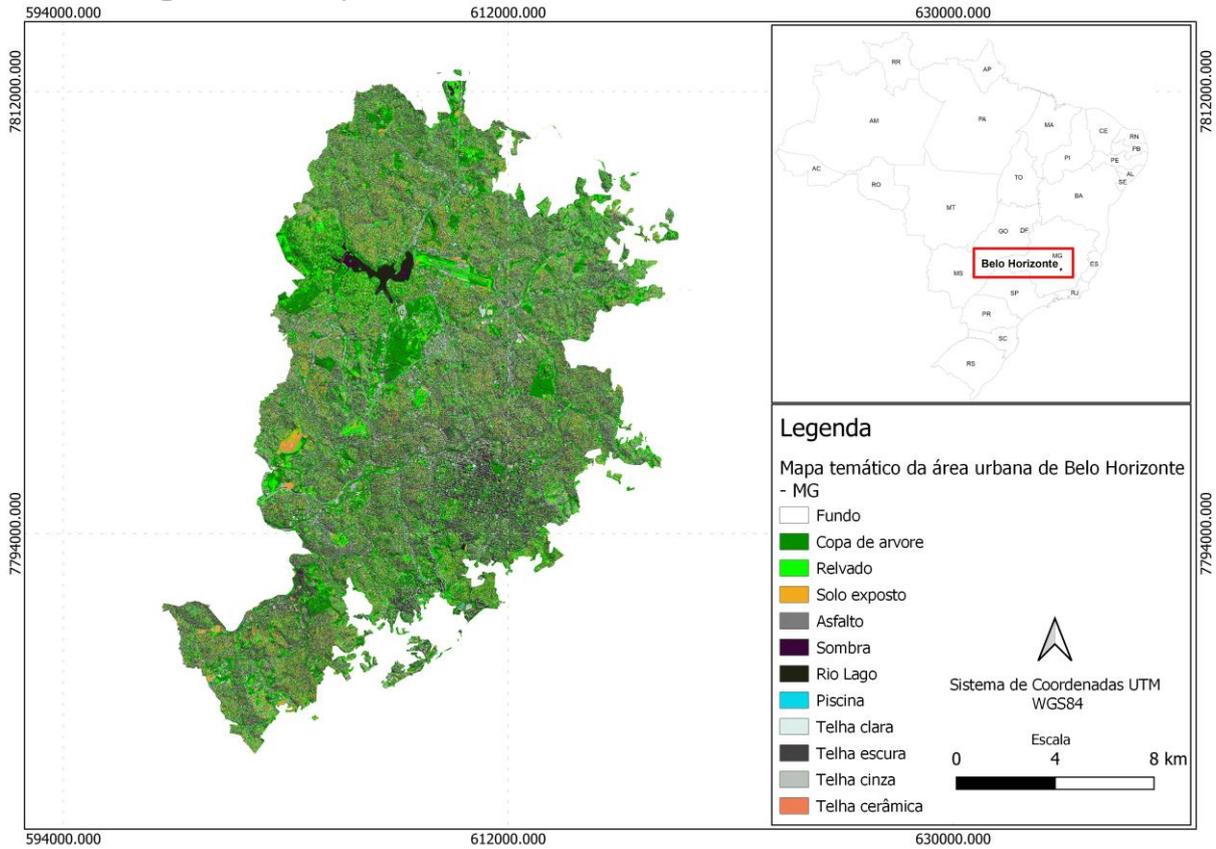
ANEXO 21

Figura 44 - Mapa da área urbana dentro do limite municipal de Belo Horizonte - MG



Fonte: Autor (2022)

Figura 45 - Mapa temático da área urbana de Belo Horizonte - MG



Fonte: Autor (2022)

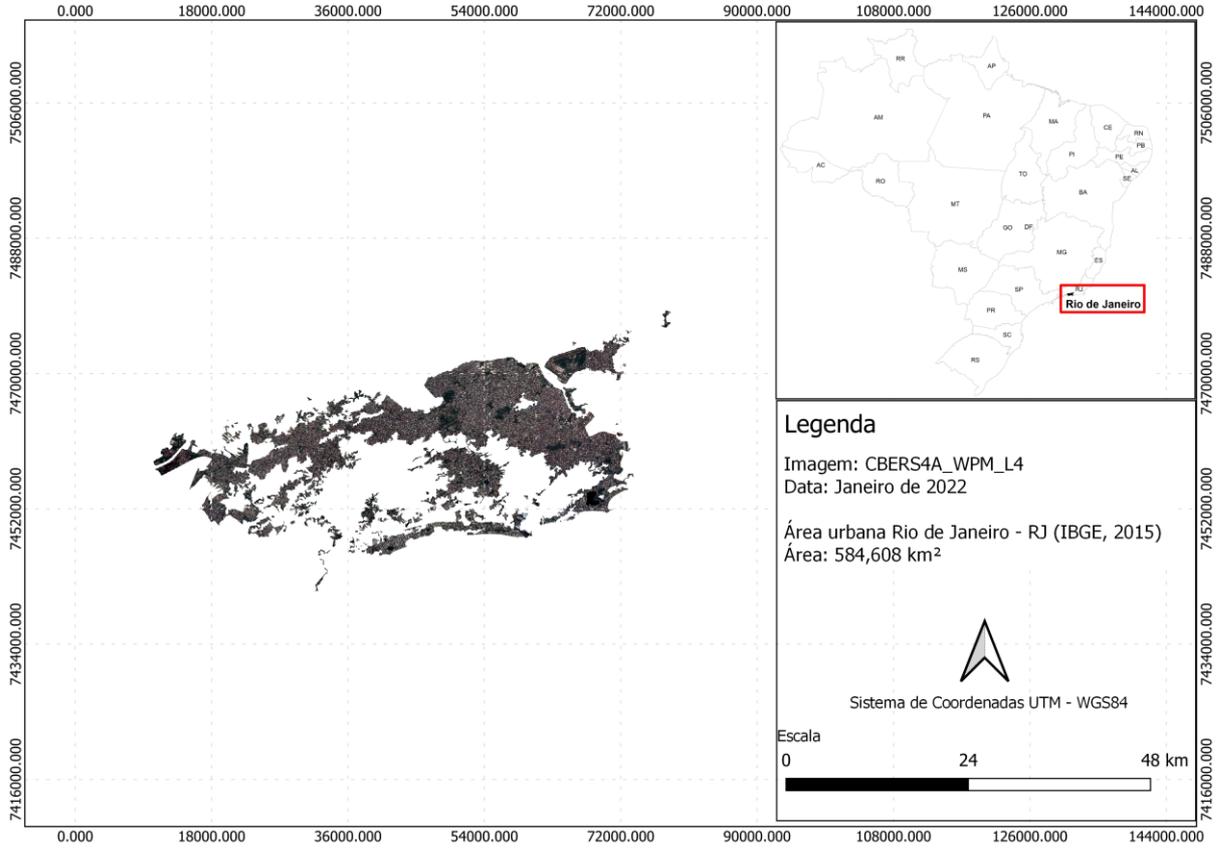
Tabela 30 - Proporção das classes temáticas de Rio Branco - AC

Classes	Proporção
Copa de Árvore	16,26%
Gramíneas	18,44%
Solo Exposto	4,91%
Asfalto	8,22%
Sombra	3,80%
Rio ou Lago	0,90%
Piscina	0,29%
Telha Clara	1,41%
Telha Escura	28,34%
Telha Cinza	12,80%
Telha Cerâmica	4,63%

Fonte: Autor (2022)

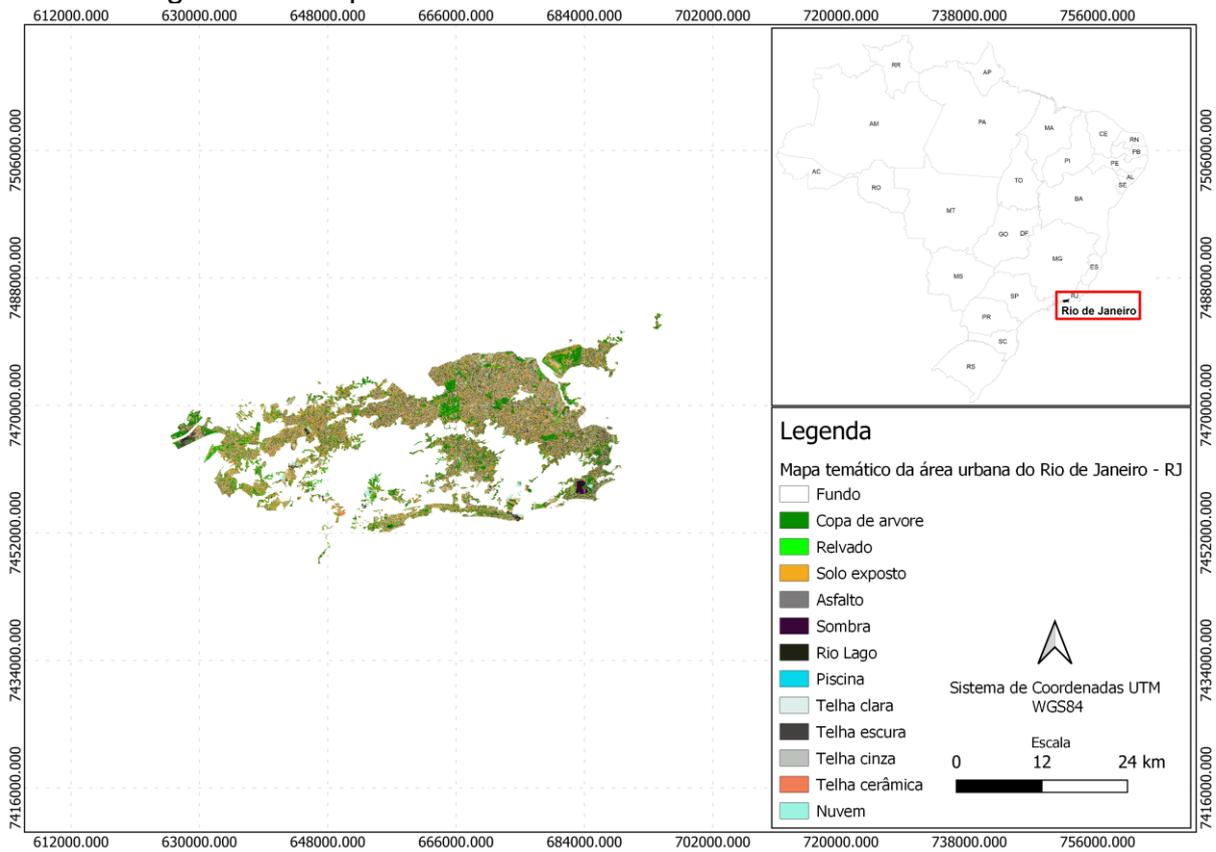
ANEXO 22

Figura 46 - Mapa da área urbana dentro do limite municipal do Rio de Janeiro - RJ



Fonte: Autor (2022)

Figura 47 - Mapa temático da área urbana do Rio de Janeiro - RJ



Fonte: Autor (2022)

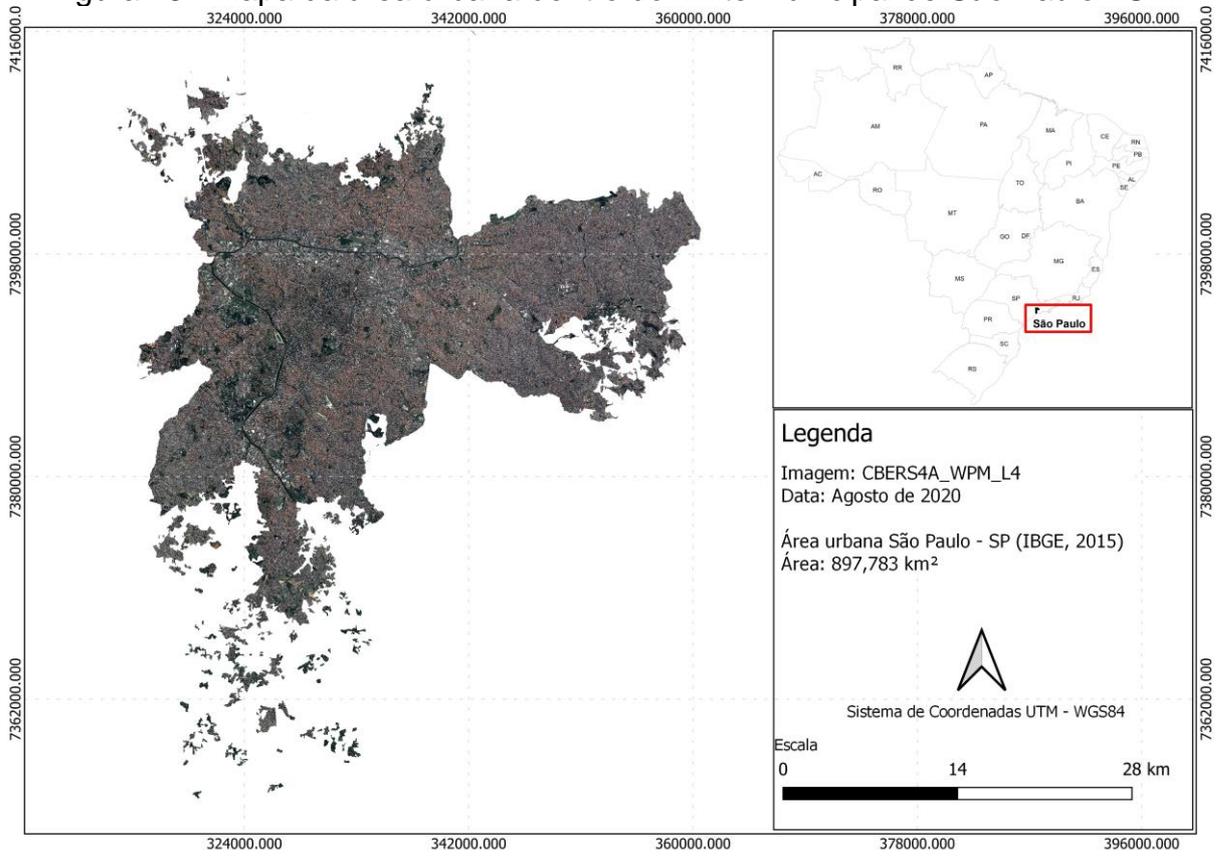
Tabela 31 - Proporção das classes temáticas de Rio de Janeiro - RJ

Classes	Proporção
Copa de Árvore	18,74%
Gramíneas	3,16%
Solo Exposto	24,77%
Asfalto	1,54%
Sombra	1,09%
Rio ou Lago	2,52%
Piscina	0,19%
Telha Clara	2,06%
Telha Escura	18,56%
Telha Cinza	17,07%
Telha Cerâmica	8,40%
Nuvem	1,92%

Fonte: Autor (2022)

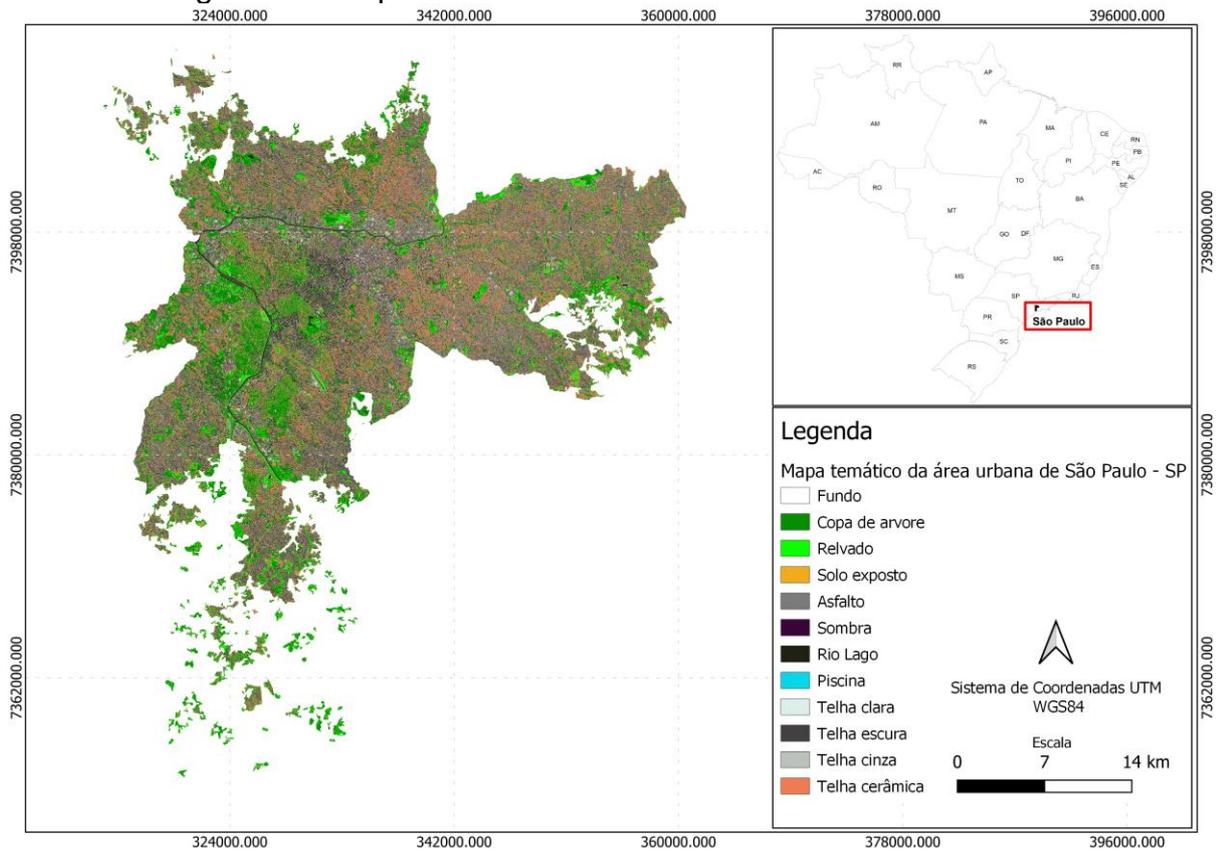
ANEXO 23

Figura 48 - Mapa da área urbana dentro do limite municipal de São Paulo - SP



Fonte: Autor (2022)

Figura 49 - Mapa temático da área urbana de São Paulo - SP



Fonte: Autor (2022)

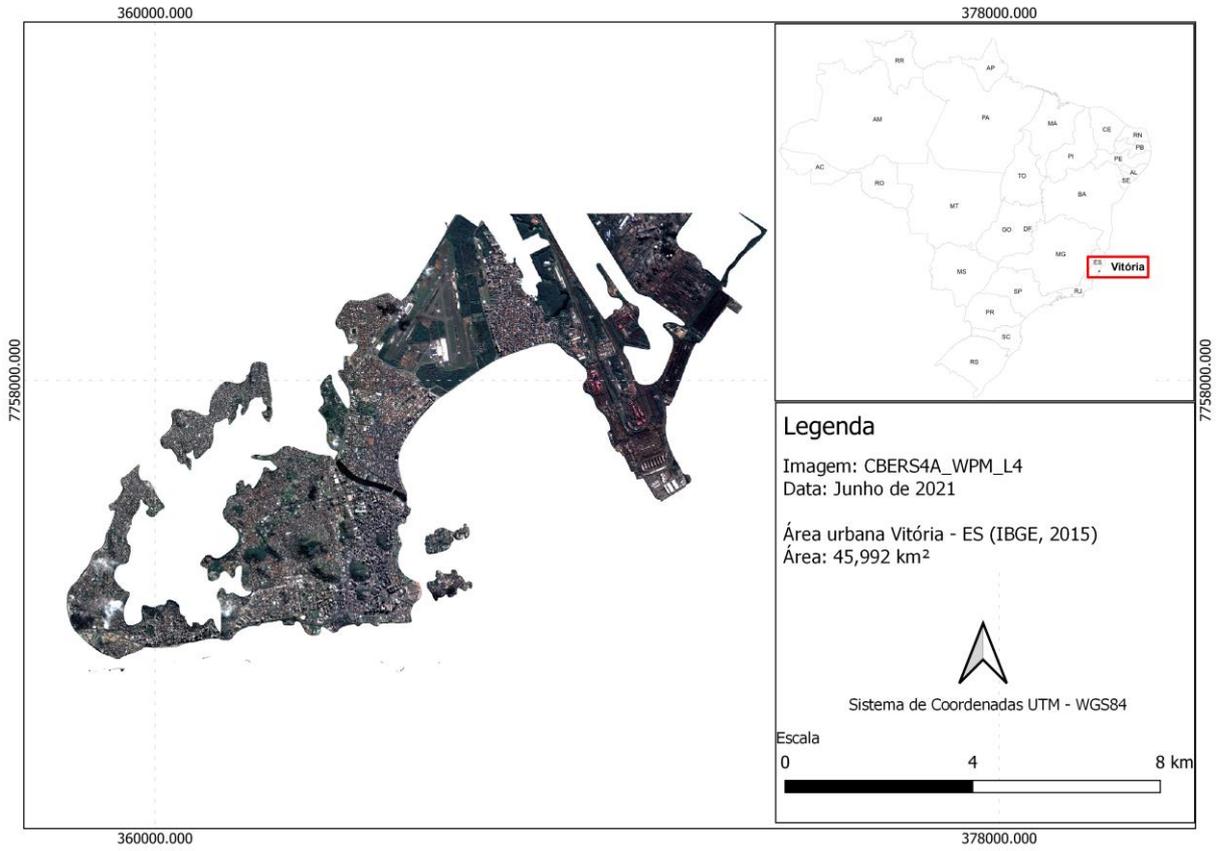
Tabela 32 - Proporção das classes temáticas de São Paulo - SP

Classes	Proporção
Copa de Árvore	15,56%
Gramíneas	9,46%
Solo Exposto	1,61%
Asfalto	22,00%
Sombra	3,15%
Rio ou Lago	0,51%
Piscina	0,60%
Telha Clara	1,14%
Telha Escura	18,81%
Telha Cinza	4,87%
Telha Cerâmica	22,29%

Fonte: Autor (2022)

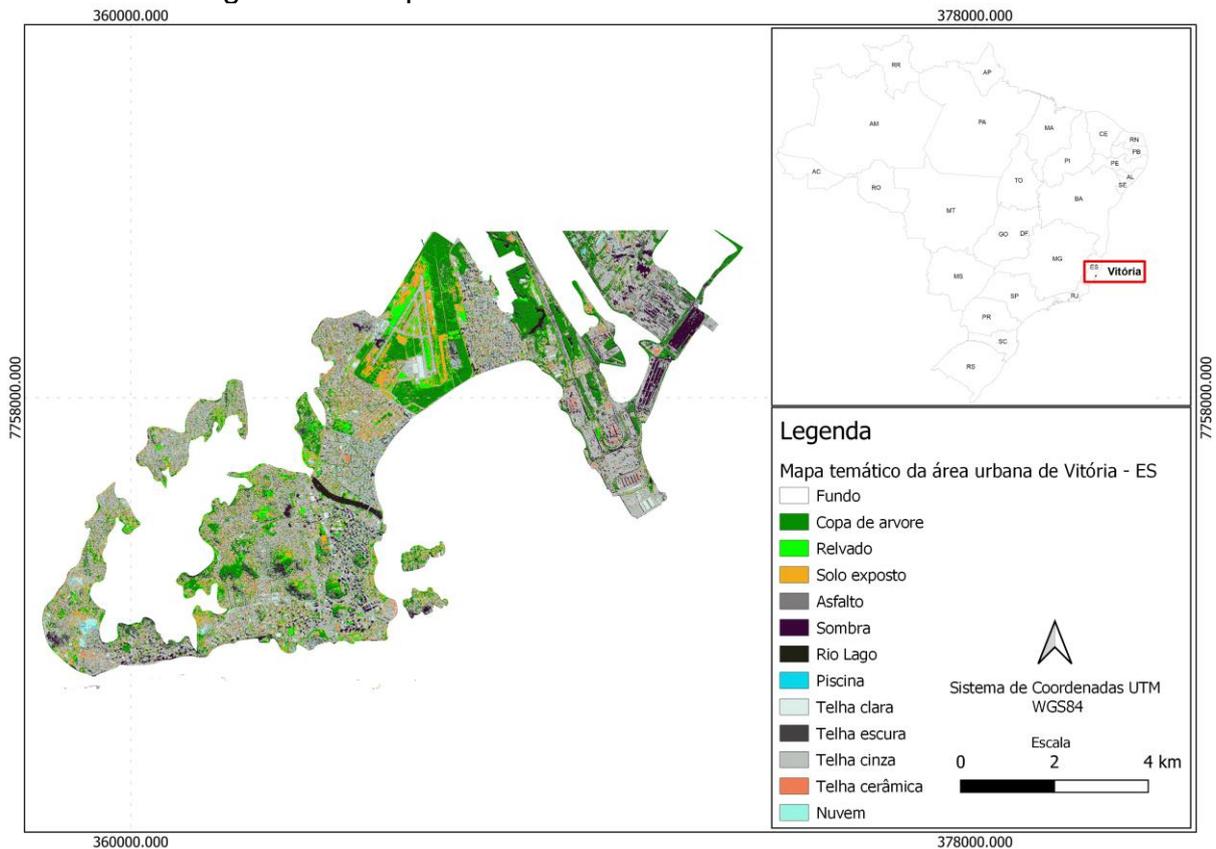
ANEXO 24

Figura 50 - Mapa da área urbana dentro do limite municipal de Vitória - ES



Fonte: Autor (2022)

Figura 51 - Mapa temático da área urbana de Vitória - ES



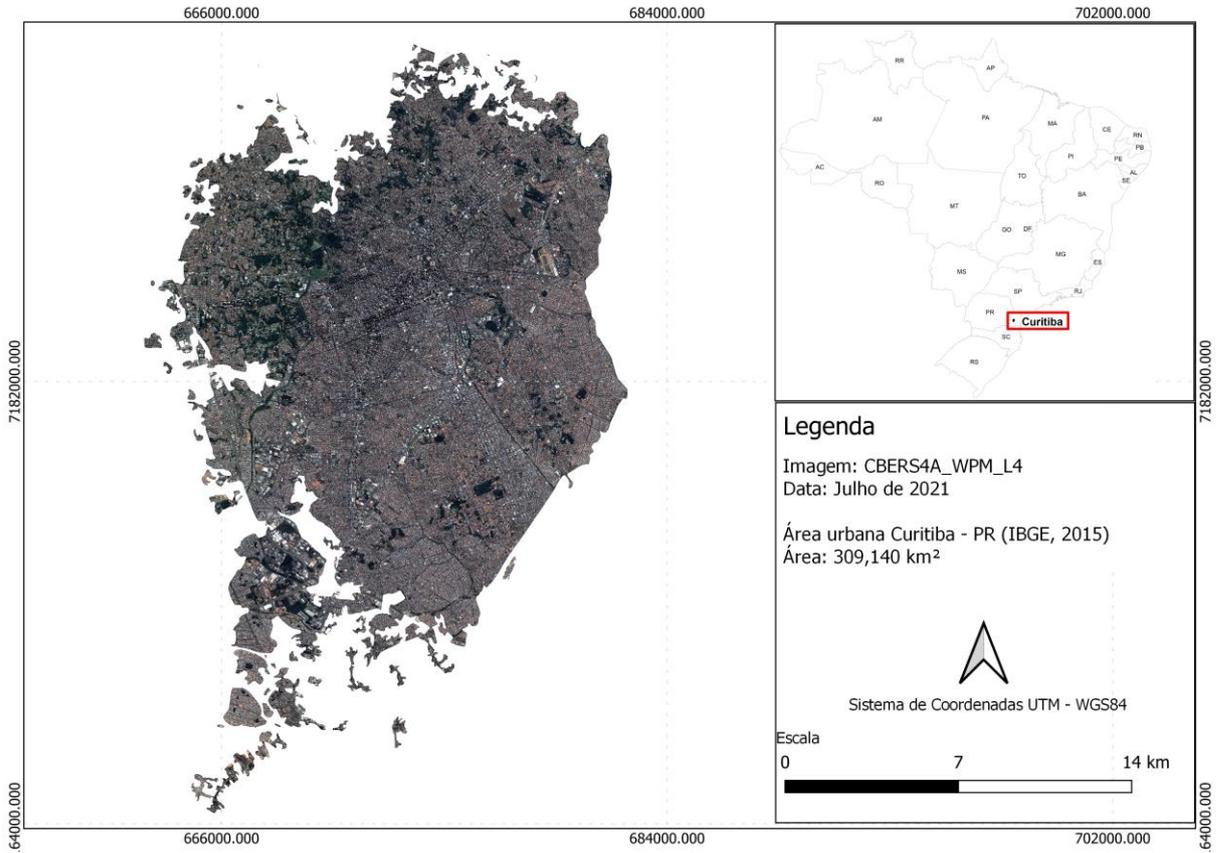
Fonte: Autor (2022)

Tabela 33 - Proporção das classes temáticas de Vitória - ES

Classes	Proporção
Copa de Árvore	16,03%
Gramíneas	5,83%
Solo Exposto	10,14%
Asfalto	9,76%
Sombra	7,05%
Rio ou Lago	1,16%
Piscina	1,73%
Telha Clara	3,21%
Telha Escura	4,36%
Telha Cinza	36,44%
Telha Cerâmica	3,37%
Nuvem	0,91%

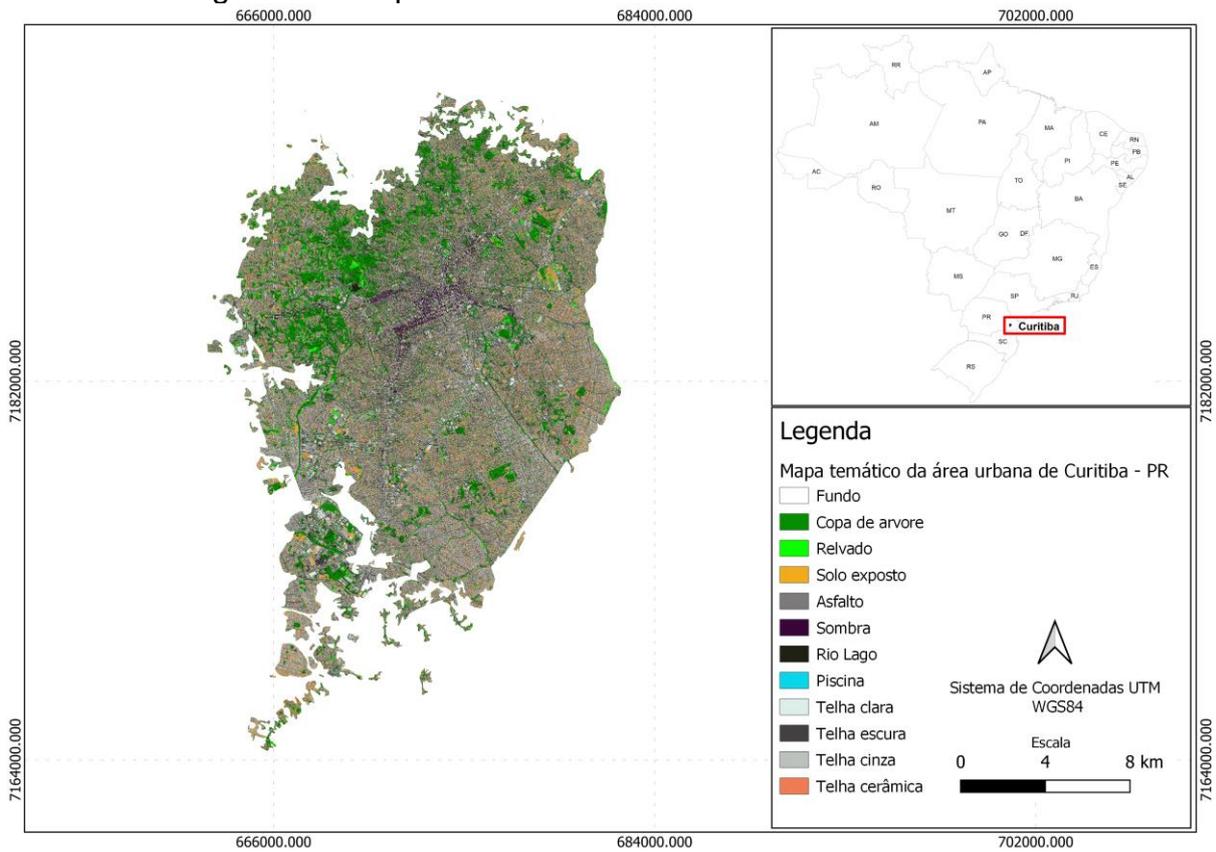
ANEXO 25

Figura 52 - Mapa da área urbana dentro do limite municipal de Curitiba - PR



Fonte: Autor (2022)

Figura 53 - Mapa temático da área urbana de Curitiba - PR



Fonte: Autor (2022)

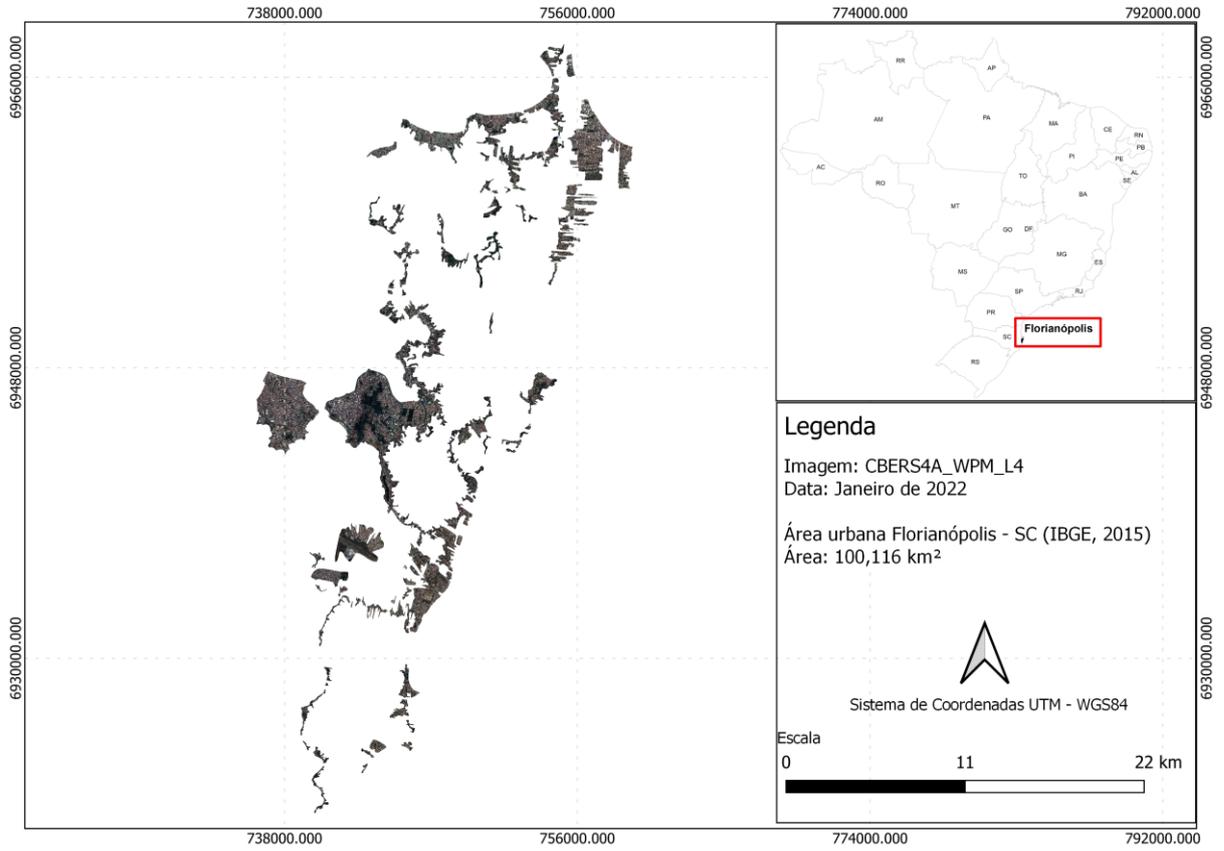
Tabela 34 - Proporção das classes temáticas de Curitiba - PR

Classes	Proporção
Copa de Árvore	12,54%
Gramíneas	2,41%
Solo Exposto	6,34%
Asfalto	35,48%
Sombra	2,62%
Rio ou Lago	4,99%
Piscina	0,07%
Telha Clara	2,07%
Telha Escura	11,71%
Telha Cinza	17,27%
Telha Cerâmica	4,49%

Fonte: Autor (2022)

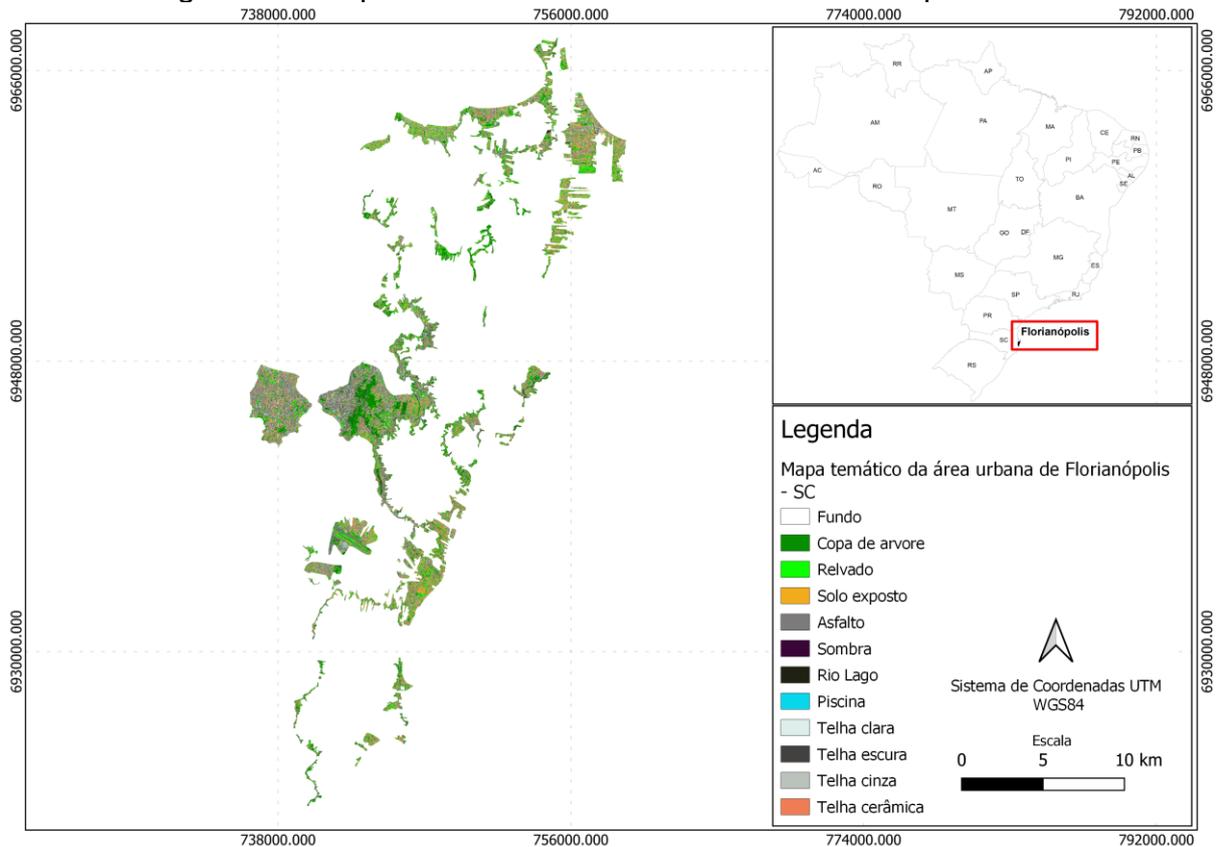
ANEXO 26

Figura 54 - Mapa da área urbana dentro do limite municipal de Florianópolis - SC



Fonte: Autor (2022)

Figura 55 - Mapa temático da área urbana de Florianópolis - SC



Fonte: Autor (2022)

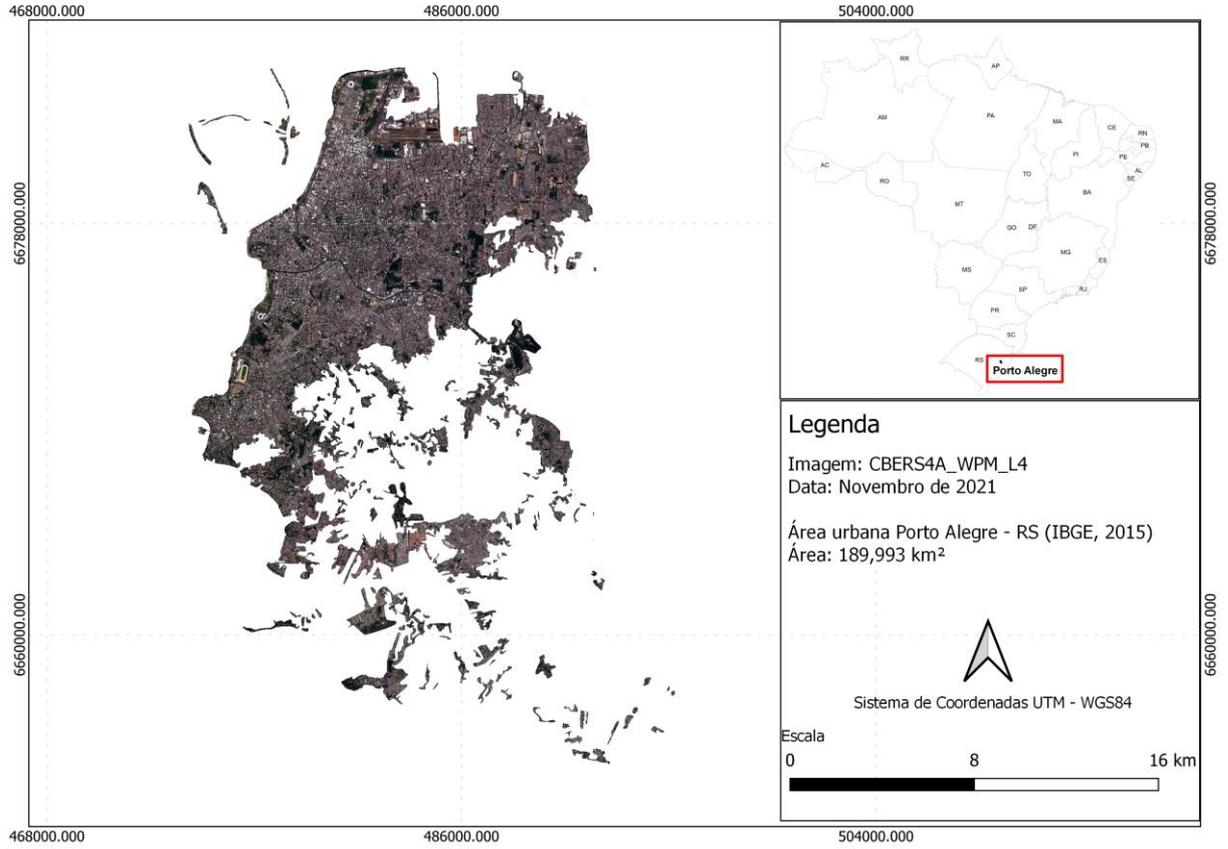
Tabela 35 - Proporção das classes temáticas de Florianópolis - SC

Classes	Proporção
Copa de Árvore	15,60%
Gramíneas	16,39%
Solo Exposto	7,61%
Asfalto	29,52%
Sombra	0,67%
Rio ou Lago	1,54%
Piscina	0,99%
Telha Clara	1,83%
Telha Escura	2,15%
Telha Cinza	10,32%
Telha Cerâmica	13,37%

Fonte: Autor (2022)

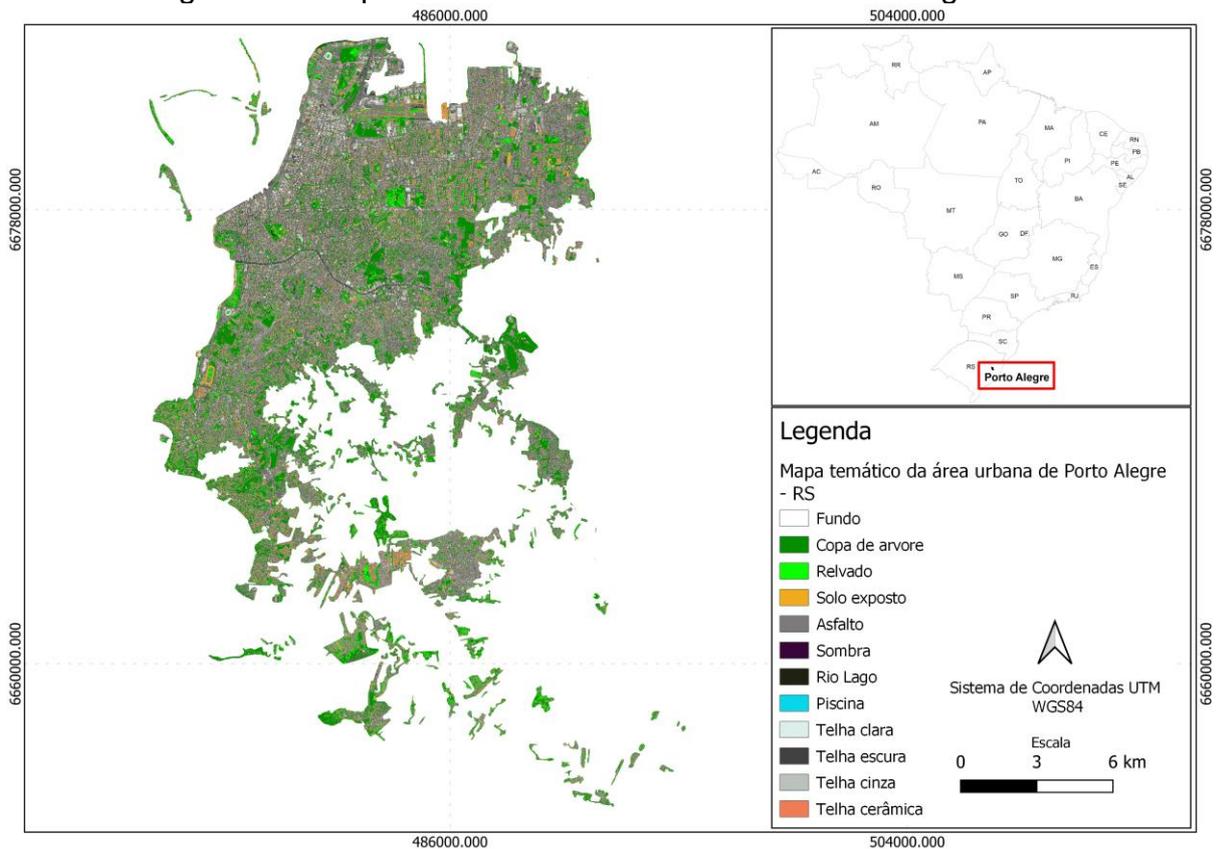
ANEXO 27

Figura 56 - Mapa da área urbana dentro do limite municipal de Porto Alegre - RS



Fonte: Autor (2022)

Figura 57 - Mapa temático da área urbana de Porto Alegre - RS



Fonte: Autor (2022)

Tabela 36 - Proporção das classes temáticas de Florianópolis - SC

Classes	Proporção
Copa de Árvore	18,33%
Gramíneas	6,25%
Solo Exposto	5,36%
Asfalto	48,01%
Sombra	0,64%
Rio ou Lago	0,35%
Piscina	0,01%
Telha Clara	2,06%
Telha Escura	5,93%
Telha Cinza	9,45%
Telha Cerâmica	3,61%

Fonte: Autor (2022)