

DETERMINAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL DE OLINDA, PERNAMBUCO - BRASIL: UM SUBSÍDIO À GESTÃO FLORESTAL URBANA

Iran Jorge Corrêa Lopes

Universidade Federal do Paraná – UFPR
Departamento de Ciências Florestais, Curitiba, PR, Brasil
Mestrando pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
iran.lopes@ufpr.br

Everaldo Lima Neto

Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE
Departamento de Ciências Florestais, Recife, PE, Brasil
Docente do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais
everaldo.limaneto@gmail.com

Mayara Maria de Lima Pessoa

Instituto Federal de educação ciência e tecnologia de Minas Gerais – IFMG
Doutora em Ciências Ambientais e Florestais
mayara.pessoa@ifmg.edu.br

Allan Rodrigo Nunho dos Reis

Universidade Federal do Paraná – UFPR
Departamento de Ciências Florestais, Curitiba, PR, Brasil
Doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
allan.nunho@gmail.com

Eduardo Campanhã Ribas

Universidade Federal do Paraná – UFPR
Departamento de Ciências Florestais, Curitiba, PR, Brasil
Mestrando pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
cribas55@gmail.com

Anderson Francisco da Silva

Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE
Departamento de Ciências Florestais, Recife, PE, Brasil
Doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais
engf.anderson@gmail.com

Cinthia Pereira de Oliveira

Universidade do Estado do Amapá – UEAP
Departamento de Engenharia Florestal
Doutora em Ciências Florestais
cinthia.florestal@gmail.com

Nattan Ádler Tavares dos Santos

Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE
Departamento de Ciências Florestais, Recife, PE, Brasil
Mestrando pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais
nattantavares@gmail.com

RESUMO

A expansão urbana sem planejamento adequado promoveu uma série de efeitos nocivos para a população das cidades, tanto ambiental quanto socialmente. Contudo, cada vez mais a vegetação vem sendo associada à qualidade de vida, devido aos comprovados benefícios que ela promove no ambiente urbano. Esta pesquisa objetivou classificar a cobertura vegetal de Olinda - Pernambuco, visando a quantificar sua floresta urbana. Para isso, utilizou-se uma imagem do satélite SENTINEL-2 com resolução espacial de 10 metros, para a classificação do uso do solo do município. Por meio do *software* QGIS 2.14.11, identificaram-se as classes de infraestrutura urbana, água, solo exposto, vegetação e nuvem, por meio da classificação supervisionada MaxVer, posteriormente divididas por regiões político administrativas para o mapeamento, sendo assim determinados e quantificados os índices de cobertura vegetal da cidade. A quantidade de vegetação nas regiões se mostrou variável, mas foram insatisfatórias para promover benefícios ambientais à população, com exceção da Zona Rural, local onde

há maior quantitativo de vegetação da cidade. Observou-se que Olinda é uma cidade com déficit de cobertura vegetal, sendo possível perceber que o município carece de áreas vegetadas, bem como arborização.

Palavras-chave: Floresta urbana. Índice espacial de vegetação. Sistema de Informações Geográficas.

DETERMINATION OF THE VEGETATION COVERAGE OF OLINDA, PERNAMBUCO - BRAZIL: A SUBSIDIE TO THE URBAN FOREST MANAGEMENT

ABSTRACT

Urban expansion without proper planning has promoted a series of harmful effects for the population of cities, both environmentally and socially. However, vegetation is increasingly associated with quality of life, due to the proven benefits it promotes in the urban environment. The objective of this research was to classify the vegetation coverage of Olinda - Pernambuco, in order to quantify its urban forest. An image from SENTINEL-2 satellite with 10 m spatial resolution was used to classify the municipality's land use. Through software QGIS 2.14.11, the classes of urban infrastructure, water, exposed soil, vegetation and cloud were identified by means of MaxVer classification, which was divided by administrative political regions for the mapping. The city's vegetal cover indexes were determined and quantified. The amount of vegetation in the regions was variable, but they were unsatisfactory for promoting environmental benefits to the population, with the exception of the Rural Zone, where there is greater quantity of vegetation. It was observed that Olinda is a city with a deficit of vegetation cover. It was possible to notice that the municipality lacks vegetated areas, as well as afforestation.

Keywords: Geographic Information System. Spatial vegetation index. Urbanforest.

INTRODUÇÃO

Em nível global, a urbanização intensa e sem planejamento é um dos fatores que mais tem contribuído para a diminuição da qualidade ambiental nas cidades. Esse fator promove ainda mais a degradação dos ambientes naturais. Isso porque as atividades humanas tendem a aumentar a intensidade e a frequência das perturbações sobre os ecossistemas naturais, alterando a vegetação, a água, o solo e o ar (ADLER e TANNER, 2015; GRISE; BIONDI; ARAKI, 2019). Como consequência, formam-se ambientes mais suscetíveis aos efeitos nocivos da mudança global do clima, tais como deslizamentos de encostas, alagamentos e ilhas de calor urbano, além da perda de habitats para as espécies nativas.

Diante desse cenário, as florestas urbanas ganham cada vez mais importância pela sua capacidade de fornecer serviços ecossistêmicos (GAGGINI; RUSTERHOLZ; BAUR, 2017). Dentre esses serviços, podem-se citar o controle da poluição do ar, aumento do conforto ambiental, valorização visual e ornamental, recreação, diversificação da paisagem construída, atenuação da poluição sonora, armazenamento de carbono e preservação de espécies ameaçadas de extinção (MONTEIRO, 2015; MARTINI; BIONDI; BATISTA, 2018; OLIVEIRA et al., 2018; LYNCH, 2019; REIS et al., 2019; REIS et al., 2021). Por isso, Grise, Biondi e Araki (2019) afirmam que a vegetação constitui o componente principal da estrutura da paisagem urbana.

Contudo, para a maximização desses benefícios, é necessária uma gestão eficiente das florestas urbanas. Como uma das ferramentas dessa gestão, o mapeamento da floresta urbana a partir de técnicas de Sensoriamento Remoto permite a quantificação do patrimônio arbóreo da cidade, além de fornecer parâmetros para o cálculo de índices espaciais de vegetação. Esses índices indicam o quanto de cobertura vegetal está disponível, em metros quadrados, por habitante de uma cidade (GRISE; BIONDI; ARAKI, 2019).

No entanto, ainda não existem métodos padronizados para a quantificação das florestas urbanas brasileiras, conforme discutido por Grise, Biondi e Araki (2019). Apesar disso, alguns autores citam que uma cobertura vegetal de pelo menos 30% seria necessária para amenizar as variações climáticas, e

que um valor inferior a 5% demonstra características semelhantes às de um deserto (NUCCI e CAVALHEIRO, 1999). Contudo, Rocha e Nucci (2018) salientam que esses 30% não devem ser considerados para quaisquer regiões, uma vez que existe uma variação em função das latitudes.

Em muitas cidades brasileiras verifica-se um padrão de crescimento desordenado, que concilia pouco as áreas naturais e a infraestrutura urbana. Além disso, em cidades do Nordeste brasileiro, são incipientes as pesquisas que versam sobre o mapeamento das florestas urbanas, considerando as suas características de urbanização. Em levantamento de pesquisas sobre esse tema, Lima e Oliveira Filho (2020) não constataram nenhuma pesquisa publicada em periódicos brasileiros abordando a floresta urbana total de cidades nordestinas. Esse resultado demonstra a deficiência de ferramentas de gestão do patrimônio arbóreo nessa região do Brasil.

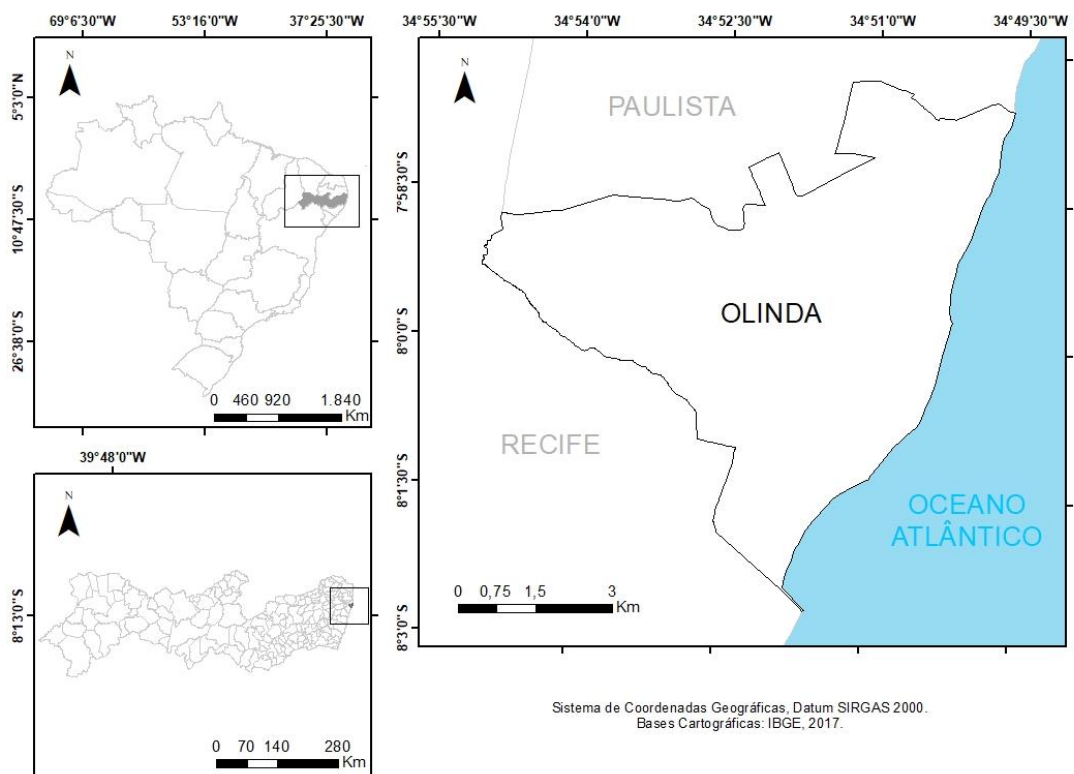
No município de Olinda, Pernambuco, o acelerado crescimento populacional acompanhado por uma carência de planejamento urbano bem elaborado comprometeu sobremaneira as áreas nativas (ARAÚJO, 2016). Além disso, estudos no âmbito da quantificação da cobertura vegetal olindense e de sua disponibilidade para a população são escassos (LOPES, 2019). Desse modo, o objetivo desta pesquisa foi elaborar o mapeamento da vegetação atual do município de Olinda, compreendida em sua floresta urbana, visando a favorecer a elaboração de ferramentas de gestão urbana mais eficientes.

MATERIAIS E MÉTODOS

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Olinda está localizado na Região Metropolitana do Recife, Pernambuco, e possui uma extensão territorial de 42,45 km², limitando-se ao Norte com o município de Paulista, ao Sul com Recife e a Leste com o Oceano Atlântico (Figura 1).

Figura 1 - Localização de Olinda, Pernambuco, Brasil.



Fonte - IBGE (2017). Elaborado pelos autores (2021).

Com uma população estimada para 2020 de 393.115 habitantes (IBGE, 2019), Olinda é considerada a terceira maior cidade de Pernambuco e, além disso, possui uma elevada densidade demográfica, de 9.063,58 hab/km² (IBGE, 2010), o que a torna a maior do estado e a sétima maior do Brasil nesse aspecto.

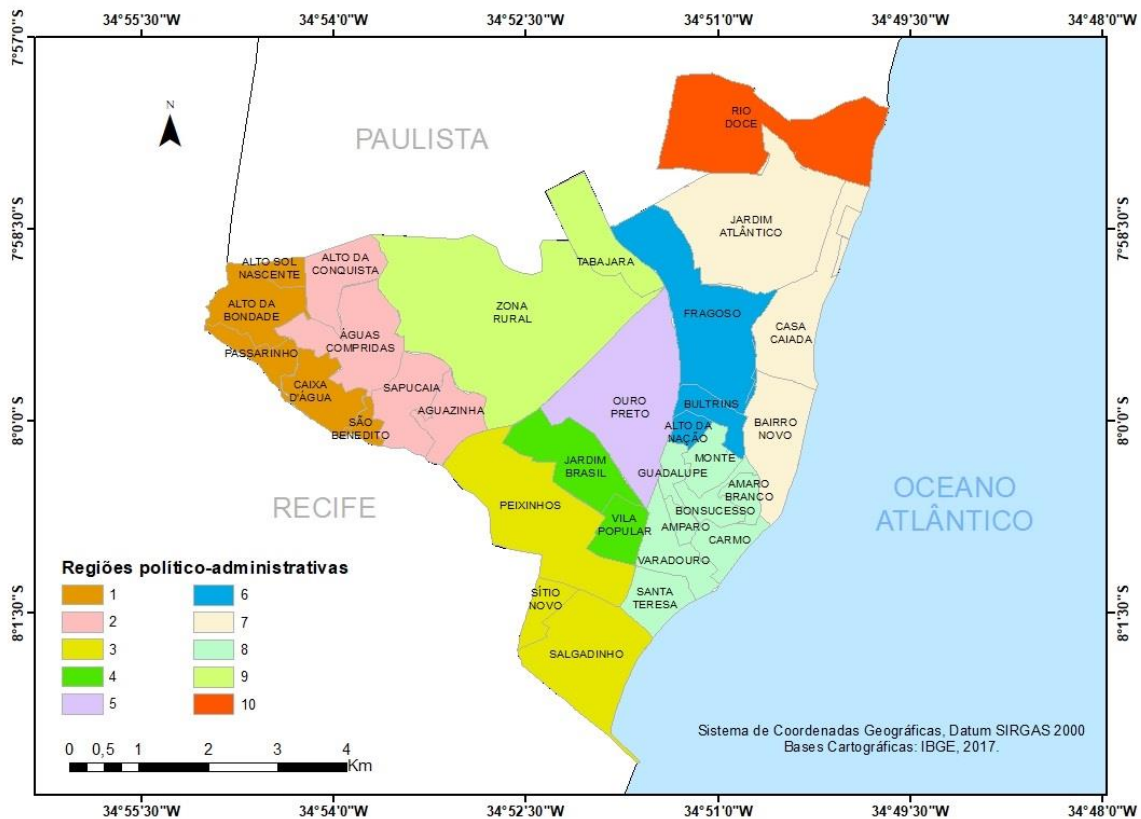
Segundo Lima (2007), Olinda faz parte da Zona do Litoral de Pernambuco, tendo nos locais mais afastados da orla, a vegetação caracterizada como “Mata Úmida”. Está inserida no bioma Mata Atlântica, onde alguns pontos do seu território encontram-se abaixo do nível do mar, e nos locais de maior elevação chegam a 70 metros (OLINDA, 2016). Ainda de acordo com o plano diretor, merecem destaque a vegetação de manguezais e restingas, que ocupavam principalmente as regiões com relevo plano, e que devido à ocupação humana das últimas décadas foram praticamente extintas.

O clima da região é classificado como As’ de acordo com Köppen-Geiger, sendo tropical (A) com chuvas de outono/inverno (s’), possuindo temperatura média anual de 26° C, e média pluviométrica anual de 1.763 mm (BONTEMPO FILHO, 2017).

No início da década de 1990, foi criada a Lei Orgânica do Município de Olinda, revisada em novembro de 2012 (OLINDA, 2012), a qual trata da criação de áreas de proteção especial, proporcionando proteção e conservação de aspectos históricos, ambientais e culturais. São elas: Horto de Del Rey; Sítios Históricos; Mata do Ronca; Lagoas do Jardim Brasil; Mata do Passarinho; e Zona Rural (ARAÚJO, 2016).

Atualmente, o território de Olinda é subdividido em 31 bairros, inseridos em 10 Regiões Político-Administrativas (RPA) (Figura 2). Em 2014, a Zona Rural foi transformada em Área de Proteção Ambiental (APA) pela Lei Municipal nº 5.887/2014 (OLINDA, 2014).

Figura 2 - Localização dos bairros agrupados por Regiões Político-Administrativas (RPA) do município de Olinda, Pernambuco.



Fonte - IBGE (2017); OLINDA (2014). Elaborado pelos autores (2021).

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

CLASSIFICAÇÃO DE COBERTURA DA TERRA

Foi utilizada uma imagem do satélite Sentinel-2, com resolução espacial de 10 metros, datada de 07 de fevereiro de 2018. A imagem foi adquirida gratuitamente por meio do portal do programa Copernicus, vinculado à Agência Espacial Europeia (ESA, 2018).

Os procedimentos de composição, pré-processamento e classificação da imagem foram realizados no programa QGIS 2.14.11 (*software* livre), por meio do complemento SCP (*Semi-Automatic Classification Plugin*) versão 5.0, conforme Congedo (2013). Esse complemento possui um conjunto de ferramentas desenvolvidas exclusivamente para as especificidades das imagens Sentinel-2.

As bandas 3, 4 e 8 foram importadas para o programa, sendo geradas composições falsa-cor R8G4B3 e R4G8B3, onde as bandas 3 e 4 situam-se no espectro visível, correspondendo às cores verde e vermelho, respectivamente, e a banda 8 corresponde ao espectro do infravermelho próximo. Buscou-se com isso realçar as características da vegetação, principalmente o seu grau de densidade.

Na etapa de pré-processamento, as imagens foram submetidas à técnica de correção atmosférica *DarkObjectSubtraction1* (DOS 1). Com isso, procedeu-se para a etapa de composição de bandas, na qual se utilizou a projeção UTM Zona 22 Sul, e Datum SIRGAS 2000.

O recorte foi realizado com os arquivos *shapefiles* dos bairros, extraídos do *software Google Earth Pro* em formato kml, e convertidos em .shp utilizando o QGIS. Nesta etapa, os mosaicos foram divididos pela operação de interseção entre a imagem e de acordo com os limites das 10 RPAs.

Na sequência, um mapa de classes de uso e cobertura da terra foi elaborado a partir de classificação semiautomática de imagens, com base no método da Máxima Verossimilhança (MaxVer). Nesse método, os *pixels* são relacionados a uma determinada classe por probabilidade estatística, a partir de polígonos amostrais (CONGEDO, 2013).

Para a construção do mapa de classes de uso e cobertura, foram observadas nas imagens as fisionomias de cor, forma e textura com base na aparência da composição de bandas da imagem. Foram coletadas amostras de treinamento levando-se em consideração as formas predominantes de uso e ocupação do solo no município.

Foram utilizados polígonos para a extração das amostras de treinamento, como forma de diminuir a quantidade de vértices na amostra. Coletaram-se em média 75 amostras de treinamentos para cada classe, visando a diminuir a confusão entre classes com maior variabilidade espectral.

Assim, foram distinguidas visualmente as seguintes classes de cobertura do solo:

- a) Infraestrutura urbana – locais ocupados por logradouros públicos, habitações ou demais construções;
- b) Água – canais, lagos e componentes da hidrografia;
- c) Vegetação – área com vegetação independente do porte, como a arborização viária, áreas verdes e fragmentos florestais remanescentes;
- d) Solo exposto – área desmatada com exposição de solo, terrenos baldios;
- e) Nuvem – névoa, ou neblina.

Para avaliar a precisão do processamento das imagens, utilizou-se o índice Kappa. Esse índice utiliza análises estatísticas, com base em matrizes de erro/confusão, que comparam o resultado das classificações com os valores das amostras definidas e determinam a sua acurácia (CONGEDO, 2013). Os valores de Kappa variam entre 0 e 1, em que 0 significa que não há concordância entre a

imagem classificada e a imagem de referência, e 1 significa que as imagens são totalmente idênticas (LANDIS; KOCH, 1977). Portanto, quanto maior o coeficiente Kappa, melhor a acurácia da classificação.

DETERMINAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL

Os cálculos dos parâmetros de cobertura vegetal foram realizados com base nas pesquisas de Lombardo (1990), Nucci e Cavalheiro (1999), Nucci (2008), Rocha e Nucci (2018). Foi calculado o percentual de cobertura vegetal (PCV) por RPA por meio da Equação 1.

$$PCV = (CV \div A) \times 100(1)$$

Em quê:

PCV: valor do percentual de cobertura vegetal para cada RPA;

CV: valor da área, em m², de cobertura vegetal presente em cada RPA;

A: valor da área, em m², de cada RPA.

Os valores obtidos de PCV foram relacionados a parâmetros encontrados na literatura supracitada, e que recomendam um índice acima de 30% de cobertura vegetal em áreas urbanas para proporcionar um adequado balanço térmico, e inferior a 5% sugere condições climáticas de regiões desérticas (SILVA et al., 2018) (Quadro 1).

Quadro 1 - Determinação das classes em função do percentual de cobertura vegetal em Olinda-PE.

ÍNDICE DE COBERTURA VEGETAL (ICV)	
ALTA	Áreas com cobertura vegetal para garantir equilíbrio térmico (ICV > 30%).
MÉDIA	Áreas com cobertura vegetal insuficiente para garantir equilíbrio térmico (5% < ICV < 30%).
BAIXA	Áreas com cobertura vegetal insuficiente para garantir uma qualidade ambiental razoável, semelhante a regiões desérticas (ICV < 5%).

Fonte - Adaptado de Silva et al. (2018).

Foi analisada a área, em m², destinada a cada habitante do município, o qual corresponde ao Índice de Cobertura Vegetal por Habitante (ICV). O cálculo foi adaptado do método proposto por Harder, Ribeiro e Tavares (2006). Foi utilizado o censo demográfico do IBGE de 2010, utilizando a Equação 2.

$$ICV = CV \div H(2)$$

Em quê:

ICV: valor do índice de cobertura vegetal por habitante para cada RPA

CV: valor da área, em m², de cobertura vegetal presente em cada RPA

H: número de habitantes em cada RPA, de acordo com o censo do IBGE de 2010.

Devido à falta de pesquisas no Nordeste que quantifiquem a floresta urbana das cidades (LIMA e OLIVEIRA FILHO, 2020), foi feita essa comparação com base nos dados do MapBiomas (2020), elencados na Figura 6, os quais são baseados em processamentos automatizados de imagens orbitais dos satélites Landsat. Não obstante, a falta no consenso das terminologias e dos cálculos das prefeituras referente ao patrimônio vegetal das cidades traz à tona a necessidade de reforçar quais métodos foram utilizados para a criação dos índices (GRISE; BIONDI; ARAKI, 2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

CLASSIFICAÇÃO DE COBERTURA DA TERRA

Conforme apresentado na Tabela 1, apenas a classe de solo exposto obteve uma acurácia mediana (0,60) no processo de classificação, enquanto as demais se mostraram com escala aceitável (acima de 0,81). A confusão da classe referente ao solo exposto deriva da reflectância aferida, que é similar às de ruas sem calçamento, e estas se encontram próximas dos telhados e demais construções (infraestrutura urbana), sendo esse um cenário comum no município de Olinda.

Tabela 1 - Índice Kappa para a classificação da imagem SENTINEL-2 pelo algoritmo MaxVer.

Classe temática	Valor do Índice Kappa
Água	0,92
Infraestrutura urbana	0,87
Nuvem	0,97
Solo exposto	0,60
Vegetação	0,91

Fonte - Elaborado pelos autores (2021).

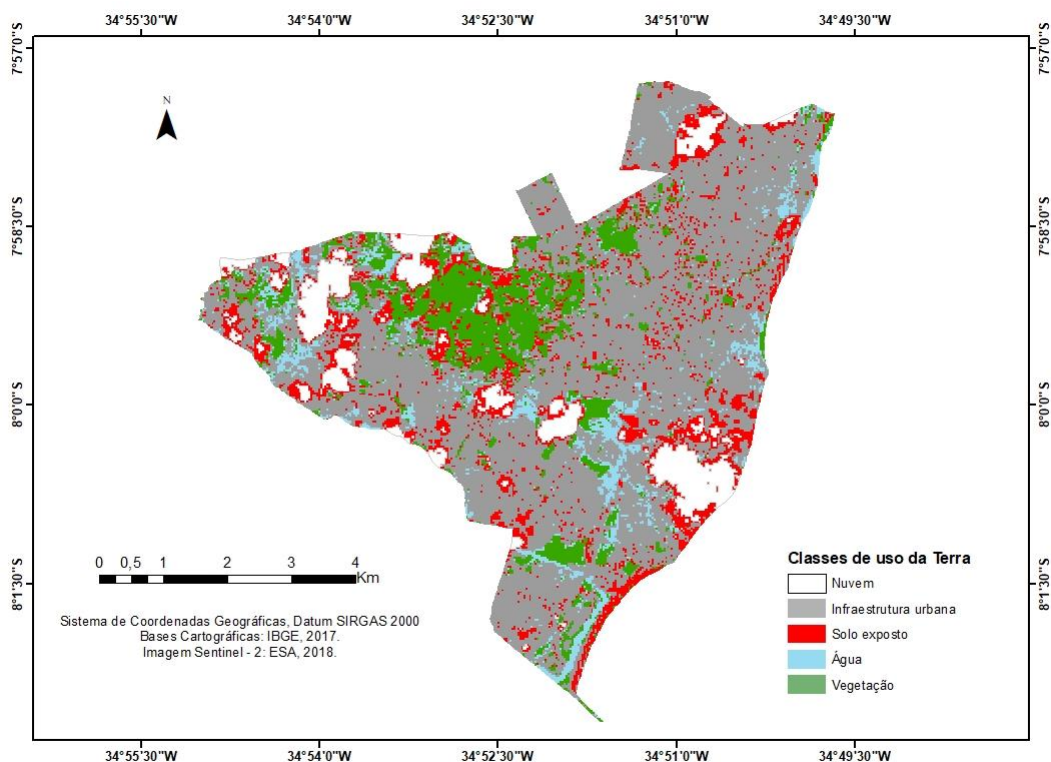
A classe de infraestrutura urbana foi predominante no município de Olinda, ocupando 2541,29 ha, o que corresponde a 59,86% de sua área total (Tabela 2). Com relação à área coberta por nuvens, 8,14% da área total de Olinda esteve sob essas no momento em que foi registrada a imagem orbital (Figura 3), sendo esse valor comumente encontrado para essa região, que por ser litorânea sofre bastante influência das massas de ar que chegam ao continente. Sperling (2012) menciona que um dos maiores desafios de sua pesquisa desenvolvida no litoral do estado de Alagoas foi a aquisição de imagens com a menor fração de nuvens possível, devido à persistência de nebulosidade na costa leste do Nordeste brasileiro, situação que se assemelha às condições geográficas do litoral pernambucano.

Tabela 2 - Valores quantitativos das classes de cobertura do solo em Olinda, Pernambuco.

	Água		Solo exposto		Infraestrutura urbana		Vegetação		Nuvem	
	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)
RPA 1	33,26	11,53	45,75	15,86	138,09	47,86	35,45	12,29	36,00	12,48
RPA 2	28,26	6,69	54,55	12,91	234,39	55,47	23,59	5,58	81,76	19,35
RPA 3	37,91	6,63	64,42	11,26	404,68	70,75	53,12	9,29	11,84	2,07
RPA 4	12,99	6,8	17,29	9,05	132,15	69,16	8,79	4,6	19,87	10,4
RPA 5	32,93	10,76	19,69	6,44	210,86	68,94	29,96	9,8	12,42	4,06
RPA 6	8,78	2,56	34,18	9,89	268,14	77,62	32,19	9,02	2,15	0,62
RPA 7	37,73	5,65	89,92	13,45	492,91	73,76	23,43	3,51	24,31	3,64
RPA 8	29,46	8,16	63,61	17,61	172,03	48,18	17,36	4,81	76,73	21,24
RPA 9	33,67	4,4	117,54	15,37	254,95	33,33	308,02	40,27	50,77	6,64
RPA 10	13,47	4,14	43,16	13,27	231,12	71,05	7,89	2,43	29,67	9,12
Olinda (total)	268,47	6,32	550,1	12,96	2541,29	59,86	539,78	12,72	345,506	8,14

Fonte - Elaborado pelos autores (2021).

Figura 3 - Mapa da classificação da imagem SENTINEL-2, do município de Olinda - PE.

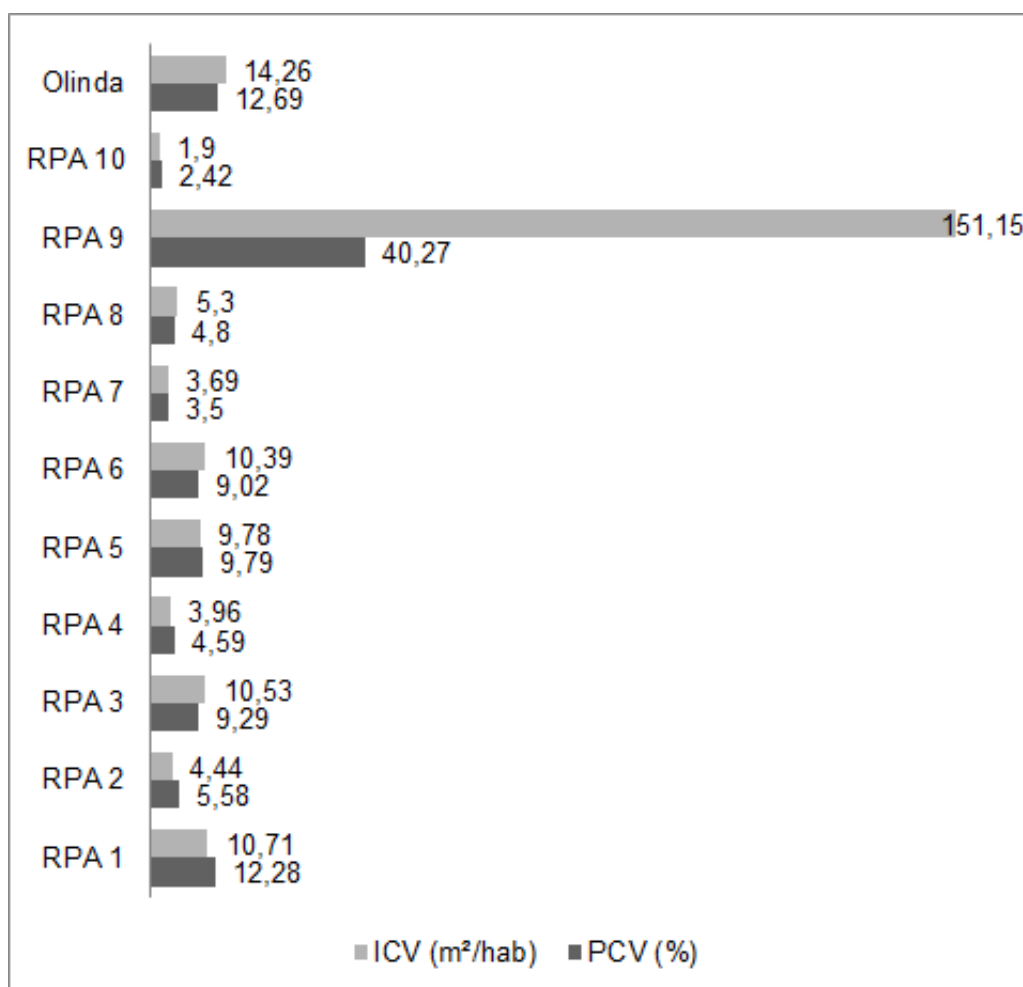


Fonte - Imagem Sentinel – 2 (ESA, 2018); IBGE (2017). Elaborado pelos autores (2021).

As RPAs 3, 6, 7 e 10 apresentaram percentuais acima de 70% para a classe de infraestrutura urbana, demonstrando a prevalência das áreas construídas nessas regiões. Silva et al. (2018) comentam sobre a formação de ilhas de calor nas regiões que possuem elevado grau de impermeabilização do solo, e apontam maior susceptibilidade a inundações nesses locais. Martini, Biondi e Batista (2018) ressaltam que o sobreaquecimento das áreas urbanas pode ser intensificado pela mudança climática em escala global, possivelmente agravando os efeitos provenientes das ilhas de calor.

Apenas a RPA 9 apresentou uma quantidade adequada para assegurar equilíbrio térmico, com um PCV de 40,27% e ICV de 151,15 m²/hab. (Figura 4). Desse modo, pode-se afirmar que Olinda não apresenta cobertura vegetal suficiente para prover benefícios ambientais à população. Esse alto valor de cobertura vegetal na regional é atribuído à Zona Rural, cujo território constitui uma APA e possui baixa densidade populacional comparada às demais regiões do município (OLINDA, 2016).

Figura 4 - Valores de ICV e PCV calculados para Olinda e suas respectivas RPAs.

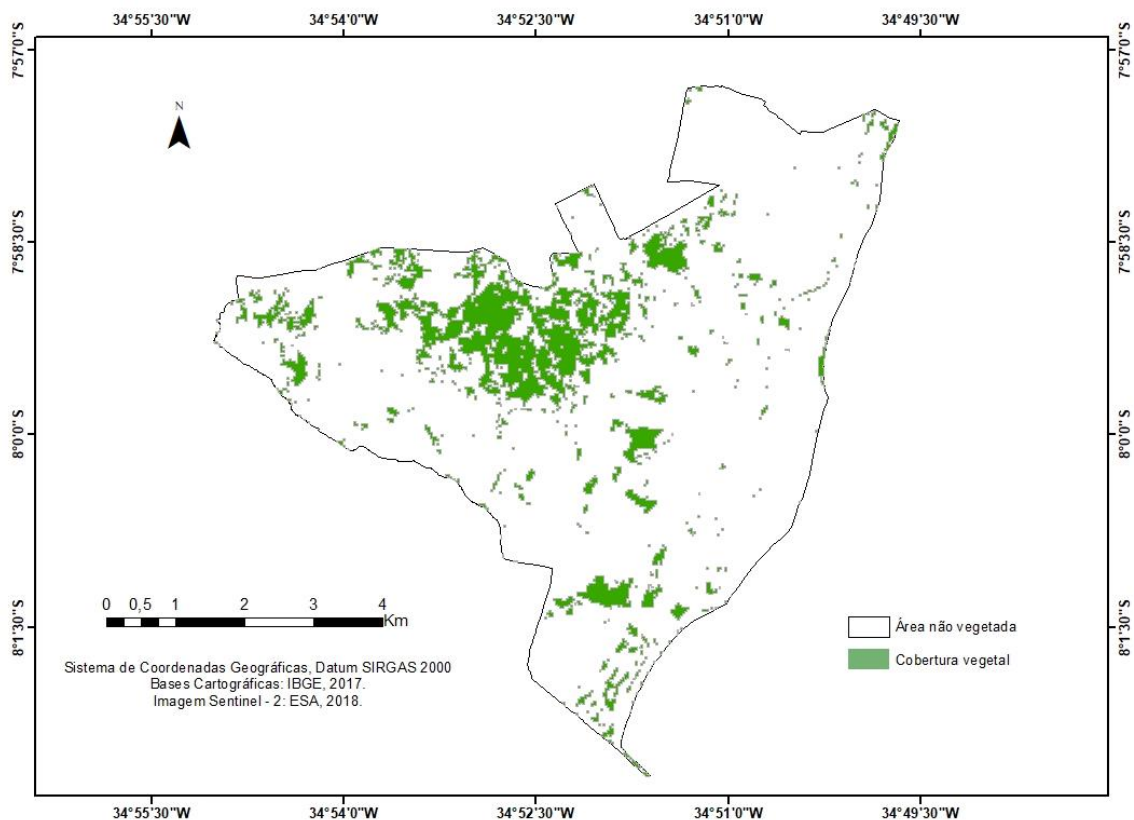


Fonte - Elaborado pelos autores (2021).

A discrepância dos valores da Zona Rural para as demais evidencia uma tendenciosidade nos valores do ICV total do município, visto que todas as outras regiões obtiveram valores consideravelmente menores de cobertura vegetal. Resultado semelhante foi verificado por Silva et al. (2018), para o município de Salto de Pirapora (SP), o qual possui 39,51% de CV total, sendo 38,78% na zona rural e apenas 0,72% na zona urbana.

As RPAs 1, 2, 3, e 6 apresentaram valores médios de PCV em sua maioria abaixo dos 30%, e fazem fronteira com a RPA 9, região de maior concentração de cobertura vegetal no município, e que protege uma grande quantidade de nascentes do município (OLINDA, 2016). Segundo o plano diretor (OLINDA, 2016), as regionais situadas na região oeste da cidade (RPAs 1, 2 e 3) apresentam escassez de áreas verdes ao longo de sua área (Figura 5), uma vez que sediaram a construção de muitos loteamentos aprovados antes da Lei Federal nº 6.766/1979 (BRASIL, 1979), a qual torna obrigatório o percentual de áreas verdes para parcelamentos em áreas urbanas. Já as regionais 4, 7, 8 e 10 se mostraram em condições desérticas quanto à presença florística. Dessas, as RPAs 7, 8 e 10 situam-se ao leste do município mais próximo da praia, onde a orla passou por uma verticalização acentuada promovida pela especulação imobiliária nessa região (OLINDA, 2016).

Figura 5 - Mapa da cobertura vegetal do município de Olinda – PE.



Fonte - Imagem Sentinel – 2 (ESA, 2018); IBGE (2017).Elaborado pelos autores (2021).

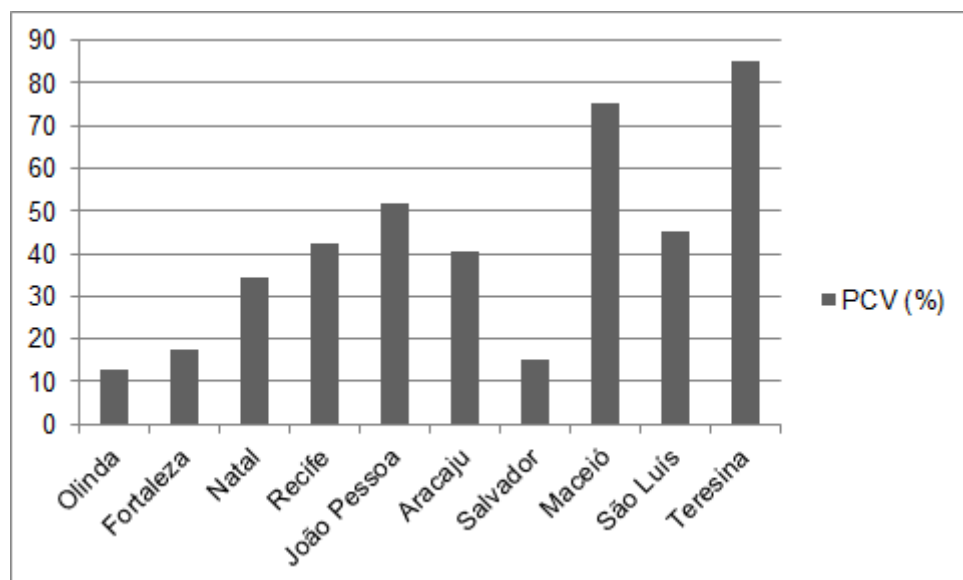
Segundo Pereira Junior(2004), uma das causas da diminuição da cobertura vegetal de Olinda foi o rápido crescimento populacional no município, que possuía 50 mil habitantes em 1950 e passou para cerca de 300 mil no final da década de 1980, período que foi marcado pela criação de grandes conjuntos habitacionais e a expansão de moradias irregulares, como invasões e favelas, especialmente nas RPAs 4, 5, 9 e 10. Santos (2016) afirma que essa migração acelerada para a cidade de Olinda foi reflexo de políticas públicas aplicadas pelo Estado na década de 1970, no investimento maciço de habitações, infraestrutura e serviços urbanos.

Em análise do percentual ocupado por áreas verdes (AV) das seis RPAs de Recife, Oliveira et al. (2013) revelam que apenas duas obtiveram taxas menores que 30%, e o município apresentou 44,48% de sua área total contemplada por AVs. Ainda segundo os autores, 64% encontram-se localizadas em

Unidades de Conservação (UCs). Os autores utilizaram ortofotocartas do ano de 2007 associadas a polígonos referentes às AVs, o que possibilitou uma classificação detalhada da cobertura vegetal do município, a qual se referem como áreas verdes.

Ao analisar o PCV do município de Olinda, foi obtido um valor de 12,69%, considerada uma taxa insuficiente de cobertura vegetal para assegurar os benefícios provenientes dos serviços ecossistêmicos à população. Dentre as cidades elencadas (Figura 6), Olinda apresenta resultados próximos aos obtidos em Fortaleza e Salvador, as quais não atendem os 30% de cobertura vegetal recomendados. Ademais, o município apresentou a menor taxa de PCV, ficando atrás de Teresina (85,14%), Maceió (75,11%), João Pessoa (51,76%), São Luís (45,17%), a vizinha Recife (42,26%), Aracaju (40,74%) e Natal (34,35%).

Figura 6 - Percentual de cobertura vegetal em cidades do nordeste.



Fonte - Adaptado de MapBiomias (2020).

Já em função do número de habitantes, foi visto que a cidade atingiu um ICV de apenas 14,26 m²/hab, valor que não traduz fielmente a disponibilidade da cobertura vegetal para todo o território olindense, visto a irregularidade do maior valor encontrado para a RPA 9 (151,15 m²/hab.), para o segundo maior ICV da RPA 1 (10,71 m²/hab.). Os índices que resultaram dessa pesquisa estão dentro dos valores mencionados em uma compilação de dados feita por Moura e Nucci (2010) para bairros de cidades brasileiras, onde apresentam índices de cobertura de vegetação que variam de 2,52 a 110,50 m²/hab.

Abreu et. al (2012) obtiveram ICV de 0,028 m²/hab., em análise dos índices de cobertura arbórea no bairro do Centro de Teresina, PI. Sob a mesma perspectiva, Silva (2014) também encontrou valores baixos para o município de Santa Terezinha de Itaipu, PR, obtendo 2,92 m² de cobertura vegetal por habitante. Analisando a cobertura vegetal por meio da área das copas das áreas verdes de Vinhedo, SP, Harder, Ribeiro e Tavares (2006) obtiveram 0,55 m²/hab. Costa e Ferreira (2007) verificaram irregularidades na distribuição das áreas verdes nas 26 diferentes regiões da cidade de Juiz de Fora, MG, onde obtiveram um IAV igual a 0,0 em 13 regiões, e constataram apenas duas regiões com índices de 18 e 35 m² por habitante.

Em municípios onde a densidade demográfica é menos acentuada, a tendência é encontrar valores de cobertura vegetal por habitante maiores. Gomes e Queiroz (2011), em estudo realizado em Birigui, SP, chegaram a um valor de 36 m² de cobertura arbórea por habitante, evidenciando também a má distribuição das árvores quando comparadas às regiões centrais, mais densas, das periféricas. Por

outro lado, Lindenmaier e Souza (2015) ao estudarem separadamente o centro da cidade de Cachoeira do Sul, RS, e um bairro periférico chegaram a ICV próximos (15,6 e 15,8%, respectivamente) e ICV por habitante distintos (88,32 e 37,53 m²/hab., respectivamente), evidenciando que a vegetação do município segue a mesma tendência de cobertura, porém são representativamente diferentes a depender da demografia do local estudado.

Assim sendo, a criação de projetos de implantação de áreas verdes no município de Olinda se torna imprescindível para que a população possa usufruir efetivamente dos benefícios da floresta urbana. Com exceção da RPA 9, as demais regiões se mostram carentes quanto à presença de vegetação, e foi possível identificar uma relação entre maior densidade populacional com menor presença de vegetação (regionais 2, 4, 7 e 10).

De acordo com a percepção da pesquisa, a escassez dos elementos naturais representa um grande fator de vulnerabilidade para Olinda, visto que a pressão antrópica descaracterizou grande parte de seu território. Assim sendo, a classificação da CV por imagens orbitais surge como uma alternativa eficaz para quantificar o patrimônio vegetal em maior escala, sendo possível diagnosticar quais RPAs precisam de maior atenção do poder público no que tange a implantação de floresta urbana. Por outro lado, sem os polígonos referentes às áreas verdes, não é possível a criação de índices fidedignos a respeito da disponibilidade dessas à população.

Apesar das limitações, o presente trabalho é relevante, pois os resultados permitem uma percepção holística da floresta urbana, o que pode ajudar os gestores urbanos no planejamento da cobertura vegetal do município. Além disso, o método utilizado pode ser replicado para outras cidades, especialmente as nordestinas, as quais carecem de pesquisas no âmbito da cobertura vegetal urbana.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A imagem do satélite SENTINEL-2 foi adequada para identificar as classes de uso do solo em Olinda. Embora com presença de nuvens, a classificação se mostrou satisfatória para fornecer elementos para o planejamento da floresta urbana da cidade. Os procedimentos apresentados podem servir de base para os profissionais da área de geoprocessamento das instituições responsáveis pela gestão e manutenção de florestas urbanas de outros municípios do Nordeste.

A classe mais representativa de uso da terra de Olinda é a infraestrutura urbana, e, como consequência, torna grande parte da cobertura do município impermeável. Além disso, a cobertura de vegetação é insuficiente para os habitantes usufruírem dos benefícios ambientais providos por ela, confirmando a baixa oferta de áreas verdes.

Com exceção da RPA 9, onde está inserida a zona rural, as demais regiões se mostram carentes quanto à presença de vegetação. Além disso, foi verificado uma relação entre maior densidade populacional com menor presença de vegetação (regionais 2, 4, 7 e 10).

Apesar do entendimento dos benefícios oferecidos pelas áreas vegetadas, a realidade apresentada neste trabalho está distante do ideal almejado para promoção da qualidade ambiental e de vida da população olindense. A escassez de informações disponíveis referente à realidade ambiental do município reflete a falta de iniciativa ou negligência dos órgãos competentes pela gestão do território.

Conclui-se que o crescimento desordenado da zona urbana, associado ao descaso do poder público resultaram em déficits de cobertura de vegetação na cidade de Olinda.

REFERÊNCIAS

ABREU, E. L.; MOURA, H. F. N.; LOPES, D. S.; BRITO, J. S. Análise dos índices de cobertura vegetal arbórea e sub-arbórea das praças do centro de Teresina – PI. In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 3., 2012, Goiânia – GO. **Anais...** Goiânia: Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais e de Saneamento – IBEAS, 2012.p. 1 - 11.

- ADLER, F. R.; TANNER, C. J. **Ecosistemas urbanos**: princípios ecológicos para o ambiente construído. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 384 p.
- ARAÚJO, G. R. L. **Descaracterização da agricultura familiar na zona rural de Olinda - PE**. 102f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.
- BONTEMPO FILHO, E. B. **Análise da vulnerabilidade a desastres naturais no município de Olinda-PE**. 212 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017. <https://doi.org/10.18190/1980-8208/estudosgeologicos.v27n1p61-81>
- BRASIL. **Lei nº 6.766, de 16 de dezembro de 1979**. Coleção de Leis do Brasil – 1979, v. 7, p. 172, Brasília, DF, 1979.
- CONGEDO, L. **Semi-automatic classification plugin for QGIS**. Roma: Sapienza University of Rome, 2013. 25 p.
- COSTA, R. G. S.; FERREIRA, C. C. M. Estudo biogeográfico das áreas verdes e da arborização ligada ao sistema viário na região central da cidade de Juiz de Fora (MG). **Caminhos de Geografia**, v. 8, n. 22, p. 143-153, 2007.
- ESA - European Space Agency. **Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services**. 2018. Disponível em: <https://scihub.copernicus.edu/dhus/#/home> Acesso em 28 ago. 2019.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE Censo, 2010**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br> Acesso em 28 fev. 2019.
- _____. **Base cartográfica contínua do Brasil na escala de 1:250.000**. 2013. Disponível em: <https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais.html>. Acesso em: 27 de out. 2017.
- _____. Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, **Estimativas da população residente com data de referência 1º de julho de 2019**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pe/olinda.html> Acesso em 11 mar. 2021.
- GAGGINI, L.; RUSTERHOLZ, H. P.; BAUR, B. Settlements as a source for the spread of non-native plants into Central European suburban forests. **Acta Oecologica**, v. 79, p. 18-25, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2016.12.008>
- GOMES, M. F.; QUEIROZ, D. R. E. Avaliação da cobertura vegetal arbórea na cidade de Birigui com emprego de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto. **Geografar**, v. 6, n. 2, p. 93-117, 2011. <https://doi.org/10.5380/geografar.v6i2.21579>
- GRISE, M. M.; BIONDI, D.; ARAKI, H. Índices espaciais da floresta urbana de Curitiba-PR. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 13, n. 4, p. 01-14, 2019. <https://doi.org/10.5380/revsbau.v13i4.64852>
- HARDER, I. C. F.; RIBEIRO, R. C. S.; TAVARES, A. R. Índices de área verde e cobertura vegetal para as praças do município de Vinhedo, SP. **Árvore**, v. 30, n. 2, p. 277-282, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622006000200015>
- LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, n. 1, p. 159-174, 1977. <https://doi.org/10.2307/2529310>
- LIMA, D. A. Estudos fitogeográficos de Pernambuco. In: **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, Recife, v. 4, p. 243–274, 2007.
- LIMA, J. R.; OLIVEIRA FILHO, L. S. Publicações sobre arborização urbana na região Nordeste, Brasil. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 15, n. 3, p. 56-69, 2020. <https://doi.org/10.5380/revsbau.v15i3.71714>
- LINDENMAIER, D. S.; SOUZA, B. S. P. Avaliação da cobertura vegetal arbórea em Cachoeira do Sul/RS: índice e distribuição espacial do elemento verde na paisagem urbana. **Geografia Ensino & Pesquisa**, v. 19, n. 3, 2015.

LOMBARDO, M. A. **Vegetação e clima**. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE ARBORIZAÇÃO URBANA, 3, 1990, Curitiba. Impresso na Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, p. 1-13, 1990.

LOPES, I. J. C. **Determinação da Cobertura Vegetal de Olinda - PE**: Um subsídio a gestão florestal urbana. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Bacharelado em Engenharia Florestal, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2019.

LYNCH, A. J. Creating effective urban greenways and stepping stones: four critical gaps in habitat connectivity planning research. **Journal of Planning Literature**, v. 34, n. 2, p. 131-155, 2019. <https://doi.org/10.1177/0885412218798334>

MAPBIOMAS. **Projeto MapBiomas** – Coleção 3 da série anual de mapas de cobertura e uso de solo do Brasil. 2020. Disponível em: <http://mapbiomas.org> Acesso em: 15 jan. 2021.

MARTINI, A.; BIONDI, D.; BATISTA, A. C. A influência das diferentes tipologias de floresta urbana no microclima do entorno imediato. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 3, p. 997-1007, 2018. <https://doi.org/10.5902/1980509833381>

MONTEIRO, M. M. G. **Caracterização da floresta urbana de Curitiba-PR por meio de sensoriamento remoto de alta resolução espacial**. 147f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

MOURA, A. R.; NUCCI, J. C. Classificação da cobertura vegetal do bairro de Santa Felicidade, Curitiba-PR. In: NUCCI, J. C. **Planejamento da paisagem como subsídio para a participação popular no desenvolvimento urbano**: estudo aplicado ao bairro de Santa Felicidade - Curitiba/PR. Curitiba. LABS/DGEOG/UFPR, 2010.

NUCCI, J. C. Qualidade ambiental e adensamento urbano - um estudo de Ecologia e Planejamento da Paisagem aplicado ao distrito de Santa Cecília (Município de São Paulo). **Humanitas**. 2ªed. 150 p, 2008.

NUCCI, J. C.; CAVALHEIRO, F. Cobertura vegetal em áreas urbanas - conceito e método. **GEOUSP**, n.6, p. 29-36, 1999.

OLINDA (Município). **Lei Orgânica do Município de Olinda**. Promulgada em 03 de abril de 1990, revisada em novembro de 2012. Olinda –PE. Disponível em: <http://www.legisolinda.com.br/arquivos/LOMO.pdf>. Acesso em 09 fev. 2021

_____. **Lei Municipal nº 5.887**. Sancionada em 13 de junho de 2014. Olinda - PE. Disponível em: <<https://drive.google.com/drive/folders/1EYDJRsCrdwubClIqMOo66BHOvPHGuRAQ>>. Acesso em 22 mar. 2021.

_____. **Plano Diretor de Olinda 2016**. Olinda –PE. Disponível em: <http://dpuolinda.wix.com/revisaoplanodiretor#!documentos/cfvq>. Acesso em 15 mar. 2021

OLIVEIRA, J. D.; BIONDI, D.; BATISTA, A. C.; REIS, A. R. N.; NESI, J. Atenuação do ruído de tráfego de vias urbanas pela vegetação em Curitiba–Paraná, Brasil. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 13, n. 2, p. 13-26, 2018. <https://doi.org/10.5380/revsbau.v13i2.63655>

OLIVEIRA, T. H.; DANTAS, J. G.; BOTLER, M.; SILVA, R. R. V.; SILVA, J. P. F.; NEVES, T. F. Mensuração e distribuição do verde urbano no município do Recife – PE: bases para a gestão ambiental urbana. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, PR: INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2013. p. 1143 – 1150.

PEREIRA JUNIOR, C. B. **A conservação da Cobertura Vegetal como componente do Patrimônio Cultural em Centros Históricos Urbanos**. Estudo de caso: a cidade de Olinda – PE. 225f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Urbano) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2004. QGIS - Quantum GIS Project –. **QGIS Python Plugins Repository**. Disponível em: <http://plugins.qgis.org/plugins/>. Acesso em 10 nov. 2019

- REIS, A. R. N.; BIONDI, D.; IVASKO JÚNIOR, S.; VIEZZER, J.; MARIA, T. R. B. C.; ZAMPRONI, K. Estoques de carbono e dióxido de carbono equivalente em árvores de rua de cidades brasileiras. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 14, n. 4, p. 26-35, 2019. <https://doi.org/10.5380/revsbau.v14i4.68565>
- REIS, A. R. N.; BIONDI, D.; IVASKO JÚNIOR, S.; VIEZZER, J.; KOVALSYKI, B.; OLIVEIRA, J. D. Potential occurrence of *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze in the urban forest of Curitiba, Paraná, Brazil. **DYNA**, v. 88, n. 216, p. 184-189, 2021. <https://doi.org/10.15446/dyna.v88n216.88869>
- ROCHA, M.; NUCCI, J. Índices de vegetação e competitividade entre cidades. **GEOUSP Espaço e Tempo**, v. 22, n. 3, p. 641-655, 2018. <https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp.2018.133554>
- SANTOS, M. K. M. **A expansão da verticalização no bairro de Casa Caiada, Olinda/PE (1990 a 2015)**. 160f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016.
- SILVA, A. V. B. **Índice de área verde e cobertura vegetal no município de Santa Terezinha de Itaipu - PR**. 43 f. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental em Municípios) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2014.
- SILVA, D. M.; GRANDINE, G.; SIMONETTI, V. C.; SILVA, D. C. C. Análise espacial da cobertura vegetal no centro urbano do município de Salto de Pirapora (SP). **Caminhos de Geografia**, v. 19, n. 68, p. 361-371, 2018. <https://doi.org/10.14393/RCG196824>
- SPERLING, V. B. **Mapeamento da temperatura da superfície do mar no litoral de Alagoas utilizando imagens MODIS**. 109 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2012.

Recebido em: 30/03/2021

Aceito para publicação em: 06/07/2021