



MAPEAMENTO DE COBERTURA VEGETAL URBANA UTILIZANDO NDVI NO MUNICÍPIO DE DUQUE DE CAXIAS-RJ

Allan Pires Fernandes Cardoso¹
UERJ-FEBF

Resumo. No Rio de Janeiro, informações acerca da cobertura vegetal dos municípios são de extrema escassez. Tendo em mente a falta de fontes primárias sobre este aspecto do uso e cobertura do solo, esta pesquisa busca adaptar para o contexto brasileiro a metodologia de Aryal (2022), capaz de mapear espaços verdes urbanos por meio do uso do NDVI, a metodologia foi inicialmente aplicada em Victoria, Austrália, portanto adaptações foram necessárias para o funcionamento pleno do método. O estudo se propõe a adaptar e avaliar a precisão dessa metodologia de mapeamento no contexto de ocupação do solo e vegetação característicos da baixada fluminense, mais precisamente, do município de Duque de Caxias. Apesar de necessitar de ajustes para seu funcionamento pleno no território de Duque de Caxias, o método de Aryal obteve sucesso 100% das vezes em identificar áreas vegetadas e não vegetadas e 93% das vezes em diferenciar vegetação densa e esparsa.

Palavras-chave: CBERS 4A, Sensoriamento remoto, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Vegetação Urbana.

NDVI BASED URBAN VEGETATION MAPPING IN DUQUE DE CAXIAS-RJ

Abstract. With the scarcity of data in mind this research aims to adapt Aryal's (2022), methodology, capable of mapping green urban spaces by using NDVI to the Brazilian landscape and data access. Aryal's methodology was first applied to Victoria, Australia, and thus changes had to be made in order to assure its effectiveness in another part of the globe. The study looks to adapt and assess the precision of Aryal's method in Duque de Caxias' urban landscape. Although Aryal's technique had to be adapted to ensure its precision it had 100% success rate in differentiating vegetated and non-vegetated areas, given the small sample of 30 data points, and 93% in differentiating sparse and dense vegetation. The method proved itself efficient in differentiating dense and sparse vegetation and differentiating areas with and without green cover in an urban landscape.

Keywords: CBERS 4A, Remote Sensing, NDVI, Urban Vegetation.

¹ Licenciando em Geografia. UERJ-FEBF. E-mail: allanpfe@gmail.com.

Introdução

O sensoriamento remoto é frequentemente utilizado para o estudo e análise de espaços e paisagens afim de obter melhor dimensão de suas características, sob este contexto, o sensoriamento remoto é uma poderosa ferramenta para o entendimento e planejamento do território como um todo. Os dados necessários para o sensoriamento remoto são comumente disponibilizados livres de custo por organizações como a NASA, Google, Copernicus Open Access Hub, United States Geological Survey (USGS), e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), de onde foram retiradas as informações que serviram de base para o presente estudo.

Os espaços urbanos verdes, que segundo Biernacka (2023), devem ser definidos abrangentemente e incluir todas as áreas vegetadas, tem grande impacto em diversos aspectos que interferem diretamente com a população residente na área em que é presente, a cobertura vegetal ajuda a diminuir o efeito das ilhas de calor, como evidenciado por Livesley *et al* (2016), modifica características hidrológicas como proposto por Coville *et al* (2020), segundo Donovan (2011), interfere no preço dos imóveis, Yu (2004), afirma que a distribuição espacial e abundancia de vegetação urbana são fatores importantes em diversos processos biofísicos do ambiente urbano e, para Chikr El-Mezour (2010), a observação e mapeamento das zonas verdes urbanas tem importante papel em seu monitoramento. As áreas verdes urbanas são também importantes dados cartográficos na elaboração de mapas de uso e cobertura do solo e podem ser mapeadas por meio de sua assinatura espectral (Backlund *et al*, 2008), que é a radiação refletida em função do comprimento de onda. Para interpretar a informação proveniente da assinatura espectral emitida pela vegetação existem diversos índices como o *Red-Edge Chlorophyll Vegetation Index* (RECI), *Normalized Difference Red Edge Vegetation Index* (NDRE), *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI), e o *Normalized Difference Vegetation Index* ou NDVI, escolhido para este trabalho. A escolha do NDVI se deve a simplicidade de execução do processo que cria as imagens para a interpretação e de obtenção dos materiais necessários para a tarefa. Apesar do NDVI ser corriqueiramente

utilizado para medir a saúde e produção agrícola, o índice também tem a capacidade de mapear vegetação em contextos urbanos, como exemplificado por Aryal (2022), em *NDVI Threshold-Based Urban Green Space Mapping from Sentinel-2A at the Local Governmental Area (LGA) Level of Victoria, Australia*.

As imagens selecionadas foram retiradas do satélite CBERS 4A e são provenientes do dia 25/08/2021. O satélite CBERS 04A foi escolhido por ser o satélite de melhor resolução disponível de forma gratuita para a área de estudo selecionada, tendo 8 metros por pixel de resolução. A escolha mais comum para a elaboração de imagens NDVI são as imagens dos satélites SENTINEL da NASA que tem resolução de 10 metros por pixel, a escolha do CBERS 4A compensa a falta de um banco de imagens extenso com a melhor resolução. A data da imagem retirada foi escolhida por ser a imagem mais recente que se adequou aos parâmetros de <10% de cobertura de nuvens na área de estudo. Por conta da área de estudo não se tratar de uma grande extensão territorial, apenas uma imagem foi utilizada para a análise.

No contexto de classificação de áreas de uso e cobertura do solo não há consenso global no que tange métodos de classificação.

No entanto, trabalhos anteriores na literatura [12–32] de classificação de uso e cobertura do solo, revelam que não existem métodos e ferramentas universais que funcionam igualmente bem na classificação para todos os países e regiões da Terra. (ARYAL, 2022, p.2, tradução nossa)²

Apesar da falta de consenso nos métodos utilizados para a extração de informação geográfica acerca de vegetação urbana, o índice NDVI se prova eficiente em distinguir áreas vegetadas das não vegetadas de acordo com Kwan (2020), essa distinção é feita a partir de limites impostos nos valores obtidos no

2 No original: “However, previous works in the literature [12–32] for LULC classification reveal that there are no universal methods and tools that work equally well in LULC classification for all countries and regions on the earth.”

NDVI, tais limites, no contexto deste trabalho, serão usados para realizar uma classificação em dois níveis.

Para localizar e categorizar áreas vegetadas, foi selecionado o município de Duque de Caxias, no Rio de Janeiro. Os bairros do município serão usados para realizar cálculos comparativos de porcentagem de área coberta por vegetação. Os dados levantados no presente trabalho têm a capacidade de servir de fonte primária para futuros trabalhos na mesma área de estudo que busquem comparar a distribuição e extensão de áreas vegetadas com outros indicadores demográficos como renda familiar média, população e área visando a elaboração de índices como o *Urban Green Space Index* (UGSI), presente mais afrente no trabalho.

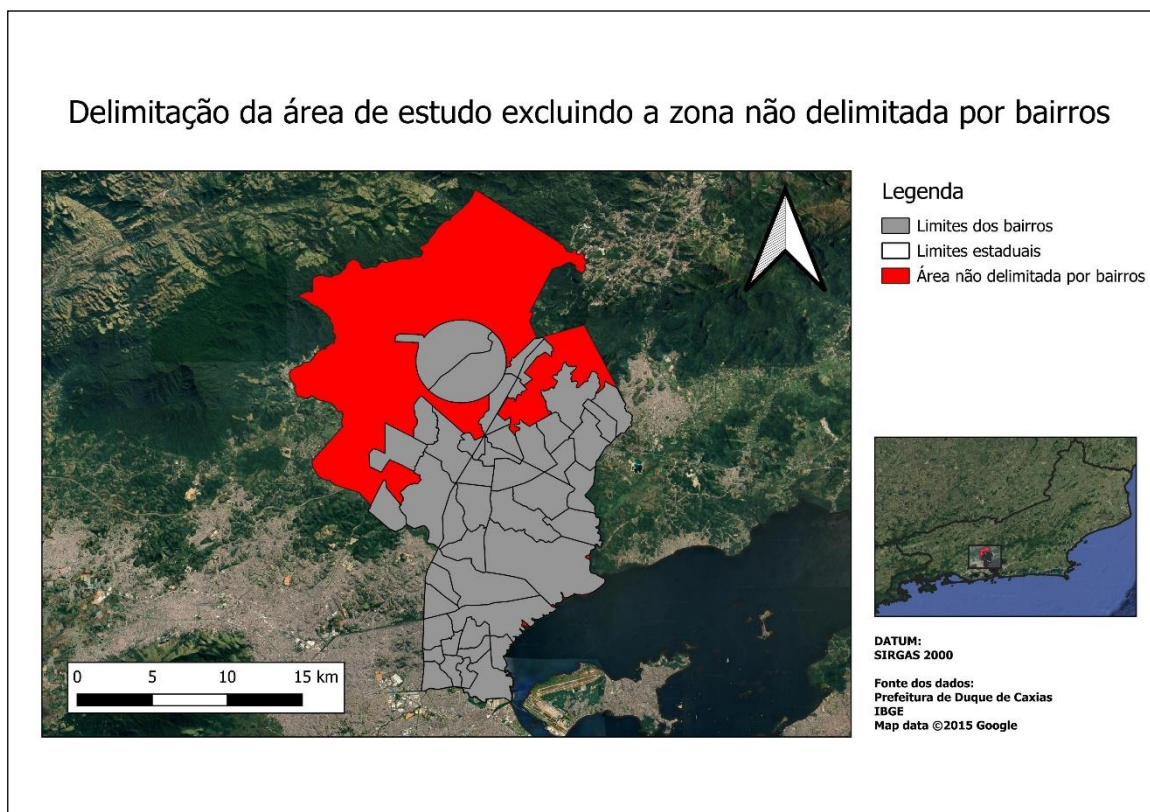
Vale ressaltar que outras organizações realizam trabalhos de classificação de uso e cobertura do solo com diversas metodologias, dentre estas organizações estão o IBGE, INEA e MapBiomas.

Materiais e métodos

Área de estudo

Toda a extensão territorial de Duque de Caxias foi considerada na elaboração do trabalho, exceto a área não delimitada por bairros (Figura 1), a área não delimitada por bairros foi desconsiderada por se tratar em sua grande maioria de uma área desprovida de zonas urbanas ou periurbanas, que são o foco da avaliação de precisão do método, ademais, a zona não delimitada por bairros foi excluída por se não oferecer dados relevantes à comparação entre bairros, por não ser classificada como um no plano diretor da cidade.

Figura 1: Mapa da área de estudo destacando a zona não delimitada por bairros, que foi desconsiderada neste trabalho.



Fonte: Elaborado pelo autor

Os limites dos bairros foram adquiridos por meio da prefeitura de Duque de Caxias e foram fornecidos em formato .kml, depois convertidos para .shp, A área de estudo está representada na Figura 2.

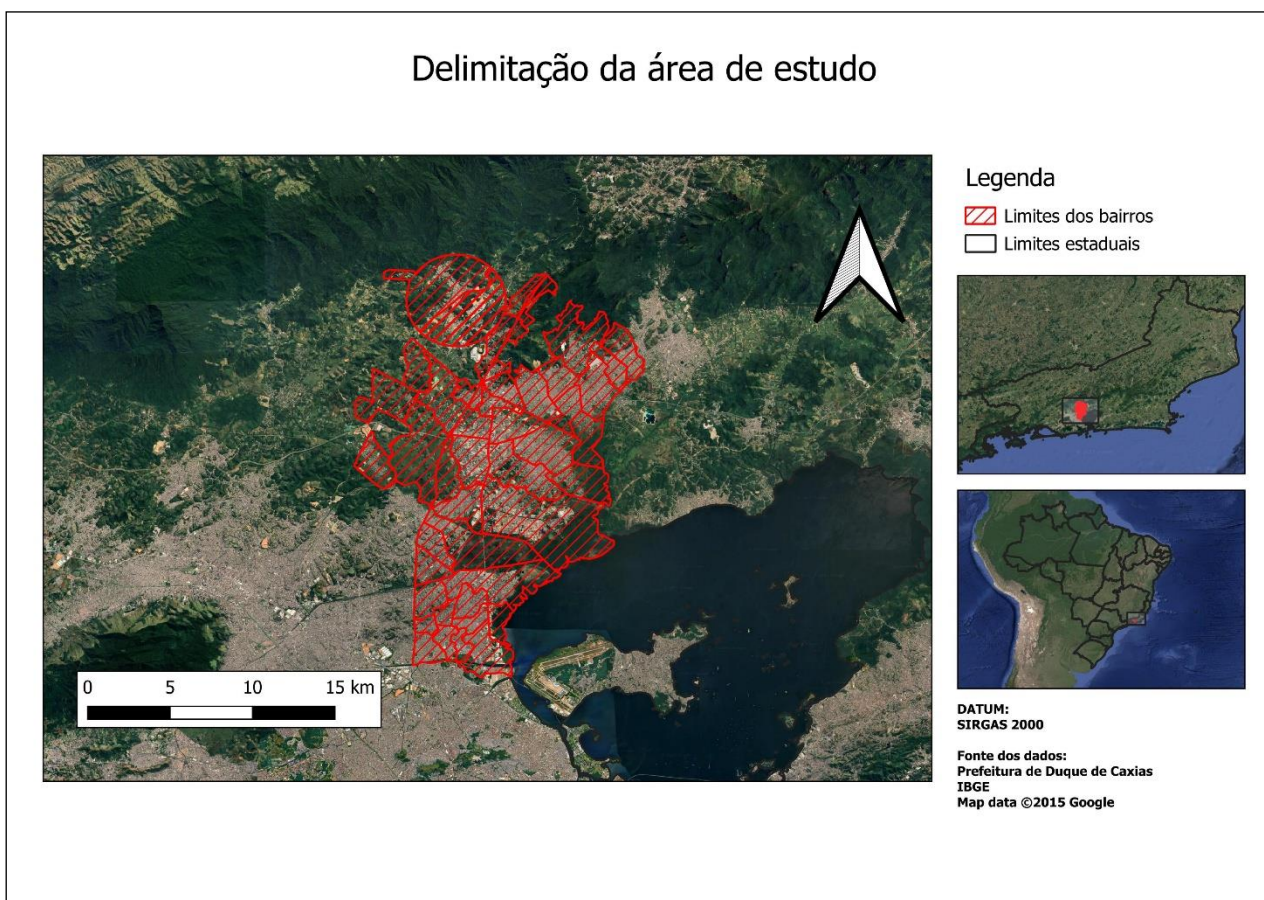
O município de Duque de Caxias, localizado na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, possui relevo diversificado, estendendo-se desde áreas de baixada, marcadas por planícies fluviais e áreas alagadiças, até porções de relevo acidentado, diretamente influenciadas pela proximidade da Serra dos Órgãos. Essa transição confere ao território características singulares, permitindo a ocorrência de microclimas diferenciados. O clima predominante é o tropical úmido,

com elevadas temperaturas médias anuais, mas que, em determinadas áreas serranas, pode apresentar variações acentuadas, alcançando extremos superiores a 40°C em áreas de baixada e valores próximos a 10°C nas zonas de maior altitude. Tal dinâmica térmica é acompanhada por índices pluviométricos elevados, que frequentemente flutuam entre 1.500 e 2.000 mm ao ano, favorecendo a densa cobertura vegetal e, ao mesmo tempo, dificultando o monitoramento sistemático por imagens de satélite, devido à recorrência de nebulosidade.

No que se refere à vegetação, observa-se a presença de remanescentes da Mata Atlântica, sobretudo em áreas de floresta ombrófila densa, que resistem principalmente nas encostas e porções mais preservadas do território. Além disso, registram-se formações de restinga em áreas de baixada, associadas a ambientes úmidos e de várzea. Essa diversidade ecológica coloca o município como uma área de significativa relevância ambiental, ainda que fortemente pressionada pela urbanização, expansão industrial e ocupação desordenada.

Do ponto de vista demográfico, Duque de Caxias se destaca como o terceiro município mais populoso do estado, tendo cerca de 808 mil habitantes segundo o Censo Demográfico de 2022 (IBGE, 2022). A densidade populacional é elevada, refletindo tanto o processo de conurbação com o município do Rio de Janeiro quanto sua posição estratégica como polo de atração migratória e de mão de obra. No contexto econômico, o município possui grande importância regional, especialmente por abrigar o polo petroquímico da Reduc (Refinaria de Duque de Caxias), além de um diversificado parque industrial que o coloca entre os maiores PIBs municipais do estado. Essa condição de centralidade produtiva se articula com sua posição geográfica estratégica, marcada pela proximidade da capital e por ser atravessado por importantes eixos rodoviários, como a Rodovia Washington Luís (BR-040) e a Rodovia Presidente Dutra (BR-116), que integram a metrópole fluminense a outras regiões do país.

Figura 2: Área de estudo dos municípios de Duque de Caxias.



Fonte: Elaborado pelo autor

Imagens de satélite: CBERS 4A

As imagens utilizadas no trabalho são provenientes do catálogo de imagens do INPE, que incluem imagens dos satélites da série CBERS e do AMAZONIA 1. A seleção do CBERS 4A se deu por conta de sua melhor resolução espacial quando comparado aos satélites SENTINEL, tendo respectivamente 8 e 10 metros por pixel. Todas as imagens de satélite utilizadas no trabalho são derivadas do dia 25/08/2021, data escolhida por ser a que dispunha de imagens com a menor cobertura de nuvens dentre o período pesquisado (01/06/2021-01/09/2021).

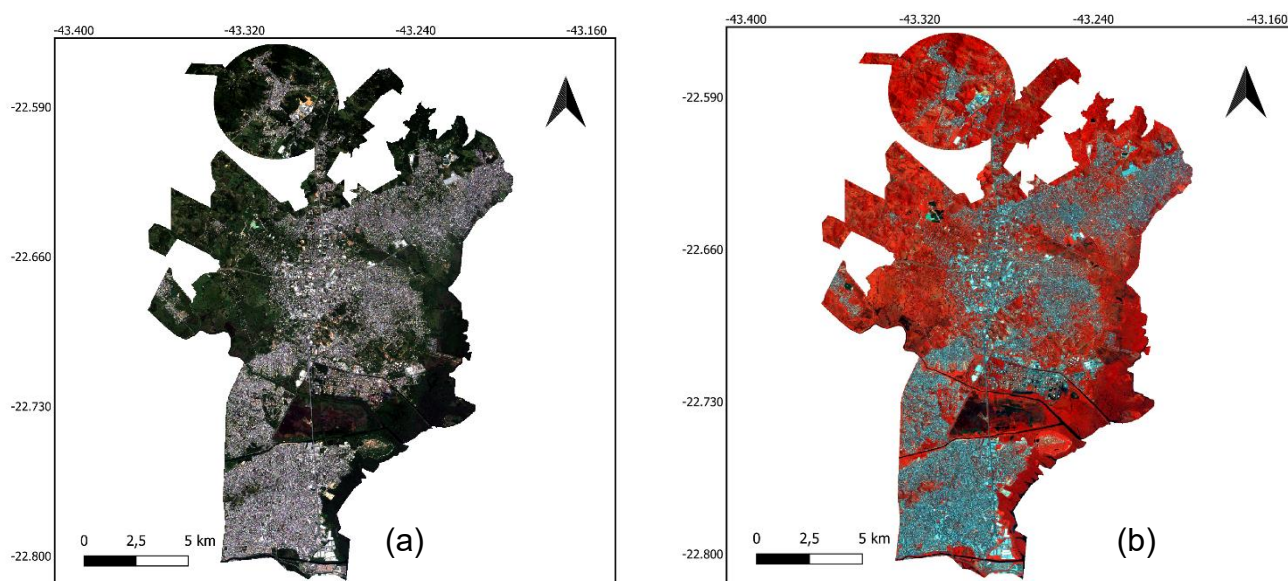
Tabela 1: Descrição das bandas espectrais das diversas câmeras do CBERS 4A, incluindo alcance da banda espectral, resolução e largura da faixa imageada.

	Banda Espectral	Resolução	Largura da Faixa Imageada
Câmera PAN			
P	0,45 – 0,90 μm	2 m	92km
B01	0,45 – 0,52 μm	8 m	92 km
B02	0,52 – 0,59 μm	8 m	92 km
B03	0,63 – 0,69 μm	8 m	92 km
B04	0,77 – 0,89 μm	8 m	92 km
Câmera MUX			
B05	0,45 – 0,52 μm	16,5 m	95 km
B06	0,52 – 0,59 μm	16,5 m	95 km
B07	0,63 – 0,69 μm	16,5 m	95 km
B08	0,77 – 0,89 μm	16,5 m	95 km
Câmera WFI			
B13	0,45 - 0,52 μm	55 m	684 km
B14	0,52 - 0,59 μm	55 m	684 km
B15	0,63 - 0,69 μm	55 m	684 km
B16	0,77 - 0,89 μm	55 m	684 km

Fonte: Elaborado pelo autor com base nas informações disponibilizadas pelo INPE

A obtenção de imagens com a maior resolução possível é essencial para a precisão do mapeamento das áreas vegetadas, o CBERS 4A consegue identificar áreas verdes até 20% menores que o SENTINEL, o que é um fator relevante na precisão da delimitação dos pixels vegetados em áreas urbanas, especialmente em áreas com maior densidade de construções, em que as áreas vegetadas são significativamente menores que em áreas rurais.

Figura 3: (a) Mapa da área de estudo em cor verdadeira elaborado com as bandas B01, B02 e B03. (b) Mapa da área de estudo em falsa cor elaborado com as bandas B01, B02 e B04, da imagem do dia 25/08/2021 captada pelo CBERS 4A.



Fonte: Elaborado pelo autor

NDVI e UGSI

O NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada ³), originalmente elaborado por Rouse *et al* (1974), é um dos mais utilizados indicadores de presença de vida vegetal em determinada paisagem e tem como uma de suas aplicações detectar e monitorar mudanças causadas pela influência humana na vegetação, urbana ou não (Aburas *et al*, 2015), o NDVI também é utilizado para monitorar transformações temporais em áreas vegetadas, como feito por Demarchi (2011). O NDVI flutua entre -1 e +1 como seus valores mínimo e máximo respectivamente. Um valor elevado de NDVI indica maior concentração de vegetação, enquanto os valores negativos representam superfícies não vegetadas como asfalto, lâminas d'água, solo pelado e até mesmo nuvens. Uma aplicação não explorada no trabalho é a de avaliar a saúde da vegetação sendo

³ Normalized Difference Vegetation Index

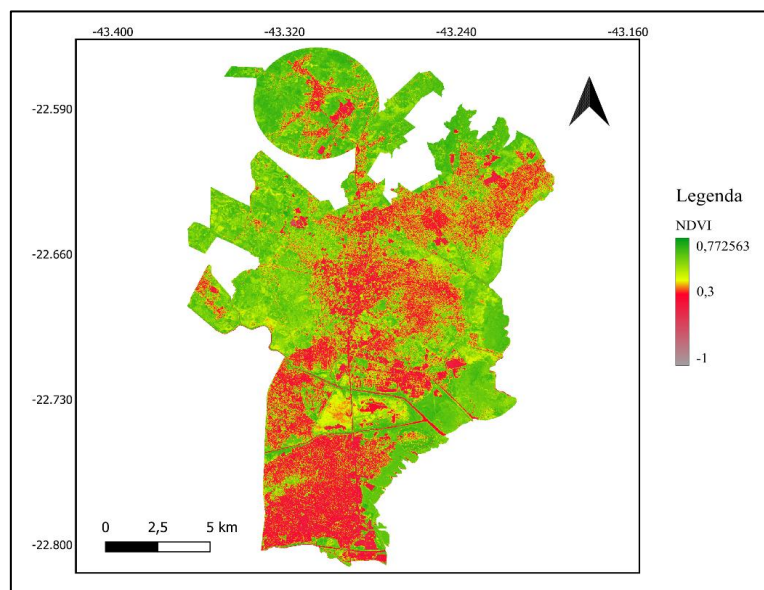
analisada pelo NDVI, porque vegetação saudável tende a obter valores maiores de NDVI.

Para calcular o NDVI a Equação 1 é utilizada:

$$NDVI = \frac{(NIR(B04) - RED(B03))}{(NIR(B04) + RED(B03))} \quad (1)$$

Onde NIR (*Near Infrared Spectroscopy*)⁴, e RED (vermelho) correspondem a banda 04 e 03, respectivamente, na câmera PAN do CBERS 4A. A Figura 4 é um exemplo de uma imagem NDVI com o padrão de cores comumente utilizado para sua representação.

Figura 4: NDVI da área de estudo em gradiente.



Fonte: Elaborado pelo autor

O UGSI (*Urban Green Space Index*)⁵Shekhar (2019, *apud* ARYAL, 2022), é uma medição básica da proporção entre área vegetada e não vegetada, no trabalho de Aryal (2022), foi calculado o USGI de 4 categorias de vegetação,

4 Comprimento de onda próximo ao infra vermelho (tradução nossa)

5 Índice de Espaço Verde Urbano (tradução nossa)

áreas não vegetadas e com baixa, média e alta densidade de vegetação, o trabalho presente usará apenas 3 classificações, área não vegetada, esparsamente vegetada e densamente vegetada.

A equação para o cálculo do UGSI é:

$$UGSI = \frac{V}{A} \quad (2)$$

Onde V equivale a área verde e A equivale a área total da área de estudo. Para obter os valores de área vegetada e não vegetada de cada bairro, foi necessário calcular, por meio da quantidade de pixels, as áreas vegetadas e não vegetadas, tal calculo pode ser expresso por:

$$A = \frac{(ap^2 \times np)}{1000} \quad (3)$$

Onde A equivale a área medida, seja ela vegetada ou não, ap equivale a resolução de um pixel e np a contagem de pixels na área desejada. De modo que ap, se equivalendo a resolução da imagem (em metros), ao quadrado vai resultar no valor em metros de cada pixel que, ao ser multiplicado pela quantidade de pixels na imagem (np), vai resultar na área total coberta em metros quadrados que, ao ser dividida por 1000 resulta na quilometragem quadrada da área.

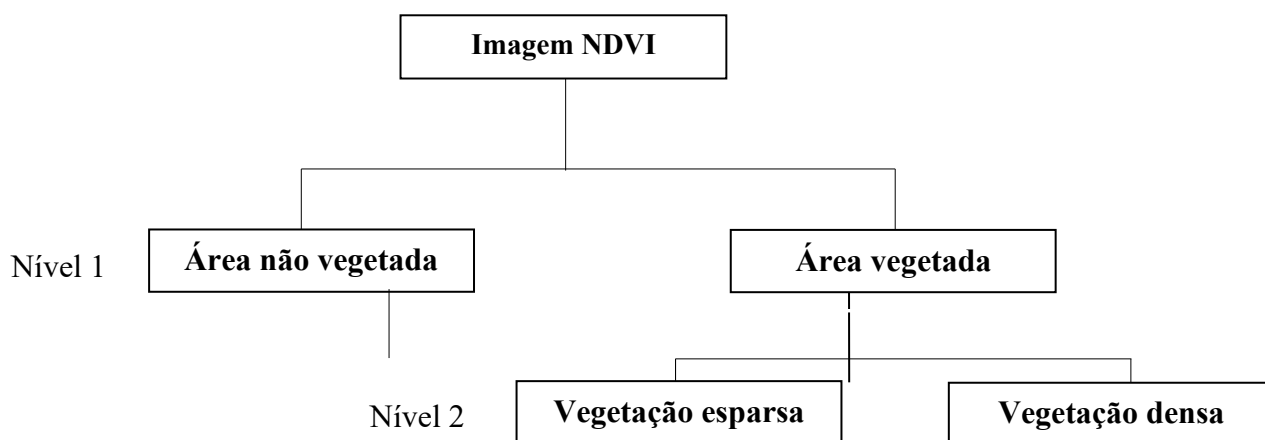
Seguindo o exemplo de Aryal (2022), uma classificação em dois níveis foi adotada, o primeiro nível sendo uma representação binária de áreas com e sem vegetação, e o segundo nível diferenciando entre vegetação densa e esparsa.

O primeiro passo para a execução da análise NDVI foi fazer o download das imagens do CBERS 4A no catálogo de imagens do INPE, na ferramenta de busca por imagens foi aplicado um filtro que limita a porcentagem da imagem

coberta por nuvens, o filtro aplicado foi de <10% de cobertura, o que fez com que a imagem mais recente que se encaixava nos parâmetros fosse de 2021, tendo em mente que, segundo o INPE, o tempo que leva entre uma passagem e outra do CBERS 4A é de 31 dias.

O site do INPE proporciona a opção de download de bandas específicas em arquivo .tif, as bandas selecionadas foram a B01 (azul), B02 (verde), B03(vermelho) e B04(comprimento de onda próximo ao infravermelho), as bandas B01, B02 e B03 foram utilizadas para a criação da imagem de cor verdadeira apresentada na Figura 3, para a elaboração da imagem de falsa cor apresentada na Figura 6 foram utilizadas as bandas B01, B02 e B04, sendo que na elaboração das imagens a banda B04 substitui a banda B03 para obter o efeito demonstrado na figura, ademais foi elaborado o mapa NDVI como descrito na Equação 1. Buscando democratizar o acesso à produção de imagens NDVI, todos os processos de processamento e análise executados no trabalho foram realizados utilizando programas *open source* livres de custo. Para o processamento das imagens foram utilizados o QGIS e o python (através do VSCode), com o pacote gdal, comumente utilizado para a manipulação de dados geográficos.

Figura 5: Representação em da hierarquia de classificação adotada para a execução do trabalho.



Fonte: Elaborado pelo autor

Classificação nível 1 e 2

Após a aquisição e processamento das imagens e a elaboração do mapa NDVI, a fim de realizar a classificação entre áreas vegetadas e não vegetadas, diferente dos trabalhos anteriores foi imposto o limite de 0,3 a 1 para a classificação de vegetação, seguindo o exemplo de Mehta (2021) que se baseia na classificação de plantações proposta por Thorat (2015 *apud* METHA, 2021), para classificar vegetação esparsa, por motivos discutidos adiante no trabalho.

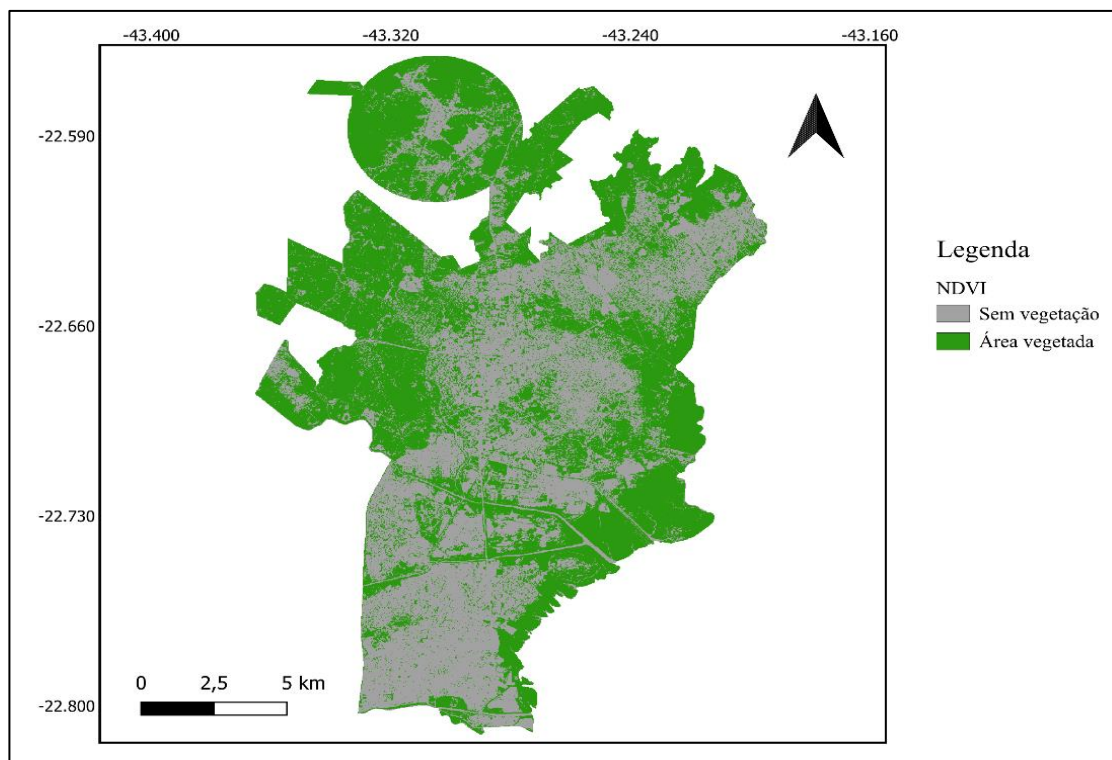
Tabela 2: Classificação nível 1 em área vegetada e área não vegetada.

Categoria	Limite
Área vegetada	0,3 a 1
Área não vegetada	-1 a 0,3

Fonte: Elaborado pelo autor

No intuito realizar tal classificação, foi criada outra imagem, a partir da imagem inicial NDVI, que classifica binariamente áreas vegetadas, que possuem valor $>0,3$, como 1, e áreas não vegetadas com valor $<0,3$ como 0. Demonstrado na Figura 6.

Figura 6: Mapa da área de estudo com a classificação de nível 1 representada em verde e cinza.



Fonte: Elaborado pelo autor

Após a classificação entre áreas vegetadas e não vegetadas, foi seguido novamente o exemplo de Metha (2021), que considera vegetação moderada valores acima de 0,5.

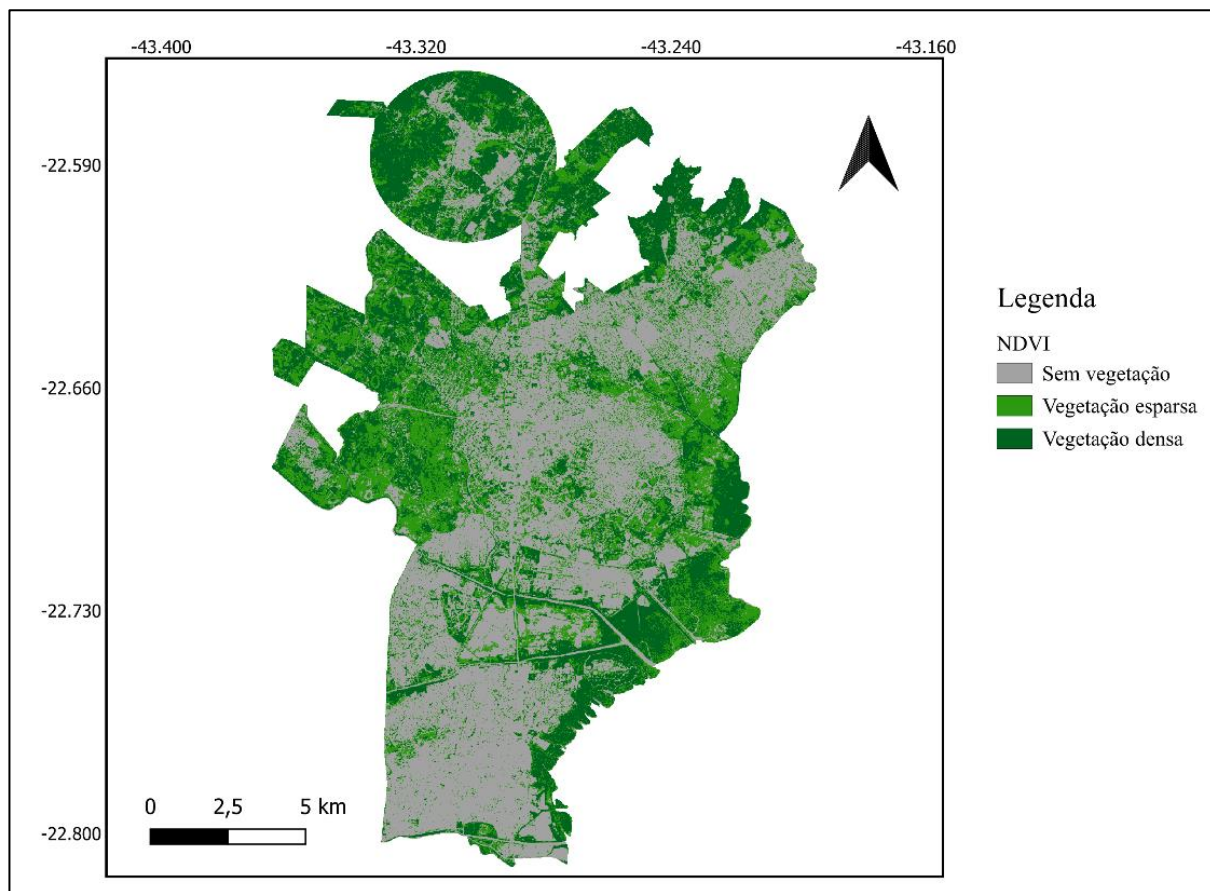
Tabela 3: Classificação nível 2 em vegetação esparsa e vegetação densa.

Categoria	Limite
Vegetação esparsa	0,3 a 0,5
Vegetação densa	0,5 a 1

Fonte: Elaborado pelo autor

A classificação de nível 2 é representada na Figura 7.

Figura 7: Mapa da área de estudo com a classificação de nível 2 representada em tons de verde.



Fonte: Elaborado pelo autor

Avaliação de precisão dos limites NDVI

Para realizar a avaliação da precisão da imagem NDVI o QGIS foi utilizado para gerar 30 pontos aleatórios pela extensão da área de estudo, em cada limite de valor NDVI especificado, tais pontos foram avaliados manualmente e minuciosamente para que o limite de valor NDVI mais preciso fosse utilizado. Os pontos foram avaliados e classificados como VP (verdadeiro positivo), FP (falso positivo), VN (verdadeiro negativo), e FN (falso negativo), com essa matriz de

confusão, somos capazes de avaliar a Acurácia (Equação 4), a Precisão (Equação 5), a Revocação⁶ (Equação 6) e o F-Score (Equação 7).

$$Acurácia = \frac{VP + VN}{VP + VN + FP + FN} \quad (4)$$

$$Precisão = \frac{VP}{VP + FP} \quad (5)$$

$$Revocação = \frac{VP}{VP + FN} \quad (6)$$

$$F - Score = 2 \times \frac{Precisão \times Revocação}{Precisão + Revocação} \quad (7)$$

Resultados

Com o intuito de garantir a precisão da classificação dos valores NDVI, foi realizada uma avaliação de pontos aleatórios na área de estudo, 30 pontos aleatórios gerados pelo QGIS foram avaliados visualmente para que os cálculos das métricas de avaliação do modelo fossem realizados. Ao escolher o limite ideal que dividiria as áreas vegetadas das não vegetadas para o nível 1 da classificação foram utilizados 3 alcances de valor NDVI -1 a 0, -1 a 0,19 e -1 a 0,30, na literatura, o valor mais comum utilizado para dividir áreas vegetadas e não vegetadas é 0,19, no entanto, ao passar pelas métricas de avaliação, o valor de 0,19 não se mostrou como o mais preciso no contexto da imagem avaliada, o valor máximo que ofereceu maior precisão foi 0,3, como exemplificado por Mehta (2021).

6 Revocação, também conhecido como Recall

Tabela 4: Avaliação das métricas de precisão da classificação de nível 1 com múltiplos limites. Em negrito estão os limites mais precisos e seus valores atribuídos pelas equações 4, 5, 6 e 7.

Área não vegetada	Área vegetada	Precisão	Revocação	F-Score	Acurácia
-1 a 0	0 a 1	1	0,67	0,75	0,70
-1 a 0,19	0,19 a 1	0,95	1	0,97	0,96
-1 a 0,3	0,3 a 1	1	1	1	1

Fonte: Elaborado pelo autor

A classificação de nível 2 foi realizada se baseando nos resultados das métricas de confusão da mesma forma que a de nível 1, a variação entre 0,3 e 0,5 obteve a melhor performance entre os alcances avaliados detalhados na Tabela 5.

Tabela 5: Avaliação das métricas de precisão da classificação de nível 2 com múltiplos limites. Em negrito estão os limites mais precisos e seus valores atribuídos pelas equações 4, 5, 6 e 7.

Vegetação esparsa	Vegetação densa	Precisão	Revocação	F-Score	Acurácia
0,3 a 0,4	0,4 a 1	0,83	0,95	0,82	0,84
0,3 a 0,5	0,5 a 1	0,95	0,95	0,95	0,93
0,3 a 0,55	0,55 a 1	1	0,90	0,94	0,93

Fonte: Elaborado pelo autor

Os resultados até então discutidos se desviam levemente do padrão estabelecido na literatura acerca do índice, incluindo todos os trabalhos citados até agora, com exceção de Mehta (2021), ao ter uma precisão maior na detecção de vegetação utilizando 0,3 como valor-base para classifica-la, essa divergência pode ser advinda de diversos fatores como humidade do ar, cobertura de nuvens, diferença nos instrumentos presentes no satélite, erro humano ou até mesmo um erro de software, no entanto, apesar dos valores divergentes do

padrão, a precisão atingida pelos valores selecionados é notável, obtendo 100% de acertos na classificação entre vegetação e não vegetação e de 95% a 93% na classificação entre vegetação densa e esparsa, mais testes seriam necessários, mas com tempo e aprimoramento os resultados da classificação de vegetação densa/esparsa podem ser melhorados.

Análise da distribuição de vegetação

Ao avaliar os dados de área obtidos após a aplicação da Fórmula 3 é possível notar que há uma grande discrepância nos aspectos físicos relacionados a urbanização e *urban sprawl*, como sintetizado por HABIBI (2011), dos bairros de Duque de Caxias.

Tabela 6: Total em km² de área vegetada, não vegetada e total e porcentagem de cobertura vegetal por bairro.

Bairros de Duque de Caxias	Área não vegetada (km ²)	Área vegetada (km ²)	Área Total (km ²)	UGSI em %
Alto da Serra	243	5130	5373	95,47%
Amapá	1399	3467	4867	71,24%
Bar dos Cavalheiros	2668	351	3020	11,63%
Barro Branco	2286	1662	3949	42,09%
Campos Elíseos	11407	16405	27812	58,99%
Cangulo	1295	5013	6309	79,47%
Capivari	667	6580	7248	90,79%
Centenário	1319	271	1590	17,05%
Chácaras Arcampo	3096	2158	5254	41,08%
Chácaras Rio				
Petrópolis	7567	14766	22333	66,12%
Cidade dos Meninos	6021	20968	26990	77,69%
Doutor Laureano	2829	235	3064	7,68%
Duque de Caxias (Centro)	2026	160	2187	7,36%
Figueira	4200	1963	6164	31,85%
Gramacho	6399	5698	12098	47,10%
Imbariê	4317	2075	6393	32,46%
Jardim 25	1315	353	1668	21,17%
Jardim Anhangá	1814	1643	3458	47,54%
Jardim Primavera	5693	3450	914	37,73%
Lamarão	376	3894	4271	91,19%
Mantiquira	3893	9649	13542	71,25%
Olavo Bilac	2689	1217	3907	31,16%
Parque Duque	4908	1983	6892	28,78%

Parque Eldorado	1390	2108	3499	60,26%
Parque Fluminense	2743	624	3367	18,55%
Parque Morabi	838	4299	5138	83,69%
Parque Paulista	3999	1663	5663	29,37%
Parque Sarapuí	758	1866	2624	71,09%
Periquitos	1137	191	1329	14,44%
Pilar	3854	1544	5399	28,61%
Santa Cruz da Serra	4912	3708	8620	43,02%
Santa Lúcia	6100	5543	11643	47,61%
Santo Antônio	2662	7110	9772	72,75%
São Bento	7107	6131	13238	46,31%
Saracuruna	5663	2733	8397	32,56%
Taquara	2118	7401	9520	77,74%
Vila São José	2278	1123	3401	33,02%
Vila São Luís	1929	82	2011	4,09%
Xerém	2572	13127	15699	83,61%

Fonte: Elaborado pelo autor

O uso e ocupação do solo das regiões mais próximas à região serrana é consideravelmente menos intenso que o uso na região metropolitana, os três bairros com menor UGSI são Doutor Laureano, Duque de Caxias (Centro) e Vila São Luís destacados na Figura 8, enquanto os 3 bairros com maior UGSI são o Alto da Serra, Capivari e Lamarão, trabalhos futuros talvez encontrem correlação entre o USGI de tais locais e outros fatores demográficos, no entanto, tal discussão está fora do escopo deste trabalho.

Tabela 7: Total em km² de área de vegetação esparsa e densa.

Bairros de Duque de Caxias	Área de vegetação esparsa (km ²)	Área de vegetação densa(km ²)
Alto da serra	1868	3505
Amapá	3492	1375
Bar dos Cavalheiros	2850	170
Barro Branco	3308	641
Campos Elíseos	19472	8340
Cangulo	3259	3050
Capivari	7178	70
Centenário	1533	57
Chácaras Arcampo	4629	625
Chácaras Rio Petrópolis	15602	6731
Cidade dos Meninos	19044	7946
Doutor Laureano	3016	48
Duque de Caxias (Centro)	1593	594

Figueira	2251	3913
Gramacho	11659	439
Imbariê	6184	209
Jardim 25	1216	452
Jardim Anhangá	2293	1165
Jardim Primavera	1121	2035
Lamarão	1862	6133
Mantiquira	13007	535
Olavo Bilac	670	3237
Parque Duque	5734	1158
Parque Eldorado	2638	861
Parque Fluminense	3214	153
Parque Morabi	3605	1533
Parque Paulista	5044	619
Parque Sarapuí	1263	1361
Periquitos	1288	41
Pilar	4797	602
Santa Cruz da Serra	7143	1477
Santa Lúcia	8999	2644
Santo Antônio	5459	4313
São Bento	10396	2842
Saracuruna	7892	505
Taquara	3872	5648
Vila São José	2915	486
Vila São Luís	1991	20
Xerém	5541	10158

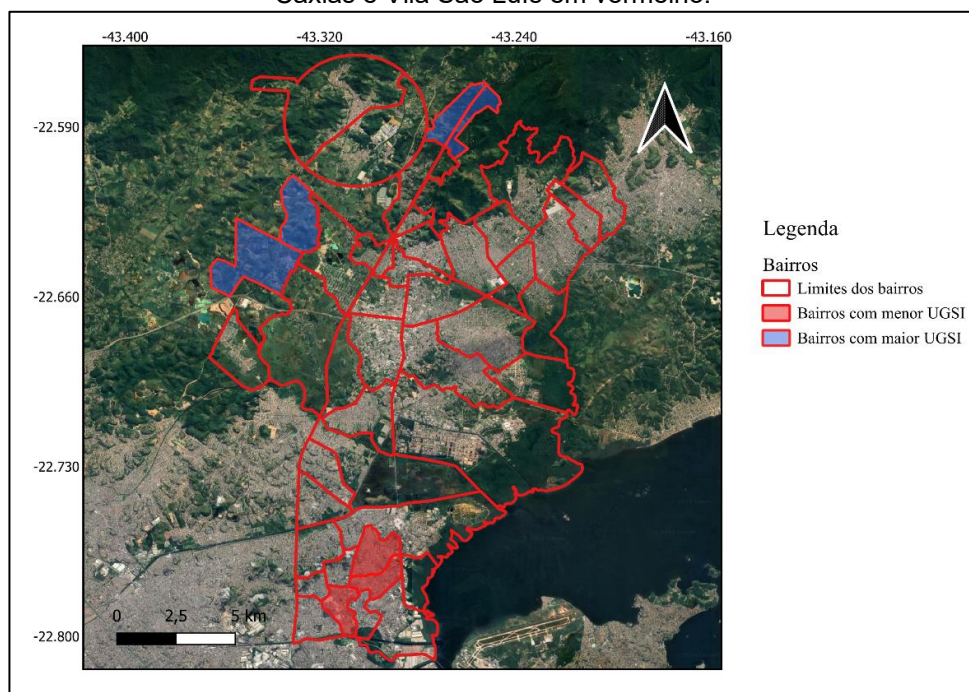
Fonte: Elaborado pelo autor

Limitações

A maior limitação do método apresentado é a baixa resolução das imagens utilizadas, apesar do CBERS 4A ter resolução maior que os SENTINEL, a resolução de 8m por pixel não é precisa o suficiente para a captação acurada de toda a cobertura vegetal em determinada área, para que esse aspecto fosse aprimorado, satélites como o RapidEye (5m por pixel), o Worldview 3 (0,3m por pixel), e o Pleiades (0,5m por pixel), como realizado por Hashim *et al* (2019), Pu (2018) e Tigges (2013), poderiam ser utilizados, além disso, análises que utilizam mais de um método de mapeamento talvez sejam uma solução para aprimorar a precisão do mapeamento de vegetação urbana, trabalhos como Su (2015) e Tooke (2008) já se utilizam de múltiplos métodos para mapeamento de vegetação.

Outro aspecto que deve ser considerado é a classificação de vegetação densa e esparsa, visto que, alguns fatores podem interferir no valor NDVI da vegetação, aumentando ou diminuindo sua refletância e alterando os resultados de modo que, vegetação esparsa pode ser registrada como densa e vice e versa dadas as condições certas para, existem certos ambientes que dificultam a aplicação do NDVI, como manguezais e outras áreas de restinga. A última limitação notável é a falta de especificidade quanto ao tipo de vegetação, com a classificação adotada não é possível diferenciar árvores de grama e outras vegetações rasteiras, o que é possível diferenciar é o índice de refletância geralmente associado com tais vegetações.

Figura 8: Mapa dos 3 bairros com maior e menor UGSI, os bairros Alto da Serra, Capivari e Lamarão estão representados em azul e os bairros Doutor Laureano, Duque de Caxias e Vila São Luís em vermelho.



Fonte: Elaborado pelo autor

Considerações finais

O estudo presente é uma aplicação de métodos conhecidos adaptados para a realidade brasileira utilizando técnicas e materiais de fácil acesso por seu baixo custo e abundância de recursos didáticos acerca das ferramentas

utilizadas, a maior mudança aplicada aos métodos tradicionais de análise NDVI é a alteração dos valores que servem de base para a classificação de uso do solo. O método utilizado é altamente replicável e pode servir como alternativa para o mapeamento de áreas verdes urbanas no Brasil, visto que, dados de uso e cobertura do solo não são comumente disponibilizados ao público, ademais, os dados levantados no trabalho podem ser utilizados para pesquisas que envolvam a cobertura vegetal do município de Duque de Caxias.

Neste trabalho foram desenvolvidos diversos mapas do município de Duque de Caxias, utilizando dados e métodos disponíveis ao público livres de custo os dados utilizados do CBERS 4A foram obtidos no site do INPE, os dados geográficos de Duque de Caxias foram disponibilizados pela prefeitura, os programas utilizados na elaboração e análise das imagens (QGIS e python), tem código aberto e, logo, são gratuitos. Os dados gerados pela pesquisa são facilmente replicados e escaláveis e servem de base para outras pesquisas no ramo da geografia que estudem a mesma área. Os resultados obtidos no estudo indicam que a utilização do índice NDVI é um caminho plausível para o mapeamento de vegetação urbana.

Referências

ARYAL, Jagannath. SITAULA, Chiranjibi. ARYAL, Sunil. NDVI Threshold-Based Urban Green Space Mapping from Sentinel-2A at the Local Governmental Area (LGA) Level of Victoria, Australia. **Land**, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/land11030351> . Acesso em: 1 abr. 2024.

ABURAS, Maher Milad. ABDULLAH, Sabrina Ho. RAMLI, Mohammad Firuz. ASH'AARI, Zulfa Hanan. Measuring Land Cover Change in Seremban, Malaysia Using NDVI Index. **Procedia Environmental Sciences**, p. 238-243, 2015. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878029615006374?via%3Dihub> . Acesso em: 2 abr. 2024.

BACKLUND, Peter. JANETOS, Anthony. SCHIMEL, David. The effects of climate change on agriculture, land resources, water resources, and biodiversity in the United States. **Synthesis and Assessment Product 4.3. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, Climate Change Science Program.** 2008. Disponível em: <https://www.fs.usda.gov/research/treesearch/32781> . Acesso em: 2 abr. 2024.

BIERNACKA, Magdalena. KRONENBERG, Jakub. ŁASZKIEWICZ, Edyta *et al.* Beyond urban parks: Mapping informal green Spaces in na urban-peri-urban gradient. **Land Use Policy**, volume 131, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264837723002120> . Acesso em: 8 abr. 2024.

CHIKR EL-MEZOUAR, Miloud. TALEB, Nasreddine. KPALMA, Kidiyo. RONSIN, Joseph. A high-resolution index for vegetation extraction in IKONOS images. **Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XII.** 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/50950002_A_high-resolution_index_for_vegetation_extraction_in_IKONOS_images . Acesso em: 4 abr. 2024.

COVILLE, Robert. ENDRENY, Ted, NOWAK, David J. Modeling the impact of urban trees on hydrology. **Forest-water interactions.** p. 459-487, 2020. Disponível em: https://www.fs.usda.gov/nrs/pubs/jrnl/2020/nrs_2020_coville_001.pdf. Acesso em: 4 abr. 2024.

DA SILVA, Vanessa Sousa. SALAMI, Gabriela. DA SILVA, Marília Isabelle Oliveira. SILVA, Emanuel Araújo. MONTEIRO José Jorge. ALBA, Elisiane. Methodological evaluation of vegetation indexes in land use and land cover (LULC) classification. **Geology, Ecology, and Landscapes**, p. 159-169, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/24749508.2019.1608409>. Acesso em: 4 abr. 2024.

DEMARCHI, Júlio Cesar. PIROLI, Edson Luís. ZIMBACK, Célia Regina Lopes. Análise temporal to uso do solo e comparação entre os índices de vegetação NDVI e SAVI no município de Santa Cruz do Rio Pardo-SP usando imagens Landsat-5. **RA'EGA** 21. p. 234-271, 2011. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/17416> . Acesso em: 4 abr. 2024.

DONOVAN, Geoffrey H. BUTRY, David T. The effect of urban trees on the rental price of single-family homes in Portland, Oregon, **Urban Forestry & Urban Greening.** p. 163-168, 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1618866711000410?via%3Dihub> . Acesso em: 2 abr. 2024.

DUQUE DE CAXIAS. Câmara Municipal de Duque de Caxias. Plano Diretor Urbanístico do Município de Duque de Caxias-RJ. 2006. Disponível em: <https://smeduquedecaxias.rj.gov.br/need/Biblioteca/Leis/Leis%20Municipais/leis%20dc/2006/10%20OUTUBRO/LC%2001%20-%20Institui%20o%20Plano%20Diretor%20Urban%C3%ADstico%20de%20Duque%20de%20Caxias.pdf> . Acesso em: 2 abr. 2024.

HASHIM, Haslina. ABD LATIF, Zulkiflee. ADNAN, Nor. Urban Vegetation Classification With NDVI Threshold Value Method With Very High Resolution (VHR) Pleiades Imagery. **ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences.** p. 237-240, 2019. Disponível em: <https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XLII-4-W16/237/2019/> . Acesso em: 1 abr. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Censo Demográfico 2022: Resultados*. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/> . Acesso em: 24 set. 2025.

INPE. Câmeras Imageadoras CBERS 04A. 2019. Disponível em: <http://www.cbbers.inpe.br/sobre/cameras/cbbers04a.php> . Acesso em: 1 abr. 2024.

INPE. Catálogo de imagens. 2024. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/catalogo/explore> . Acesso em: 1 abr. 2024.

KWAN, Chiman. GRIBBEN, David. AYHAN, Bulent. LI, Jiang. BERNABE, Sergio. PLAZA, Antonio. *An accurate vegetation and non-vegetation differentiation approach based on land cover classification*. **Remote Sens**, p. 1-29, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/347194490_An_Accurate_Vegetation_and_Non-Vegetation_Differentiation_Approach_Based_on_Land_Cover_Classification . Acesso em: 10 abr. 2024.

LIVESLEY, Stephen. MCPHERSON G.M. CALFAPIETRA, Carlo. The Urban Forest and Ecosystem Services: Impacts on Urban Water, Heat, and Pollution Cycles at the Tree, Street, and City Scale. **Journal of Environment Quality**, 2016. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26828167/> . Acesso em: 10 abr. 2024.

MEHTA, Abhinav. SHUKLA, Shital. RAKHOLIA, Shrey. Vegetation Change Analysis using Normalized Difference Vegetation Index and Land Surface Temperature in Greater Gir Landscape. **Journal of Scientific Research**. p. 1-6, 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/351832336_Vegetation_Change_Analysis_using_Normalized_Difference_Vegetation_Index_and_Land_Surface_Temperature_in_Greater_Gir_Landscape . Acesso em: 10 abr. 2024.

OSCAR JÚNIOR, Antônio Carlos da Silva. Extremos atmosféricos e desastres hidrometeorológicos em Duque de Caxias (RJ). *Revista Brasileira de Climatologia*, Curitiba, v. 17, p. 150-169, 2015. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/40658>. Acesso em: 24 set. 2025.

OSCAR JÚNIOR, Antônio Carlos da Silva. Suscetibilidade ao impacto pluviométrico na região metropolitana do Rio de Janeiro: estudo de caso no município de Duque de Caxias. *GEOUSP: Espaço e Tempo (Online)*, São Paulo, v. 19, n. 3, p. 559-574, 2015. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/110229> . Acesso em: 24 set. 2025.

PU, Ruiliang *et al.* Assessing the potential of multi-seasonal high resolution Pléiades satellite imagery for mapping urban tree species. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, [s. l.], v. 71, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/326330907_Assessing_the_potential_of_multi-seasonal_high_resolution_Pleiades_satellite_imagery_for_mapping_urban_tree_species . Acesso em: 11 abr. 2024.

ROUSE, J. W. JR. HAAS, R.H. SCHELL, J.A. DEERING, D.W. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with Ert. p. 309, 1974. Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/citations/19740022614> . Acesso em: 10 abr. 2024.

S. Habibi, N. Asadi, Causes, Results and Methods of Controlling Urban Sprawl, **Procedia Engineering**, Volume 21, p. 133-141, 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705811048302> . Acesso em: 3 abr. 2024.

SCHWWAB, Jonas. *et al.* The role of urban trees in reducing land surface temperatures in European cities. **Nature Communications** **12**, 2021. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41467-021-26768-w#citeas> . Acesso em: 2 abr. 2024.

SILVA, Débora P.; NASCIMENTO, Amanda M.; OLIVEIRA, Felipe L. Mudanças de uso e cobertura da terra e áreas suscetíveis à inundação – estudo de caso do município de Duque de Caxias/RJ. *Revista do Departamento de Geografia*, São Paulo, v. 35, p. 151-166, 2018. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/149051>. Acesso em: 24 set. 2025.

SILVA, Eliane M.; SOARES, João R.; RIBEIRO, Gustavo P. Estágios de conservação da vegetação em área de Mata Atlântica utilizando sensoriamento remoto hiperespectral. *GEOgraphia*, Niterói, v. 17, n. 34, p. 21-44, 2015. Disponível em: <https://periodicos.uff.br/geographia/article/view/13674>. Acesso em: 24 set. 2025.

SU, Yanjun. GUO, Qinghua. Fry, Danny L. *et al.* A Vegetation Mapping Strategy for Conifer Forests by Combining Airborne LiDAR Data and Aerial Imagery. **Canadian Journal of Remote Sensing**. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/287207761_A_Vegetation_Mapping_Strategy_for_Conifer_Forests_by_Combining_Airborne_LiDAR_Data_and_Aerial_Imagery . Acesso em: 11 abr. 2024.

TIGGES, Jan *et al.* Urban vegetation classification: Benefits of multitemporal RapidEye satellite data. **Geography Department, Humboldt-Universität zu Berlin**, [s. l.], 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425713001429> . Acesso em: 11 abr. 2024.

TOOKE, Thoreau Rory *et al.* Extracting urban vegetation characteristics using spectral mixture analysis and decision tree classifications. **Remote Sensing of Environment**, [s. l.], v. 113, p. 398-407, 2008. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/223533131_Extracting_urban_vegetation_characteristics_using_spectral_mixture_analysis_and_decision_tree_classifications . Acesso em: 11 abr. 2024.

YU, Fangfang. PRICE, Kevin P. ELLIS, James. KASTENS, Dietrich. Satellite Observations of the Seasonal Vegetation Growth in Central Asia: 1982-1990. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, p. 461-469, 2004. Disponível em: <https://www.ingentaconnect.com/content/asprs/pers/2004/00000070/00000004/art00007?crawler=true> . Acesso em: 9 abr. 2024.