

Maria Luciana da Silva*, Ana Lúcia Bezerra Candeias**

*Graduação em Engenharia Cartográfica. Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

Extraction of Intraurban Targets in High Resolution Images Using Band Arithmetic

Received 08 October; accepted 13 December 2022

Abstract

Urban spaces are mostly composed of small objects and with complex relationships with each other, so that the classification of the soil requires high resolution imaging. However, the traditional methods of extracting information from high resolution images, whether at the aerial or orbital level, have serious limitations because they often do not have an infrared band. This work investigates the potential of arithmetic band, band ratio and vegetation indices, to classify urban targets. S1 and S2 band ratios and the GLI, VARI, RGBVI, CI and GRVI vegetation ratios were investigated, whose equations use only the visible bands. The methodology can be reproduced in different areas of study and with images from different sensors that have, or are available, only the bands of the visible range, like the PE3D images (Pernambuco Three-Dimensional Program). The classification of vegetation, building, paved, water and exposed soil cover was investigated. S1, GLI and RGBVI demonstrated the potential to classify vegetation coverage, while the VARI, CI and RGBVI indices demonstrated the potential to classify building coverage as ceramic roof type. The results showed that the joint use of the equations and spectral univocity intervals defined in this work serves for the automatic extraction of green areas and ceramic roofs present in urban spaces, making use of high resolution images from sensors that cover the visible spectrum, which is why the methodology can be widely replicated and support the urban mapping of Brazilian cities. Mathematical Morphology tools is used to obtain edges and get the closure of objects such as roof.

Keywords: Urban mapping. High resolution image. Band arithmetic. Mathematical Morphology

Extração de Alvos Intraurbanos em Imagens de Alta Resolução Utilizando Aritmética de Bandas

Resumo

Os espaços urbanos são compostos, majoritariamente, por objetos de pequena dimensão e com relações complexas entre si, de modo que para a classificação do seu solo é exigido imageamento de alta resolução. Entretanto, os métodos tradicionais de extração de informações em imagens de alta resolução, sejam de nível aéreo ou orbital, apresentam sérias limitações por não possuir, muitas vezes, uma banda do infravermelho. Este trabalho investiga a potencialidade da aritmética de bandas, do tipo razão de bandas e índices de vegetação, em classificar alvos urbanos. Foram investigadas as razões de bandas S1 e S2 e os índices de vegetação GLI, VARI, RGBVI, CI e GRVI, cujas equações utilizam apenas as bandas do visível. A metodologia pode ser reproduzida em diferentes áreas de estudo e com imagens de diferentes sensores que possuam, ou que estejam disponibilizadas, apenas as bandas da faixa do visível, a exemplo das imagens do PE3D (Programa Pernambuco Tridimensional). Investigou-se a classificação da cobertura vegetal, edificacional, pavimentada, hídrica e solo exposto. S1, GLI e RGBVI demonstraram potencialidade em classificar cobertura vegetal, enquanto que os índices VARI, CI e RGBVI demonstraram potencialidade em classificar cobertura edificacional do tipo telhado de cerâmica. Os resultados apontaram que o uso conjunto das equações e dos intervalos de univocidade espectral definidos neste trabalho serve para a extração automática de áreas verdes e de telhados de cerâmica presentes em espaços urbanos, fazendo-se uso de imagens de alta resolução provenientes de sensores que cobrem o espectro visível, motivo pelo qual a metodologia pode ser amplamente replicada e subsidiar o mapeamento urbano das cidades brasileiras. Ferramentas de Morfologia Matemática são usadas para obter bordas e o fechamento de objetos como telhado.

Palavras-chave: Mapeamento urbano. Imagem de alta resolução. Aritmética de bandas. Morfologia Matemática

1. Introdução

Os espaços urbanos são compostos, majoritariamente, por objetos de pequena dimensão e com relações complexas entre si, a exemplo da vegetação, que permeia quadras residenciais e não apresenta uniformidade, sendo difícil a sua separação dos demais objetos.

Devido à pequena dimensão de suas feições, as áreas urbanas exigem imageamento de alta resolução para o seu mapeamento. Entretanto, os métodos tradicionais de extração de informações em imagens de alta resolução, sejam de nível aéreo ou orbital, ainda apresentam algumas limitações (MYINT et al., 2011).

Seja a fotoanálise seguida da vetorização em tela, ou a classificação de imagens digitais, ambos os métodos possuem limitações quanto ao mapeamento em alta resolução. A fotoanálise acrescida da vetorização em tela pode ser prejudicada por: i) objetos unidos entre si e/ou com contorno complexo, a exemplo da vegetação; ii) subjetividade da interpretação do analista; iii) tempo de trabalho demandado para grandes áreas. Ademais, os métodos tradicionais de classificação de imagens digitais, embora reduzam ou eliminem os problemas da fotoanálise, também não apresentam potencialidade para a classificação do solo urbano com imagem de alta resolução. Isso porque a informação espectral contida nessas imagens não é suficiente para discretizar os alvos, como explorado em Lu e Weng, (2007) e Myint et al. (2011).

Diante deste problema, muitos trabalhos vêm sendo realizados com o objetivo de aprimorar a seleção de atributos dos objetos urbanos para melhor discretizá-los, visto que a informação espectral original de ortofotos e imagens de satélites e a interpretação humana não são suficientes. São exemplos desses atributos: informação altimétrica, intensidade e informações oriundas de aritmética de bandas.

Segundo Menezes e Almeida (2012), a razão de bandas consiste na operação aritmética usada para discriminar sutis variações de reflectância entre alvos específicos, como um tipo de litologia, solo ou tipos de vegetação. Neste caso, devem-se buscar alternativas que destaquem exclusivamente as propriedades do alvo que se deseja realçar, em detrimento a todos os outros presentes na cena.

Ponzoni e Shimabukuro (2007) afirmam que diversos índices de vegetação têm sido propostos e investigados na literatura com o objetivo de inspecionar as propriedades espectrais da vegetação, em especial nas regiões do visível e do infravermelho próximo. Esses índices exploram parâmetros biofísicos da cobertura vegetal, a exemplo de biomassa e índice de área foliar, além de minimizarem efeitos de geometria de aquisição, iluminação da cena e declividade da superfície.

Bargos e Mattias (2011) fizeram uma revisão bibliográfica sobre as funções das áreas verdes no ambiente urbano, dentre elas: controle da poluição do ar e acústica, aumento do conforto ambiental, estabilização de superfícies por meio da fixação do solo pelas raízes das plantas, interceptação das águas da chuva no subsolo reduzindo o escoamento superficial, abrigo à fauna, equilíbrio do índice de umidade no ar, proteção das nascentes e dos mananciais, organização e composição de espaços no desenvolvimento das atividades humanas, valorização visual e ornamental do ambiente, recreação e diversificação da paisagem construída. Entretanto, as

áreas verdes urbanas precisam ser mapeadas para que essas suas funções sejam conhecidas, mantidas ou até maximizadas.

Este trabalho propõe a definição de intervalos de univocidade espectral, que sejam potenciais para a extração de classes urbanas, utilizando aritmética de bandas na faixa do visível. Com essa finalidade foram investigadas as classes de cobertura vegetal, edificacional, pavimentada, hídrica e de solo exposto. As operações aritméticas utilizadas foram do tipo razão de bandas e índices de vegetação.

Diferente da maioria das pesquisas, que utilizam as bandas do infravermelho para o estudo da vegetação, neste trabalho as operações utilizam apenas as bandas do visível, o que viabiliza a reprodução da metodologia em diferentes áreas de estudo e com imagens de diferentes sensores, a exemplo das imagens de VANTs e drones, as quais ainda têm seus usos limitados devido à falta de métodos de processamento de imagens que explorem todas as suas potencialidades e quando não possuem a banda do infravermelho.

Para a realização dos experimentos e definição dos intervalos de univocidade espectral foi escolhida uma área, em Recife-PE com boa representatividade de alvos urbanos, a saber: edificações com diferentes coberturas, áreas pavimentadas, vegetação de diversos tipos e portes, solo exposto e corpos d'água. Para a validação dos intervalos de univocidade espectral foi utilizada uma área urbana pertencente ao município de Macaparana – PE.

Este estudo justifica-se pela necessidade de métodos que viabilizem o mapeamento automático ou semiautomático de áreas urbanas, utilizando imagens de alta resolução provenientes de sensores que imageiam apenas as bandas do espectro visível. Isso porque a realidade majoritária dos municípios brasileiros é de negligência com o mapeamento urbano, a qual pode ser explicada com respaldo em aspectos legais, políticos e técnicos. A complexidade em se extrair informações urbanas de imagens de alta resolução é um problema técnico que faz com que muitas bases cartográficas municipais não contemplem a totalidade do território, se restringindo a informações concernentes apenas à cobrança de impostos. Visto isso, é desejado o desenvolvimento de métodos que possibilitem o mapeamento urbano sistematizado, de modo a subsidiar a tomada de decisão sobre o território.

2. Material e métodos

Área teste para a definição dos intervalos de univocidade espectral

A área teste para a definição dos intervalos de univocidade espectral (Figura 1) está localizada nas margens do riacho Parnamirim, em Recife, Pernambuco, e consiste em uma parcela do Setor de Sustentabilidade Ambiental 2 (SSA2) de número 43, cujos limites e mecanismos de compensação foram definidos pela Lei nº 18.111, de 12 de janeiro de 2015. A Lei foi criada com o objetivo de aumentar a regulação de questões ambientais e integrar a pauta de educação ambiental do município.

Os fatores que justificaram a escolha da área testem foram: i) a área estar contemplada por uma medida de desenvolvimento sustentável, para o qual o monitoramento do uso e cobertura do solo é imprescindível; ii) a área possuir diversidade de feições urbanas, fato este que viabiliza a metodologia adotada.

Área teste para a validação dos intervalos de univocidade espectral

Para a validação dos intervalos de univocidade espectral foi utilizado um recorte da área urbana do município de Macaparana (Figura 2), em Pernambuco, localizado à aproximadamente 114 km do município de Recife.

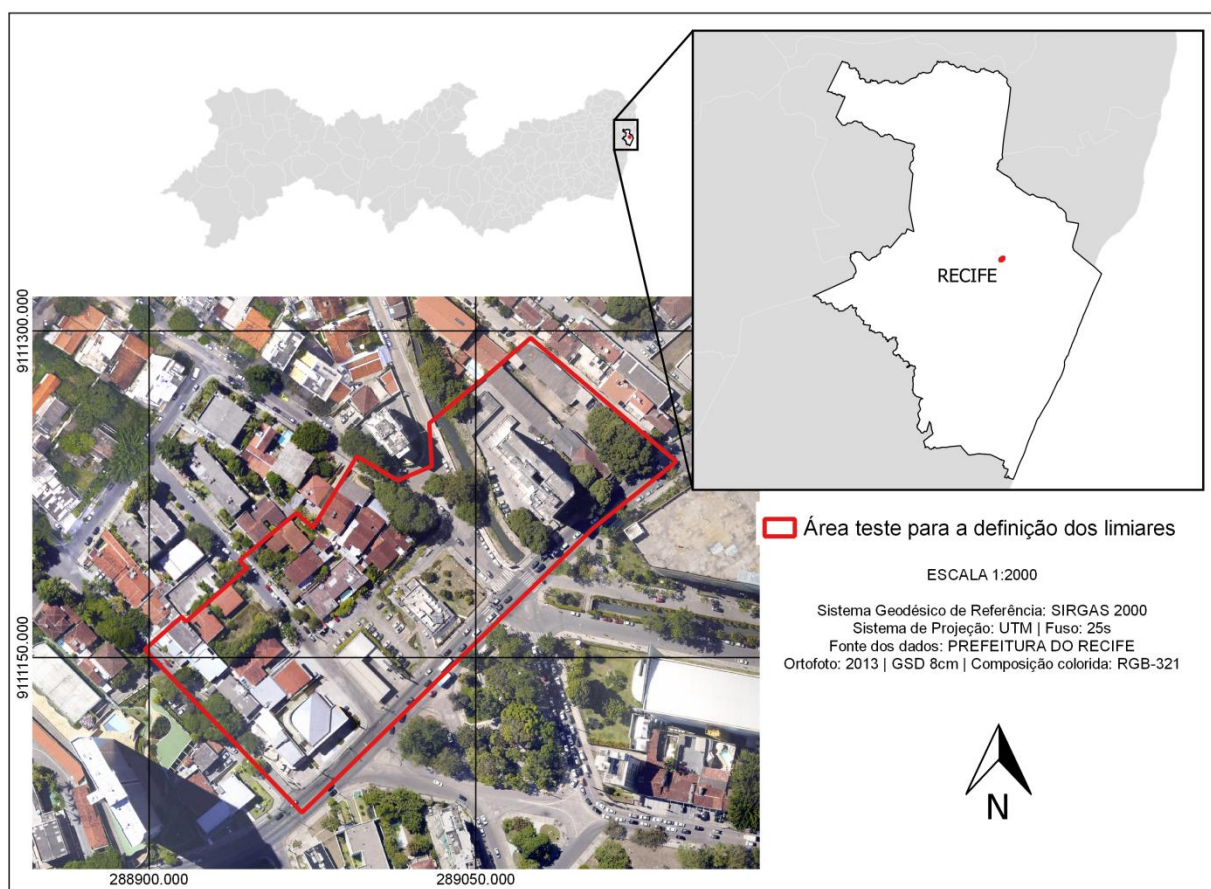


Figura 1 – Área teste para a definição dos intervalos de univocidade espectral. Fonte: Autores.

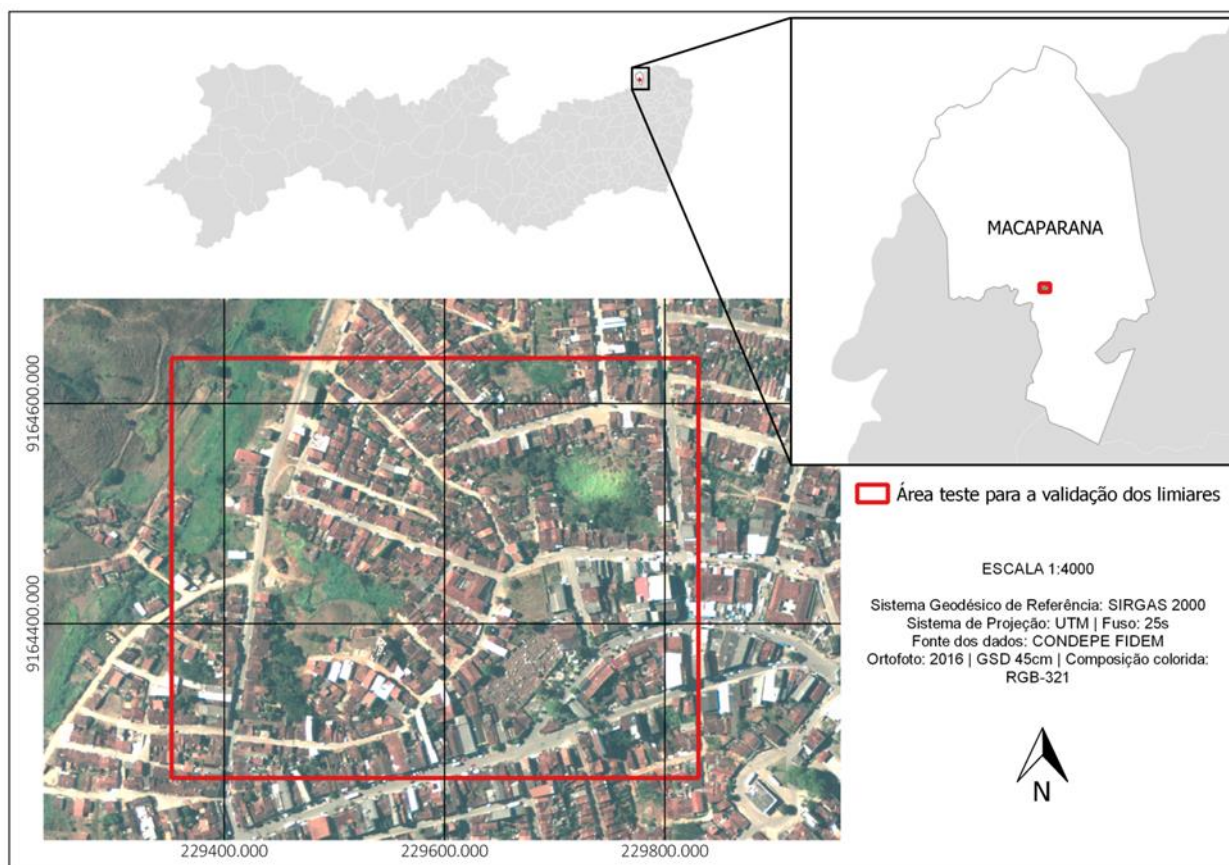


Figura 2 – Área teste para a definição dos intervalos de univocidade espectral. Fonte: Autores.

Material

Neste trabalho foram utilizadas imagens aéreas com GSD de 8 e 45 centímetros, provenientes do acervo cartográfico da Prefeitura do Recife e da Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco (CONDEPE-FIDEM), respectivamente. Para a aquisição das amostras de classes, operações aritméticas com as imagens – razão de bandas e índices de vegetação – e reclassificação das imagens para a forma binária, foi utilizado o software QGIS.

Para a análise dos intervalos com univocidade espectral e representação das dispersões dos pontos das amostras, foi utilizado o software Microsoft Office Excel.

Experimentos:

- Coleta de amostras de pontos para cinco classes de cobertura do solo*

Com o propósito de estudar o comportamento dos alvos urbanos nas imagens resultantes das operações aritméticas, foram coletados pontos representativos de cinco classes, foram elas: cobertura edificacional (220 pontos), cobertura hídrica (60 pontos), cobertura pavimentada (200 pontos), cobertura vegetal (150) e solo exposto (100 pontos).

Os pontos foram coletados, em quantidade e distribuição, que melhor representassem as cinco classes, de modo que diferenças intraclasse fossem passíveis de serem detectadas nas razões de bandas ou nos índices de vegetação. A Figura 3 mostra a distribuição dos pontos.



Figura 3 – Distribuição dos pontos da área de estudo. Fonte: Autores.

b) *Operações aritméticas: razão de bandas e índices de vegetação*

Nesta etapa do trabalho foi realizado um levantamento bibliográfico de operações aritméticas que utilizam as bandas do visível. Essa seleção de (1) se ao fato de que as imagens utilizadas possuem apenas a faixa do visível. Foram selecionados cinco índices de vegetação - GRVI, GLI, VARI, RGBVI e CI - e duas razões de bandas - S1 e S2 - para a realização dos experimentos.

Segundo Menezes e Almeida (2012), como os valores das operações de razão de bandas e índices de vegetação resultam em números pequenos e fracionários, para fins de exposição da imagem no monitor de vídeo eles devem ser multiplicados por um valor escalar (a) para recolocá-los ou expandi-los para o intervalo 0 a 255 de uma imagem de 8 bits. Uma constante (b) é somada aos valores reescalados para apenas obter um deslocamento (offset) do histograma para uma posição mais central entre 0 a 255, a fim de possibilitar um equilíbrio no realce da imagem. Neste trabalho foi utilizado “a” igual a 10 e “b” igual a 50. Vale salientar que nas equações Blue representa a faixa do azul, Green representa a faixa do verde e Red representa a faixa do vermelho.

As Eq. 1 e 2 apresentam, respectivamente, as razões de bandas denominadas S1 e S2. As

peculiaridades desse tipo de aritmética de bandas podem ser consultadas em Araújo e Melo (2010) e Menezes e Almeida (2012).

$$S1 = a \left(\frac{Green}{Blue} \right) + b \quad (1)$$

$$S2 = a \left(\frac{Red}{Blue} \right) + b \quad (2)$$

A Eq. 3 apresenta o índice de vegetação *Green-Red Vegetation Index* (GRVI), o qual teve alguns de seus resultados mais relevantes investigados em Tucker (1979), Falkowsk et. al. (2005) e Motohka et al. (2010).

$$GRVI = a \left[\frac{(Green-Red)}{(Green+Red)} \right] + b \quad (3)$$

As Eq. 4 e 5 apresentam, respectivamente, os índices de vegetação *Green Leaf Index* (GLI) e *Visible Atmospherically Resistant* (VARI). Alguns de seus resultados foram explorados em Louhaichi, Borman e Johnson (2001), Gitelson et al. (2002) e Hunt et al. (2013).

$$GLI = a \left[\frac{(2*Green-Red-Blue)}{(2*Green+Red+Blue)} \right] + b \quad (4)$$

$$VARI = a \left[\frac{(Green-Red)}{(Green+Red-Blue)} \right] + b \quad (5)$$

A Eq. 6 mostra o índice de vegetação Red Green Blue Vegetation Index (RGBVI), o qual teve alguns de seus resultados investigados em Bendig et al. (2015) e Lussen et al. (2018).

$$RGBVI = a \left[\frac{((Green^2 - (Blue*Red)))}{((Green^2 + (Blue*Red)))} \right] + b \quad (6)$$

Por fim, a Eq. 7 apresenta o índice de vegetação *Coloration Index* (CI), o qual foi investigado por Mathieu et al. (1998) e Mandal (2016).

$$CI = a \left[\frac{(Red-Green)}{(Red+Green)} \right] + b \quad (7)$$

c) *Definição de intervalos com univocidade espectral e reclassificação das imagens para a forma binária*

Após a realização das operações aritméticas, cada ponto teve o seu respectivo valor coletado nas imagens geradas. Isso possibilitou a identificação dos mínimos e máximos de cada classe e, por conseguinte, a identificação de intervalos com univocidade espectral, ou seja, intervalos com pixels pertencentes a uma única classe. Esses intervalos foram definidos da seguinte forma: i) plotagem dos valores de mínimos e máximos em uma superfície de unidades de medida linear; ii) traçado de circunferências com centro posicionado na média amostral de cada classe e diâmetro igual à amplitude do intervalo; iii) identificação de intervalos onde havia sobreposição de circunferências, ou seja, mistura espectral; iv) identificação de intervalos onde não havia sobreposição de circunferências, ou seja, univocidade espectral. Vale salientar que nenhuma circunferência ficou totalmente contida no intervalo de univocidade espectral.

Para que os valores definidores de um intervalo sejam potenciais na extração de determinada feição, não basta que os seus pixels sejam pertencentes a uma única classe (univocidade espectral), mas também que as frequências dentro do intervalo sejam as maiores. Logo, não adiantaria conhecer um intervalo onde só existem pixels de vegetação, mas em baixa ocorrência (frequência), estando o restante dos pixels de vegetação em um intervalo de mistura espectral com outras classes de alvos.

Uma vez conhecidos os intervalos com univocidade espectral, optou-se por reclassificar as imagens, oriundas da aritmética de bandas, para a forma binária. Essa reclassificação reduz a complexidade da imagem e elimina o contraste intraclasse à medida que atribui um valor único para todos os pixels contidos dentro do intervalo definido. Nesse processo os pixels passam a compor duas regiões, são elas: i) a região definida pelo intervalo de pixels com univocidade espectral; ii) a região com todos os demais pixels.

A reclassificação para a forma binária possibilita a transformação da imagem binária para vetor. É desta forma que a informação sobre determinada classe de alvo compõe uma base cartográfica municipal, de modo que ela possa ser visualizada e analisada em conjunto com as demais informações espaciais do território. Também é em vetor que a informação pode ser quantificada.

d) *Validação dos intervalos de univocidade espectral*

Para a validação dos intervalos de univocidade espectral definidos a partir da amostra de pontos, foi utilizada uma ortofoto com GSD de 45cm oriunda de um voo fotogramétrico ocorrido no município de Macaparana, em Pernambuco. Essa validação teve a finalidade de atestar que os intervalos de univocidade espectral servem para a classificação do solo de outras áreas de estudo e não somente para a classificação do solo onde foram adquiridas as amostras de pontos, em Recife.

Para a validação dos intervalos foram realizadas as aritméticas de bandas que obtiveram bons resultados na área de estudo em Recife. Para isso foram utilizados os mesmos valores de ganho e offset. Após a execução da aritmética, as imagens foram reclassificadas para a forma binária e transformadas para vetor.

e) *Ferramentas da Morfologia Matemática para extração de borda (contorno)*

A representação da borda no caso manual, é única. Já no caso digital, é necessário considerar: vizinhança-4 ou vizinhança-8. Na MM, a extração de bordas (contornos), leva-se em consideração o aspecto da vizinhança supondo o elemento estruturante B. As transformações de erosão $\varepsilon_B(f)$ e dilatação $\delta_B(f)$ são chamados de operadores da MM. Em Candeias et al. (2016) e Banon e Barrera (1998) tem-se um detalhamento sobre isso.

Pode-se extrair bordas sobre a imagem f usando as ferramentas da MM supondo três casos a seguir.

Borda externa:

$$f_1 = \delta_B(f) - f, \quad (8)$$

Borda interna:

$$f_2 = f - \varepsilon_B(f), \quad (9)$$

Gradiente:

$$f_3 = \delta_B(f) - \varepsilon_B(f), \text{ ou seja, } f_3 = f_1 + f_2 \quad (10)$$

Além disso, a abertura $\gamma_B(f)$, e o fechamento $\phi_B(f)$ também fazem parte das ferramentas da MM e são definidos como segue, e podem auxiliar na definição de contornos.

Abertura:

$$\gamma_B(f) = \delta_B(\varepsilon_B(f)), \quad (11)$$

Fechamento:

$$\phi_B(f) = \varepsilon_B(\delta_B(f)), \quad (12)$$

Borda (contorno) do fechamento:

$$f_3 = \phi_B(f) - f, \quad (13)$$

Os resultados para as imagens binárias usando equações de (8) a (13) são apresentadas na Figura 16.

3. Resultados e discussão

a) Razão de bandas e índices de vegetação

As Figuras 4 e 5 apresentam, respectivamente, os resultados das razões de bandas e dos índices de vegetação. Consegue-se enxergar, previamente, três tipos de fenômenos acontecendo em imagens diferentes, são eles:

- imagem segmentada em cobertura vegetal e outros;
- imagem segmentada em (cobertura vegetal + parcela da cobertura edificacional) e outros;
- imagem segmentada em cobertura vegetal, parcela de cobertura edificacional e outros.

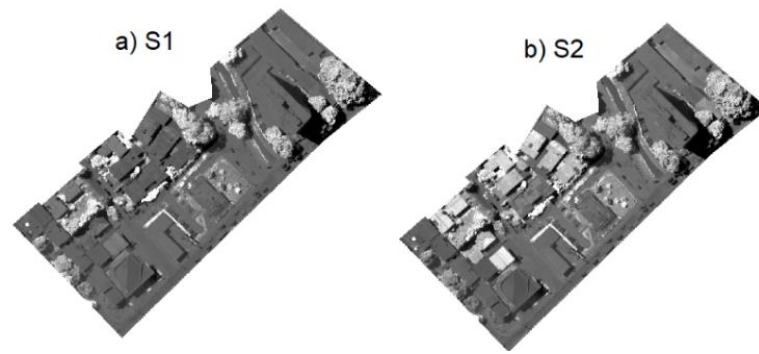
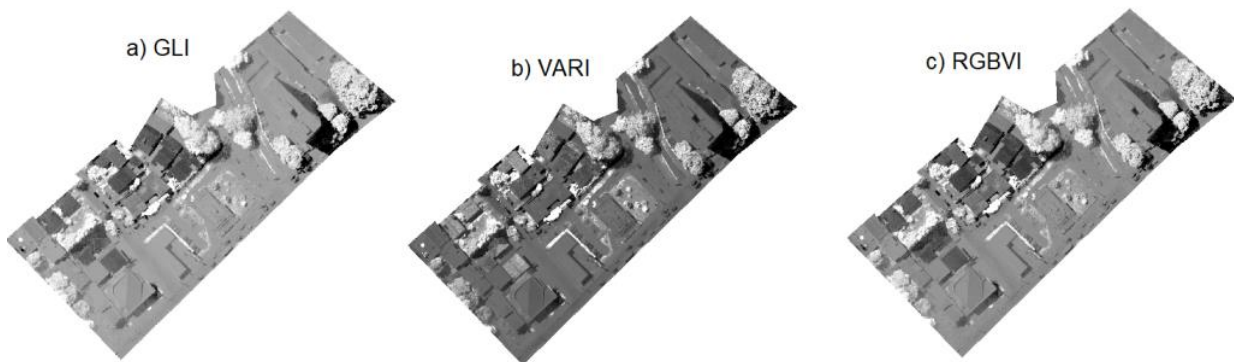


Figura 4 – Razão de bandas. Fonte: Autores



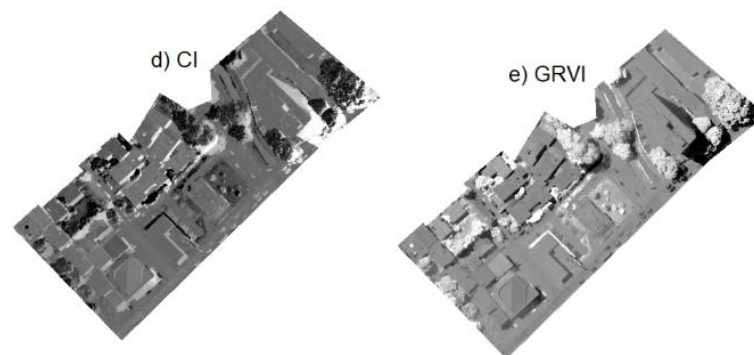


Figura 5 – Índices de Vegetação. Fonte: Autores.

Dispersão dos pontos amostrais

Os gráficos de dispersão dos pontos amostrais permitem uma análise mais pormenorizada do que acontece com as classes de alvos nas razões de bandas e índices de vegetação, pois permitem a apreciação conjunta dos contrastes intraclasse e interclasse.

Neles podemos observar quais classes se misturam e quais classes se sobressaem, espectralmente. Vale salientar que os gráficos dos índices S1 (Gráfico 1) e S2 (Gráfico 2) tiveram valores de mínimo e máximo, para os eixos horizontal e vertical, diferentes dos demais gráficos, para melhor adequar as curvas às áreas dos gráficos.

Os Gráficos 1, 3 e 4, dos índices S1, GLI e RGBVI, respectivamente, apresentaram o melhor contraste interclasse entre a cobertura vegetal e as demais classes. Percebe-se que, apesar do alto contraste intraclasse da cobertura vegetal no índice S1 (Gráfico 1), este índice demonstra um alto potencial de definição de limiar entre áreas de vegetação e áreas que não possuem vegetação. Com relação às outras classes, o índice S1 possui alto grau de mistura espectral.

O Gráfico 2 mostra que há poucas regiões com univocidade espectral no índice S2 e que a parte da vegetação que se sobressai possui baixas frequências, logo, são poucos os pixels realçados. Nota-se também um alto grau de correlação entre uma parcela da cobertura edificacional e grande parte da cobertura vegetal.

Os Gráficos 3 e 4 mostram que os índices GLI e RGBVI realçam uma parcela da cobertura vegetal, com pixels mais claros, e uma parcela da cobertura edificacional, com pixels mais escuros. Nesses índices, a cobertura hídrica e o solo exposto possuem alto grau de mistura espectral.

Os Gráficos 5, 6 e 7 demonstram que os índices, VARI, CI e GRVI não são potenciais para a identificação da vegetação intraurbana, visto que grande parte dos pixels de cobertura vegetal possuem valores semelhantes aos das outras classes, gerando grande mistura espectral. Entretanto, nos três índices, uma parcela da cobertura edificacional, com frequências baixas e médias, é realçada. No índice CI essa parcela edificacional apresenta pixels claros e nos índices VARI e GRVI, pixels escuros.

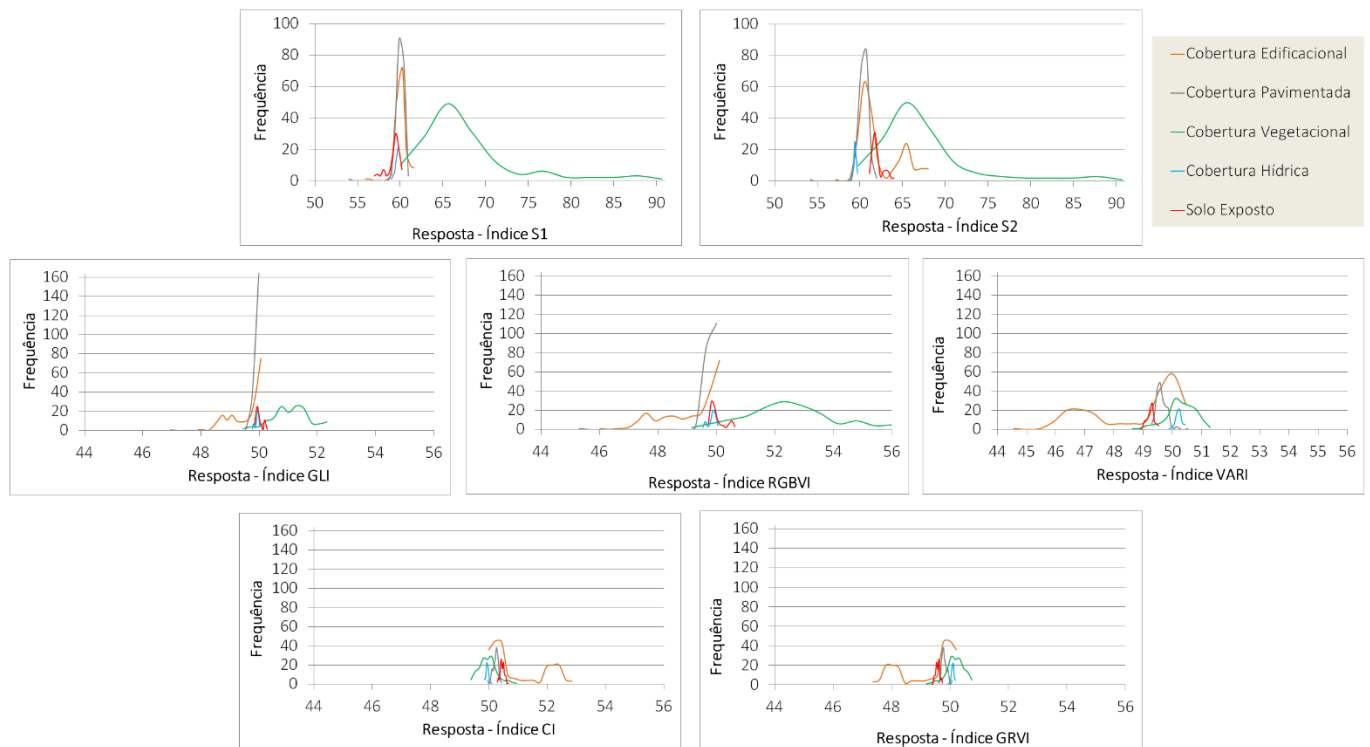


Figura 6 - Intervalos de univocidade espectral. Fonte: Autores.

As Tabelas 1 e 2 apresentam os intervalos das zonas de univocidade espectral de cobertura edificacional e cobertura vegetal, respectivamente.

Tabela 1 - Zonas de univocidade espectral de cobertura edificacional

Operação aritmética	Mínimo	Máximo
VARI	44,1	48,39
CI	50,941	52,85
GRVI	47,15	49,06

Fonte: Autores.

Tabela 2 – Zonas de univocidade espectral de cobertura vegetal

Operação aritmética	Mínimo	Máximo
S1	61,591	90,65
S2	67,981	90,65
VARI	50,531	51,3
CI	49,25	49,78
RGBVI	50,111	56,05
GRVI	50,221	50,75
GLI	50,051	52,32

Fonte: Autores.

Reclassificação para a forma binária

As Figuras 7 e 8 mostram os resultados da reclassificação para a forma binária utilizando os limiares das zonas de univocidade espectral de

cobertura vegetal, cujos limites estão descritos da Tabela 2. A razão de bandas S1 e os índices de vegetação GLI e RGBVI tiveram quase que a totalidade dos pixels de cobertura vegetal contidos no intervalo de univocidade, o que indica que

poucos pixels da referida classe estão em zona de mistura espectral. Em contrapartida, a razão de bandas S2 e os índices GRVI, VARI e CI, tiveram poucas áreas de vegetação detectadas, com destaque para o índice CI, o qual apresentou a menor área de vegetação.

A Figura 9 mostra o resultado da reclassificação para a forma binária utilizando os limiares das zonas de univocidade espectral de cobertura edificacional, cujos limites estão descritos da Tabela 1.

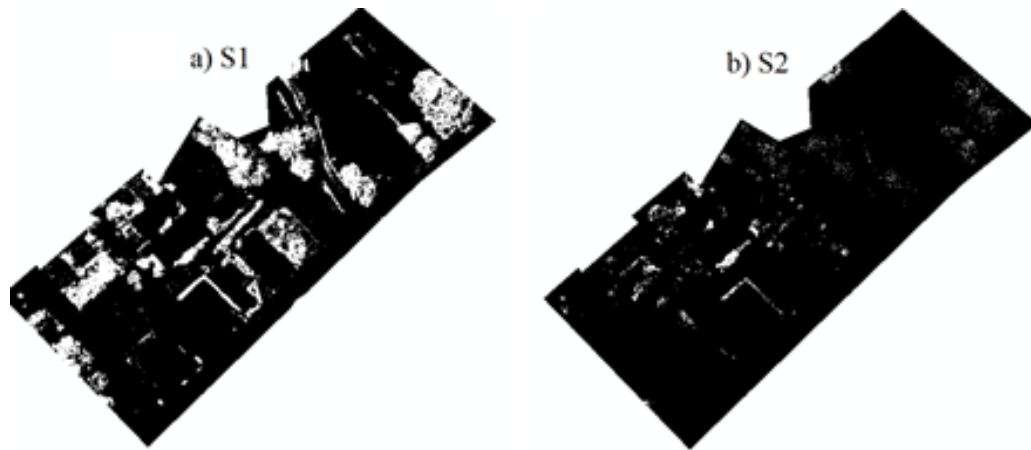


Figura 7 - Razão de bandas reclassificada para a forma binária como limiar de vegetação.
Fonte: Autores.

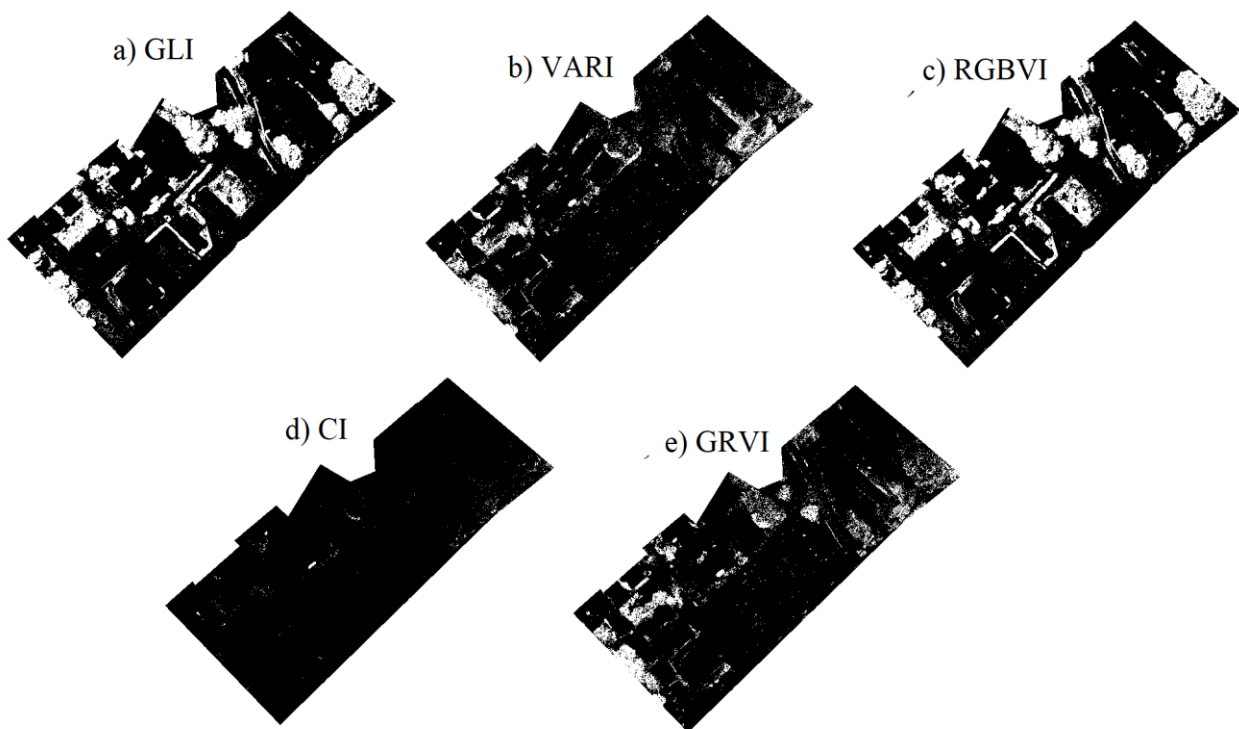


Figura 8 - Índices de vegetação reclassificados para a forma binária com limiar de cobertura vegetal.
Fonte: Autores.

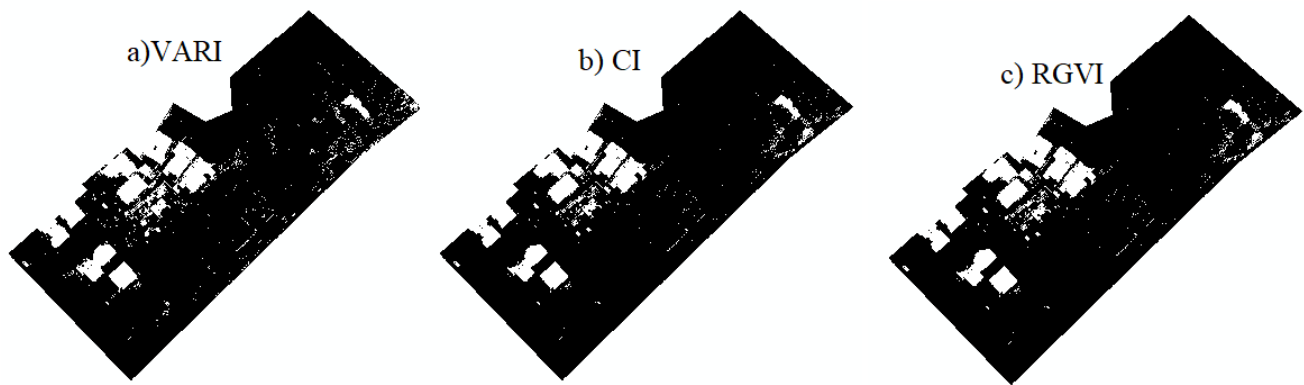


Figura 9 - Índices de vegetação reclassificados para a forma binária com limiar de cobertura edificacional.
Fonte: Autores.

Os resultados da binarização para os índices VARI, CI e RGBVI conseguiram detectar todos os telhados de cerâmica da área de estudo, sem fazer distinção quanto ao estado de conservação, o qual varia de vermelho (novo) para marrom (velho).

Transformação de raster para vetor

A Figura 10 mostra o resultado da transformação de raster para vetor da razão de bandas S1 e dos índices de vegetação GLI e RGBVI, os quais demonstraram potencial para a classificação da vegetação intraurbana. Com a sobreposição na imagem área ortorretificada e fazendo uma análise

visual global dos resultados, pode-se perceber que além de semelhantes, S1, GLI e RGBVI, quando submetidos à reclassificação para a forma binária com o uso dos intervalos de univocidade espectral de cobertura vegetal, conseguiram classificar as mais altas frequências de vegetação

Para analisar a diferença em termos quantitativos, a Tabela 3 contém as áreas, em metros quadrados, da cobertura vegetal na razão de bandas S1 e nos índices GLI e RGBVI. Nota-se que a diferença entre RGBVI e GLI é significativamente menor que a diferença entre ambos os índices e S1.



Figura 10 - Arquivo vetorial de cobertura vegetal.
Fonte: Autores.

Tabela 3 – Área da cobertura vegetal

Aritmética de bandas	Área (m ²)
S1	3502,88
GLI	4367,77
RGBVI	4428,13

Fonte: Os autores

Para analisar no detalhe as diferenças entre S1, GLI e RGBVI, foram feitos dois recortes na área de estudo. A Figura 11 apresenta um trecho da área de estudo onde há vegetação de diferentes alturas, inclusive partes de vegetação rasteira, o

que ocasionaria dúvidas no analista, caso o método de extração fosse fotoanálise seguida de vetorização em tela. A Figura confirma o que mostra a Tabela 1: que S1 considera uma quantidade menor de pixels como sendo de vegetação. Também notamos que RGBVI e GLI classificou a maior parte da vegetação rasteira, se comparados com S1.

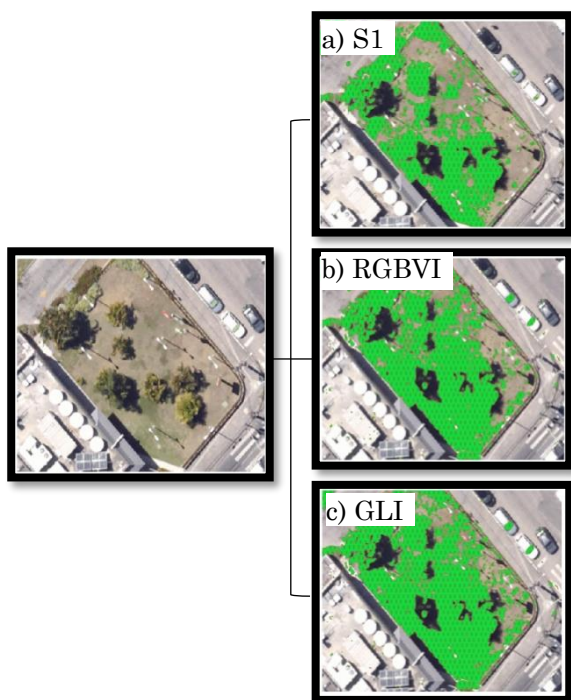


Figura 11 - Recorte 1 para análise da vegetação.
Fonte: Autores.

A Figura 12 apresenta um recorte de uma área com vegetação de porte maior e mais densa, para analisarmos as diferenças entre S1, GLI e RGBVI. Nota-se mais uma vez que S1 classifica menos pixels, de modo que a área de vegetação se apresenta mais fragmentada que nos índices GLI e RGBVI.

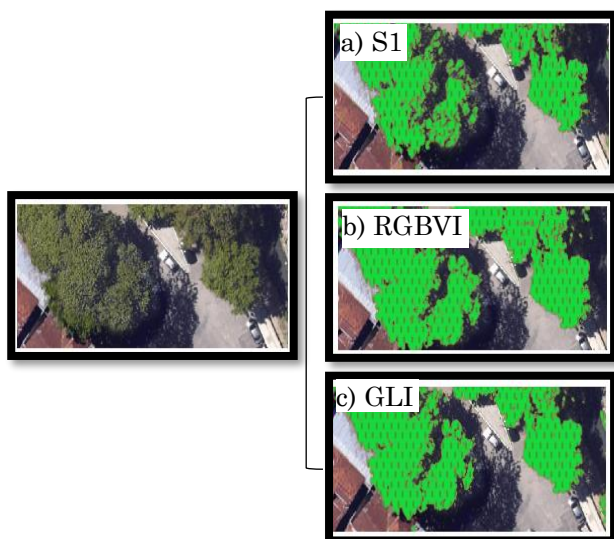


Figura 12 - Recorte 2 para análise da vegetação.
Fonte: Autores.

A Figura 13 mostra o resultado da transformação de raster para vetor dos índices de vegetação VARI, CI e RGBVI, os quais demonstraram potencial para a classificação de telhados de cerâmica.

Com a sobreposição na imagem área ortorretificada pode-se perceber alguns pixels de telhado de cerâmica sombreado sendo classificados no índice VARI, enquanto no CI e RGBVI os pixels de sombra foram desconsiderados. Todavia, apesar das limitações devido à sombra, as quais são frequentes em imagens de alta resolução, os índices VARI, CI e RGBVI obtiveram bons resultados na extração de telhados de cerâmica.

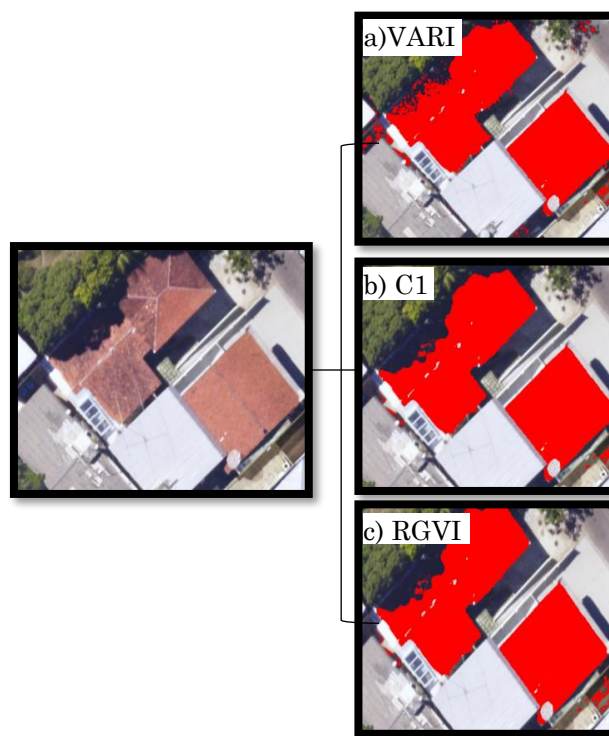


Figura 13 - Validação dos intervalos de univocidade espectral. Fonte: Autores.

As Figuras 14 e 15 apresentam os resultados da aplicação, na área teste no município de Macaparana, dos limiares de univocidade espectral de cobertura vegetal e edificacional, respectivamente. Para esse propósito, foram realizadas as operações aritméticas, seguidas das reclassificações para a forma binária e transformação de rasters para vetor. Na Figura 13 é possível notar que a operação RGBVI classifica um número maior de pixels como sendo de cobertura vegetal, seguida do GLI e S1. Na Figura 14 é possível notar que a operação GRVI classifica um número maior de pixels como sendo de cobertura edificacional do tipo telhado de cerâmica.

Devido à ortofoto de Macaparana ter resolução inferior à ortofoto de Recife, algumas confusões espectrais ocorreram de forma mais acentuada, a exemplo de pixels de telhado de cerâmica classificados como cobertura vegetal, em especial nas operações RGBVI e GLI. Com relação à cobertura edificacional do tipo telhado de cerâmica, a

operação VARI não classificou telhados ou partes de telhados com tons mais escuros. Esse tipo de validação serve para elencar as operações em função da

veracidade com a realidade terrestre, uma vez que na área de estudo em Recife os resultados se mostraram muito semelhantes.

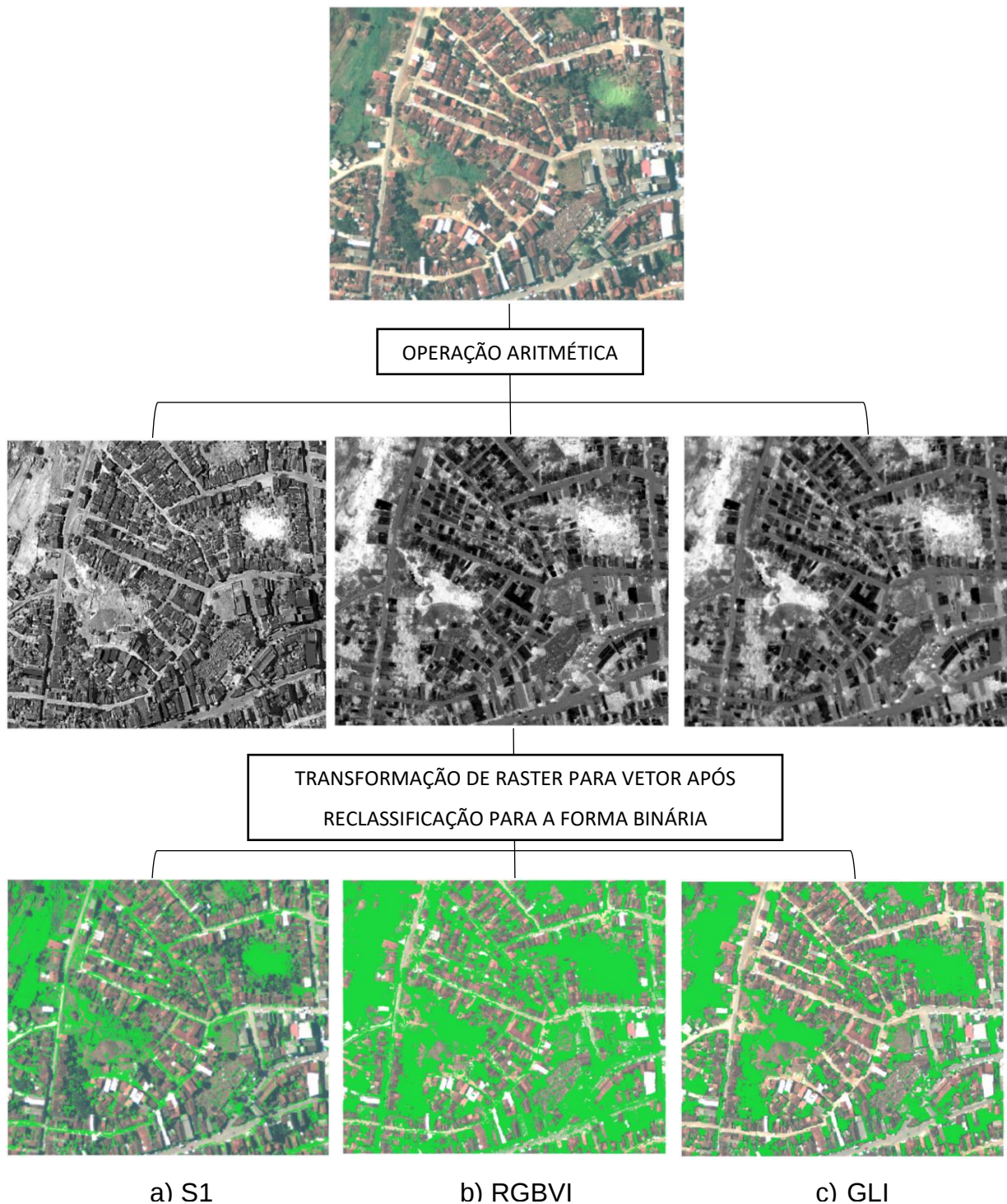


Figura 14 – Validação dos intervalos de univocidade espectral de cobertura vegetal.
Fonte: Autores.

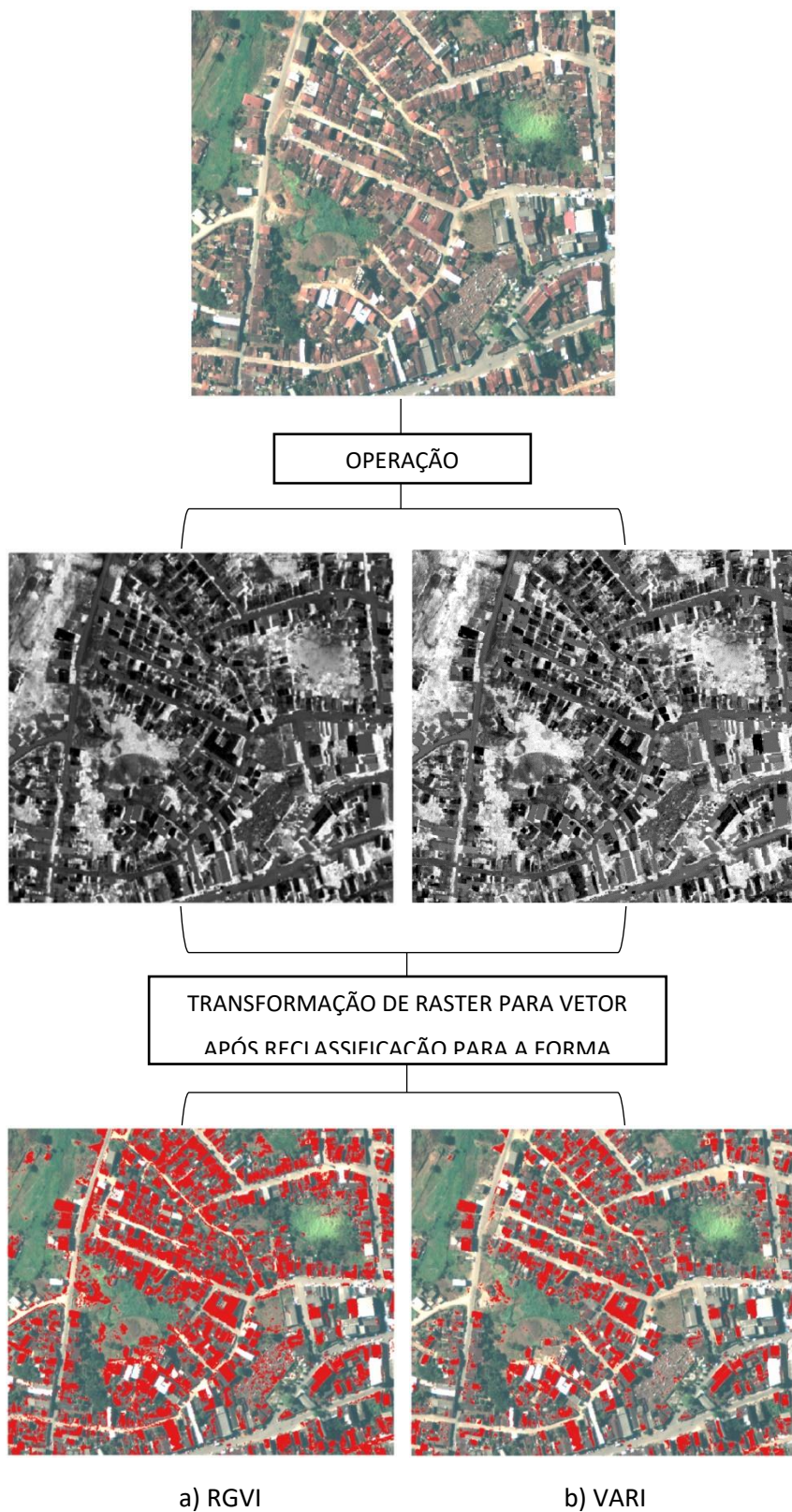


Figura 15 – Validação dos intervalos de univocidade espectral de cobertura edificacional do tipo telhados de cerâmica. Fonte: Autores.

Resultados usando as Ferramentas da Morfologia Matemática

A Figura 16 mostra os resultados da extração de telhado usando a Morfologia Matemática para a binarização do VARI (Equação (5)) para obter automaticamente, os contornos dos telhados de

cerâmica. Percebe-se que a operação de fechamento pode ser aplicada a imagem binária para deixar os telhados sem regiões pretas (buracos), e com isso tem-se um contorno fechado mais adequado para essa

feição. A Figura 16 (d) mostra a função de transferência que foi aplicada ao VARI (Figura 16(b)) para obter a imagem binária (Figura 16 (c))

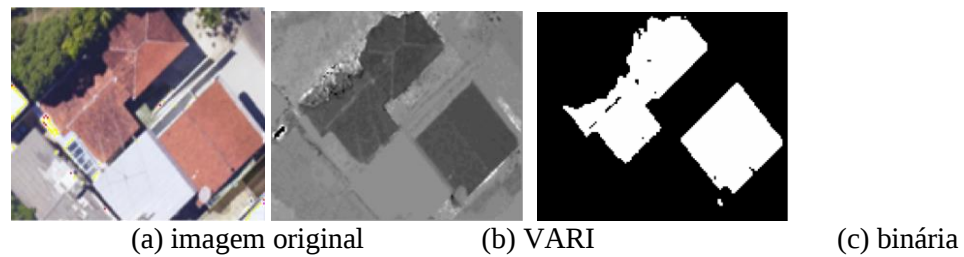


Figura 16 – Extração da feição Telhado de cerâmica a partir da binarização da imagem VARI e usando morfologia matemática. Fonte: Autores.

4. Conclusão

Nesse trabalho foi possível analisar razões de bandas e índices de vegetação que utilizam apenas a faixa do visível. Os resultados mostram a viabilidade de extração de feições intraurbanas fazendo-se uso de produtos oriundos de sensores que trabalham apenas na faixa do visível, a exemplo dos produtos do Pernambuco Tridimensional. A aritmética de bandas, ao realizar transformações nas imagens, apontam

novas possibilidades de discretização dos alvos, e podem ser utilizadas em substituição ou em complemento às imagens originais em processos automatizados de classificação de imagens.

Das sete operações aritméticas, três demonstraram potencialidade de classificação da cobertura vegetal intraurbana, foram elas: i) razão de bandas S1; ii) índices de vegetação GLI e RGBVI. A operação S1 classificou uma menor

quantidade de pixels, cabendo um estudo mais detalhado sobre o motivo pelo qual GLI e RGBVI terem classificado alguns pixels não classificados por S1. Os índices VARI, CI e RGBVI apresentaram potencial em classificar uma parcela da cobertura edificacional, a saber, telhados de cerâmica. Valendo salientar que esses índices não fizeram distinção entre o estado de conservação, quais sejam: telhados novos em tons avermelhados e telhados velhos em tons amarronzados.

Os resultados apontaram que o uso conjunto das equações e dos intervalos de univocidade espectral definidos neste trabalho podem ser utilizados para a extração automática de áreas verdes e de telhados de cerâmica presentes em espaços urbanos, fazendo-se uso de imagens de alta resolução provenientes de sensores que imageiam apenas no espectro visível, motivo pelo qual a metodologia pode ser amplamente replicada e subsidiar o mapeamento urbano das cidades brasileiras.

Foi visto que, as ferramentas da Morfologia Matemática podem auxiliar na obtenção dos contornos e que, para o caso aqui estudado dos telhados de cerâmica, o contorno do fechamento, a partir da imagem binária com VARI, gerou o melhor resultado, quando comparado ao contorno externo, interno e gradiente.

Agradecimentos

Ao CNPq processos 439610/2018-4 e 311461/2018-2 e a bolsa de mestrado CAPES da primeira autora.

Referências

- Araújo, T. P. & Mello, F. M. 2010. Procedimento de Imagens Digitais – Razão entre Bandas. *Revista Geociências*. 29 (1): 121-131.
- Banon, G. J. F.; Barrera, J. Bases da Morfologia Matemática para análise de imagens binárias. 2.ed. São José dos Campos: INPE, 1998.
- Bargos, D. C. & matias, L. F. 2011. Áreas verdes urbanas: Um estudo de revisão e propostas conceituais. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*. 6(3):172-188.
- Bendig, J., Yu, K., Aasen, H., Bolten, A., Bennertz, S., Broscheit, J., Gnyp, M.L., and Bareth, G., 2015. Combining UAV-based plant height from crop surface models, visible, and near infrared vegetation indices for biomass monitoring in barley. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 39: 79-87.
- Candeias, A. L. B., Tavares Junior, J. R., do Nascimento, P. H. O., de Moura, C. J. M., da Silva, E. A. *Rev. Bras. Geom.*, v.4, n. 1, p.22-31, jan/abr. 2016.
- Falkowski, M.J.; Gessler, P.E.; Morgan, P.; Hudak, A.T. & Smith, A.M.S. 2005. Characterizing and mapping forest fire fuels using ASTER imagery and gradient modeling. *Forest Ecol. Manage*, 217: 129-146.
- Gitelson, A.A.; Kaufman, Y.J.; Stark, R. et al. 2002. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. *Remote Sensing of Environment*.80: 76-87.
- Louhaichi, M.; Borma, M. M. & Johnson, D. E. 2001. Spatially Located Platform and Aerial Photography for Documentation of Grazing Impacts on Wheat. *Geocarto International*, 16(1): 65–70.
- Lu, D. & Weng, Q. 2007. A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. *International Journal of Remote Sensing*. 28(5):823-870.
- Lussem, U.; Bolten, A.; Gnyp, M.; Jasper, J. & Bareth, G.. 2018. Evaluation of RGB-BASED vegetation indices from uav imagery to estimate forage yield in grassland. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 42(3) :1215-1219.
- Mandal, U. K. 2016. Spectral color indices based geospatial modeling of soil organic matter in Chitwan district, Nepal. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. P.43-48.
- Mathieu, R., M. Pouget, B. Cervelle & R. Escadafal. 1998. Relationships between satellite-based radiometric indices simulated using laboratory reflectance data and typical soil color of an arid environment, *Remote Sens. Environ* .66:17– 28.
- Menezes, P. R. & Almeida, T. 2012. Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto. Brasília, Universidade de Brasília, 266p.
- Motohka, T.; Nasahara, K. N.; Oguma, H. & Tsuchida, S. Applicability of Green-Red Vegetation Index for Remote Sensing of Vegetation Phenology. *Remote Sensing*, vol. 2, p. 2369-2387, 2010.
- Myint, S. W.; Gober, P., Brazel, A.; Grossman-clarke S. & Weng Q. 2011. Per-pixel vs. object-based classification of urban land cover extraction using high spatial resolution imagery. *Remote Sensing of Environment* 115(5):1145–1161.
- Ponzone, F. J. & Shimabukuro, Y. E. 2007. Sensoriamento remoto no estudo da vegetação. São José dos Campos, Parêntese, 136 p.
- Tucker, C. J. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sens. Environ*. 8: 127-150.