



Este artigo está licenciado sob uma licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-SemDerivações 4.0 Internacional.

Você tem direito de:

Compartilhar — copiar e redistribuir o material em qualquer suporte ou formato.

De acordo com os termos seguintes:

Atribuição — Você deve dar o **crédito apropriado**, prover um link para a licença e **indicar se mudanças foram feitas**. Você deve fazê-lo em qualquer circunstância razoável, mas de maneira alguma que sugira ao licenciante a apoiar você ou o seu uso.

Não Comercial — Você não pode usar o material para **fins comerciais**.

Sem Derivações — Se você **remixar, transformar ou criar a partir** do material, você não pode distribuir o material modificado.

Sem restrições adicionais — Você não pode aplicar termos jurídicos ou **medidas de caráter tecnológico** que restrinjam legalmente outros de fazerem algo que a licença permita.



This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License.

You are free to:

Share — copy and redistribute the material in any medium or format

Under the following terms:

Attribution — You must give **appropriate credit**, provide a link to the license, and **indicate if changes were made**. You may do so in any reasonable manner, but not in any way that suggests the licensor endorses you or your use.

NonCommercial — You may not use the material for **commercial purposes**.

NoDerivatives — If you **remix, transform, or build upon** the material, you may not distribute the modified material.

No additional restrictions — You may not apply legal terms or **technological measures** that legally restrict others from doing anything the license permits.



**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO
PARA MENSURAÇÃO DA VEGETAÇÃO URBANA NO MUNICÍPIO DE ALEGRE,
ES**

**COMPARATIVE ANALYSIS BETWEEN TECHNIQUES OF REMOTE SENSING IN
MEASUREMENT OF VEGETATION URBAN IN MUNICIPALITY OF ALEGRE, ES**

**ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LAS TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN PARA
LA MEDICIÓN DE LA VEGETACIÓN EN URBAN ALEGRE, ES**

Ivo Augusto Lopes Magalhães

Universidade de Brasília - UNB

E-mail: <ivosrmagalhaes@gmail.com>.

Osmar Abílio de Carvalho Junior

Universidade de Brasília - UNB

E-mail: <osmarjr@unb.br>.

Alexandre Rosa dos Santos

Universidade Federal do Espírito Santo – UFES

E-mail: <mundogeomatica@yahoo.com.br>.

Resumo

Objetivou-se com este estudo, comparar os resultados obtidos por meio de técnicas de sensoriamento remoto orbital, no intuito de mensurar a vegetação arbórea no município de Alegre, ES. Utilizou-se uma imagem de alta resolução espacial do satélite GeoEye-1 e determinou-se a fotointerpretação da vegetação como técnica modelo a ser comparada perante os índices de vegetação NDVI, SAVI e classificadores de imagens por Distância Euclidiana e Isoseg. Os Índices de Vegetação e os classificadores foram fatiados em três classes; vegetação urbana, pastagem e áreas urbanas. Por meio da fotointerpretação a vegetação urbana foi mensurada em 68 ha. Já por meio do índice de vegetação SAVI com fator de ajuste L 0,25 obteve 66,46 ha, correspondendo a 11,73% do perímetro urbano, entretanto, o índice NDVI subestimou a vegetação urbana em 19,13 ha quando comparado à área mapeada com o SAVI 0,25. Para a região em estudo o índice SAVI com fator de ajuste ao solo 0,25 e o classificador Isoseg podem ser usados para substituir a fotointerpretação, pois apresentaram áreas de vegetação urbana mensurada com valores aproximados, além de serem menos onerosos para obtenção do mapeamento da vegetação.

Palavras-chave: Geoprocessamento; fotointerpretação; mapeamento urbano.

Abstract

The objective of the study was to compare the results obtained by means of orbital remote sensing techniques, in order to measure the arboreal vegetation in municipality of Alegre, ES. A high spatial resolution image of the GeoEye-1 satellite was used and the vegetation photointerpretation was determined as a model technique to be compared to NDVI, SAVI vegetation indexes and Euclidian Distance and Isoseg image classifiers.

The Vegetation Indexes and the classifiers were sliced into three classes; Urban vegetation, pasture and urban areas. Through the photointerpretation the urban vegetation was measured in 68 ha. However, the SAVI vegetation index with adjustment factor L 0.25 obtained 66.46 ha, corresponding to 11.73% of the urban perimeter, however, the NDVI index underestimated the urban vegetation by 19.13 ha when compared to the area Mapped with SAVI 0.25. For the study area, the SAVI index with soil adjustment factor 0.25 and the Isoseg classifier can be used to replace the photointerpretation, since they presented areas of urban vegetation measured with approximate values, besides being less expensive to obtain the mapping of the vegetation.

Keywords: Geoprocessing; photointerpretation; urban mapping.

Resumen

El objetivo de este estudio fue comparar los resultados obtenidos por medio de técnicas de teledetección con el fin de medir la vegetación arbórea en la ciudad de Alegre, ES. Se utilizó una imagen de alta resolución espacial GeoEye-1 vía satélite y determinó la fotointerpretación de técnica de modelado de la vegetación que se compara con las imágenes de NDVI, SAVI y clasificadores de distancia euclídea y Isoseg. El índice de vegetación y clasificadores se cortaron en tres clases; la vegetación urbana, pastos y áreas urbanas. A través de la interpretación de fotografías vegetación urbana se midió en 68 ha. Ya través del índice de vegetación SAVI con factor de ajuste L obtenido 66,46 0,25 ha, que corresponde al 11,73% de la zona urbana, sin embargo, el índice NDVI subestimar la vegetación urbana en 19.13 ha, frente a la zona mapeada con el SAVI 0,25. Para la región en estudio el factor de ajuste del índice suelo SAVI 0,25 y clasificador Isoseg se pueden utilizar para reemplazar la interpretación de fotografías, como áreas presentados de la vegetación urbana medidos con valores aproximados, y son menos costosos de obtener el mapeo la vegetación.

Palavras clave: Geoprocесamiento; fotointerpretación; la cartografía urbana.

INTRODUÇÃO

Atualmente grande parte da população brasileira está situada em áreas urbanas, com esse aumento populacional nas cidades ocorrem diversos passivos ambientais como a impermeabilidade do solo, a poluição atmosférica e o desmatamento.

A presença da vegetação na área urbana tem influência direta na qualidade de vida e no equilíbrio ambiental, tornando-se assim, fundamental ser analisada e monitorada com maior frequência.

Os centros urbanos sem a presença das áreas verdes tornam-se elementos com elevada capacidade refletora, condicionando um microclima seco e quente, ampliando o desconforto da população pela alteração do balanço de energia e, formando bolsões denominados de “ilhas de calor” (FILHO et al. 2005).

Ao contrário desses passivos, a vegetação urbana contribui para todo um conforto térmico e equilíbrio ambiental, sendo extremamente importante para amenização microclimática, resfriamento do ar, aumento da umidade relativa, filtração e absorção de poluentes do ar, contribuindo para o estabelecimento de microclimas mais agradáveis nas cidades (SOUZA, 2011).

Para mensurar a vegetação urbana existem diversas técnicas, como: trabalho de campo, análise de cartas, plantas topográficas, fotointerpretação e uso de radiômetros (LUCHIARI, 2001).

Desse modo, a identificação da vegetação por meio das imagens de satélite é uma tecnologia rápida e em algumas situações são mais eficientes, principalmente quando a análise ocorre em locais inóspitos. (SILVA et al. 2011).

As análises dos padrões e estrutura espacial das áreas de vegetação interurbana têm sido realizadas por meio de Sistemas de Informações Geográficas (ALVAREZ, 2004). Os SIG's apresentam confiabilidade, agilidade, precisão e detalhamento de toda uma área em estudo em curto espaço de tempo, pois uma análise da vegetação em um município, mesmo de pequeno porte, pode ser muito oneroso se não for desenvolvido por meio do uso de geotecnologias.

Para analisar uma vegetação são necessários processamentos de imagens de satélite, com intuito de melhor extração dos alvos analisados. Dentro destes processamentos têm-se, como exemplo, processos de classificação automática de imagens, índices de vegetação e o modelo linear de mistura espectral.

As áreas verdes fazem parte do planejamento urbano, redução da poluição, diminuição da poluição sonora; melhoria estética das cidades, contudo o município de Alegre, ES, carece desta quantificação e de metodologias para a execução desta mensuração, fazendo

jus à realização desta pesquisa, pois este estudo servirá de agente norteador para projetos de arborização e estudo microclimático do município.

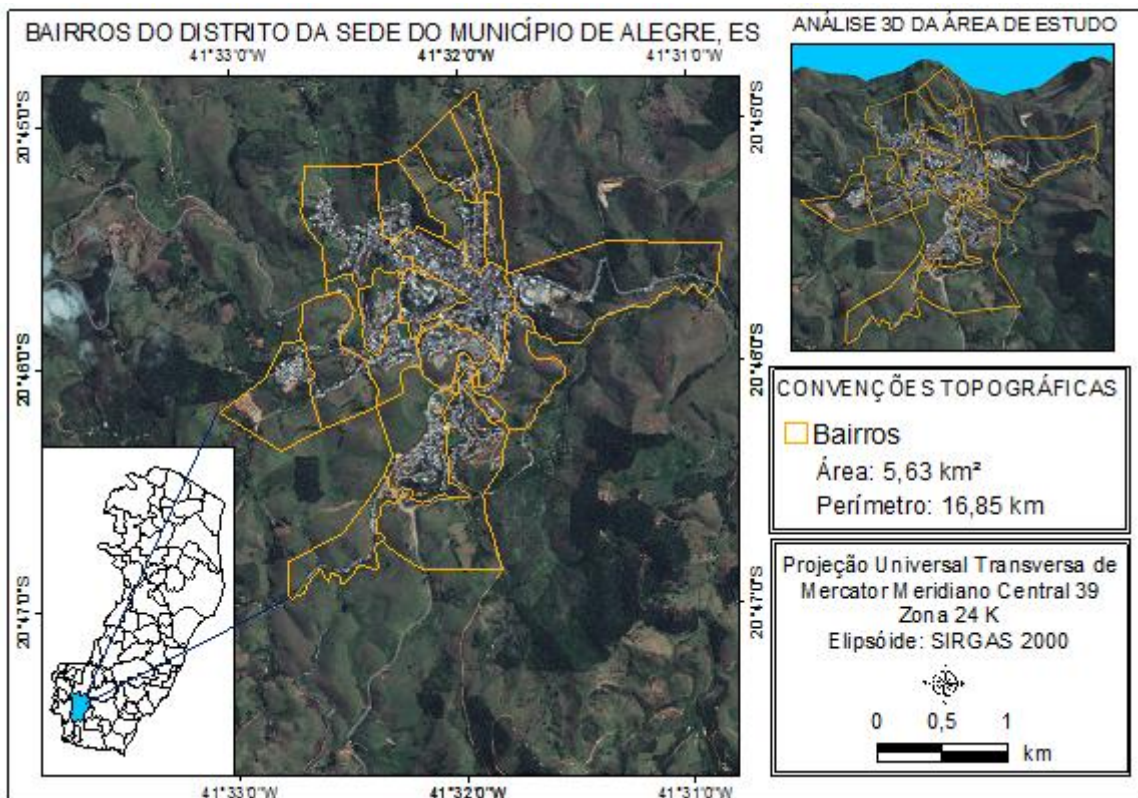
Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo comparar os resultados obtidos por meio de técnicas de sensoriamento remoto orbital, fotointerpretação, Índices de Vegetação e Classificadores de Imagens no intuito de mensurar a vegetação arbórea no município de Alegre, ES.

ÁREA, MATERIAIS E MÉTODOS

Localização da área

A área de estudo é representada pelos bairros do município de Alegre, localizada no extremo Sul do estado do Espírito Santo, Brasil. O município está localizado entre as coordenadas geográficas 20° 31' e 20° 55' latitude Sul e 41° 21 e 41° 39' longitude Oeste (Fig. 1).

Figura 1- Mapa de localização da área de estudo para os bairros do município de Alegre, ES



Fonte: Org. MAGALHAES, I. A. L., 2017.

Segundo a classificação internacional de Köppen o tipo climático do município é o Cwa, caracterizado como clima de inverno seco e verão chuvoso, com precipitação total anual média de 1341 mm e temperatura anual média de 23,1 °C (LIMA et al. 2008).

No desenvolvimento do trabalho utilizou-se uma imagem de alta resolução do satélite GEOEYE-1 representativas dos bairros do município de Alegre, ES. A imagem foi cedida no dia 03 de janeiro de 2016 pela prefeitura municipal de Alegre, ES. Esta imagem de alta resolução espacial possui baixa nebulosidade, com menos de 5% na área em estudo. Todas as técnicas aplicadas para análise da vegetação urbana foram realizadas no aplicativo computacional ArcGIS 10.2.

Processamento digital de imagens

Dentre os sistemas para aquisição de imagem de alta resolução tem-se o satélite GEOEYE-1, lançado em setembro de 2008, com um sensor óptico capaz de alcançar 41 cm de resolução espacial no modo pancromático e 1,6 metros no modo multiespectral. Na Tabela 1 são demonstradas as principais características do satélite GEOEYE-1.

Tabela 1 – Características do GEOEYE-1.

Resolução Espacial	0.41m (Pancromático) e 1.64m (Multispectral)
Resolução Espectral (PAN)	450-900 nm
Resolução Espectral (Multispectral)	Azul: 450-520 nm Verde: 520-600 nm Vermelho: 625-695 nm Infra Vermelho: 760-900 nm
Faixa Imageada	15,2 km
Inclinação Visada Lateral	até 60 Graus
Resolução Radiométrica	11 bits
Vida Útil	> 10 anos

Continuação da tabela 1

Capacidade de Revisita	3 dias ou menos
Altitude	684 km
Hora de Passagem	10:30 A.M. GMT

Fonte: Org. MAGALHAES, I. A. L., 2017.

As imagens do satélite GeoEye-1 foram registradas com base na aerofoto ortorretificada do Instituto Estadual de Meio Ambiente (IEMA). Posteriormente foi realizada uma reamostragem de primeira ordem polinomial dos pixels pelo método vizinho mais próximo. Este método consiste na interpolação dos valores dos números digitais de cada pixel, mantendo os valores aproximados do pixel central da imagem registrada (CRÓSTA, 1993).

Ao serem registradas as imagens apresentaram um erro médio quadrado (RMS), menores que 0,5 pixels, no qual é aceitável para este tipo de estudo. Na última etapa do Processamento da imagem realizou-se a equalização de histograma da imagem por meio do método *Stretch*.

Fotointerpretação

Realizou-se uma fotointerpretação da vegetação urbana do município de Alegre para quantificar a área com vegetação do perímetro urbano em hectares. Esta técnica foi realizada em uma escala constante de 1:2500, por meio da imagem de alta resolução espacial do satélite GeoEye-1. O alvo fotointerpretado foi à vegetação urbana do município, sendo desprezados todos os alvos diferentes a esta classe.

Índices de vegetação

A mensuração da vegetação urbana foi elaborada por meio dos índices de vegetação: NDVI (índice de Vegetação da diferença normalizada) e SAVI (índice de Vegetação ajustado para o Solo). O NDVI foi fatiado em 3 classes distintas, com valores de: - 1 a 0,1 para as áreas não vegetadas; 0,1 a 0,3 para as áreas pastagem e de 0,3 a 0,90 para as

áreas de vegetação urbana. Após esse fatiamento a imagem NDVI foi transformada em vetor para assim mensurar a áreas não vegetadas, pastagem e vegetação urbana.

O NDVI apresentado por Rouse et al. (1973) é expresso por uma função matemática utilizado como indicador da dinâmica da cobertura vegetal, neste trabalho ele foi elaborado para mensurar a área em hectares dos alvos presentes no perímetro urbano de Alegre, sendo calculado pela diferença de reflectância entre a faixa de NIR (reflectância da faixa de infravermelho próximo) e a de VIS (refletância da faixa do visível). Essa diferença é normalizada pela divisão da soma das faixas de NIR e VIS (EQUAÇÃO 1).

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

Em que,

NDVI: Índice de Vegetação da Diferença Normalizada;

NIR: Faixa espectral da faixa do infravermelho próximo (0,725 a 1,10 μm);

RED : Faixa espectral do vermelho (0,6 a 0,7 μm).

Proposto por Huete (1988), o SAVI possui a propriedade de minimizar os efeitos do solo de fundo no sinal da vegetação ao incorporar uma constante de ajuste de solo, essa constante é o fator L no denominador da equação que pode ter distintos valores.

O fator L varia com a característica da reflectância do solo (calor e brilho) e pela densidade da vegetação que se deseja analisar. Para vegetação com baixa intensidade utiliza o fator $L = 1,0$, para vegetação com dossel intermediário usa-se $L = 0,5$, para altas densidades do dossel usa-se $L = 0,25$.

O município apresenta a vegetação nos 3 estágios sucessionais, portanto foi utilizado os 3 valores para constante L com a finalidade de obter o valor apropriado ao tipo de vegetação do município e a quantificação da área de vegetação mais correlacionada com os valores fotointerpretados. O fatiamento para os três mapas temáticos do SAVI foram obtidos por meio da resposta espectral referente aos alvos com vegetação, pastagem e áreas não vegetadas.

O mapa temático com Fator ($L=0,25$) foi fatiado em 3 classes: -1 a 0,22 para áreas não vegetadas, 0,22 a 0,48 para áreas de pastagem e 0,48 a 1 para áreas de vegetação urbana. O fatiamento com Fator ($L=0,5$) foi realizado de -1 a 0,1 para áreas não vegetadas, 0,1 a 0,4 para áreas de pastagem e 0,4 a 1 para áreas de vegetação urbana e com o Fator ($L=1$) foi

fatiado pelos valores: -1 a 0,13 para áreas não vegetadas, 0,13 a 0,32 para áreas de pastagem e 0,32 a 1 para áreas de vegetação urbana densa. O SAVI foi elaborado conforme a Equação 2.

$$SAVI = \frac{(NIR - RED)}{L + NIR + RED} * (1 + L) \quad (2)$$

Em que,

L : Fator de ajuste do solo.

Classificação supervisionada por Distância Euclidiana

O algoritmo de classificação por distância Euclidiana é um classificador de imagem que apresenta como característica a utilização dos valores espectrais pixel a pixel, com intuito de classificar as regiões com as mesmas respostas espectrais (BORGES; SILVA; CASTRO; 2007).

Para que a classificação da imagem apresentasse menos confusão dos temas e mais acurácia, foram vetorizadas aproximadamente 40 amostras representativas de cada tema a ser classificado na imagem: área não vegetada. Pastagem e vegetação.

As coletas das amostras foram realizadas com critério, sem sobreposição dos temas e sem aquisição de nuvens, para que não ocorresse a confusão de classes pelo classificador com o limiar de aceitação de 99%, posteriormente foi realizada uma pós-classificação para amenização da confusão dos pixels em temas distintos. A classificação de imagem pela distância euclidiana é calculada baseada no teorema de Pitágoras, conforme a Equação 3.

$$DIST = \sqrt{\sum (VB_{ijk} - X_{ck})^2} \quad (3)$$

Em que:

DIST = distância euclidiana;

VB_{ijk} = valor de brilho na linha i, coluna j e banda k;

X_{ck} = média da classe c a banda k;

C = número de classes envolvidas na classificação;

K = número de bandas envolvidas na classificação.

Classificação não-supervisionada pelo método Iseseg

O Iseseg é um algoritmo de agrupamento (*clustering*) de dados não-supervisionados, aplicado sobre um determinado conjunto de regiões, caracterizadas por seus atributos estatísticos de média, matriz de covariância e área (MOREIRA, 2005).

O Iseseg utiliza a distância Mahalanobis como medida para procurar regiões similares caracterizadas por seus atributos estatísticos (média e matriz de covariância). A procura pela região de maior área é o ponto inicial desse algoritmo e após a ordenação das regiões em ordem decrescente de área, durante a detecção das classes, é iniciado o procedimento de agrupamento das mesmas (MOREIRA, 2005). O algoritmo de classificação Iseseg é expresso pela Equação 4.

$$D = \frac{1}{2}(\mathbf{X} - \mathbf{m}_i)^T \mathbf{C}_i^{-1}(\mathbf{X} - \mathbf{m}_j) \quad (4)$$

Em que:

D = distância de Mahalanobis;

T = matriz transposta;

\mathbf{C}_i = matriz de covariância;

\mathbf{m}_i e \mathbf{m}_j = vetor de média das classes i e j;

X = região de interesse.

Após o cálculo da distância de *Mahalanobis*, foi definido um limiar de 95% de aceitação. Este limiar significa que as regiões pertencentes às classes estão distantes por um valor inferior ou igual à esta distância.

A classificação foi realizada distinguindo-se 3 classes de uso e ocupação da terra, vegetação, área não vegetada e pastagem e respectivamente foi mensurada as respectivas áreas em hectares.

Avaliação da acurácia das classificações

A acurácia das classificações foi determinada por meio da Exatidão global e do índice Kappa, ambos calculados com base em uma matriz de erros e utilizados como medida de concordância entre o mapa e a referência adotada para a estimativa da exatidão, neste caso,

a imagem verdade e o trabalho de campo para a distinção de alguns alvos. A exatidão Global (EG) e o índice Kappa (k) foram calculados a partir da Equação 5 e 6, conforme descrito por (CONGALTON; GREEN, 1998).

$$G = \sum_n^M n_{ii} \quad (5)$$

Em que:

n_{ii} = elementos da diagonal da matriz de confusão;

n = número total de observações;

M = número de temas mapeados.

$$Kappa = \frac{\sum_{i=1}^M x_i - \sum_{i=1}^M (x_i + x + i)}{n^2 - \sum_{i=1}^M (x_i + x + i)} \quad (6)$$

Em que:

n = número total de observações;

$x_i + e x + i$ = Somatório na linha e na coluna.

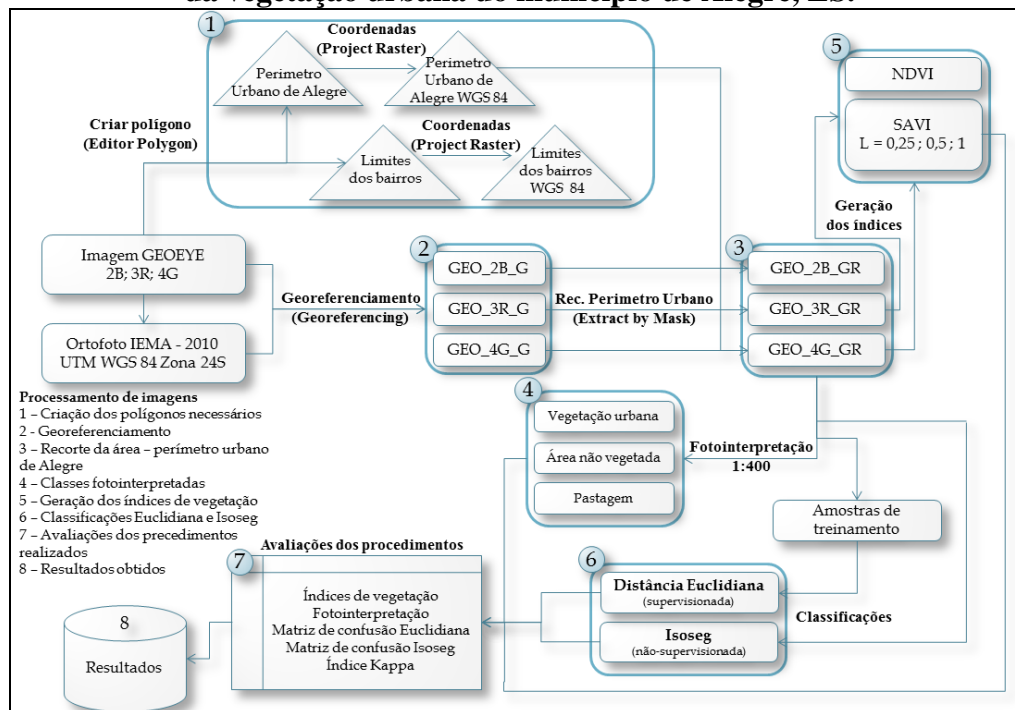
Congalton e Mead (1991) sugerem a utilização da estatística Kappa pelo fato de levar em consideração toda a matriz de confusão no seu cálculo, inclusive os elementos de fora da diagonal principal, os quais representam as discordâncias na classificação. As classes de intervalos de classificação do uso da terra foram classificadas conforme (CONGALTON; GREEN, 1998) (TABELA 2).

Tabela 2- Classes de intervalos para interpretação do índice kappa.

Índice Kappa	Classe
$K \leq 0,4$	Ruim
$0,4 < K \leq 0,8$	Razoável
$K > 0,8$	Excelente

Fonte: Congalton; Green (1998).

Os procedimentos metodológicos realizados para a mensuração da vegetação urbana do município de Alegre, ES, são sintetizados conforme fluxograma metodológico na (Fig. 2).

Figura 2 - Fluxograma metodológico referente às técnicas realizadas para a estimativa da vegetação urbana do município de Alegre, ES.

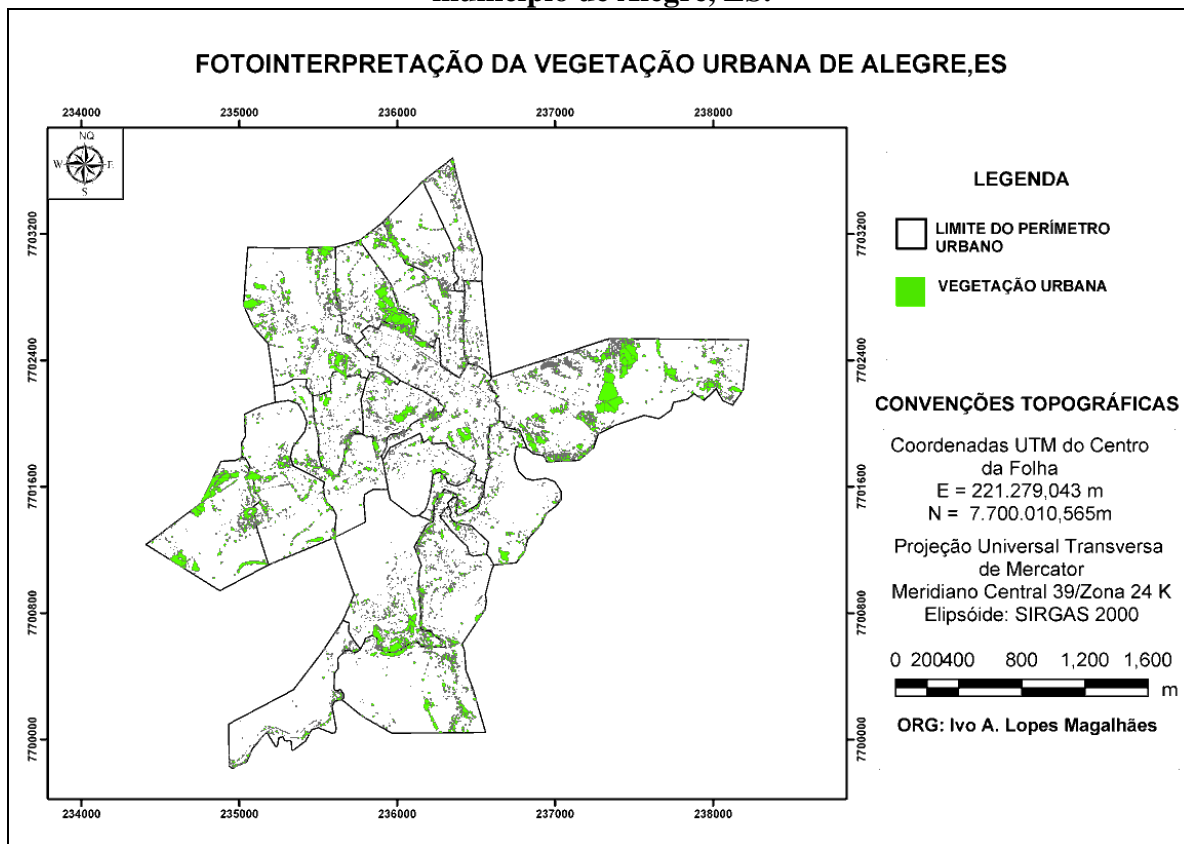
Fonte: Org. MAGALHAES, I. A. L., 2017.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Fotointerpretação

A área de vegetação urbana para o perímetro urbano de Alegre foi mensurada em 68 ha, representando 16,15% do município de Alegre, (Fig. 3). O trabalho de campo foi fundamental para solucionar as dúvidas referentes aos alvos inseridos abaixo das áreas com sombreamento na vegetação, sendo assim, aumentou a fidedignidade da área mensurada.

A confusão de algumas classes de vegetação de menor reflectância perante alguns pixels referentes à sombra tornou esta análise mais criteriosa e onerosa que as outras técnicas de SR.

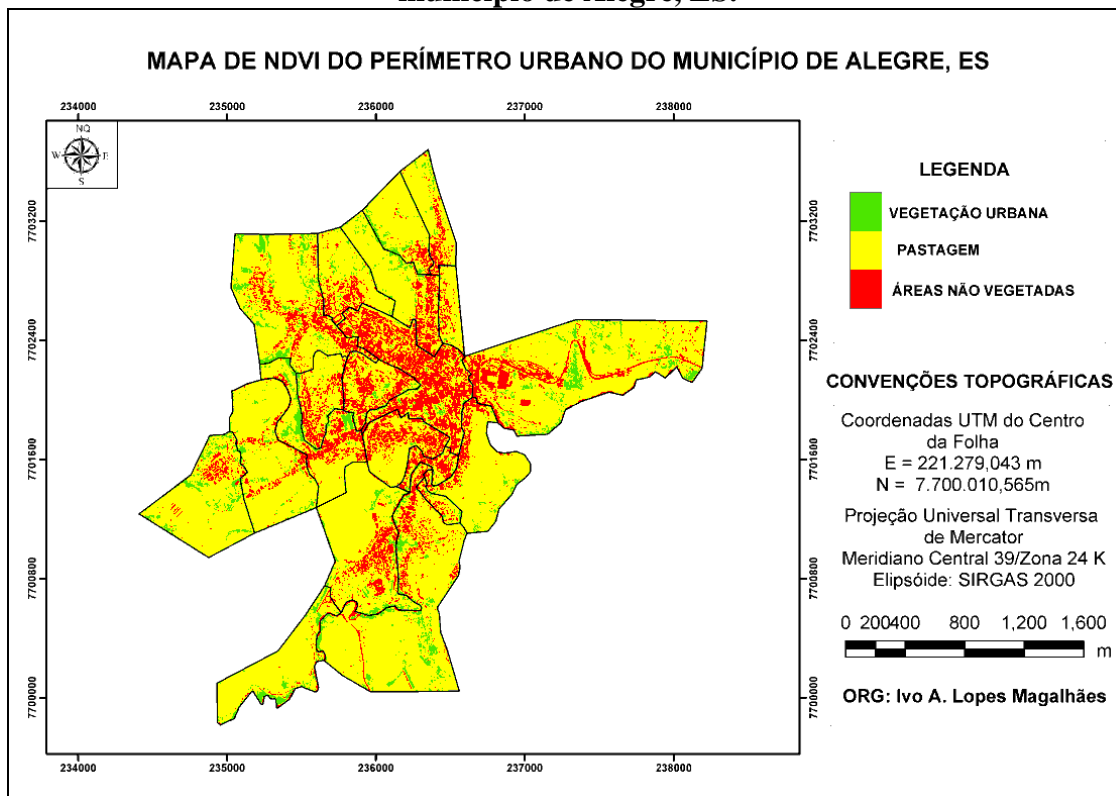
Figura 3 - Mapa das árvores fotointerpretadas situadas no perímetro urbano do município de Alegre, ES.

Fonte: Org. MAGALHAES, I. A. L., 2017.

A análise visual do mapa de vegetação urbana comprova que as maiores áreas com vegetação estão inseridas no norte e nordeste do município, localizando-se nas áreas do entorno do limite municipal. Já os locais com menores áreas de cobertura de vegetal foram mapeados nas áreas centrais e na região sul do município.

Índices de vegetação

Os alvos terrestres presentes na imagem NDVI para o perímetro urbano do município de Alegre apresentaram valores entre -1 a $0,90$, entretanto, os menores valores do NDVI corresponderam aos corpos hídricos, áreas densamente construídas e superfícies praticamente sem vegetação, enquanto que, os maiores valores de NDVI foi obtido para a vegetação urbana densa com $0,90$. Por meio do NDVI, a classe de vegetação urbana foi mensurada com área de $47,4$ ha, correspondendo a $8,33\%$ da área total do perímetro urbano (Fig. 4).

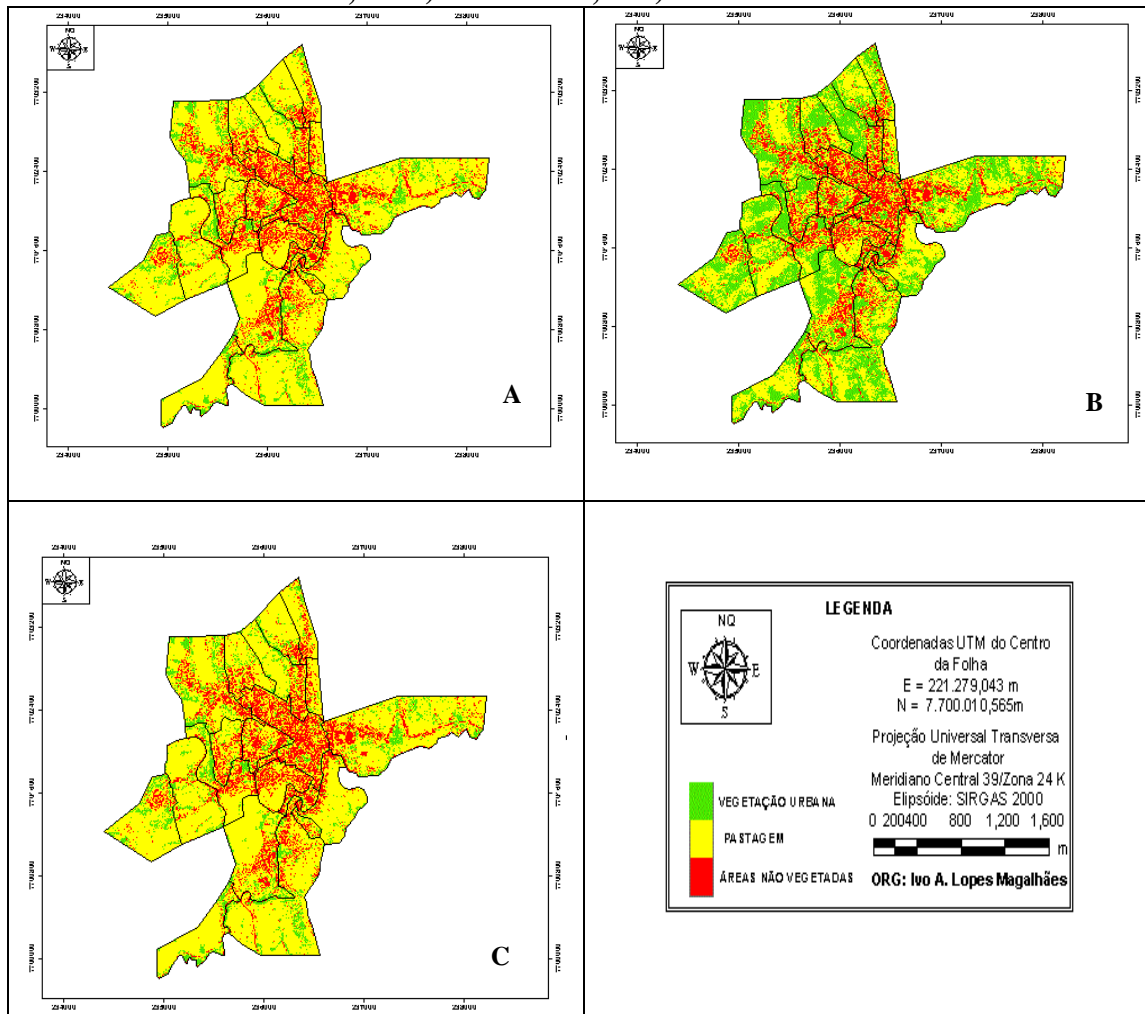
Figura 4 - Mapa de NDVI fatiado em três categorias para o perímetro urbano do município de Alegre, ES.

Fonte: Org. MAGALHAES, I. A. L., 2017.

O índice de vegetação SAVI com fator L de ajuste com 0,25 (Figura 5A) mensurou a área de vegetação urbana em 66,46 ha, correspondendo a 11,73% do perímetro urbano. Esse índice obteve uma mensuração da vegetação urbana, aproximado ao da fotointerpretação.

O NDVI subestimou a vegetação urbana em 19,13 ha quando comparado a área obtida pelo SAVI 0,25. Entretanto ao utilizar o fator de ajuste 0,5 (Figura 5B), o índice SAVI mensurou a vegetação urbana em 51 ha, o que corresponde a 9,04% da área total. O SAVI 0,5 obteve os valores mais aproximados do NDVI para a mensuração da vegetação urbana, superestimando aproximadamente 4 ha de vegetação urbana.

A figura 5 representa o índice SAVI com o fator de ajuste do solo L, com os valores 1, 0,5 e 0,25 para o perímetro urbano do município de Alegre, ES.

Figura 5 - Mapa temático de SAVI para o perímetro urbano de Alegre, ES. A) Fator L= 0,25. B) Fator L= 0,5. C) Fator L= 1.

Fonte: Org. MAGALHAES, I. A. L., 2017.

Machado *et al.* (2010) corroboram com este estudo ao obter resultados satisfatórios quando adotou o fator de ajuste ao solo de 0,5 para o índice de vegetação SAVI, esta análise da vegetação foi realizada em uma bacia hidrográfica que apresentava quantidade significativa de solo exposto.

Porém na análise deste da vegetação neste trabalho, ao utilizar o fator de ajuste com valor 0,5, o que caracteriza as áreas de vegetação com dosséis de baixa intensidade vegetativa o índice apresentou a menor mensuração da vegetação quando comparado com a fotointerpretação, contudo, este resultado é satisfatório quando comparado a mensuração da vegetação obtido pelo índice NDVI.

A mensuração da vegetação urbana, pastagem e áreas sem vegetação, estimadas pelo NDVI e SAVI são apresentados conforme a Tabela 3.

Tabela 3 - Áreas de vegetação mensuradas para o perímetro urbano do município de Alegre, ES por meio dos índices NDVI e SAVI.

Índice	Fator de Ajuste	Área da vegetação (ha)	Pastagem (ha)	Área sem vegetação (ha)
NDVI	---	47,4	412,68	103,69
SAVI	0,25	66,46	393,80	103,51
SAVI	0,50	51	409,37	103,40
SAVI	1	61,15	399,38	103,24

Fonte: Org. MAGALHAES, I. A. L., 2017.

Análise das áreas de vegetação por meio dos Classificadores Distância Euclidiana e Ioseg

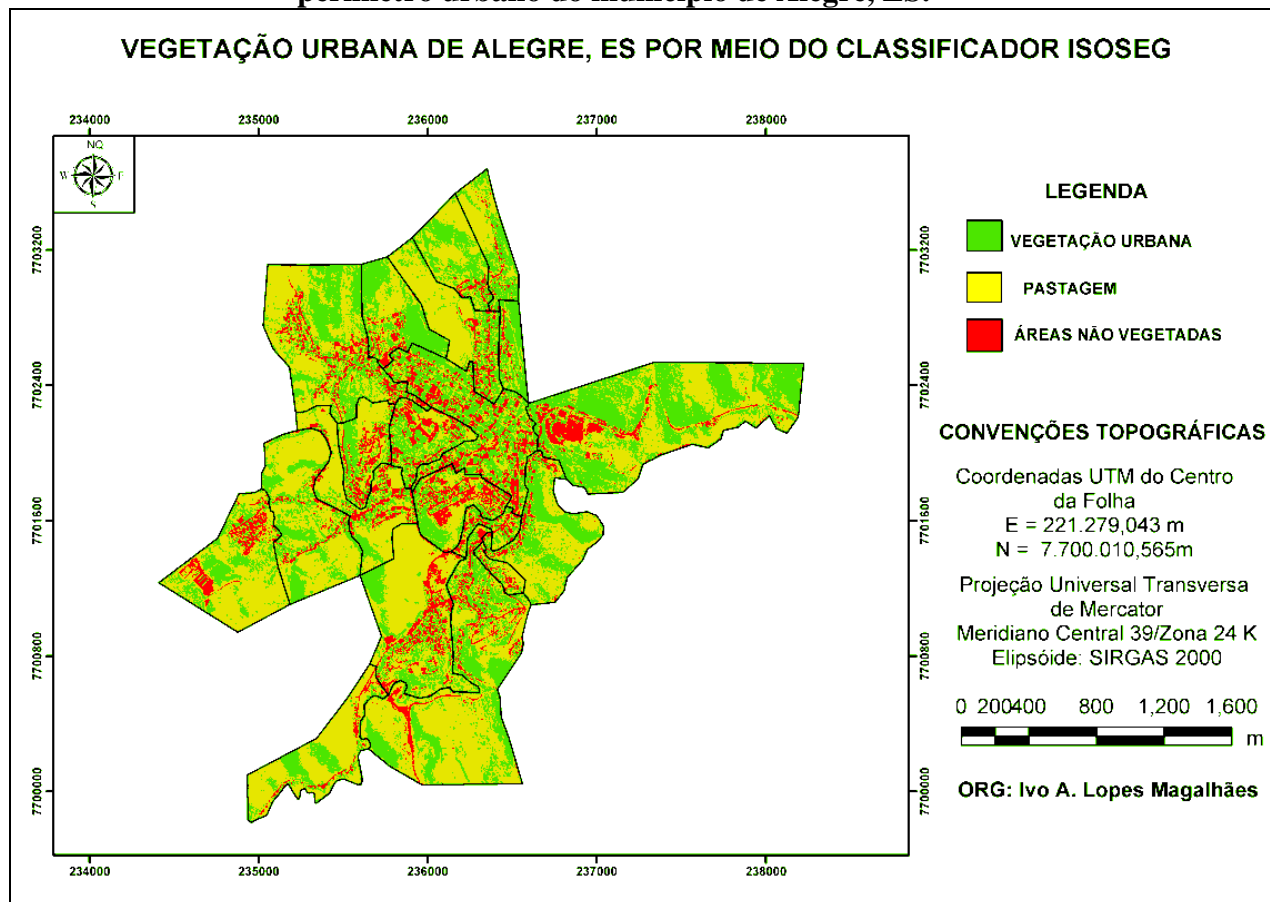
A presença do sombreamento na imagem, causados pelo relevo e pelas nuvens contribuíram para a confusão da classe de vegetação com áreas não vegetadas pelo classificador Ioseg.

Pode-se inferir que a resposta espectral da vegetação no período de estiagem contribuiu para a confusão de interpretação dessas classes, pois o classificador Ioseg classificou diversas classes de pastagem como sendo áreas não vegetadas. Entretanto, observou-se uma boa distinção entre as classes de pastagens e vegetação urbana pelo classificador Ioseg (Fig. 6).

Na análise geral dos temas classificados, o classificador Ioseg apresentou resultados inferiores, quando comparado ao classificador Distância Euclidiana. O classificador Ioseg apresentou a maior confusão dos temas e os maiores erros de omissão e comissão, em algumas áreas classificadas houve confusão entre os temas vegetação e área urbanizada, contudo, constatou-se uma maior precisão no mapeamento e mensuração da vegetação urbana que o classificador Distância Euclidiana.

O classificador Ioseg mensurou a vegetação urbana em 77,90 ha, superestimando apenas 11,44 ha da vegetação urbana quando comparado com o SAVI 0,25 e 9,9 ha, quando confrontado com a fotointerpretação.

Entretanto, o classificador Distância Euclidiana não confundiu a vegetação com área urbana, contudo, apresentou a menor precisão na mensuração da vegetação urbana, com área de 54,20 ha. As classes interpretadas pelos classificadores são apresentadas conforme a Tabela 4.

Figura 6 - Mapa de classificação não supervisionada pelo método Isoseg para o perímetro urbano do município de Alegre, ES.

Fonte: Org. MAGALHAES, I. A. L., 2017.

Tabela 4 - Mensuração das classes de uso e ocupação da terra do perímetro urbano de Alegre, ES, obtidos por meio dos classificadores Distância Euclidiana e Isoseg.

Classificador	Pastagem (ha)	Vegetação urbana (ha)	Não vegetação (ha)
Distância Euclidiana	406,32	54,20	103,25
Isoseg	422,15	77,90	73,61

Fonte: Org. MAGALHAES, I. A. L., 2017.

Entre as três classes analisadas, 7 a 17% dos dados foram omitidos das suas classes reais enquanto, de 0 a 19% foram adicionados em classes erradas pela Distância Euclidiana. Já o classificador Isoseg omitiu de 31 a 48% dos dados das classes reais e adicionou de 0 a 75% dos dados de forma equivocada.

A matriz confusão ou matriz de erros e seus resultados referentes aos algoritmos de classificação podem ser observados conforme as Tabelas 5 e 6.

Tabela 5 - Matriz de erros do classificador Distância Euclidiana.

Dados interpretados	Dados reais				ERRO DE COMISSÃO (EC)
	Veg. Urbana (1)	Área Não Vegetada (2)	Pastagem (3)	Total	
Veg. Urbana (1)	20	3	3	26	0,1908
Área Não Vegetada (2)	0	33	0	33	0,0000
Pastagem (3)	3	1	35	41	0,1463
TOTAL	23	37	38	100	-----
ERRO DE OMISSÃO (EO)	0,1700	0,1081	0,0789	-----	0,1200

Fonte: Org. MAGALHAES, I. A. L., 2017.

Tabela 6 - Matriz de erros do classificador Iseseg.

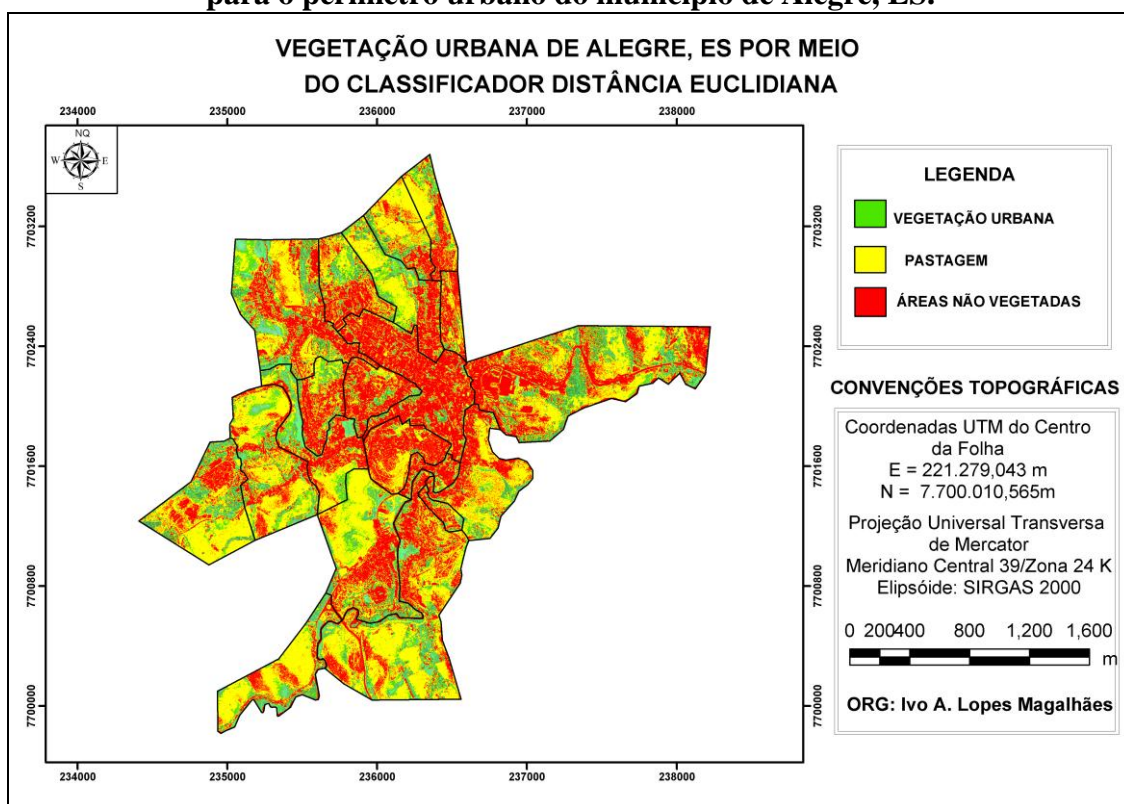
Dados interpretados	Dados reais				ERRO DE COMISSÃO (EC)
	Veg. Urbana	Área Não Vegetada	Pastagem	TOTAL	
Veg. Urbana	9	12	15	36	0,7500
Área Não Vegetada	0	21	0	21	0,0000
Pastagem	8	3	32	43	0,2558
TOTAL	17	36	47	100	-----
ERRO DE OMISSÃO (EO)	0,4706	0,4167	0,3191	-----	0,3800

Fonte: Org. MAGALHAES, I. A. L., 2017.

Por meio da Distância Euclidiana foi realizada a aquisição de diversas amostras significativas tanto para a classe de pastagem, vegetação urbana, no entanto o classificador interpretou de forma errônea algumas classes, omitindo 17% dos dados da classe de vegetação urbana e comissionando um acréscimo de 19% acrescentados nesta mesma classe.

Essa confusão ocorreu em função de algumas espécies de vegetação apresentar reflectância semelhante a algumas pastagens próximas aos corpos hídricos. O mapa elaborado pelo método Distância Euclidiana é demonstrado conforme Figura 7.

A matriz de confusão apresentou eficácia para análise estatística de desempenho do classificador, pois os seus resultados foram coerentes com os resultados do índice kappa e da exatidão global. No entanto, na sua interpretação deve-se atentar ao fato de que os melhores resultados são os valores mais próximos de zero. Os valores do índice kappa encontrados para as duas técnicas de classificação empregadas neste trabalho podem ser observados na Tabela 6.

Figura 7 - Mapa de classificação supervisionado pelo método da Distância Euclidiana para o perímetro urbano do município de Alegre, ES.

Fonte: Org. MAGALHAES, I. A. L., 2017.

Tabela 6 - Interpretação do índice kappa e da exatidão global para os classificador Isoseg.

Método	Índice Kappa		Exatidão Global
DISTÂNCIA EUCLIDIANA	0,83	Excelente	86
ISOSEG	0,43	Razoável	62

Fonte: Org. MAGALHAES, I. A. L., 2017.

Analisando-se a tabela 6, pode-se observar que a Distância Euclidiana apresentou um resultado excelente para a classificação da imagem, com coeficiente Kappa de 0,83. Já o Isoseg apresentou o coeficiente Kappa de 0,43, sendo classificado em razoável. No entanto este resultado foi esperado, pois o classificador Isoseg apresentou resultados inferiores aos obtidos pela Distância Euclidiana, de acordo com os resultados dos erros de omissão e comissão (Tabelas 3 e 4).

A superioridade nos resultados da classificação da Distância Euclidiana em relação ao Isoseg justifica-se pelo fato do classificador supervisionado possuir parâmetros de entrada disponibilizados pelo usuário, o que lhe permite se adequar as características de

interesse do estudo, enquanto o não supervisionado utiliza-se de padrões pré-estabelecidos, e como estudo possui pouco número de classes, acabou dificultando ainda mais o desempenho do classificador não supervisionado.

Costa et al., (2012) corroboram com este estudo ao encontrar resultados semelhantes, ao analisar diferentes resultados de classificadores de imagem supervisionado e não supervisionados para as áreas de vegetação urbana na cidade de São Paulo.

Os valores do índice kappa e da exatidão global atingidos pelo mapa temático gerado por meio da Distância Euclidiana indicam a qualidade e a confiabilidade na classificação por esta técnica. O índice de exatidão global apresentou resultados superiores aos encontrados pelo índice kappa, sendo resultados semelhantes encontrados por Congalton e Mead (1991); Fidalgo (1995); Costa (1999).

CONCLUSÕES

O índice SAVI com fator de ajuste ao solo 0,25 e o classificador Isoseg podem ser usados como técnicas para substituir a fotointerpretação, pois apresentaram áreas de vegetação urbana com valores aproximados e são menos onerosos para obtenção dos resultados no mapeamento.

O índice de vegetação SAVI com fator de ajuste ao solo 0,25 apresentou a maior precisão na mensuração da vegetação urbana, quando comparado a fotointerpretação.

O índice de vegetação SAVI com fator de ajuste ao solo 0,25, 0,5 e 1 apresentaram melhores resultados de mensuração da vegetação urbana do que o índice NDVI, uma vez que este índice subestimou as áreas com vegetação.

O classificador Isoseg mensurou a vegetação urbana com valores mais condizentes que as técnicas NDVI e classificador Distância Euclidiana.

A quantificação das áreas não vegetadas pode ser mensurada pela Distância Euclidiana, pelo NDVI e SAVI com valor de ajuste ao solo 0,25, 0,5 e 1, pois as três técnicas apresentaram resultados aproximados.

REFERÊNCIAS

- ALVAREZ, I. A.; **Qualidade do espaço verde urbano: uma proposta de índice de avaliação.** 2004. 209 f. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11136/tde-22102004-165714/pt-br.php>>. Acesso em: 24 jun. 2016.
- BORGES, R. O.; SILVA, R. A. A.; CASTRO, S. S. Utilização da classificação por distância euclidiana no mapeamento dos focos de arenização no setor sul da alta bacia do Rio Araguaia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis, *Anais...* Florianópolis, INPE, v.13, 2007, p. 3777-3784.
- COSTA, T. C. e C. da. **Avaliação de estratégias para classificação de imagens orbitais em mapeamento de uso e cobertura da terra.** 1999. 109 f. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade Federal de Viçosa, 1999. Disponível em: <<http://www.locus.ufv.br/handle/123456789/1>> . Acesso em: 12 set. 2016.
- CONGALTON, R. G.; MEAD, R. A. A review of assessing the accuracy of classifications of remote sensed data. **Remote Sensing of Environment**, 37(1): 35-46. 1991. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/003442579190048B>>. Acesso em: 10 jul. 2016.
- CONGALTON, R. G.; GREEN, K. **Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices.** ed. Taylor e Francis, New York, 137 p. 1998.
- CRÓSTA, A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto.** ed. Ver. Campinas, SP: IG/UNCAMP, 170 p. 1993.
- CRUZ, Z. Q.; RIBEIRO, G. P.; Ensaio de segmentação e classificação digital de imagens CBERS utilizando o sistema Spring em uma unidade de Conservação Ambiental – Estudo de caso: Parque Nacional da serra dos Órgãos - Parnaso. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 2.. 2008, Recife. *Anais...* Recife: SBCGTG, v. 2, 2008, p. 0-9.
- FIDALGO, E. C. C. **Exatidão no processo de mapeamento temático da vegetação de uma área de mata atlântica no estado de São Paulo, a partir de imagens TM-Landsat.** 1995. 186 f. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 1995. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/pgsere/Fidalgo-%20E-%20C-%20C-1995/paginadeacesso.htm>>. Acesso em: 21 dez. 2015.
- FILHO, D. F. S.; PIVETTA, K. F. L.; COUTO, H. T. Z.; POLIZEL, J. L. Indicadores de floresta urbana a partir de imagens aéreas multiespectrais de alta resolução. **Scientia Forestalis**, v. 67: 88-100. 2005. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr67/cap09.pdf>>. Acesso em: 30 jan. 2016.

GEOEYE ELEVATING INSIGHT. Disponível em: <<http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/geoeye-1/>>. Acesso em: 12 jan 2016.

GONÇALVES, M. L.; **ANDRADE NETTO, M. L. ZULLO JR, J. COSTA, J. A. F.** Classificação Não-Supervisionada de imagem de sensores remotos utilizando redes neurais auto-organizáveis e métodos de agrupamento hierárquicos. **Revista Brasileira de Cartografia**, v, 60:1-13. 2008. Disponível em: <http://www.lsie.unb.br/rbc/index.php?journal=rbc&page=article&op=view&path%5B%5D=324>>. Acesso em: 13 set. 2016.

HUETE, A. R. Soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, 25: 89-105. 1988. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/003442578890106X>>. Acesso em: 2 fev. 2015.

LIMA, J. S. S.; SAMUEL. A. S.; OLIVEIRA, R. B.; CECÍLIO, R. A.; XAVIER, A. C. Variabilidade temporal da precipitação mensal em Alegre – ES. **Revista Ciência Agrônômica**, 39: 327-332. 2008. Disponível em: <http://www.ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/67>>. Acesso em: 15 set. 2016.

LUCHIARI, A. Identificação da cobertura vegetal em áreas urbanas por meio de produtos de sensoriamento remoto e de um sistema de informação geográfica. **Revista do Departamento de Geografia**, v, 14: 47-58, 2001. Disponível em: <http://www.geografia.fflch.usp.br/publicacoes/RDG/RDG_14/RDG14_Ailton.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2016.

MACHADO, C. C. C.; GALVÍNCIO, J. D.; PEREIRA, E. C. G. Utilização do IVAS e da temperatura da superfície para análise multitemporal das mudanças ambientais no Parque Natural da Serra da Estrela - Portugal. In: SEMINÁRIO LATINO AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA, 7.. 2010, Coimbra. **Anais...** Coimbra: SLAGF, v.6, 2010, p. 1-12.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. ed. UFV. Viçosa, MG, 2005, 422p.

OLIVEIRA, L. G. L.; PEREIRA, L. M.; PEREIRA, G.; MORAES, E. C.; MAEDA, E. E. Estudo da variabilidade de índices de vegetação através de imagens do ETM+/LANDSAT 7. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13.. 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, v.13, 2007, p. 5995-6002.

PEREIRA, L. O.; SILVA, A. E. P.; NEGRI, R. G.; SANTANA, S. J. S.; DUTRA, L. V.; FREITAS, C. C.; ERTHAL, G. J. Análise comparativa dos métodos de classificação SVM e Maxver-ICM polarimétrico em imagem de radar ALOS PALSAR; In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15.. 2011, Curitiba. **Anais...** Curitiba: INPE, v.15, 2001, p. 8223-8230.

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: THIRD ERTS SYMPOSIUM, 351.. 1973, Washington: NASA, v.1, 1973, p. 309-317.

SANTOS, A. M.; GALVÍNIO, J. D.; MOURA, M. S. B. Homogeneização da precipitação pluviométrica na bacia Hidrográfica do Rio Goiana - PE, com método de análise de Agrupamento. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v, 1: 14-27, 2008. Disponível em: < <http://www.revista.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/viewFile/27/13>>. Acesso em: 27 fev. 2016.

SILVA, A. R.; TOMASIELLO, D. B. PRADO, B. R. VIEIRA, M. A. BARBARISI, B. F. ORTIZ M. J. Extração da cobertura vegetal de áreas urbanas utilizando imagens do satélite Geoeye – 1. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** Curitiba: INPE, v.15, 2011, p. 1576–1583.

SOUZA, S. M. **Mapeamento e avaliação da vegetação urbana da cidade de Vitória – es, utilizando geotecnologias**. 2011, 144 f. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade Federal do Espírito Santo, 2011. Disponível em: < <http://repositorio.ufes.br/handle/10/5805>>. Acesso em: 23 jul. 2015.

Autores

Ivo Augusto Lopes Magalhães – Possui Graduação em Engenharia Ambiental pelas Faculdades Santo Agostinho (FASA) e Mestrado em Mestrado em Ciências Florestais pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Atualmente é doutorando em Geografia pela Universidade de Brasília (UnB).

Osmar Abílio de Carvalho Junior – Possui Graduação, Mestrado e Doutorado em Geologia, todos cursados na Universidade de Brasília (UnB). Atualmente é professor na Universidade de Brasília (UnB), Instituto de Ciências Humanas, Departamento de Geografia.

Alexandre Rosa dos Santos – Graduação em Agronomia pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Mestrado em Mestrado em Agronomia (Meteorologia Aplicada) e Doutorado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Atualmente é professor da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Centro Agropecuário, Departamento de Engenharia Rural.

Artigo recebido em: 14 de fevereiro de 2017.

Artigo aceito em: 09 de março de 2017.