
USO DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO PARA ESTRATIFICAÇÃO DE INVENTÁRIOS FLORESTAIS POR ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR

CLÉRISTON SILVA DOS ANJOS¹
RUTE BERGER²
ANA LÚCIA BEZERRA CANDEIAS³
ALERSON FALIERI SUAREZ⁴

^{1,3,4} Universidade Federal de Pernambuco – UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências – CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica

² Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE
Departamento de Ciências Florestais – DCFL

cleriston.anjos@gmail.com¹, ruteberger@gmail.com², analucia@ufpe.br³, alerson.falieri@gmail.com⁴

RESUMO - Este trabalho apresenta uma metodologia para a segmentação e classificação não-supervisionada de imagens orbitais, utilizando o Índice de Área Foliar (IAF) calculado por sensoriamento remoto (SR), com o intuito de auxiliar o inventário florestal em plantios de *Eucalyptus saligna Smith*. Para este estudo foi escolhido um talhão com características homogêneas de espécie (clone), idade e espaçamento. Para a segmentação e a classificação foram realizados estudos de diferentes limiares de similaridade e limiares de área (pixel), com o qual foi possível gerar imagens segmentadas, com regiões de maior e menor similaridade, correspondentes à área de interesse da aplicação, gerando os diferentes cenários de análise. Após a segmentação da imagem foi feita uma classificação não-supervisionada por regiões com o uso do classificador Iseseg, para identificar quantos estratos foram gerados para cada imagem segmentada.

ABSTRACT - This study presents a methodology for unsupervised segmentation and classification of orbital images using the Leaf Area Index (LAI) calculated by remote sensing (RS), in order to assist the forest inventory in *Eucalyptus saligna Smith* plantations. For this study, it was chosen a plot with homogeneous characteristics of species (clone), age and spacing. For the segmentation and classification were carried out studies of different thresholds of similarity and area thresholds (pixel), with which it was possible to generate segmented images with regions of greater and lesser similarity correspondent to the area of interest of the application, creating the different scenario analysis. After the image segmentation is a non-supervised classification by regions using the Iseseg classifier to identify how many strata were generated for each segmented image.

1 INTRODUÇÃO

A partir do aproveitamento racional dos recursos naturais tem-se uma melhor qualidade de vida para a população e este benefício pode perpetuar por várias gerações (HUSCH, 1971). Para que haja um aproveitamento racional e a sobrevivência das florestas são necessárias técnicas silviculturais adequadas, baseadas na ecologia de cada tipo de formação vegetal. Com a projeção de um manejo silvicultural adequado, assim como o aproveitamento permanente, implica no conhecimento da composição e da estrutura da floresta.

O consumo de produtos madeireiros vem crescendo a cada ano no Brasil e se faz necessário ter um maior controle sobre sua produção desde o plantio até o produto final, e para melhorar o acompanhamento de toda produção se faz necessário associar novas tecnologias à cadeia produtiva.

No plantio silvicultural, tem se destacado o *Eucalyptus spp.*, pois é um dos gêneros com boa adaptação ao ambiente e devido a isso, mais plantado (MOURA et al., 1991). Neste contexto, a estimativa de volume nos plantios comerciais é uma das tarefas mais importantes (MACHADO; FIGUEIREDO, 2006).

Os inventários ficaram mais informativos e complexos em decorrência do avanço das tecnologias e pressão dos órgãos ambientais, fazendo com que os inventários passassem a ter um novo enfoque, em que não seriam mais utilizados só para determinação de volume, mas agora para determinação de volume total e comercial da floresta, além de avaliar a

regeneração natural da floresta, entre outras peculiaridades pertinentes ao objetivo a que o inventário se destina (NETTO et al., 2012).

Com a evolução das tecnologias voltadas para identificação vegetal por sensoriamento remoto é necessário que o inventário florestal também caminhe lado a lado com elas, fazendo com que se possa otimizar tempo, haja vista que tempo é custo. O uso de novas tecnologias para auxiliar o inventário florestal pode fazer com que se possa diminuir o erro de amostragem e os custos.

As geotecnologias auxiliam o monitoramento e acompanhamento dos plantios florestais. O uso de imagens de sensoriamento remoto, por satélites que captam imagens da terra em intervalos fixos de tempo é que tem ajudado no acompanhamento dos plantios. Por meio dessas imagens podem ser geradas diversas possibilidades de informações, visando os mais diferentes tipos de estudos, como concentração de vegetação, tipos de vegetação, tipos de solos, índice de área foliar, entre outros. O estudo objetivou estudar limiares de segmentação de um povoamento florestal de *Eucalyptus saligna Smith* pelo uso de imagens de sensoriamento remoto, buscando auxiliar o inventário florestal com definição do tamanho dos estratos para alocação ótima das unidades amostrais

1.1 Índice de área foliar (IAF)

O índice de área foliar (IAF), é definido por Watson (1947) como sendo a área foliar integrada do dossel por unidade de superfície projetada no solo. O IAF é considerado como uma variável imprescindível quanto a dinâmica da vegetação em ecossistemas terrestres, pois é determinante nos processos de interceptação da radiação (Bréda, 2003). Já segundo Lang e Mcmurtrie (1992), o IAF trata-se de variáveis biofísicas que expressam o crescimento da comunidade vegetal, e que tem estreita relação com a produtividade que é encontrada. A planta tem a capacidade de explorar os espaços disponíveis, que é representada pela razão entre a superfície total das folhas em relação a superfície total do terreno (ART, 2001).

Segundo Berger (2014), mesmo sendo o IAF um excelente indicador de estimativa indireta para produtividade florestal, o qual pode-se associar o seu uso para melhorar a eficiência de inventários florestais, ainda não são encontrados muitos trabalhos que mencionem a sua utilização.

1.2 Classificação de imagens

As imagens de sensoriamento remoto, sejam elas de satélites ou fotografias aéreas, têm como objetivo a extração das informações visando identificar e discriminar objetos, contidos nas imagens e as suas codificações são utilizadas cada vez mais como fonte de dados para a elaboração e atualização de diferentes tipos de gráficos, tabelas e mapas. A classificação de imagens tem como resultado a geração de uma imagem digital, que é constituída de um mapa de pixels classificados, onde são apresentados os padrões homogêneos das classes de alvo (Moreira, 2011). A classificação de imagens é usada para as mais diferentes formas de identificação e quantificação de áreas. Alba et al. (2015), focam a classificação para a parte florestal enfatizando a identificação de povoamentos florestais de eucalyptus sp., pinus sp., acacia sp, com o intuito de mapear e quantificar o uso e cobertura da terra, evidenciando o aquecimento do setor florestal no município de Encruzilhada do Sul-RS.

1.3 Classificador por região

Os classificadores por região fazem uso das informações espectrais de cada pixel e da informação espacial que abrange do pixel e seus vizinhos. Esses tipos de classificadores procuram reconhecer as áreas homogêneas da imagem, baseado em suas propriedades espectrais e espaciais, onde sua informação de borda é usada apenas para separar as regiões e as propriedades espectrais e espaciais que vão unir as áreas com mesma textura. São exemplos de classificadores por região os classificadores bhattacharya, clatex e isoseg, este último se diferencia dos outros por fazer a classificação não-supervisionada (INPE, 2014).

O classificador Iseseg é um algoritmo que agrupa as regiões a partir de atributos estatísticos que usam a média, matriz de covariância e área, a partir da medida de similaridade entres elas, onde é usado a distância de Mahalanobis entres essas classes e as regiões que são candidatas a relação de pertinência com esta classe (KORTING, 2006). Esse classificador é utilizado para mapear as mais diferentes áreas e estudos. Em relação ao monitoramento florestal Lima et al. (2009), faz o uso da classificação Iseseg para mapeamento de queimadas na região amazônica, onde foi possível identificar 50 mil km² de áreas queimadas de forma ilegal no ano de 2005, com isso fornecendo informações quantitativas para monitoramento e fiscalização de queimadas que ocorram de forma ilegal na Amazônia. Sendo esse classificador uma excelente ferramenta para otimizar as atividades que visam o trabalho para mapeamento e identificação de estratos florestais.

1.4 Segmentação

A segmentação de imagens tem como finalidade fragmentar uma região em unidade de maior e menor similaridade, sendo considerada as suas características específicas, como nível de cinza, textura e contraste (MANTOVANI; LOPES, 2007). Segundo Moreira (2011), o uso de segmentações por região, faz o uso apenas de regiões adjacentes para serem agrupadas, seguindo algum critério de similaridade. No processo de segmentação a região em estudo pode ser um pixel ou até mesmo um conjunto deles, e em cada região o segmentador faz os cálculos dos atributos espaciais como, média, variância e textura. E a agregação dessas regiões é feita seguindo critérios de similaridade e de área, que são determinados por quem irar avaliar.

1.5 Limiar de segmentação e área pixel

A definição do limiar de similaridade é de extrema importância para o processo de segmentação de imagens, pois influencia diretamente na geração da imagem segmentada. A definição do limiar de área é outro fator importante na geração da imagem segmentada, visto que ele define o tamanho mínimo das regiões que serão individualizadas. Estes valores de limiares permitem o controle da segmentação. A aceitação ou rejeição dos limiares é realizado em decorrência da separação das regiões em áreas mais ou menos homogêneas (INPE, 2015).

1.6 Local da área de estudo

A área de estudo está localizada no Horto Florestal Barba Negra (HFBN), de propriedade da empresa Celulose Riograndense – Grupo CMPC, no município de Barra do Ribeiro, região leste do estado do Rio Grande do Sul, com coordenadas geográficas entre os paralelos 30°27'56,802" S e 30°26'33.803" S, e entre os meridianos 51°16'06,079" W e 51°05'46.049" W (Datum SIRGAS2000), distante 60km da capital Porto Alegre (Figura 1).

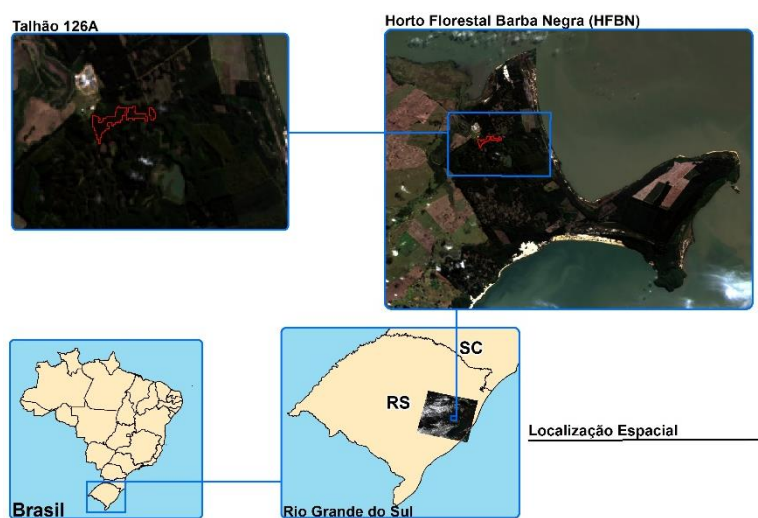


Figura 1 – Imagem na composição RGB obtida pelo OLI-Landsat 8 em maio/2013.

2. METODOLOGIA DO TRABALHO

Para este estudo foi selecionado um talhão com plantio comercial clonal de *Eucalyptus saligna Smith*, em espaçamento de 3,00 m x 3,00 m, e condições internas homogêneas. Na época da avaliação (maio de 2013) o talhão contava 7,5 anos de idade.

Para o estudo foi utilizada a imagem orbital obtida pelo sensor Operational Land Imager (OLI), a bordo do satélite Landsat 8. Os números digitais da imagem foram convertidos em radiância (Li), utilizando os dados de ganho e offset, sendo posteriormente essa radiância convertida em reflectância no topo da atmosfera, conforme Ponzoni (2010). O software utilizado para o tratamento dos dados foi o ENVI 5.1, versão *trial*.

O fluxo radiante ou reflectância no topo da atmosfera, foi obtido para a banda *i* pela Equação (1).

$$\rho_i = \frac{\pi \cdot L_i \cdot d^2}{E_{sun} \cdot \cos\theta} \quad (1)$$

Em que:

ρ_i = fluxo radiante ou reflectância no topo da atmosfera, para a banda i ;

L_i = radiância aparente (Watts.m-2.sr-2.µm-1), para a banda i ;

d = distância Sol-Terra em unidades astronômicas;

E_{sun} = Irradiância média do sol no topo da atmosfera (Watts m-2.sr-2.µm-1);

θ = ângulo solar zenital

Para essa área foi gerado por Berger (2014) um índice de vegetação, o Índice da Razão Simples (SRI), obtido pela expressão (Equação 2):

$$SRI = \frac{\rho_{IVP}}{\rho_V} \quad (2)$$

Onde: ρ_V , ρ_{IVP} referem-se ao fluxo radiante refletido no vermelho (visível) e ao fluxo radiante refletido no infravermelho próximo, respectivamente.

Segundo Jensen (2009), o SRI se destaca pela alta sensibilidade as variações de biomassa da vegetação ou de IAF para formações florestais. Conforme Jordan (1969), partindo do princípio que as folhas absorvem mais radiação eletromagnética na região do vermelho que na região do infravermelho, em vista disso, quanto maior a quantidade de folhas no dossel, maior será o valor da razão.

Na medição do IAF de campo, foi utilizado o equipamento de medição indireta de IAF, o Li-Cor LAI-2000 Plant Canopy Analyser (LI-COR, 1992), de acordo com as recomendações propostas pelo fabricante.

Na estimativa dos valores de IAF e do SRI, Berger (2014) empregou os valores do IAF de campo relacionando com os valores do índice de vegetação, tendo como resultante uma média entre os oito pixels vizinhos ao pixel que continha o centro da parcelas permanente de inventário e com este último totalizando nove pixels. Todos os parâmetros de limiares para segmentação e área (pixel) foram realizados a partir desta imagem. A Figura 2 mostra a imagem de IAFSR com a localização do talhão analisado (126A) e outros plantios comerciais.

O software utilizado para o tratamento dos dados gerando as segmentações foi o SPRING 5.2.7, disponibilizado gratuitamente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Para a obtenção das segmentações foi criado um banco de dados no SPRING 5.2.7, no qual foi armazenada a imagem em IAFSR do talhão 126A. Em seguida foram inseridos os limiares de similaridade e área (pixel), onde o limiar de similaridade agrupou as regiões abaixo do limiar mínimo em uma única região, pois elas são consideradas similares e o limiar de área corresponde a abrangência da área estudada, visto que o valor de área mínima é dado um número de pixel para que a região seja individualizada, com isso gerando o tamanho dos estratos. Foram testados os limiares de similaridade 0,1, 0,5 e 1, nos limiares de área (pixel) foram considerados os valores de 1, 3 e 5. A Tabela 1, mostra os cenários com os limiares de similaridade e área usados no trabalho. Esses limiares de similaridade e área (pixel) foram escolhidos, pois apenas neles ocorreram mudanças, ficando os limiares intermediários entre os valores escolhidos sem qualquer alteração.

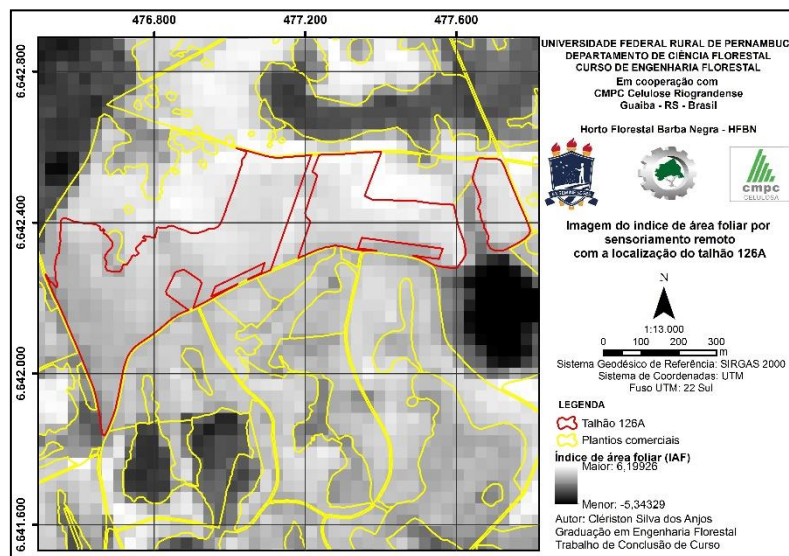


Figura 2 – Mapa do índice de área foliar por sensoriamento remoto (IAFSR), com a localização do talhão 126A e outros plantios comerciais no Horto Florestal Barba Negra (HFBN), em maio/2013.

Tabela 1 – Estrutura de formação dos cenários analisados para os limiares de similaridade e área (pixel) para a definição de estratos de inventário florestal de *Eucalyptus Saligna*.

Cenário	Similaridade	Área (Pixel)
Cenário S0,1A1	0,1	1
Cenário S0,5A1	0,5	1
Cenário S1A1	1	1
Cenário S0,1A3	0,1	3
Cenário S0,5A3	0,5	3
Cenário S1A3	1	3
Cenário S0,1A5	0,1	5
Cenário S0,5A5	0,5	5
Cenário S1A5	1	5

Depois de gerar as segmentações, foi feita a classificação não-supervisionada por regiões. O classificador utilizado foi o Iseog, com um limiar de aceitação de 95% e com 5 iterações para todas as imagens segmentadas. Foram testados os limiares de 75% (menor valor) quanto os de 95% e 99,9% (maior valor), mas não houver diferença entre eles, a partir desta constatação, foi escolhido o de 95%. A iteração ocorreu da mesma forma que o limiar de aceitação, foram testadas outras iterações, mas não apresentaram diferenças.

Como esse método é não-supervisionado a similaridade para esse tipo de método classificador se resume a quantidades de classes que podem ser geradas. Após o processamento dos dados, os arquivos foram exportados para o software ArcMap (versão 10.2.1), onde foram confeccionados os mapas temáticos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após aplicação dos diferentes limiares de similaridade e área pixel, pode-se verificar que para a similaridade 0,1 com os 3 diferentes valores de área pixel, os resultados encontrados para o talhão em análise, mostraram que houve um excesso de segmentos no agrupamento das regiões homogêneas, principalmente na S0,1A1 e um pouco menos, mas bem evidente nas S0,1A3 e S0,1A5. Por meio da similaridade 0,5 com diferentes áreas pixels, teve como resultado um maior agrupamento de dados, onde as regiões adjacentes espacialmente puderam ser agrupadas, mostrando uma diminuição de segmentos nas imagens. Já para a similaridade 1, o processo de segmentação da imagem apresentou a região pouco fragmentada, porém agregando unidades homogêneas distintas, onde levou em consideração o nível de cinza, textura e contraste.

As imagens segmentadas serviram de base para fazer uma classificação não-supervisionada, pelo método Iseog, onde esse método se resume a quantidade de classes geradas. As classes foram denominadas de estratos visando facilitar a leitura e interpretação das classificações geradas. A classificação Iseog não deixou nenhuma região sem ser classificada. O limiar de aceitação utilizado foi 95% e com 5 iterações. Todas as imagens segmentadas geradas com a similaridade 0,1 tiveram 3 classes criadas depois da classificação não-supervisionada. Diferente da similaridade 0,1, que apresentou em todas classificações 3 classes, a similaridade 0,5 apresentou classificações com duas e três classes.

Todas as classificações a partir dessas imagens segmentadas com similaridade 1 identificaram 2 classes cada, o que já era percebido visualmente. Todos os estratos formados em cada cenário quando somados tiveram o tamanho de 25ha, onde alguns tiveram 2 e outros 3 estratos, o que ocorreu devido aos parâmetros de similaridade e área (pixel) usados para cada cenário. Os resultados das segmentações geradas a partir da imagem de IAFSR mostraram-se bastante eficientes em dividir a imagem em regiões de maior e menor similaridade, para a área do talhão 126A, fazendo com que se tenha uma melhor caracterização do talhão. Apesar de serem utilizados diferentes parâmetros de limiares de segmentação e área (pixel), alguns apresentaram resultados idênticos, como pode ser visto nas Figuras 3 a 11.

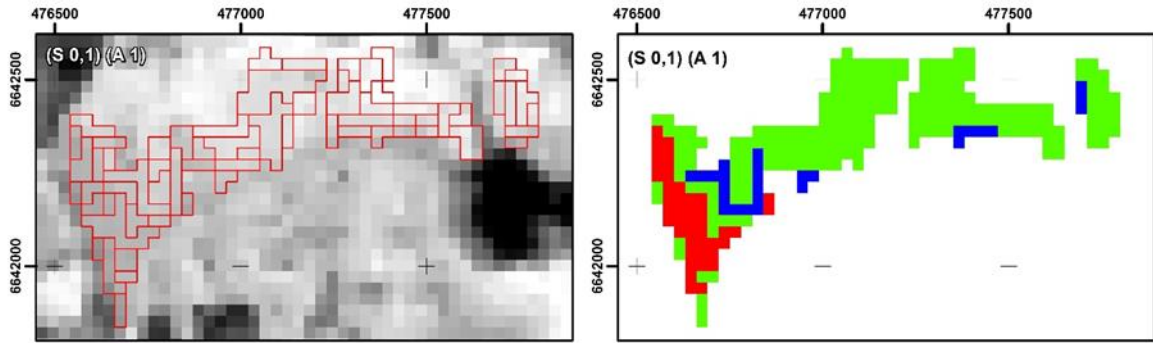


Figura 3 - Imagem IAF_{SR} para o talhão 126A com os limiares S0,1A1 e classificação não-supervisionada com a identificação de três classes

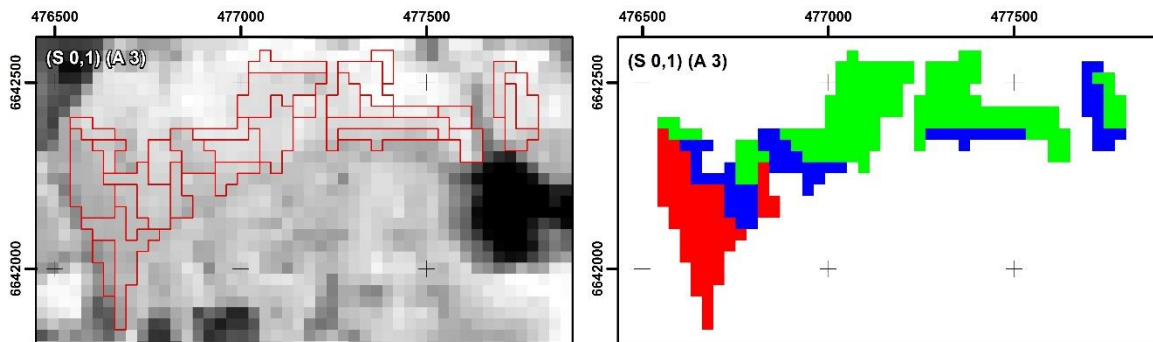


Figura 4 - Imagem IAF_{SR} para o talhão 126A com os limiares S0,1A3 e classificação não-supervisionada com a identificação de três classes

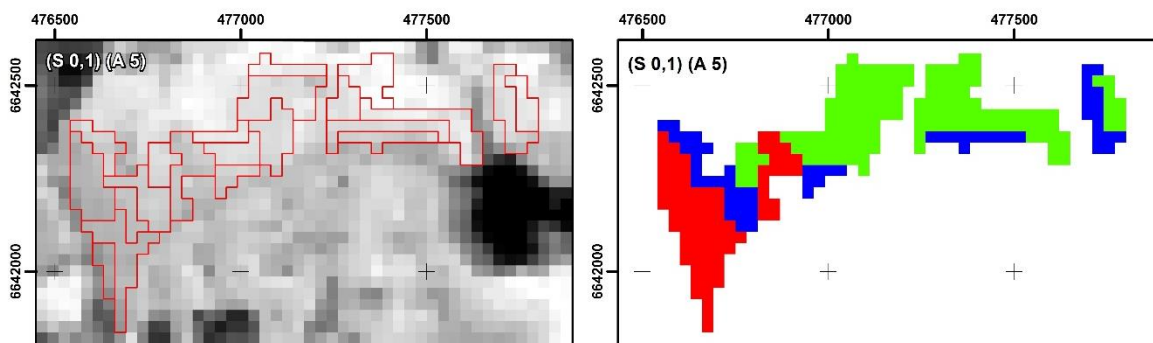


Figura 5 - Imagem IAF_{SR} para o talhão 126A com os limiares S0,1A5 e classificação não-supervisionada com a identificação de três classes

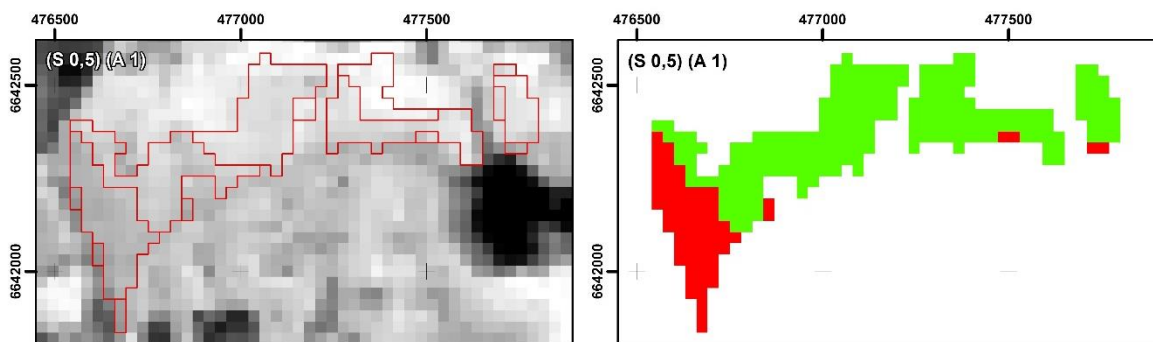


Figura 6 - Imagem IAF_{SR} para o talhão 126A com os limiares S0,5A1 e classificação não-supervisionada com a identificação de duas classes.

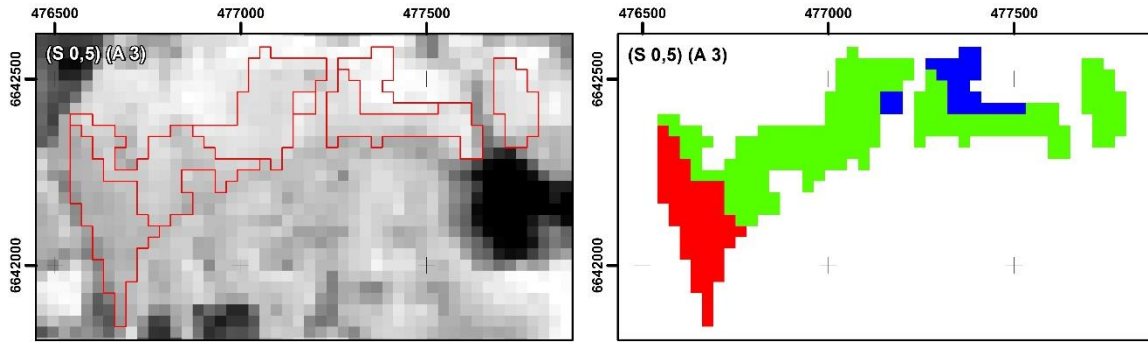


Figura 7 – Imagem IAF_{SR} para o talhão 126A com os limiares S0,5A3 e classificação não-supervisionada com a identificação de três classes.

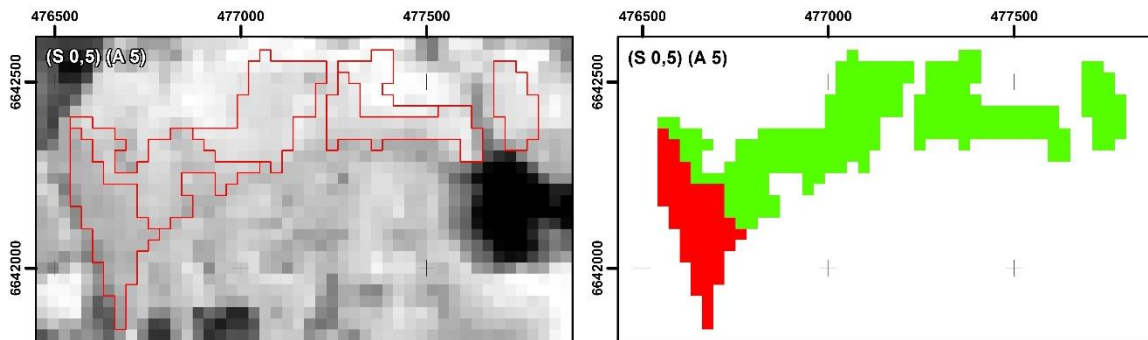


Figura 8 – Imagem IAF_{SR} para o talhão 126A com os limiares S0,5A5 e classificação não-supervisionada com a identificação de duas classes.

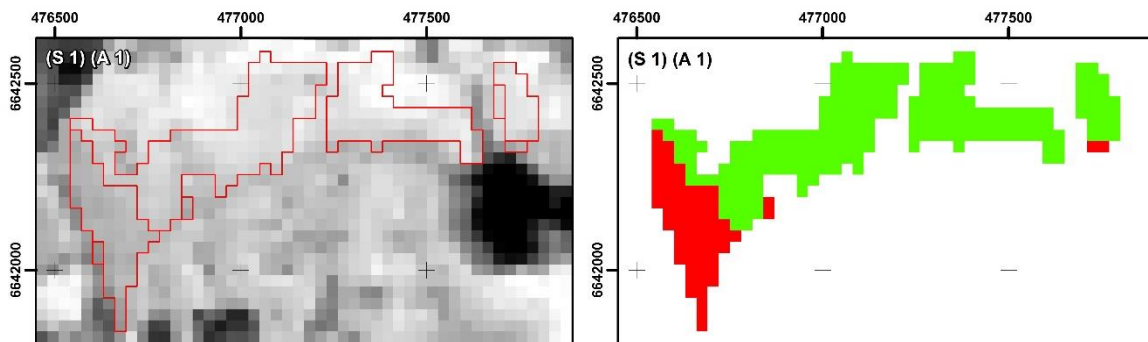


Figura 9 – Imagem IAF_{SR} para o talhão 126A com os limiares S1A1 e classificação não-supervisionada com a identificação de duas classes.

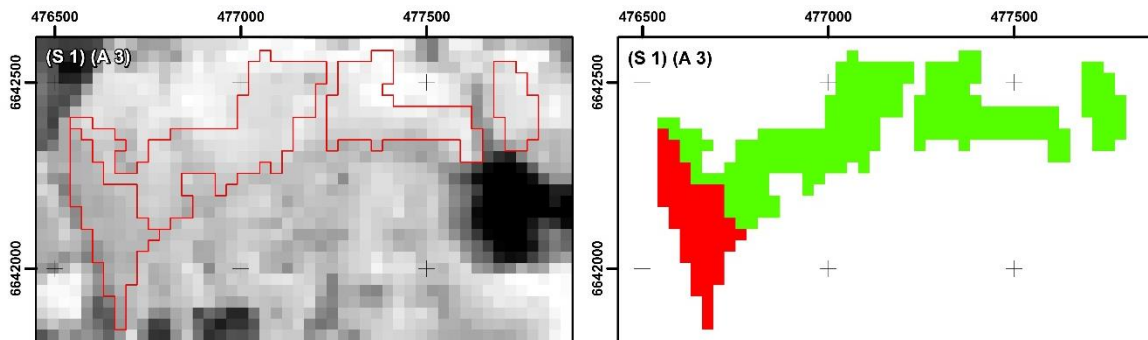


Figura 10– Imagem IAF_{SR} para o talhão 126A com os limiares S1A3 e classificação não-supervisionada com a identificação de duas classes.

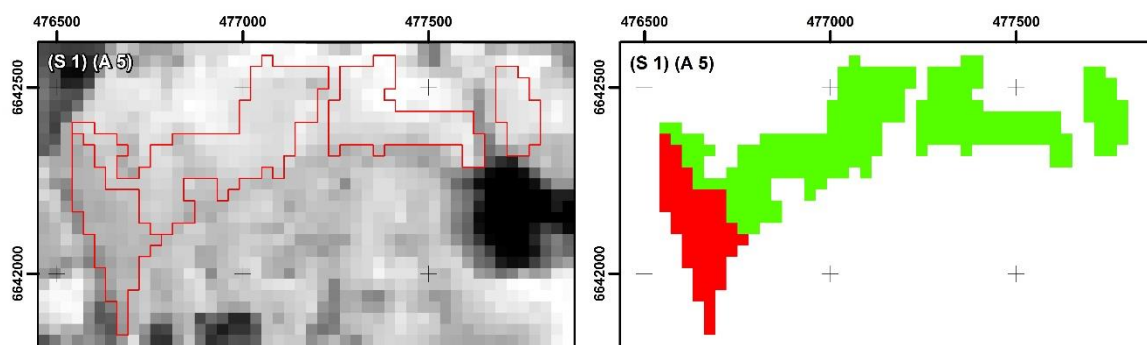


Figura 11– Imagem IAF_{SR} para o talhão 126A com os limiares S1A5 e classificação não-supervisionada com a identificação de duas classes.

Zargo et al. (2009), ao estudar uma técnica de segmentação e classificação digital de uma unidade de conservação por imagens, constatou que foi possível identificar um aumento significativo e progressivo na quantidade de áreas classificadas sem que houvesse um erro qualitativo significativo, e não deixando nenhuma área sem ser classificada. Alvarenga (2012) encontrou resultados equivalentes, pois além de utilizar a segmentação, foi proposto e utilizado um parâmetro de escala, em que esse parâmetro controla o tamanho dos objetos na imagem. A classificação por ele utilizada foi diferente da requerida por esse trabalho, ele usou um método de classificação de imagens que se baseia em vários atributos como geometria e textura, mostrando que a classe não é encontrada apenas pelas características do segmento, mas pelo contexto que ela está inserida. O mesmo ocorreu com Oliveira (2006) na estratificação de povoados de *Eucalyptus* spp., em que ele utiliza o parâmetro de escala, evidenciando que para algumas regiões onde foram feitas as segmentações, dependendo da escala usada, as regiões visivelmente distintas não foram separadas, mostrando que se deve usar um parâmetro de escala menor para que possa captar a heterogeneidade espectral das diferentes classes.

Os resultados encontrados por esses autores tiveram uma classificação supervisionada, o que não ocorreu neste trabalho que usou a não-supervisionada, mostrando que a segmentação com a classificação não-supervisionada também pode ser utilizada de forma aceitável para trabalhos na geração de estratos florestais visando o auxílio ao inventário florestal. Outro fator importante foi o uso do índice de área foliar por sensoriamento remoto (IAF_{SR}) para fazer a segmentação e posterior classificação, pois o IAF_{SR} foi utilizado como um indicador de produtividade, o que não ocorreu nos outros trabalhos descritos que utilizaram informações de volume das parcelas permanentes, oriundas do inventário florestal como indicado de produtividade

4. CONCLUSÕES

Os limiares de segmentação atenderam as expectativas propostas para o trabalho, pois os limiares usados na imagem de IAF_{SR}, conseguiram segmentar de forma eficiente a área de estudo em regiões homogêneas de maior e menor similaridade.

A classificação não-supervisionada gerou classificações satisfatórias, em razão de criar uma quantidade de estratos significantes e bem definidos.

Os resultados encontrados mostram que existe uma boa relação entre a utilização da geotecnologia e o inventário florestal, nesse caso o uso de imagens de sensores remotos, limiares de segmentação e classificação não-supervisionada, em razão de que podem contribuir de forma plausível o inventário, principalmente, no que se refere a estratificação e ganho de precisão para o inventário.

Esse método poderá ser usado para estratificação em áreas maiores e em outros tipos de espécies. Apesar da boa atuação da metodologia usada neste trabalho, é necessário tempo para estudo mais detalhados com os limiares, pois certos limiares podem servir para uma determinada área e outra não, onde o ideal seria usar apenas um limiar de segmentação e um limiar de área (pixel) para toda área, especialmente quando se trabalha apenas com uma espécie arbórea que tem espaçamentos e idades iguais, haja vista, que no trabalho três cenários gerados com parâmetros de limiares diferentes geraram classificações com áreas idênticas.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos a CAPES pela concessão da bolsa, ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação da UFPE e ao Departamento de Ciência Florestal da UFRPE.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ALBA, E.; PEREIRA, R. S.; DIEL, G. F.; MELLO, E. P.; SILVA, E. A.; TRAMONTINA, J.; **Uso da resposta spectral na identificação e monitoramento de espécies florestais a partir de imagens de média resolução especial**. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, 2015.

ALVARENGA, L. H. V. **Imagens de alta resolução e geoestatística na estratificação da fisionomia cerrado para inventários florestais**. 2012. (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

ART, H. W. (ed) **Dicionário de ecologia e ciências ambientais**. Rio Claro: Ed. UNESP, Melhoramentos. 583p. 2001.

BERGER, R.; **Índice de área foliar estimado por ferramentas de Sensoriamento remoto para a otimização de inventários Em florestas plantadas**. 2014. 35 F (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2014.

BREDA, N. J. J. Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies. **Journal of Experimental Botany**, v. 54, n. 392, p. 2403-2417. 2003.

HUSCH, B. **Planing a Forest Inventory**. Rome: FAO, 1971. 120p. **FAO Forest Products Studies**, n. 17.

INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). **SPRING: Manual do Usuário**, 2015.

JENSEN, J. R. **Remote Sensing of the Environment: Na Earth Resource Perspective** (Prentice Hall) 2009. p 3.

JORDAN, C. F. **Derivation of leaf-area index from quality of light on the forest floor**. **Ecology**, v. 50, n. 4, p. 663-666, 1969.

KÖRTING T. S: Divisão de Processamento de Imagens, INPE. **Classificação de Imagens por Regiões**, São José dos Campos, 2006.

LANG, A. R. G.; MCMURTRIE, R. E. **Total leaf areas of single trees of Eucalyptus grandis estimated from Macfarlane, C. ; Arndt, S. K.; Livesley, S. J.; Edgar, Donald, A. C. A.; Adams, M. A.; Eamus, D. Estimation of leaf area index in eucalypt forest with vertical foliage, using cover and fullframe fisheye photography**. **Forest Ecology and Management** 242 (2007) 756–763.

LI-COR. **LAI-2000 Plant canopy analyser**. Lincoln, NE, USA: LI-COR Inc., 1992. 198 p.

LIMA, A.; SHIMABUKURO, Y. E.; ADAMI, M.; FREITAS, R. M.; ARAGÃO, L. E.; FORMAGGIO, A. R.; LOMBARDI, R. **Mapeamento de cicatrizes de queimadas na amazônia brasileira a partir da aplicação do modelo linear de mistura espectral em imagens do sensor MODIS**. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal-RN, 2009.

MACHADO, S.A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. Guarapuava: UNICENTRO. 2ª Ed, 2006. 316p.

MANTOVANI, J.E.; LOPES, A.L.B.; **Geoprocessamento na estimativa de parâmetros ecológicos da jaguatirica (Felis pardalis) com dados corrigidos e não corrigidos para a declinação magnética**. SBSR 2007.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 4 ed. Viçosa: Editora da UFV, 2011.

MOURA, G. P. V.; PARÇA, S. L. M.; SILVA, A. M. **Variação da densidade básica da madeira de espécies e procedências de Pinus centro-americanos em três locais na região dos cerrados**. Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo, n. 22/23, p. 29 - 44, 1991.

NETTO, S.P.; ORELLANA, E.; STEPKA, T.F.; LIMA, R.; FILHO, A.F. **Comportamento probabilístico dos raios das sextas árvores no método de Prodan e estimativas dos parâmetros dendrométricos para Araucaria angustifolia (Bertol.) Kuntze nativa**. Scientia Forestalis, volume 40, n. 96, p.517-524, 2012.

OLIVEIRA, A. C. **Geotecnologia na estratificação de povoamentos de *Eucalyptus spp.*** 2006. (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação.** São José dos Campos: Parêntese, 2010. 127 p.

WATSON, D. J. **Comparative physiological studies on growth of field crops: I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years.** Annals of Botany, v. 11, p. 41-76, 1947.

ZARGO, Q. C. **Mapeamento digital regional do uso e cobertura da terra em unidade de conservação a partir de imagens cbers para apoio à gestão ambiental, estudo de caso: parque nacional da serra dos órgãos (PARNASO).** 2008. (Monografia Engenharia Cartográfica) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.