

Mapeamento do Eucalipto no Estado de Minas Gerais Utilizando o Sensor Modis

Using Modis Sensoring to Map Eucalyptus Production in the State of Minas Gerais

Mariley Gonçalves Borgesⁱ

Universidade Estadual de Montes Claros – Unimontes
Montes Claros, Brasil

Marcos Esdras Leiteⁱⁱ

Universidade Estadual de Montes Claros – Unimontes
Montes Claros, Brasil

Manoel Reinaldo Leiteⁱⁱⁱ

Universidade Estadual de Montes Claros – Unimontes
Montes Claros, Brasil

Resumo: O sensor MODIS oferece produtos como o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI e o Índice de Vegetação Melhorado – EVI, que permitem o monitoramento das áreas vegetadas e não vegetadas. Tendo em vista o crescimento das áreas ocupadas por eucalipto no estado de Minas Gerais, o objetivo deste trabalho é mapear o eucalipto em Minas Gerais através dos índices de vegetação fornecidos pelo sensor MODIS, com o intuito de monitorar seu crescimento, obter uma base de dados atualizada e verificar a qualidade do mapeamento através de um sensor de baixa resolução espacial, que apresenta produtos como os índices de vegetação. Embora tenha havido limitação dos produtos de NDVI e EVI em relação à classificação do eucalipto nas imagens, o EVI apresentou resultados satisfatórios no mapeamento do eucalipto nos anos de 2007 e 2015.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto; Eucalipto; Índices de Vegetação.

Abstract: MODIS remote sensing permits mapping Vegetation Index Normalized Difference – NDVI and Vegetation Index Revamped – EVI that monitor vegetated and non-vegetated areas. The objective of this study is to map the expansion of eucalyptus planting in Minas Gerais State using vegetation indices provided by MODIS remote sensing. Expansion of area in eucalyptus is monitored, a database update obtained and checked

ⁱ Graduada em Geografia. marileigoncalvesborges@gmail.com

ⁱⁱ Professor do Departamento de Geociências. marcosesdrasleite@gmail.com

ⁱⁱⁱ Professor do Departamento de Geociências. leitemanuelreinaldo@gmail.com

for quality using low spatial resolution sensing which produces vegetation indices. Although NDVI and EVI presented limitations for classifying kinds of eucalyptus present, EVI presented satisfactory results in mapping eucalyptus area for 2007 and 2015.

Keywords: Remote Sensing; Eucalyptus; Vegetation Indexes.

Introdução

As técnicas de sensoriamento remoto aplicadas no estudo da vegetação apresentam várias vantagens, tais como o monitoramento temporal, visão espacial abrangente, facilidade no cruzamento de dados, dentre outros. A utilização do sensoriamento remoto na quantificação e classificação da vegetação surge a partir dos anos de 1990, diversificando a partir de então as metodologias de mapeamento (PONZONI et al., 2012).

Ainda de acordo com os autores supracitados, a refletância da vegetação ao longo do espectro eletromagnético depende de fatores como a quantidade de biomassa, a composição físico-química, a estrutura do dossel vegetal, entre outros. Essas variáveis provocam a alteração na quantidade de energia refletida dependendo do comprimento de onda da radiação eletromagnética.

Dentre os diferentes tipos de cobertura vegetal presente em Minas Gerais, tem-se as florestas naturais e as florestas plantadas. Esta última tem apresentado elevado crescimento no estado, principalmente, através da supressão da vegetação desde o processo de ocupação de Minas Gerais, conforme ressalta Coura (2007).

O principal tipo de espécie vegetal das florestas plantadas é o eucalipto, que foi utilizado inicialmente no Brasil para ornamentação, servindo como quebra-ventos no século XX, porém, devido ao seu rápido crescimento e adaptabilidade a diferentes condições edafoclimáticas, passou a ser utilizado para fins comerciais (VITAL, 2007).

A partir da década de 1990, o Brasil passa a ser referência em monocultura de eucalipto, e dentre os 26 estados brasileiros, Minas Gerais possui a maior área de eucalipto plantada. Ao todo são aproximadamente 700 espécies distintas, divididas em árvores naturais, híbridos e clones de eucalipto. A clonagem apresenta grande contribuição em áreas florestais, pois possui maior resistência às pragas, conforme destacado pelo Conselho de Informações de Biotecnologia (2008).

A monocultura de eucalipto resulta em produtos distintos, tais como a madeira serrada, carvão vegetal, resinas, compensados, etanol celulósico, celulose e papel. No estado de Minas Gerais o eucalipto é utilizado com maior frequência para as siderúrgicas, madeireiras, indústrias de celulose e papel (COURA, 2007).

Tendo em vista o crescimento das áreas de eucalipto no estado de Minas Gerais, o objetivo deste trabalho é mapear o eucalipto em Minas Gerais, através dos índices de vegetação fornecidos pelo sensor MODIS, tornando possível compreender a dinâmica espacial da monocultura de eucalipto no estado e analisar em que locais houve aumento das áreas plantadas.

O desenvolvimento deste trabalho é importante, pois o estado de Minas Gerais apresenta uma das maiores áreas do Brasil ocupada por eucalipto (AMS, 2013). Portanto, há

a necessidade de mapear o eucalipto para efeito de monitorar sua dinâmica espacial e temporal, além de obter uma base de dados atualizada destas áreas no estado.

Materiais e Métodos

Área de Estudo

Situado no sudeste do Brasil, o estado de Minas Gerais limita-se a norte com o estado da Bahia, a leste com o Espírito Santo, a sudeste com o Rio de Janeiro, a sul com São Paulo, a oeste com o Mato Grosso e a noroeste com Goiás. Seu território é composto por 12 mesorregiões: Norte de Minas, Noroeste de Minas, Oeste de Minas, Vale do Jequitinhonha, Vale do Mucuri, Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, Campo das Vertentes, Zona da Mata, Metropolitana de Belo Horizonte, Central Mineira e Sul/Sudoeste de Minas (Figura 1).

O estado de Minas Gerais tem área de 586.852,35 Km² e possui como característica marcante a diversidade na estrutura geológica, na cobertura vegetal, no clima, entre outros elementos naturais. A população desse estado é de 19.597.330 habitantes, com 85,3% dos habitantes presentes na área urbana e 14,7% em áreas rurais (FAEMG, 2015).

A cobertura vegetal do estado de Minas Gerais está relacionada com os três tipos de biomas existentes no estado, isto é, o Cerrado, a Caatinga e a Mata Atlântica. Apresentam os seguintes domínios morfoestruturais: A Serra da Mantiqueira, Planalto Sul de Minas, Planaltos Cristalinos Rebaixados, Altas Superfícies Modeladas em Rochas Proterozóicas, Depressão Periférica do Paraná e a Região do São Francisco, que compreende o Planalto do São Francisco e a Depressão São-Franciscana (COURA, 2007).

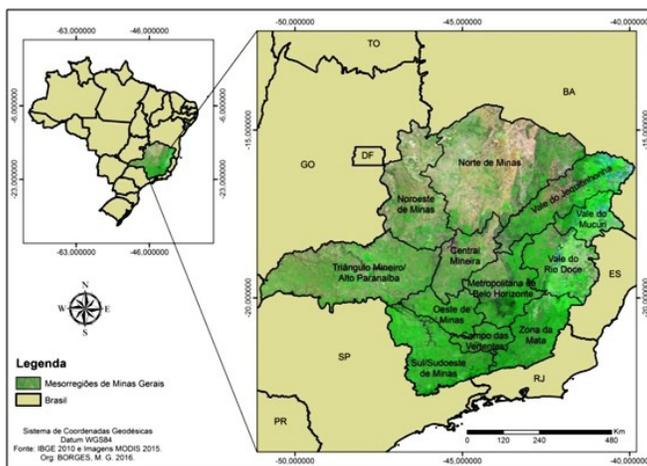


Figura 1 – Localização do Estado de Minas Gerais.

Fonte: IBGE, 2010 e Imagens MODIS 2015.

Conforme dados do IBGE (2010), Minas Gerais é constituído por uma pedologia diversificada, uma vez que é composto por solos do tipo cambissolo háplico, latossolo

amarelo, neossolo quartzênico, latossolo vermelho-amarelo, latossolo vermelho, em argilossolo vermelho-amarelo, argilossolo vermelho, nitossolo vermelho, neossolo flúvico, argilossolo amarelo e afloramento rochoso.

O Serviço Geológico do Brasil – CPRM (2010), em seus estudos de geodiversidade, divide o território mineiro em cinco grandes domínios geomorfológicos, denominados de domínio das unidades agradacionais que se dividem em planícies fluviais, terraços fluviais, vertentes recobertos por depósitos de encostas. Outro domínio é o das unidades denudacionais em rochas sedimentares pouco litificadas fragmentada em tabuleiros e tabuleiros dissecados.

Um terceiro domínio geomorfológico é o das unidades denudacionais em rochas sedimentares litificadas, composto por planaltos e baixos platôs e também por chapadas e platôs. Há também o domínio dos relevos de aplainamento, divididos em superfícies aplainadas conservadas, superfícies aplainadas retocadas ou degradadas e *inselbergs* e outros relevos residuais.

E por último, tem-se o domínio das unidades denudacionais em rochas cristalinas ou sedimentares segmentado em colinas amplas e suaves, colinas dissecadas e de morros baixos, domínio de morros e de serras baixas, domínio montanhoso, escarpas serranas, degraus estruturais e rebordos erosivos e vales encaixados (CPRM, 2010).

As áreas ocupadas pela monocultura de eucalipto em Minas Gerais estão localizadas em sua maioria em domínios das unidades denudacionais em rochas cristalinas ou sedimentares, seguido das unidades denudacionais em rochas sedimentares litificadas e unidades denudacionais em rochas sedimentares pouco litificadas, não apresentando eucalipto nos domínios do relevo de aplainamento e nos domínios das unidades agradacionais.

Procedimentos Técnicos

Para efeito de cumprir o objetivo proposto, realizou-se inicialmente uma revisão bibliográfica sobre o eucalipto em Minas Gerais e sobre os índices de vegetação, baseado em autores como Ponzoni et al. (2012), Coura (2007), Vital (2007), AMS (2013) e Scolforo et al. (2007). Assim sendo, a fim de simplificar os procedimentos metodológicos realizados, a Figura 2 apresenta os dados obtidos, o pré-processamento e o processamento efetuado no *software* ARC GIS 9.3 no mapeamento do eucalipto no estado de Minas Gerais.

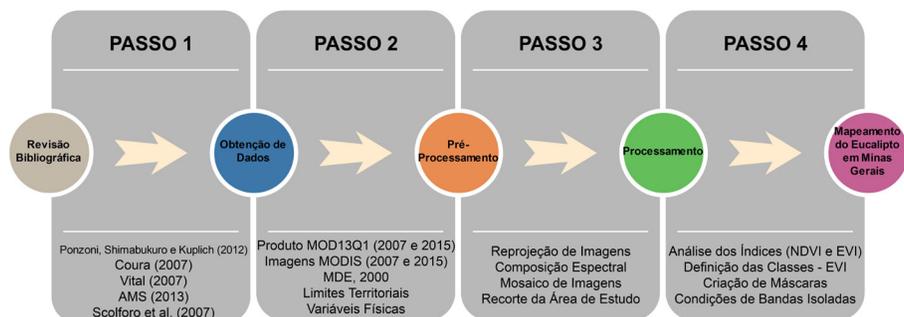


Figura 2 – Fluxograma dos Procedimentos Metodológicos.

Em seguida, foram adquiridas no site da *United States Geological Survey (USGS)*, imagens do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*). Foram selecionadas as bandas do Vermelho, Infravermelho Próximo, com resolução espacial de 250 m. Também foram obtidas as bandas Infravermelho Médio, Azul e Verde, com resolução espacial de 500 m. Os produtos MOD13Q1 que se referem aos índices de vegetação NDVI e EVI, ambas em formato *hdf*, também foram adquiridas.

As imagens MODIS e os índices adquiridos referem-se à órbita/ponto h13v10, h13v11, h14v10 e h14v11 dos anos de 2007 e 2015, ambas do inverno e especificamente do mês de agosto. Seguindo a recomendação de Rosa (2009), as imagens do período seco do ano (junho a setembro) permitem classificar de forma eficiente a vegetação. Uma vez que a biomassa da vegetação está baixa, e em consequência refletirá menos que as áreas ocupadas por eucalipto, este por sua vez, apresenta alta biomassa em todas as estações do ano, facilitando o processo de diferenciação das áreas de eucalipto da vegetação natural.

Foram adquiridos também os limites territoriais dos estados brasileiros e das mesorregiões de Minas Gerais, através do site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), e a base dos recursos hídricos de Minas Gerais por meio do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (Igam), ambos em formato *shapfile*. Por último, através da missão *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)* (2000), obtivemos o Modelo Digital de Elevação (MDE) do estado de Minas Gerais em formato *Geotiff*.

Após a aquisição dos dados, inseriu-se o produto MOD13Q1 no *software ARC GIS 9.3*, e fez-se a conversão do formato das imagens de *hdf* para *Geotiff* utilizando a ferramenta *Export Map*. Posteriormente, usou-se a ferramenta *Mosaic To New Raster* para realizar o mosaico de cenas, ou seja, o agrupamento das cenas NDVI e também das cenas do EVI que cobre o estado de Minas Gerais. Com a ferramenta *Extract by Mask* recortou-se destes índices somente a área correspondente ao estado de Minas Gerais.

No entanto, como o NDVI é um índice que possui variação entre -1 e 1, os índices adquiridos não possuíam essa escala, uma vez que apresentaram amplitude entre 2000 a 9948 (2007) e entre 2000 a 9993 (2015). Assim sendo, como forma de conversão realizou a multiplicação dos dados obtidos por 0.0001 (PONZONI et al., 2012).

Adiante, a fim de localizar as áreas de eucalipto em Minas Gerais, gerou-se uma composição espectral de imagens também denominada de RGB, na ferramenta *Composit Bands* utilizando as bandas referentes ao Infravermelho Próximo (0.841 – 0.876 μm), Vermelho (0.62 – 0.67 μm) e Verde (0.545 – 0.565 μm), dos anos de 2007 e 2015.

Após a composição espectral de imagens, realizou a sobreposição dos produtos NDVI e EVI à imagem multiespectral para efeito de analisar os índices de vegetação obtidos. Constatou-se que houve saturação com relação ao NDVI dos anos de 2007 e 2015. Com o EVI, o processo de classificação apresentou resultados satisfatórios no mapeamento do eucalipto no estado de Minas Gerais.

A Tabela 1, apresenta os atributos do NDVI e EVI da área de estudo. O menor valor apresentado pelo NDVI é -0,20 e o maior valor apresentado foi 0,99 em ambos os anos analisados (2007 e 2015). Em 2007, os valores de NDVI apresentaram média de 0,48 e desvio padrão de 0,13 e, em 2015, temos uma média de 0,51 e desvio padrão de 0,16.

Os valores do EVI apresentaram maior amplitude que o NDVI, visto que o valor mínimo é de -0,09 em 2007 e em 2015, e apresentou valores máximos de 0,99 em ambos

os anos (2007 e 2015). Com média de 0,26 em 2007 e 0,28 em 2015 e desvio padrão de 0,08 (2007) e 0,10 (2015).

Tabela 1 – Atributos do NDVI e EVI do Estado de Minas Gerais, Anos 2007 e 2015.

NDVI	2007	2015	EVI	2007	2015
Mínimo	-0,20	-0,20	Mínimo	-0,09	-0,09
Máximo	0,99	0,99	Máximo	0,99	0,99
Média	0,48	0,51	Média	0,26	0,28
Desvio Padrão	0,13	0,16	Desvio Padrão	0,08	0,10

Fonte: MODIS (2007; 2015).

Desta feita, nota-se que o NDVI dos anos de 2007 e 2015 saturou mais que o EVI. Ponzoni et al. (2012) citam que os pontos de saturação significam que o método utilizado possui limitações. Assim sendo, através do EVI foi possível distinguir o eucalipto dos demais usos em ambos os anos analisados. Por isso, o EVI permitiu melhor discriminação das áreas de eucalipto que o NDVI. A relação do eucalipto por classes do NDVI e EVI dos anos de 2007 e 2015 podem ser visualizados na Tabela 2.

Tabela 2 – Refletância do Eucalipto por Classes – NDVI e EVI.

2007			2015		
Classes NDVI	Eucalipto	Outros	Classes NDVI	Eucalipto	Outros
0,6 a 0,7	52,2%	75,0%	0,6 a 0,7	71,83%	63,19%
0,71 a 0,8	38,0%	24,0%	0,71 a 0,8	24,71%	29,76%
0,81 a 0,9	9,8%	0,9%	0,81 a 0,9	3,45%	5,60%
0,91 a 1,0	0,0%	0,0%	0,91 a 1,0	0,02%	1,45%
< 0,4	11,8%	46,6%	< 0,4	22,85%	41,46%
0,41 a 0,5	47,5%	46,3%	0,41 a 0,5	23,82%	45,91%
0,51 a 0,60	30,3%	6,2%	0,51 a 0,60	22,76%	10,24%
0,61 a 0,7	9,6%	0,7%	0,61 a 0,7	17,61%	1,84%
0,71 a 0,8	0,8%	0,1%	0,71 a 0,8	9,84%	0,40%
> 0,81	0,0%	0,0%	> 0,81	3,12%	0,15%

Fonte: MODIS 2007 e 2015.

Deve-se destacar que o EVI (2007 e 2015), produto utilizado no mapeamento do eucalipto no estado de Minas Gerais, apresentou alguns erros de omissão (pixels de

eucalipto não classificados) e comissão (pixels que não são eucalipto classificados), independente do limiar a ser estabelecido, em todas as mesorregiões que compõem o estado.

Assim, diante dos erros de omissão e comissão apresentados pelo EVI, houve a necessidade de criar algumas máscaras das áreas de ocorrência do eucalipto a partir das imagens MODIS obtidas. As máscaras foram criadas em formato gráfico e convertidas para o formato *shapefile*, e em seguida juntou os dois *shapefiles*, atribuindo-os duas classes, as áreas que possuem eucalipto sendo representadas pelo valor 1 e as áreas sem eucalipto representadas pelo valor 2, e em seguida realizou-se a conversão para o formato *Geotiff*.

Utilizando a Calculadora Raster do ArcGis, estabeleceu-se a condição ((MG = 1) & (EVI >= 0,36),1,2) para o ano de 2007, isto é, se no ano de 2007 o EVI possuísse valores em números digitais superiores a 0,36, essas áreas seriam classificadas como áreas de eucalipto. Para o ano de 2015, estabeleceu-se a seguinte condição ((MG = 1) & (EVI >= 0,40),1,2) isto é, os valores em números digitais do EVI superiores a 0,40 seriam computadas como eucalipto. Em ambas as condições, se o valor fosse verdadeiro, seriam classificadas com valor 1 e, caso a condição fosse falsa, seria atribuído à classe 2.

O intuito de estabelecer essas condições foi delimitar apenas as áreas de eucalipto que havia dentro das máscaras. Essa etapa foi importante porque conseguiu eliminar 84% dos erros de comissão do EVI do ano de 2007 e 67% dos erros de comissão do EVI de 2015.

Para efeito de contribuir no mapeamento do eucalipto no estado de Minas Gerais, utilizou-se também condições de bandas isoladas através da Calculadora Raster do ARC GIS 9.3. De todas as bandas analisadas (Infravermelho Próximo, Infravermelho Médio, Vermelho, Verde e Azul), a que sofreu menos variação foi a banda do Infravermelho Próximo.

Desta feita, através da estatística de imagens, os valores em números digitais acima de 2800 referiam-se a áreas de eucalipto nas mesorregiões Metropolitana de Belo Horizonte, Norte de Minas e na Zona da Mata. Quanto às demais mesorregiões, as áreas de eucalipto na banda do Infravermelho Próximo referiam-se a valores em números digitais acima de 2700. Assim sendo, através destes valores identificados na imagem, condições foram estabelecidas.

Após finalizar as condições, inseriu-se na ferramenta *Model Builder* as ferramentas de conversão e união dos *shapefiles* para finalizar o processo. Com as áreas de eucalipto delimitadas, realizou-se a verificação dessas áreas na imagem multiespectral e, através do processo manual de vetorização, conseguiu-se corrigir os últimos erros de comissão. Esse procedimento foi efetuado em ambos os anos mapeados (2007 e 2015).

Posteriormente, realizou-se a quantificação das áreas de eucalipto em hectares por cada mesorregião e de cada município mineiro que apresentou áreas correspondentes a esta monocultura. Por último, utilizando o Modelo Digital de Elevação (MDE), obtido a partir do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRT), disponível no site da Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (Embrapa), gerou-se a hipsometria da área. As áreas de eucalipto foram sobrepostas à hipsometria. Dessa forma, foi quantificada a ocorrência do eucalipto por cada intervalo de altitude estabelecido.

Resultados e Discussão

As áreas plantadas de eucalipto no estado de Minas Gerais estão irregularmente distribuídas em seu território, possuindo maior concentração da monocultura na mesorregião Norte de Minas com 322.406,47 hectares, no ano de 2007. Os cinco municípios norte-mineiros que apresentam a maior área de eucalipto da mesorregião é Lassance (49.462 ha), Rio Pardo de Minas (37.966 ha), Olhos D'Água (30.583 ha), São João do Paraíso (23.950 ha) e Taiobeiras (19.159 ha).

A Central Mineira é a mesorregião que apresentou o segundo maior número de áreas plantadas em 2007 com 200.096,07 hectares. Dos 30 municípios que fazem parte da região, o eucalipto encontra-se presente em 23 municípios. Os municípios de Curvelo (36.085 ha), Três Marias (30.568 ha), Felixlândia (23.148 ha), Morada Nova de Minas (19.874 ha) e Pompéu (19.691 ha) apresentaram as maiores áreas.

Na sequência, tem-se o Vale do Jequitinhonha com 176.656,02 hectares de eucalipto, presente em 17 municípios. Os municípios que apresentam as maiores áreas de eucalipto são Itamarandiba (53.308 ha), Carbonita (25.249 ha), Turmalina (24.638 ha), Minas Novas (17.373 ha) e Senador Modestino Gonçalves (11.566 ha).

O Vale do Rio Doce apresentou 151.649,06 hectares de área plantada. É a quarta mesorregião com maior concentração das áreas de eucalipto em Minas Gerais. Os municípios de Peçanha (19.189 ha), Sabinópolis (17.468 ha), Antonio Dias (14.793 ha), Coroaci (12.441 ha) e Guanhães (8.658 ha) possuem as maiores áreas ocupadas por eucalipto.

O Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba tinha em 2007 uma área de 118.790,67 hectares de eucalipto, e os municípios com as maiores quantidades são: Uberlândia (14.447 ha), Sacramento (9.546 ha), Indianópolis (8.592 ha), Coromandel (8.502 ha) e Rio Paranaíba (8.163 ha).

Na mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte havia 111.789,07 hectares em 2007. Com destaque na produção os municípios de Conceição do Mato Dentro (13.908 ha), Ferros (12.192 ha), Santa Maria de Itabira (7.326 ha), Alvinópolis (6.788 ha) e Ouro Preto (5.590 ha).

Em seguida, temos o Noroeste de Minas com 102.559,56 hectares. Dentre os municípios, João Pinheiro se destaca com a maior quantidade da monocultura (58.542 ha), seguido de Arinos (9.431 ha), Paracatu (9.022 ha), Lagoa Grande (8.930 ha) e Brasilândia de Minas (6.365 ha).

Em 2007, havia uma área de 21.581,16 hectares de eucalipto no Sul/Sudoeste de Minas. O destaque na produção é o município de Carmo de Minas (4.670 ha), na sequência temos: Poços de Caldas (2.752 ha), Itaú de Minas (2.223 ha), Aiuruoca (1.983 ha) e Caldas (1.900 ha).

O Oeste de Minas possuía 20.671,43 hectares no ano de 2007, os municípios de Córrego Danta (5.611 ha), Tapiraí (4.720 ha), Oliveira (2.195 ha), Bom Sucesso (1.641 ha), Pains (1.282 ha) e Santo Antônio do Monte (1.149 ha) apresentam as maiores áreas de eucalipto na mesorregião.

O Campo das Vertentes tinha 16.510,69 hectares referente ao eucalipto. As maiores áreas desta monocultura foram encontrados nos municípios de São João Del Rey (3.124 ha), Carrancas (2.680 ha), Luminárias (2.537 ha), Carandaí (1.515 ha) e Rintápolis (933

ha). O Vale do Mucuri apresentou uma área de 15.584,06 hectares em 2007. Apenas quatro municípios apresentam áreas referentes ao eucalipto, a saber: Malacacheta (6.722 ha), Setubinha (5.425 ha), Ladainha (2.613 ha) e Nanuque (1.167 ha).

Com a menor quantidade de áreas, havia na Zona da Mata em 2007 cerca de 9.830,49 hectares de eucalipto. Com as maiores áreas localizadas em Lajinha (2.935 ha), Simonésia (1.519 ha), Chalé (1.363 ha), Descoberto (762 ha) e São Pedro dos Ferros (370 ha).

Ao todo, havia em Minas Gerais no ano de 2007 uma área de 1.247.678,13 hectares de eucalipto plantado dividido nas 12 mesorregiões do estado. A diferenciação das áreas de eucalipto por cada mesorregião de Minas Gerais pode ser visualizada na Figura 3.

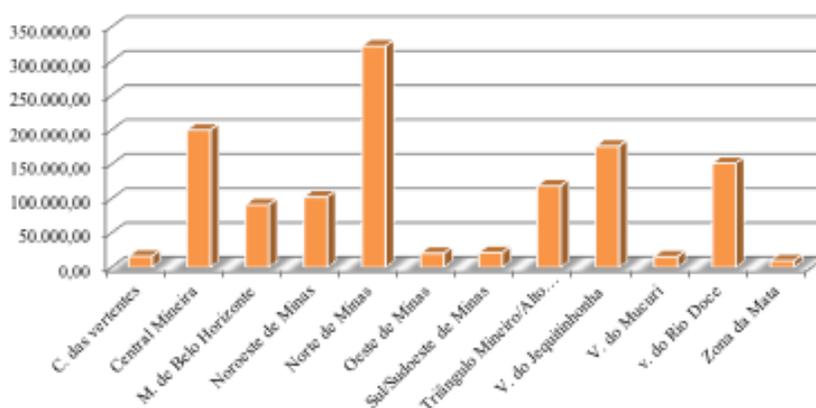


Figura 3 – Área de Eucalipto em Hectares (ha) no Ano de 2007.
Fonte: Imagens MODIS, 2007.

Presente em 35 municípios do Norte de Minas, a sua concentração ocorre no nordeste, leste, sudeste e sul, especificamente na Serra do Espinhaço a leste. Conforme Leite et al. (2012), a monocultura expandiu nessa região através de incentivos fiscais da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (Sudene) após os anos de 1970.

Na Central Mineira, há plantios de eucalipto em praticamente todas as direções, apresentando exceção apenas no noroeste da mesorregião. No Vale do Jequitinhonha, o eucalipto encontra-se concentrado na porção oeste e sudoeste da mesorregião.

O Vale do Rio Doce apresenta monocultura de eucalipto nas regiões oeste, noroeste e sudeste em maiores extensões, e alguns resquícios no sul da mesorregião. O Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba apresenta áreas de eucalipto bastante divididas, localizadas em toda a porção do território, com menores quantidades ao sul.

Na mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte, as áreas de eucalipto estão concentradas no leste, nordeste, norte e oeste, principalmente próximos ao limite com as outras mesorregiões. No Noroeste de Minas, as áreas de eucalipto estão concentradas

na região sudeste, com uma pequena extensão no norte, sendo que as outras regiões da mesorregião possuem quantidade expressiva de agricultura irrigada.

O Oeste de Minas e o Campo das Vertentes apresentam pequenas áreas de eucalipto em todo o seu território, sem predomínio em nenhuma direção. O Vale do Mucuri apresenta apenas alguns resquícios de eucalipto no leste e no sudoeste e a Zona da Mata apresenta pequenas áreas de eucalipto no nordeste e no centro da mesorregião. A espacialização das áreas de eucalipto no estado de Minas Gerais referente ao ano de 2007 pode ser analisada na Figura 4.

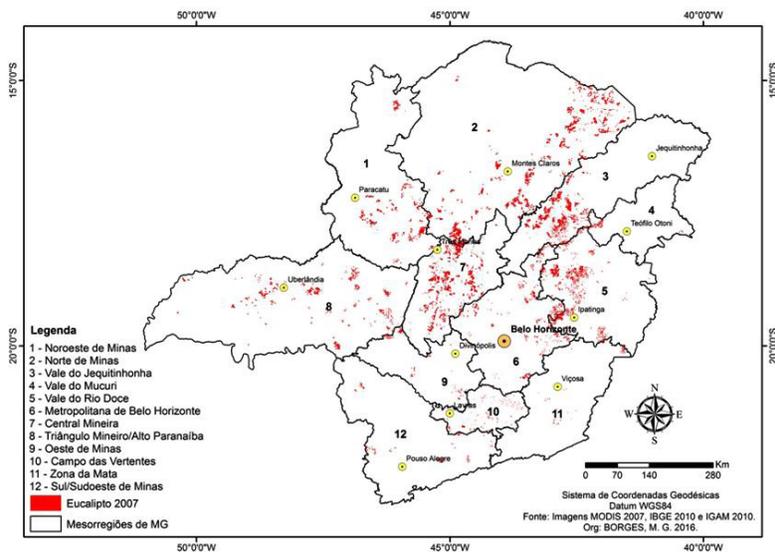


Figura 4 – Áreas de Eucalipto no Estado de Minas Gerais no Ano de 2007.
Fonte: Imagens MODIS (2007).

No mapeamento da cobertura vegetal do estado de Minas Gerais realizado por Scolforo et al. (2007) em parceria com o Instituto Estadual de Florestas (IEF), constatou-se que havia no ano de 2007 uma área de 1.218.212 hectares. Comparando os dados gerados com os dados do IEF, o presente mapeamento houve um superestimativa de 49.912 (4%) de hectares das áreas ocupadas por eucalipto em Minas Gerais para o ano de 2007.

Em 2015, o Norte de Minas continua sendo a mesorregião com maior área plantada de eucalipto, totalizando 540.640,76 hectares, apresentando um aumento de 40% em áreas plantadas. Os municípios que se destacam na produção em 2015 foram Buritizeiro (81.011 ha), Lassance (58.455 ha), Grão Mogol (47.074 ha), Olhos D'água (40.046 ha) e Rio Pardo de Minas (30.834 ha).

A Central Mineira obteve aumento de 29% de 2007 para o ano de 2015, possuindo em 2015 uma área de 281.965,57 hectares. As maiores extensões de área foram encontradas nos municípios de Curvelo (63.555 ha), Três Marias (53.574 ha), Pompéu (33.147 ha), Corinto (19.977 ha) e Felixlândia (19.664 ha).

O Vale do Jequitinhonha apresentou no ano de 2015 uma área de 226.954,02 hectares, esta foi a quarta mesorregião que mais aumentou suas áreas plantadas (22%). Os cinco municípios com maior destaque são Itamarandiba (53.955 ha), Carbonita (37.973 ha), Minas Novas (33.156 ha), Turmalina (19.055 ha) e Diamantina (18.010 ha).

Em seguida, tem-se o Noroeste de Minas com 225.246,99 hectares, possuindo maior extensão em áreas plantadas os municípios de João Pinheiro (115.478 ha), São Gonçalo do Abaeté (26.299 ha), Paracatu (19.963 ha), Brasilândia de Minas (17.764 ha) e Lagoa Grande (13.053 ha). É a segunda mesorregião do estado de Minas Gerais que teve maior aumento das áreas de eucalipto, aumento este de 122,687 hectares.

Os municípios que possuem a maior área plantada são Buritizeiro, Lassance e Grão Mogol na mesorregião Norte de Minas; os municípios de Curvelo e Três Marias na mesorregião Central Mineira; e Itamarandiba, Carbonita e Minas Novas na mesorregião do Vale do Jequitinhonha, conforme pode ser observado no Figura 5.

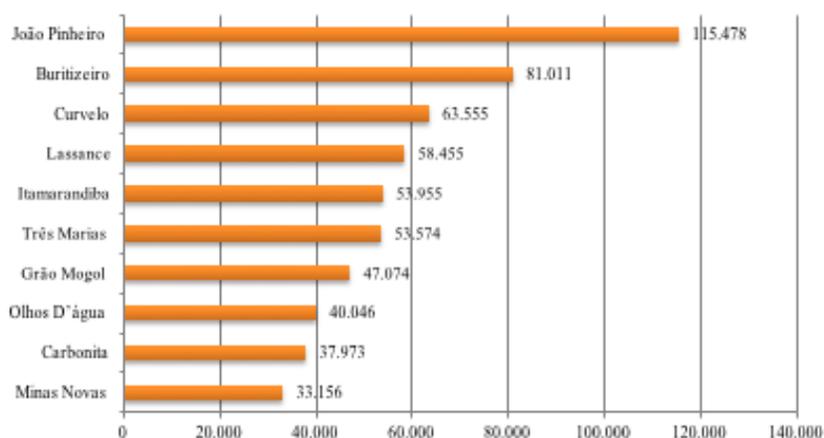


Figura 5 – Municípios que Apresentaram a Maior Área Plantada de Eucalipto.
Fonte: Imagens MODIS (2015).

Havia no Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba uma área de 127.062,60 hectares de eucalipto no ano de 2015, com os municípios de Indianópolis (18.040 ha), Estrela do Sul (17.391 ha), Sacramento (15.961 ha), Nova Ponte (11.382 ha) e Prata (11.120 ha) tendo as maiores extensões desta monocultura. Dentre as áreas que tiveram aumento na produção de eucalipto, esta foi a menos expressiva (7%).

O Vale do Rio Doce apresentou em 2015 uma área de 79.171,03 hectares, é a segunda mesorregião com maior perda das áreas plantadas (48%). Com as maiores áreas os municípios de Peçanha (13.761 ha), Guanhães (10.115 ha), Sabinópolis (9.311 ha), Coroaí (7.285 ha) e Antônio Dias (5.085 ha).

Com aumento de 55% de hectares de eucalipto plantado, o Campo das Vertentes possuía em 2015 uma área de 36.657,45 hectares. As maiores áreas estão situadas nos

municípios de São João Del Rey (7.565 ha), Carrancas (4.381 ha), Lagoa Dourada (4.192 ha), Carandaí (3.417 ha) e Madre de Deus Minas (2.812 ha).

A Metropolitana de Belo Horizonte é a mesorregião que teve a maior perda na produção do eucalipto (70%), apresentando em 2015 uma área de aproximadamente 27.401,39 hectares de eucalipto. Os municípios de Ferros (5.149 ha), Papagaios (4.536 ha), Paraopeba (3.066 ha), Santa Maria de Itabira (2.220 ha) e Conceição do Mato Dentro (1.803 ha) apresentaram a maior quantidade de áreas plantadas nesta mesorregião.

No Oeste de Minas houve perda de 14% das áreas de eucalipto, possuindo uma área em 2015 de 17.723,32 hectares. Os municípios que apresentaram a maior extensão em hectares foi Formiga (4.452 ha), Medeiros (2.842 ha), Pains (1.937 ha), Itapeçerica (1.414 ha) e Arcos (1.377 ha).

O Sul/Sudoeste de Minas possuía em 2015 uma área de 16.891,89 hectares. Nos municípios de Poços de Caldas (3.779 ha), Andrelândia (3.025 ha), Caldas (1.788 ha), Ipuiúna (1.732 ha) e Itaú de Minas (1.551 ha) existem as maiores áreas ocupadas pelo eucalipto da mesorregião, apresentando uma perda de 28% das áreas de eucalipto dos anos de 2007 para 2015.

Dentre as áreas que houve perdas de eucalipto, o Vale do Mucuri foi a mesorregião com menor expressividade (11%), apresentou em 2015 uma área de 13.828,62 hectares. E somente os municípios de Malacacheta (7.653 ha), Setubinha (4.925 ha) e Ladainha (1.249 ha) possuem áreas ocupadas pela monocultura.

Devido aos problemas obtidos no mapeamento do eucalipto na mesorregião da Zona da Mata, as áreas que foram computadas referem-se a 2.958,57 hectares presentes nos municípios de Santa Rita de Ibitipoca (2.304 ha) e Lima Duarte (653 ha).

Ao todo, havia em Minas Gerais no ano de 2015 uma área de 1.596.502,21 hectares plantados de eucalipto dividido em suas mesorregiões. Com relação à quantidade de áreas em hectares ocupadas por eucalipto nas mesorregiões em 2015, estas podem ser visualizadas no Figura 6.

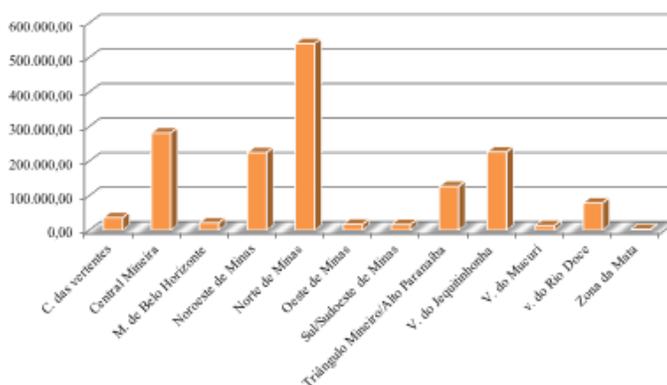


Figura 6 – Área de Eucalipto em Hectares (ha) no Ano de 2015.

Fonte: Imagens MODIS (2015).

As áreas de eucalipto no Norte de Minas Gerais no ano de 2015 continuam concentradas na Serra do Espinhaço e em seu entorno, apresentando áreas expressivas da bacia hidrográfica do rio Pardo e do rio Jequitinhonha, ambas a leste.

No Vale do Jequitinhonha, a concentração de eucalipto continua no oeste e sudoeste, apresentando os primeiros resquícios na área central da mesorregião. Já no Noroeste de Minas a intensificação das áreas de eucalipto ocorre nas mesmas direções apontadas em 2007 – sudeste e norte.

A Central Mineira apresenta aumento de suas áreas de eucalipto na maioria das direções, porém, apresenta quantidade significativa na porção centro-sul da mesorregião e pequenos resquícios ao norte. Através da diminuição expressiva das áreas de eucalipto, a Metropolitana de Belo Horizonte contém plantio florestal somente no oeste.

No Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, a concentração das áreas ocorre na área central e apresenta pequenos fragmentos de eucalipto no leste e sudeste da mesorregião. O Oeste de Minas e o Campo das Vertentes apresentam áreas de monocultura de eucalipto mais homogêneas que as outras mesorregiões, apresentando pequenos fragmentos em toda a porção de seu território.

O Sul/Sudeste de Minas apresenta áreas de eucalipto somente no noroeste e sudoeste da mesorregião. Fato parecido ocorre com o Vale do Rio Doce, no entanto, há também a presença de suas áreas no oeste. No Vale do Mucuri e na Zona da Mata, as poucas áreas existentes de eucalipto estão localizadas no sudoeste da mesorregião. A relação das áreas de eucalipto do ano de 2015 podem ser observadas na Figura 7.

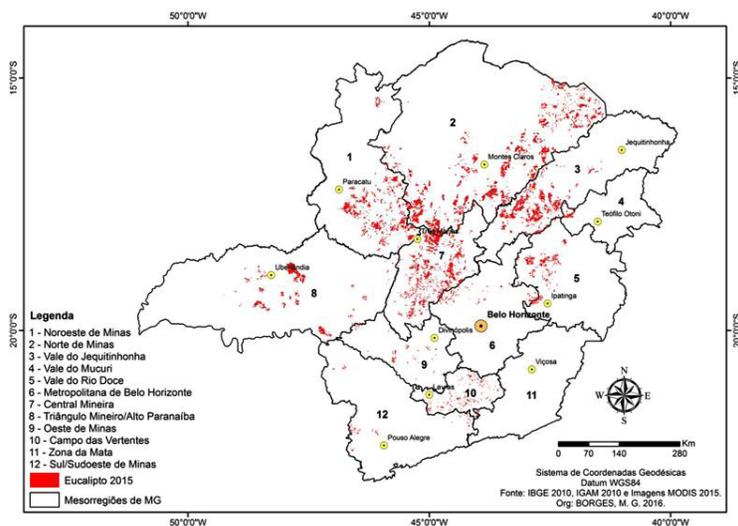


Figura 7 – Áreas de Eucalipto no Estado de Minas Gerais no Ano de 2015.
Fonte: Imagens MODIS (2015).

Em relação à altitude, a monocultura de eucalipto em 2007 estava situada desde as áreas mais elevadas até áreas mais baixas. No Norte de Minas, o eucalipto se encontra a

partir de altitudes superiores a 450 metros com maiores concentrações em áreas superiores a 850 metros. Este mesmo fato ocorre no Vale do Jequitinhonha.

No Noroeste de Minas, a monocultura se encontra em áreas de altitude intermediária, variando entre os 450 a 1050 metros, inclusive as áreas mais elevadas desta mesorregião estão com uso destinado a outros tipos de cultivo. A mesorregião do Vale do Mucuri e Vale do Rio Doce possui uma pequena concentração em todas as áreas de altitude que a compõem.

Na Metropolitana de Belo Horizonte, o eucalipto está situado em altitudes superiores a 450 metros. Enquanto que na Central Mineira a variação da altitude é menor, com concentração nas áreas de 450 a 1.050 metros, localizadas em sua maioria entre 650-850 metros.

As áreas de eucalipto no Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba estão localizadas principalmente em áreas mais elevadas, com maior concentração em áreas superiores a 650 metros e em menores extensões em altitudes mais baixas. O Oeste de Minas e o Campo das Vertentes, embora não possuam quantidade significativa de eucalipto, estão situados em altitudes acima de 850 metros.

Na Zona da Mata, o eucalipto se encontra em todas as altitudes que a compõe. Embora tenhamos no Vale do Rio Doce áreas de eucalipto também em várias altitudes, há a predominação em altitudes que variam entre 850 e 1.050 metros.

E o Sul/Sudoeste de Minas, embora apresente pequenas extensões de eucalipto, sua maior concentração está em áreas elevadas, ou seja, altitudes superiores a 850 metros. Portanto, pode-se afirmar que o eucalipto está presente em várias altitudes, porém a sua predominação ocorre em áreas mais elevadas.

No ano de 2015, houve o aumento das áreas de eucalipto com localização em áreas de maior altitude, especificamente em áreas superiores a 850 metros e a presença de menores quantidades em altitudes menores.

No Vale do Jequitinhonha há a presença das áreas de eucalipto em áreas superiores a 650 metros, no entanto, possui maior expressividade entre 850,1 a 1.050 metros de altitude. Entretanto, no Noroeste de Minas ocorre o inverso do Vale do Jequitinhonha, as maiores concentrações de eucalipto se encontram entre os 450 a 850 metros, com quantidade pouco expressiva entre 850,1 a 1.050 metros.

Embora a Central Mineira apresente praticamente quase todo o seu território entre 450 a 850 metros, a monocultura está presente em maior peso entre 650 a 850 metros. Já o Triângulo Mineiro apresenta áreas de eucalipto desde os 450 metros, porém, a altitude que compreende a maior quantidade é entre 850 a 1.050 metros.

No Sul/Sudoeste de Minas, as áreas de eucalipto se encontram somente em duas faixas de elevação, que é entre 650 a 850 metros e superior a 1.050 metros. O Oeste de Minas apresenta pequenas extensões de eucalipto desde os 650 metros, e não há grandes quantidades de eucalipto em altitudes específicas.

No Campo das Vertentes, a monocultura é feita em áreas mais elevadas, isto é, a partir de 850 metros, com nenhuma área de eucalipto em outras altitudes que esta mesorregião apresenta. O Vale do Mucuri apresenta pequenas áreas de eucalipto entre 850 a 1.050 metros e na Zona da Mata as áreas mapeadas estão nas áreas superiores a 1.050 metros.

No Vale do Rio Doce, o eucalipto se encontra em altitudes inferiores a 1.050 metros, ou seja, praticamente todas as altitudes que o estado de Minas Gerais apresenta, com a

maior expressividade de áreas situadas entre 650 a 850 metros. Nesse caso, pode-se dizer que o aumento que houve das áreas de eucalipto em Minas Gerais, ocorreu principalmente em áreas mais elevadas, que estão compreendidas em áreas superiores a 850 metros.

Generalizando, no estado de Minas Gerais o eucalipto está situado em sua maioria nas áreas de altitude entre 850,1 e 1.050 metros, seguido por áreas entre 650,1 e 850 metros de altitude e em pequenas quantidades nas outras altitudes, conforme visualizado no Figura 8.

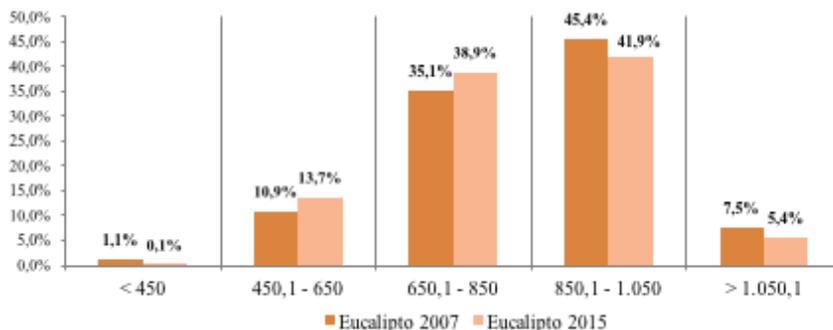


Figura 8 – Quantidade de Eucalipto por Áreas de Altitude – 2007 e 2015.

Fonte: Imagens SRTM (2000); Imagens MODIS (2007; 2015).

No geral, os solos utilizados na monocultura de eucalipto são regulares, apresenta baixa fertilidade com baixa quantidade de nutrientes, alta salinidade, possui excesso de alumínio e algumas áreas apresentam reduzida profundidade (IBGE, 2010).

No ano de 2007 havia 226.228,82 ha de eucalipto em áreas de solos cambissolo háplico, 99.391,09 ha em latossolo amarelo, 4.181,69 ha em neossolo quartzênico, 366.374,88 ha em solo latossolo vermelho-amarelo, 284.146,52 ha em latossolo vermelho, 66.634,42 ha em argilossolo vermelho-amarelo e 76.881,93 ha em argilossolo vermelho. Não havia áreas plantadas em solos como nitossolo vermelho, neossolo flúvico, argilossolo amarelo e em afloramento rochoso.

Do total de áreas de eucalipto em Minas Gerais no ano de 2015, aproximadamente 1.293.349,59 hectares estão situados em áreas de Cerrado, 293.904,1 hectares estão localizados em áreas de Mata Atlântica e apenas 4.989,5 hectares estão em áreas de Caatinga.

As maiores áreas de eucalipto em 2015 foram localizadas em latossolo vermelho-amarelo (443.750,58 ha), seguido por latossolo vermelho (352.090,73 ha), cambissolo háplico (352.090,73 ha), neossolo litólico (172.767,92 ha), latossolo amarelo (105.716,48 ha), argilossolo vermelho-amarelo (90.494,27 ha), argilossolo vermelho (77.990,79 ha) e neossolo quartzênico (7.622,05 ha).

Considerações Finais

No mapeamento do eucalipto, as áreas sob seu domínio misturavam com vários outros elementos existentes na imagem. No Norte de Minas, houve semelhança espectral

com a Mata Ciliar, principalmente, no percurso do rio São Francisco, com o pinus e também com projetos de irrigação. No Vale do Jequitinhonha, a resposta espectral do eucalipto apresentou interseções com a Floresta Estacional Semidecidual e a presença de nuvens próxima ao limite com a Bahia também interferiu no mapeamento. No Noroeste de Minas, onde houveram projetos de irrigação, a Mata Ciliar apresentou respostas espectrais similares ao eucalipto.

Na mesorregião Central Mineira houve mistura espectral somente com a Mata Ciliar. No Campo das Vertentes, Metropolitana de Belo Horizonte, Vale do Rio Doce, Vale do Mucuri, Oeste de Minas e Zona da Mata houve mistura espectral com a cobertura vegetal natural.

O Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba apresentou algumas áreas de eucalipto com respostas espectrais análogas à Mata Ciliar, às áreas agrícolas e ao pinus. Outra área que também apresentou problemas de confusão espectral foi o Sul/Sudoeste de Minas, pois, nesta mesorregião, a monocultura apresenta pequenas extensões que muitas vezes são representadas em um único pixel devido à baixa resolução das imagens (250 x 250 m), que neste caso não foram consideradas neste trabalho.

Em todo o estado, há algumas áreas em que o eucalipto e o pinus se encontram germinados, e como suas refletâncias são muito parecidas, gera um pouco de dificuldade no momento da classificação. Neste caso, houve a necessidade de interferir manualmente através da criação das máscaras de ocorrência do eucalipto.

A partir dos dados gerados, quantificados e espacializados, pode-se concluir que as áreas de eucalipto no estado de Minas Gerais aumentaram sua produção em 348.824,08 hectares de áreas plantadas do ano de 2007 para o ano de 2015. Com aumento em sua produção na mesorregião Norte de Minas, Noroeste de Minas, Central Mineira, Campo das Vertentes, Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba e no Vale do Jequitinhonha. E apresentaram perdas de monocultura na mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte, Oeste de Minas, Sul/Sudoeste de Minas, Vale do Mucuri, Vale do Rio Doce e Zona da Mata.

O eucalipto encontra-se localizado em áreas totalmente distintas não havendo um padrão em específico. No entanto, apresenta maior expressividade do plantio em áreas superiores a 650 metros, sua maior concentração ocorre em solos cambissolo háplico.

Os índices de vegetação (NDVI e EVI) apresentaram limitações no mapeamento do eucalipto em função de outros usos possuírem resposta espectral semelhante. O NDVI apresentou saturação, pelo que não foi possível utilizá-lo. O EVI apresentou resultados satisfatórios, pois saturou menos. Assim, utilizou-se o EVI no mapeamento do eucalipto em Minas Gerais, os erros de omissão e/ou comissão foram contornados por meio da construção de máscaras das áreas de ocorrência do eucalipto e com a criação de condições de bandas isoladas utilizando a banda do Infravermelho Próximo.

Referências Bibliográficas

ABTCP, Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 2012. Disponível em: <http://www.abtcp.org.br>. Acesso em: jan. 2016.

AMS, Associação Mineira de Silvicultura. *Florestas plantadas: um caminho para o desenvolvimento sustentável*. Minas Gerais, 2013. Disponível em: <http://silviminas.com>.

br/wp-content/uploads/2013/12/Presentation-AMS-2013-Portugu%C3%AAs.pdf. Acesso em: jan. 2016.

Boletim Técnico Administrativo. *Plano ABC – florestas plantadas*. Rio Grande do Sul – RS. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2015. Disponível em: file:///C:/Documents%20and%20Settings/adm/Meus%20documentos/Downloads/-upload-20150224144549florestas_plantadas%20(1).pdf. Acesso em: jan. 2016.

CNA – Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. *Plantio de eucalipto no Brasil: mitos e verdades*. Brasília, DF: CNA, 2011. Disponível em: <http://www.canaldoprodutor.com.br/sites/default/files/mitos-e-verdades-low.pdf>. Acesso em: jan. 2015.

Conselho de Informações de Biotecnologia. *Guia do eucalipto – oportunidades para um desenvolvimento sustentável*, 2008. Disponível em: http://cib.org.br/wp-content/uploads/2011/10/Guia_do_Eucalipto_junho_2008.pdf. Acesso em: jan. 2016.

COURA, S. M. C. *Mapeamento da vegetação do estado de Minas Gerais usando dados do sensor MODIS*. Dissertação de Mestrado. 150f. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. São José dos Campos, 2007. Disponível em: <http://mtc-m16b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2006/12.21.13.36/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: jan. 2016.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. *Geodiversidade do estado de Minas Gerais*. MACHADO, M. F.; SILVA, S. F. (orgs.). Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Social. Belo Horizonte, 2010. Disponível em: http://www.cprm.gov.br/publique/media/Geodiversidade_MG.pdf. Acesso em: jan. 2016.

FAEMG, Federação da Agricultura e Pecuária do Estado de Minas Gerais. 2015. Disponível em: <http://www.sistemafaemg.org.br/Faemg/>. Acesso em: jan. 2016.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: jan. 2016.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2001. Disponível em: <http://www.inpe.br/>. Acesso em: dez. 2015.

LEITE, M. E.; ALMEIDA, J. W. L.; SILVA, R. F. Análise espaço-temporal do eucalipto no norte de Minas Gerais nos anos de 1986, 1996 e 2010. *Revista Geotextos*. v. 8, p. 59-74, 2012. Disponível em: <http://www.portalseer.ufba.br/index.php/geotextos/article/viewFile/5931/4645>. Acesso em: maio 2016.

Ministério da Agricultura. *Desenvolvimento sustentável: florestas plantadas*. 2012. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/desenvolvimento-sustentavel/florestas-plantadas>. Acesso em: jan. 2016.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA, n. 237 de 19 de dezembro de 1997. Dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental. *Diário Oficial [da] União*. Brasília – DF, 22 de dezembro de 1997. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=237>. Acesso em: jan. 2016.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. *Sensoriamento remoto na vegetação*. 2. ed. atualizada e ampliada. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

ROSA, R. *Introdução ao sensoriamento remoto*. 7. ed. Uberlândia: Edufu, 2009.

SBS – Sociedade Brasileira de Silvicultura. 2006. Disponível em: <http://www.sbs.org.br/estatisticas.htm>. Acesso em: jan. 2016.

SCOLFORO, R. S.; CARVALHO, L. M. T.; OLIVEIRA, A. D. *Inventário florestal de Minas Gerais: monitoramento dos reflorestamentos e tendências da produção em volume, peso de matéria seca e carbono, 2005 – 2007*. José Lavras: Editora UFLA, 2008. Disponível em: <http://www.inventarioflorestal.mg.gov.br/>. Acesso em: jan. 2016.

VITAL, M. H. F. Impacto ambiental das florestas de eucalipto. *Revista do BNDES*. Rio de Janeiro, v. 14, 2007. Disponível em: http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/revista/rev2808.pdf. Acesso em: jan. 2016.

Recebido em: 11/12/2017

Aceito em: 15/05/2018