

Memorias



Sociedad Latinoamericana en
Percepción Remota y Sistemas
de Información Espacial
Capítulo Colombia

30
AÑOS

Medellín, Colombia
29 de Septiembre al 3 de Octubre de 2014



Detecção e previsão da expansão de eucalipto em mosaico de áreas protegidas utilizando técnicas de sensoriamento remoto e regressão logística

Rodrigo Pinheiro Ribas¹
Bernardo Machado Gontijo¹

¹Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG
Instituto de Geociências-Departamento de Geografia
Av. Antônio Carlos, 6627 – 31270-901 – Belo Horizonte – MG, Brasil
ribasgeo@gmail.com; gontijobm@yahoo.com.br

Resumo: A criação de um mosaico é passível quando se tem um conjunto de unidades de conservação próximas, justapostas ou sobrepostas, pertencentes a diferentes esferas de governo ou não. O foco deste modelo de gestão é a integração entre gestores e população local buscando o melhor entendimento entre os interesses da população local, governo e conservação da biodiversidade. O Mosaico de Áreas Protegidas do Espinhaço localiza-se na porção meridional da grande cordilheira denominada Serra do Espinhaço, que possui cerca de 1200 Km de extensão, entre a região central do estado de Minas Gerais e o extremo norte do estado da Bahia. A ação antrópica vem sendo notada na região de algumas formas, tais quais a implantação de grandes projetos de mineração, especulação imobiliária e a expansão de monoculturas. Neste último quesito, se destaca a plantação do eucalipto para fins siderúrgicos, que tiveram início por volta dos anos 70 e tem direcionado uma expansão vertiginosa até os dias atuais. Tendo em vista que o crescimento indiscriminado da monocultura de eucalipto representa risco para as formações vegetais nativas da região, assim como tem grande potencial para gerar conflitos em relação ao uso e ocupação do solo, o presente estudo tem como objetivo dimensionar a taxa de crescimento de eucalipto na área de estudo no período de 1984 a 2013 e elaborar previsões de um cenário futuro para área. Para atingir tal objetivo foram utilizadas imagens do satélite Landsat TM-5 (1984) e Landsat OLI-8 (2013) para o mapeamento da expansão do eucalipto no período de 29 anos. Para o cálculo da influência de variáveis espacialmente alocadas na expansão do eucalipto e fornecimento de uma previsão futura foi realizada uma regressão logística múltipla, utilizando como variáveis independentes as distâncias de bordas de floresta nativa e de eucalipto, de áreas urbanas e das estradas. No período analisado houve um incremento de cerca de 30.000 hectares de área plantada de eucalipto na região, representando um aumento de aproximadamente 60%. O valor de pseudo r² obtido foi de 0,23 e a equação e os coeficientes da regressão logística foram o seguinte: $\text{logit}(\text{Eucalipto}) = -2.1273 - 0.004137 * \text{Eucal_DIST} - 0.013844 * \text{Rodov_DIST} - 0.000466 * \text{Urbano_DIST} - 0.002677 * \text{Flor_DIST}$. Uma projeção de cenário para o ano de 2042 indica um grande avanço do eucalipto na área, com potencial para vir a desencadear diversos conflitos ambientais e territoriais, assim como a perda da conectividade na paisagem.

Palavras chaves: Mosaico, Monocultura, Sensoriamento Remoto, Análise Espacial

Abstract: The creation of a mosaic is possible when there is a set of protected areas nearby, juxtaposed or superimposed, belonging to different spheres of government or not. The focus of this management model is the integration between managers and local people seeking a better understanding between the interests of the local population, government and biodiversity conservation. The “Mosaico de Áreas Protegidas do Espinhaço” located in the middle portion of the great mountain range called “Serra do Espinhaço”, which has about 1200 km long, between the central state of Minas Gerais and the north end of the state of Bahia. The anthropogenic activity has been noted in the region of some forms, such that the deployment of large mining projects, real estate speculation and the expansion of monoculture. In the latter regard, it highlights the planting of eucalyptus for steel purposes, which started at around 70 years and has directed breakneck expansion to the present day. Considering that the indiscriminate growth of eucalyptus monoculture poses a risk to native forests and has great potential to generate conflicts over the use and occupation of land, the goal of this study is to measure the growth rate of eucalyptus in the study area in the period 1984-2013 and elaborate forecasts of a future scenario for the area. To achieve this goal we use Landsat TM5 (1984) and Landsat OLI - 8 (2013) images for mapping the expansion of eucalyptus in the period of 29 years. To calculate the influence of variables spatially allocated in the expansion of eucalyptus and providing a future forecast a multiple logistic regression was performed, using as independent variables the distances from the

edges of native forest and eucalyptus, urban areas and roads. In the analyzed period there was an increase of about 30,000 hectares of eucalyptus planted area in the region, representing an increase of approximately 60 %. The pseudo r^2 value obtained was 0.23 and the equation coefficients and logistic regression were as follows: $\text{logit (Eucalipto)} = -2.1273 - 0.004137 * \text{Eucal_DIST} - 0.013844 * \text{Rodov_DIST} - 0.000466 * \text{Urbano_DIST} - 0.002677 * \text{Flor_DIST}$. A scenario projection for the year 2042 indicates a breakthrough of eucalyptus in the area, with the potential to trigger various environmental and territorial conflicts, as well as loss of connectivity in the landscape.

Keywords: Mosaic, Monoculture, Remote Sensing, Spatial Analysis

Introdução

O plantio concentrado de um vegetal exclusivamente, denota a criação de uma monocultura. O eucalipto é uma monocultura que vem apresentando crescimento vertiginoso no Brasil nos últimos anos. Normalmente, este formato de cultivo é visto como danoso, vindo de encontro ao desenvolvimento sustentável. Existem evidências deste viés negativo, porém, vantagens também podem ser verificadas neste sistema de monocultura. Dentre as desvantagens, podemos destacar a redução da biodiversidade, exaustão e degradação do solo, comprometimento das fontes hídricas superficiais e subterrâneas. Além destas, existem também riscos sociais e econômicos, tais quais dependência de variações mercadológicas, que podem afetar toda a cadeia produtiva, assim como a mão de obra envolvida e a disseminação de pragas e doenças, tendo em vista a alteração do ambiente natural antes alocado. Como vantagens, ressalta Spedding (1997), que as plantações de eucalipto, quando manejadas adequadamente podem ajudar na recuperação de áreas degradadas, assim como combater o desmatamento de áreas nativas e além disso, em termos econômicos e comerciais, estes empreendimentos podem ser altamente lucrativos, tendo em vista a regularidade da colheita e a grande demanda dos subprodutos associados na escala produtiva.

A paisagem da região centro-norte do Estado de Minas Gerais vem sendo moldada por ações antrópicas específicas, umas das mais expressivas tem sido a implantação de grandes projetos de monocultura para fins siderúrgicos, que tiveram início por volta dos anos de 1970, dentro do escopo desenvolvimentista do governo militar. Atualmente, as plantações de eucalipto têm grande participação no cenário produtivo da região e movimentam os setores que necessitam do carvão vegetal e da madeira para celulose e como fonte de energia. Em tempos recentes, o avanço das plantações de eucalipto continua sendo notado na região, principalmente após a aprovação da Lei Estadual 18.365 em 2009 que definiu como meta a redução do consumo de carvão de vegetação de origem nativa até o limite máximo de 5% do consumo total por ano a partir de 2019, criando uma expectativa de crescimento ainda maior neste setor.

O presente artigo foi conduzido com o objetivo de dimensionar a taxa de crescimento de eucalipto na área de estudo no período de 1984 a 2013, assim como também, elaborar previsões de um cenário futuro para a área investigada. Para atingir tal objetivo foram utilizadas técnicas de Sensoriamento Remoto para a detecção e mapeamento da expansão do eucalipto em um período de 29 anos (1984 à 2013) e para o cálculo da influência de variáveis espacialmente alocadas na expansão do eucalipto e fornecimento de uma previsão futura foi realizada uma Regressão Logística.

Regressão Logística

O método estatístico de Regressão Logística tem aplicação em situações nas quais as variáveis respostas são discretas e os erros não são normalmente distribuídos. O modelo de regressão logístico é utilizado quando a variável resposta tem caráter qualitativo, com

dois resultados possíveis. Sendo assim, a variável resposta é dicotômica, ou seja, tem duas possibilidades, sim ou não, podendo esta resposta (Y_i) ser codificado de forma binária (1) em 0 ou 1 (Hosmer & Lemeshow 2000).

$$Y_i = 1 \rightarrow P(Y_i = 1) = \pi_i \quad (1)$$

$$Y_i = 0 \rightarrow P(Y_i = 0) = 1 - \pi_i$$

A partir do conhecimento das probabilidades de sucesso (p) e fracasso (q) de uma determinada variável, o modelo de regressão logístico irá extrair a chance (*odds*) (2) para as variáveis binárias.

$$odds = \frac{p}{1-p} = \frac{p}{q} \quad (2)$$

O *logit* (3) equivale ao logaritmo natural de chance, sendo que a função logística é dada pelo inverso do *logit*, viabilizando desta forma a transformação deste em probabilidade.

$$logit(p) = \log\left(\frac{p}{1-p}\right) = \log(p) - \log(1-p) \quad (3)$$

Para se comparar a chance de sucesso de um grupo em relação a outro grupo, avalia-se a razão de chance (*odds ratio*) (4), sendo esta a diferença entre o *logit* de duas probabilidades, que equivale ao logaritmo da razão de chances.

$$\log(Odds Ratio) = logit(p_1) - logit(p_2) \quad (4)$$

Além de uma aplicação descritiva, a regressão logística também tem aplicação preditora, visto que pode fornecer, por exemplo, a indicação se uma determinada área poderá ter ou não uma plantação de eucalipto, baseando-se em alguns determinantes espaciais, tais quais, características de relevo, disponibilidade hídrica, proximidade de áreas urbanizadas, entre outros. Estes determinantes espaciais constituem as variáveis explicativas ou preditoras do modelo. Quando a regressão possui uma única variável preditora é chamada de regressão simples, porém se determinada regressão possuir diversas variáveis preditoras ou explicativas, esta será uma regressão logística múltipla (5).

$$Y_i = \frac{e^{\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3}}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3}} \quad (5)$$

Dentre os métodos para o ajuste do modelo logístico com a estimativa dos coeficientes de regressão e seus erros padrões, a máxima verossimilhança é o mais rotineiramente utilizado (Tabachnick & Fidell 2007). Para o teste da significância e calibração do modelo buscando o melhor ajuste, podem ser avaliados parâmetros como o *pseudo* R² ou teste de Wald.

Observando as características expostas, percebe-se que a técnica de regressão logística múltipla é bastante adequada para análises que possuem o objetivo de prever a transição do uso e ocupação do solo num determinado período, por meio da combinação de variáveis explicativas da mudança em questão. A aplicação de tais metodologias tem tido grande efetividade em diversas áreas de investigação e na literatura se encontram alguns

resultados publicados com ênfase em estudos que possuem direcionamento para a análise de mudanças de tipologias de uso do solo (Schneider & Pontius 2001, Aspinall 2004, Rouget et al. 2004, McDermid & Smith 2008).

Materiais e métodos

Área de estudo

A área do presente estudo é o Mosaico de Áreas Protegidas do Espinhaço - Alto Jequitinhonha - Serra do Cabral (Figura 1), localizado na porção meridional da grande cordilheira denominada Serra do Espinhaço. A Serra do Espinhaço é uma reserva da Biosfera reconhecida pela UNESCO, sendo esta a Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço. Um modelo de gestão de mosaico engloba diversas áreas protegidas em seu limite, sendo estas denominadas de Unidades de Conservação (UC's), podendo estas ser de Proteção Integral (com normas mais restritivas, impedindo diversas atividades antrópicas) ou de Uso Sustentável (aliam a conservação com atividades antrópicas, tais quais a monocultura de eucalipto). O foco deste modelo de gestão é a integração, buscando o melhor entendimento entre os anseios da população local, governo, terceiro setor e setor privado buscando assim melhores maneiras para a conservação da biodiversidade. O Mosaico de Áreas Protegidas do Espinhaço possui uma área total de aproximadamente 1.900.000 hectares, possuindo em seus limites ecossistemas e geossistemas de grande valor.

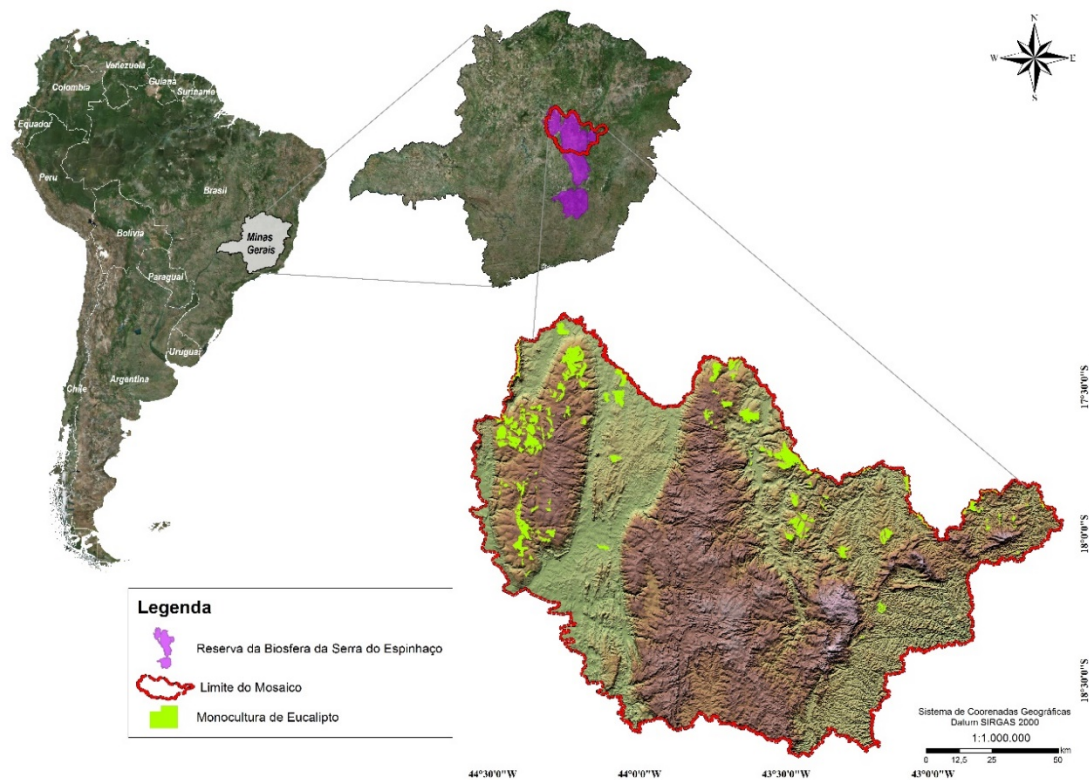


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo

Imagens de satélite

Para a análise da dinâmica da configuração espacial das plantações de eucalipto na área de estudo, foi realizado um mapeamento temático utilizando técnicas de Processamento Digital de Imagens (PDI). Foram utilizadas imagens de satélites da missão LANDSAT. Para o ano de 1984 foram utilizadas imagens multiespectrais do satélite LANDSAT 5 captadas pelo sensor “*Thematic Mapper*” (TM). As imagens deste sensor são muito utilizadas em análises multitemporais, visto o grande tempo de operação deste satélite, que forneceu imagens entre o período de 1984 a 2012. Para o mapeamento temático da paisagem no ano de 2013 foram utilizadas imagens do satélite LANDSAT 8, sendo este o mais recente da missão LANDSAT, fazendo parte do projeto “*The LANDSAT Data Continuity Mission*” (LDCM), que possibilitará a continuidade na obtenção de imagens

periódicas da superfície terrestre em diferentes resoluções espaciais e espectrais. Estes dois satélites possuem sensores capazes de prover imageamento da superfície global, entre outras, com resolução espacial de 30 metros (Visível, Infravermelho Próximo e Infravermelho de Ondas Curtas).

Processamento digital de imagens

Os processamentos realizados envolvem a utilização de algoritmos implementados em programas de PDI. O pré-processamento, realce da imagem e posterior classificação da imagem foram realizados no programa para processamento de imagens *ERDAS Imagine*. Na fase de pré-processamento as imagens foram reprojetadas para o datum utilizado no estudo (SIRGAS 2000 - Fuso 23k Sul) e para a correção atmosférica foi utilizado o método “*Dark Object Subtraction*” (DOS) (Chavez 1988). Para o realce da imagem foi aplicado um realce linear de histograma. O realce de contraste produz uma ampliação do intervalo original dos níveis de cinza, de forma que eles são exibidos num intervalo maior. Este processo não aumenta a quantidade de informação contida na imagem, o objetivo é apresentar a mesma informação contida nos dados brutos, porém de uma forma mais claramente visível ao intérprete. Devido à grande extensão da área foi necessário a realização do procedimento de mosaico entre as 5 cenas do satélite para total recobrimento da área, sendo estas de órbita/ponto: 217/72, 217/73, 218/72, 218/73 e 219/72.

Para a classificação das imagens neste estudo, foi utilizado um classificador supervisionado por máxima verossimilhança (MAXVER). Na classificação supervisionada, o usuário seleciona amostras representativas para cada uma das classes

que se deseja identificar na imagem. As classes selecionadas para esta classificação foram: água, área urbanizada, vegetação arbórea, vegetação herbácea e solo exposto. Foram adquiridas 30 amostras de treinamento para cada classe. Após a classificação foi realizada a interpretação visual da imagem, procedimento de pós-classificação no qual um especialista humano extrai as informações baseando-se na inspeção visual da imagem. Este procedimento foi realizado com apoio de um Sistema de Informação Geográfico (SIG), o programa *ArcGIS 10.1*. Esta etapa foi realizada para a inserção da classe temática eucalipto, que é foco da presente investigação e também da classe campo rupestre, que é uma tipologia característica da área estudada. Justifica-se esta etapa pelo fato de que a classe vegetação arbórea inclui as espécies nativas da região e também as exóticas de porte arbóreo, tais quais o eucalipto. Levando em conta que o formato espacial proveniente de sua plantação em solo é característico, foi possível realizar a distinção das áreas com plantação de eucalipto. Para a classe Campo Rupestre partiu-se do pressuposto sustentado por diversas investigações científicas, de que esta tipologia ocorre principalmente acima de 900 m de altitude, em montanhas cujas rochas são de origem pré-cambriana que foram remodeladas por movimentos tectônicos, estando associados, principalmente, a afloramentos de quartzito, arenito e minério de ferro.

Deteção e previsão da expansão do eucalipto

A detecção da possível expansão ou redução em termos quantitativos dos hectares (ha) plantados de eucalipto foi realizada de forma generalizada para todo o período analisado (1984 – 2013), por meio de uma álgebra (subtração) entre as camadas de mapeamento categórico dos anos de 1984 e 2013.

Para a estimativa da influência de variáveis espacialmente alocadas na expansão das plantações de eucalipto com o objetivo de proporcionar uma previsão futura de tendência foi aplicado o procedimento de regressão logística múltipla. Para aplicação desta técnica foi utilizado o módulo *LOGISTICREG* do programa *IDRISI Selva* (Eastman 2011).

Inicialmente foi necessário selecionar variáveis que exercem influência no processo de expansão da monocultura do eucalipto e criar imagens raster para representa-las. A seleção destes determinantes espaciais foi direcionada com base em estudos do autor principal deste artigo e também por meio de indicações feitas por um grupo multidisciplinar de especialistas com conhecimento da realidade espacial estudada. Esta forma de definição de variáveis é conhecida como “*knowledge-driven evaluation*” (Bonham-Carter 1994). Foram selecionadas como variáveis independentes as distâncias de áreas urbanas, das rodovias, das bordas de floresta nativa e das bordas de plantações de eucalipto.

A próxima etapa foi a criação de uma imagem dicotômica de plantações de eucalipto no período analisado (1984-2013), em outras palavras, foi criada uma imagem representando as áreas que não eram eucalipto em 1984 e se tornaram eucalipto no ano de 2013. Essa imagem será a variável dependente a ser utilizada na regressão logística. Para a criação das imagens de distância e da imagem dicotômica em formato raster, foram utilizados os comandos *IMAGE CALCULATOR* e *DISTANCE* do programa *IDRISI Selva*.

De posse das imagens representando as variáveis preditoras e da imagem dicotômica será possível realizar a regressão logística. Inicialmente foram utilizadas como variáveis

independentes as imagens de distância de 1984, buscando assim a identificação da influência destas variáveis na formação do cenário de plantações de eucalipto vigente em 2013. Após a constatação da influência das variáveis é possível a criação de um cenário futuro, ou seja, realizar uma previsão de como se dará a expansão do eucalipto na área, utilizando agora como variáveis independentes, as imagens de distância de 2013. Dentro desta lógica, iremos criar um cenário para o ano de 2042, ou seja, após decorridos 29 anos da última constatação provida pelo mapeamento temático das plantações de eucalipto.

Resultados e discussões

A avaliação da classificação das imagens obteve um resultado de índice Kappa de 0,78 para 1984 e 0,79 para 2013 que, de acordo com a tabela de avaliação deste índice, indica uma classificação de boa qualidade, com pouca confusão entre as classes, resultando assim em mapeamentos confiáveis para as respectivas análises a serem realizadas para os anos de 1984 e 2013 (Figura 2).

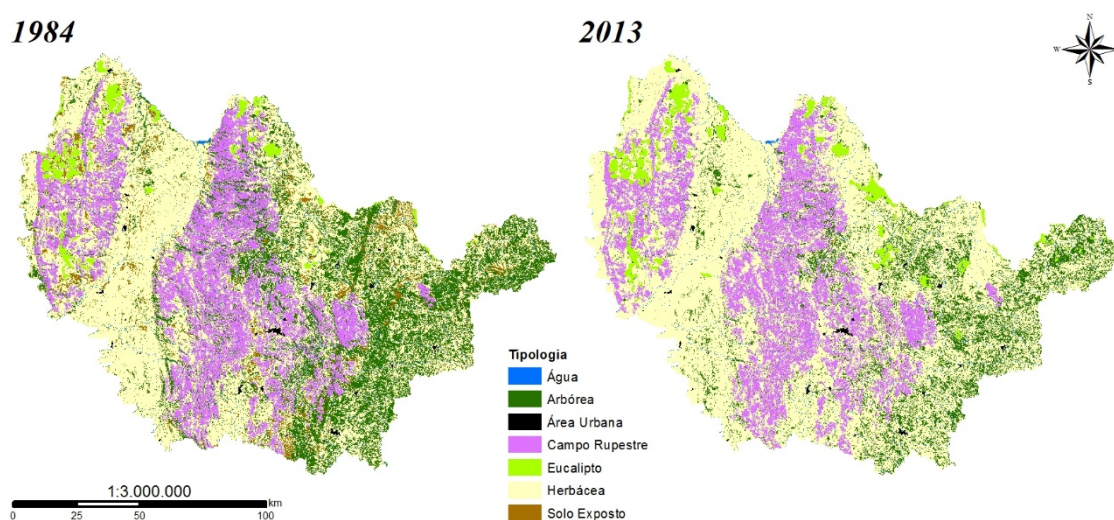


Figura 2: Mapeamento das tipologias de uso e ocupação do solo (1984 – 2013)

A paisagem em estudo apresenta área total de aproximadamente 1.892.447 ha, sendo que, mais da metade da área é formada por vegetação do tipo herbácea (Figura 3). Nessa classe, o presente mapeamento engloba as pastagens, os campos limpos e áreas de cultivo, exceto as áreas com plantações de Eucalipto, que foi considerada como uma classe única. Mesmo não havendo condição de divisão de distinção da classe natural campo limpo pela classificação da imagem de satélite, podemos dizer, por conhecimento in loco e até mesmo pelo padrão da paisagem observado na imagem, que a classe maior contribuinte para o alto valor desta tipologia é a pastagem.

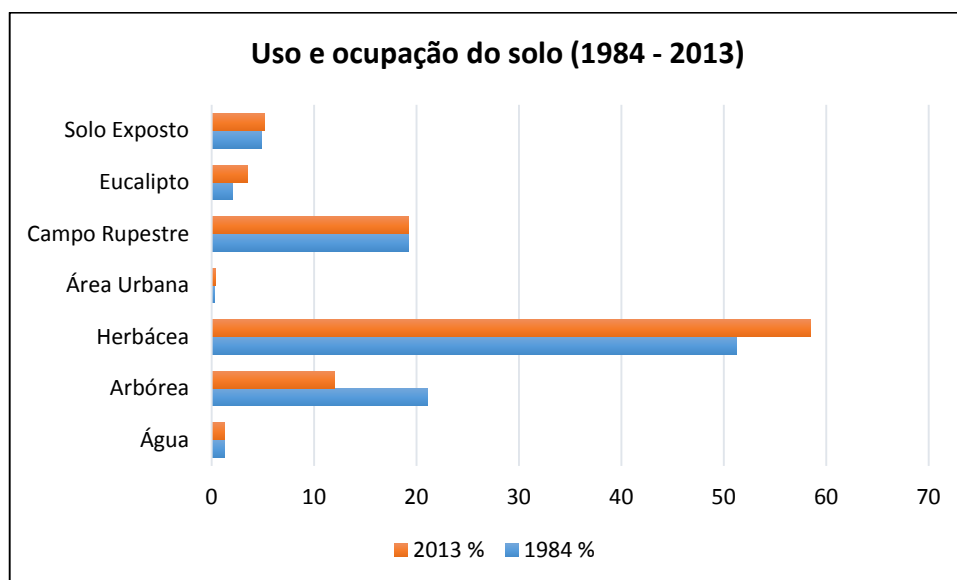


Figura 3: Gráfico comparativo da mudança do uso do solo (1984-2013)

De acordo com os dados da (Tabela 1) percebe-se que, no período analisado, todas as tipologias de vegetação tiveram queda de área existente, exceto a tipologia eucalipto, que praticamente dobrou de tamanho, com um aumento de quase 30.000 ha de área plantada. Nota-se também uma grande diminuição de espécies arbóreas nativas, representando em 2013 cerca de 12 % da área total, contra os 21 % que apresentava em 1984.

Tabela 1: Cálculo de área das tipologias de uso do solo

TIPOLOGIA	1984		2013	
	Área (hec)	%	Área (hec)	%
Água	24.126,10	1,27	24.115,90	1,27
Arbórea	397.896,00	21,03	228.066,00	12,05
Herbácea	969.391,00	51,22	1.106.829,17	58,49
Área Urbana	5.406,04	0,29	7.405,11	0,39
Campo Rupestre	364.303,00	19,25	362.971,00	19,18
Eucalipto	38.787,00	2,05	66.078,90	3,49
Solo Exposto	92.538,30	4,89	96.981,36	5,13
TOTAL	1.892.447,44	100	1.892.447,44	100

A partir da aplicação do método de regressão logística múltipla, utilizando como variáveis independentes as seguintes imagens de distância: distâncias de áreas urbanas (*urbDIST*), distância de rodovias (*rodDIST*), distância das bordas de floresta nativa (*floDIST*) e distância das bordas de plantações de eucalipto (*eucDIST*) (Figura 4). Os valores dos coeficientes da regressão logística obtidos foram os apresentados na equação (6). O valor do parâmetro *pseudo-R*² obtido foi de 0,2303.

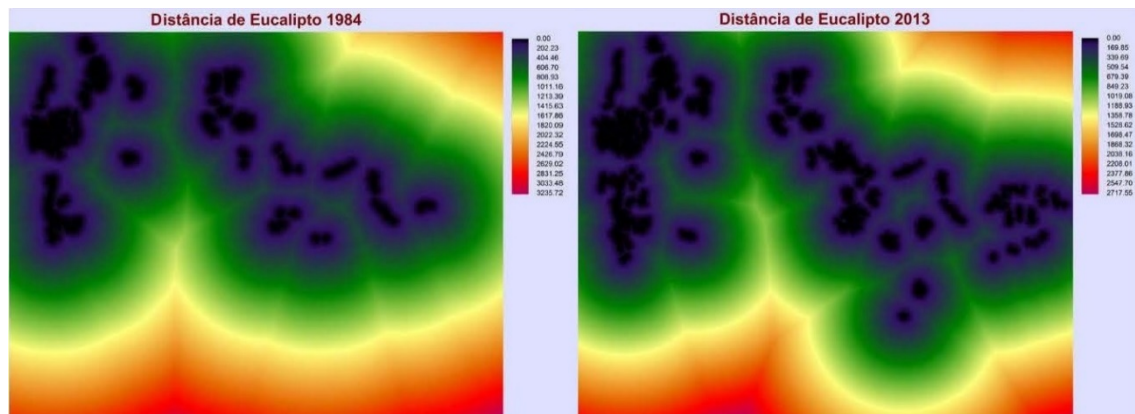


Figura 4: Exemplo de imagem de distância utilizada para Eucalipto (1984-2013)

$$\begin{aligned}
 \text{logit}(euc) = & -2.1273 - 0.004137 * eucDIST - 0.013844 \\
 & * rodDIST - 0.000466 * urbDIST - 0.002677 * floDIST
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

O *pseudo-R²* apresenta valores entre 0 e 1, sendo que valores próximos a 1 indicam melhor ajuste. O valor do parâmetro encontrado foi baixo, indicando pouco ajuste do modelo, podendo este ser considerado insatisfatório para a explicação do fenômeno analisado. Mas este fato não invalida a metodologia, servindo inclusive como um guia para uma melhor calibração do modelo, com a escolha ou combinação de outras determinantes espaciais que possam proporcionar um melhor ajuste do modelo.

Com base no modelo gerado, uma projeção de cenário para o ano de 2042 (Figura 5) indica um grande avanço do eucalipto na área. Observou-se que a tendência de expansão do eucalipto foi delineada, em grande parte, nas adjacências de áreas já ocupadas por plantações de eucalipto. Tal situação é coerente, pois o padrão dinâmico de crescimento desta tipologia tende a ocorrer nas proximidades de áreas já plantadas, visto a posse de propriedade das terras e a infraestrutura e logística para colheita e transporte da produção.

Nota-se também, que algumas áreas de expansão do eucalipto foram delineadas no interior de UC's de Proteção Integral (Figura 5), situação com potencial para vir a desencadear diversos conflitos ambientais e territoriais, assim como a perda da conectividade na paisagem.

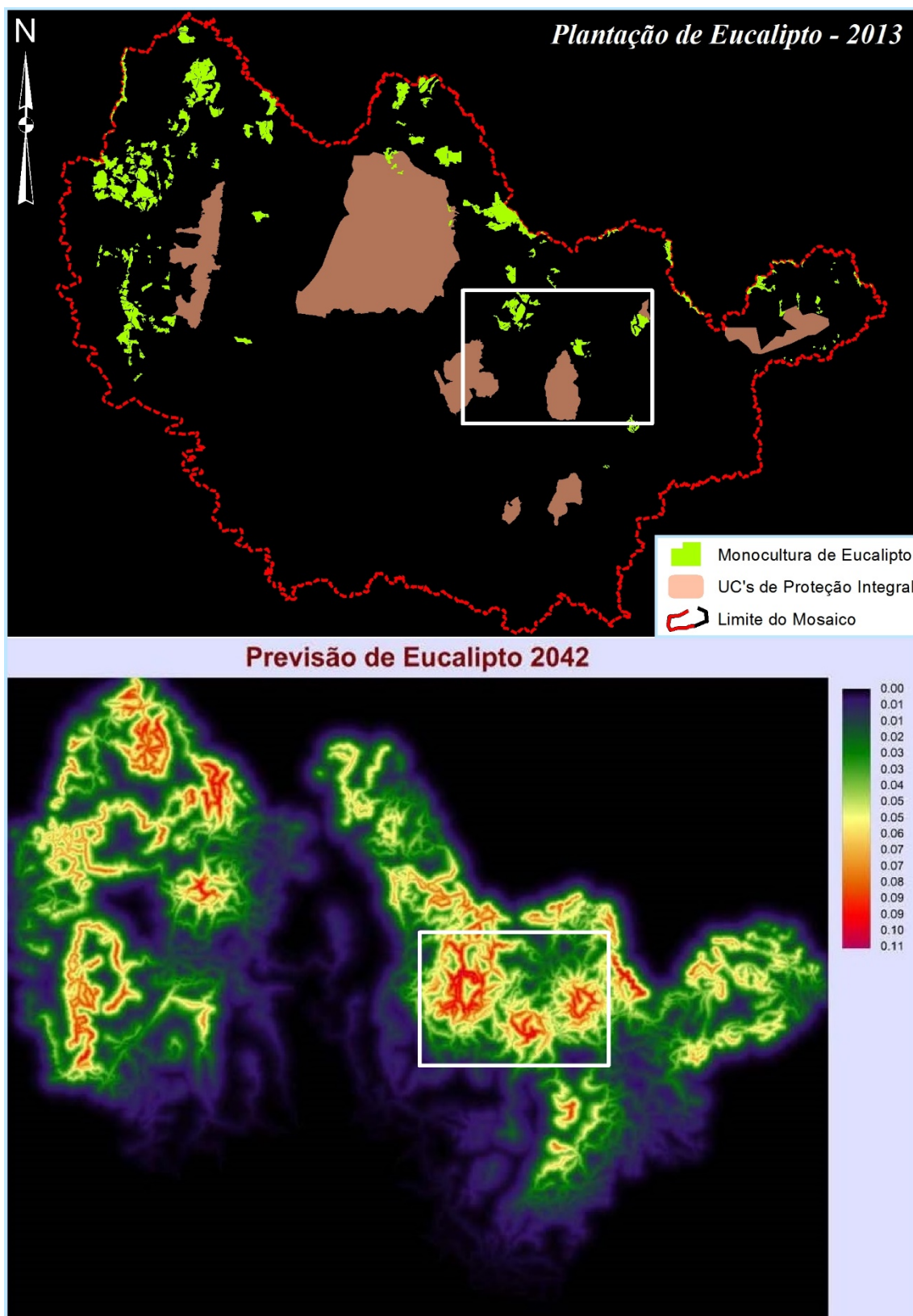


Figura 5: Cenário de plantações de eucalipto para o ano de 2042

Conclusão

A análise temporal da expansão da monocultura de eucalipto, permitiu avaliar a crescente tendência dessa tipologia nos limites do Mosaico de Áreas Protegidas do Espinhaço. A expansão da atividade de monocultura de eucalipto pode vir a representar impactos negativos para a região, sob o ponto de vista ambiental. Dentro desta temática, a redução da biodiversidade e alteração do regime hídrico são os mais preocupantes.

Para viabilizar um melhor ajuste do modelo e a construção de cenários mais realísticos, indica-se a calibração do modelo com utilização de outras variáveis preditoras, tais quais os limites de áreas protegidas, rede de drenagem, dados de estimativa de população, informações acerca de outros tipos de produção agrícola e também de outras atividades industriais, entre outras, que tenham potencial para atuar como determinante espacial na explicação da dinâmica de expansão do eucalipto.

Referências bibliográficas

Aspinall, R. (2004). Modelling land use change with generalized linear models: a multi model analysis of change between 1860 and 2000 in Gallatin Valley, Montana. *Journal of Environmental Management*, 72: 91-103.

Chavez, P.S. (1988). An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment* 24: pp.459-479.

Eastman, J.R. (2011). *IDRISI Selva: Guide to GIS and Image Processing*. Worcester: ClarkLabs. 327 p.

Hosmer, D.W., Lemeshow, S. (2000). *Applied Logistic Regression*, 2nd ed.. [S.l.]: New York; Chichester, Wiley.

Rouget, M., Richardson, D.M., Milton, S.J., Polakow, D. (2004). Predicting invasion dynamics of four alien *Pinus* species in a highly fragmented semi-arid shrubland in South Africa. *Plant Ecology* 152: 79-92.

Schneider, L., Pontius, R.R. (2001). Modeling land-use change in the Ipswich watershed, Massachusetts, USA. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 85: 83-94.

Spedding, C. (1997). Sustainable agriculture in developed and developing countries in the future. Réduit: AMAS/Food and Agricultural Research Council.

Tabachnick, B.G., Fidell, L.S. (2007). Using multivariate statistics. Boston, Pearson Education, Inc.