

A expansão do reflorestamento com eucalipto e seus efeitos na estrutura da paisagem: bacia hidrográfica do Rio Piracicaba e Região Metropolitana do Vale do Aço – Minas Gerais

Carlos Henrique Pires Luiz
Mestre em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais – UFMG

Prof. Dr. Sergio Donizete Faria
Universidade Federal de Minas Gerais

Maria Isabel Sobral Escada
Pesquisadora da Divisão de Processamento de Imagens do INPE

Resumo

As mudanças na cobertura da terra provocam impactos ambientais e têm como uma das principais consequências a alteração da estrutura da paisagem. O estudo da mudança da paisagem pode ser realizado por meio da análise de sua estrutura e composição. Os municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba e da Região Metropolitana do Vale do Aço – RMVA, em contrapartida ao desenvolvimento econômico ocorrido recentemente, passam por transformações na cobertura da terra associadas à substituição da cobertura vegetal natural por áreas de pastagem e reflorestamento com eucalipto. Para investigar as consequências desse fenômeno na estrutura da paisagem, no presente trabalho são analisadas as mudanças na cobertura da terra no período de 1985 a 2013. Os resultados mostram que áreas de reflorestamento com eucalipto aumentaram 11,62% no período e, as florestas e pastagens diminuíram 9,15% e 3,55%, respectivamente. A análise das transições mostra que 96,97% das áreas que mudaram para reflorestamento com eucalipto eram cobertas por floresta ou pastagem. A análise da estrutura da paisagem mostra que entre 1985 e 2013 houve perda o aumento da fragmentação e do isolamento das manchas de floresta e diminuição da fragmentação e do isolamento das manchas de reflorestamento. Caso a demanda por reflorestamentos continue crescendo, conforme observada entre 1985 e 2013, é preciso estabelecer políticas e ações conservacionistas para que a expansão do reflorestamento não se dê à custa das florestas e de outros tipos de vegetação nativa, fortemente impactados por essa atividade no período observado.

Palavras-chave: Padrão de mudança da cobertura da terra, Análise da Paisagem, Vale do Aço.

Abstract:

Changes in land cover have caused many environmental impacts, with change on landscape pattern as one of its main consequences. The study of landscape change can be accomplished through analysis of its structure and composition. In contrast to recent economic development the municipalities of the Piracicaba River basin and Metropolitan Area Vale do Aço have been suffering changes in land cover related to the replacement of natural vegetation and pasture cover by eucalyptus reforestation areas. To investigate the consequences of this phenomenon on the landscape structure, this work analyzed changes in land cover in the 1985-2013 period. The results show that eucalyptus reforestation areas increased by 11.62% in the period, and forests and pastures declined 9.15% and 3.55%, respectively. The transition analysis shows that 96.97% of the areas that have been changed to reforestation with eucalyptus were previously covered with forests or pasture. The analysis of landscape structure shows that between 1985 and 2013 there was loss of connectivity between the largest patches of forest and increasing in reforestation patches size. If the demand for reforestation keeps growing, as observed between 1985 and 2013, it will be need to establish conservation policies and actions to prevent the expansion of reforestation at the expense of forests and other native vegetation, strongly impacted by this activity in the observed period.

Key-Words: : Land cover change pattern, Landscape analysis, Vale do Aço.

cpiresluiz@gmail.com
sergiofaria@ufmg.br
isabel@dpi.inpe.br

Introdução

A compreensão de como as mudanças na cobertura da terra influenciam as alterações da paisagem e o equilíbrio das relações ecológicas tem despertado a atenção de pesquisadores, pois o entendimento das causas dessas mudanças e suas implicações são úteis na proposição de ações econômicas ambientalmente sustentáveis.

A substituição das matas nativas por reflorestamento, principalmente de eucalipto, é uma prática crescente, que foi intensificada a partir de incentivos fiscais, como os da Lei 5.106/1966 (BRASIL, 1966). A expansão do reflorestamento no país colocou o Brasil em papel de destaque no cenário mundial em relação à produção de produtos oriundos de madeira de reflorestamento. Segundo dados da Associação Brasileira de Florestas Plantadas – ABRAF, o Brasil é hoje o terceiro maior produtor de celulose e o nono na produção de papel (ABRAF, 2015). As exportações de celulose saltaram de 8,0 para 16,4 milhões de toneladas/ano, enquanto a produção de papel passou de 7,8 para 10,3 milhões de toneladas/ano e a produção de carvão vegetal apresentou pequena variação, de 17,6 para 17,8 milhões de toneladas/ano, no período entre 2002 e 2014 (ABRAF, 2015).

Diante desse quadro, é perceptível a existência de uma demanda crescente por reflorestamento que pode ter efeitos positivos e negativos a longo prazo. No aspecto ambiental, existem problemas relacionados à substituição das florestas nativas e à consequente perda da biodiversidade; por outro lado, esse tipo de cultivo permite aumentar a captação de carbono atmosférico e contribuir para redução do efeito estufa, enquanto as árvores não são cortadas. No aspecto socioeconômico, esse tipo de cultura traz problemas como a formação de grandes latifúndios ligados às empresas do setor, em detrimento das pequenas propriedades rurais e modos de produção tradicionais, de forma que a população raramente é beneficiada ou incluída no novo sistema de produção. Por outro lado, com o estabelecimento da indústria de papel, de celulose e da siderurgia há geração de emprego, renda e crescimento econômico para a região.

Embora existam pontos controversos em relação ao plantio de eucaliptos, o fato é que existe uma crescente demanda de matéria prima, principalmente pelas indústrias siderúrgicas, de papel e de celulose. Assim, nesse cenário, a perspectiva que se apresenta é de expansão das florestas plantadas, sendo necessária uma avaliação dos impactos da expansão do eucalipto em suas várias dimensões, sendo uma delas a ambiental.

Nos estudos ambientais, o avanço tecnológico tem proporcionado ferramentas e dados para o monitoramento das mudanças da cobertura vegetal e análise de alteração da paisagem. Por meio do emprego de técnicas de geoprocessamento, com o uso de dados de sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas (SIG), é possível produzir mapas temáticos para esses estudos, com maior acurácia e confiabilidade, diminuindo a subjetividade e o tempo de processamento dos mapeamentos (FUJACO et al., 2010).

As mudanças na cobertura da terra refletem na alteração dos elementos que compõem a paisagem. A mensuração de como essas mudanças interferem na paisagem é objeto de estudo da Ecologia da Paisagem, que é uma ciência que busca interpretar os diferentes padrões de organização dos elementos que compõem a paisagem, através do estudo da sua estrutura, função e mudança (FORMAN e GODRON, 1986).

Alguns autores se dedicaram a definição do conceito de paisagem, dentre esses, é possível destacar Bertrand (1968); Forman e Godron (1986) e Turner e Gardner (1991). Esses últimos definem paisagem como uma área espacialmente heterogênea onde três características fundamentais devem ser consideradas: estrutura, função e mudança. A análise da estrutura trata das relações espaciais entre os elementos da paisagem (tamanho, quantidade, forma e arranjo espacial das manchas, corredores e matriz); a função se refere à interação entre os elementos espaciais (fluxo de energia); e a mudança é responsável por alterações na estrutura e, conseqüentemente, na função dos elementos da paisagem ao longo do tempo. O embasamento do presente trabalho e as suas análises estão sob a ótica estrutural da paisagem, e dos seus três elementos formadores – mancha, corredor e matriz. Esses elementos são definidos por Forman e Godron (1986) da seguinte forma: manchas são coberturas não-lineares e homogêneas que se distinguem em aparência da vizinhança; os corredores correspondem às estruturas lineares homogêneas que diferem da vizinhança e conectam pelo menos duas manchas anteriormente unidas; e a matriz é o elemento mais extenso e conectado da paisagem, e desempenha um papel dominante em seu funcionamento.

As análises de estrutura da paisagem no presente trabalho são realizadas com base nesses três elementos e por meio de métricas da paisagem, que quando aplicadas sobre dados multi-temporais da cobertura da terra possibilitam detectar a presença e a dinâmica de diferentes padrões de cobertura da terra em relação à área, densidade, perímetro, forma e conectividade (TURNER e GARDNER, 1991). Com base nessas análises é possível avaliar o grau de alteração da paisagem e suas implicações para conservação. Uma das principais conseqüências da fragmentação da paisagem é o aumento do isolamento das manchas de vegetação nativa. Isso pode levar a perda de habitats, extinções locais e a possíveis desequilíbrios na cadeia alimentar, refletindo em eventual perda da biodiversidade. Na avaliação do grau de alteração da estrutura da paisagem, análises podem ser realizadas por meio de métricas, uma vez que as características da paisagem em relação a sua estrutura são observáveis, descritíveis e quantificáveis (LANG e BLASCHKE, 2009). A aplicação dessas métricas de paisagem resulta em informações, como por exemplo, sobre o número de manchas, área das manchas, número de áreas núcleo e grau de isolamento e conectividade das manchas, que são medidas que, no conjunto, possibilitam mensurar alterações na estrutura da paisagem.

A fim de entender melhor as mudanças da cobertura da terra e suas conseqüências na fragmentação da estrutura da paisagem ao longo do tempo, esse trabalho visa analisar as mudanças provocadas pela expansão do reflorestamento com eucalipto a partir de uma abordagem conjunta, que envolve o uso de técnicas e dados de sensoriamento remoto, geoprocessamento e análise da estrutura da paisagem. O uso combinado dessas técnicas compõe um ferramental para detecção de mudanças da cobertura da terra, subsidiando a análise da estrutura de paisagens e, possibilitando observar, por exemplo, fenômenos como o aumento do isolamento das manchas de vegetação nativa e a fragmentação da paisagem.

É nesse contexto de expansão das áreas de reflorestamento com eucalipto que se encontra a região que envolve os municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba e da Região Metropolitana do Vale do Aço – RMVA, pólo de crescimento econômico em Minas Gerais. O desenvolvimento econômico dessa região teve como uma das principais consequências a alteração da cobertura vegetal e da estrutura da paisagem. Como forma de estudar as alterações decorrentes da expansão do eucalipto nessa região, este trabalho se propõe a analisar as transformações na cobertura da terra e na paisagem entre 1985 e 2013. Para realizar essa análise, além de quantificar as mudanças da cobertura da terra nesse período, é avaliada a influência da dinâmica do reflorestamento com eucalipto com base na aplicação de métricas de paisagem.

Área de estudo

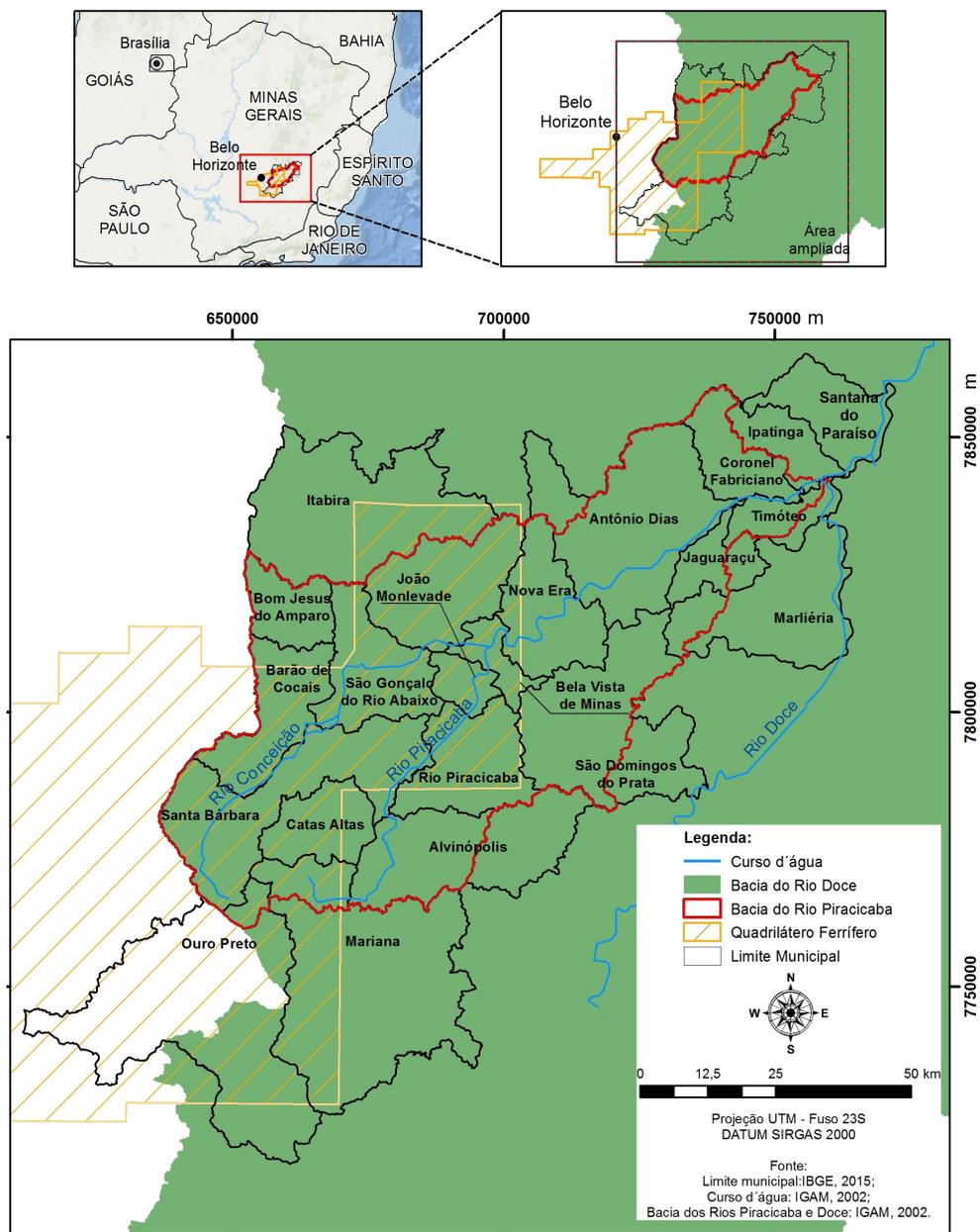
Na Figura 1 é apresentado um mapa de localização da área de estudo. A área de estudo incorpora os municípios que compõem a Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba e a RMVA, totalizando 21 municípios. Essa área visa contemplar a dinâmica da expansão do eucalipto, que na região do Vale do Aço ocorre principalmente na Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba e na RMVA, onde estão concentradas indústrias siderúrgicas, de papel e de celulose. Essas indústrias começaram a ser instaladas na região a, com a implantação da Usina Belgo Mineira em 1937; da Companhia Vale do Rio Doce em 1942, e logo após, da Companhia de Aços Especiais de Itabira (ACESITA), em 1944; da Usina Siderúrgica de Minas Gerais S/A (USIMINAS), em 1956; e da Celulose Nipo-Brasileira (CENIBRA), em 1973.

A bacia hidrográfica do Rio Piracicaba faz parte do alto curso do Rio Doce, abrigando importante área de recarga hídrica. Além disso, essa bacia faz parte do Quadrilátero Ferrífero e do Vale do Aço (Figura 1), regiões onde estão localizados municípios ligados a práticas econômicas como mineração, indústria siderúrgica, indústria de papel e de celulose. A RMVA, instituída pela Lei Complementar 51/1998 (MINAS GERAIS, 1998) é formada pelos seguintes municípios: Ipatinga, Coronel Fabriciano, Timóteo e Santana do Paraíso (Figura 1).

A paisagem da área de estudo é composta por um conjunto de tipos de cobertura da terra, com predomínio das áreas de Floresta Estacional Semidecidual Montana – FESM, Reflorestamento com Eucalipto e Pastagem. Uma paisagem típica observada em campo (janeiro e outubro de 2013) na área de estudo é apresentada na Figura 2.

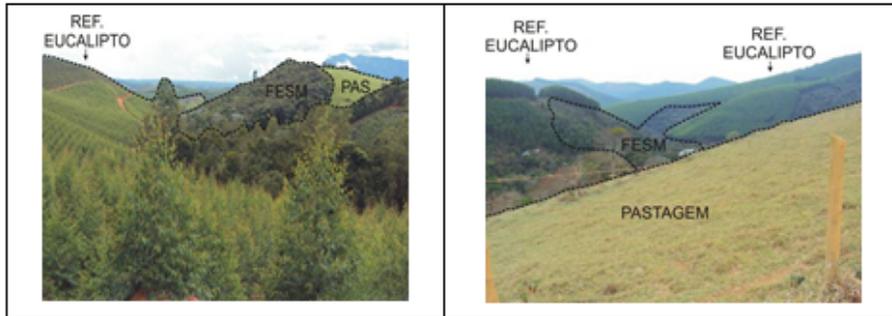
Para melhor entendimento da dinâmica e das interferências citadas ao longo do texto, a seção a seguir é dedicada à descrição da metodologia proposta para análise da cobertura da terra e suas implicações na alteração da estrutura da paisagem.

Figura 1 Mapa de localização da área de estudo.



Elaboração dos autores

Figura 2 Paisagem típica da área de estudo.

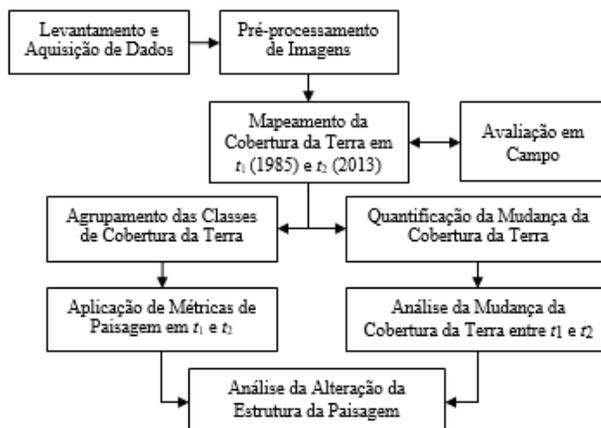


Elaboração dos autores

Metodologia

A metodologia do presente trabalho é apresentada de forma esquemática no fluxograma da Figura 3.

Figura 3 Fluxograma da metodologia.



Elaboração dos autores

A primeira etapa da metodologia consiste no levantamento e aquisição da base cartográfica e das imagens para mapeamento da cobertura da terra. Na segunda e terceira etapas são executados os processamentos para correção das imagens de t1 (1985) e t2 (2013) e os mapeamentos da cobertura da terra para essas duas datas, com técnicas de classificação, os quais são avaliados com dados coletados em campo, por meio de entrevistas com moradores e de observações das coberturas e usos da terra. Na quarta etapa, a partir dos mapas de cobertura da terra das duas datas estudadas, são identificados os padrões de mudança e, as transições existentes entre as coberturas, são analisadas. Na quinta etapa as classes dos mapas de cobertura da terra são agrupadas em categorias que são utilizadas na sexta etapa, a qual consiste na análise da estrutura da paisagem com uso de métricas. A partir dessa análise são identificadas as mudanças nos elementos que estruturam a paisagem como, por exemplo, a variação no número e tamanho de manchas e da área núcleo, além do grau de isolamento das manchas.

Levantamento e aquisição de dados

Para o mapeamento e avaliação da mudança da cobertura da terra e análise da alteração da estrutura da paisagem, é construída uma base de dados composta da base cartográfica e de imagens da área de estudo. O critério para seleção das imagens envolve a escolha das datas das imagens para que não haja interferências de ocorrências sazonais na análise, como variação de umidade, por exemplo, e a presença de nuvens. As imagens utilizadas no presente trabalho são oriundas dos satélites/sensores LANDSAT 5/TM e LANDSAT 8/OLI e foram obtidas conforme bandas, órbitas/pontos e datas apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 Imagens para mapeamento e avaliação da mudança da cobertura da terra e análise da alteração da estrutura da paisagem.

Satélite/Sensor	Bandas	Orbita/Ponto	Data
LANDSAT 5/TM	4, 5 e 7	217/73 e 217/74	04/07/1985
LANDSAT 5/TM	4, 5 e 7	218/73 e 218/74	25/06/1985
LANDSAT 8/OLI	5, 6 e 10	217/73 e 217/74	02/08/2013
LANDSAT 8/OLI	5, 6 e 10	217/73 e 217/74	25/08/2013

Avaliação em campo

O levantamento em campo tem como objetivo a avaliação do mapeamento das classes de cobertura da terra obtidas com as imagens de t1 (1985) e t2 (2013), e entrevistas com moradores sobre a evolução dessas classes de cobertura na região. A escolha dos pontos de avaliação/validação visitados em campo baseia-se na avaliação da classificação das imagens realizada previamente, e em pontos de dúvida extraídos desse mapeamento. O levantamento em campo foi realizado em duas campanhas: a primeira, no período de 24 a 27 de janeiro de 2013, e a segunda no período de 4 a 6 de outubro de 2013.

Mapeamento da cobertura da terra

Para mapeamento da cobertura da terra é feita a correção geométrica das cenas LANDSAT com base numa mesma referência espacial e, em seguida, o mosaico dessas cenas. Para correção geométrica, as cenas são registradas no sistema de coordenadas UTM – fuso 23S, datum horizontal SIRGAS 2000. As imagens LANDSAT 5/TM são corrigidas utilizando pontos de controle adquiridos do mosaico de imagens de alta resolução do satélite Rapideye, dos meses de maio e junho de 2010, cedidas pelo Instituto Estadual de Florestas – IEF, já corrigidas radiometricamente e, geometricamente alinhadas para a projeção UTM (RAPIDEYE AG, 2012). Para a reamostragem das imagens é utilizado o interpolador vizinho mais próximo, uma vez que esse método é considerado mais apropriado para mapas categóricos ou temáticos, e que os valores das células de entrada não são alterados (MATHER, 2004). Para atenuação dos efeitos atmosféricos decorrentes das condições de aquisição das imagens em diferentes datas, as mesmas são normalizadas segundo o método do objeto escuro, conforme descrito por Chavez (1988).

A definição das classes para o mapeamento da cobertura da terra tem como ponto de partida a avaliação das informações do levantamento disponibilizado no ZEE/MG (SCOLFORO, OLIVEIRA e CARVALHO, 2008), resultando nas seguintes classes: Floresta Estacional Semidecidual Montana (FESM), Reflorestamento com Eucalipto, Solo Preparado ou em Descanso para Reflorestamento com Eucalipto, Pastagem; Mineração, Área Urbana, Vegetação Campestre Natural, Solo Exposto e Corpo d'Água. No mapeamento final da cobertura da terra, as classes Reflorestamento com Eucalipto e Solo Preparado ou em Descanso para Reflorestamento com Eucalipto são agrupadas, sendo consideradas, neste trabalho, como um mesmo uso.

A segmentação e classificação das imagens têm como base o agrupamento em uma mesma classe de cobertura daquelas feições que apresentam características semelhantes, como por exemplo, nível de cinza e textura. Para a segmentação e classificação das imagens foi utilizado o Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas – SPRING – versão 5.1.8 (CAMARA et al, 1996). O método de segmentação escolhido foi o de crescimento de regiões (RICHARDS, 1993), com padrões de similaridade igual a 40 e área de 300 pixels. A imagem segmentada foi classificada por um algoritmo de classificação supervisionada (RICHARDS, 1993), no qual é utilizada a medida de distância de Bhattacharyya (JIA e RICHARDS, 1999) para mensurar a separabilidade estatística espectral das diferentes classes.

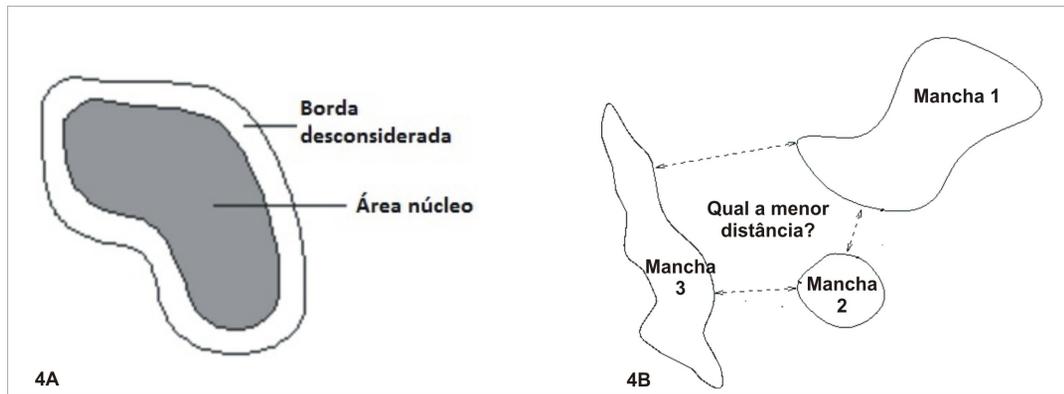
Análise da mudança da cobertura da terra

A análise da mudança da cobertura da terra é realizada com base na comparação dos mapas de cobertura da terra para t1 (1985) e t2 (2013). As áreas das classes de cobertura são quantificadas e apresentadas em hectares. Em seguida os valores de área são transformados em percentual de representatividade em relação à área de estudo. Para melhor compreensão da dinâmica da mudança da cobertura da terra são gerados gráficos das principais transições e o sentido delas.

Análise da alteração da estrutura da paisagem

Essa análise tem como objetivo avaliar a alteração da estrutura da paisagem, entre t1 (1985) e t2 (2013), em relação às seguintes métricas: área, número de manchas, número de áreas núcleos e isolamento das manchas (FORMAN e GODRON, 1986; MACGARIGAL e MARKS, 1995; RIBEIRO, 2010). O uso dessas métricas tem como objetivo avaliar o grau de fragmentação da paisagem, fornecendo subsídios para discussão sobre as implicações das mudanças da cobertura da terra em relação à conservação, possibilitando obter informações sobre a área das coberturas naturais que fornecem habitat para as espécies nativas; bem como sobre seu arranjo espacial e o grau de subdivisão e isolamento dessas coberturas (LANG e BLASCHKE, 2009). Para isso são utilizadas ferramentas implementadas em SIG, como cálculo de área, área de influência (buffer) e distância euclidiana para o vizinho mais próximo, conforme esquema apresentado na Figura 4. No presente trabalho, as métricas foram calculadas no V-late (Vector-based Landscape Analysis Tools Extension), software desenvolvido por Lang e Tiede (2003), que funciona como uma extensão do ArcGIS. As áreas núcleo foram definidas considerando uma borda de 100 m, conforme indicado na Figura 4A. Esse valor foi adotado baseado na literatura (ALVES JR. et al, 2006; RIBEIRO, 2010;), considerando que dentro dessa distância as manchas apresentam condições transicionais de habitats, onde normalmente há maior interferência de distúrbios externos, como aumento de insolação, redução da umidade e a influência de ventos (RIBEIRO, 2010).

Figura 4 Esquema para cálculo das métricas no V-late: A) métrica da área núcleo; B) métrica do grau de isolamento.



Fonte: Adaptado de McGarigal e Marks (1995)

A análise da paisagem é feita para um agrupamento de classes de cobertura da terra que possuem ecossistemas relativamente semelhantes em uma mesma paisagem. O agrupamento proposto neste trabalho, para análise da paisagem, é apresentado na seção de resultados – na Tabela 3. As classes de cobertura “Curso d’Água” e “Outras” (Área Urbana, Solo Exposto e Mineração) não entram nos cálculos das métricas da paisagem, pois são coberturas pouco representativas na paisagem e menos capazes de exercer a função de corredor entre as manchas nativas.

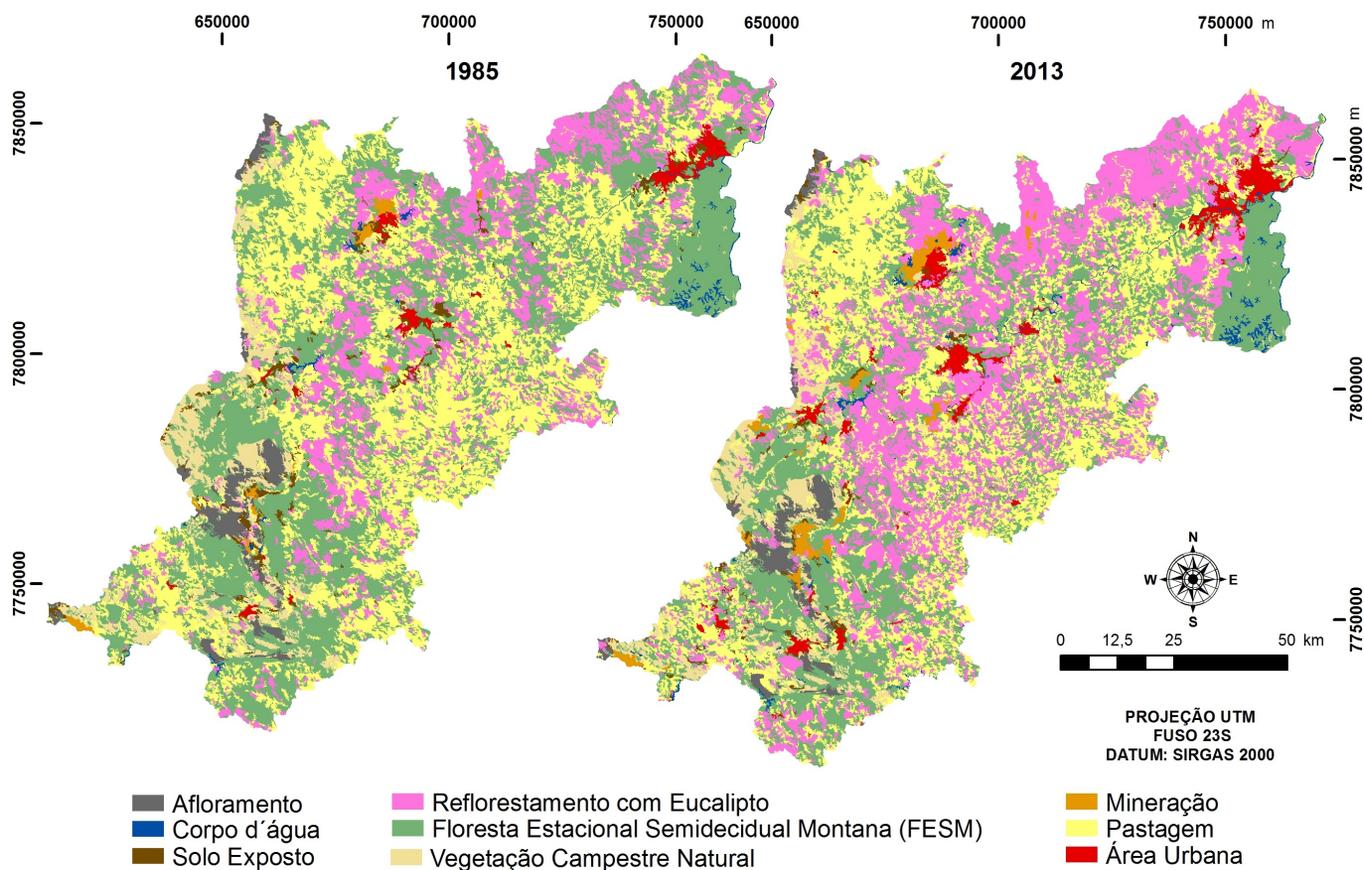
Resultados

Análise da mudança da cobertura da terra

Os resultados dos mapeamentos da cobertura da terra para 1985 e 2013 são apresentados na Figura 5.

A área e percentual para cada classe de cobertura da terra, para 1985 e 2013, são apresentados na Tabela 2, bem como a variação em área (perda ou ganho) entre essas duas datas.

Figura 5 Mapeamentos da cobertura da terra: 1985 e 2013.



Elaboração dos autores.

Tabela 2 Área e percentual das classes de cobertura da terra para 1985 e 2013 e a variação da área (perda ou ganho) entre essas duas datas.

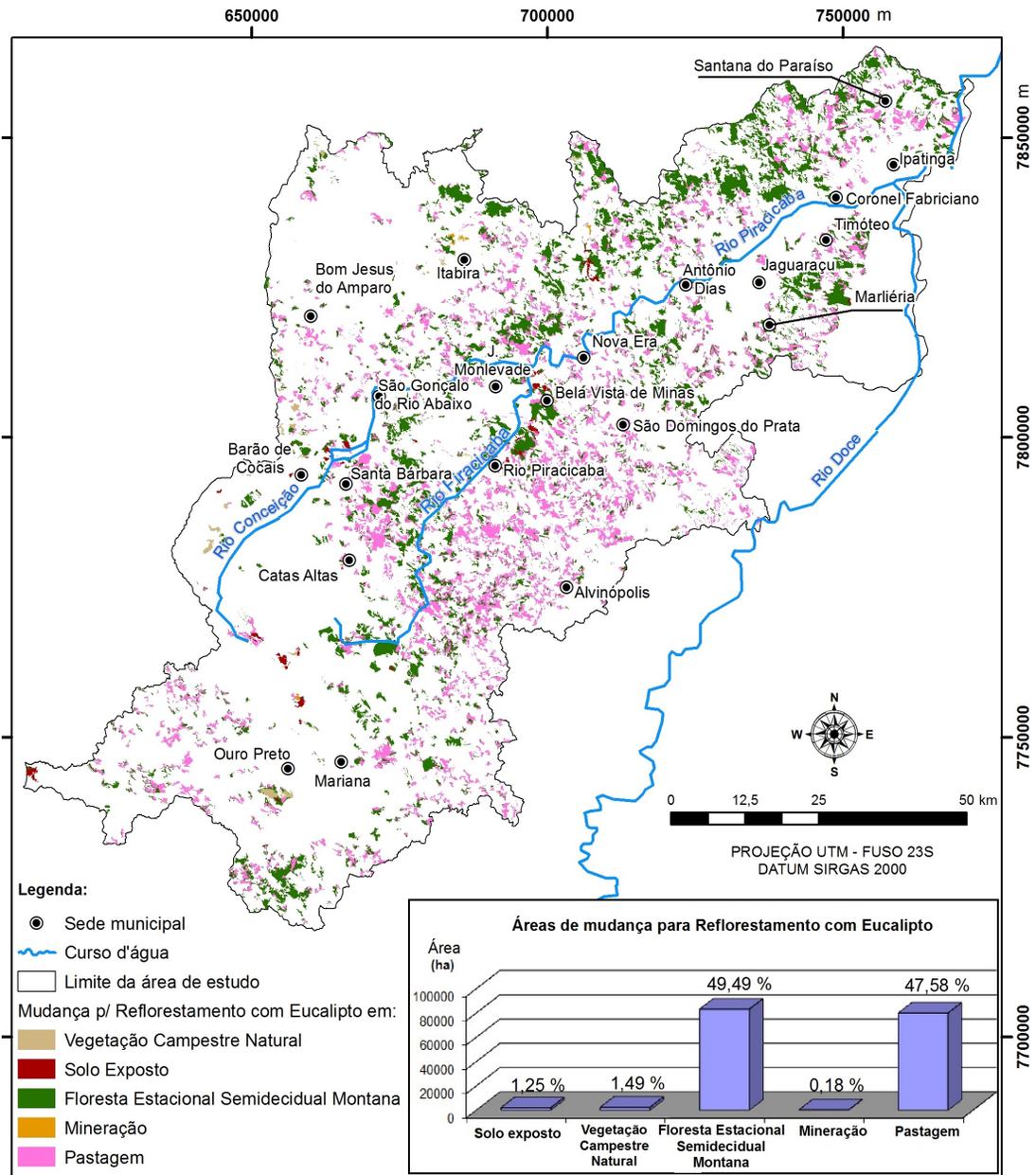
Classe de Cobertura	Área					
	1985		2013		Variação (%)	
	(Ha)	(%)	(Ha)	(%)	Perda	Ganho
Afloramento	23.925,38	2,37	22.849,16	2,26	4,49	-
Corpo d'Água	6.636,33	0,66	7.189,35	0,71	-	7,69
Solo Exposto	14.761,29	1,46	7.707,26	0,76	47,78	-
Vegetação Campestre Natural	60.246,78	5,96	53.867,30	5,33	10,58	-
Reforestamento com Eucalipto	157.260,00	15,55	277.884,99	27,47	-	43,40
Floresta Est. Sem. Montana	397.674,03	39,32	303.884,24	30,04	23,58	-
Mineração	5.216,26	0,52	15.405,99	1,52	-	66,14
Pastagem	333.813,31	33,00	295.313,91	29,20	11,53	-
Área Urbana	11.957,32	1,18	27.388,50	2,71	-	56,34
Total	1.011.490,70	100,00	1.011.490,70	100,00	-	-

Organização dos autores.

As classes de cobertura mais representativas em extensão na área de estudo, são: FESM, Pastagem e Reflorestamento com Eucalipto. Mas de maneira geral, há aumento das áreas de Reflorestamento com Eucalipto e diminuição das áreas de Pastagem e de FESM, no período de 1985-2013. Em 1985, a FESM representava 39,32% da área de estudo e em 2013 diminuiu para 30,04%; a Pastagem, que em 1985 cobria 33% passou para 29,20% em 2013; e as áreas de Reflorestamento com Eucalipto que ocupavam 15,55%, em 1985, passaram a ocupar 27,47% em 2013. Quanto à variação das áreas (perda ou ganho) nesse período, houve perda de 23,58% da FESM e 11,53% da Pastagem; e ganho de 43,40% de Reflorestamento com Eucalipto.

Através da análise de transição entre as classes de cobertura notou-se que há uma relação entre as classes FESM, Pastagem e Reflorestamento com Eucalipto. Essa relação de mudança entre essas classes de cobertura pode ser observada na Figura 6, que apresenta a localização e a contribuição de cada classe de cobertura no aumento das áreas de Reflorestamento com Eucalipto. Essa figura apresenta também um gráfico com os percentuais indicando quanto cada uma das classes de cobertura da terra contribuiu para o aumento da área dessa classe.

Figura 6 Mapa das áreas de mudança para Reflorestamento com Eucalipto no período 1985-2013.



Elaboração dos autores.

Em março de 2012 houve um ligeiro aumento nos totais pluviométricos pontuais em relação a normal, 35mm em média. As precipitações foram principalmente de caráter convectivo e se concentraram nas regionais Pampulha e Venda Nova (FIG.5f). A topografia e a orientação das vertentes nessas regionais facilitam o intenso aquecimento superficial nos dias mais claros. Essa porção do município possui um relevo mais suavizado e com pouca obstrução a chegada efetiva da radiação solar. A presença da Lagoa da Pampulha também é outro fator que contribui para o aumento da instabilidade atmosférica local, existe um aporte constante de umidade para a camada laminar.

Nos meses de outubro e novembro de 2012 (FIG. 6a e 6b) os maiores totais mensais foram registrados na regional Barreiro no contato com a Serra do Rola Moça, e na regional Pampulha, nas proximidades da Estação Ecológica da UFMG - destaque para os pontos 1 (70,8mm /Out.2012), 17 (360,6mm/Nov.2012) e 16 (345,8mm/Nov.2012). A CEDEC (2013) registrou entre os dias 4 e 15 de novembro vários pontos de alagamentos no município, queda de árvores, desabamentos parciais de muros e cinco vítimas fatais.

Dezembro de 2012 foi marcado por precipitações bem abaixo da normal climatológica (292,0mm). O motivo foi a participação de sistemas atmosféricos estáveis sob influência do ASAS. O maior acumulado para esse mês foi registrado no ponto 8 (281,8mm), regional Norte, e menor no ponto 2 (32,0mm), porção nordeste da regional Barreiro (FIG.6c). Esses pontos estão distantes dos núcleos de aquecimento apresentados na figura 3.

Em janeiro de 2013 houve um aumento significativo nos totais mensais, destaque para os pontos 12 (602,0mm) e 4 (587,2mm) ambos localizados no contato com a Serra do Curral (FIG.6d). A CEDEC (2013) registrou nos dias 07 e 20 de janeiro ocorrências de alagamentos em diversas avenidas e ruas nas regionais Oeste, Leste e Noroeste. Veículos foram arrastados pela força das águas e algumas famílias ficaram temporariamente isoladas. Apesar dos transtornos e prejuízos materiais, não foram registrados óbitos.

Em fevereiro de 2013 todos os pontos amostrais tiveram acumulados mensais abaixo da climatologia, o maior valor foi observado no ponto 3 (150,6mm) localizado na regional Noroeste (FIG.6e). Esse comportamento foi determinado pela presença constante do ASAS em 82,1% dos dias. As três primeiras semanas de março (2013) foram marcadas pelo prolongamento do veranico que teve início no mês anterior. Precipitações mais intensas ocorreram somente na última semana do mês. Novamente, os totais pluviométricos mais significativos em março de 2013 foram registrados em locais próximos a Serra do Curral e distantes dos núcleos de aquecimento (FIG.6f).

De modo geral, nos dias em que as precipitações no município foram de baixa intensidade, ocasionadas essencialmente por instabilidades locais (ILC), os totais diários acumulados nas estações climatológicas oficiais (pontos 15, 16 e 17) superaram em poucos milímetros alguns pontos da área de estudo. Já nos eventos de grande intensidade, característicos de forte instabilidade convectiva e atuação de sistemas sinóticos (ZCAS, LI e FF), os totais pluviométricos nos pontos sob a influência direta do alinhamento topográfico Serra do Curral/Serra do Rola Moça (1, 3, 9 e 13) foram superiores. As regiões consideradas de risco, em especial as encostas e aquelas assentadas nos terraços dos ribeirões Arrudas e Onça, foram as mais afetadas pelas chuvas.

Na Figura 6 é possível destacar que as mudanças de FESM para Reflorestamento com Eucalipto estão mais concentradas entre os municípios de Itabira e Ipatinga e isso se deve a proximidade das siderúrgicas, USIMINAS, AÇOMINAS e CENIBRA, que possuem grandes áreas de reflorestamento nessa região. As mudanças de Pastagem para Reflorestamento com Eucalipto estão mais concentradas na margem direita do Rio Piracicaba, onde predomina a criação do gado leiteiro e que nos últimos anos alguns produtores têm arrendando suas terras para reflorestadoras e siderúrgicas, ou mesmo se tornado produtores de carvão vegetal (PAULA, 1997). No gráfico da Figura 6 é possível observar que as classes de cobertura FESM, com 49,49%, e Pastagem, com 47,58%, são aquelas que mais contribuíram para o crescimento do Reflorestamento com Eucalipto. Somadas, essas duas coberturas representam 96,97% do aumento do Reflorestamento com Eucalipto.

Análise da alteração da estrutura da paisagem

Para análise da alteração da estrutura da paisagem as classes de cobertura da terra mapeadas para 1985 e 2013 foram agrupadas conforme apresentado na Tabela 3, seguindo critérios estabelecidos no Manual Técnico da Vegetação Brasileira, publicado pelo IBGE (2012).

Tabela 3 Agrupamento das classes de cobertura da terra.

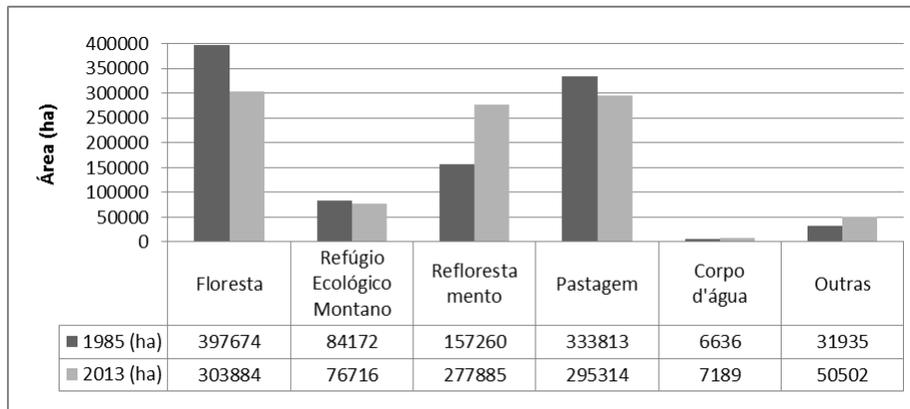
Agrupamento	Classes de Cobertura da Terra
Outras	Area Urbana, Solo Exposto e Mineração
Pastagem	Pastagem
Refúgio Ecológico Montano	Afloramento e Vegetação Campestre Natural
Floresta	Floresta Estacional Semidecidual Montana
Reflorestamento	Reflorestamento com Eucalipto
Corpo d'Água	Corpo d'água

Organização dos autores.

No gráfico da Figura 7 são apresentadas as áreas (em hectares) das classes de cobertura agrupadas (Tabela 3), para 1985 e 2013.

Áreas das classes de cobertura agrupadas para 1985 e 2013.

Figura 7



Elaboração dos autores.

O gráfico da Figura 7 reflete o resultado apresentado na Tabela 2, ou seja, é possível observar também nesse agrupamento de classes de cobertura da terra a diminuição das áreas de Floresta e Pastagem e aumento do Reflorestamento. As classes de cobertura da terra agrupadas que apresentaram menor variação foram: Corpo d'Água – que apresentou uma área pequena em relação as demais classes; e Refúgio Ecológico Montano – por ser uma cobertura localizada em áreas de difícil acesso, e, portanto, com menor potencial de interferência antrópica.

A seguir são apresentados os resultados da aplicação das métricas utilizadas para avaliar a alteração da estrutura da paisagem, entre 1985 e 2013: número e área de manchas, número de áreas núcleos e isolamento das manchas. Conforme dito na metodologia, as classes de cobertura “Curso d'Água” e “Outras” não entraram nos cálculos das métricas da paisagem, por serem coberturas pouco representativas e com menor capacidade de exercer a função de corredor entre as manchas de vegetação nativa.

Número e área de manchas

Na Tabela 4 é apresentado o número de manchas para as três classes de cobertura da terra agrupadas em Floresta, Refúgio Ecológico Montano e Reflorestamento, para 1985 e 2013, em seis intervalos de área (hectares).

Área (ha)	Número de Manchas					
	Floresta		Refúgio Ecológico Montano		Reflorestamento	
	1985	2013	1985	2013	1985	2013
< 50	707	1.931	168	536	481	470
50 – 250	407	1.243	315	71	472	282
250 – 500	762	127	37	36	429	619
500 – 1.000	46	33	14	11	22	28
1.000 – 10.000	38	34	15	15	26	21
10.000 – 30.000	2	4	1	1	0	0
30.000 – 50.000	2	1	0	0	0	1
50.000 – 70.000	1	0	0	0	0	1
Total	1.965	3.373	550	670	1.430	1.422

Elaboração dos autores.

O resultado da aplicação dessa métrica, como pode ser observado na Tabela 4, mostra que para as três classes, o intervalo de área de até 500 hectares é o que possui maior número de manchas. Isso significa que a paisagem é composta em sua maior parte por um conjunto de pequenas manchas. Esse fato é mais expressivo na classe Floresta, tendo em vista que, no período analisado, o número de manchas de até 500 hectares quase dobrou. As classes Refúgio Ecológico Montano e Reflorestamento também tiveram aumento do número de manchas nesse intervalo de área, mas um aumento menor. Analisando todos os intervalos de área, a classe com menor variação foi a Refúgio Ecológico Montano. Enquanto que, diferentemente das outras classes a classe Reflorestamento teve aumento no número de manchas com área superior a 30.000 hectares. Isso indica que pode ter ocorrido diminuição do isolamento entre as manchas dessa classe, apresentando uma dinâmica inversa das outras classes consideradas.

Número de áreas núcleo

O número de áreas núcleo é utilizado para contabilizar a quantidade ou número de núcleos, desconsiderando uma borda de 100 metros para cada mancha de cobertura. Em uma paisagem fragmentada, onde predominam pequenas manchas de vegetação, o número de áreas núcleo será menor do que o número de manchas. O resultado da aplicação dessa métrica, para 1985 e 2013, é apresentado na Tabela 5.

Classe	Manchas com Area Núcleo	
	1985	2013
Floresta	1.041	1.017
Refúgio Ecológico Montano	278	272
Reflorestamento	814	999

Organização dos autores.

Conforme resultado apresentado na Tabela 5, entre 1985 e 2013 o número de áreas núcleo diminuiu para as manchas de Floresta e Refúgio Ecológico Montano, e aumentou para as manchas de Reflorestamento. Pode-se notar também, comparando a Tabela 4 com a Tabela 5, que as classes de vegetação nativa encontram-se bastante fragmentadas. A Classe Refúgio Ecológico Montano apresenta praticamente metade (51%) do número de manchas em 1985, quando consideradas apenas as manchas que apresentam áreas núcleo, indicando que o tamanho e, provavelmente, a qualidade das manchas, é bastante reduzida. Em 2013, essa proporção é reduzida para 39%, indicando um aumento do processo de fragmentação. Na classe floresta o mesmo ocorre, o número de manchas, considerando apenas as manchas que apresentam área núcleo, representa 53% do número total de manchas em 1985. Em 2013 essa proporção se reduz para 30%, ou seja, apenas 30% dos remanescentes florestais não sofrem efeito de borda. Para as áreas de reflorestamento ocorre o contrário, as manchas com áreas núcleo representavam 57% das manchas totais em 1985, enquanto que em 2013 passaram a representar 70%, indicando um aumento das áreas núcleo desta classe. Esse resultado indica que ocorreu, além da expansão das áreas de reflorestamento e aumento do tamanho de suas manchas, uma tendência de fragmentação das manchas de vegetação nativa, resultando em uma paisagem alterada, com áreas de habitat menores e de pior qualidade, na maior parte das vezes, sob efeito de borda.

Isolamento das manchas

Para avaliar o grau de isolamento entre as manchas de cobertura da terra foi calculada a distância euclidiana entre as manchas de Floresta, Refúgio Ecológico Montano e Reflorestamento, para 1985 e 2013, considerando a mancha de mesma classe mais próxima. Na Tabela 6 é apresentado um resumo desse cálculo, contendo cinco intervalos de distância entre manchas de mesma classe.

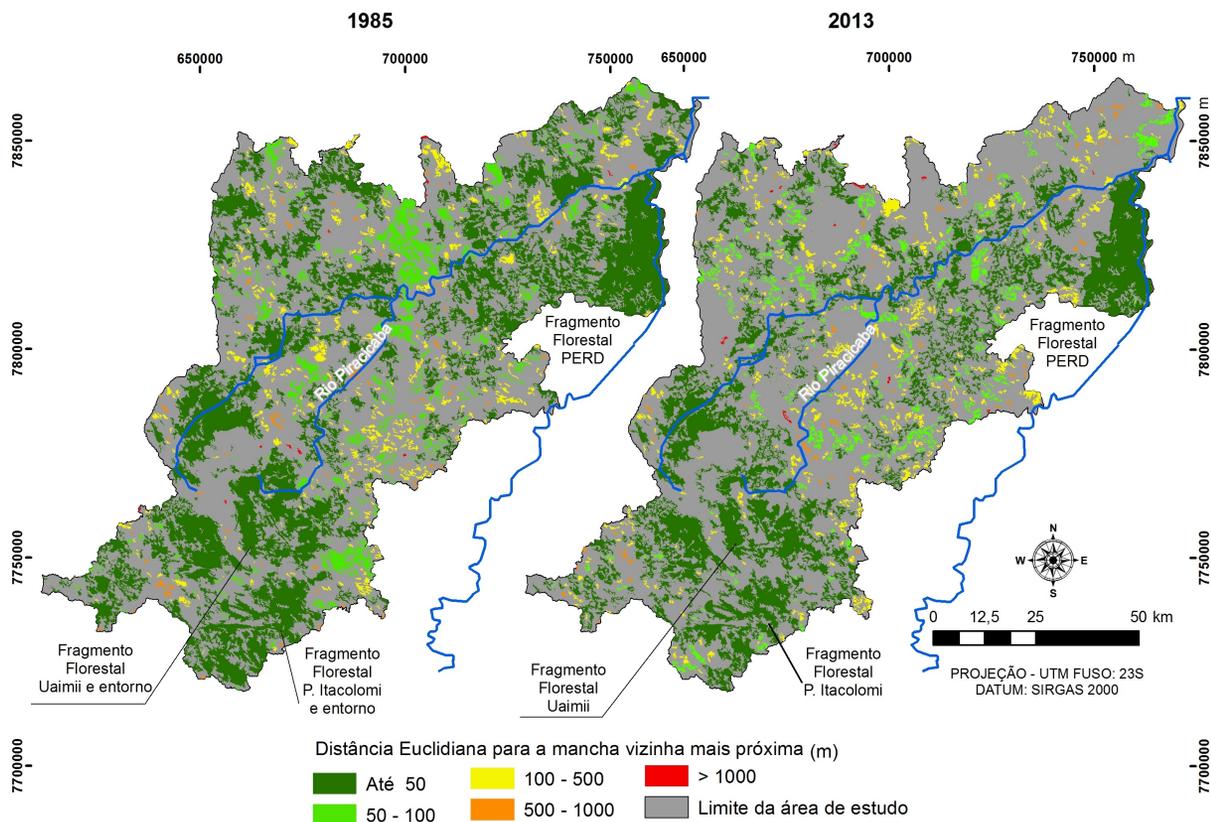
FSIVS6 Número de manchas por intervalos de distância Euclidiana para o vizinho mais próximo de mesma classe, para as classes de cobertura da terra agrupadas: 1985 e 2013.

Distância (m)	Número de Manchas					
	Floresta		Refúgio Ecológico Montano		Reflorestamento	
	1985	2013	1985	2013	1985	2013
< 50 m	1.009	2.764	337	499	663	645
50 – 100	423	632	54	58	249	274
100 – 500	454	569	70	87	326	389
500 – 1000	68	80	30	29	101	90
> 1000	19	11	59	31	91	40
Total	1.973	4.056	550	704	1.430	1.438

Organização dos autores.

Na Tabela 6 é possível observar que nas três classes, a maior parte das manchas está concentrada em uma distância de até 50 m. Esse fato poderia ser um indicativo de que as manchas de todas as categorias são bem próximas. Contudo, esse resultado deve ser avaliado com cuidado, pois, como mostra a Tabela 6, houve um aumento no número total das manchas da classe Floresta nesse período, de 1973 para 4056 manchas, indicando que houve subdivisão de manchas grandes em pequenas manchas, pois a área total dessa classe diminuiu. O mesmo ocorreu com a classe Refúgio Ecológico Montano. Entretanto, a classe Reflorestamento apresentou tendência contrária, pois o número de manchas praticamente se manteve, enquanto a área total aumentou, indicando uma tendência de redução do grau de isolamento dessas manchas. Para melhor ilustrar a medida de isolamento nas classes Floresta e Reflorestamento, nas Figuras 8 e 9 são apresentados os mapas das distâncias euclidianas para o vizinho mais próximo dessas duas classes, em 1985 e 2013, respectivamente.

Figura 8 Mapas da distância euclidiana para o vizinho mais próximo – classe Floresta: 1985 e 2013.

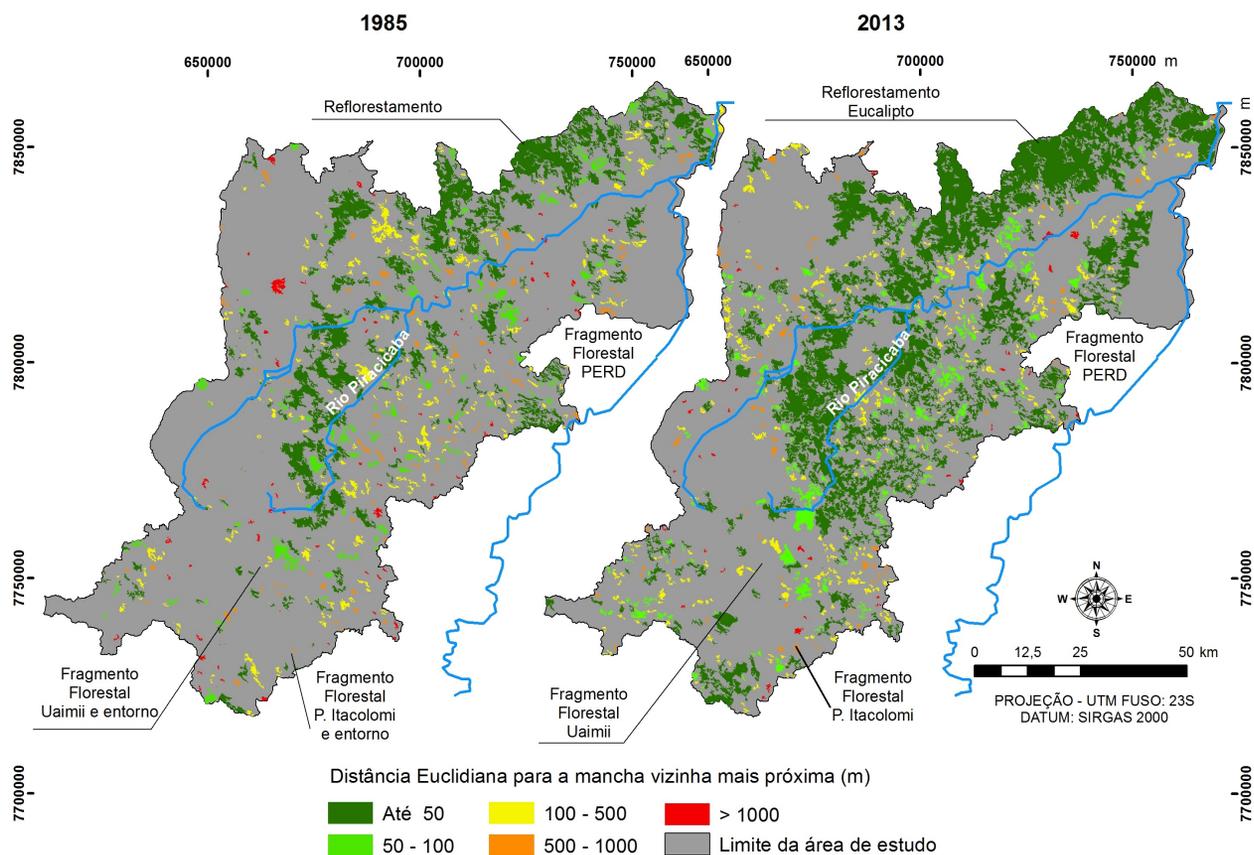


Elaboração dos autores.

Observa-se na Figura 8 que em 1985 as manchas da classe Floresta encontravam-se mais próximas umas das outras que em 2013. Também é possível identificar que muitas das manchas dessa classe, que em 1985 estavam numa distância superior a 50 m, foram suprimidas no período. Dessa forma, houve aumento do isolamento das grandes manchas de vegetação nativa, como as do Parque Estadual do Rio Doce, do Parque Estadual do Itacolomi e da Floresta do Uaimii (Figura 8).

As manchas da classe Reflorestamento tendem a se modificar de maneira contrária a essa dinâmica: observa-se que entre 1985 e 2013 houve uma diminuição do isolamento, conforme mapas apresentados na Figura 9. Essa diminuição está fortemente relacionada à expansão das áreas de reflorestamento e o aumento do tamanho das manchas.

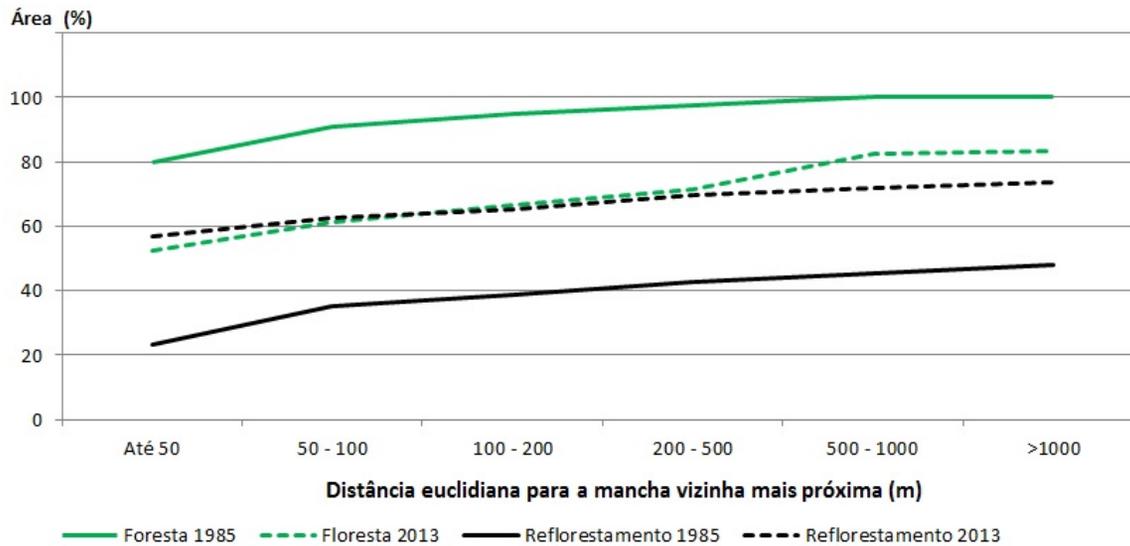
Figura 9 Mapas da distância euclidiana para o vizinho mais próximo – classe Reflorestamento: 1985 e 2013.



Elaboração dos autores.

Para melhor demonstrar a dinâmica de isolamento de manchas na paisagem, no gráfico da Figura 10 é apresentado o comportamento relativo da distância euclidiana para o vizinho mais próximo e do percentual de área para as manchas das classes Floresta e Reflorestamento, entre 1985 e 2013.

Figura 10 Porcentagem de área de manchas das classes Floresta e Reflorestamento por faixas de distância: 1985 e 2013



Elaboração dos autores.

Do gráfico da Figura 10 observa-se que a classe Floresta em 1985, tinha mais de 80% de suas manchas localizadas a uma distância de até 50 m umas das outras, enquanto que em 2013, apenas 53% das manchas encontravam-se a menos de 50 m de distância. Isso é um forte indicativo de que nesse período houve aumento do isolamento das manchas dessa classe. Quanto à classe Reflorestamento em 1985, 23% de suas manchas estavam localizadas a uma distância de até 50 m. Esse valor aumentou para 66% em 2013, mostrando que o grau de isolamento das manchas dessa classe está diminuindo e avançando em áreas adjacentes àquelas que já eram ocupadas por essa cobertura.

Conclusões

Com os resultados da análise da dinâmica da cobertura da terra na Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba e Região Metropolitana do Vale do Aço é possível concluir que as principais mudanças ocorreram nas seguintes classes de cobertura: Reflorestamento com Eucalipto, FESM e Pastagem. Entre 1985 e 2013, houve diminuição das áreas de Pastagem e FESM e aumento das áreas de Reflorestamento com Eucalipto, sendo essa última a classe de cobertura que mais se expandiu nesse período de 28 anos. A expansão das áreas de Reflorestamento com Eucalipto está relacionada ao estabelecimento e expansão das indústrias siderúrgica, de papel e de celulose nessa região. De maneira geral, as transições para reflorestamento se dão a partir das áreas de Pastagem. É possível que grande parte das áreas de pastagem tenha sido originada do desmatamento da FESM durante o período analisado, ou antes de 1985.

Em relação à análise da estrutura da paisagem, os resultados mais expressivos obtidos foram sobre o aumento da fragmentação e do isolamento das áreas de Floresta e a diminuição do isolamento das áreas de Reflorestamento. A tendência observada nesse período é de isolamento das grandes manchas de Floresta, que ficaram restritas quase que exclusivamente às áreas de proteção ambiental. Em contrapartida, as áreas de Reflorestamento tendem a se expandir nas áreas adjacentes a elas, formando grandes manchas e corredores de reflorestamento. A redução do tamanho das manchas de vegetação nativa, no período analisado, afetou o tamanho das áreas núcleo proporcionando menores áreas de habitat e, ao mesmo tempo, maior área sob efeito de borda, podendo afetar negativamente a biodiversidade.

A conversão das áreas de pastagem para reflorestamento, em um primeiro momento, pode ter efeito benéfico para as espécies florestais, conectando os fragmentos florestais e oferecendo proteção as espécies que se deslocam entre esses fragmentos. Entretanto, essas florestas são frequentemente cortadas para abastecimento das indústrias, de forma que esse efeito deve ser avaliado com maior profundidade.

O uso conjunto da avaliação bi-temporal da cobertura da terra com a análise da alteração da estrutura da paisagem permitiu o diagnóstico sobre a expansão do cultivo de eucalipto e suas consequências para o isolamento e fragmentação das áreas de mata nativa. Esse tipo de estudo é indicado para o estabelecimento de políticas ambientais e de ordenamento territorial, contribuindo para o planejamento da ocupação do solo. Embora seja um grande desafio, a compatibilização das atividades industriais e agropecuárias com a conservação ambiental, esta deve ser uma meta a ser alcançada.

Na área de estudo, conforme observado entre 1985 e 2013, é possível que a demanda por reflorestamento continue crescendo, devido ao crescimento da indústria siderúrgica, de papel e de celulose. Essa demanda não deve ser suprida com árvores da mata nativa. A substituição dos remanescentes nativos por reflorestamento com eucalipto pode levar a diminuição da biodiversidade, tendo em vista que as áreas de reflorestamento não são capazes de oferecer as mesmas condições e funções ecológicas para a fauna e flora que a vegetação nativa, sendo um sistema baseado na monocultura, mais simplificado e mais pobre do que o sistema florestal nativo.

Ainda assim, diante da necessidade de conciliar conservação com crescimento econômico, as áreas de reflorestamento com eucalipto podem ter um papel útil na paisagem, desde que implantados em áreas de pastagem, pois, dependendo de seu arranjo e dimensões espaciais, possibilita conectar diferentes fragmentos florestais, promovendo o deslocamento de espécies, facilitando a dispersão de sementes e a colonização dos remanescentes florestais.

A tarefa de conciliar a necessidade econômica com a conservação ambiental não é simples, demanda planejamento e acima de tudo vontade política dos governantes. É preciso, então, fazer uma reflexão sobre os custos e benefícios ambientais e socioeconômicos do investimento em monoculturas como o eucalipto. Atividades econômicas como a silvicultura, e o estabelecimento de indústrias geram riquezas econômicas e criam novos postos de trabalho, mas provocam mudanças no regime das terras, incorporando pequenas propriedades em grandes extensões de terra com o cultivo de eucalipto e excluem os pequenos produtores rurais desse sistema de produção.

Ambientalmente, além dos efeitos negativos como a supressão de áreas de remanescentes florestais, os reflorestamentos, quando implantados em áreas de pastagem, podem ter um papel importante relacionado com o sequestro de carbono, enquanto não são cortados.

Com os resultados apresentados neste trabalho, mostramos o potencial e as contribuições que as pesquisas baseadas em análises da mudança da cobertura da terra e da alteração da estrutura da paisagem, utilizando ferramentas e tecnologias de sensoriamento remoto, geoprocessamento e métricas de paisagem, podem alcançar. Esses estudos são fundamentais para a realização de diagnósticos contribuindo, assim, com informações úteis para o planejamento, ordenamento e gestão do território.

Referências Bibliográficas

- ALVES JR, F. T.; CARLOS F. L. S. BRANDÃO; KLEYBIANA D. ROCHA; LUIZ C. MARANGON; RINALDO L. C. FERREIRA; Efeito de borda na estrutura de espécies arbóreas em um fragmento de floresta ombrófila densa. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 1, n. único, p. 49-56, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF). Anuário estatístico ABRAF 2013: ano base 2012. Brasília: ABRAF, 2013. 142 p.
- BERTRAND, G. Paysage et géographie physique globale: esquisse méthodologique. *Revue Géographique des Pyrenées et du Sud-Ouest*, v. 39, n. 3, p. 249-272, 1968.
- BRASIL. Lei n° 5.106, de 2 de novembro de 1966. Dispõe sobre os incentivos fiscais concedidos a empreendimentos florestais. *Diário Oficial da União*, 5 nov. 1966. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1950-1969/L5106.htm>. Acesso em: 1 fev. 2016.
- CAMARA, G. S.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J.; MITSUO, F. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object oriented data modelling. *Computers & Graphics*, v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996.
- CHAVEZ JR, P. S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment*, v. 24, n. 2, p. 459-479, 1988. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0034425788900193>>. Acesso em: 23 maio 2013.
- FORMAN, R. T. T.; GODRON, M. Landscape ecology. New York: John Wiley & Sons, 1986. 619 p.
- FUJACO, M. A. G.; LEITE, M. G. P.; MESSIAS, M. C. T. B. Análise multitemporal das mudanças no uso e ocupação do Parque Estadual do Itacolomi (MG) através de técnicas de geoprocessamento. *Revista da Escola de Minas*, v. 63, n. 4, p. 695-701, out./dez. 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0370-44672010000400016&script=sci_arttext>. Acesso em: 20 maio 2015.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Manual Técnico da Vegetação Brasileira. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 271 p.
- JIA, X.; RICHARDS, J. A. Segmented principal components transformation for efficient hyperspectral remote-sensing image display and classification. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 37, n. 1, p. 538-542, 1999. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/RecentIssue.jsp?punumber=37>>. Acesso em: 7 fev. 2015.
- LANG, S.; BLASCHKE, T. Análise da paisagem com SIG. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 424 p.
- LANG, S.; TIEDE, D. vLATE extension für ArcGIS: vektorbasiertes tool zur quantitativen landschaftsstrukturanalyse. Innsbruck: ESRI Anwenderkonferenz. 2003. Disponível em: <<http://downloads2.esri.com/campus/uploads/library/pdfs/68464.pdf>>. Acesso em: 5 set. 2015.
- LO, C. P.; YEUNG, A. K. W. Concepts and techniques of geographic information systems. New Jersey: Prentice Hall, 2002. 492 p.
- MCGARIGL, K.; MARKS, B.; FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Forest Service General, US. (Technical Report PNW: 351), 1995.
- MINAS GERAIS. Lei Complementar n° 51, de 30 de dezembro de 1998. Institui a Região Metropolitana do Vale do Aço, dispõe sobre sua organização e funções e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado, Poder Executivo*, 31 dez. 1998. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=2148>>. Acesso em: 14 dez. 2014.
- MATHER, P. M. Computer processing of remotely-sensed images: an introduction. 3rd ed. New York: John Wiley, 2004. 340 p.
- NAVEH, Z.; LIEBERMAN, A. S. Landscape ecology: theory and application. 2nd ed. New York: Springer Verlag, 1994. 360 p.

PAULA, J. A. (Coord.)
Biodiversidade, população e
economia: uma região de
Mata Atlântica. Belo
Horizonte: UFMG/
CEDEPLAR, 1997. 671 p.

RAPIDEYE AG. Satellite
imagery product
specifications. [S.l.]:
Disponível em: <[http://
blackbridge.com/rapideye/](http://blackbridge.com/rapideye/)>.
Acesso em: 19 maio 2013.

RIBEIRO, M. C. Modelos de
simulação aplicados à
conservação de paisagens
fragmentadas da Mata
Atlântica brasileira. 2010. 277
p. Tese (Doutorado em
Ecologia) – Universidade de
São Paulo (USP), São Paulo,
2010. Disponível em:
<[www.teses.usp.br/teses/
disponiveis/41/41134/tde.../
Ribeiro_2010.pdf](http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/41/41134/tde.../Ribeiro_2010.pdf)>. Acesso
em: 10 mar. 2014.

RICHARDS, J. A. Remote
sensing digital image analysis:
an introduction. 2nd ed.
Berlin: Springer-Verlag, 1993.
454 p.

SCOLFORO, J. R. S.;
OLIVEIRA, D. A.;
CARVALHO, L. M. T.
Zoneamento ecológico-
econômico do Estado de
Minas Gerais: zoneamento e
cenário exploratórios. Lavras:
Editora UFLA, 2008. 136 p.

TURNER, B. L. II; MEYER,
B. L. Global land use and
land cover change: an
overview. In: _____. (Ed.).
Changes in land use and land
cover: a global perspective.
Cambridge: Cambridge
University Press, 1994. p. 3–
10.

TURNER, M. G.;
GARDNER, R. H.
Quantitative methods in
landscape ecology. New York:
Springer Verlag, 1991. 536 p.