

PKS

PUBLIC
KNOWLEDGE
PROJECT

**REVISTA DE GEOGRAFIA
(RECIFE)**

<http://www.revista.ufpe.br/revistageografia>

OJS

OPEN
JOURNAL
SYSTEMS

EVOLUÇÃO DO USO DA TERRA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VIEIRA, MONTES CLAROS, MG

Kelly de Oliveira Barros¹, Carlos Antonio Alvares Soares Ribeiro², Gustavo Eduardo Marcatti³, Elias Silva⁴, Vicente Paulo Soares⁵

1. Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Florestal, Viçosa, MG, Brasil. kellyobarros@yahoo.com.br

2. Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Florestal, Viçosa, MG, Brasil. Email: cribeiro@ufv.br

3. Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Florestal, Viçosa, MG, Brasil. Email: gustavomarcatti@gmail.com

4. Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Florestal, Viçosa, MG, Brasil. Email: eshamir@ufv.br

5. Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Florestal, Viçosa, MG, Brasil. Email: vicente@ufv.br

Artigo recebido em 12/03/2015 e aceito em 23/03/2016

RESUMO

As geotecnologias têm sido amplamente empregadas em estudos de alterações na paisagem, como o monitoramento de biomas e da expansão urbana, acompanhamento da evolução do uso da terra, estudos sobre a fragmentação florestal, a cobertura vegetal e a susceptibilidade à erosão, entre tantos outros. O conhecimento do uso e cobertura da terra é considerado fundamental na reversão de um ambiente degradado. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi analisar o processo de evolução do uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do Rio Vieira, localizada no município de Montes Claros, Minas Gerais. Para tanto, uma análise temporal foi realizada utilizando imagens do satélite TM/LANDSAT, nos anos de 1990, 1995, 2000 e 2005. Quatro classes foram identificadas: Área urbana, Vegetação Natural/Reflorestamento, Área agrícola/Pastagem e Solo exposto. Fez-se uso das probabilidades de transição entre as classes em questão, obtidas pela Cadeia de Markov. Na análise da evolução, projetou-se, para um intervalo de 100 anos, o possível comportamento de todas as classes nas combinações dos anos de 1990-2005, 1995-2005 e 2000-2005. As projeções revelaram uma tendência de redução para as atividades agropecuárias assim como da classe Vegetação Natural/Reflorestamento. Identificou-se um aumento da Área urbana, com crescimento pronunciado quando comparado as demais classes, assim como maior demora em atingir seu ponto de equilíbrio. A tendência de crescimento do Solo exposto revela-se preocupante do ponto de vista ambiental no que se tange a degradação da terra.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto; SIG; Balanço Dinâmico.

LAND USE CHANGE IN THE VIEIRA RIVER WATERSHED, MONTES CLAROS, STATE OF MINAS GERAIS, BRAZIL

ABSTRACT

Remote sensing techniques have been widely used to study natural and man-made environments changes, such as monitoring of biomes and urban expansion, monitoring the development of land use, studies on forest fragmentation, vegetation cover and susceptibility to erosion, among others. Knowledge about the land use/land cover (LULC) is a key requirement for reclaiming degraded sites. This study aims to perform a temporal trajectory analysis through quantifying LULC changes within the Vieira river watershed, located in the city of Montes Claros, state of Minas Gerais, Brazil. Using a time series of Landsat/TM data covering the years of 1990-2005 with one image every 5 years, this model was then used to depict LULC distributions spanning over 100 years. The images were classified into four land-use/land-cover classes: Urban area, Natural/Planted Forest, Cropland/Pasture and Bare soil. The probability of transition for every pair of states was calculated and stored into the respective transition matrix. The projections' results showed a trend of reduction on both agricultural activities and Forest

class. An increase in the Urban area, with pronounced growth when compared to the other classes, along with a greater delay in reaching its equilibrium point were noticed in the present study. The observed growth trend for the Bare soil class raises awareness of the causes and the solutions to ongoing land degradation and desertification in this region.

Keywords: Remote Sensing; GIS; Markov Chain; Dynamic Balance.

INTRODUÇÃO

As atividades humanas são responsáveis por grandes mudanças na superfície terrestre. Os reflexos destas alterações acabam sendo percebidos na biodiversidade, na ciclagem de nutrientes, na estrutura e biologia do solo, assim como no clima e no bem-estar humano. Neste sentido, o uso e a ocupação da terra de forma indiscriminada, aliados à falta de técnicas de conservação e manejo, podem provocar profundas alterações no equilíbrio de uma bacia hidrográfica. Destaca-se, assim, o levantamento de uso e cobertura da terra, considerado etapa estratégica para reversão de um ambiente degradado, cujas informações podem ser utilizadas como base para adoção de medidas conservacionistas. Nestes termos, é crescente o interesse em estudos que abordam a forma e o tipo de ocupação no território, sobretudo por parte de gestores públicos. Assim, as informações obtidas podem servir como subsídio às decisões voltadas a uma melhor utilização dos recursos naturais (Fierz e Rosa, 1999; Steffen *et al.*, 2004; Brito e Prudente, 2005; Medeiros e Petta, 2005; Vaeza *et al.*, 2010).

Para execução de um manejo ambiental adequado, considera-se crucial o conhecimento do uso e ocupação da terra da bacia hidrográfica, que também auxilia na mensuração e análise de possíveis degradações ambientais na área de estudo (Leite *et al.*, 2010). Neste contexto, a utilização das geotecnologias para o monitoramento da dinâmica do uso e ocupação da terra possibilita que os dados sejam atualizados com maior frequência e agilidade. A viabilidade econômica envolvida neste processo pode ser considerada como outro ponto de destaque na utilização destas técnicas quando comparado com os métodos convencionais (Vaeza *et al.*, 2010). Ressalta-se ainda a capacidade de alguns *softwares* que trabalham com os Sistemas de Informações Geográficas – SIGs de informar o tipo, a quantidade e a localização dos diferentes usos do espaço, além de calcular as probabilidades de transição entre as classes em questão e de simular o possível uso do solo no decorrer do tempo (Takada *et al.*, 2010).

Diversos estudos têm empregado as geotecnologias na análise das mudanças do uso e ocupação da terra, desde o monitoramento de biomas e da expansão urbana, acompanhamento e prognose da evolução do uso da terra, estudos sobre a fragmentação florestal, a cobertura vegetal e a susceptibilidade à erosão, entre tantos outros (Stow *et al.*, 2004; Xiao *et al.*, 2006, Flamenco-Sandoval *et al.*, 2007; Lopes *et al.*, 2010; Takada *et al.*, 2010; Tang *et al.*, 2012;

Barros, 2012; Batista *et al.*, 2014; Silva e Machado, 2014). Entre as metodologias utilizadas que envolvem os SIGs e/ou Sensoriamento Remoto (SR) para a análise das alterações na paisagem, ressalta-se a Cadeia de Markov, aplicada com este intuito em vários estudos (Almeida *et al.*, 2003; Luijten, 2003; Aurbacher e Dabbert, 2011 e Yang *et al.*, 2007). A Cadeia de Markov é um modelo estocástico que permite que as mudanças de uso da terra sejam simuladas por meio de uma matriz de transição e de informações apenas sobre o estado corrente.

A matriz de transição determina a tendência de mudança de cada célula do grid por meio de transições entre as classes de uso da terra sendo que, cada uma destas células pode adotar qualquer tipo de uso, com comportamento independente das demais. Ressalta-se também que, na Cadeia de Markov, as probabilidades calculadas não variam durante todo período de análise, ou seja, o modelo trabalha com a premissa da estacionariedade. Pontos positivos podem ser apontados na utilização da Cadeia de Markov: é um método simples no que se refere à sua funcionalidade, seja no quesito operacional ou matemático; os dados provenientes do SR e implementados em SIGs são diretamente aplicados, além de que, apenas um volume reduzido de dados é requerido à sua execução. No entanto, a utilização deste modelo também revela pontos negativos, como o fato da espacialização das mudanças ocorridas ser desconhecida e a influência de variáveis externas não ser considerada no processo (Muller e Middleton, 1994; Spathelf e Nutto, 2000; Luijten, 2003; Gomes e Wanke, 2008; Ruhoff *et al.*, 2010).

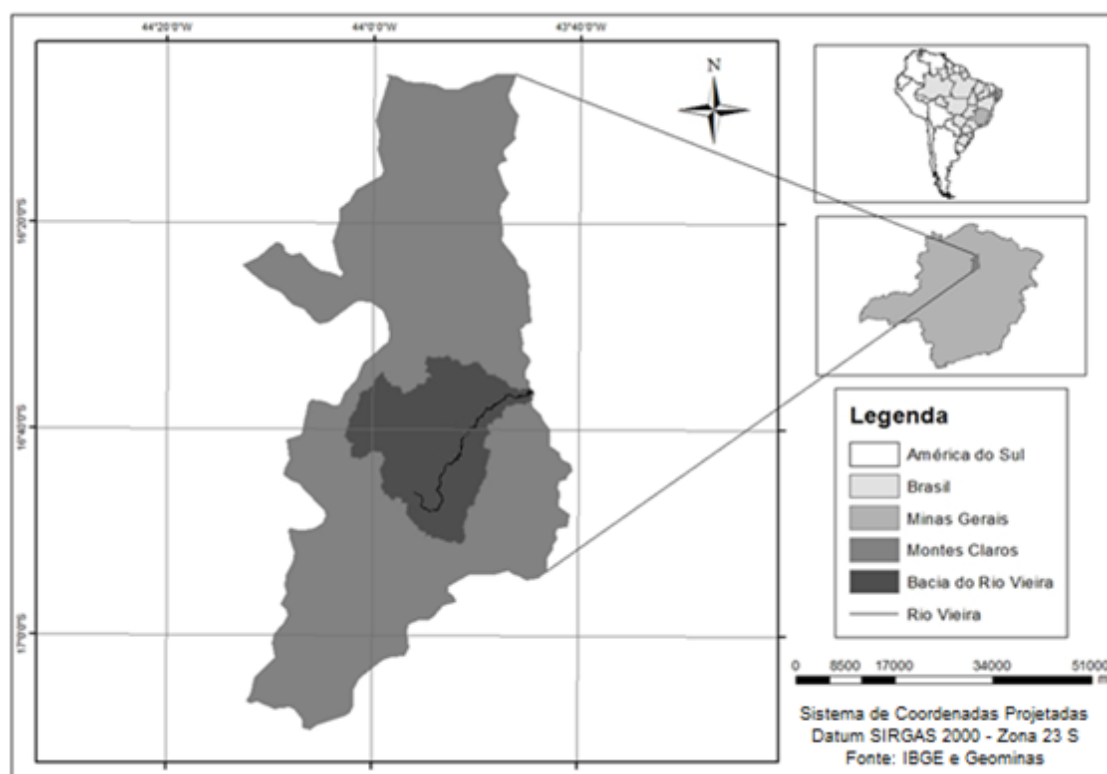
Com base no exposto, o objetivo deste trabalho foi analisar o processo de evolução das classes de uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do Rio Vieira, localizada no município de Montes Claros, Minas Gerais, utilizando-se as probabilidades de transição entre as classes envolvidas por meio de geotecnologias.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

A área de estudo corresponde à bacia hidrográfica do Rio Viera, localizada no município de Montes Claros, norte do Estado de Minas Gerais (Figura 1). Sua superfície corresponde a aproximadamente 580 km². As coordenadas centrais desta bacia são 43° 54' 38" de longitude W e 16° 32' 52" de latitude S.

Figura 1: Localização da bacia hidrográfica do Rio Vieira, Montes Claros, Minas Gerais



Fonte: Autoria própria

A bacia hidrográfica do Rio Vieira caracteriza-se pela transição do uso da terra entre o sistema rural e o urbano. Inclusive, é nesta unidade que está localizada integralmente a área urbana de Montes Claros, cujos processos de expansão e também o de urbanização são constantes desde a década de 1970. Foi a partir desta década que Montes Claros assumiu posição de destaque entre os municípios da região norte do Estado de Minas Gerais (Borges, 2007; França e Soares, 2007). Classificado climaticamente como sub-úmido seco, Montes Claros encontra-se em uma faixa de transição entre os biomas da Caatinga e do Cerrado (Brasil, 2004; Leite *et al.*, 2011).

Análise dos dados

Uma quadrícula (1° x 1°) da base *Shuttle Radar Topography Mission* – SRTM foi adquirida no endereço eletrônico <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/> (NASA, 2012). As ferramentas *Fill*, *Flow direction* e *Flow Accumulation* do conjunto *Hydrology*, da extensão *Spatial Analyst* do ArcGIS 10.2.1, foram utilizadas para que o escoamento de toda a área fosse corretamente determinado. Com a execução do comando *Watershed* foi realizada a delimitação da área de estudo a partir de um ponto selecionado interativamente, correspondendo ao local em que o Rio Vieira deságua no Rio Verde Grande.

Foi realizada uma análise temporal do uso e ocupação da terra para a bacia hidrográfica em questão. Assim, foram utilizadas quatro imagens do satélite LANDSAT-5, sensor TM, órbita/ponto 218/72, nas datas: 26 de agosto de 1990, 9 de setembro de 1995, 22 de setembro de 2000 e 18 de julho de 2005, adquiridas de forma gratuita no sítio do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (INPE, 2012).

Com a composição RGB das bandas 3, 4 e 5 para cada uma das datas, foi realizado o corregristo das imagens. Uma imagem datada de 26 de junho de 1997 foi adotada como referência para este procedimento, isso devido ao fato da sua qualidade superior quando comparada com as demais. Esta imagem foi adquirida no site *Global Land Cover Facility*, produzida pela *Earth Satellite Corporation – EarthSat* (GLCF, 2012). Posteriormente, a área da bacia foi extraída, por meio da ferramenta *Extract to by Mask*, para que a classificação fosse realizada. Quatro classes foram identificadas: Área urbana; Vegetação Natural/Reflorestamento, contemplando a vegetação natural e também as áreas ocupadas com floresta plantada; Área agrícola/Pastagem e Solo exposto. O método da Máxima Verossimilhança foi adotado para a classificação supervisionada.

A qualidade das classificações feitas no ArcGIS foi avaliada pelo índice Kappa, por meio de amostras testes. Este índice é descrito pela seguinte Equação 1:

$$\text{Kappa} = \frac{N \times (\sum_{i=1}^r x_{ii}) - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \times x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \times x_{+i})} \quad \text{Equação 1}$$

em que r = número de linhas na matriz;

x_{ii} = número de observações no i-ésimo elemento da diagonal principal;

x_{i+} e x_{+i} = totais marginais da linha [i] e coluna [i], respectivamente; e

N = número total de observações.

Assim, o índice Kappa faz uso de uma matriz de erros para o seu cálculo, considerando todos os elementos que a compõem por meio de uma estimativa da soma da coluna e das linhas marginais (Antunes e Lingnau, 1997). Landis e Koch (1977) interpretaram qualitativamente o índice Kappa de maneira que, para o Kappa menor que 0,00 a qualidade é Péssima; para o Kappa entre 0,01 e 0,20 a qualidade da classificação é Ruim; para o Kappa entre 0,21 e 0,40 a qualidade é Razoável; para o Kappa entre 0,41 e 0,60 a qualidade é Boa; para o Kappa entre 0,61 e 0,80 a qualidade é Muito boa e para o Kappa entre 0,81 e 1,00 a qualidade é Excelente.

Após a avaliação da acurácia, as imagens classificadas foram utilizadas como dados de entrada para a projeção do uso da terra por meio da Cadeia de Markov. Esta etapa foi executada no *software* Idrisi versão Selva. Uma vez que a Cadeia de Markov necessita de duas imagens com datas diferentes para sua execução, foram determinadas algumas combinações entre os anos das imagens classificadas (Tabela 1). Ressalta-se que o ano de projeção da Cadeia de Markov equivale ao intervalo existente entre as duas imagens, adicionado à data da segunda imagem inserida, ou seja, aquela mais avançada na linha cronológica.

Tabela 1: Anos de entrada para a Cadeia de Markov, o período entre as imagens e o ano de projeção

Anos das combinações	Período entre as imagens (anos)	Ano de projeção
1990-2005	15	2020
1995-2005	10	2015
2000-2005	5	2010
1995-2000	5	2005

Fonte: Autoria própria

Projetou-se também, para um intervalo de 100 períodos, o possível comportamento das classes para todas as combinações entre os anos de 1990-2005, 1995-2005 e 2000-2005. Esta etapa foi realizada no *software* R, a partir da Equação 2 (Takada *et al.*, 2010).

$$X_{t+c} = X_t \quad \text{Equação 2}$$

para X_t = vetor que varia de 1 a n, contendo a proporção de cada categoria no tempo inicial t;

n = número de categorias;

c = número de anos entre o ano inicial;

t = ano de observação;

A = Matriz de probabilidade.

Foram gerados gráficos para representação dos resultados no *software* Excel. Considerou-se, nesta representação, que cada período, representado no eixo das abscissas, equivaleria ao mesmo intervalo existente entre os anos utilizados para a combinação na Cadeia de Markov.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A classe Vegetação Natural/Reflorestamento foi a de maior representatividade na área de estudo, seguida das classes Área agrícola/Pastagem, Área urbana e Solo exposto. Foi identificado um crescimento contínuo das classes Área urbana e Solo exposto, enquanto que as classes Vegetação Natural/Reflorestamento e Área agrícola/Pastagem apresentaram um comportamento variado nos anos analisados (Tabela 2 e Figuras 2, 3, 4 e 5). No que se refere à avaliação dos resultados das imagens classificadas, todas obtiveram o índice Kappa de Excelente qualidade. Os valores encontrados foram 0,82; 0,89; 0,88 e 0,91, para as classificações de 1990, 1995, 2000 e 2005, respectivamente. Estes resultados revelam a grande coincidência atingida entre a verdade de campo e os resultados obtidos com as classificações.

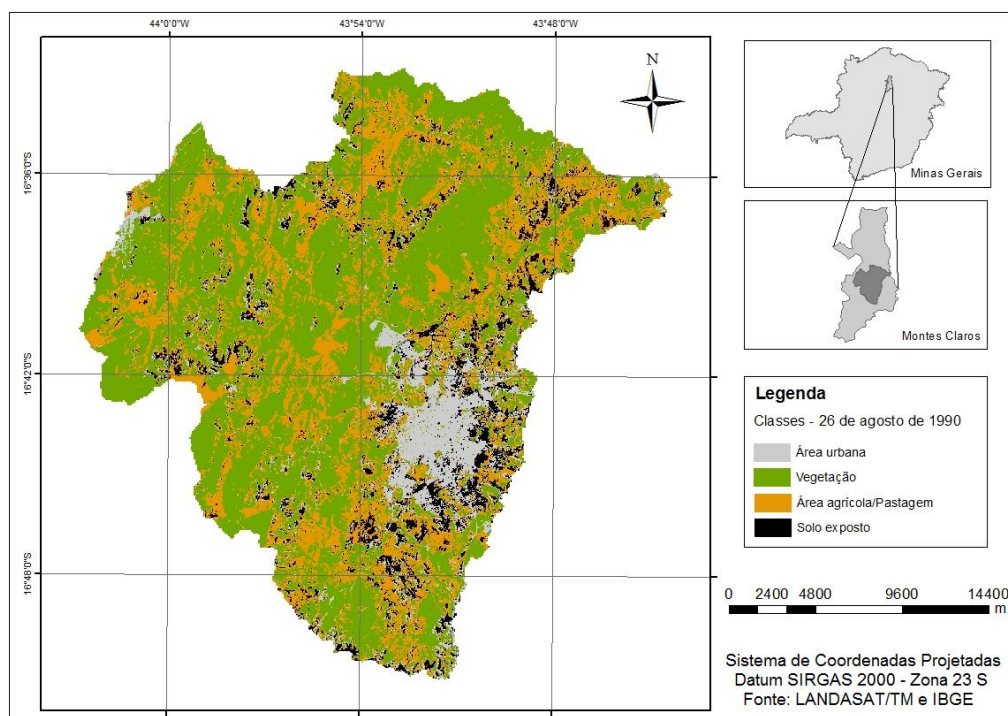
Tabela 2: Área de cada classe de uso da terra na bacia hidrográfica do Rio Vieira, Montes Claros - MG, para as datas de 26 de agosto de 1990, 09 de setembro de 1995, 22 de setembro de 2000 e 18 de julho de 2005

Classes	Datas			
	26.08.1990	09.09.1995	22.09.2000	18.07.2005
	Área (km ²)			
Área Urbana	55	58	65	80
Vegetação Natural/ Reflorestamento	304	280	308	295
Área Agrícola/Pastagem	178	194	155	146
Solo exposto	43	48	52	59

Fonte: Autoria própria

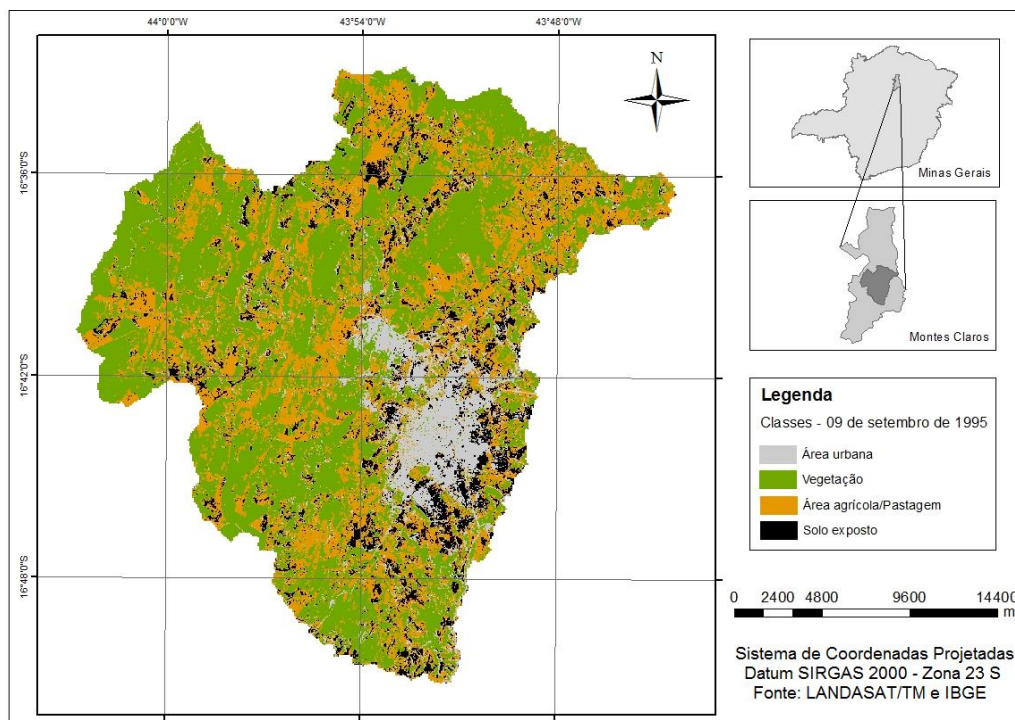
A maior probabilidade de transição entre as classes sempre correspondeu à de determinada classe para ela mesma, indicando a maior probabilidade das classes envolvidas se manterem inalteradas. Por meio da análise da evolução das classes de uso e ocupação da terra foi possível perceber o possível comportamento de cada uma das classes por um maior período de tempo e também identificar o eventual ponto de equilíbrio de cada uma delas. Como nesta projeção assume-se a estacionariedade da matriz de transição, admite-se o fato de, em algum momento, a evolução das mudanças do uso da terra atingir um ponto de equilíbrio (Muller e Middleton, 1994) (Tabela 3).

Figura 2: Classificação supervisionada da bacia hidrográfica do Rio Vieira, Montes Claros, MG, para o ano de 1990



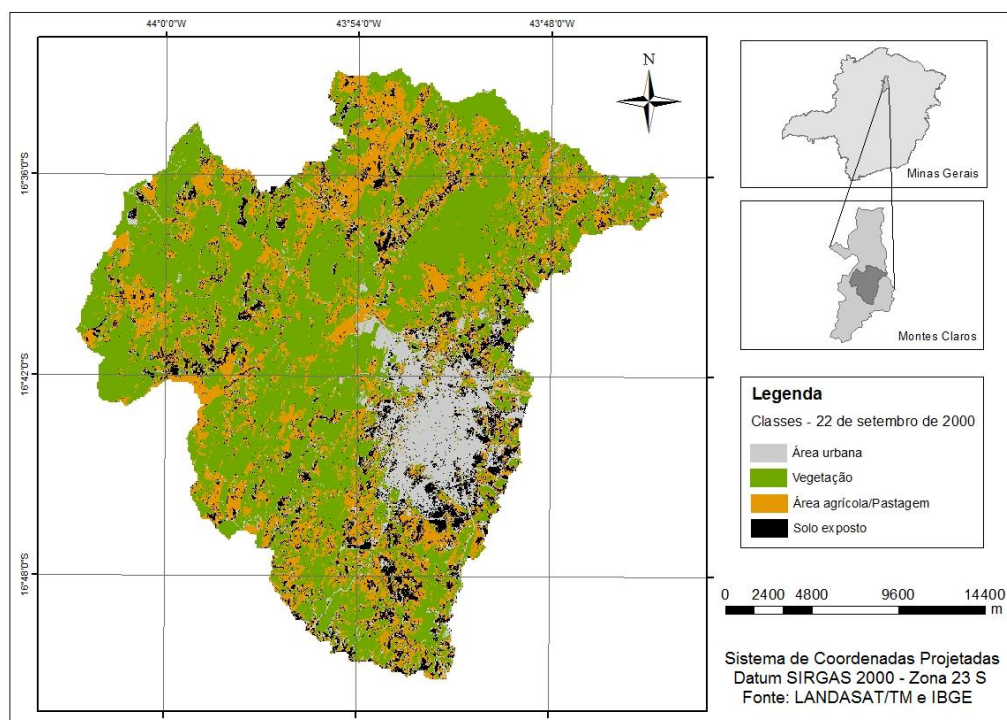
Fonte: Autoria própria

Figura 3: Classificação supervisionada da bacia hidrográfica do Rio Vieira, Montes Claros, MG, para o ano de 1995



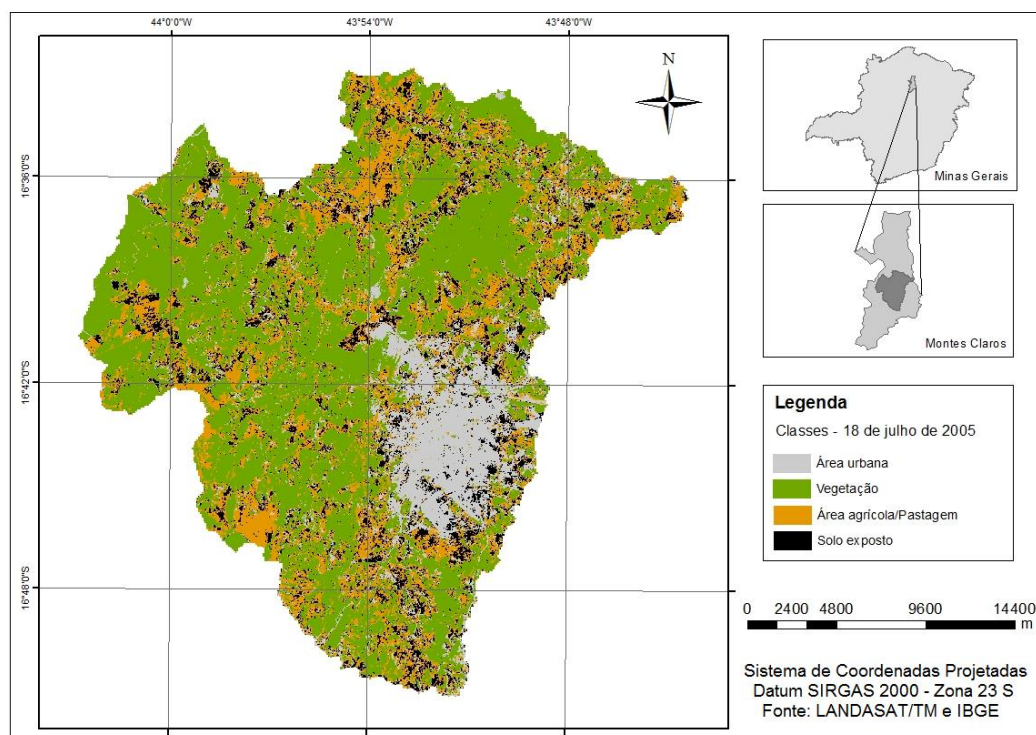
Fonte: Autoria própria

Figura 4: Classificação supervisionada da bacia hidrográfica do Rio Vieira, Montes Claros, MG, para o ano de 2000



Fonte: Autoria própria

Figura 5: Classificação supervisionada da bacia hidrográfica do Rio Vieira, Montes Claros, MG, para o ano de 2005



Fonte: Autoria própria

Tabela 3: Probabilidades de transição (%) entre as classes de uso da terra para os anos de 2010, 2015 e 2020 na bacia hidrográfica do Rio Vieira, Montes Claros, MG, com base nos anos de 1995-2000, 2000-2005, 1995-2005 e 1990-2005, respectivamente

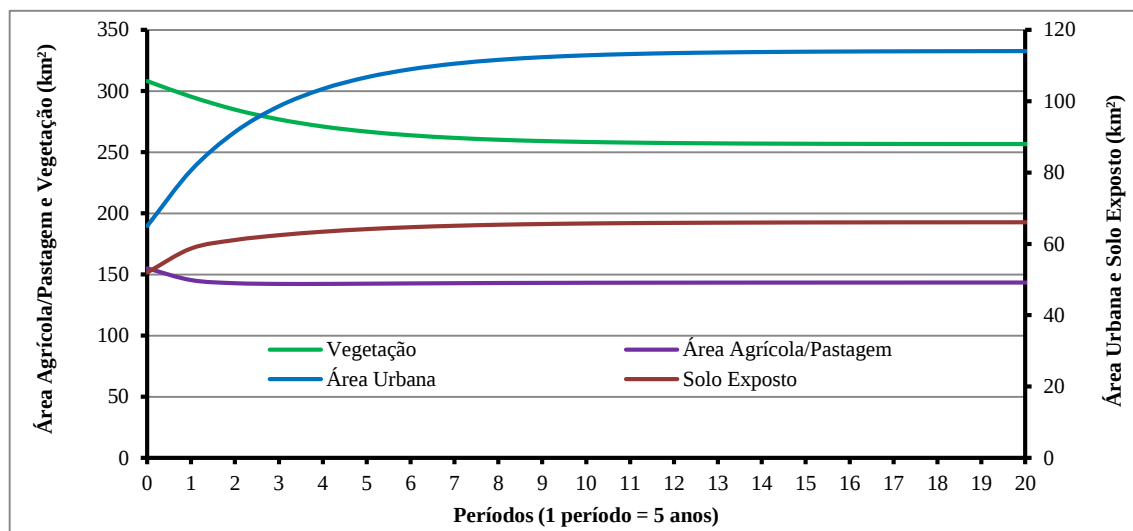
2000				
	Área urbana	Veg. Natural/ Reflorestamento	Área agrícola/Pastagem	Solo exposto
1995	Projeção para 2005			
Área urbana	61	20	10	8
Veg. Natural/ Reflorestamento	2	83	11	1
Área agrícola/Pastagem	5	30	52	11
Solo exposto	20	5	32	41
2005				
2000	Projeção para 2010			
Área urbana	68	9	12	10
Veg. Natural/ Reflorestamento	3	80	12	2
Área agrícola/Pastagem	8	23	52	15
Solo exposto	21	7	32	38
2005				
1995	Projeção para 2015			
Área urbana	65	16	10	7
Veg. Natural/ Reflorestamento	4	79	13	3
Área agrícola/Pastagem	10	30	44	14
Solo exposto	23	5	33	37
2005				
1990	Projeção para 2020			
Área urbana	64	14	11	9
Veg. Natural/ Reflorestamento	5	74	15	4
Área agrícola/Pastagem	9	33	43	14
Solo exposto	26	7	31	34

Fonte: Autoria própria

Na combinação dos anos de 2000 e 2005, para um período de 100 anos, a classe Área urbana manteve-se com crescimento constante, entrando em estado de equilíbrio por volta de 95 anos a partir do início da projeção, ou seja, por volta do ano de 2095. No caso da classe Vegetação Natural/Reflorestamento, o ponto de equilíbrio foi atingido aproximadamente no ano de 2070, enquanto que, cinco anos depois, em 2075, a classe Solo exposto se estabilizou. Já a classe Área agrícola/Pastagem atingiu o equilíbrio mais cedo, quando comparada com as demais, ou seja, em 2040. Ao relacionar estes valores com a classificação das imagens nestes

anos, de 2000 e 2005, percebe-se uma total concordância entre os comportamentos das classes até o momento em que o equilíbrio foi atingido (Figura 6 e Tabela 4).

Figura 6: Comportamento das classes de uso e ocupação da terra para o período de 100 anos, projetadas com base nas imagens dos anos de 2000 e 2005, bacia hidrográfica do Rio Vieira, Montes Claros, MG

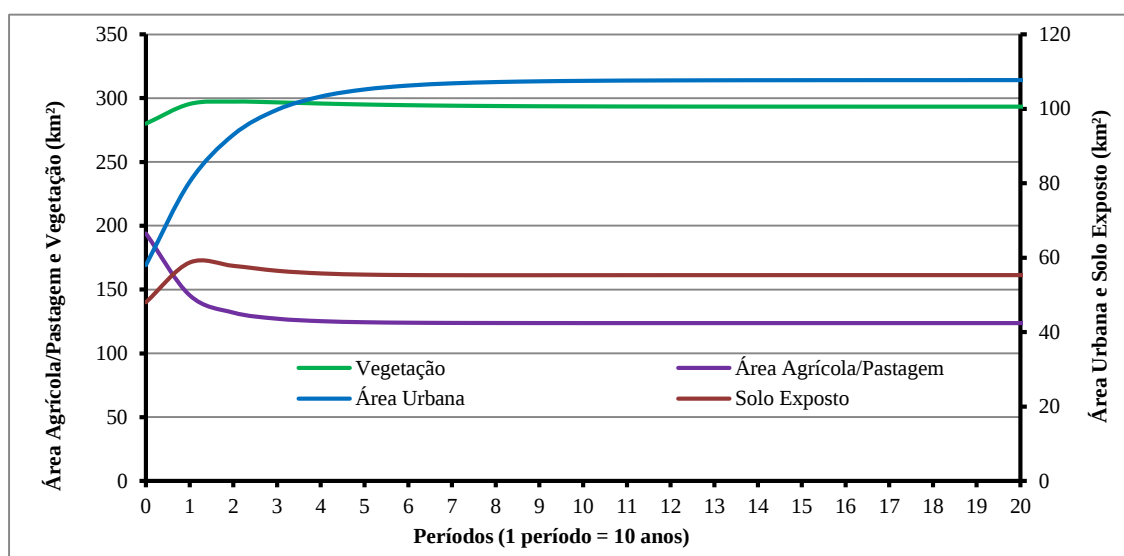


Fonte: Autoria própria

No caso onde o intervalo de tempo entre as duas datas utilizadas como dado de entrada para a Cadeia de Markov corresponde a 10 anos (Figura 7), a classe Área urbana permaneceu em crescimento, em valores bem próximos quando comparados à projeção anterior, mesmo que com intervalo de tempo menor, i.e., de cinco anos, de 2000 a 2005. Percebeu-se que o intervalo de tempo entre as imagens não foi o suficiente para influenciar de maneira proporcional esta diferença para o ponto de equilíbrio que, nos dois casos, foi bastante próximo – para 2000 e 2005 o ponto de equilíbrio foi em 2095 e, para 1995 e 2005, foi em 2075 para a classe Área urbana. A classe Vegetação Natural/Reflorestamento também apresentou redução em sua área; no entanto, apresentou crescimento nos primeiros 20 anos e, em seguida, tornou-se decrescente até a estabilização próxima aos 80 anos. Mesmo com este decréscimo, quando comparado o valor de entrada ao do ponto de estabilização, houve crescimento desta classe, de 280 km² para 293 km². A classe Área agrícola/Pastagem teve uma redução contínua até o ponto de equilíbrio, por volta de 2085. Já a classe Solo exposto apresentou um pequeno crescimento no primeiro período, seguido de redução. No entanto, o nível de estabilização atingido corresponde a aproximadamente 55 km², valor este superior à classe Solo exposto para o ano de 1995, que foi de 48 km². A estabilização desta classe ocorreu próximo aos 40 anos do início da projeção, aproximadamente em 2035 (Tabela 4).

No que se refere à classificação das imagens nos anos de 1995 e 2005, foi revelado um aumento das classes Área urbana, Vegetação Natural/Reflorestamento e Solo exposto. Já no caso da classe Área agrícola/Pastagem, ocorreu uma redução em ambos os casos, na classificação e na projeção, quando comparados estes dois anos. Apenas a classe Vegetação Natural/Reflorestamento, que mais uma vez aponta tendência em reduzir quando analisada a projeção, apresentou comportamento contrário ao àquele revelado pela classificação (Figura 7 e Tabela 4).

Figura 7: Comportamento das classes de uso e ocupação da terra para o período de 200 anos com a combinação dos anos de 1995 e 2005, bacia hidrográfica do Rio Vieira, Montes Claros, MG



Fonte: Autoria própria

Tabela 4: Comportamento das classes no decorrer dos anos e o respectivo ponto de equilíbrio, bacia hidrográfica do Rio Vieira, Montes Claros, MG

Classes	2000-2005		1995-2005		1990-2005	
	S (km ²)	E (anos)	S (km ²)	E (anos)	S (km ²)	E (anos)
Área urbana	49 +	95	49 +	80	68 +	180
Vegetação Natural/ Reflorestamento	52 -	70	13 +	80	46 -	150
Área agrícola/Pastagem	12 -	40	71 -	90	44 -	50
Solo exposto	14 +	75	7 +	40	21 +	70

S = Situação de crescimento (+) ou redução (-) da classe em relação ao valor de entrada e o ponto de equilíbrio. E = Ponto de equilíbrio atingido pela classe.

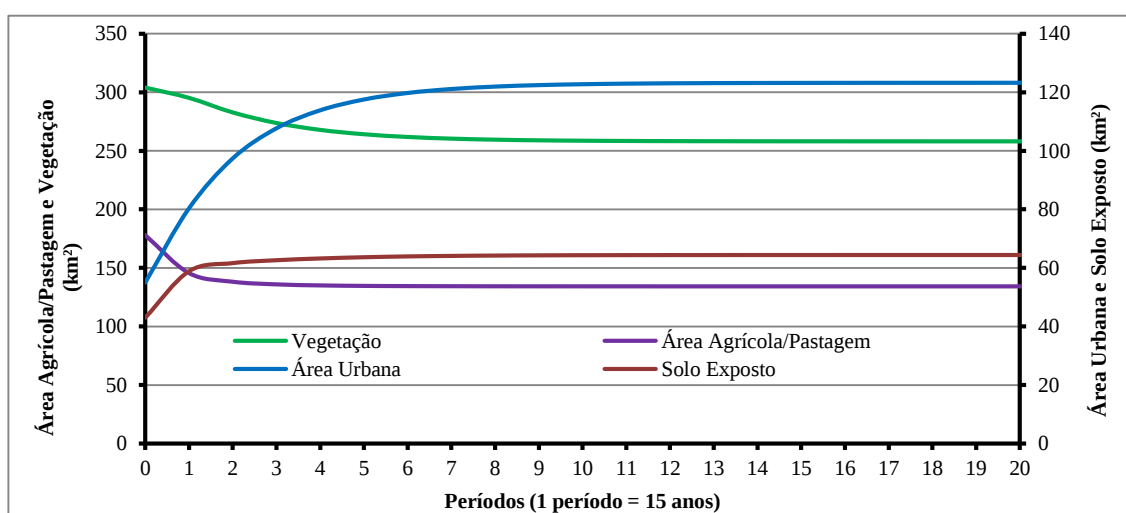
Fonte: Autoria própria

Observa-se que a classe Vegetação Natural/Reflorestamento também apresentou tendência de redução contínua em sua área, comportamento este observado também para a combinação de 2000 e 2005. O ponto de equilíbrio para esta classe corresponde a 180 anos. Já

a classe Área agrícola/Pastagem indicou uma redução, mas não tão acentuada quanto a análise anterior, de 1995 e 2005. A estabilização desta classe ocorreu após 50 anos. Tanto a redução da classe Vegetação Natural/Reflorestamento e quanto da Área agrícola/Pastagem podem ser justificadas pelo aumento, maior entre todos os períodos analisados, das classes Área urbana e Solo exposto. As classes Área urbana e Solo exposto tiveram seu ponto de equilíbrio por volta dos anos de 2170 e 2060, respectivamente. De maneira geral, houve grande concordância entre os comportamentos indicados na classificação das imagens e nas projeções realizadas. Outro ponto que pode ser observado devido à forte relação apontada de probabilidade de transformação entre as classes de Solo exposto e Área agrícola/Pastagem, é que tanto a classificação das imagens quanto a evolução das classes para um longo período indicaram uma constante tendência de aumento da classe Solo exposto. Pode-se entender então, que o aumento desta está relacionado, em maior intensidade, com o aparecimento de novas áreas, uma vez que grande parte das áreas de solo exposto tem elevada probabilidade de se transformar em área agrícola ou pastagem, mas, mesmo assim, a classificação das imagens assim como a projeção realizada indicam uma tendência contínua de aumento desta classe (Figura 8 e Tabela 4).

Figura 8: Comportamento das classes de uso e ocupação da terra para o período de 300 anos com a combinação dos anos de 1990 e 2005, bacia hidrográfica do Rio Vieira, Montes Claros,

MG



Fonte: Autoria própria

CONCLUSÕES

A classe Área urbana foi aquela que mais demorou para atingir o ponto de equilíbrio, o que denota uma tendência de crescimento acentuado desta classe em relação às demais.

Observou-se uma predisposição ao crescimento da classe Solo exposto, o que se torna particularmente preocupante sob o ponto de vista ambiental, uma vez que este fenômeno está intimamente relacionado com a degradação da terra.

Em todos os cenários projetados, a classe Área agrícola/Pastagem apresentou tendência de redução em sua extensão.

De maneira geral, as projeções indicaram uma propensão à redução das atividades agropecuárias, bem como da cobertura vegetal na área de estudo, com aumento das classes Área urbana e Solo exposto.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e à FAPEMIG pelo apoio financeiro concedido.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, C. M. et al. Stochastic cellular automata modeling of urban land use dynamics: empirical development and validation. *Computer, Environment and Urban Systems*, v. 27, p. 481-509, 2003.

ANTUNES, A. F. B.; LINGNAU, C. Uso dos Índices de Acurácia para Avaliação de Mapas temáticos obtidos por meios de classificação digital. In: III CONGRESSO E FEIRA PARA USUÁRIO DE GEOPROCESSAMENTO, 3., Curitiba, 1997. Anais.... Curitiba, 1997.

AURBACHER, J.; DABBERT, S. Generating crop sequences in land-use models using maximum entropy and Markov chains. *Agricultural Systems*, v. 104, n. 6, p. 470-479, 2011.

BARROS, K. O. Prognose do uso da terra em ambientes sujeitos à desertificação utilizando Cadeias de Markov e Autômatos Celulares. (Dissertação de Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, UFV, Viçosa, 2012.

BATISTA, W. R. M. et al. Aplicação do Algoritmo Sebal na Análise da Cobertura Vegetal da Bacia Hidrográfica do Rio Jacaré, Sergipe. *Revista de Geografia (UFPE)*, Recife, v. 31, n.2, p. 192-204, 2014.

BORGES, L. Qualidade da água do Rio Vieira sob a influência da área urbana de Montes Claros MG. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Uberlândia, UFU, Uberlândia, 2007.

BRITO, J. L. S.; PRUDENTE, T. D. Mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal do município de Uberlândia – MG, utilizando imagens CCD/CBERS 2. *Caminhos de Geografia, Uberlândia*, v. 13, n. 15, p. 144-153, 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente/Secretaria de Recursos Hídricos. Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca: PAN-BRASIL. Brasília: 2004. 213p.

CABRAL, S. L.; REIS, R. S. Influência do uso e ocupação do solo na produção de sedimentos na bacia do Rio Jacarecica. *Revista de Geografia (UFPE)*, Recife, v. 32, n. 2, 2015.

FIERZ, M. S. M.; ROSA, F. S. A paisagem X evolução do uso e ocupação do solo em Bertioxa, Litoral paulista. *Revista do Departamento de Geografia*, v. 13, p. 259-287, 1999.

FLAMENCO-SANDOVAL, A.; RAMOS, M. M.; MASERA, O. R. Assessing implications of land-use and land-cover change dynamics for conservation of a highly diverse tropical rain forest. *Biological Conservation*, v. 138, p. 131-145, 2007.

FRANÇA, I. S.; SOARES, B. R. Expansão urbana em cidades médias: uma reflexão a partir do núcleo e da área central de Montes Claros no Norte de Minas Gerais. *GeoUerj*, Rio de Janeiro, v. 2, n. 17, p. 47-63, 2007.

GLOBAL LAND COVER FACILITY. Imagem do satélite TM/LANDSAT ortorretificada.

GOMES, A. V. P.; WANKE, P. Modelagem da gestão de estoques de peças de reposição através de cadeias de Markov. *Gest. Prod.*, v. 15, n. 1, p. 57-72, 2008.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – Imagens do satélite TM/LANDSAT georreferenciada.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, v. 33, n. 01, p.159-174, 1977.

LEITE, M. E.; LEITE, M. R.; CLEMENTE, C. M. S. O uso do solo e o conflito por água no Alto Rio Riachão – Norte de Minas Gerais: uma análise auxiliada pelas geotecnologias. *Revista Geográfica Acadêmica*, v. 4, n. 1, p. 46-55, 2010.

LEITE, M. E.; SANTOS, I. S.; ALMEIDA, J. W. L. Mudança de uso do solo na bacia do Rio Vieira, em Montes Claros/MG. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 4, p. 779-792, 2011.

LOPES, F.; MIELNICZUK, J. OLIVEIRA, E. S.; TORNQUIST, C. G. Evolução do uso do solo em uma área piloto da região de Vacaria, RS. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 10, p. 1038-1044, 2010.

LUIJTEN, J. C. A systematic method for generating land use patterns using stochastic rules and basic landscape characteristics: results for a Colombian hillside watershed. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 95, p. 427-441, 2003.

MEDEIROS C. N.; PETTA R. A. Exploração de imagens de satélite de alta resolução visando o mapeamento do uso e ocupação do solo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., Goiânia, 2005. Anais... Goiânia, 2005.

MULLER, M. R.; MIDDLETON, J. A Markov model of land-use change in the Niagara Region, Ontario, Canada. *Landscape Ecology*, v. 9, n. 2, p. 151-157, 1994.

NASA – National Aeronautics and Space Administration. SRTM – Shuttle Radar Topography Mission.

RUHOFF, A.; FANTIN-CRUZ, I.; COLLISCHONN, W. Modelos de simulação dinâmica do desmatamento da Amazônia. *Caminhos de Geografia, Uberlândia*, v. 11, n. 36, p. 258-268, 2010.

SILVA, V. C. B.; MACHADO, P. S. SIG na Análise Ambiental: Susceptibilidade Erosiva da Bacia Hidrográfica do Córrego Mutuca, Nova Lima – Minas Gerais. *Revista de Geografia (UFPE), Recife*, v. 31, n. 2, p. 66-87, 2014.

SPATHELF, P.; NUTTO, L. Modelagem aplicada ao Crescimento e a Produção Florestal. Santa Maria, RS: CEPEF, 2000. v. 1. 70 p.

STEFFEN, W. et al. *Global Change and the Earth System: A Planet Under Pressure*. Berlin: Springer, 2004. 41 p.

STOW, A. D. et al. Remote Sensing of vegetation and land-cover change in Arctic Tundra Ecosystems. *Remote Sensing of Environment*, v. 89, p. 281-308, 2004.

TAKADA, T.; MIYAMOTO, A.; HASEGAWA, S. F. Derivation of a yearly transition probability matrix for land-use dynamics and its applications. *Landscape Ecology*, v. 25, p. 561-572, 2010.

TANG, J.; BU, K.; YANG, J.; ZHANG, S.; CHANG, L. Multitemporal analysis of forest fragmentation in the upstream region of the Nenjiang River Basin, Northeast China. *Ecological Indicators*, v. 23, p. 597-607, 2012.

VAEZA, R. F.; OLIVEIRA FILHO, P. C.; MAIA, A. G.; DISPERATI, A. A. Uso e ocupação do solo em bacia hidrográfica urbana a partir de imagens orbitais de alta resolução. *Floresta e Ambiente*, v. 17, n. 1, p. 23-29, 2010.

XIAO, J.; SHEN, Y.; GE, J.; TATEISHI, R.; TANG, C.; LIANG, Y.; HUANG, Z. Evaluating urban expansion and land use change in Shijiazhuang, China, by using GIS and remote sensing. *Landscape and Urban Planning*, v. 75, p. 69-80, 2006.

YANG, X.; DING, Z.; FAN, X.; ZHOU, Z.; MA, N. Process and mechanisms of desertification in northern China during the last 30 years, with a special reference to the Hunshandake Sandy Land, eastern Inner Mongolia. *Catena*, v. 71, p. 2-12, 2007.