

KELLY DE OLIVEIRA BARROS

PROGNOSE DO USO DA TERRA EM AMBIENTES SUJEITOS À DESERTIFICAÇÃO
UTILIZANDO CADEIAS DE MARKOV E AUTÔMATOS CELULARES

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2012

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

B277p
2012

Barros, Kelly de Oliveira, 1987-

Prognose do uso da terra em ambientes sujeitos à
desertificação utilizando Cadeias de Markov e Autômatos
Celulares / Kelly de Oliveira Barros. – Viçosa, MG, 2012.
vi, 61f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Orientador: Carlos Antonio Alvares Soares Ribeiro.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f. 53-61.

1. Degradação ambiental. 2. Sistemas de informação
geográfica. 3. Sensoriamento remoto. I. Universidade Federal
de Viçosa. II. Título.

CDO adapt. CDD 634.94249

KELLY DE OLIVEIRA BARROS

PROGNOSE DO USO DA TERRA EM AMBIENTES SUJEITOS À DESERTIFICAÇÃO
UTILIZANDO CADEIAS DE MARKOV E AUTÔMATOS CELULARES

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 16 de julho de 2012

Prof. Elias Silva
(Coorientador)

Prof. Igor Rodrigues de Assis

Prof. Carlos Antonio Álvares Soares Ribeiro
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Florestal. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelo financiamento neste período.

Ao Professor Carlos Antonio Alvares Soares Ribeiro, pela orientação e confiança, agradeço pela contribuição fundamental na minha formação, tanto profissional como pessoal.

Aos coorientadores e professores Vicente de Paulo Soares e Elias Silva, pela atenção durante este período e valiosa participação na realização deste trabalho.

Aos meus pais Agostinho e Ivanilde, que mais uma vez abriram mão dos seus sonhos para que mais esta etapa fosse concretizada. À minha família, pela torcida, incentivo e orações.

Ao Frederico, pelo companheirismo, amor, paciência e apoio, essenciais durante estes quase dois anos, agradeço por fazer parte deste caminho e de tantos outros que estão por vir.

Aos professores José Marinaldo Gleriani e Sebastião Venâncio Martins, pelo apoio e incentivo.

Aos professores Elias Silva e Igor Rodrigues de Assis, pela participação na banca, agradeço também pelas sugestões neste trabalho.

À turma do laboratório SIGMA, pela boa convivência, pela presteza e pela troca de conhecimentos e experiências. Agradeço em especial à Julianne, companheira desde o início do mestrado, e ao Gustavo, por toda ajuda no desenvolvimento da dissertação.

Aos queridos amigos Monalisa, Nilo, Diego, Carol Ramalho, Mariana, Josi, Raquel, Elaine e Karol, que estão sempre por perto e torcem por mim, também pelas orações da Dona Mara e da família Fontes Vieira.

Aos funcionários do departamento, em especial, Ritinha, Alexandre e Chiquinho, por serem sempre tão prestativos.

E a Deus, que mais uma vez colocou pessoas e oportunidades maravilhosas no meu caminho.

A todos aqueles que de alguma forma fizeram parte desta etapa e colaboraram para que estes dois anos fossem tão especiais.

BIOGRAFIA

KELLY DE OLIVEIRA BARROS, filha de Agostinho Bezerra de Barros e Ivanilde Maria de Oliveira Barros, nasceu em 12 de julho de 1987, na cidade de Viçosa, Minas Gerais.

Em 2005, ingressou no curso de Geografia da Universidade Federal de Viçosa, graduando-se em julho de 2010.

Em agosto de 2010, deu início ao curso de Mestrado em Ciência Florestal na Universidade Federal de Viçosa, defendendo a dissertação em julho de 2012.

SUMÁRIO

RESUMO	v
ABSTRACT.....	vi
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVO.....	3
2.1. Objetivo	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1. As abordagens da desertificação no cenário mundial.....	4
3.2. Questões metodológicas e conceituais da desertificação.....	6
3.3. A questão simbólica da desertificação e das terras secas	7
3.4. A desertificação no Brasil e no mundo	9
3.5. As geotecnologias aplicadas no estudo da desertificação.....	11
3.5.1. A Cadeia de Markov e os Autômatos Celulares	13
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	16
4.1. Área de estudo	16
4.2. Base Cartográfica.....	18
4.2.1. Delimitação da área de estudo	19
4.2.2. Uso e ocupação da terra	20
4.2.3. Cadeia de Markov e Autômatos Celulares	25
4.2.4. Validação do modelo CA_Markov.....	26
4.2.5. Relação da suscetibilidade à desertificação com as classes de uso e ocupação da terra.....	27
4.2.6. Prognose do uso da terra para a bacia hidrográfica do Rio Vieira	27
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
5.1. Classificação das imagens.....	28
5.2. Cadeia de Markov.....	36
5.3. Os Autômatos Celulares e a Validação do Modelo CA_Markov	41
5.4. Prognose do uso da terra para a bacia hidrográfica do Rio Vieira.....	45
5.5. A suscetibilidade à desertificação e as classes de uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do Rio Vieira	49
6. CONCLUSÕES.....	52
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	53

RESUMO

BARROS, Kelly de Olivera, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2012. **Prognose do uso da terra em ambientes sujeitos à desertificação utilizando Cadeias de Markov e Autômatos Celulares.** Orientador: Carlos Antonio Alvares Soares Ribeiro. Coorientadores: Elias Silva e Vicente Paulo Soares.

O objetivo deste estudo pautou-se em analisar o desempenho de um modelo baseado em Cadeias de Markov e Autômatos Celulares para prever o uso e ocupação da terra em ambientes sujeitos à desertificação. A área de estudo corresponde à bacia hidrográfica do rio Vieira, Montes Claros, Minas Gerais, delimitada a partir de um conjunto de dados SRTM. Foram utilizados os *softwares* ArcGIS 10.0 e o Idrisi Selva. Uma análise temporal das classes de uso da terra foi realizada. As imagens do satélite TM/LANDSAT-5, datadas de 26 de agosto de 1990, 9 de setembro de 1995, 22 de setembro de 2000 e 18 de julho de 2005 foram classificadas em quatro classes de uso e ocupação da terra: **Área urbana, Vegetação, Área agrícola/Pastagem e Solo exposto**. Foi calculado o índice Kappa no *software* Idrisi. As matrizes de Markov, que descrevem as probabilidades de transição entre as mudanças de uso da terra, foram derivadas para os seguintes pares de imagens: 1990-2005, 1995-2005, 2000-2005 e 1995-2000, utilizados para prever o uso e ocupação da terra para os respectivos anos: 2005, 2010, 2015 e 2020. O modelo CA_Markov do Idrisi foi aplicado a cada um destes pares, a fim de proporcionar uma descrição espacial das mudanças de uso e ocupação da terra estimadas pela Cadeia de Markov. Em seguida, os resultados foram comparados com as imagens anteriormente classificadas dos anos correspondentes, utilizando o índice Kappa como indicador de mudança. Uma análise quantitativa para cada classe de uso e ocupação da terra na área de estudo apontou que tanto a **Área urbana** e como o **Solo exposto** tiveram um aumento constante ao longo dos anos, enquanto que a **Vegetação** e **Área agrícola/Pastagem** apresentaram tendência de redução. Os resultados de Autômatos Celulares devem ser avaliados separadamente daqueles da Cadeia de Markov. Esta última mostrou-se eficiente na predição quantitativa das mudanças de uso da terra. Em relação aos Autômatos Celulares, pôde-se perceber um desempenho mediano na espacialização das classes. Especificamente, no que se refere à desertificação, o emprego do modelo CA_Markov foi eficaz para estimar a área total da classe de maior suscetibilidade a este processo, o **Solo exposto**; entretanto, mostrou-se ineficiente em sua espacialização. Mesmo com as ressalvas relacionadas ao desempenho dos Autômatos Celulares, pode-se considerar como boa a capacidade geral de predição do modelo CA_Markov.

ABSTRACT

BARROS, Kelly de Olivera, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2012. **Prognosis of land use in environments subject to desertification using Markov Chain and Cellular Automata.** Adviser: Carlos Antonio Alvares Soares Ribeiro. Co-advisers: Elias Silva and Vicente Paulo Soares.

The foremost objective of this study was to analyze the performance of a Markov Chain/Cellular Automata model for predicting land use/land cover changes in environments subjected to desertification. The study area is the Vieira river basin, located in Montes Claros, state of Minas Gerais, Brazil, bounded from a SRTM dataset. A temporal analysis of land use/land cover changes and the classifications overall accuracy, measured by the Kappa index, was held in ArcGIS 10 and Idrisi Selva software. A set of Landsat-5 TM images, for Aug.1990, Sep.1995, Sep.2000 and Jul.2005 were classified into 4 classes of land use/land cover: **Urban Area**, **Forest**, **Cropland/Pasture**, and **Bare Soil**. The Markov matrices, which describe the transition probabilities between land use changes, were derived for the following pair of images: 1995-2000, 2000-2005, 1995-2005, 1995-2000, and then used to forecast land use for these respective years: 2005, 2010, 2015 and 2020. The CA_Markov model from Idrisi was applied to each one of these pairs in order to provide a spatial depiction of the land use changes estimated by the Markov Chain model. Next, the results were compared to the previously classified images from the corresponding years, using the Kappa index as change indicator. A quantitative temporal analysis for each land use/land cover class in the study area pointed out that both **Urban Area** and **Bare Soil** classes faced a steady increase over the years, while **Forest** and **Cropland/Pasture** presented an opposite trend. Results from Cellular Automata should be evaluated separately from those of the Markov Chain model. The latter proved to be efficient in the quantitative prediction of changes in land use/land cover. Regarding the Cellular Automata it was possible to notice an average performance in the spatial distribution of classes. Specifically, with regard to desertification, the use of CA_Markov model was effective to estimate the total area of the most susceptible class to this process, the **Bare soil**, however, was inefficient in its spatialization. Even with the caveats relating to the performance of Cellular Automata can be considered as good overall capacity prediction CA_Markov model.

1. INTRODUÇÃO

A desertificação é entendida como um processo de degradação da terra, limitado a regiões secas. Sua possível ocorrência está restrita às áreas de clima árido, semiárido ou subúmido seco. Entre os diversos fatores considerados como causas da desertificação são apontadas a ação do clima e as atividades antrópicas (BRASIL, 1998). Por degradação da terra entendem-se a deterioração do solo, dos recursos hídricos e a perda da biodiversidade e da qualidade de vida da população. Tal fato confere ao estudo da desertificação um caráter eminentemente multidisciplinar, envolvendo pesquisadores de diversas áreas do saber (BRASIL, 1998; MATALLO JÚNIOR, 2001; BARROS *et al.*, 2008; STRINGER, 2008).

Desde a origem do termo “desertificação”, controvérsias metodológicas e conceituais têm sido comumente apontadas no desenvolver das pesquisas sobre a temática. Esta situação vem prejudicar possíveis investimentos e demais projetos para áreas desertificadas ou suscetíveis à desertificação. A multidisciplinaridade que o estudo deste processo requer é apontada como um dos maiores entraves ao desenvolvimento de uma metodologia que seja aceita pela comunidade científica (AUBREVILLE, 1949; MATALLO JÚNIOR, 2001; BARROS *et al.*, 2008; HUANG *et al.*, 2009).

A real extensão, a gênese, a gravidade e a taxa de expansão da desertificação são alguns dos fatores ainda envolvidos em incertezas e que comprometem não apenas a compreensão das causas deste processo como também a própria intervenção com eficiência nas áreas afetadas (ABAHUSSAIN *et al.*, 2002; SALES, 2002; REYNOLDS *et al.*, 2011). A ação humana é reconhecida como uma das principais causas deste tipo de degradação. Diversas atividades têm sido apontadas como grandes responsáveis pela ocorrência da desertificação. Neste sentido, podem ser citados o pastoreio, a erosão, a salinização, o uso contínuo do fogo, o extrativismo, a mineração, o desmatamento, entre outras práticas relacionadas com o manejo inadequado do solo, no qual a capacidade produtiva da terra é excedida (RHODES, 1991; MAINGUET, 1994; McCLURE, 1998; d’ANGELO *et al.*, 2000; ADAMO e CREWS-MEYER, 2006; HUANG *et al.*, 2009; SANTINI *et al.*, 2010).

A desertificação afeta mais de 100 países e está presente em todos os continentes, assim como as regiões áridas e semiáridas que ocupam cerca de 1/3 da superfície terrestre e que, conseqüentemente, estão sujeitas à ocorrência deste processo. Ressalta-se, ainda, que nestas áreas vive 1/6 da população mundial (MATALLO JÚNIOR, 2001). Apesar destes

números alarmantes, considera-se surpreendente a inexistência de um consenso sobre a forma adequada de avaliar a desertificação (VERÓN *et al.*, 2006).

No Brasil, a partir da delimitação climática, consideram-se suscetíveis à desertificação a região Nordeste e o norte do Estado de Minas Gerais. Estas são as áreas no país que apresentam clima semiárido e também subúmido seco, estando, portanto, sujeitas à ocorrência deste processo (BRASIL, 1998; BRASIL, 2005).

Devido à sua natureza intrinsecamente espacial, os estudos acerca da desertificação têm sido diretamente beneficiados pelos avanços recentes nas áreas de sensoriamento remoto orbital e de sistemas de informações geográficas. Maiores precisão e objetividade, aliadas a um diagnóstico rápido e atual sobre o objeto de investigação, conferem a estas tecnologias um caráter fundamental em diversos estudos, sejam eles de avaliação, caracterização, monitoramento de transformações ou quantificação de alterações na paisagem (GOLDANI e CASSOL, 2008; LU *et al.*, 2009; WU *et al.*, 2010).

2. OBJETIVO

2.1. Objetivo

Avaliar o emprego de um modelo baseado em Cadeias de Markov e Autômatos Celulares para prever o uso da terra em ambientes sujeitos à desertificação.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. As abordagens da desertificação no cenário mundial

O termo “desertificação” foi utilizado de maneira pioneira pelo francês Louis Lavauden, em 1927. Popularizada na década de 40 do século passado por Aubreville, a desertificação foi utilizada por este autor para caracterizar regiões da África Tropical onde o uso irracional dos recursos naturais era o grande responsável pela degradação de terras (AUBREVILLE, 1949; MATALLO JÚNIOR, 2009). Desde a origem deste termo e principalmente após a tragédia no Sahel, intensas discussões ocorreram tanto na imprensa popular quanto no meio científico (RHODES, 1991; VERÓN *et al.*, 2006).

Entre os eventos que, no decorrer dos anos, abordaram de alguma forma a desertificação, destaca-se o XVIII Congresso Internacional de Geografia, ocorrido no Rio de Janeiro em 1956. Vale ressaltar que neste evento foi criada a Comissão Especial para Estudos da Desertificação e Terras Áridas (CONTI, 2008).

Em 1974, a Assembleia Geral da Organização das Nações Unidas (ONU), diante da forte seca e suas drásticas consequências no Sahel africano, entre os anos de 1967-1973, aprova a Primeira Conferência Internacional sobre Desertificação, que viria a ocorrer em 1977, em Nairobi, no Quênia (CONTI, 2008; MATALLO JÚNIOR, 2009). Os impactos desta seca na África foram tão grandes que se estima haverem causado a morte de 250 a 500 mil pessoas, com reflexos nas áreas social, econômica e ambiental. Promovida pela ONU, esta conferência de 1977 foi o primeiro evento em que se abordou de maneira particular o processo em questão, contando com reconhecimento e participação de vários países, tendo sido aprovado o Primeiro Plano Mundial de Ação contra a Desertificação (PLACD) (RHODES, 1991; RODRIGUES, 2000; LACERDA e LACERDA, 2004; MATALLO JÚNIOR, 2009).

Foi após 1977 que, no Brasil, as discussões acerca da desertificação foram mais intensas. Destaca-se, neste momento, o professor Vasconcelos Sobrinho, responsável por uma das tentativas de se elaborar uma lista de indicadores para a desertificação e por representar o país nesta primeira conferência internacional sobre esta temática (RODRIGUES, 2000; SAMPAIO, 2005; PACHÊCO, 2006; CONTI, 2008).

Durante o período de 1977 a 1992, percebeu-se uma grande lentidão no que se refere às ações efetivas de combate à desertificação (KASSAS, 1995). No entanto, a década de 80 do século passado é apontada como uma época de evolução na discussão do conceito da

desertificação. Em consequência disto, no início dos anos 90, na Conferência do Rio em 1992, na Agenda 21, o conceito de desertificação foi finalmente consolidado. Neste evento, a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento - CNUMAD / ECO-92, o Brasil destacou-se nas discussões sobre a desertificação (PROGRAMA DE COMBATE À DESERTIFICAÇÃO E MITIGAÇÃO DOS EFEITOS DA SECA DA AMÉRICA DO SUL, 2012).

Em 1991, devido ao fracasso do PLACD elaborado em 1977, foi criada a Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (UNCCD), que entrou em vigor apenas em 1994. Este resultado do PLACD foi reflexo da falta de comprometimento dos países diante do combate à desertificação (MATALLO JÚNIOR, 2009).

No ano de 1994, em Paris, França, no dia 17 de junho, a Assembleia Geral da ONU declarou esta data o Dia Mundial de Combate à Desertificação e à Seca. O objetivo foi conscientizar a população sobre esta questão, assim como também implementar a UNCCD em países gravemente afetados pela seca e/ou desertificação, especialmente a África (UNCCD, 1999; UN, 2012). Ainda em 1994, foi realizada a Primeira Conferência Brasileira e Seminário Latinoamericano de Desertificação (CONSLAD), em Fortaleza, Ceará. Este evento teve como objetivo a preparação do Anexo de Aplicação Regional da América Latina e Caribe para a UNCCD (MATALLO JÚNIOR, 2009).

Em 2006, foi proclamado o Ano Internacional dos Desertos e da Desertificação pela Assembleia Geral da ONU. O objetivo foi alertar a todos acerca da grande ameaça da desertificação para a humanidade e da necessidade de se combatê-la. A questão da proteção dos desertos como hábitat natural único também foi promovida naquele ano (UNCCD, 2010).

Em 2007, a Assembleia Geral da ONU declarou 2010-2020 a Década das Nações Unidas para Desertos e a luta contra a Desertificação. Este lançamento ocorreu em Fortaleza, Ceará, durante a Segunda Conferência Internacional: Clima, Sustentabilidade e Desenvolvimento em Regiões Semi-Áridas, no ano de 2010. O objetivo foi dedicar esta década ao combate à desertificação e à melhoria da proteção e manejo das terras secas do mundo (UNCCD, 2010). Espera-se que esta década seja bem-sucedida, caso contrário, aventa-se que controvérsias e imprecisões ainda existentes sejam perpetuadas e, como consequência, ocorram novas postergações no combate à desertificação. Entre os fatos negativos que certamente poderão advir, teme-se a redução dos já escassos recursos financeiros para tratar desse processo (STRINGER, 2008).

3.2. Questões metodológicas e conceituais da desertificação

Ainda hoje as causas e consequências da desertificação, da degradação das terras e também da ocorrência das secas são reconhecidas como assuntos de grande complexidade e que possuem pouco entendimento (BRASIL, 2004). Desde a conferência da ONU, em 1977, a desertificação tem sido alvo de diversas publicações, tanto em periódicos científicos quanto em meios de comunicação de cunho popular (RHODES, 1991).

A partir de então, o que se tem percebido é uma série de tentativas caracterizadas pela falta de consenso, seja para a definição conceitual ou mesmo metodológica a respeito desta temática. É neste contexto que se firma até hoje a inexistência de uma metodologia unanimemente aceita para diagnóstico do processo (RODRIGUES, 2000; VERÓN *et al.*, 2006).

A literatura tem apontado desde então fragilidades teóricas e/ou metodológicas no que tange à desertificação. Entre os diversos entraves ainda presentes na pesquisa deste processo, podem ser citadas a amplitude conceitual e a ausência de métodos de estudos e de identificação da desertificação que sejam aceitos e utilizados pela comunidade científica e a inexistência de uma metodologia de avaliação do ponto de vista econômico (MATALLO JÚNIOR, 2001). A falta de conhecimento a respeito da área de abrangência no território é mais uma grave deficiência reconhecida no estudo da desertificação. É fundamental que as dimensões espaciais das áreas desertificadas sejam definidas para que ações sejam direcionadas de maneira eficaz, sejam elas de recuperação, restauração ou de prevenção (BARROS *et al.*, 2008).

No entanto, esta avaliação com precisão da magnitude da desertificação é reconhecida como uma difícil tarefa, já que também é complexo o entendimento das causas deste processo assim como da diversidade de seus efeitos (ABAHUSSAIN *et al.*, 2002).

Sabe-se que a gênese da desertificação está relacionada a um conjunto de fatores que integram mecanismos de retroalimentação. Um exemplo disto é a pobreza e a insegurança alimentar, apontadas como causas e também consequências deste processo. Tal fato é visto como uma das dificuldades de se analisar a desertificação, assim como a variabilidade espaço-temporal e também de comportamento de seus agentes causadores, já que perpassam as áreas ambiental, social e econômica (BRASIL, 2004; SAMPAIO, 2005).

Mesmo com a falta de consenso a respeito de um procedimento metodológico para diagnosticar e avaliar a desertificação, a metodologia dos indicadores é apontada como a

mais utilizada, porém, a dificuldade em selecionar tais indicadores é considerada um entrave para o sucesso desta metodologia. A representatividade, disponibilidade, acessibilidade e confiabilidade dos dados espaciais e temporais são prerequisites para a seleção de um bom indicador que acabam se tornando barreiras neste processo (RODRIGUES, 2000).

Na literatura existem várias listas de indicadores da desertificação. No entanto, diversificadas também são as características de cada uma delas, que variam no número e nos indicadores utilizados, assim como também na própria metodologia de avaliação de cada uma delas. Entre as várias listas de indicadores para a desertificação, no Brasil, podem ser citadas aquelas elaboradas pelo Instituto Desert, Mortimore, Grupo Esquel Brasil, PNUMA, Vasconcelos Sobrinho (MATALLO JÚNIOR, 2001).

Diversas metodologias para o estudo da desertificação têm um caráter específico diante de determinada área do saber. A impossibilidade de utilização de muitas delas relaciona-se, quase sempre, com o alto custo que possuem assim como o longo tempo necessário para sua aplicação. No cenário das áreas degradadas, as metodologias requerem a eficiência como característica. As áreas degradadas são dinâmicas e, assim, evoluem rapidamente. Tornam-se necessárias, portanto, metodologias que apresentem rápidos resultados e que sejam economicamente viáveis (MATALLO JÚNIOR, 2001; BRASIL, 2004).

Porém, ressalta-se que o sucesso das estratégias de reabilitação depende diretamente da correta compreensão dos fatores que dão origem à desertificação (YANG *et al.*, 2007).

3.3. A questão simbólica da desertificação e das terras secas

Comumente a desertificação é confundida com desertos, com a seca e também com o processo de arenização. Apesar de o termo “desertificação” advir etimologicamente do termo “deserto”, a aplicabilidade de tais verbetes não remete a um mesmo espaço geográfico. Os desertos estão relacionados à ideia de tipo de clima, são sistemas naturais adaptados e que possuem características definidas e limites no espaço (CONTI, 2008). Os desertos têm como característica o clima bastante seco, no qual as chuvas raramente conseguem exceder a evapotranspiração potencial. A pluviosidade de 50 mm a 400 mm por ano apresenta grande variabilidade temporal e espacial (WHITFORD e WADE, 2002 b, c). A ocupação humana nestas regiões é considerada desafiadora. No entanto, estes ambientes não se qualificam como

áreas desertificadas, uma vez que sua origem não está relacionada com a ação climática ou antrópica (AMIRASLANI e DRAGOVICH, 2011).

Outro termo que ainda é comumente confundido com a desertificação é a arenização, proposto em 1987 pela professora Dirce Suertegaray. A arenização, também um processo de degradação da terra, tem sua ocorrência em clima úmido. A vegetação em áreas de arenização tem grande dificuldade de se fixar devido à mobilidade dos sedimentos, abundância de água e a ação dos ventos (SUERTEGARAY, 2001). Assim como a desertificação, pode ser causada naturalmente apenas pela ação do clima. Relatos de viajantes, antes mesmo do povoamento do sudoeste do Rio Grande do Sul, já apontavam a ocorrência de areais. Tal fato confirma a ideia de que a arenização também é um processo natural (BRASIL, 1986; HARE, 1992; BRASIL, 1998; SUERTEGARAY, 2001;)

A seca, considerada um fenômeno natural e estritamente meteorológico, que poderia se estender por dois ou três anos, também é vista como uma temática complexa. Assim como a desertificação, aponta-se a inexistência de uma metodologia que seja uniforme para a definição e monitoramento das condições de seca, bem como para se quantificar a gravidade deste fenômeno (FREITAS, 2005; CONTI, 2008; QUIRING, 2009).

A ocorrência da seca, principalmente identificada em regiões semiáridas, resulta em grandes efeitos, em que a água tem como característica uma forte variação na sua disponibilidade. Vale ressaltar que as consequências de um longo período de estiagem não estão relacionadas apenas com sua duração e intensidade, mas também com as condições socioeconômicas e culturais da população afetada (FREITAS, 2005).

Todas as zonas climáticas do mundo são atingidas pelo fenômeno da seca e, mesmo com sua ocorrência em prolongados períodos, o ecossistema natural é capaz de, por si só, recuperar-se com o retorno das chuvas. Porém, a fragilidade dos ambientes secos, associada à escassez de chuva e à excessiva pressão antrópica, resulta em um sistema excessivamente danificado, ou seja, desertificado. Neste contexto, o ambiente já não é capaz de promover sua recuperação sem a interferência humana (KASSAS, 1995).

Apesar de a relação entre o clima e a desertificação ser complexa e também mal compreendida, sabe-se que os impactos destes fortes períodos de estiagem são percebidos com maior intensidade em terras secas. Ressaltam-se ainda os grandes danos resultantes da ocorrência da seca em áreas desertificadas (KASSAS, 1995; RODRIGUES, 2000; AMIRASLANI e DRAGOVICH, 2011).

A UNCCD considera a desertificação o principal processo relacionado à degradação das terras secas. Tanto a desertificação quanto as terras secas ocorrem em todos os continentes, e dados alarmantes fazem parte desta realidade. Cerca de $\frac{1}{6}$ da população da Terra é afetada pela desertificação, assim como um total de 3,6 bilhões de hectares e $\frac{1}{4}$ da área terrestre total do mundo (BRASIL, 1997; CAVALCANTI *et al.*, 2006).

O ambiente das terras secas caracteriza-se, de maneira geral, por temperaturas que variam de moderada a alta e precipitação anual de média a baixa por um longo período. Estas características conferem às terras secas uma especial vulnerabilidade à degradação (AMIRASLANI e DRAGOVICH, 2011). A fragilidade das terras secas pode ser justificada por uma série de fatores, como, por exemplo, a limitação dos recursos hídricos associados à baixa pluviosidade assim como à sazonalidade das chuvas; a comum incidência de períodos de seca; a pouca cobertura que a vegetação confere ao solo, deixando este recurso exposto a processos erosivos, ao baixo crescimento das plantas e aos baixos teores de matéria orgânica no solo (KASSAS, 1995).

As populações de terras secas muitas vezes apresentam seus meios de vida diretamente relacionados com a agricultura de subsistência e à base dos recursos naturais (STRINGER *et al.*, 2009).

3.4. A desertificação no Brasil e no mundo

A desertificação ocorre em todos os continentes, exceto na Antártica. A maioria das regiões áridas está em processo de desertificação (WHITFORD e WADE a, 2002). No mundo, as perdas da camada de solo arável devidas à desertificação estão estimadas em 24 bilhões de toneladas por ano. O avanço deste processo acrescenta 6 milhões de hectares ao total de terras já desertificadas. Os custos diretos envolvidos com a desertificação atingem 26 bilhões de dólares anualmente. Mais de 785 milhões de pessoas vivem nestas áreas degradadas (RODRIGUES, 2000; BRASIL, 2004).

No princípio da década de 30, a região das Grandes Planícies nos Estados Unidos foi atingida por uma forte seca. Aliado ao fenômeno climático, o uso inadequado dos recursos naturais, como o desmatamento e a criação extensiva de gado, resultou em uma intensa degradação da terra com a ocorrência de grandes tempestades de pó. Este processo ficou conhecido como *Dust Bowl* e é apontado como a primeira ocorrência da desertificação nos tempos modernos causada pela ação antrópica irracional (MATALLO JÚNIOR, 2009).

Porém, considera-se a África como o continente em que a desertificação tem o seu maior impacto. Cerca de $\frac{2}{3}$ do continente africano corresponde ou a deserto ou a zonas áridas. De suas extensas terras agrícolas, aproximadamente $\frac{3}{4}$ já apresentam algum nível de degradação e, como agravante, a seca é um fenômeno bastante comum no seu território. Fortemente ligada à ocorrência da desertificação, de maneira geral, os países da África têm a pobreza como realidade, assim como também a migração e a insegurança alimentar. Neste contexto, o combate à desertificação e o fato de se promover o desenvolvimento acabam tendo um mesmo sentido (UNCCD, 2012).

A Argélia tem 86 % do seu território coberto pelo deserto do Sahara. Cerca de 5 % deste país corresponde à vegetação estépica, ou seja, aquela que apresenta maior suscetibilidade à desertificação (UNCCD, 2004; HIRCHE *et al.*, 2011). Por meio da utilização de imagens de satélite, a Direção Geral dos Recursos Florestais juntamente com o Centro Nacional de Tecnologia Espacial estabeleceram um mapa de sensibilidade à desertificação no território argelino. Este mapa, com cinco classes, apontou 487.902 ha como já desertificados, 5.061.388 ha como suscetíveis ao processo, 3.677.038 ha com sensibilidade moderada à desertificação, 2.215.035 ha com elevado nível de sensibilidade e 2.379.170 ha que apresentam pouca ou nenhuma suscetibilidade (UNCCD, 2004).

Também localizado no norte da África, o Egito situa-se em zonas áridas e hiperáridas, sendo gravemente afetado por vários tipos e formas de desertificação. A salinização é um dos grandes problemas relacionados com este processo que afeta grandes áreas agrícolas do Egito, onde quase 30 % das terras que possuem cultivo irrigado são afetadas por problemas de acúmulo de sais. Neste país, a erosão hídrica é ainda responsável por perdas de solo entre 0,8 e 5,3 t/ha/ano (HEGAZI *et al.*, 2005; RASMY *et al.*, 2010).

Cerca de 62 % das áreas consideradas suscetíveis à desertificação no Brasil correspondem ao bioma da Caatinga. Um total de 66 milhões de hectares no semiárido são atingidos de maneira grave pela desertificação, afetando cerca de 15 milhões de pessoas. O país sofre com grandes perdas também do ponto de vista econômico devido a este processo - são 5 bilhões de dólares anualmente (BRASIL, 2012).

Na literatura brasileira, podem ser apontadas diversas delimitações climáticas no que tange ao semiárido. No entanto, independentemente da classificação climática e dos critérios adotados, que diferem entre si, apenas o Nordeste brasileiro e o norte de Minas Gerais têm municípios incluídos como semiáridos ou subúmido secos (Figura 1). Em

consequência disto, tais áreas são as únicas suscetíveis à ocorrência da desertificação no país (BRASIL, 1998; BRASIL, 2004; BRASIL, 2005; PEREIRA JÚNIOR, 2007).

De acordo com a delimitação climática no Brasil, proposta em 2007, a área semiárida no país corresponde a 853.383,59 km² (PEREIRA JÚNIOR, 2007). O PAN-BRASIL de 2004 aponta um total de 420.258, 80 km² de área subúmida seca (BRASIL, 2004).

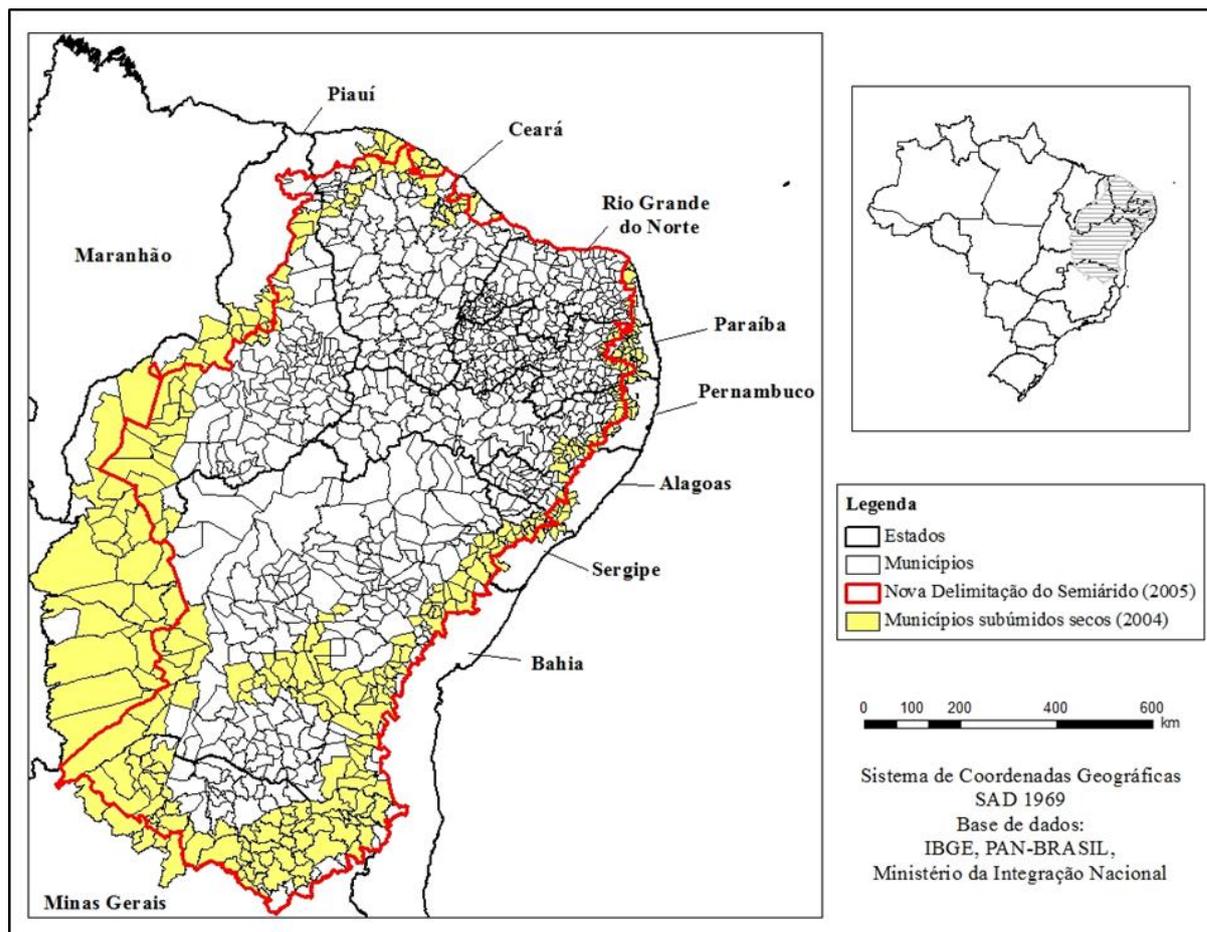


Figura 1 - Delimitação dos municípios semiáridos e subúmidos secos no Brasil.

3.5. As geotecnologias aplicadas no estudo da desertificação

A utilização de técnicas do sensoriamento remoto e/ou dos sistemas de informações geográficas tem sido cada vez mais comum no estudo da desertificação. Estas ferramentas do geoprocessamento têm se tornado uma valiosa aliada no monitoramento e avaliação de áreas desertificadas ou que apresentem suscetibilidade a este processo (RHODES, 1991; ALI e MIRZA, 1993; YANG *et al.*, 2007). A evolução temporal da cobertura vegetal é apontada como um indicador chave para a desertificação. Justifica-se tal fato devido às perdas da

vegetação e da produtividade da biomassa retratarem a ocorrência deste processo de degradação. O uso das imagens de satélite tem sido visto como uma alternativa viável para o monitoramento sinótico e de longo prazo da cobertura vegetal. Neste sentido, os indicadores do vigor da vegetação, como, por exemplo, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), têm grande aplicação nos estudos da desertificação (HELLDÉN e TOTTRUP, 2008).

Três estudos abordaram de maneira diferente a ocorrência da desertificação na Ilha de Sardenha, Itália, empregando geotecnologias:

- i) Santini *et al.* (2010) realizaram o estudo por meio da integração do SIG com modelos ambientais a fim de simular a degradação da terra e fornecer um índice global de desertificação. O índice elaborado, depois de comprovações em campo, mostrou-se eficiente na identificação das áreas degradadas.
- ii) d'Angelo *et al.* (2000) avaliaram a aptidão agrícola da terra para, por meio de uma melhor gestão dos recursos naturais, mitigar sua degradação. Foram utilizadas imagens do satélite SPOT-HRV, e o *software* adotado foi o ARC-INFO. Os autores apontaram que a mudança do sistema extensivo para o semiextensivo na produção animal alterou fortemente as paisagens da área rural da Sardenha.
- iii) Finalmente, Giordano e Boccon (2010) aliaram o SIG, o sensoriamento remoto e a análise da paisagem para compreenderem os padrões da desertificação na ilha em questão. Como resultado, os autores encontraram uma paisagem bastante fragmentada, o que não colabora para a conservação do ambiente.

A China tem sido alvo de diversos estudos sobre a dinâmica da desertificação no seu território. Apesar disto, ainda existe uma grande carência no que diz respeito aos estudos sobre esta temática, principalmente estudos que incluam componentes espaciais e temporais (DANFENG *et al.*, 2006). Neste contexto, trabalhos de Yang *et al.* (2007), Haijiang *et al.* (2008), Qi *et al.*, (2012) tiveram como base o sensoriamento remoto para suas análises. Yang *et al.*, (2007) monitoraram a desertificação durante três décadas no norte do território chinês por meio de imagens de satélite LANDSAT e trabalhos de campo. Os autores perceberam que, na área de estudo, o clima foi o fator que mais influenciou a ocorrência da desertificação. Haijiang *et al.* (2008) integraram o sensoriamento remoto e SIG para elaboração da base de dados de seu estudo. Foram utilizadas imagens dos satélites LANDSAT e CBERS para determinação de classes da cobertura terrestre. Este estudo obteve como resultado a detecção da expansão da área de dunas nas duas últimas décadas na região denominada *Otindag Sandy Land*. Similarmente, Qi *et al.* (2012) avaliaram a variabilidade espaço-temporal da

desertificação no norte de Shaanxi. Imagens de satélite e dados meteorológicos e socioeconômicos foram analisados. Os autores concluíram que, nesta área, a desertificação teve sua gravidade assim como sua extensão reduzida, porém o nível de fragmentação aumentou no decorrer dos anos.

Em estudo na África, as variáveis que causam a desertificação na porção central do Sudão foram individualizadas e quantificadas por Dawelbait e Morari (2012) por meio da utilização do NDVI, da classificação de imagens LANDSAT e da Análise de Mistura Espectral. Estes autores consideraram que o sensoriamento remoto é uma das mais eficazes ferramentas para a avaliação da desertificação.

Hanafi e Jauffret (2008) compararam as alterações de uso da terra para definição de indicadores de mudanças de longo prazo a fim de monitorar a desertificação na Tunísia, também na África. Estes autores comprovaram a eficiência do SIG no mapeamento de indicadores da vegetação assim como no monitoramento espacial, temporal e de avaliação. Foi identificada uma redução da área de estepes e um aumento da área altamente degradada. Também foram utilizadas imagens LANDSAT para esta análise.

Na Argélia, norte da África, a desertificação foi estudada por Hirche *et al.* (2011) segundo a ótica da ecologia da paisagem. Mapas de diferentes anos foram comparados para avaliação da perda da vegetação. O SIG e o sensoriamento remoto foram integrados para tal análise. As imagens do satélite LANDSAT foram classificadas. O trabalho permitiu detectar uma grande fragmentação da vegetação na área de estudo, sendo o sobrepastoreio o principal agente causador da desertificação na área em expansão.

Na Argentina, Adamo e Crews-Meyer (2006) também empregaram imagens LANDSAT para análise temporal das mudanças na paisagem no município de Jáchal. Foi realizada uma classificação não-supervisionada das imagens. A análise não identificou um processo de desertificação generalizado na área; no entanto, este resultado serve de alerta para demais atividades que possam ultrapassar a capacidade de resiliência da terra e então deflagrar tal processo.

3.5.1. A Cadeia de Markov e os Autômatos Celulares

Na tentativa de uma melhor compreensão dos processos que envolvem a evolução da paisagem, sejam eles naturais ou antrópicos, estudiosos têm utilizado e desenvolvido modelos de simulação dinâmica (SOARES-FILHO *et al.*, 2002).

A Cadeia de Markov é considerada um modelo estocástico com tempo discreto e tem sido amplamente utilizada para simular sistemas dinâmicos, principalmente no que se refere às mudanças no uso da terra (MULLER e MIDDLETON, 1974; GOMES e WANKE, 2008; VASCONCELOS *et al.*, 2009).

Sabe-se que a mudança do uso da terra não possui um caráter unidirecional. Teoricamente, uma dada parcela da terra pode mudar para qualquer outra categoria de uso em qualquer momento. Neste sentido, a Cadeia de Markov faz uso de matrizes que representam todas as possíveis alterações de uso da terra (MULLER e MIDDLETON, 1974).

Para a predição dos estados seguintes utilizando a Cadeia de Markov, os estados anteriores são irrelevantes, necessitando conhecer apenas a matriz de transição e o estado atual. Outra hipótese com a qual a Cadeia de Markov trabalha é aquela relacionada com a estacionaridade, em que as probabilidades calculadas pelo modelo permanecem constantes durante todo o período analisado (SPATHELF e NUTTO, 2000; GOMES e WANKE, 2008).

A Cadeia de Markov é considerada um método importante na análise da dinâmica de terras desertificadas e, conseqüentemente, no combate à desertificação. Por meio de sua utilização, obtêm-se importantes informações para se compreender melhor as relações entre as áreas desertificadas e demais elementos da paisagem, como pastagem, floresta, área agrícola, entre outros, uma vez que são obtidas as taxas de mudanças de cada um deles ao longo do tempo (LI e SUN, 2000). No entanto, vantagens e desvantagens são apontadas na utilização da Cadeia de Markov como método de predição de mudanças na paisagem. A simplicidade operacional e matemática deste modelo, a aplicação direta a dados oriundos de sensoriamento remoto e implementados em SIG assim como o volume reduzido de dados geralmente necessários à sua execução são alguns dos pontos positivos de sua utilização. Porém, a Cadeia de Markov não explica o que está se alterando, tampouco espacializa onde estão ocorrendo as mudanças, apenas informa as probabilidade de transição entre as classes envolvidas. Outro ponto negativo deste método está relacionado à limitação de se incluírem variáveis exógenas à análise (RUHOFF *et al.*, 2010).

Assim como a Cadeia de Markov, os Autômatos Celulares (AC) também têm sido bastante aplicados em estudos de mudanças na paisagem, auxiliando zoneamentos, determinações de aptidão agrícola de terras e estudos de dinâmicas urbanas (ALMEIDA *et al.*, 2007; LI e YEH, 2001).

Os AC consideram o espaço como uma grade composta de células que possuem relações de vizinhança entre aquelas que têm contato entre si, dentro de um raio predefinido.

Desta forma, o potencial de transição de uma célula central é influenciado pela sua vizinhança e assim, é definido (LI e YEH, 2001; ALMEIDA *et al.*, 2007; VEGA e MONTAÑA, 2011).

Os AC podem ser programados dentro de um SIG e também integrados com o sensoriamento remoto. Tal combinação foi considerada por Li e Yeh (2001) de grande potencial em estudos de gerenciamento e planejamento ambiental.

Outro estudo no qual se aliaram os AC ao sensoriamento remoto foi o de He *et al.* (2005). Para a elaboração de um zoneamento para proteção de áreas de campo em regiões áridas e semiáridas no norte da China, foram utilizados cinco fatores no modelo de AC – declividade, solo, distância dos rios, distância de estradas e distância de áreas urbanas. No entanto, os autores ressaltaram a possibilidade de se adicionarem outros fatores ao modelo. A aplicabilidade do método desenvolvido em outras áreas foi destacada, mesmo que os fatores sejam diferentes assim como os respectivos pesos.

Também na China, a partir da análise de imagens de satélite (CBERS-1) em diferentes períodos, foi utilizada uma combinação dos AC e SIG para simulação do desenvolvimento da desertificação em Pequim. O modelo adotado foi considerado eficaz para o caso (CHEN *et al.*, 2003).

O método CA_Markov, disponível no *software* Idrisi, combina os AC com a Cadeia de Markov, possibilitando prever a evolução espaço-temporal da cobertura do solo. Os AC adicionam o elemento espacial de contiguidade, assim como o conhecimento da provável distribuição espacial para a análise da Cadeia de Markov (CLARK LABS, 2012).

No estudo de Kamusoko *et al.* (2009), foi utilizada a combinação entre os AC e a Cadeia de Markov. Estes autores comprovaram a possibilidade de aplicação de fatores biofísicos e socioeconômicos na análise espaço-temporal, aliando desta forma os benefícios de cada um destes modelos.

Seguindo também tal combinação, Guan *et al.* (2011) utilizaram o modelo CA_Markov. A matriz de transição foi calculada a partir de uma série temporal de mapas de uso da terra da área de estudo, e o mapa de potencial de transição foi obtido com base em indicadores naturais e socioeconômicos. Usando estas informações, os autores simularam a distribuição espacial futura do uso da terra na área analisada.

A desertificação também foi estudada a partir do modelo CA_Markov, mais uma vez, com a combinação entre o SIG e o sensoriamento remoto. Ding *et al.* (2009) consideraram este modelo viável e eficiente para a previsão de tendências no que se refere ao comportamento da desertificação.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Vieira está localizada integralmente no município de Montes Claros, região norte do Estado de Minas Gerais. A área de estudo perfaz um total de aproximadamente 580 km² e tem, como coordenadas centrais, 43° 54' 38" de longitude e 16° 32' 52" de latitude (Figura 2).

O rio Vieira percorre a área urbana de Montes Claros, de onde recebe significativa carga de esgoto. Tal fato confere grande impacto não apenas a este curso hídrico como também ao seu rio principal, o Verde Grande, que tem o rio Vieira como seu importante afluente na margem esquerda (ANA, 2011, LEITE *et al.*, 2011).

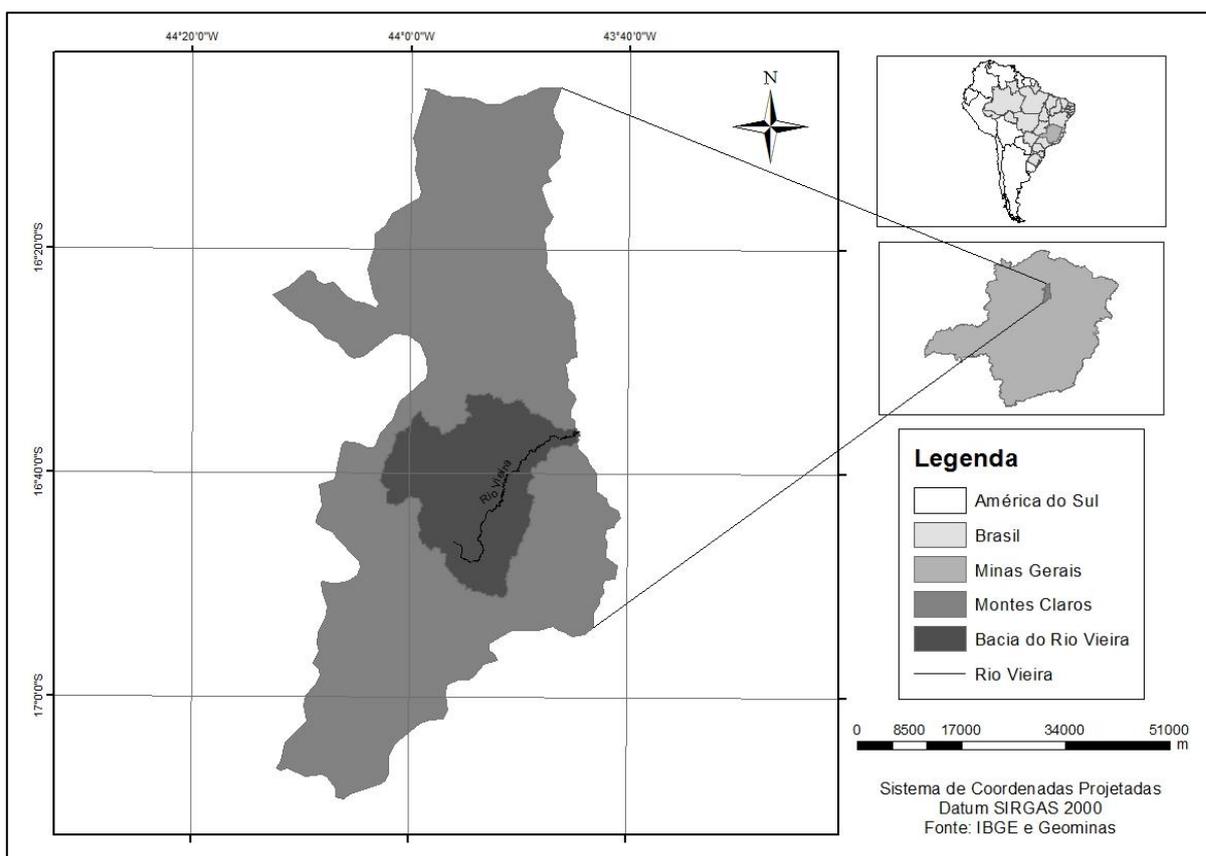


Figura 2 – Localização da bacia hidrográfica do Rio Vieira no município de Montes Claros, Minas Gerais.

A bacia hidrográfica do rio Verde Grande, no qual está inserida a bacia do rio Vieira, possui mais de 1/3 da população de toda a área da bacia concentrada no município de

Montes Claros, que sofre com forte êxodo rural (COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VERDE GRANDE, 2012).

A classificação climática dos municípios integrantes de áreas subúmidas secas no país inclui o município de Montes Claros, conseqüentemente, de acordo com o conceito da desertificação, tais áreas também são consideradas suscetíveis à ocorrência deste processo (BRASIL, 1998; BRASIL, 2004).

Como se pode perceber pelas Figuras 3 e 4, Montes Claros tem um regime de chuvas bastante irregular com elevadas temperaturas durante o ano. As chuvas concentram-se nos meses de novembro, dezembro e janeiro, enquanto nos demais meses, principalmente no período de abril a outubro, a ocorrência de chuva é escassa. Durante estes sete meses pode-se observar a deficiência hídrica do solo.

Observa-se também que Montes Claros apresenta o valor da evapotranspiração maior que o da precipitação, 1195,46 mm e 1082,4 mm, respectivamente, com temperatura média anual de 23,5 °C (INMET; BARROS, 2010).

Outro fator considerado como uma das causas/conseqüências da desertificação e que retrata a realidade de Montes Claros está relacionado com os indicadores sociais do município, apontado como um dos mais baixos de Minas Gerais (LEITE *et al.*, 2011).

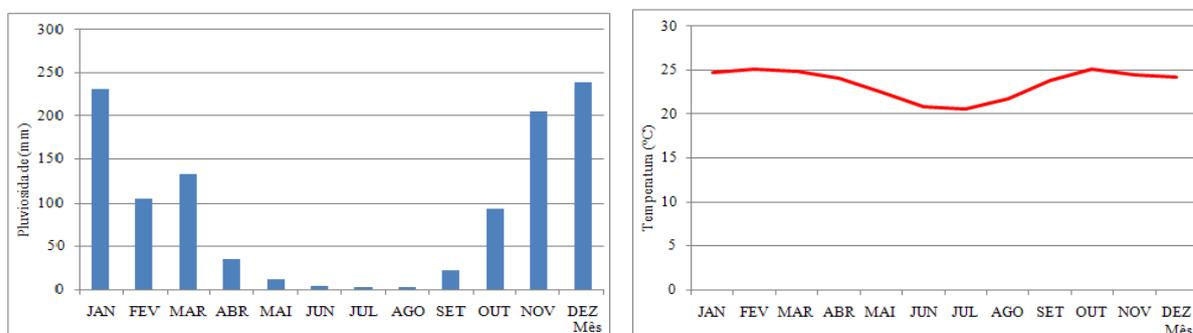


Figura 3 – Pluviosidade mensal para a estação meteorológica de Montes Claros, Minas Gerais (1961-2006). Fonte: Barros (2010).

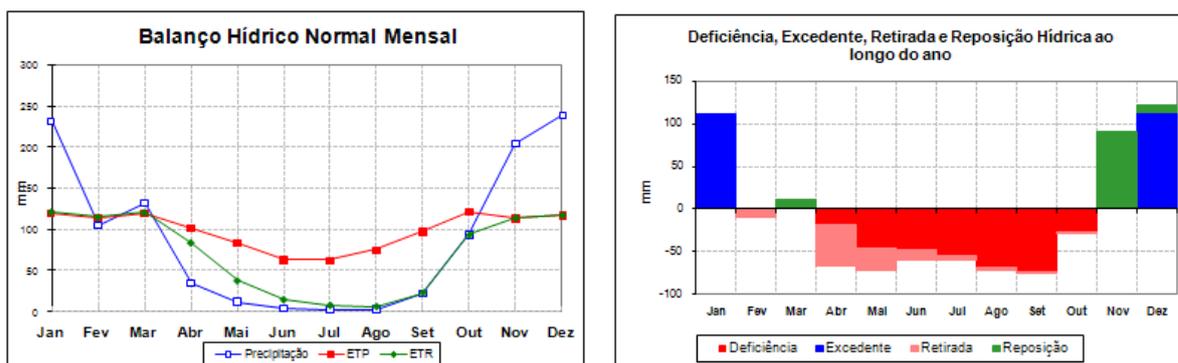


Figura 4 – Balanço Hídrico Normal Mensal e Deficiência, Excedente, Retirada e Reposição Hídrica ao longo do ano para a estação meteorológica de Montes Claros, Minas Gerais (1961-2006). Fonte: Barros (2010).

A vegetação do município está inserida em uma faixa de transição entre a Caatinga e o Cerrado, sendo este último caracterizado tanto pelo estrato arbustivo como o subarbustivo denso, com composição florística bastante variável (LEITE *et al.*, 2011).

4.2. Base Cartográfica

Foram utilizados os *softwares* ArcGIS 10.0 e o Idrisi Selva no desenvolvimento deste trabalho, na sequência que pode ser observada na Figura 5.

Como base de dados, foram utilizados, no formato vetorial, a hidrografia pertencente ao Projeto Geominas e os limites federal, estadual e municipal do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, para elaboração do mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Vieira.

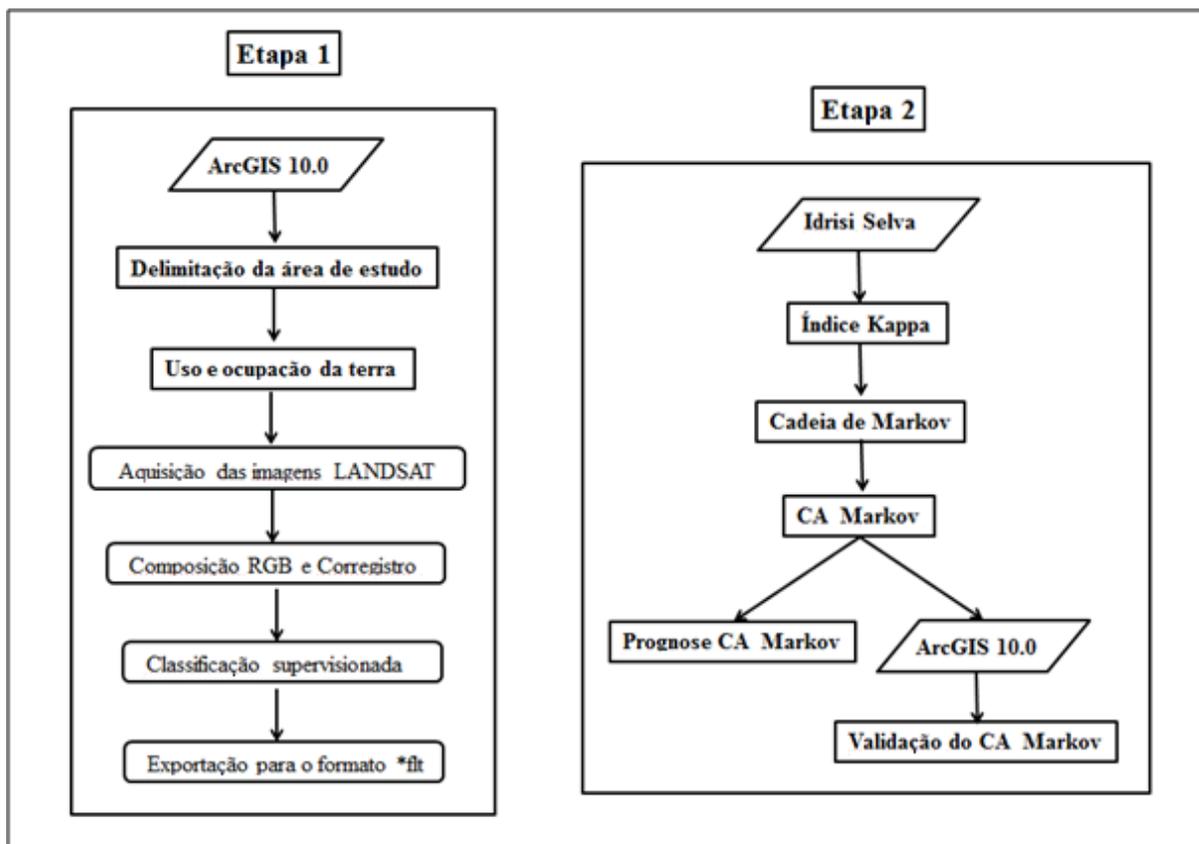


Figura 5 – Fluxograma da utilização dos *softwares* para obtenção da classificação e projeção de uso e ocupação da terra da bacia hidrográfica do Rio Vieira, Montes Claros, MG.

4.2.1. Delimitação da área de estudo

No *software* ArcGIS, a bacia hidrográfica do rio Vieira foi delimitada a partir de dados de uma quadrícula (1° x 1°) da base *Shuttle Radar Topography Mission* – SRTM. O SRTM é um projeto internacional desenvolvido pela *National Geospatial-Intelligence Agency* – NGA e pela *National Aeronautics and Space Administration* – NASA, com participação das agências espaciais da Alemanha e Itália. Neste projeto, foi realizado um levantamento topográfico pioneiro de cerca de 80 % da superfície terrestre, adotando-se a mesma metodologia ao longo de todo o mapeamento. A quadrícula utilizada foi adquirida no endereço eletrônico <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/> e possui células com 90 metros de lado (NASA, 2012).

Para eliminação das depressões espúrias existentes nestes dados de relevo, foi utilizado o comando *Fill*. Em seguida, aplicou-se ao MDE preenchido o comando *Flow direction*, para se obter a direção do escoamento para cada uma de suas células. Prosseguindo, utilizou-se o comando *Flow Accumulation* para a determinação do fluxo acumulado, que corresponde ao número de células situadas a montante de determinada célula. Por último, a

bacia de contribuição do rio Vieira foi delimitada com a execução do comando *Watershed*, a partir de um ponto definido interativamente, correspondendo ao local em que o rio Vieira deságua no rio Verde Grande. Todas estas ferramentas se encontram no *ArcToolbox*, na opção *Spatial Analyst*, no conjunto *Hydrology*.

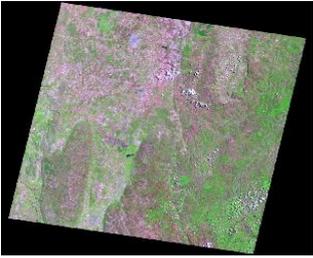
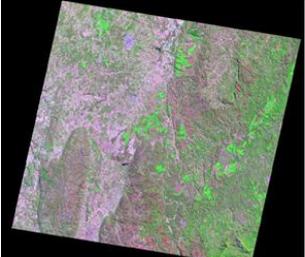
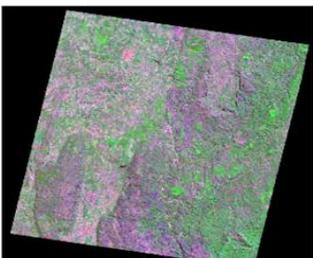
4.2.2. Uso e ocupação da terra

Para determinação do uso e ocupação da terra da bacia hidrográfica do rio Vieira, foram selecionadas quatro imagens do satélite LANDSAT-5, sensor TM, órbita/ponto 218/72. Datadas de 26 de agosto de 1990, 9 de setembro de 1995, 22 de setembro de 2000 e 18 de julho de 2005, estas imagens possuem células de 30 metros e foram adquiridas gratuitamente no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (INPE, 2012).

As bandas 3, 4 e 5 foram utilizadas para composição RGB das imagens (Quadro 1). Estas bandas, que possuíam originalmente coordenadas geográficas e datum WGS-84, foram então projetadas para o sistema de coordenadas UTM, Zona 23 S e datum horizontal SIRGAS 2000.

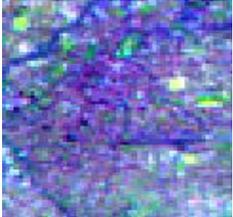
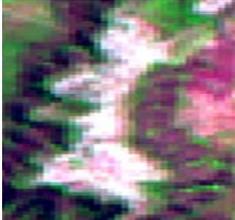
Para o corregristo das imagens, adotou-se outra imagem também do satélite LANDSAT-5, de mesma cena, porém adquirida do site *Global Land Cover Facility*, produzida pela *Earth Satellite Corporation – EarthSat* (GLCF, 2012) (Quadro 1). Esta imagem é ortorretificada e apresentou uma melhor qualidade no georreferenciamento quando comparada com as demais. Ressalta-se que o deslocamento encontrado entre imagens disponibilizadas pelo INPE e esta ortorretificada foi de cerca de 5 km. Devido a isto, esta imagem da GLCF, de 26 de junho de 1997, foi tomada como referência para ajuste das outras quatro. Da mesma forma que para as outras imagens, também foram utilizadas as bandas 3, 4 e 5, composição RGB e sistema de coordenadas UTM, Datum SIRGAS 2000, Zona 23 S. A ferramenta utilizada para a execução do corregristo foi a *Georeferencing* do ArcGIS.

Quadro 1 – Composição RGB das imagens TM/LANDSAT, datas utilizadas e suas respectivas fontes

Sensor/Satélite	Composição RGB 345	Data	Fonte
TM/LANDSAT		26 de agosto de 1990	INPE
		9 de setembro de 1995	INPE
		22 de setembro de 2000	INPE
		18 de julho de 2005	INPE
		26 de junho 1997	GLCF

Em seguida, adotando-se a bacia do rio Vieira como máscara, foram extraídas das composições LANDSAT as respectivas regiões desta bacia, utilizando-se a ferramenta *Extract by Mask* do *ArcToolbox*. Estas novas imagens foram, então, submetidas a uma classificação supervisionada. Para tanto, foi adicionada a barra de ferramentas denominada *Image Classification*. Amostras de treinamento foram coletadas em cada uma das classes previamente determinadas – **Área urbana**, **Vegetação**, **Área agrícola/Pastagem** e **Solo exposto**. Ressalta-se que para a classe **Vegetação** foram consideradas a vegetação natural e as áreas de eucaliptocultura. A chave de interpretação das imagens em questão pode ser observada no Quadro 2. O método de classificação supervisionada adotado foi o da Máxima Verossimilhança, que realiza uma classificação pixel a pixel. Foi utilizado um nível de probabilidade para esta classificação de 5 %.

Quadro 2 – Chave de interpretação das imagens na composição RGB

Classes de uso da terra	Classe Temática	Descrição do tema
<p>1</p> 	<p>Área urbana</p>	<p>Parte urbanizada</p>
<p>2</p>  	<p>Vegetação</p>	<p>Vegetação natural</p> <p>Plantio de eucalipto</p>
<p>3</p> 	<p>Área agrícola/Pastagem</p>	<p>Culturas anuais e perenes e área para pastoreio</p>
<p>4</p> 	<p>Solo exposto</p>	<p>Solo sem cobertura vegetal</p>

Dois outros mapas foram adotados como referência para a classificação, um deles encontra-se no trabalho feito por Leite *et al.* (2011), no qual, para esta mesma área da bacia do rio Vieira, foi elaborado um mapa de uso da terra. O segundo foi o mapeamento da cobertura vegetal nativa e de reflorestamento realizado em 2005 pelo Instituto Estadual de Florestas – IEF em parceria com a Universidade Federal de Lavras - UFLA (IEF, 2005).

Todas as imagens foram convertidas do formato Raster *Geodatabase* para *Float* e então importadas no Idrisi, usando a opção *ARCRASTER*. As células situadas fora dos limites da bacia de estudo recebem, no ArcGIS, o valor *No data*. Na importação para o Idrisi, a tais células foi assinalado o valor -9999, reclassificado como 0, indicando célula de fundo. Estas imagens assim reclassificadas foram então utilizadas para a coleta das amostras de treinamento para avaliar a qualidade das classificações efetuadas. A acurácia das classificações foi avaliada pelo índice Kappa, por meio da utilização de amostras de treinamento, no *software* Idrisi Selva, cuja descrição é apresentada a seguir:

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

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.

O Kappa pode ser avaliado qualitativamente de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 – Qualidade do Índice Kappa

Coefficiente Kappa	Interpretação
< 0,00	Péssima
0,01 - 0,20	Ruim
0,21 - 0,40	Razoável
0,41 - 0,60	Boa
0,61 - 0,80	Muito boa
0,81 - 1,00	Excelente

Fonte: Adaptado de Landis e Koch (1977).

Após a classificação e a avaliação da acurácia, tais imagens foram utilizadas como dados de entrada para a projeção do uso e ocupação da terra e para, posteriormente, relacionar o comportamento de cada classe com a suscetibilidade à desertificação. Esta etapa também foi realizada no Idrisi.

4.2.3. Cadeia de Markov e Autômatos Celulares

Para executar a Cadeia de Markov, são necessárias imagens de duas datas. Neste trabalho, foram exploradas algumas combinações entre os anos selecionados. Na Tabela 2 podem ser observadas estas combinações, o intervalo de tempo entre elas e o ano de projeção. Vale lembrar que o ano cujo cenário será projetado corresponde ao período entre as duas imagens em questão adicionado ao ano correspondente à segunda imagem.

Foi gerado o índice Kappa entre todas estas combinações. A ferramenta utilizada foi a *CrossTab*, que fornece o índice que indica o nível de mudança de uso da terra entre as duas datas.

Em seguida, foi executada a ferramenta *CA_Markov*. Como a Cadeia de Markov apenas apresenta as probabilidades de transição entre as diferentes classes de uso do solo, a referência geográfica foi adicionada ao processo com a utilização dos AC. Os AC possuem um filtro de contiguidade que aplica um fator de ponderação espacial em cada classe, de maneira que a dependência espacial entre os dados seja devidamente considerada. Este filtro indicará a maior ou menor aptidão do território para cada uma das classes de solo em questão. O filtro utilizado foi o padrão 5x5 do modelo *CA_Markov*, que apresenta a seguinte configuração:

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Uma vez obtidos os resultados da Cadeia de Markov, aplicou-se o modelo *CA_MARKOV*. Na ausência de qualquer informação mais robusta acerca das forças governantes da evolução do uso e ocupação da terra, optou-se por adotar uma superfície de custo isotrópica, assinalando o valor 1 a todas as células da bacia do rio Vieira. Eliminaram-se, assim, a subjetividade e a complexidade naturalmente associadas ao processo de seleção de fatores e assinalamento de pesos para descrever suas importâncias relativas.

Desta forma, a regra decisória de ocupação da terra foi baseada apenas na probabilidade de transição gerada na Cadeia de Markov, considerando-se as propriedades uniformes independentemente da direção e/ou uso da terra. Este procedimento foi executado para cada uma das combinações da Tabela 2.

Tabela 2 – Anos combinados para a Cadeia de Markov, o intervalo de tempo entre eles 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

4.2.4. Validação do modelo CA_Markov

Para validar o resultado obtido no processo CA_Markov, foi realizada uma tabulação cruzada no *software* ArcGIS. Como este procedimento indica a coincidência entre as classes de duas imagens, foi possível avaliar o resultado obtido pela Cadeia de Markov por meio do cálculo do índice Kappa gerado entre duas datas. Foram utilizadas a imagem obtida neste processo na combinação dos anos de 1995 e 2000, ou seja, imagem de projeção para 2005, e aquela classificada com os números de cada classe devidamente padronizados, com data de 2005. Este procedimento foi repetido com a imagem de projeção de 2005 e aquela classificada do ano de 2000.

Vale ressaltar que a combinação 1995 e 2000 foi escolhida devido ao fato de o ano de sua projeção corresponder a 2005, o que possibilitou uma comparação com a imagem de classificação mais recente deste trabalho, adotada como verdade de campo, igualmente de 2005.

Para validação do resultado obtido pelos Autômatos Celulares, foi realizada uma comparação classe a classe entre as imagens classificadas de 2005 e a imagem obtida pelo CA_Markov, verificando os acertos da imagem do CA_Markov para cada caso. Neste

sentido, pôde-se avaliar o desempenho dos Autômatos Celulares na determinação da referência espacial para cada uma das classes.

4.2.5. Relação da suscetibilidade à desertificação com as classes de uso e ocupação da terra

Apesar de a desertificação também ter uma causa natural, a ação climática, vários autores apontam que as atividades humanas têm sido as grandes responsáveis por este tipo de degradação nas terras secas (RHODES, 1991; MAINGUET, 1994; BRASIL, 1998; McCLURE, 1998; d'ANGELO *et al.*, 2000; ADAMO e CREWS-MEYER, 2006; HUANG *et al.*, 2009; SANTINI *et al.*, 2010). Neste sentido, foi estabelecida uma relação de suscetibilidade entre as classes definidas e a ocorrência da desertificação, na qual a classe **Solo exposto** foi apontada como aquela que apresenta maior suscetibilidade a este processo, seguida da classe **Área agrícola/Pastagem**, e, com menor influência no que se refere à desertificação, as classes **Vegetação** e **Área urbana**, respectivamente.

4.2.6. Prognose do uso terra para a bacia hidrográfica do Rio Vieira

Assim como indicado na Tabela 2, o ano de maior projeção entre as combinações realizadas para execução da Cadeia de Markov é 2020. Desta forma, o modelo CA_Markov foi executado três vezes, de modo que, partindo do ano de 2005, sempre utilizando como dado de entrada o resultado da combinação anterior, a prognose do uso da terra fosse definida para 2020. Ressalta-se que a imagem de entrada para realizar a primeira projeção de 2010 foi a imagem apenas classificada do ano de 2005.

5. RESULTADOS

5.1. Classificação das imagens

A Tabela 3 mostra os valores encontrados na classificação para cada uma das classes, nas suas respectivas datas. Na Figura 6, observa-se a representatividade de cada uma destas classes na bacia hidrográfica do rio Vieira.

Tabela 3 – Área de cada classe de uso da terra 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, da bacia do Rio Vieira, Montes Claros, MG

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

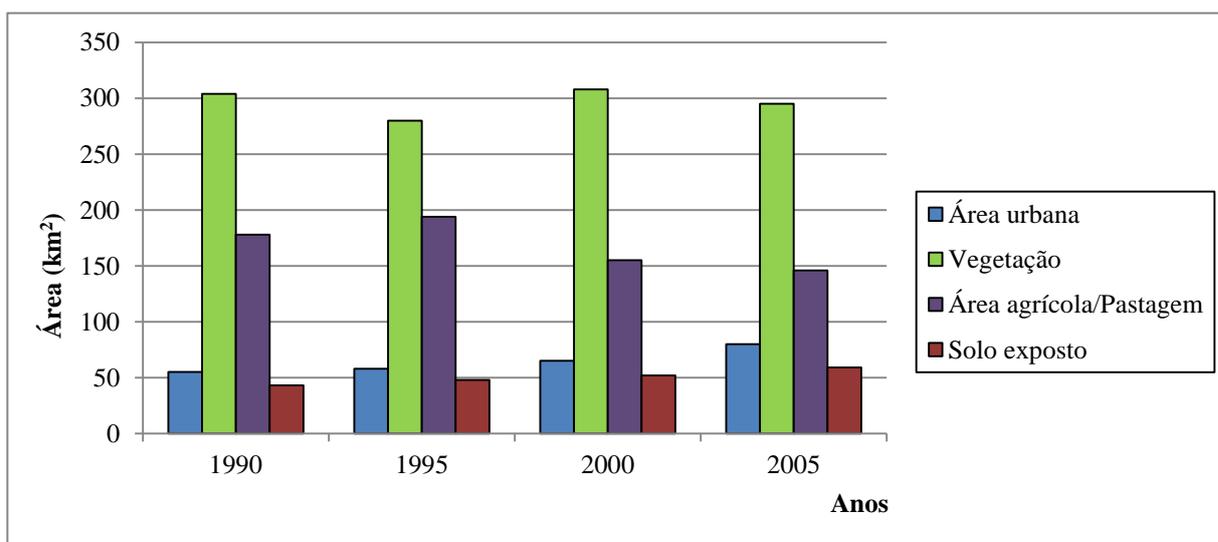


Figura 6 – Ocupação das classes de uso da terra na bacia do Rio Vieira, Montes Claros, MG, para cada ano analisado.

A Figura 6 mostra que a classe de maior representatividade na bacia do rio Vieira é a **Vegetação**, cuja ocupação varia entre 280 e 308 km². Em seguida, está a **Área agrícola/Pastagem** que, entre os anos analisados, variou em área de 146 a 194 km². E, com áreas bastante próximas, estão a **Área urbana** e **Solo exposto**, a primeira variando entre 55 e 80 km² e a segunda, entre 43 e 59 km².

A Figura 7 mostra os comportamentos específicos de cada classe no decorrer dos anos analisados, e as Figuras 8, 9, 10 e 11, as imagens classificadas em suas datas correspondentes.

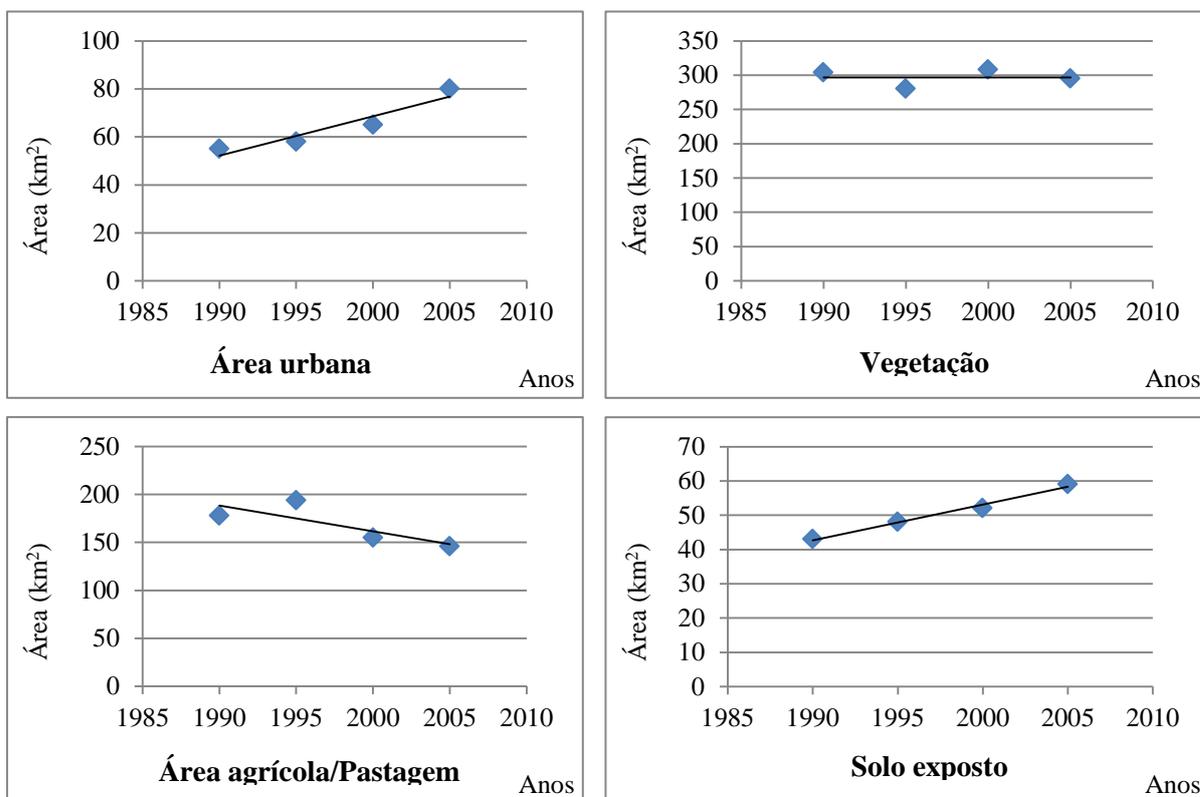


Figura 7 – Comportamento individual de cada classe no decorrer dos anos analisados para a bacia do Rio Vieira, Montes Claros, MG.

Na Tabela 3 e Figura 7 observa-se que a **Área urbana** teve um crescimento contínuo ao longo do tempo. Este comportamento se justifica pela posição de destaque que Montes Claros recebeu após a década de 70, tornando-se o núcleo urbano de maior expressão em todo o norte do Estado. O crescimento da cidade foi resultado do aumento da população e do tecido urbano, na medida em que as regiões periféricas têm sido alvo de loteamentos e criação de novos bairros, intensificando ainda mais esta expansão. No ano de 1990, esta classe apresentou uma área de 55 km², que, em 2005, foi ampliada para 80 km². O crescimento de Montes Claros é apontado como rápido e intenso, caracterizado pela expansão horizontal, o

que provocou problemas relacionados com os vazios urbanos (FRANÇA e SOARES, 2007). Estes vazios podem ser percebidos nas Figuras 8, 9, 10 e 11 em que, principalmente nos anos de 1995 e 2000, pôde-se identificar a ocorrência das outras classes mesmo dentro do perímetro urbano, com destaque para classe **Solo exposto** às margens da mancha urbana. No entanto, observa-se na Figura 11, imagem classificada datada de 18 de julho de 2005, que a área urbana de Montes Claros se tornou mais densa quando comparada com as outras datas. Apesar de uma perceptível redução visual das manchas de **Solo exposto** próximas à **Área urbana**, a classificação apontou um crescimento também contínuo no decorrer dos anos desta classe. Este fato aponta que outros tipos de uso do solo em outras áreas da bacia estão sendo responsáveis pelo seu aumento, não sendo a urbanização uma grande responsável pelo crescimento da classe **Solo exposto** na área de estudo.

O ano de 1995 apresentou o maior valor de **Área agrícola/Pastagem** entre os anos analisados, 194 km². Já a **Vegetação** para este mesmo ano teve o menor valor entre os anos analisados, 280 km². Estes valores opostos podem retratar a pressão que tais atividades antrópicas exercem sobre a cobertura vegetal. No entanto, apesar de no ano de 2005 a classe **Área agrícola/Pastagem** ter apresentado seu menor valor, 146 km², sua classe **Vegetação** não foi a mais representativa entre as demais. Ressalta-se neste caso não apenas o crescimento da **Área urbana**, mas também o aumento contínuo no decorrer dos anos da classe **Solo exposto**, que acabou por exercer pressão sobre a cobertura vegetal.

Em 1995 pode-se observar o maior valor da classe **Área agrícola/Pastagem**, porém, nos anos seguintes, de 2000 e 2005, esta classe teve seu valor reduzido. Associa-se a redução destas áreas também ao aumento do **Solo exposto**. Duas possíveis justificativas do crescimento desta classe podem ser apontadas: uma delas está relacionada ao abandono das áreas devido à degradação do solo, no entanto, pode-se considerar também que, na data correspondente ao imageamento do ano de 1995, o solo pudesse estar exposto momentaneamente, em razão do seu preparo para algum cultivo ou até mesmo que a colheita tenha sido realizada recentemente. Porém, devido à redução da classe **Área agrícola/Pastagem** nos anos seguintes de análise, acredita-se que o abandono da área tenha ocorrido com maior frequência. Pode-se perceber um aumento da classe **Vegetação** em 2000, e, em 2005, apesar de o valor ter-se reduzido em comparação com o ano de 2000, ainda foi superior ao valor em 1995. Como a **Vegetação** também teve crescimento nos anos seguintes, principalmente no ano de 2000, em que apresentou seu maior valor, 308 km², entende-se que as áreas agrícolas e de pastagens abandonadas não necessariamente estavam degradadas, uma

vez que se transformaram em vegetação. Vale ressaltar que este maior valor da **Vegetação** para o ano de 2000 foi logo em seguida ao ano de 1995, que apresentou o maior valor entre os demais anos de **Área agrícola/Pastagem**, comprovando tal suposição. Porém, devido ao aumento da classe **Solo exposto**, acredita-se que parte destas áreas abandonadas se encontravam de fato em degradação.

O valor do índice Kappa e sua classificação, segundo Landis e Koch (1977), estão especificados na Tabela 4 para cada uma das datas analisadas.

Tabela 4 – Índice Kappa e qualidade da classificação realizada para as datas em estudo

Data	Kappa	Qualidade
26/08/1990	0,82	Excelente
09/09/1995	0,89	Excelente
22/09/2000	0,88	Excelente
18/07/2005	0,91	Excelente

As informações da Tabela 4 apontam que a classificação realizada alcançou um excelente índice de qualidade, com grande coincidência entre a verdade de campo e a imagem classificada. Isso corrobora a decisão de se adotar o classificador da Máxima Verossimilhança (BARBOSA *et al.*, 2011).

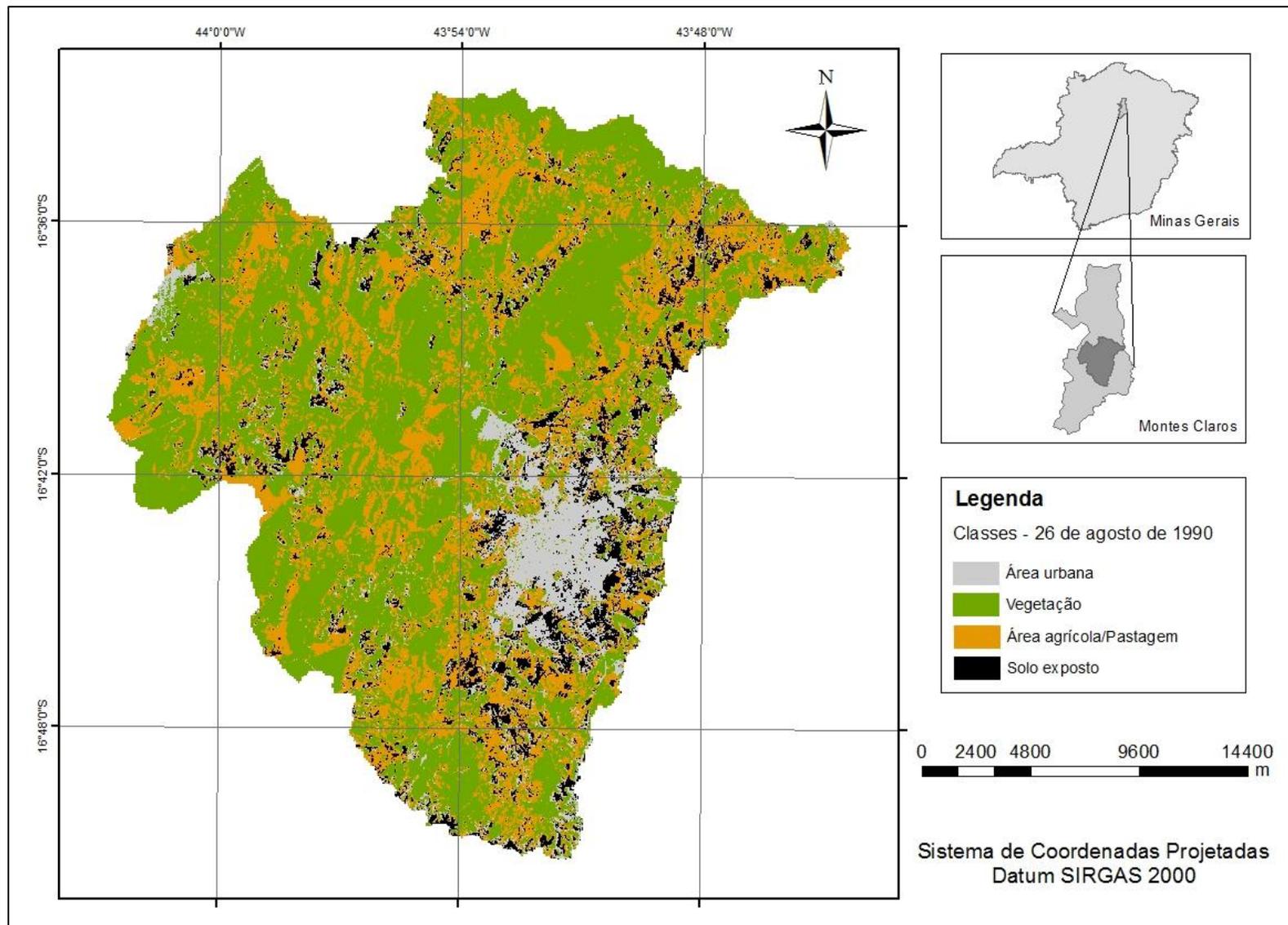


Figura 8 - Classificação supervisionada da bacia do Rio Vieira, Montes Claros, MG, para a data de 26 de agosto de 1990.

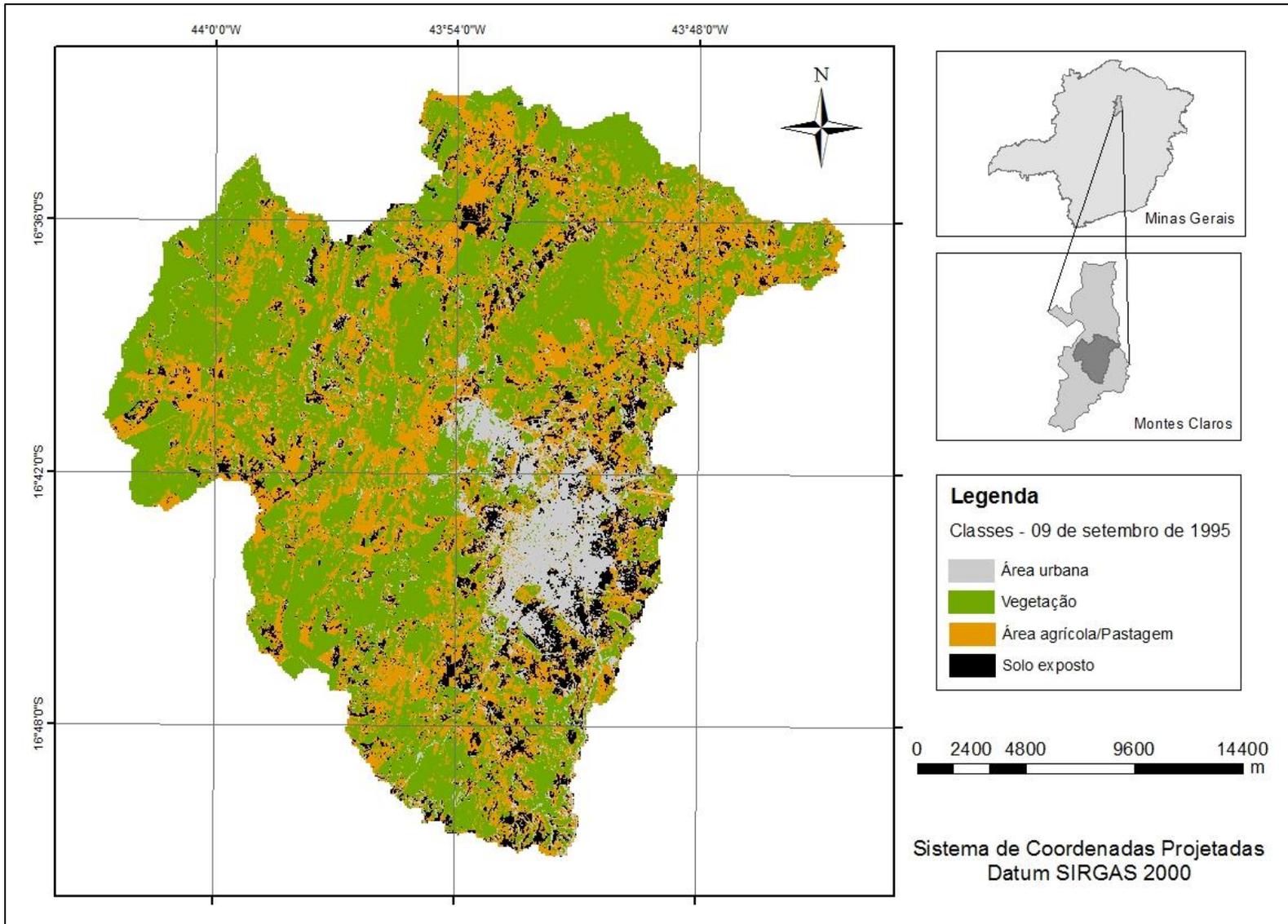


Figura 9 - Classificação supervisionada da bacia do Rio Vieira, Montes Claros, MG, para a data de 09 de setembro de 1995.

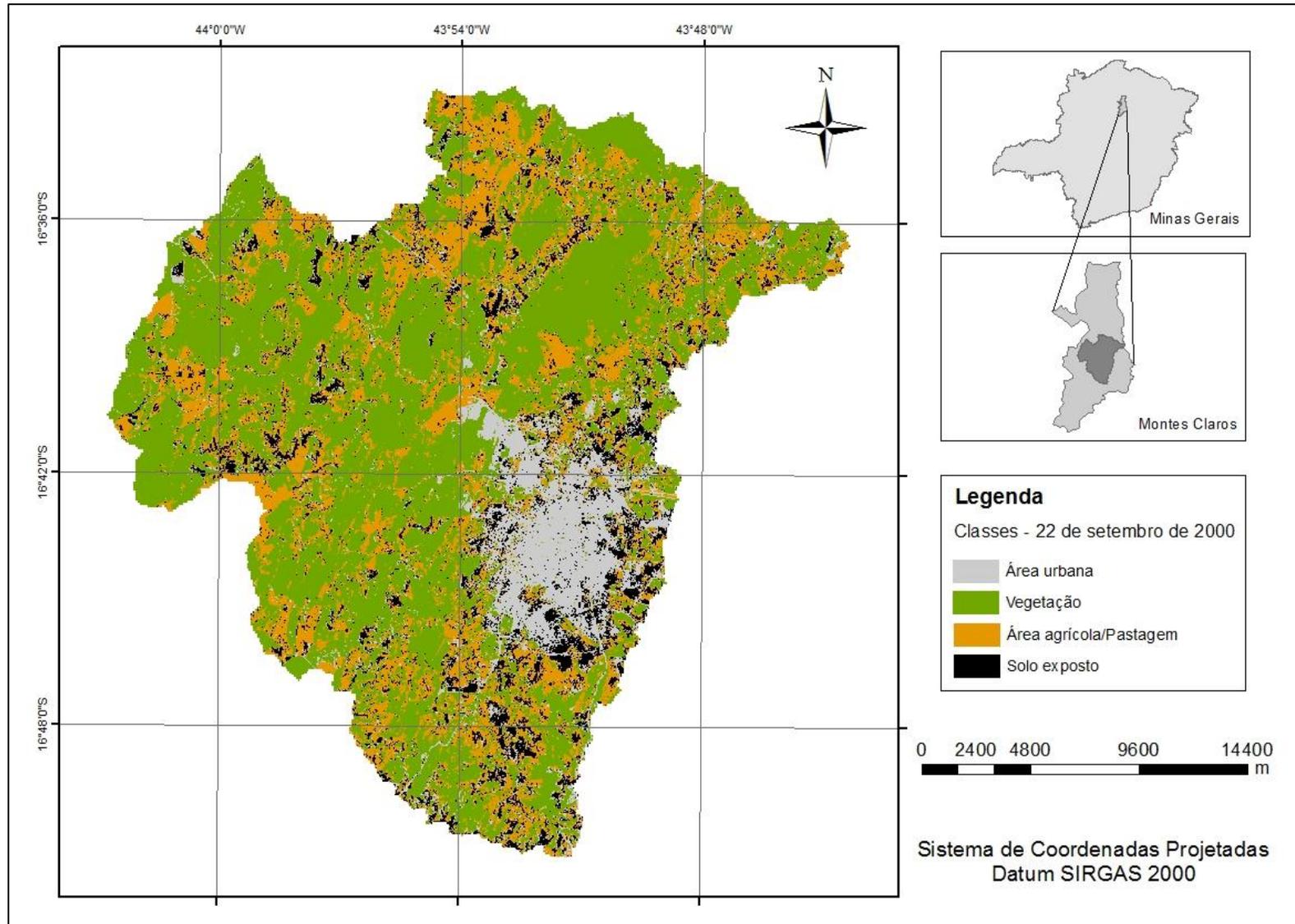


Figura 10 - Classificação supervisionada da bacia do Rio Vieira, Montes Claros, MG, para a data de 22 de setembro de 2000.

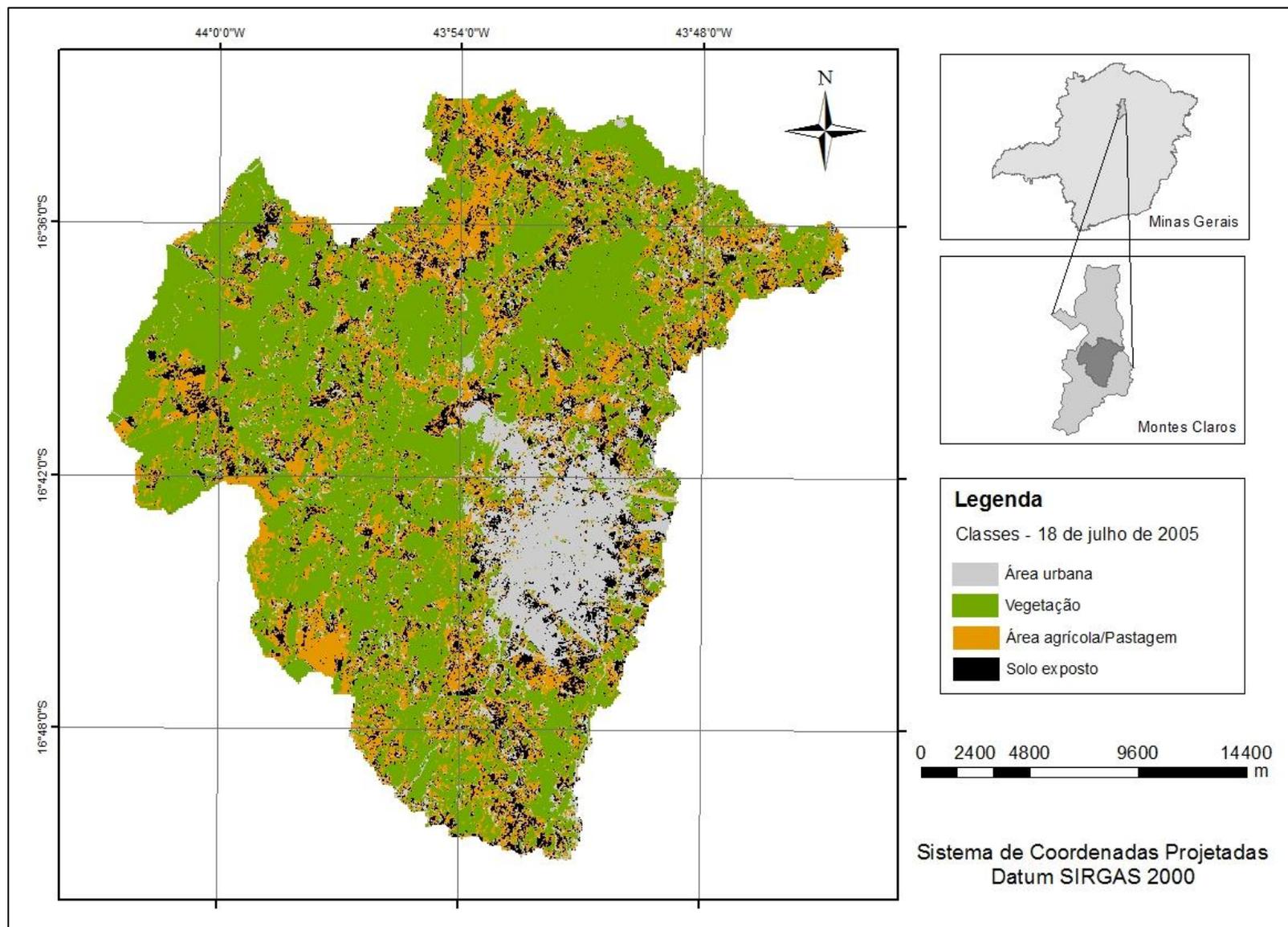


Figura 11 - Classificação supervisionada da bacia do Rio Vieira, Montes Claros, MG, para a data de 18 de julho de 2005.

Para se ter uma estimativa preliminar da ordem de grandeza das mudanças de uso da terra entre diferentes datas, calculou-se o índice Kappa para cada par de imagens, para todas as combinações possíveis. A imagem adotada como referência para cada par foi sempre aquela associada à menor data. Cabe destacar que foram utilizados todos os pixels das imagens, comparando-os um a um. Os valores do Kappa apresentados na Tabela 5 representam, assim, a magnitude da mudança global no uso da terra ocorrida em toda a bacia do rio Vieira, ao longo de cada período avaliado.

Tabela 5 – Índice Kappa e intervalo correspondente entre os anos analisados

Anos	Kappa	Intervalo (anos)
2000-2005	0,50	5
1995-2000	0,45	5
1995-2005	0,42	10
1990-2005	0,31	15

Observa-se que o Kappa associado às imagens de 1990 e 2005, que possuem um intervalo de 15 anos, foi o menor entre os demais, de 0,31. Na situação oposta, encontra-se o valor do Kappa para o período de 2000 e 2005, de 0,50, e de 1995 e 2000, de 0,45, os maiores valores. Confirmando esta tendência, o índice Kappa para os anos de 1995 e 2005 foi de 0,42, situando-se em um patamar intermediário aos intervalos de cinco e 15 anos.

Pode-se perceber que, neste contexto específico, o valor do índice Kappa está atrelado ao intervalo existente entre as duas datas analisadas. O maior intervalo entre as datas, de 15 anos, de 1990 a 2005, foi aquele que apresentou o menor índice Kappa. Isto indica uma baixa coincidência entre o uso da terra nestas duas datas, ou seja, uma maior mudança deste uso ocorreu no período em questão. É de se esperar que, quanto maior o intervalo de tempo analisado, maiores tendem a ser as mudanças ocorridas.

5.2. Cadeia de Markov

As probabilidades de transição entre as classes de uso da terra encontram-se na Tabela 6, de acordo com os anos de projeção.

Observa-se que todas as classes apresentaram uma maior probabilidade de se manterem inalteradas em todos os anos projetados. Quando comparada a probabilidade de a classe **Área urbana** se alterar para as demais, pode-se perceber que em 2005, 2015 e 2020 existe uma maior tendência de esta classe se transformar em **Vegetação**, 20 %, 16 % e 14 %, respectivamente. A arborização da cidade ou mesmo o fato de a expansão urbana do município ser de forma horizontal, com a comum ocorrência de quintais com cobertura vegetal nas casas, podem justificar também a probabilidade encontrada para esta transformação entre **Área urbana** e **Vegetação** ter sido a segunda de maior representatividade entre as demais nestes dois anos (FRANÇA e SOARES, 2007). Vale ressaltar que a probabilidade de a **Área urbana** se transformar em **Área agrícola/Pastagem** esteve, em média, por volta de 11 %. Ressalta-se que na classificação pôde-se perceber uma maior confusão do classificador em relação a alguns pixels de sombra ou mesmo de solo exposto, que apresentavam, na composição RGB, uma tonalidade acinzentada, provavelmente com comportamento espectral semelhante ao dos pixels apontados pela amostra como **Área urbana**. Portanto, este valor pode ser justificado pela confusão que houve na classificação.

Tabela 6 – Probabilidades de transição (%) entre as classes de uso da terra para os anos de 2010, 2015 e 2020 na bacia do Rio Vieira, Montes Claros, MG, com base nos anos de 1995-2000, 2000-2005, 1995-2005 e 1990-2005, respectivamente

2000				
	Área urbana	Vegetação	Área agrícola/Pastagem	Solo exposto
1995	Projeção para 2005			
Área urbana	61	20	10	8
Vegetação	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
Vegetação	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
Vegetação	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
Vegetação	5	74	15	4
Área agrícola/Pastagem	9	33	43	14
Solo exposto	26	7	31	34

Apesar de a classe **Solo exposto** apresentar uma maior tendência de não sofrer mudanças, observa-se que o valor apontado como probabilidade de continuar **Solo exposto** é bastante próximo daquele apontado para que esta classe se transforme em **Área agrícola/Pastagem**, isto para os quatro anos em análise. Neste sentido, pôde-se confirmar a

hipótese de que parte das áreas identificadas como **Solo exposto** estava momentaneamente sem alguma cultura, uma vez que o **Solo exposto** identificado não necessariamente é um solo degradado, ou seja, que não possa ser utilizado para agricultura ou pastagem ou mesmo que a vegetação não possa se regenerar. Já a probabilidade de mudança da classe **Solo exposto** para **Vegetação** foi substancialmente menor quando comparada com as outras três possibilidades, permanecendo sempre inferior a 10 %. As classes **Solo exposto** e **Vegetação** podem ser consideradas como situações extremas quando relacionadas ao quesito degradação. Este baixo valor do **Solo exposto** de se transformar em **Vegetação** indica a precária capacidade de recuperação da área sem a intervenção antrópica e, conseqüentemente, uma maior probabilidade de estas áreas, que de fato são **Solo exposto**, permanecerem como tal, ou seja, uma maior propensão para que ali ocorra a desertificação. No caso da possibilidade de transição entre **Solo exposto** e **Área urbana**, foram observados valores crescentes: de 20 % para 2005; de 21 % para 2010; de 23 % para 2015; e de 26 % para 2020. Esta tendência pode ser justificada pelo maior aproveitamento das áreas de **Solo exposto** próximas à **Área urbana**, ponto este já observado na análise da classificação das imagens.

A classe **Vegetação**, entre as demais, foi aquela que apresentou, para todos os anos, a maior probabilidade de manter-se inalterada. No entanto, estes valores, decrescentes no decorrer dos anos – 83 % para 2005, 80 % para o ano de 2010, 79 % para 2015 e 74 % para 2020 – indicam uma maior probabilidade de possível alteração da **Vegetação** para qualquer outra classe ao longo do tempo. As probabilidades sempre indicaram uma maior tendência de a classe **Vegetação** se alterar para **Área agrícola/Pastagem**, seguida pela **Área urbana** e **Solo exposto**, respectivamente. Tal fato revela não apenas o homem como agente transformador da paisagem, mas também que a pressão antrópica é, em grande parte, a responsável pela supressão da cobertura vegetal, que vem se intensificando com o passar dos anos, principalmente no que se refere à agropecuária.

Quando comparadas as chances de as classes **Área urbana** e **Vegetação** sofrerem alterações, considera-se que a primeira é aquela que apresenta uma maior probabilidade de que menores alterações venham a ocorrer, uma vez que a cobertura vegetal pode sofrer modificações com maior velocidade devido ao rigor climático, ocorrência de incêndios ou qualquer outra ação do homem. Apesar de a classe **Área urbana** ter apresentado um alto valor para manter-se inalterada em todos os anos de análise, não foi superior ao valor apresentado pela classe **Vegetação** em nenhum momento. Os valores apresentados, nestes dois casos, podem ser possivelmente explicados pelas características destas duas classes nas

imagens ainda não classificadas. No caso da **Vegetação**, pode-se considerar esta classe com menor grau de variabilidade entre os valores de seus pixels, enquanto no caso da área urbana os pixels apresentam considerável variação nos seus valores em sua área correspondente. Esta variação nos valores dos pixels está relacionada com a própria variabilidade daquilo que compõe uma área urbana: edificações, asfalto, vegetação, água e solo exposto. A possibilidade de transição entre a classe **Vegetação** para de **Área urbana**, em todos os anos, só não foi menor que a probabilidade de mudança da **Vegetação** para **Solo exposto**. Estes baixos valores são justificados em razão também da baixa ocorrência da **Vegetação** no entorno da **Área urbana**, sendo as classes de **Solo exposto** e de **Área agrícola/Pastagem** as que predominam ao redor da mancha urbana. Tanto é que os valores de possíveis transformações da classe **Área agrícola/Pastagem** para **Área urbana** e também do **Solo exposto** para **Área urbana** foram sempre superiores à probabilidade de a **Vegetação** se transformar em **Área urbana**. Quando comparado com a **Área agrícola/Pastagem**, o **Solo exposto** teve maior probabilidade de se transformar em **Área urbana**, e tais valores são justificados pela tendência de redução dos vazios que existem dentro e ao redor do perímetro urbano, tornando esta área mais densamente ocupada. Este fato foi observado visualmente nas imagens classificadas quando comparadas com a classificação mais recente, de 2005 (Figura 11).

A classe **Vegetação** apresentou menor probabilidade de mudança para a classe Solo exposto em todos os anos de projeção. Deve-se considerar que nesta classificação não foi especificado o tipo da cobertura vegetal, e como observado no mapeamento da cobertura vegetal elaborado pelo IEF e UFLA, ocorre na bacia do rio Vieira a Floresta Decidual, ou seja, aquela que perde grande parte de suas folhas em períodos de estiagem (CARVALHO e FELFILI, 2011), passando a conferir neste momento de rigor climático uma menor cobertura vegetal ao solo. Como foi determinada uma única classe, independentemente do tipo vegetacional e de suas características, considera-se aceitável a probabilidade indicada, que aponta uma grande proteção ao solo pela vegetação, independente de qual seja sua especificidade.

A segunda maior probabilidade depois de a **Vegetação** não se transformar em qualquer outra foi a transição para **Área agrícola/Pastagem**, também para todos os casos em estudo. Apesar de os valores mostrarem a pressão que estas atividades exercem sobre a cobertura vegetal, ressalta-se que os valores da probabilidade da classe **Área agrícola/Pastagem** se transformarem em **Vegetação** para todos os anos analisados foram

maiores do que a situação contrária. Estes valores mostram uma maior probabilidade de que áreas agrícolas e de pastagem venham a desenvolver vegetação, provavelmente por questões de abandono da área do que a situação inversa, que corresponderia à pressão sobre esta última classe. No entanto, vale observar os valores percentuais decrescentes de as classes **Área agrícola/Pastagem** se transformarem em **Vegetação**: 52 % para os anos de 2005 e 2010, 44 % para 2015 e 43 % para 2020. E os valores percentuais crescentes da situação oposta de a **Vegetação** se transformar em **Área agrícola/Pastagem**: 2 %, 3 %, 4 % e 5 % para os anos de 2005, 2010, 2015 e 2020, respectivamente. Observa-se então uma tendência de a classe **Vegetação** se transformar com o passar do tempo em **Área agrícola/Pastagem** do que quando comparada à situação oposta, que, apesar de valores bem mais altos, encontra-se em situação decrescente.

5.3. Os Autômatos Celulares e a Validação do Modelo CA_Markov

Na Tabela 7 podem-se observar os valores obtidos para cada classe para a Cadeia de Markov com projeção para o ano de 2005 e para a classificação também neste mesmo ano. Na Figura 12 observa-se a espacialização das classes de uso e ocupação da terra na bacia do rio Vieira para o ano de 2005 pela projeção realizada pelo modelo CA_Markov.

Tabela 7 – Áreas das classes de uso e ocupação da terra obtidas para a Cadeia de Markov projetadas para o ano de 2005 e para a classificação supervisionada da imagem deste mesmo ano

Classes	Área (km ²)		
	Cadeia de Markov	Classificação	Diferença (%)
Área urbana	68	80	15
Vegetação	321	295	8
Área Agrícola/Pastagem	140	146	4
Solo exposto	51	59	13

Comparando os valores apontados pela projeção da Cadeia de Markov e pela classificação (Tabela 7), percebe-se uma maior proximidade nos valores das classes **Área agrícola/Pastagem** e **Solo exposto**, com uma diferença de 6 km² para a primeira classe e de 8 km² para a segunda. Já no caso da classe **Vegetação**, esta diferença entre as duas áreas foi

maior, de 26 km². Entre as classes, a **Área urbana** apresentou uma diferença intermediária, de 12 km². No entanto, apesar destas diferenças, o Kappa entre estes dois casos foi de 0,45, que, na classificação de Landis e Koch (1977), indica boa qualidade. Esta classificação do Kappa confirma a boa predição realizada pela Cadeia de Markov no que se refere às probabilidades de cada classe de uso e ocupação da terra. Devido à diferença, apesar de pequena, entre o resultado apresentado pela Cadeia de Markov e a classificação, pode-se afirmar que as probabilidades de mudança no uso da terra de fato não foram constantes no decorrer dos anos. Porém, mesmo que a Cadeia de Markov determine a estacionaridade das probabilidades e isto não tenha ocorrido, a pequena diferença entre a sua predição e a classificação confere a esta parte do modelo CA_Markov um bom desempenho.

Quando comparada a Figura 11, imagem do ano de 2005 tomada como verdade de campo, com a Figura 12, resultado da projeção para este mesmo ano, observa-se que a confusão do classificador com relação a alguns pixels de solo exposto ou sombra, classificando-os como área urbana, foi reduzida (Figura 11), apesar de não ter sido eliminada por completo (Figura 12). Esta observação está relacionada com a atuação dos Autômatos Celulares do modelo que, por tender à expansão das bordas das manchas, independente da classe de que se trata, acabou por reduzir esta confusão do classificador, já que se tratava de pequenos grupos, ou até de pixels individuais. Este comportamento dos Autômatos Celulares acaba por se assemelhar ao comportamento natural do meio, no qual existe uma maior probabilidade de mudança nas áreas de transição das classes do que quando comparada à mudança no interior de uma mancha de determinada classe distante da borda. Neste sentido, na comparação visível entre a imagem gerada pelos Autômatos Celulares (Figura 12) e a imagem da classificação do ano de 2005 (Figura 11), as áreas de solo exposto, em partes já existentes na imagem de 2000 (Figura 10), tornaram-se maiores ao invés de, como observado na imagem da classificação de 2005 (Figura 11), tomarem uma distribuição em áreas menores, porém de maneira mais esparsa na bacia do rio Vieira.

Quando comparada a imagem gerada pelos Autômatos Celulares (Figura 12) com aquela classificada do ano de 2000 (Figura 10), pôde-se perceber uma maior semelhança entre estas imagens que entre as imagens dos Autômatos Celulares (Figura 12) e a classificação de 2005 (Figura 11). Diante disso, foi gerado o Kappa entre a primeira comparação. O Kappa obtido foi de 0,50, de fato maior que o Kappa gerado entre o resultado dos Autômatos Celulares e a classificação de 2005, de 0,45. Estes valores revelam que, de fato, existe uma maior semelhança entre o resultado dos Autômatos Celulares e a classificação de 2000 do que

com a classificação de 2005. Pode-se justificar este fato devido ao ano de 2000 ter sido utilizado como um dos anos de entrada para a Cadeia de Markov, sendo ele o último na ordem cronológica, tendo, neste sentido, influenciado em maior parte o resultado. Apesar da proximidade destes valores, ao avaliar a referência espacial assinalada pelos Autômatos Celulares, pode-se perceber que algumas classes apresentaram um baixo valor de acerto quando comparadas às imagens deste método e àquela da classificação de 2005, classe a classe. O desempenho dos Autômatos Celulares em relação ao número de pixels de cada classe entre este método e a verdade de campo, classificação de 2005, pode ser observado na Tabela 8.

Tabela 8 – Desempenho do método dos Autômatos Celulares para cada classe de uso e ocupação da terra comparando-se com a imagem da classificação de 2005

Classe	Área (km ²)/classe Classificação	Área (km ²)/classe Autômatos Celulares	Acerto (%)
Área urbana	80	45	56
Vegetação	295	246	83
Área agrícola/Pastagem	146	71	49
Solo exposto	59	18	30

A Tabela 8 mostra que a **Vegetação** foi aquela que teve maior coincidência entre o resultado dos Autômatos Celulares e a classificação de 2005, 83 %. Em seguida, estão as classes **Área urbana**, com 56 %, e **Área agrícola/Pastagem**, com 49 %. O pior nível de acerto foi para o **Solo exposto**, apenas 30 %. Observa-se assim a atuação dos Autômatos Celulares em relação ao tamanho da mancha da classe, no qual a mancha que possui um tamanho maior tende a se expandir sobre as demais. Neste sentido, como pode ser observado na Figura 12, a classe **Vegetação** foi aquela que apresentou várias grandes manchas. Em segundo lugar, no que se refere ao tamanho das manchas, está a **Área urbana**, que, apesar de apresentar também pequenas manchas, possui uma mancha urbana concentrada de tamanho considerável. Já em relação às manchas das classes **Área agrícola/Pastagem** e **Solo exposto**, elas se assemelham por estarem bem distribuídas por toda a área da bacia e também por possuírem tamanhos variados, no entanto, na maioria dos casos, a classe **Área agrícola/Pastagem** apresenta manchas maiores quando comparadas com aquelas manchas de **Solo exposto**.

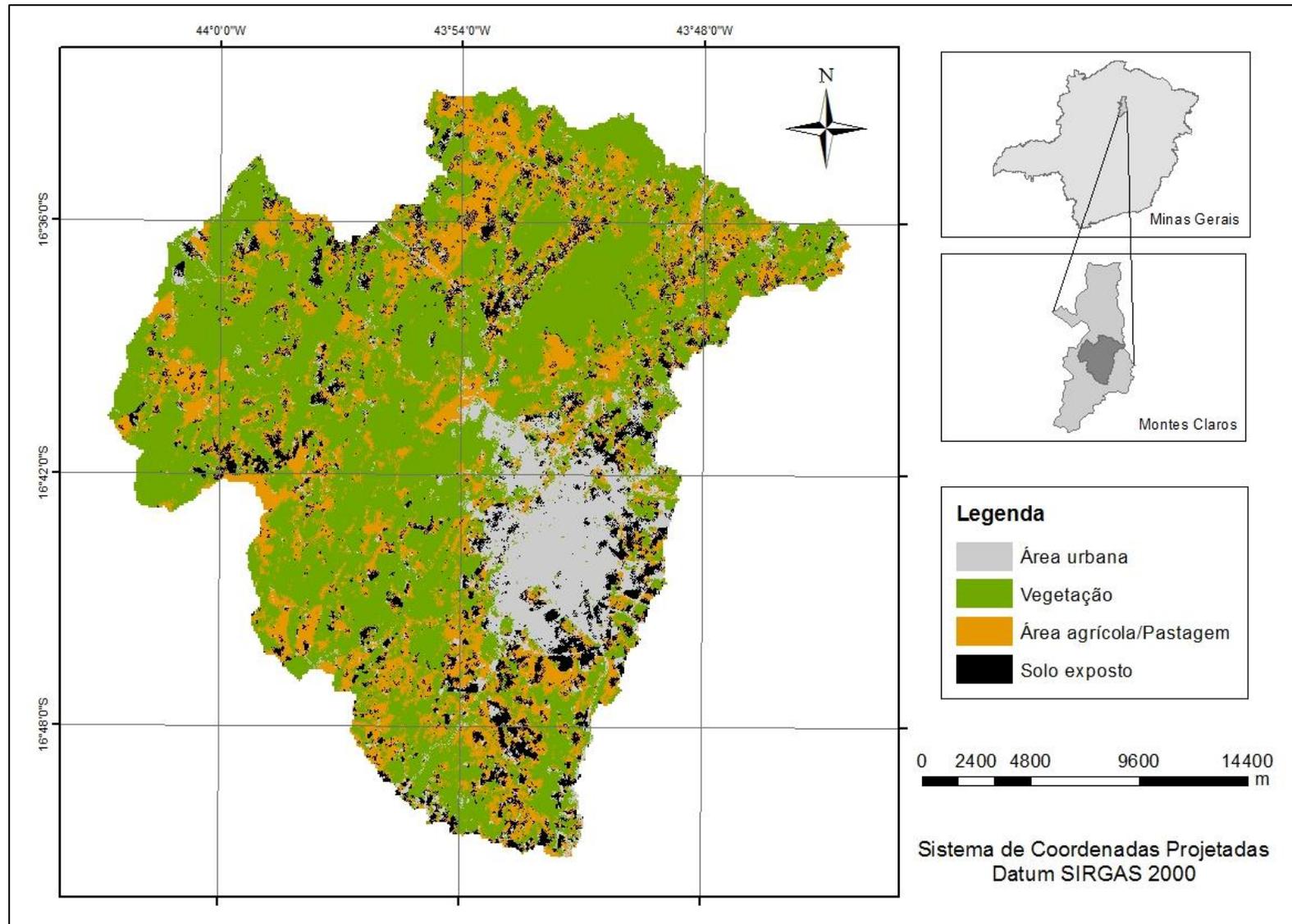


Figura 12 – Projeção das classes de uso e ocupação da terra para o ano de 2005 para a bacia hidrográfica do Rio Vieira, Montes Claros, MG.

5.4. Prognose do uso terra para a bacia hidrográfica do Rio Vieira

As projeções do uso e ocupação da terra para os anos de 2010, 2015 e 2020 da bacia hidrográfica do rio Vieira podem ser observadas respectivamente nas Figuras 13, 14 e 15. Na Tabela 9 estão relacionados os valores de cada uma das classes no seu respectivo ano de projeção.

Tabela 9 - Áreas das classes de uso e ocupação da terra obtidas para os anos de 2010, 2015 e 2020 para a bacia hidrográfica do Rio Vieira, Montes Claros, MG

Classes	Área (km ²)		
	2010	2015	2020
Área urbana	91	102	113
Vegetação	285	274	263
Área Agrícola/Pastagem	143	140	138
Solo exposto	61	64	66

Na projeção realizada, observa-se que as classes **Área urbana** e **Solo exposto** mantiveram a tendência de crescimento contínuo no decorrer dos anos. Comparando com o valor apresentado na classificação de 2005 (Tabela 8), houve um crescimento de 33 km² em relação ao ano de 2020 para a **Área urbana**. O **Solo exposto** também apresentou crescimento, porém, menor, de 7 km² neste mesmo intervalo. As classes **Vegetação** e **Área agrícola/Pastagem** indicaram, também no período de 2005 a 2020, um constante decréscimo em suas áreas: de 32 km² para a **Vegetação** e de 8 km² para a **Área agrícola/Pastagem**, também no período de 2005 a 2020.

Observa-se nas Figuras 13, 14 e 15 que as manchas de **Área urbana**, indevidamente classificadas como tal, permaneceram ao longo das projeções. No entanto, como já observado anteriormente, este erro está vinculado ao desempenho do classificador, não estando relacionado, portanto, à atuação do modelo CA_Markov.

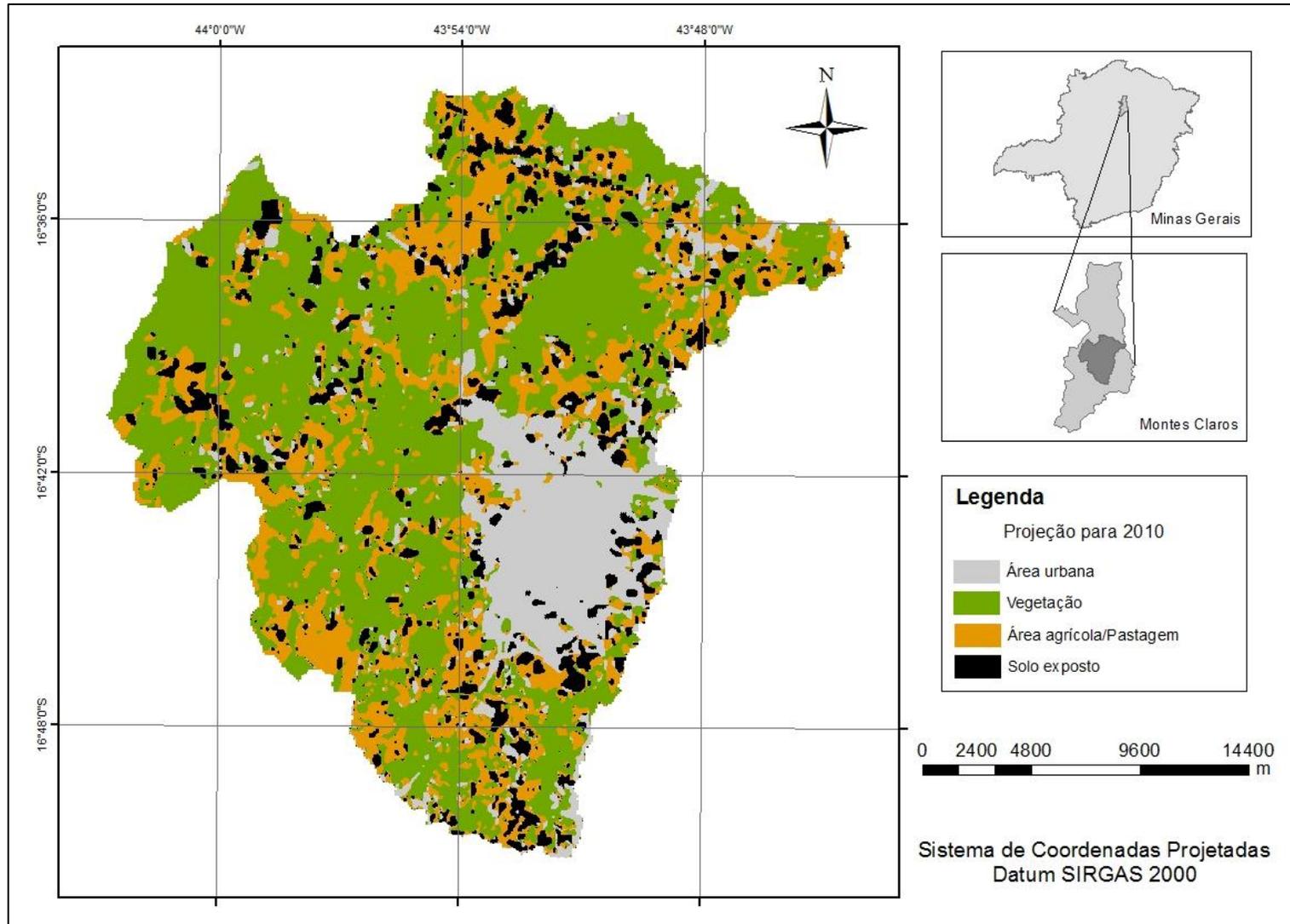


Figura 13 - Projeção das classes de uso e ocupação da terra para o ano de 2010 para a bacia hidrográfica do Rio Vieira, Montes Claros, MG.

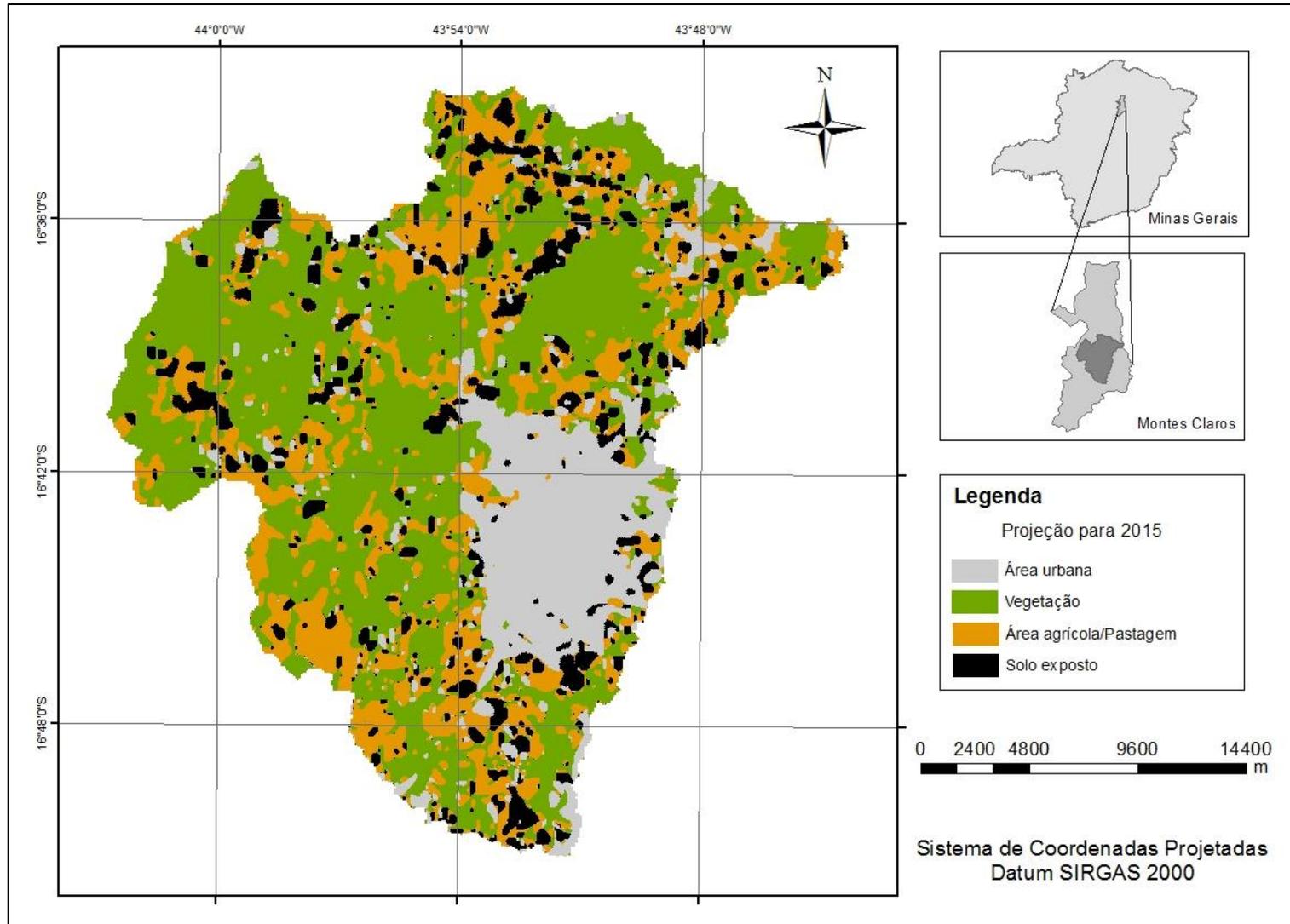


Figura 14 - Projeção das classes de uso e ocupação da terra para o ano de 2015 para a bacia hidrográfica do Rio Vieira, Montes Claros, MG.

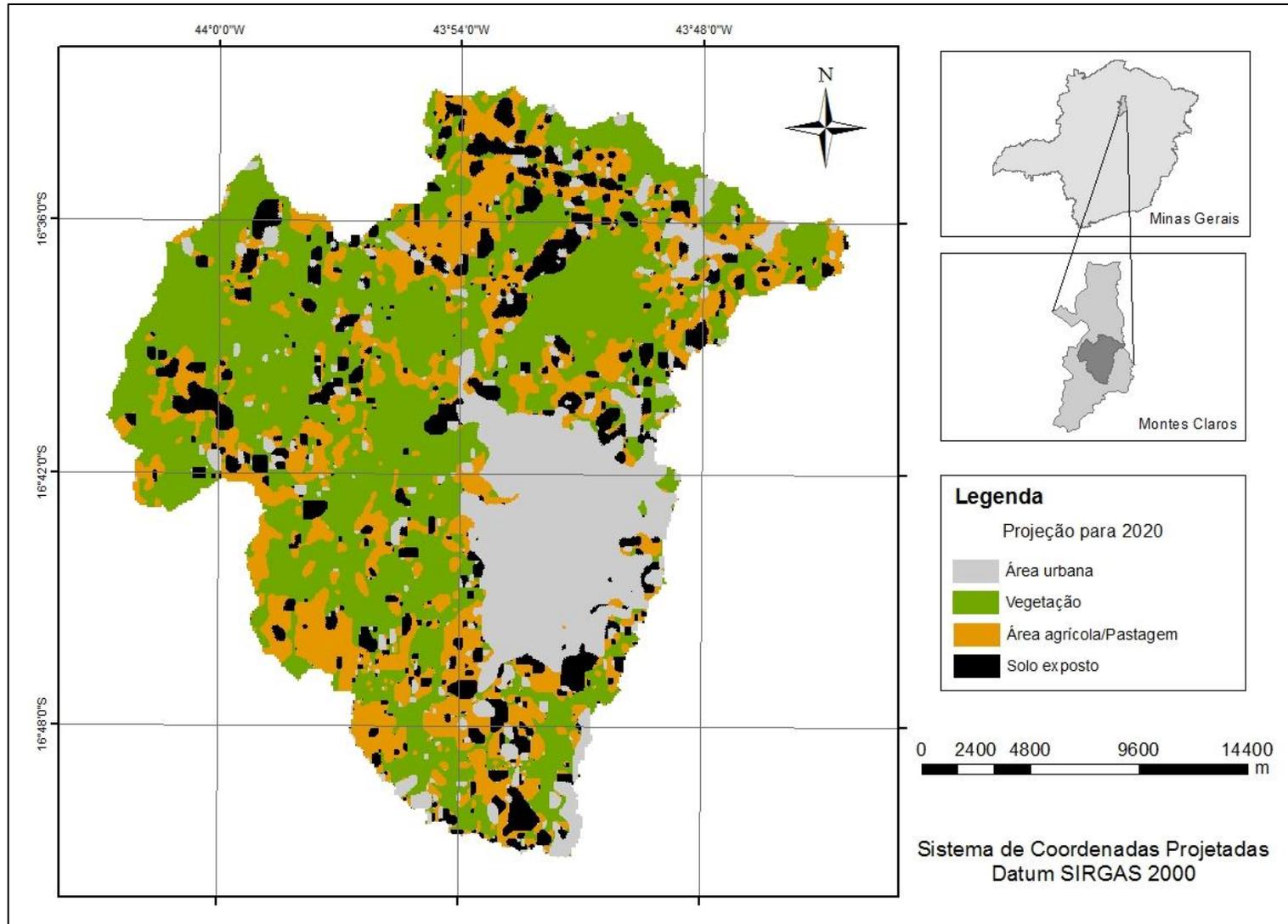


Figura 15 - Projeção das classes de uso e ocupação da terra para o ano de 2020 para a bacia hidrográfica do Rio Vieira, Montes Claros, MG.

5.5. A suscetibilidade à desertificação e as classes de uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do Rio Vieira

Sabe-se da existência de uma estreita relação entre a desertificação e o solo, em que a utilização dada a este recurso, quando em regiões de clima árido, semiárido ou subúmido seco, acaba por influenciar seus padrões originais, sendo que a redução ou a perda da fertilidade assim como a salinização podem vir a ocorrer nestas áreas. A erosão eólica ou a hídrica, a deterioração das propriedades do solo, seja esta deterioração de caráter físico, químico ou biológico, e a retirada da vegetação durante longos períodos estão entre as possíveis causas da desertificação diretamente relacionadas com o quesito solo (CONVENÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS DE COMBATE À DESERTIFICAÇÃO, 1995; SOUZA *et al.*, 2009). Neste sentido, quando ocorre solo exposto nas terras secas, subte-se esta classe com forte potencial para o desenvolvimento da desertificação, tanto é que a expansão destas áreas foi considerada por Guerra *et al.* (2010) auxílio na identificação do processo da desertificação em sua área de estudo, Jaguaribe, Ceará.

A classe **Solo exposto** na bacia do rio Vieira, apontada como aquela que apresenta maior suscetibilidade à desertificação entre as demais classes, apontou crescimento no intervalo de tempo analisado, de 1990 a 2005. Da mesma forma aconteceu na projeção realizada, em que para todos os casos, esta classe manteve-se em crescimento contínuo. Quando o solo está desprovido de cobertura vegetal por tempo prolongado, desde processos erosivos como alterações em suas propriedades estão facilmente sujeitos a ocorrer, a tal ponto que o nível de degradação seja atingido. A supressão da vegetação para a prática de atividades agropecuárias, e quando estas últimas são realizadas com a falta de técnicas de conservação do solo, pode dar origem a áreas de solo exposto, acelerando, inclusive, o aparecimento de tais áreas. Tais atividades, ao afetarem a fertilidade deste recurso, podem induzir a população ao êxodo rural. Esta situação de redução da cobertura vegetal ao longo dos anos e o aparecimento de novas áreas de solo exposto também foram fatos percebidos nesta área de estudo, cenário que retrata a relação de causa e consequência da desertificação (PACHÊCO *et al.*, 2006; SOUSA *et al.*, 2007).

Neste sentido, entende-se que a suscetibilidade à desertificação na bacia do rio Vieira tem comportamento crescente no decorrer dos anos, visto que a classe que se apresenta mais suscetível ao processo apresentou tendência de crescimento contínuo. Deve-se ressaltar ainda a prática de atividades agrícolas e pecuárias que, apesar de ter mostrado declínio no

decorrer dos anos, no caso da área de estudo, seu aumento esteve sempre atrelado à redução da área de vegetação e ao aumento do solo exposto. No entanto, no sentido contrário, apesar de nos anos de 2000 e 2005 ter ocorrido uma redução da classe **Área agrícola/Pastagem**, este declínio não foi diretamente proporcional ao crescimento da **Vegetação**, envolvendo neste processo o crescimento das classes **Solo exposto** e **Área urbana**. Apesar de, para a bacia do rio Vieira, a urbanização ter apresentado uma pequena alteração sobre as áreas de **Vegetação**, este valor não deve ser desprezado.

No que se refere ao resultado da predição do CA_Markov, deve-se analisá-lo separadamente. Em relação ao desempenho da Cadeia de Markov neste modelo, relacionado com a questão da suscetibilidade à desertificação, ou seja, enfocando a classe **Solo exposto**, pôde-se observar que esta classe esteve bem próxima em área da classificação de 2005, 51 e 59 km², nesta ordem. Mesmo ocorrendo uma redução desta classe, pode-se considerar então que a Cadeia de Markov conseguiu predizer de maneira satisfatória as áreas que têm maior suscetibilidade à desertificação. No entanto, quando avaliado o desempenho dos Autômatos Celulares, principalmente relacionado com a classe **Solo exposto**, pôde-se perceber um baixo desempenho, uma vez que, quando comparado com a classificação de 2005, o resultado dos Autômatos indicou apenas 30 % de coincidência entre as áreas que de fato são **Solo exposto** em 2005. Do ponto de vista da desertificação, pode-se afirmar que a situação apontada pelos Autômatos Celulares tem gravidade maior do que quando comparada ao que foi revelado pela classificação. Observou-se que na predição (Figura 12) as classes de **Solo exposto**, apesar de terem uma leve redução em sua distribuição na área de estudo, tornaram-se maiores. Já no caso da imagem classificada (Figura 11) o **Solo exposto** estava distribuído de maneira esparsa na bacia hidrográfica do rio Vieira e em diversas áreas menores. No sentido de promover a recuperação de uma área desertificada, entende-se que combater uma área maior, ou seja, que possua um núcleo mais intenso de degradação, seja de maior dificuldade, tanto do ponto de vista físico e biológico quanto econômico.

Duas classificações relacionadas ao clima da área de estudo apontam a baixa interferência deste critério com a ocorrência da desertificação. Uma delas é a classificação climática para o município de Montes Claros do PAN-BRASIL, que o considera um município de clima subúmido seco, ou seja, no nível de suscetibilidade à desertificação, e do ponto de vista restritamente climático, este seria o de menor intensidade. Outra classificação também relacionada ao clima foi aquela retratada por Barros (2010) para o norte de Minas Gerais, que calculou o índice de aridez para toda a mesorregião Norte de Minas, onde está

inserida a bacia do rio Vieira. Neste estudo, o índice de aridez encontrado para Montes Claros não é considerado suscetível a este tipo de degradação da terra. No entanto, como pode ser percebido, as atividades humanas na bacia hidrográfica do rio Vieira podem ser consideradas as grandes responsáveis pela possível ocorrência da desertificação nesta área, superando a capacidade do clima de, por si só, desertificar uma área.

Com os resultados alcançados, espera-se contribuir para o avanço das pesquisas relacionadas à desertificação. Deve-se ressaltar a utilização das ferramentas do Geoprocessamento como grandes aliadas na geração de bases de dados para posterior tomada de decisão. As informações geradas neste trabalho para a bacia hidrográfica do rio Vieira podem auxiliar a elaboração de propostas de planejamento do uso da terra, seja com o intuito de preservação e/ou conservação de áreas que apresentam suscetibilidade à desertificação assim como também de recuperação e/ou restauração de áreas já desertificadas.

6. CONCLUSÕES

- Os resultados do modelo de Autômatos Celulares devem ser avaliados separadamente daqueles provenientes da Cadeia de Markov. Esta última mostrou-se eficiente na predição quantitativa das mudanças de uso da terra. Já em relação aos Autômatos Celulares, pôde-se perceber um desempenho mediano na espacialização das classes envolvidas.
- Especificamente, no que se refere à desertificação, o emprego do modelo CA_Markov foi eficaz para estimar a área total da classe de maior suscetibilidade a este processo, o **Solo exposto**; entretanto, mostrou-se ineficiente em sua espacialização.
- Mesmo com as ressalvas relacionadas ao desempenho dos Autômatos Celulares, pode-se considerar boa a capacidade geral de predição do modelo CA_Markov.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAHUSSAIN, A. A.; ABDU, A. S.; AL-ZUBARI, W. K.; EL-DEEN, N. A.; ABDUL-RAHEEM, M. Desertification in the Arab Region: analysis of current status and trends. *Journal of Arid Environments*. v. 51, p. 521-545, 2002. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1006/jare.2002.0975>> Acesso em: 8 fev. 2012.

ADAMO, S. B.; CREWS-MEYER, K. A. Aridity and desertification: Exploring environmental hazards in Jáchal, Argentina. *Applied Geography*. v. 26, issue 1, 2006. Page 61-85. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2005.09.001>> Acesso em: 13 jan. 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, ANA (2011). Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Verde Grande. Relatório Síntese. Disponível em: <http://www.verdegrande.cbh.gov.br/planobacia/20110225_PRHVerdeGrandeRelatorioSintese.pdf> Acesso em: 27 mar. 2012.

ALI, J.; MIRZA, M. I. Space technology in the mapping of desertification in Pakistan. *Advances in Space Research*. v. 13, p. 103-106, 1993. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/0273-1177\(93\)90209-T](http://dx.doi.org/10.1016/0273-1177(93)90209-T)> Acesso em: 8 fev. 2012.

ALMEIDA, C. M. ; CAMARA, G. ; MONTEIRO, A. M. V. ; SOARES-FILHO, B. S. ; CERQUEIRA, G. C. . Modelos Celulares de Dinâmicas Espaço-Temporais: Aplicações em Estudos Urbanísticos. In: Margareth Simões Penello Meirelles; Gilberto Câmara Neto; Cláudia Maria de Almeida. (Org.). *Geomática: Modelos e Aplicações Ambientais*. 1 ed. Brasília: EMBRAPA, 2007, v. 1, p. 445-496. Disponível em: <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/iris%401912/2006/01.11.16.06/doc/Capitulo_9.PDF> Acesso em: 1 março 2012.

AMIRASLANI, F.; DRAGOVICH, D. Combating desertification in Iran over the last 50 years: An overview of changing approaches. *Journal of Environmental Management*. v, 92, n. 1, 2011. 1-13. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.08.012>> Acesso em: 30 jan. 2012.

AUBREVILLE, A . *Climats, forêts et désertification de l’Afrique Tropicale*. Paris: Société d’Éditions Géographiques, Maritimes et Coloniales, 1949.

BARBOSA, A. P.; CAMPOS, S.; ZIMBACK, C. R. L.; XAVIER, Z. B. Comparação de métodos de classificação de imagens na identificação de áreas cultivadas com citros. *Revista Energia e Agricultura*, v. 26, n. 3, p. 14-25, 2011. Disponível em: <<http://200.145.140.50/in dex.php/energia/article/viewFile/270/162>> Acesso em: 26 jul. 2012.

BARROS, K. O. Índice de aridez como indcador da susceptibilidade à desertificação na mesorregião Norte de Minas. Viçosa, 2010. Universidade Federal de Viçosa. 89p. Monografia.

BARROS, K. O.; FARIA, M. M.; ALMEIDA, C. C.; PEREIRA, T. T. C. A Pesquisa em Desertificação: Cenários e Perspectivas. Geografia, Ensino & Pesquisa, Santa Maria - RS, p. 55 – 62, 2008.

BRASIL. Conferência das Nações Unidas sobre o meio ambiente e desenvolvimento. Agenda 21. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente, p. 383, 1997.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. Convenção das Nações Unidas de combate a desertificação nos países afetados por seca grave e/ou desertificação, particularmente na África. Brasília: Plano Nacional de Combate a Desertificação, 1998. 2ª edição. 95p.

BRASIL. Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca: PAN-BRASIL. Brasília: Ministério do Meio Ambiente/Secretaria de Recursos Hídricos, 2004. 213p. Disponível em: <<http://www.aspan.org.br/riodbrasil/pt/documentos/PAN.pdf>> Acesso em: 18 fev. 2012.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Nova Delimitação do Semi-Árido Brasileiro. Secretaria de Políticas de Desenvolvimento Regional. Brasília. p. 35, 2005. Disponível em: <<http://www.integracao.gov.br/desenvolvimentoregional/publicacoes/delimitacao.asp>> Acesso em: 14 abril 2009.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, 2012. <<http://www.meioambiente.gov.br/sitio/index.php?ido=conteudo.monta&idEstrutura=203&idConteudo=9033&idMenu=9799>> Acesso em: 31 jan. 2012.

BRASIL. Resolução Conama nº 001, de 23 janeiro de 1986. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>> Acesso em: 14 jan. 2012.

CARVALHO, F. A.; FELFILI, J. M. Variações temporais na comunidade arbórea de uma floresta decidual sobre afloramentos calcários no Brasil Central: composição, estrutura e diversidade florística. Acta Botanica Brasílica. v. 25, n. 1, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-33062011000100024&script=sci_arttext> Acesso em: 25 jun. 2011.

CAVALCANTI, E. R.; COUTINHO, S. F. S.; SELVA, V. S. F. Desertificação e desastres naturais na região do semi-árido brasileiro. Revista Cadernos de Estudos Sociais. Recife. Editora Massangana. v. 22. nº1. p. 19-31. jan/jun. 2006. Disponível em: <http://www.fundaj.gov.br/geral/nesa/desastres_naturais.pdf> Acesso em: 31 jan. 2012.

CHEN, J.; WANG, G.; LI, Q.; DING, H. Dynamic evolution of desertification in Beijing and its neighboring areas. Proc. SPIE 4890, 587, 2003. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1117/12.466255>> Acesso em: 24 fev. 2012.

CLARK LABS, 2012. IDRISI Taiga. GIS and Image Processing Software. Disponível em: <<http://www.clarklabs.org/products/loader.cfm?url=/commonspot/security/getfile.cfm&pageid=3036>> Acesso em: 5 março 2012.

CONVENÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS DE COMBATE À DESERTIFICAÇÃO. Tradução: Delegação de Portugal. Lisboa: Instituto de Promoção Ambiental, 1995.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VERDE GRANDE. Disponível em: <<http://www.verdegrande.cbh.gov.br/caracterizacao.aspx>> Acesso em: 27 mar. 2012.

CONTI, J. B.; O conceito de desertificação. Revista Climatologia e Estudos da Paisagem. Rio Claro. v. 3. n° 9. p. 39. jul/dez. 2008. Disponível em: <<http://cecemca.rc.unesp.br/ojs/index.php/climatologia/article/viewPDFInterstitial/2091/2203>> Acesso em: 14 abril 2012.

DANFENG, S.; DAWSON, R.; BAOGUO, L. Agricultural causes of desertification risk in Minqin, China. Journal of Environmental Management. v. 79, 2006, pages 348-356. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.08.004>> Acesso em: 13 janeiro 2012.

d'ANGELO, M.; ENNE, G.; MADRAU, S.; PERCICH, L.; PREVITALI, F.; PULINA, G.; ZUCCA, C. Mitigation lan degradation in Mediterranean agro-silvo-pastoral systems: a GIS-based approach. Catena 40 (2000) 37-49. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0341-8162\(99\)00063-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0341-8162(99)00063-6)> Acesso em: 12 jan. 2012.

DAWELBAIT, M.; MORARI, F. Monitoring desertification in a Savannah region in Sudan using Landsat images and spectral mixture analysis. Journal of Arid Environments. p. 1-11. 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2011.12.011>> Acesso em: 27 Jan. 2012.

DING, H. P.; CHEN, J. P.; WANG, G. W. A Model for Desertification Evolution Employing GIS with Cellular Automata. In: International Conference on Computer Modeling and Simulation. 2009. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4797409>> Acesso em: 14 fev. 2012.

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. Geo UERJ – Ano 9, n° 17, vol. 2, 2007. Disponível em: <<http://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/geouerj/article/view/1305/1102>> Acesso em: 25 jun. 2012.

FREITAS, M. A. S. Um Sistema de Suporte à Decisão para o Monitoramento de Secas Meteorológicas em Regiões Semi-Áridas. Revista Tecnologia (UNIFOR), Fortaleza, v. Suplem, p. 84-95, 2005. Disponível em: <http://www.unifor.br/joomla/images/pdfs/pdfs_nottia/698.pdf> Acesso em: 31 jan. 2012.

GEOMINAS. Base de dados da hidrografia. Disponível em: <www.geominas.mg.gov.br> Acesso em: 16 jun. 2012.

GIORDANO, F.; BOCCON, M. Forest fragmentation, urbanization and landscape structure analysis in an area prone to desertification in Sardinia (Italy). Present Environment and Sustainable Development, 2010 Vol: 4 Issue: Pages/record No.: 113-128. Disponível em: <<http://pesd.ro/articole/nr.4/Girdani%20and%20Boccone.pdf>> Acesso em: 12 janeiro 2012.

GLOBAL LAND COVER FACILITY. Imagem do satélite TM/LANDSAT ortorretificada. Disponível em: <<http://glcf.umiacs.umd.edu/>> Acesso em: 17 jun. 2012.

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. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/gp/v15n1/a07v15n1.pdf>> Acesso em: 24 fev. 2012.

GOLDANI, J. Z. ; CASSOL, R. . Ocupação Antrópica e Sócio-Ambiental da Microbacia do Rio Vacacaí-Mirim - RS. *Geomática* (Santa Maria), v. 03, p. 43-55, 2008. Disponível em: <<http://coralx.ufsm.br/rgeomatica/images/vl31/4.pdf>> Acesso: 13 mai. 2010.

GUAN, D.; LI, H.; INOHAE, T.; SU, W.; NAGAIE, T.; HOKAO, K. Modeling urban land use change by the integration of cellular automaton and Markov model. *Ecological Modelling*. v. 222, p. 3761-3772, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmo del.2011.09.009>> Acesso em: 1 março 2012.

GUERRA, M. D. F.; SOUZA, M. J. N.; LUSTOSA, J. P. G. Desertificação em áreas semiáridas do Nordeste brasileiro: o caso do município de Jaguaribe, Ceará. *Revista de Geografia*. Recife, UFPE, V. Especial VIII SINAGEO, n. 2, 2010. Disponível em: <<http://www.ufpe.br/revistageografia/index.php/revista/article/viewFile/346/308>> Acesso em: 2 jul. 2012.

HAIJIANG, L.; CHENGHU, Z.; WEIMING, C.; EN, L.; RUI, L. Monitoring sandy desertification of Otindag Sandy Land based on multi-date remote sensing images. *Acta Ecologica Sinica*. V. 28, 2008, pages 627-635. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S1872-2032\(08\)60029-3](http://dx.doi.org/10.1016/S1872-2032(08)60029-3)> Acesso em: 13 janeiro 2012.

HANAFI, A. JAUFFRET, S. Are long-term vegetation dynamics useful in monitoring and assessing desertification processes in the arid steppe, southern Tunisia. *Journal of Arid Environments*. V. 72, n. 4, 2008. P. 557-572. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2007.07.003>> Acesso em: 30 Jna. 2012.

HARE, F. K. et al. Desertificação: causas e conseqüências. Tradução de Barros e Azevedo. Lisboa: Calouste Gulbenkian, 1992. 678p.

HE, C.; ZHANG, Q.; LI, Y.; LI, X.; SHI, P. Zoning grassland protection area using remote sensing and cellular automata modeling – A case study in Xilingol steppe grassland in northern China. *Journal of Arid Environments*. v, 63, n. 4, p. 814-826, 2005. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2005.03.028>> Acesso em: 14 fev. 2012.

HEGAZI, A. M.; AFIFI, M. Y.; ELWAN, A. A.; SHORBAGY, M. A.; DEMERDASHE, S. Egyptian National Action Program to Combat Desertification. 2005. 118 p. Disponível em: <http://www.unccd.int/actionprogrammes/africa/national/2005/egypt-eng.pdf>> Acesso em: 27 jan. 2012.

HELLDÉN, U.; TOTTRUP, C. Regional desertification: A global synthesis. *Global and Planetary Change*. v. 64, p. 169-176, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.gloplacha.2008.10.006>> Acesso em: 7 fev. 2012.

HIRCHE, A.; SALAMANI, M.; ABDELLAOUI, A.; BENHOUBOU, S.; VALDERRAMA, J. M. Landscape changes of desertification in arid areas: the case of south-west Algeria. *Environ. Monit. Assess.* v. 179, p. 403-420, 2011. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/content/136008r68h75p241/fulltext.pdf>> Acesso em: 6 fev. 2011.

HUANG, Y.; WANG, N.; HE, T.; CHEN, H.; ZHAO, L. Historical desertification of the Mu Us Desert, Northern China: A multidisciplinary study. *Geomorphology*, v. 110, 2009, page 108-117. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.03.020>> Acesso em: 13 janeiro 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Base de dados vetorial – limites federal, estaduais e municipais. Disponível em: <www.ibge.gov.br> Acesso em: 18 jun. 2012.

INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAL. Atlas Digital da Flora Nativa e Reflorestamentos de Minas Gerais. Belo Horizonte, Minas Gerais, 1 DVD, 2005.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – Imagens do satélite TM/LANDSAT. Disponível em: <www.inpe.br> Acesso em: 19 jun. 2012.

KAMUSOKO, C.; ANIYA, M.; MANJORO, M. Rural sustainability under threat in Zimbabwe – Simulation of future land use/cover changes in the Bindura district based on the Markov-cellular automata model. *Applied Geography*. v. 29, n. 3, p. 435-447, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2008.10.002>> Acesso em: 1 março 2012.

KASSAS, M. Desertification: a general review. *Journal of Arid Environments*. v. 30, p. 115–128, 1995. Disponível em: <ftp://193.205.144.41/Public/Complementi_EcologiaForestale/UNCCD_e_DESERTIFICAZIONE/Kassas%20%281995%29%20-%20Desertification,%20a%20general%20review.pdf> Acesso em: 30 Jan. 2012.

LACERDA, M. A. D.; LACERDA, R. D. Planos de combate a desertificação no Nordeste brasileiro. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*. V. 4, n. 1. 2004. Disponível em: <<http://redalyc.uaemex.mx/pdf/500/50040111.pdf>> Acesso em: 26 de janeiro de 2012.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, v. 33, n. 01, p.159-174, 1977. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/2529310?seq=7>> Acesso em: 22 jun. 2012.

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. Disponível em: <<http://www.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/viewArticle/199>> Acesso em: 20 mar. 2012.

LI, F.; SUN, SH. Applied research of landscape ecology in desertification monitoring and assessment. *Journal of Environmental Sciences*. v, 12, n. 3, p. 349-354, 2000. Disponível em: <<http://iospress.metapress.com/content/6m7jgh13d28qxd5b/fulltext.pdf>> Acesso em: 14 fev. 2012.

LI, X.; YEH, A. G. O; Zoning Land for Agricultural Protection by the Integration of Remote Sensing, GIS, and Cellular Automata. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. v. 67, n. 4, p. 471-477, 2001. Disponível em: <http://www.asprs.org/a/publications/pers/2001journal/april/2001_apr_471-477.pdf> Acesso em: 14 fev. 2012.

LU, L.; LI, X.; VEROUSTRAETE, F.; KANG, E.; WANG, J. Analyzing the forcing mechanisms for net primary productivity changes in the Heihe River Basin, north-west China. *International Journal of Remote Sensing*, London, v. 30, n. 3, p. 793-816, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/01431160802438530>>. Acesso em: 30 outubro 2011.

MAINGUET, M. Desertification: Natural background and human mismanagement (2nd ed). Berlin/Heidelberg, Germany: Springer-Verlag, 1994. Disponível em: <http://books.google.com.br/books?id=ZV7uAAAAMAAJ&hl=ptBR&source=gbs_book_other_versions> Acesso em: 12 janeiro 2012.

MATALLO JUNIOR, H. Glossário de Termos e Conceitos usados no Contexto da UNCCD. Brasília: MMA, 2009. Disponível em: <http://www.iica.int/Esp/regiones/sur/brasil/Lists/Publicacoes/Attachments/120/Glossario_de_termos_e_conceitos.pdf> Acesso em: 26 de janeiro 2012.

MATALLO JÚNIOR, H. Indicadores de Desertificação: histórico e perspectivas. – Brasília: UNESCO, 2001. Disponível em: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001298/129871POR.pdf>> Acesso em 11 jan. 2012.

McCLURE, B. C. Policies related to combating desertification in the United States of America. *Land Degradation & Development*. v. 9, 383-392, 1998. Disponível em: <[http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/\(SICI\)1099-145X\(199809/10\)9:5%3C383::AID-LDR303%3E3.0.CO;2-A/pdf](http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/(SICI)1099-145X(199809/10)9:5%3C383::AID-LDR303%3E3.0.CO;2-A/pdf)> Acesso em: 13 janeiro 2012.

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, 1974. Disponível em: <<http://landscape.forest.wisc.edu/landscapeecology/articles/v09i02p151.pdf>> Acesso em: 14 fev. 2012.

NASA – National Aeronautics and Space Administration. SRTM – Shuttle Radar Topography Mission. Disponível em: <<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>>. Acesso em: 1 fev. 2012.

PACHÊCO, A.P.; FREIRE, N. C. F.; BORGES, U. N. A transdisciplinaridade da Desertificação. *Geografia (Londrina)*. v. 15, n. 1. p. 40-54. 2006. Disponível em: <<http://www2.uel.br/revistas/geografia/v15n1digital/artigo01.pdf>> Acesso em: 20 jan. 2012.

PEREIRA JÚNIOR, J. S. Nova Delimitação do Semi-árido Brasileiro. Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados. Centro de Documentação e Informação. 24 p, 2007. Disponível em: <http://bd.camara.gov.br/bd/bitstream/handle/bdcamara/1604/nova_delimitacao_jose_pereira.pdf?sequence=1> Acesso em: 17 jan. 2012.

PROGRAMA DE COMBATE À DESERTIFICAÇÃO E MITIGAÇÃO DOS EFEITOS DA SECA DA AMÉRICA DO SUL. Disponível em: <<http://www.iicadesertification.org.br>> Consultado em: 27 jan. 2012.

QI, Y.; CHANG, Q.; JIA, K.; LIU, M.; LIU, J.; CHEN, T. Temporal-spatial variability of desertification in an agro-pastoral transitional zone of northern Shaanxi Province, China. *Catena*, v. 88, 2012, 37-45. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2011.08.003>> Acesso em: 13 janeiro 2012.

QUIRING, S. M. Developing Objective Operational Definitions for Monitoring Drought. *Journal Applied Meteorology and Climatology*. 48, 1217–1229, 2009. Disponível em: <<http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/2009JAMC2088.1>> Acesso em: 6 fev. 2012.

REYNOLDS, J. F.; GRAINGER, A.; STAFFORD SMITH, D. M.; BASTIN, G.; GARCIA-BARRIOS, L.; FERNÁNDEZ, R. J.; JANSSEN, M. A.; JURGENS, N.; SCHOLLES, R. J.; VELDKAMP, A.; VERSTRAETE, M. M.; MALTITZ, G. V.; ZDRULI, P. Scientific concepts for an integrated analysis of desertification. *Land Degradation & Development*. 22: 166-183 (2011). Disponível em: DOI: 10.1002/ldr.1104. Acesso em: 17 de novembro de 2011.

RASMY, M.; GAD, A.; ABDELSALAM, H.; SIWAILAM, M. A dynamic simulation modelo of desertification in Egypt. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*. v. 13, n. 2, p. 101-111, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrs.2010.03.001>> Acesso em: 7 fev. 2012.

RHODES, S. Rethinking desertification: What do we know and what have we learned? *World Development*. Volume 19, Issue, 9, 1991. Pages 1137-1143. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/0305-750X\(91\)90062-M](http://dx.doi.org/10.1016/0305-750X(91)90062-M)> Acesso em: 17 janeiro 2012.

RODRIGUES, V. Desertificação: problemas e soluções. In: OLIVEIRA, T. S. et al. (Eds). *Agricultura, Sustentabilidade e o Semi-Árido*. Fortaleza: UFC/SBCS, 2000. p.137-164.

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. Disponível em: <http://www.sumarios.org/sites/default/files/pdfs/56794_6549.PDF> Acesso em: 6 jul. 2012.

SALES, M. C. L. Evolução dos estudos de desertificação no Nordeste brasileiro. *Geosp, Espaço e Tempo*. São Paulo. n°11. p. 115-126, 2002. Disponível em: <http://www.geografia.fflch.usp.br/publicacoes/Geosp/Geosp11/Geosp11_Sales.HTM> Acesso em: 17 jan. 2009.

SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, M. S. B.; SAMPAIO, Y. S. B. Propensão à desertificação no semi-árido brasileiro. *Revista de Geografia DCG/UFPE*, Recife, v. 22, n. 2, p. 59-76,

2005. Disponível em: <<http://www.ufpe.br/revistageografia/index.php/revista/article/view/49/16>> Acesso em: 31 jan. 2012.

SANTINI, M.; CACCAMO, G.; LAURENTI, A.; NOCE, S.; VALENTINI, R. A multi-component GIS framework for desertification risk assessment by an integrated index. *Applied Geography* 30 (2010) 394-415. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2009.11.003>> Acesso em: 12 janeiro 2012.

SPATHELF, P. ; NUTTO, L. . Modelagem aplicada ao Crescimento e a Produção Florestal. Santa Maria_RS: CEPEF, 2000. v. 1. 70 p. Disponível em: <<http://www.ufsm.br/dcfl/series tecnicas/serie2.pdf>> Acesso em: 29 jun. 2012.

STRINGER, L. C. Reviewing the International Year of Deserts and Desertification 2006: What contribution towards combating global desertification and implementing the United Nations Convention to Combat Desertification? *Journal of Arid Environments*. Volume 72, Issue, 11, 2008. Pages 2065-2074. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.aridenv.2008.06.010>> Acesso em: 17 janeiro 2012.

STRINGER, L. C.; DYER, J. C.; REED, M. S.; DOUGILL, A. J.; TWYMAN, C.; MKWAMBISI. Adaptations to climate change, drought and desertification: local insights to enhance policy in southern Africa. *Environmental Science & Policy*. V. 12, n. 7, 2009. p. 749-765. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2009.04.002>> Acesso em: 27 Janeiro 2012.

SOARES-FILHO, B. S.; CERQUEIRA, G. C.; PENNACHIN, C. L. Dinamica – a stochastic cellular automata model deseigned to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. *Ecological Modelling*. v. 154, p. 217-235, 2002. Disponível em: <> Acesso em: 29 fev. 2012.

SOUSA, R. F.; BARBOSA, M. P.; CARVALHO, A. P.; SOUSA JÚNIOR, S. P.; ALENCAR, M. L. S. Geotecnologia no estudo da evolução espaço-temporal da cobertura vegetal do município de São João do Cariri-PB. *Engenharia Ambiental*, v. 4, n. 2, p. 060-067, 2007. Disponível em: <<http://189.20.243.4/ojs/engenhariaambiental/viewarticle.php?id=84>> Acesso em: 2 jul. 2012.

SUERTEGARAY, D. M. A; GUASSELLI, L. A.; VERDUM, R.; BASSO, L. A.; MEDEIROS, R. M. V.; BELLANCA, E. T.; BERTÊ, A. M. A. Projeto Arenização no Rio Grande do Sul, Brasil: gênese, dinâmica e espacialização. *Revista Bibliográfica de Geografia y Ciencias Sociales*. Barcelona. v.VI. n° 287. marzo. 2001. Disponível em: <<http://www.ub.es/geocrit/b3w-287.htm>> Acesso em: 04 fev. 2012.

UNITED NATIONS – UN, 2012. Disponível em: <<http://www.un.org/en/events/desertificati onday/>> Acesso em: 17 janeiro 2012.

_____. Disponível em: <<http://www.unccd.int/en/regional-access/Africa/Pages/afri ca.aspx>> Acesso em: 19 jun. 2012.

UNITED NATIONS CONVENTION TO COMBAT DESERTIFICATION - UNCCD, 1999. Programme d'Action National sur la lutte contre la Désertification au Maghreb. Disponível em: <<http://www.unccd.int/ActionProgrammes/uma-fre2000.pdf>> Acesso em: 27 jan. 2012.

_____. 2010. Disponível em: <http://unddd.unccd.int/docs/press_releases/08_16_2010_eng.pdf> Acesso em: 17 janeiro 2012.

_____. 2004. Programme d'Action National sur la lutte contre la Désertification. Disponível em: <<http://www.unccd.int/actionprogrammes/africa/national/2004/algeria-fre.pdf>> Acesso em: 27 jan. 2012.

VASCONCELOS, S. S.; HIGUCHI, N.; OLIVEIRA, M. V. N. Projeção da distribuição diamétrica de uma floresta explorada seletivamente na Amazônia Ocidental. *Acta Amazonica*. v. 39, n. 1, p. 71-80, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/aa/v39n1/a07v39n1.pdf>> Acesso em: 24 fev. 2012.

VEGA, E.; MONTAÑA, C. Effects of overgrazing and rainfall variability on the dynamics of semiarid banded vegetation patterns: A simulation study with cellular automata. *Journal of Arid Environments*. v, 75, n. 1, p. 70-77, 2011. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140196310002120>> Acesso em: 14 fev. 2012.

VÉRON, S. R.; PARUELO, J. M.; OESTERHELD, M. Assessing desertification. *Journal of Arid Environments*. 66 (2006) 751-763. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.01.021>> Acesso em: 26 de jan. de 2012.

WHITFORD, W. (a) Desertification. p. 275-304. In: *Ecology of Desert Systems*. Whitford, W.; Wade, E. L. Academic Press. 343 pages, 2002. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/book/9780127472614>> Acesso em: 30 jan. 2012.

WHITFORD, W. (b) Conceptual Framework and Paradigms. p. 1-19. In: *Ecology of Desert Systems*. Whitford, W.; Wade, E. L. Academic Press. 343 pages, 2002. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/book/9780127472614>> Acesso em: 30 jan. 2012.

WHITFORD, W. (c) Characterization of Desert Climates. p. 43-63. In: *Ecology of Desert Systems*. Whitford, W.; Wade, E. L. Academic Press. 343 pages, 2002. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/book/9780127472614>> Acesso em: 30 jan. 2012.

WU, J.; YAOLIN, L.; WANG, J.; HE, T. Application of Hyperion data to land degradation mapping in the Hengshan region of China. *International Journal of Remote Sensing*, London, v. 31, n. 19, p. 5145-5161, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/01431160903302940>>. Acesso em: 30 out. 2011.

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, 2007, pages 2-12. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2006.10.002>> Acesso em: 13 jan. 2012.