



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DOUTORADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS



EDMAR GERALDO DE OLIVEIRA

**A EXPANSÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR NA REGIÃO CENTRO-OESTE
DE MINAS GERAIS: CENÁRIO ATUAL E TENDÊNCIAS FUTURAS.**

Goiânia

2014

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR AS TESES E DISSERTAÇÕES ELETRÔNICAS (TEDE) NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: Dissertação Tese

2. Identificação da Tese ou Dissertação

Autor:	Edmar Geraldo de Oliveira		
E-mail:	edmar@ifmg.edu.br		
Seu e-mail pode ser disponibilizado na página?	<input checked="" type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não	
Vínculo empregatício do autor	Professor efetivo do IFMG		
Agência de fomento:	CAPES	Sigla:	CAPES
País:	Brasil	UF:	MG
		CNPJ:	
Título:	A expansão da cana-de-açúcar na região centro-oeste de Minas Gerais: Cenário atual e tendências futuras.		
Palavras-chave:	Setor sucroenergético, Cerrado, uso da terra, modelagem ambiental, cenários.		
Título em outra língua:	The expansion of sugarcane in the region midwest of Minas Gerais: Current scenario and future trends.		
Palavras-chave em outra língua:	sugar-energy sector, Cerrado, land use, environmental modeling, scenarios.		
Área de concentração:	Ciências Ambientais		
Data defesa: (dd/mm/aaaa)	30/05/2014		
Programa de Pós-Graduação:	Doutorado em Ciências Ambientais (CIAMB/UFG)		
Orientador (a):	Prof. Dr. Fausto Miziara		
E-mail:	fausto@fchf.ufg.br		
Co-orientador:*	Prof. Dr. Manuel Eduardo Ferreira		
E-mail:	manuel@ufg.br		

*Necessita do CPF quando não constar no SisPG

3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF ou DOC da tese ou dissertação.

O sistema da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações garante aos autores, que os arquivos contendo eletronicamente as teses e ou dissertações, antes de sua disponibilização, receberão procedimentos de segurança, criptografia (para não permitir cópia e extração de conteúdo, permitindo apenas impressão fraca) usando o padrão do Acrobat.

Assinatura do (a) autor (a)

Data: ____ / ____ / ____

¹ Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

EDMAR GERALDO DE OLIVEIRA

**A EXPANSÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR NA REGIÃO CENTRO-OESTE
DE MINAS GERAIS: CENÁRIO ATUAL E TENDÊNCIAS FUTURAS.**

Tese apresentada ao Programa Multidisciplinar de Doutorado em Ciências Ambientais (CIAMB) da Universidade Federal de Goiás (UFG), como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Doutor em Ciências Ambientais.

Orientador

Prof. Dr. Fausto Miziara

Co-orientador

Prof. Dr. Manuel Eduardo Ferreira

Goiânia

2014

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
GPT/BC/UFG**

Oliveira, Edmar Geraldo de.
O48e A expansão da cana-de-açúcar na região centro-oeste de Minas Gerais: Cenário atual e tendências futuras [manuscrito] : / Edmar Geraldo de Oliveira. - 2014.
131 f. : figs, tabs.

Orientador: Prof. Dr. Fausto Miziara.
Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Goiás, Programa Multidisciplinar de Doutorado em Ciências Ambientais (CIAMB), 2014.

Bibliografia.

Apêndices.

1. Cana-de-açúcar – Cultivo – Minas Gerais 2. Cana-de-açúcar – Produção – Minas Gerais 3. Terras – Uso – Minas Gerais I. Título.

CDU: 636.61(815.1)

FOLHA DE APROVAÇÃO

Membros da banca examinadora de defesa pública de Tese de Doutorado em Ciências Ambientais N° 007/2014, realizada em 30 de maio de 2014.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Fausto Miziara – Orientador
CIAMB/CEDIM/UFG

Prof. Dr. Laerte Guimarães Ferreira Júnior
CIAMB/LAPIG/UFG

Prof. Dr. Nilson Clementino Ferreira
CIAMB/EEC/UFG

Dra. Mercedes Maria da Cunha Bustamante
ICB/UNB

Dr. João Batista de Deus
IESA/UFG

DEDICATÓRIA

Dedico esta tese àqueles que sempre estiveram ao meu lado me incentivando e apoiando de forma incondicional nos diversos projetos pessoais e profissionais. Sem vocês nada disto seria possível.

A minha esposa Cláudia Pighin

As minhas filhas Ana Carolina e Maria Júlia

Aos meus pais Waldemar (*in memoriam*) e Maria Geralda

Aos meus irmãos Edgar e Eliane

AGRADECIMENTOS

1. Agradeço a Deus por todas as bênçãos recebidas em minha vida. Tenho tido muito mais do que pedi ou esperava ter. Obrigado Senhor, pela paz, alegria, saúde e amor.
2. Ao Prof. Dr. Fausto Miziara, orientador desta tese, por compartilhar seus conhecimentos, amizade e atenção, aliados a confiança e estímulo permanente. Sinto-me honrado e grato por ter sido seu orientando.
3. Ao Prof. Dr. Manuel Eduardo Ferreira, meu co-orientador de tese, pelas contribuições imprescindíveis durante a realização deste trabalho. As palavras são insuficientes para expressar a minha gratidão.
4. Aos professores Laerte Guimarães Ferreira Júnior e Nilson Clementino Ferreira pelas recomendações apresentadas durante o exame de qualificação, por meio das quais foi possível o aprimoramento desta tese.
5. Aos professores do CIAMB, em especial a Profa. Dra. Selma Simões de Castro, coordenadora do DINTER em Ciências Ambientais que nos recebeu com muito carinho na UFG e se mostrou disponível em todos os momentos.
6. A equipe do Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG/UFG). Agradeço especialmente aos colegas Fernando, Genival, Silvio e Alessandro pelas contribuições durante o processamento das imagens.
7. Ao Centro de Sensoriamento Remoto da Universidade Federal de Minas Gerais (CSR/IGC/UFMG), em especial ao Prof. Britaldo e ao colega William L. da Costa, pelas importantes contribuições durante realização da modelagem.
8. Aos meus colegas do Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais, companheiros de turma do DINTER, por compartilharem as angústias e alegrias vivenciadas ao longo dos últimos quatro anos.
9. Ao Reitor Caio Bueno e demais colegas de trabalho do Instituto Federal Minas Gerais (IFMG) pela compreensão e apoio que viabilizaram a realização desta tese. Muito obrigado.
10. A todos os meus familiares e amigos por compreenderem as minhas ausências e me estimularem durante toda a jornada acadêmica, permitindo-me realizar o sonho de tornar-me Doutor em Ciências Ambientais.

RESUMO

Na última década, o setor sucroenergético brasileiro apresentou um crescimento significativo, sobretudo entre os anos de 2003 e 2009, ocasião em que ocorreu uma vigorosa expansão das unidades industriais e das lavouras de cana-de-açúcar. De acordo com dados do IBGE, o aumento da área plantada de cana no país, naquele período, foi da ordem de 64,5%, concentrando-se em áreas de Cerrado nos estados da região centro-sul. Na pesquisa realizada durante o desenvolvimento desta tese, buscou-se analisar os efeitos da expansão das lavouras de cana-de-açúcar, especialmente aqueles ocorridos sobre a cobertura e uso da terra na região centro-oeste de Minas Gerais, sob duas perspectivas temporais distintas. A primeira contempla o período entre 2005 e 2010, enquanto a segunda considera cenários simulados para a cobertura e uso da terra no ano de 2030. Para tanto, utilizou-se dados censitários, técnicas de geoprocessamento e modelagem ambiental com o uso da plataforma livre DINAMICA EGO. Os resultados obtidos demonstraram que no centro-oeste mineiro o aumento das lavouras de cana concentrou-se nos municípios de Arcos, Bambuí, Iguatama, Japaraíba, Lagoa da Prata e Luz, os quais tiveram um acréscimo de 74% na área plantada no período de 2005 a 2010. A expansão da cana naquela região ocorreu prioritariamente sobre áreas de agricultura e pastagens, exacerbando a competição pelo uso da terra. Entre as principais culturas agrícolas dos municípios investigados, o milho e a soja foram aquelas que aparentemente mais cederam espaço para cana, ao passo que as lavouras de feijão e café apresentaram aumento da área plantada naquele período. Os resultados desta pesquisa confirmaram a hipótese de que as lavouras de cana-de-açúcar, dado ao seu maior nível de investimento, tendem a ocupar as melhores terras, incluindo aquelas dotadas de infraestrutura básica (rede viária e eletrificação, por exemplo). Os dois cenários simulados para o ano de 2030 (com respectivas taxas de crescimento), a partir de contextos distintos vivenciados pelo setor sucroalcooleiro, apresentaram resultados díspares. No primeiro, gerado com taxas de transição oriundas do período de 1995 a 2000, as áreas de pastagens se manteriam praticamente estáveis, com uma diminuição das lavouras de cana em 24,7%, mas com aumento da área destinada a outros cultivos na ordem de 40%. O segundo cenário, produzido com taxas que representam o intervalo entre 2005 e 2010, mostrou-se bastante favorável à expansão da cana-de-açúcar, com aumento de 127,3% da área plantada. Esta expansão da cana se daria especialmente sobre áreas com agricultura e pastagens, as quais sofreriam reduções de 35% e 27,1%, respectivamente. Neste cenário, a vegetação remanescente de Cerrado se manteria estável, com uma pequena oscilação positiva de 1,4%. Entende-se que o produto deste estudo poderá fornecer subsídios aos tomadores de decisão, em escala regional, para a criação de políticas voltadas a uma gestão mais eficiente da cobertura e uso da terra na região centro-oeste de Minas Gerais.

Palavras chaves: setor sucroenergético, Cerrado, uso da terra, modelagem ambiental, cenários.

ABSTRACT

In the last decade, Brazilian sugar-energy sector showed significant growth, mainly between 2003 and 2009, when a vigorous expansion of industrial plants and sugarcane farmings occurred. According to IBGE, the increase of sugarcane planted area in the country in that period was of around 64.5 %, concentrating on Cerrado areas in the south-central region states. The research conducted during the development of this thesis, aimed at analyze the effects of the expansion of sugarcane farmings, especially those affected by cover and land use in the midwest region of Minas Gerais, under two different time perspectives . The first covers the period between 2005 and 2010, while the second considers simulated scenarios for cover and land use in the year 2030. For this, we used census data, geoprocessing and environmental modeling techniques using the free platform EGO DYNAMICS. The results showed that sugarcane farmings expansion in the midwest concentrated in the towns of Arcos, Bambuí, Iguatama, Japaraíba, Lagoa da Prata and Luz, which had an increase of 74 % in planted area for the period from 2005 to 2010. Sugarcane expansion in the region occurred primarily on agriculture and pasture areas, exacerbating competition for land use. Among the major crops of the investigated towns, corn and soybeans were those that yielded more space for sugarcane, while beans and coffee farmings had increased planted area in that period. The results of this research confirmed the hypothesis that sugarcane farmings, because of their higher level of investment, tend to occupy the best lands, including those equipped with basic infrastructure (roads and electrification, for example). The two scenarios simulated for the year 2030 (with respective growth rates), considered different contexts experienced by the sugarcane sector and showed mixed results. In the first, generated with transition rates derived from the period 1995-2000, the pasture areas would remain roughly stable, with a decrease of sugarcane farmings by 24.7 %, but with increased area for other crops of around 40%. The second scenario, produced with rates that represent the range between 2005 and 2010, proved to be very favorable to sugarcane expansion, with an increase of 127.3 % of the planted area. Sugarcane expansion would occur especially on agriculture and pasture areas, which would decrease by 35 % and 27.1 % respectively. In this scenario, the remaining Cerrado vegetation would remain stable, with a small positive bias of 1.4 %. It is understood that the product of this study will provide information to decision makers, on a regional scale, for the creation of policies aimed at more efficient management of cover and land use in the midwest region of Minas Gerais.

Key words: sugar-energy sector, Cerrado, land use, environmental modeling, scenarios.

ESTRUTURA DA TESE

A presente tese de doutorado, realizada no âmbito do Programa Multidisciplinar de Doutorado em Ciências Ambientais (CIAMB), da Universidade Federal de Goiás (UFG), segue o estilo de tese em formato de artigos científicos. A estrutura da tese foi organizada da seguinte forma:

1. Introdução – aborda informações pertinentes que possibilitam uma descrição geral do tema estudado, contempla a problematização, apresentada na forma de questões científicas, caracterização da área de estudo, hipóteses e os objetivos.
2. Desenvolvimento da tese – composto pelos três artigos, produzidos durante os estudos do doutorado, os quais buscam responder as perguntas que suscitaram o desenvolvimento desta pesquisa.
 - a. Diagnóstico sobre o uso da terra na região Centro-Oeste de Minas Gerais, Brasil: A renovação da paisagem pela cana-de-açúcar e seus impactos socioambientais².
 - b. Fatores determinantes e cenários futuros sobre a expansão da cana-de-açúcar na região de Cerrado no Centro-Oeste mineiro³.
 - c. A espacialização da cobertura e uso da terra frente à expansão canavieira na região Centro-Oeste de Minas Gerais.
3. Conclusões
4. Apêndices – I - contempla o trabalho de campo realizado com objetivo de validar a classificação das imagens Landsat; II – apresenta os parâmetros utilizados na calibração dos algoritmos *expander* e *patcher* nos modelos de simulação; III – demonstram os índices de similaridade Fuzzy obtidos na validação dos modelos.

As revisões de literatura, procedimentos metodológicos, resultados e discussões são tratados em detalhe pelos respectivos artigos.

² Artigo publicado na Revista Sociedade e Natureza – ano 24, nº 3, 545-556, set/dez. 2012 (Qualis B1 - Interdisciplinar).

³ Artigo submetido à Revista Ateliê Geográfico (Qualis B2 – Interdisciplinar).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Divisão geográfica do estado de Minas Gerais, segundo classificação adotada pelo Governo do estado e pelo IBGE.	23
Figura 2 - Localização da área de estudo, com destaque para os municípios de Arcos, Bambuí, Iguatama, Lagoa da Prata, Luz, Japaraíba e Pompéu.	32
Figura 3 - Classes de uso da terra convertidas em cana-de-açúcar nos principais municípios produtores da região Centro-Oeste de Minas Gerais, no período de 1995 a 2010. Dados obtidos por imagens de satélite (Landsat 5-TM).	37
Figura 4 - Mapa de uso e ocupação do solo da região Centro-Oeste de Minas Gerais, para os anos de 1995, 2000, 2005 e 2010.	38
Figura 5 - Variação do PIB per capita nos municípios que compõem a área de estudo no período de 1999 a 2008.	40
Figura 6 - Localização da área de estudo. Destaque para os municípios de Arcos, Bambuí, Iguatama, Japaraíba, Lagoa da Prata e Luz.	51
Figura 7 - Base de dados utilizada para modelagem ambiental no DINAMICA, constituída por variáveis dinâmicas e estáticas representadas nos mapas da área de estudo.	54
Figura 8 - Coeficientes de pesos de evidência para expansão da cana-de-açúcar nos municípios de Arcos, Bambuí, Iguatama, Japaraíba, Lagoa da Prata e Luz, no período de 2005 a 2010. (A) Distância das usinas; (B) Distâncias de áreas cultivadas; (C) Rodovias; (D) Declividade; (E) Tipos de solos; e (F) Rede de drenagem.	58
Figura 9 - Resultados do Cenário 1, comparando o mapa de cobertura e uso da terra em 2010 (real), gerado a partir de imagens Landsat para este ano, com os mapas simulados para os anos de 2015, 2020 e 2030.	63
Figura 10 - Resultados do Cenário 2, comparando o mapa de cobertura e uso da terra em 2010 (real), gerado a partir de imagens Landsat para este ano, com os mapas simulados para os anos de 2015, 2020 e 2030.	65
Figura 11 - Variações na área plantada de cana-de-açúcar, milho e feijão, no período de 2005 a 2010, nos municípios de Arcos, Bambuí, Iguatama, Japaraíba, Lagoa da Prata e Luz.	81
Figura 12 - Variações da área plantada de cana-de-açúcar, soja e café, no período de 2005 a 2010 nos municípios de Arcos, Bambuí, Iguatama, Japaraíba, Lagoa da Prata e Luz.	82

Figura 13 - Variações da área plantada de cana-de-açúcar e das pastagens nos municípios de Arcos, Bambuí, Iguatama, Japaraíba, Lagoa da Prata e Luz, entre os anos de 2005 e 2010.	83
Figura 14 - Simulação das variações nas áreas de remanescentes de Cerrado nos municípios de Arcos, Bambuí, Iguatama, Japaraíba, Lagoa da Prata e Luz entre os anos de 2010 e 2030.	87
Figura 15 - Simulação das variações na cobertura e uso da terra nos municípios de Arcos, Bambuí, Iguatama, Japaraíba, Lagoa da Prata e Luz para os anos de 2015, 2020, 2025 e 2030.	89
Figura 16 - Polígonos pré-selecionados para validação da área plantada de cana-de-açúcar nos municípios de Arcos, Bambuí, Iguatama, Japaraíba, Lagoa da Prata e Luz.	101
Figura 17 - (A) Vista parcial da usina LDC BioSev no município de Lagoa da Prata-MG. (B) Pesquisador, durante trabalho de campo, próximo à entrada principal do parque industrial da usina LDC.	106
Figura 18 - (A) Equipe de campo durante visita as instalações da usina Bambuí Bioenergia no município de Bambuí-MG. (B) Parque industrial da usina em operação.	108
Figura 19 - Fatores fisiográficos relevantes para definição de áreas destinadas ao cultivo da cana-de-açúcar. (A) topografia plana; (B) estradas adequadas ao trânsito de caminhões e máquinas de grande porte; (C) proximidade da usina, neste caso é possível ver um canal utilizado para deslocamento do vinhoto usado para irrigação das lavouras; e (D) terras já trabalhadas, onde não há necessidade de supressão da vegetação nativa.	110
Figura 20 - (A) Área queimada para posterior realização do corte manual da cana-de-açúcar, (B) área onde a colheita é realizada de forma mecanizada.	111

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Ordem de classificação dos municípios do Centro-Oeste mineiro, contemplados neste estudo, no ranking de área plantada de cana-de-açúcar no estado de Minas Gerais na safra 2012/13.	24
Tabela 2 - Cenas Landsat-TM utilizadas no mapeamento do uso da terra para a região Centro-Oeste de Minas Gerais.	33
Tabela 3 - Evolução da área plantada de cana-de-açúcar nas 12 mesorregiões de Minas Gerais (em hectares).	35
Tabela 4 - Conversão do uso e ocupação do solo nos municípios do Centro-Oeste de Minas Gerais, no período 1995-2010 (em hectares).	36
Tabela 5 - Aumento da área plantada de cana-de-açúcar (em %) para os períodos 1995-2000 e 2005-2010.	55
Tabela 6 - Área cultivada com cana-de-açúcar em 2010, de acordo com declividade do terreno, por município (em hectares).	60
Tabela 7 - Processo de conversão entre as classes de uso da terra nos municípios de Arcos, Bambuí, Iguatama, Japaraíba, Lagoa da Prata e Luz no período de 2010 a 2030 - Cenário 1.	62
Tabela 8 - Processo de conversão entre as classes de uso da terra nos municípios de Arcos, Bambuí, Iguatama, Japaraíba, Lagoa da Prata e Luz no período de 2010 a 2030 – Cenário 2.	63
Tabela 9 - Comparativo entre as variações no tamanho da área plantada e a quantidade produzida nos municípios de Arcos, Bambuí, Iguatama, Japaraíba, Lagoa da Prata e Luz no período de 2005 a 2010.	79
Tabela 10 - Soma da área plantada dos principais produtos agrícolas cultivados nos municípios de Arcos, Bambuí, Iguatama, Japaraíba, Lagoa da Prata e Luz no período de 2005 a 2010 (em hectares).	80
Tabela 11 - Matriz de transição para os municípios de Arcos, Bambuí, Iguatama, Japaraíba, Lagoa da Prata e Luz no período de 2010-2030, calculada com o mapa de uso da terra e variáveis explicativas em Oliveira et al. (2013).	86
Tabela 12 - Simulação do processo de conversão entre as classes de uso da terra nos municípios de Arcos, Bambuí, Iguatama, Japaraíba, Lagoa da Prata e Luz, no período de 2010 a 2030, considerando-se um cenário favorável ao setor sucroalcooleiro.	88

Tabela 13 - Agenda de entrevistas realizadas com representantes da EMATER, Secretarias Municipais de Agricultura e/ou Meio Ambiente, Sindicatos de trabalhadores rurais, Bambuí bioenergia, IFMG – Campus Bambuí.....	103
Tabela 14 - Coordenadas de localização (em UTM), identificação da cobertura e uso da terra e validação em campo dos pontos pré-selecionados.	113
Tabela 15 - Matriz de confusão ou matriz de erros.	114
Tabela 16 - Qualidade da classificação associada aos valores da estatística Kappa (Landis & Koch, 1997).	115

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	17
1.1. Questões Investigativas	20
1.2. Hipóteses	21
1.3. Objetivo Geral	22
1.3.1 Objetivos Específicos	22
1.4. Caracterização da área de estudo.....	22
2. DIAGNÓSTICO SOBRE O USO DA TERRA NA REGIÃO CENTRO-OESTE DE MINAS GERAIS, BRASIL: A RENOVAÇÃO DA PAISAGEM PELA CANA-DE-AÇÚCAR E SEUS IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS.	29
2.1. Introdução.....	30
2.2. Materiais e Métodos	31
2.2.1. Caracterização da área de estudo.....	31
2.2.2. Processamento das Imagens de Satélite	32
2.3. Resultados e Discussões	34
2.3.1. A expansão do setor sucroalcooleiro no Cerrado	34
2.3.2. Impactos socioambientais.....	39
2.4. Considerações.....	41
2.5. Referências bibliográficas	43
3. FATORES DETERMINANTES E CENÁRIOS FUTUROS SOBRE A EXPANSÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR NA REGIÃO DE CERRADO NO CENTRO-OESTE MINEIRO.....	46
3.1. Introdução.....	47
3.2. Materiais e Métodos	50
3.2.1. Área de Estudo	50
3.2.2. Plataforma de pesquisa DINAMICA EGO	51
3.2.3. Base de dados	52
3.2.4. A modelagem de sistemas ambientais	55
3.3. Resultados e Discussões	57
3.3.1. A influência das variáveis fisiográficas e de infraestrutura viária sobre a expansão canavieira.....	57
3.3.2. Cenários futuros para a região Centro-Oeste de Minas Gerais	61
3.4. Considerações.....	65
3.5. Referências Bibliográficas.....	67

4.	EFEITOS DA EXPANSÃO CANAVIEIRA SOBRE A COBERTURA E USO DA TERRA NO CENTRO-OESTE MINEIRO	72
4.1.	Introdução.....	73
4.2.	A expansão do setor sucroenergético e a segurança alimentar no Brasil.	76
4.3.	A expansão da cana e o reordenamento do uso da terra no Centro-Oeste mineiro.	79
4.4.	Impactos sobre os remanescentes de Cerrado no Centro-Oeste mineiro.....	84
4.5.	Considerações.....	90
4.6.	Referências bibliográficas	91
5.	CONCLUSÕES.....	95
	APÊNDICE I - RELATÓRIO DO TRABALHO DE CAMPO REALIZADO NOS MUNICÍPIOS DE ARCOS, BAMBUÍ, IGUATAMA, JAPARAÍBA, LAGOA DA PRATA E LUZ.....	98
	APÊNDICE II - Parâmetros calibrados nos algoritmos expander e patcher nos modelos de simulação para os períodos 1995 a 2000 e 2005 a 2010 nos municípios de Arcos, Bambuí, Iguatama, Japaraíba, Lagoa da Prata e Luz.....	131
	APÊNDICE III - Validação dos modelos - índices de similaridade Fuzzy calculados através da função de decaimento exponencial para distintos tamanhos de janela.....	133

1. Introdução

O Cerrado é o segundo maior bioma da América do Sul, ocupando uma área de 2.036.448 km², o que equivale a cerca de 22% do território nacional (MMA, 2013). A sua área contínua incide sobre os estados de Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Bahia, Maranhão, Piauí, Rondônia, Paraná, São Paulo e Distrito Federal, além dos enclaves no Amapá, Roraima e Amazonas. Considerado por cientistas como um *hotspot* de biodiversidade (MYERS, 2000), calcula-se que este bioma seja responsável por 5% da biodiversidade mundial, sendo muitas de suas espécies endêmicas (PIRES, 1999).

Nas últimas décadas, o Cerrado passou por diversas transformações de ordem física e socioeconômica. Estudos de mapeamento da cobertura vegetal indicam que o cenário de conservação deste bioma é preocupante em razão da substituição da vegetação nativa por outras formas de uso antrópico. O estágio de preservação atual, estimado por diferentes metodologias, indica que entre 40 e 55% do seu território foram convertidos em áreas de pastagens, agricultura, ocupação urbana, entre outros (MACHADO, *et al.*; 2004; SANO *et al.*, 2008, FERREIRA *et al.*, 2009).

Em Minas Gerais o Cerrado está localizado na porção centro ocidental, ocupando cerca de 57% deste Estado, onde, ao longo do seu processo de ocupação, amplas áreas de vegetação nativa foram substituídas por culturas agrícolas, florestamentos ou transformadas para implantação de atividades agropecuárias. Esse processo desencadeou uma redução da cobertura natural do bioma, sendo que atualmente existem extensas áreas apenas no norte de Minas Gerais, particularmente nas bacias dos rios São Francisco e Jequitinhonha (DRUMMOND *et al.*, 2005).

Os solos do Cerrado, em sua maioria, se caracterizam pela baixa fertilidade natural, limitada por sua elevada acidez e baixo teor de cálcio, o que facilita a perda de minerais solúveis por meio de lixiviação (DINIZ, 2006). Apresentam, ainda, elevado grau de intemperismo, principalmente aqueles do tipo latossolos, que são predominantes na região. Estas características, durante muitos anos, foram entendidas como obstáculos para o desenvolvimento da agricultura na região, com terras de baixo valor econômico. Ultimamente, a fertilidade destes solos vem deixando de ser um fator limitante à exploração, devido à incorporação de novas técnicas de plantio, correção do solo e adubação (FERREIRA, 2009; REZENDE, 2002).

Este processo contribuiu para que o Brasil se tornasse uma potência agrícola mundial, com a região do Cerrado exercendo um papel cada vez mais central na cadeia produtiva

agrícola e pecuária. A mesma destaca-se pela relevância do seu rebanho bovino, bem como no cultivo de soja, milho, café, feijão e algodão, sendo uma das principais áreas da recente expansão da cana-de-açúcar (PIAU, 2011; MIZIARA, 2009; DINIZ, 2006). No entanto, a modernização da agricultura, ao mesmo tempo em que transformou o Cerrado em protagonista do agronegócio brasileiro, ocasionou significativa fragmentação do *habitat* deste bioma. Este cenário tem fomentado diversos debates na busca por alternativas que viabilizem o desenvolvimento sustentável, sendo este um dos grandes desafios vigentes da humanidade.

Considerando o cenário atual e as perspectivas futuras de expansão do setor sucroenergético, importantes esferas da sociedade brasileira tem se preocupado com possíveis impactos ambientais resultantes do aumento das lavouras de cana, sobretudo aqueles que incidem sobre áreas com cobertura vegetal nativa ou regiões tradicionais na produção de gêneros alimentícios. Neste sentido, o Governo Federal publicou em 2009, por meio do decreto nº. 6.961/2009, o Zoneamento Agroecológico da cana-de-açúcar (ZAE), cujo objetivo geral foi ordenar a “expansão e a produção sustentável de cana-de-açúcar no território brasileiro” (EMBRAPA, 2009, p.03).

O ZAE apresentou alguns pontos positivos como, por exemplo, a delimitação do cultivo de cana apenas em áreas já degradadas, a proibição do plantio da cana em terras com declividade superior a 12%, (observando-se a premissa da colheita mecânica e sem queima para as áreas de expansão) e em áreas de proteção ambiental e remanescentes florestais. Por outro lado, ao vedar o plantio de canaviais nos biomas Amazônia, Pantanal e no Sul do Brasil (devido ao clima frio pouco apreciado pela cultura da cana), o ZAE praticamente define a rota de expansão das lavouras de cana-de-açúcar rumo ao Cerrado. Considerando os atuais níveis de ocupação deste bioma em decorrência do crescimento do agronegócio naquela região, estima-se que a expansão da cana poderá exercer uma pressão antrópica ainda maior sobre áreas remanescentes do bioma.

O aumento no consumo do etanol combustível no mercado interno, as fortes oscilações no preço do petróleo no mercado internacional e a busca por fontes de energia alternativas aos combustíveis fósseis foram os principais propulsores para o expressivo incremento dos investimentos do setor sucroalcooleiro, sobretudo em meados da década passada. Desde então, a expansão das lavouras de cana-de-açúcar tem ocorrido de forma mais expressiva sobre áreas de Cerrado nativo, em especial nos porções deste bioma localizadas nos estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais (CASTRO *et al.*, 2010; PEREIRA, 2007; OLIVEIRA, *et al.*, 2012).

Atualmente, são cerca de 70 mil produtores de cana em todo o Brasil e 439 usinas em funcionamento, distribuídas, principalmente, nas regiões Centro-Sul e Norte-Nordeste. A região Centro-Sul é responsável por 89% da produção de álcool, com destaque para o estado de São Paulo, maior produtor nacional, enquanto a região norte-nordeste responde pelos 11% restantes (CHAGAS, 2012).

Com o advento da crise econômica mundial em 2008, os investimentos no setor foram reduzidos, ainda que a expectativa a médio e longo prazo seja de recuperação. De acordo com Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE 2011, aprovado por meio da Portaria nº 107/2013, do Ministério das Minas e Energias (MME), a projeção para os próximos 10 anos é de que o mercado brasileiro de etanol continuará em expansão. O principal parâmetro utilizado para esta projeção é a tendência de aumento expressivo da frota de veículos *flexfuel* para o período decenal. Atualmente a oferta de etanol no mercado brasileiro é da ordem de 31 bilhões de litros. Ainda com base no PDE 2011, a expansão do setor sucroenergético, que ainda resente os efeitos da última crise financeira mundial, ocorrerá gradativamente nos próximos anos e poderá atingir, em 2021, uma produção total de 68,3 bilhões de litros de etanol.

No estado de Minas Gerais, este segmento consolidou-se na região do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. As 23 usinas localizadas na região responderam por 66,7% da produção canavieira do estado na safra 2011/2012 (IBGE/SIDRA/2012), tornando-se uma das principais regiões produtoras do país. A partir de 2005, a área plantada e a produção de cana-de-açúcar expandiram-se de forma vigorosa para outras regiões do estado, em especial para as regiões Noroeste, Central e Centro-Oeste, sendo esta última a área abrangida desta pesquisa.

Estudo desenvolvido por Oliveira *et al* (2012) indica que, entre os anos de 2005 e 2010, o aumento das lavouras de cana foi da ordem de 55% nos municípios de Bambuí, Arcos, Iguatama, Japaraíba, Lagoa da Prata, Luz e Pompéu. Este resultado é ratificado pelos dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e do projeto CANASAT⁴, os quais indicam uma significativa expansão das lavouras de cana-de-açúcar naquela região, especialmente a partir do ano de 2006. A Federação da Agricultura do Estado de Minas Gerais (FAEMG, 2008) relata que, entre os anos de 2006 e 2007, a área reservada à cultura da cana-de-açúcar naquela região passou de 22.842 hectares para 33.876 hectares. No mesmo

⁴ O Canasat é um projeto de monitoramento, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), que tem como objetivo identificar e mapear a área cultivada de cana-de-açúcar, por meio de imagens de satélite de observação em terra. O projeto iniciado em 2003 abrange os estados de São Paulo, Paraná, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul.

período, a produção aumentou de 1,7 para 2,57 milhões de toneladas por ano, o que equivale a um crescimento de 51%.

Considerando que o setor sucroenergético, se comparado às principais atividades agrícolas da região, possui um pacote tecnológico mais robusto, fruto de um maior nível de investimento (MIZIARA, 2006), a tendência é que as lavouras de cana-de-açúcar ocupem as melhores terras. Este processo tem provocado um reordenamento na dinâmica agrícola regional, com impactos de âmbito econômico, social e ambiental na região Centro-Oeste de Minas Gerais, para o qual as pesquisas científicas sobre o tema ainda são incipientes.

É neste contexto de transformações em escala regional e microrregional que se insere este estudo, cujo objetivo geral foi analisar os efeitos da expansão da cana-de-açúcar ocorrida nos municípios de Arcos, Bambuí, Iguatama, Japaraíba, Lagoa da Prata e Luz, sobretudo a partir de 2005, identificando as mudanças na cobertura e uso da terra, e examinando as principais consequências advindas deste processo. Buscou-se, ainda, a construção de cenários futuros, por meio de modelagem ambiental, que permitissem a elaboração e análise de prognósticos sobre a dinâmica da paisagem naquela região.

1.1. Questões Investigativas

Durante o desenvolvimento desta pesquisa buscou-se responder as seguintes questões investigativas:

1. Quais as principais modificações ocorridas na cobertura e uso da terra resultantes da expansão da cana-de-açúcar, efetivada no período de 1995 a 2010, na região Centro-Oeste de Minas Gerais?
2. Quais foram os fatores fisiográficos determinantes para a expansão canavieira no Centro-Oeste mineiro, entre os anos de 2005 e 2010?
3. Considerando contextos socioeconômicos distintos, quais os cenários futuros para a cobertura e uso da terra nos municípios de Arcos, Bambuí, Iguatama, Japaraíba, Lagoa da Prata e Luz?
4. Quais os principais efeitos da competição pelo uso da terra decorrentes da recente expansão da cana-de-açúcar nos municípios contemplados neste estudo?
5. Considerando o cenário simulado para o ano de 2030, favorável à expansão canavieira, quais os principais impactos sobre as áreas remanescentes de Cerrado nos municípios contemplados neste estudo?

A primeira questão abrange a parte inicial desta tese de doutorado, e foi respondida por meio do estudo que resultou no artigo intitulado “Diagnóstico sobre o uso da terra na região Centro-Oeste de Minas Gerais, Brasil: A renovação da paisagem pela cana-de-açúcar e seus impactos socioambientais”.

As questões dois e três foram abordadas no segundo artigo desta tese, de modo que o leitor poderá compreender a influência das variáveis naturais e de infraestrutura viária na expansão da cana, bem como visualizar cenários futuros projetados para a cobertura e uso da terra, com ênfase na expansão canavieira.

As questões quatro e cinco foram analisadas no terceiro artigo, no qual foi possível diagnosticar e avaliar os efeitos da competição estabelecida entre a cana-de-açúcar e as principais atividades agrícolas nos municípios que compõem a área deste estudo. Neste artigo fez-se também uma apreciação do cenário simulado para o ano de 2030, com perspectivas favoráveis ao setor sucroenergético, com vistas aos possíveis impactos sobre as áreas remanescentes de Cerrado no Centro-Oeste mineiro.

1.2. Hipóteses

As hipóteses desta pesquisa são as seguintes:

1. A expansão da cana-de-açúcar na região Centro-Oeste de Minas Gerais provocou um reordenamento na produção agrícola, ocupando principalmente áreas de agricultura e pecuária.
2. Os fatores geográficos determinantes para a expansão da cana-de-açúcar no Centro-Oeste mineiro foram o relevo, fertilidade do solo e hidrografia, aliados à infraestrutura viária existente.
3. Considerando as projeções de aumento da frota de veículos *flexfuel*, contidas no Plano Nacional de Energia (PNE 2030), estima-se que nos próximos 20 anos as lavouras de cana-de-açúcar continuarão se expandindo no Centro-Oeste mineiro.
4. A expansão da cana-de-açúcar na região Centro-Oeste de Minas Gerais foi a principal responsável pela diminuição da área plantada de milho e soja nos municípios de Arcos, Bambuí, Iguatama, Japaraíba, Lagoa da Prata e Luz.

1.3. Objetivo Geral

Analisar os efeitos da expansão das lavouras de cana-de-açúcar, especialmente aqueles ocorridos sobre a cobertura e uso da terra, na região Centro-Oeste de Minas Gerais, sob duas perspectivas temporais distintas. A primeira contemplada pelo período de tempo abrangido entre 2005 e 2010, enquanto a segunda contempla cenários simulados para a cobertura e uso da terra no ano de 2030.

1.3.1 Objetivos Específicos

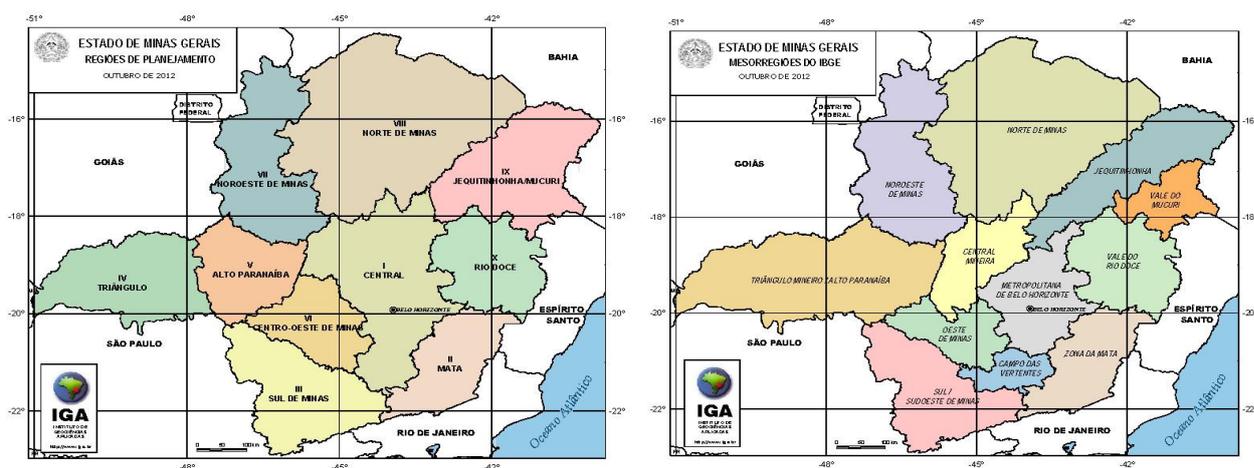
- Identificar as principais alterações ocorridas na cobertura e uso da terra na região Centro-Oeste de Minas Gerais no período de 1995 a 2010, a partir de imagens Landsat 5 - TM.
- Mapear, por meio da utilização de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, as áreas de expansão da cana-de-açúcar nos municípios de Arcos, Bambuí, Iguatama, Japaraíba, Lagoa da Prata, Luz e Pompéu, em quatro momentos: 1995, 2000, 2005 e 2010.
- Identificar a influência dos fatores fisiográficos e de malha viária sobre a expansão das lavouras de cana-de-açúcar na região do Centro-Oeste de Minas.
- Simular cenários futuros da cobertura e uso da terra, até o ano de 2030, com ênfase na expansão canavieira, nos municípios de Arcos, Bambuí, Iguatama, Japaraíba, Lagoa da Prata e Luz.
- Analisar os efeitos da competição pelo uso da terra entre as lavouras de cana-de-açúcar e as principais atividades agrícolas nos municípios de Arcos, Bambuí, Iguatama, Japaraíba, Lagoa da Prata e Luz, no período de 2005 a 2010.
- Avaliar os possíveis impactos ambientais sobre os remanescentes de Cerrado no Centro-Oeste mineiro, a partir dos cenários simulados para o ano de 2030.

1.4. Caracterização da área de estudo

O estado de Minas Gerais é constituído por 853 municípios e possui duas divisões geográficas. De acordo com o IBGE, o mesmo está dividido em doze mesorregiões, as quais

são formadas por 66 microrregiões. O governo estadual adota oficialmente outra segmentação para fins administrativos, dividindo o estado em dez regiões de planejamento (RP), nem sempre coincidente com as mesorregiões do IBGE.

A região Centro-Oeste de Minas Gerais está inserida em ambas as classificações, porém com área de abrangência diferente. Enquanto na classificação do IBGE a mesorregião é formada por 44 municípios (figura 1-B), para o governo mineiro a RP do Centro-Oeste de Minas é formada por 56 municípios (figura 1-A).



(A) Regiões de planejamento – Divisão utilizada pelo Governo de Minas Gerais.

(B) Divisão geográfica adotada pelo IBGE

Figura 1 - Divisão geográfica do estado de Minas Gerais, segundo classificação adotada pelo Governo do estado e pelo IBGE.

Fonte: Instituto de Geociências Aplicadas (IGA/MG)

Este estudo tem como foco a expansão da cana-de-açúcar na região Centro-Oeste de Minas Gerais conforme divisão geográfica do Governo Mineiro. Para definição da sua área de abrangência, fez-se uma pesquisa junto ao banco de dados agregados do IBGE/SIDRA com objetivo de identificar os municípios daquela região com área plantada e produção de cana com relevância em escala industrial. Na análise destes dados, constataram-se significativas modificações destas variáveis (área plantada e produção), sobretudo no período de 2005 a 2010, o que evidencia a recente expansão canavieira no Centro-Oeste mineiro.

Verificou-se, assim, que os municípios de Arcos, Bambuí, Iguatama, Japaraíba, Lagoa da Prata e Luz são os maiores produtores de cana, constituindo um polígono regional do setor sucroenergético no Centro-Oeste mineiro. O principal indutor da expansão das lavouras de cana-de-açúcar na região são as usinas de álcool e açúcar instaladas nos municípios de Lagoa da Prata e Bambuí. Em meados da década passada, foram feitos expressivos investimentos na região, quando a usina Luciânia em Lagoa Prata passou por uma ampla reforma e ampliação. Em 2006 foi instalado em Bambuí o complexo industrial da Usina Total S.A., que

posteriormente passou a se chamar Bambuí Bioenergia, cujos investimentos iniciais foram da ordem de 200 milhões de reais (BARBOSA, 2011).

Em relação à área plantada com cana, os seis municípios supracitados saltaram de 17.826 para 39.106 hectares no período de 2005 a 2011, o que representa um crescimento de 183,8% (IBGE/SIDRA/2012). De acordo com dados do Canasat, a área plantada de cana-de-açúcar para a safra 2011/12 nos municípios contemplados neste estudo totalizam 43.271 hectares, sendo que deste universo a expansão em relação safra anterior é 2.249 hectares. Na tabela 1 é apresentada a ordem de classificação dos municípios do Centro-Oeste mineiro, contemplados neste estudo, no *ranking* de área plantada de cana-de-açúcar no estado de Minas Gerais na safra 2012/13.

Tabela 1 - Ordem de classificação dos municípios do Centro-Oeste mineiro, contemplados neste estudo, no ranking de área plantada de cana-de-açúcar no estado de Minas Gerais na safra 2012/13.

Classificação	Município	Disponível para colheita (ha)				Em reforma (ha)	Total Cultivada (ha)
		Soca	Reformada	Expansão	Total		
23º	Lagoa da Prata	10.856	462	199	11.516	717	12.233
28º	Luz	7.634	267	614	8.516	1.657	10.173
32º	Bambuí	8.208	33	796	9.036	619	9.655
47º	Japaraíba	4.308	98	0	4.406	555	4.961
53º	Iguatama	2.689	0	640	3.329	830	4.160
65º	Arcos	1.538	88	0	1.626	462	2.089

Fonte: <http://www.dsr.inpe.br/laf/canasat/> - acesso em 13/11/2012

Na primeira fase deste estudo, caracterizada pelo diagnóstico da cobertura e uso da terra, o município de Pompéu também estava inserido. Entretanto, considerando que sua posição geográfica não contempla o polígono da cana na região Centro-Oeste de Minas Gerais, achou-se prudente retirá-lo da pesquisa nas etapas seguintes. Tal motivação se deu pela opção do pesquisador em estabelecer como foco deste estudo a área do Centro-Oeste mineiro, representada pelos municípios descritos na sequência.

O município de Bambuí está localizado no Centro-Oeste de Minas Gerais, próximo ao Parque Nacional da Serra da Canastra, região de Cerrado. Possui uma área total de 1.453,99 km² e fica a 270 km de Belo Horizonte. Sua população é de 22.909 habitantes (IBGE, 2010). A economia do município está baseada na agricultura, com destaque para as culturas de café, milho, soja, feijão e na pecuária. De acordo com a EMATER, o município em 2009 possuía 1.450 propriedades rurais, das quais 1.124 tinham tamanho máximo de 100 hectares, ou seja, 77,5% eram consideradas como pequenas propriedades.

O município de Arcos possui 510,048 km² de área, localizado na Zona do Alto São Francisco, numa altitude média de 740 metros. De acordo com dados do censo demográfico (IBGE, 2010), a população é de 36.582 habitantes. A principal atividade econômica reside na exploração de calcário situada próxima à cidade, onde se encontram instaladas várias empresas de grande porte exploradoras e mineradoras de calcário como a Lafarge, CSN, Belocal (Lhoist), Lagos, Eletrocastro.

Iguatama está localizada na microrregião de Piumhi, no Centro-Oeste de Minas Gerais, com área de 629,6 km², sendo o primeiro município banhado pelo rio São Francisco. A altitude da sede está a 664 metros em relação ao nível do mar. Sua população é constituída de 8.029 habitantes (IBGE, 2010). A economia gira em torno da agropecuária com destaque para a bovinocultura de leite. Entretanto, destaca-se no município a produção de calcário, biodiesel, carbureto de cálcio e adubos. As principais empresas atuantes no município são a White Martins, Heringer, Vialat, SKAL, ICIL e Sementes São Felix.

O município de Lagoa da Prata, com população de 45.999 habitantes (IBGE, 2010), está localizado no Centro-Oeste de Minas Gerais, no Alto São Francisco, com área de 442 km², distante 211 km de Belo Horizonte, capital do estado. Sua economia é baseada na agropecuária, voltada principalmente para o plantio da cana-de-açúcar para atendimento da demanda de uma grande usina de açúcar instalada no município (Grupo Louis Dreyfus Commodities). A cobertura vegetal natural predominante é o Cerrado, hoje com pequenos remanescentes da vegetação natural ainda intactos, devido ao intenso desmatamento para cultivo de pastagens e atividades agrícolas, como a cultura da cana-de-açúcar.

O município de Luz está localizado no Centro-Oeste mineiro, com uma população de 17.486 habitantes (IBGE, 2010). Sua extensão territorial é de 1.171,69 km², totalmente compreendida dentro do bioma Cerrado. A sede está situada as margens da BR 262, distante 188 km da capital mineira. A altitude média é de 675 metros, com temperatura média anual de 22,1 °C, apresentando índice médio pluviométrico anual de 1.415,7 mm. As principais atividades econômicas estão relacionadas com a agropecuária, com destaque para a produção de cana-de-açúcar, milho e feijão. No período 1991-2000, o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH-M) de Luz cresceu 10,94%, passando de 0,722 em 1991 para 0,801 em 2000, um dos mais altos do estado de Minas Gerais (34^a posição).

O município de Japaraíba possui população de 3.688 habitantes (IBGE, 2008), localizado na região do Alto São Francisco, inserido sob um relevo de planície, sendo o Cerrado a sua cobertura vegetal natural. Localiza-se a 229 Km de Belo Horizonte, sendo suas principais vias de acesso as rodovias BR-354, MG-050 e MG-170. A economia é marcada

principalmente pela indústria de fogos de artifício, com a existência de oito fábricas espalhadas pelo município. As culturas da cana-de-açúcar, eucalipto e propriedades agropecuárias também movimentam o setor econômico.

Esta breve caracterização dos municípios supracitados possibilitará ao leitor uma melhor compreensão sobre o local em que esta pesquisa se desenvolverá. Trata-se de uma região do Cerrado mineiro que apresenta, em sua maioria, terrenos planos e suavemente ondulados com características climáticas adequadas ao desenvolvimento agrícola. O clima predominante é tropical, com verão chuvoso, inverno seco e temperaturas médias entre 21°C e 23°C. Acredita-se que tais informações sobre as principais características físicas e antrópicas dos municípios estudados permitirá, ao longo do estudo, um entendimento apropriado sobre as possíveis mudanças na dinâmica da cobertura e uso da terra na área deste estudo.

Referências

- BARBOSA, R. R. **Agroindústria canavieira e desenvolvimento local, Bambuí-MG**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa – UFV, 2011
- BRASIL, Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2021**. Brasília: MME/EPE, 2012.
- _____. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030 (PNE) v. 2**. Ministério de Minas e Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2007.
- CASTRO, S. S.; ABDALA, K.; SILVA, A. A.; BÔRGES, V. M. S. **A expansão da cana-de-açúcar no Cerrado e no estado de Goiás: Elementos para uma análise espacial do processo**. Boletim Goiano de Geografia. Goiânia, v. 30, n. 1, p. 171-191, jan./jun. 2010
- CHAGAS, A. L. S. **Economia de Baixo Carbono: Avaliação de impactos de restrições e perspectivas tecnológicas. Subprojeto 2 - Estudos Setoriais: Biocombustíveis**. USP, Ribeirão Preto/SP, 2012.
- DINIZ, B. P. C. **O grande Cerrado do Brasil central: geopolítica e economia**. Tese (Doutorado em Geografia Humana). Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 2006.
- DRUMMOND, G. M.; MARTINS, C. S.; MACHADO, A. B.M.; SEBAIO, F. A.; ANTONINI, Y. A. **Biodiversidade em Minas Gerais: um atlas para sua conservação**. 2ª edição. Fundação Biodiversitas, Belo Horizonte, 2005.
- EMBRAPA. **Zoneamento Agroecológico da Cana-de-Açúcar**. Brasília: EMBRAPA, 2009.
- FERREIRA, M. E. **Modelagem da dinâmica de paisagem do Cerrado**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Goiás (UFG), 2009.

MACHADO, R.B., M.B. RAMOS NETO, P.G.P. PEREIRA, E.F. CALDAS, D.A. GONÇALVES, N.S. SANTOS, K. TABOR E M. STEININGER. **Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro**. Relatório técnico. Conservação Internacional, Brasília, DF. 2004.

MINAS GERAIS. Federação da Agricultura. Safra agrícola de Minas Gerais 2008. Disponível em: <http://www.faemg.org.br>

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Anuário estatístico da agroenergia**. Brasília, 2009

MIZIARA, F. **Expansão da Lavoura de Cana em Goiás e Impactos Ambientais**. In: XIV Congresso Brasileiro de Sociologia, 2009, Rio de Janeiro. Anais do XIV Congresso Brasileiro de Sociologia, v. 1, 2009.

_____, F. **Expansão de fronteiras e ocupação do espaço no Cerrado: o caso de Goiás**. In: DANIEL, Maria A.; DAL LARA, Lorena; ANACLETO, Teresa C. S. (Org.). *Natureza viva Cerrado*. Goiânia: Ed. da UCG, 2006.

MYERS, N; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; DA FONSECA, G. A. B.; KENT, J. **Biodiversity hotspots for conservation priorities**. *Nature* 403: 853–858 - 2000.

OLIVEIRA, E. G.; FERREIRA, M. E.; ARAÚJO, F. M. **Diagnóstico sobre o uso da terra na região Centro-Oeste de Minas Gerais, Brasil: A renovação da paisagem pela cana-de-açúcar e seus impactos socioambientais**. *Revista Sociedade Natureza*. UFU. Ano 24 n.3 set/dez 2012.

PEREIRA, M. C. **A expansão da cadeia sucroalcooleira em Mato Grosso do Sul, Dinâmica e Determinantes**. Dissertação (Mestrado em Agronegócios). Departamento de Economia e Administração. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2007.

PIAU, E. da S. **Diagnóstico espacial da expansão da cana-de-açúcar e sua relação indireta com a atividade da pecuária nos estados de São Paulo, Goiás e Mato Grosso do Sul**. Dissertação (Mestrado em Gestão e Planejamento Ambiental). Universidade Católica de Brasília. Brasília, 2011.

PIRES, M. O. Cerrado: Sociedade e biodiversidade. In: IORIS, E (Org). **Plantas Medicinais do Cerrado: perspectivas comunitárias para a saúde, o meio ambiente e o desenvolvimento sustentável**. Mineiros/GO: Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior: Projeto Centro Comunitário de Plantas Medicinais, 1999. p. 155-173.

REZENDE, G. C. **Ocupação Agrícola e Estrutura Agrária no Cerrado: O Papel do Preço da Terra, dos Recursos Naturais e da Tecnologia**. Rio de Janeiro: IPEA n° 913, 2002.

RIBEIRO, N. V.; FERREIRA, L. G.; FERREIRA, N. C. Expansão sucroalcooleira no estado de Goiás: Uma análise exploratória a partir de dados sócio-econômicos e cartográficos. *Revista Brasileira de Cartografia* No XX/YY, 2008.

SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L. S.; FERREIRA, L. G. **Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.43, n.1, p.153-156, jan. 2008.

VEIGA FILHO, L. **Sustainable energy ignites Brazil's economy**. Valor econômico. Special edition, p.06-11, 2008.

2. DIAGNÓSTICO SOBRE O USO DA TERRA NA REGIÃO CENTRO-OESTE DE MINAS GERAIS, BRASIL: A RENOVAÇÃO DA PAISAGEM PELA CANA-DE-AÇÚCAR E SEUS IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS.

Edmar Geraldo Oliveira
Prof. no IFET Minas Gerais, Doutorando em Ciências Ambientais UFG
edmar@ifmg.edu.br

Manuel Eduardo Ferreira
Prof. Adjunto, Universidade Federal de Goiás UFG
manuel@iesa.ufg.br

Fernando Moreira de Araújo
Geógrafo, Doutorando em Ciências Ambientais UFG
fernandomsbl@gmail.com

RESUMO

Nos últimos anos, o Brasil tem experimentado um aumento significativo no consumo de etanol combustível, combinado com uma melhoria no preço internacional do açúcar. No período de 2000 a 2010, a área plantada com cana no país aumentou 97,59% (equivalente a 4.526.475 hectares). Estes fatos têm contribuído para uma transformação da dinâmica agrícola no bioma Cerrado (savana), apontando para uma competição entre culturas de cana-de-açúcar e outras com menor nível de investimento. Neste estudo avaliamos a expansão da cultura da cana-de-açúcar na região Centro-Oeste do Estado de Minas Gerais, especificamente em áreas de Cerrado, e seus impactos socioambientais para os municípios contidos na área de estudo, entre os anos de 1995 e 2010. Dentre os resultados principais, obtidos por meio de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, indicaram uma expansão de 130% para o plantio de cana-de-açúcar, seguido por 87% e 31% de reflorestamento e outras culturas, respectivamente. Foi detectada ainda uma redução da ordem de 19,6% da vegetação nativa, enquanto as áreas de pastagem perderam 8,5% da sua área original.

Palavras chaves: Mudanças no uso e cobertura da terra. Cana-de-açúcar. Cerrado. Sensoriamento Remoto.

ABSTRACT

In the last years, Brazil has experienced a significant increase in consumption of ethanol fuel, combined with an increase of sugarcane price in the international market. During the period 2000-2010 the area occupied by sugarcane increased 97.59% (equivalent to 4,526,475 hectares). These facts have contributed for changings in the agriculture dynamic in the Cerrado biome (savanna), accentuating the substitution of less investment-demanding crops by sugarcane. In this study we have evaluated the expansion of sugarcane crops in the central and western part of Minas Gerais State, specifically in areas of Cerrado, as well as their socioeconomic and environmental impacts in the municipalities of the study area, during the 1995-2010 period. The main results, obtained with the support of remote sensing and GIS techniques, show an expansion of 130% in the areas planted with sugarcane, followed by 87% and 31% of reforestation and other crops, respectively. It was also detected a reduction of 19.6% in the native vegetation cover, while pasturelands faced a reduction of 8.5%.

Key-words: Land use and land cover changes. Sugarcane. Cerrado. Remote Sensing.

2.1. Introdução

O bioma Cerrado ocupa aproximadamente 204,7 milhões de hectares ou 24% do território brasileiro, fazendo-se presente em 10 estados da federação (área contínua), incluindo o Distrito Federal (IBGE, 2004). Desde a década de 1950, esse bioma – responsável por aproximadamente 5% da biodiversidade mundial (PIRES, 1999) – tem sido amplamente modificado pela ação antrópica, devido, principalmente, ao processo de interiorização da capital da República e das respectivas políticas de ocupação para a região central do país, incentivando o desenvolvimento da pecuária e da agricultura extensiva, como a soja, milho, algodão e, mais recentemente, da cana-de-açúcar.

Tais mudanças apoiaram-se, sobretudo, na implantação de novas infraestruturas viárias e energéticas, bem como na modernização da agricultura, permitindo o pioneirismo de atividades agrárias rentáveis, em detrimento de uma biodiversidade até então pouco conhecida e alterada. Outro aspecto que favoreceu a expansão da agricultura no Cerrado foi a sua topografia bastante plana, excelente para a mecanização de extensas áreas, especialmente no Triângulo Mineiro e na região sul de Goiás (FERREIRA *et al.*, 2009; FERREIRA *et al.*, 2012). Com relação ao uso da terra neste bioma, as duas classes mais representativas são as pastagens cultivadas e as culturas agrícolas, que ocupam cerca de 54 e 21,5 milhões de hectares, respectivamente, sendo que ambas apresentam distribuição espacial bastante heterogêneas (SANO *et al.*, 2008).

Em virtude do aumento da demanda pelo açúcar e etanol combustível, a área de plantio da cana-de-açúcar continua se expandindo no Brasil, com frequente aumento de produtividade. O cenário econômico atual indica um mercado favorável, estimulando a expansão das áreas plantadas. A saturação de áreas cultivadas com cana-de-açúcar no Estado de São Paulo (maior produtor nacional), aliada à moderna tecnologia de maquinários e insumos agrícolas, pode ser apontado como um dos fatores determinantes para a expansão dessa produção para outros Estados.

O aumento da área plantada de cana-de-açúcar vem ocorrendo rumo ao centro do país, concentrando-se em dois grandes e representativos estados do Cerrado: Goiás e Minas Gerais (CASTRO *et al.*, 2010). Tal tendência se deve, principalmente, às extensas faixas de terras, boa infraestrutura viária e proximidade de mercados consumidores, propiciando uma nova dinâmica no uso e ocupação do solo nesse bioma. Como o plantio da cana requer um maior nível de investimento, ela tende a ocupar as melhores terras, sejam elas áreas remanescentes de Cerrado, agricultura ou pecuária. Pesquisas recentes realizadas para Goiás demonstram que

apenas 12% dessa expansão ocorreu em áreas de pecuária, contradizendo o discurso oficial, pelo menos até o momento, de que as áreas prioritárias a serem incorporadas proviriam das pastagens degradadas (CASTRO *et al.*, 2007; MIZIARA, 2009; SILVA e MIZIARA, 2011).

No caso de Minas Gerais, entre os anos de 2005 e 2006, ocorreu o maior crescimento entre aqueles produtores de cana-de-açúcar (26,9%), alcançando a condição de segundo maior produtor nacional na safra 2009/2010 (concentrado nas regiões do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, Noroeste e Centro-Oeste do Estado).

Nesse contexto se insere o presente estudo, tendo como objetivo a análise temporal da conversão e uso do solo na região Centro-Oeste de Minas Gerais, entre os anos de 1995 e 2010, por meio da utilização de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. Dentre os objetivos específicos, o estudo visa identificar o nível de competição estabelecido entre a cultura de cana-de-açúcar e as demais áreas de cultivos, bem como mapear os remanescentes de Cerrado para a área em questão. Nossa hipótese é a de que a referida expansão na região Centro-Oeste de Minas Gerais vem ocorrendo sobre áreas de pastagens cultivadas e agricultura, configurando-se numa nova etapa da fronteira agrícola.

2.2. Materiais e Métodos

2.2.1. Caracterização da área de estudo

A região Centro-Oeste do Estado de Minas Gerais é constituída por 56 municípios que, juntos, abrangem um território de 31.543 km². Entre 2000 e 2010, a região apresentou a segunda maior taxa de crescimento populacional do estado, de 1,27% ao ano, atingindo 1,12 milhão de habitantes em 2010, equivalente a 5,7% do total de Minas Gerais (IBGE, 2010). É uma região com índice de desenvolvimento humano (IDH) médio de 0,788 (PNUD, 2000), com uma economia diversificada, destacando os municípios de Itaúna, Formiga e Divinópolis, além de outros de importância regional como Arcos, Oliveira, Campo Belo, Nova Serrana e Piumhi.

Os municípios do Centro-Oeste mineiro que compõem este estudo são aqueles com área plantada e produção de cana-de-açúcar com relevância em escala industrial. Para subsidiar a escolha dos municípios, foi feito um levantamento criterioso junto ao banco de dados agregados do IBGE/SIDRA (produção agrícola municipal) e no CANASAT/INPE, com objetivo de analisar a variação da área plantada e produção no período de 2002 a 2010. Os dados obtidos indicaram que nesta região de Minas Gerais, os municípios com maior área

plantada e produção eram Arcos, Bambuí, Iguatama, Japaraíba, Lagoa da Prata, Luz e Pompéu, os quais compõem a área de estudo desta pesquisa (figura 2).

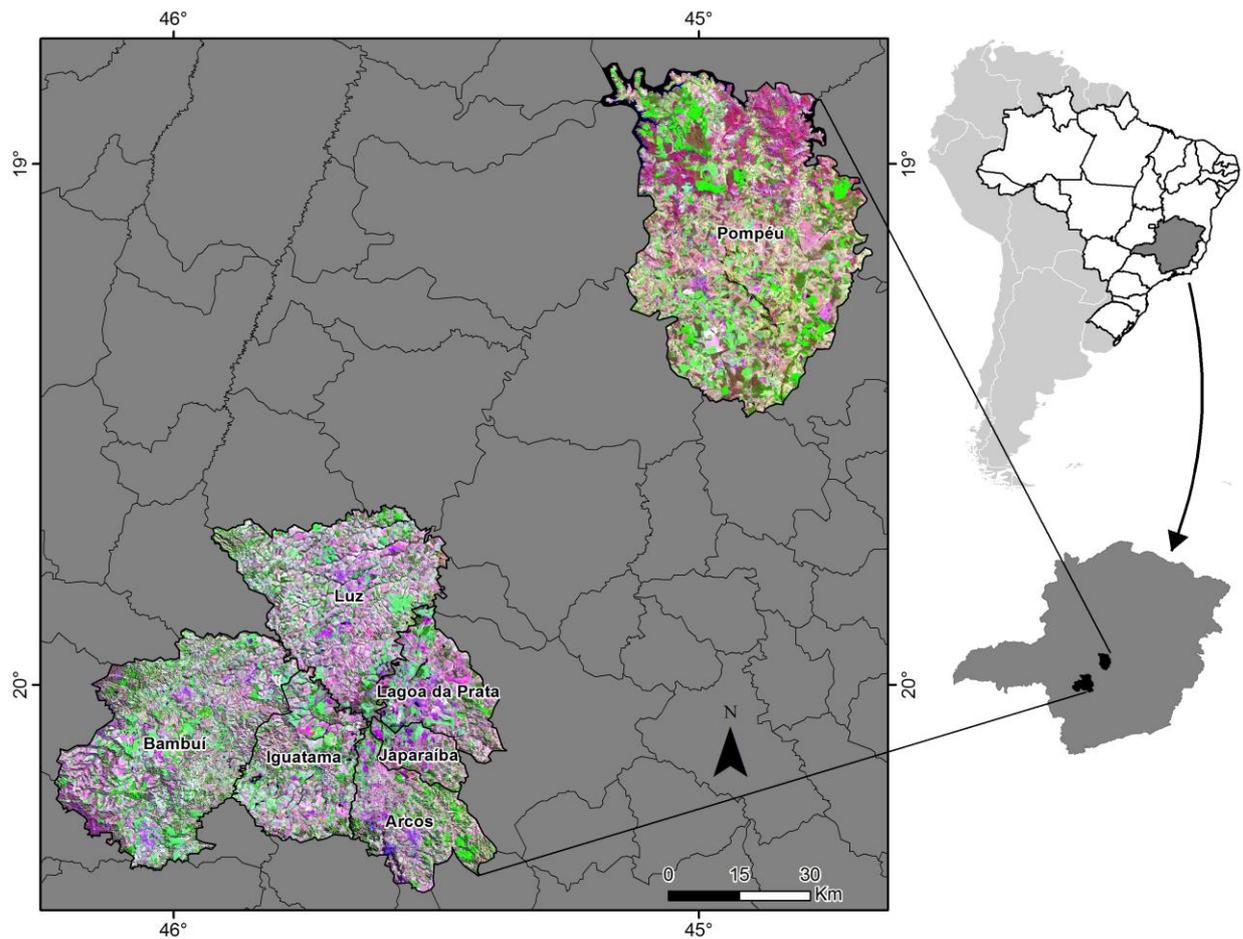


Figura 2 - Localização da área de estudo, com destaque para os municípios de Arcos, Bambuí, Iguatama, Lagoa da Prata, Luz, Japaraíba e Pompéu.

2.2.2. Processamento das Imagens de Satélite

O sensoriamento remoto é uma ferramenta de grande utilidade para o monitoramento agrícola, principalmente por permitir o acompanhamento da cultura ao longo do tempo, a determinação da área plantada, demarcação de novas áreas de cultivo, entre outras possibilidades. Apresenta ainda a vantagem de recobrir extensas áreas com custos reduzidos, podendo os dados serem armazenados para usos posteriores, para fins de comparação na gestão dos recursos naturais. Por outro lado, e especificamente para a cana-de-açúcar, esta possui características foliares que facilitam a sua identificação nas imagens de satélites, inclusive por ser uma cultura semi-perene, plantada em grandes extensões de terra (RUDORFF e SUGAWARA, 2007).

As imagens de satélites utilizadas neste estudo foram as do sensor Landsat 5-TM, obtidas no portal de dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE (www.inpe.br), de modo a representar quatro recortes temporais: 1995, 2000, 2005 e 2010. O início desta série histórica foi escolhido por ocasião da retomada de investimentos nas lavouras canavieiras, em especial na região Centro-Sul do país. Optou-se aqui por utilizar imagens registradas nos meses de junho e julho, período em que a interferência de nuvens é significativamente menor na área de estudo.

O mapeamento das classes de uso da terra (agricultura, cana-de-açúcar, mineração, pastagem cultivada, perímetro urbano, reflorestamento e vegetação remanescente - Cerrado) foi realizado com o método de classificação supervisionada por Máxima Verossimilhança (MAXVER), seguido por interpretação visual. Este método utiliza parâmetros estatísticos (distribuição normal gaussiana) para a ponderação das distâncias entre as amostras de pixels (média dos valores de níveis de cinza), visando agrupá-los em diferentes classes de uso do solo; quanto maior a quantidade de amostras (fase de treinamento do algoritmo), maior será a acurácia da classificação (INPE, 2009; MOREIRA, 2011).

Foram necessárias três órbitas/pontos do Landsat-TM para cobrir toda a área de estudo: 218/73, 219/73 e 219/74. Ao todo, foram utilizadas doze imagens, conforme exposto na tabela 2. Após a aquisição gratuita das imagens, os procedimentos realizados foram o georreferenciamento (com base em parâmetros obtidos de imagens do projeto *Geocover*⁵) e a geração de mosaico para cada conjunto de dados, possibilitando ao fim o recorte e análise da área de estudo.

Tabela 2 - Cenas Landsat-TM utilizadas no mapeamento do uso da terra para a região Centro-Oeste de Minas Gerais.

Ano	Órbita/ponto	Datas	Composição RGB
1995	218/73, 219/73 e 219/74	12/06/2011	Bandas R(5)/G(4)/ B(3)
2000		25/06/2000	
2005		09/07/2005	
2010		21/06/2010	

Outras bases de dados utilizadas nesta pesquisa foram os mapas políticos do IBGE, com limites de municípios e regiões (<http://mapas.ibge.gov.br/>), os mapas temporais de plantios da cana-de-açúcar do projeto CANASAT/INPE (<http://www.dsr.inpe.br/laf/canasat/>) e as séries históricas da Produção Agrícola Municipal 2010 do IBGE/SIDRA

⁵ Mais informações em <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/>

(<http://www.sidra.ibge.gov.br/>), importantes para a definição da área de estudo e aferição dos resultados.

2.3. Resultados e Discussões

2.3.1. A expansão do setor sucroalcooleiro no Cerrado

Nos últimos anos, tem-se intensificada a busca por fontes alternativas de energia, de forma a minimizar a pressão sobre o uso de combustíveis fósseis, principalmente devido aos indícios científicos quanto ao processo de mudanças climáticas e do esgotamento, em médio prazo, do modelo energético predominante (RIBEIRO *et al.*, 2009). No entanto, para Silveira e Carvalho (2008), existe um discurso muito forte, às vezes em tom exagerado, o qual afirma que os biocombustíveis são fontes limpas de energia, capazes de diminuir, em grandes escalas, os anunciados riscos ambientais decorrentes deste modelo.

Nesta perspectiva, a utilização do etanol como combustível automotivo tem sido celebrada como importante alternativa à gasolina e ao diesel, cujas fontes de recursos são finitas, e os níveis de emissões de CO₂ mais elevados. Somado a isto, as vantagens econômicas e ambientais do etanol brasileiro, produzido a partir da cana-de-açúcar, frente àquele produzido a partir de outras matérias primas como o milho, a beterraba e o trigo (todos com menor eficiência energética), fizeram com que o país despontasse como o líder mundial neste setor. A produção de veículos *flex – etanol e gasolina* (iniciada em 2003) já representa mais de 90% do total de veículos licenciados no Brasil (SOUZA e MACEDO, 2009).

Por outro lado, tal aumento no consumo do etanol, associado a uma valorização no preço do açúcar no mercado internacional, tem estimulado vigorosos investimentos no setor sucroalcooleiro. Segundo levantamento da União da Indústria Canavieira (UNICA), entre 2000 e 2008, a produção de cana cresceu 10,3% ao ano. O Brasil é atualmente o maior produtor de cana-de-açúcar no mundo, com 33% das áreas de plantio (SANT'ANNA *et al.*, 2009), 20% da produção e 50% das exportações de açúcar (UNICA, 2011). Para atender essa demanda, a área plantada de cana no Brasil aumentou em 97,59% no período de 1995 a 2010, o equivalente à área de 4.526.475 ha (IBGE/SIDRA, 2011).

Em Minas Gerais, foco deste estudo, a expansão das lavouras de cana tem ocorrido sobre as regiões do Triângulo Mineiro, Noroeste e Centro-Oeste do Estado; de acordo com dados do IBGE/SIDRA, enquanto o crescimento médio da área plantada para o período de 2002 a 2010 foi de 168,56%, no Triângulo Mineiro esta expansão foi de 315,08%. Na

mesorregião Oeste de Minas, o aumento foi da ordem de 280,86%, e na mesorregião Noroeste do estado, o incremento na área plantada foi de 150,09% (tabela 3).

Tabela 3 - Evolução da área plantada de cana-de-açúcar nas 12 mesorregiões de Minas Gerais (em hectares).

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Estado de Minas Gerais (Total)	277.977	303.043	334.668	349.112	431.338	496.933	610.456	715.628	746.527
Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba	118.636	141.798	165.352	176.791	251.920	290.237	381.804	467.258	492.440
Oeste de Minas	5.643	5.743	5.530	5.293	5.990	14.321	20.652	26.681	21.492
Noroeste de Minas	9.830	9.880	8.770	10.865	12.305	18.315	19.010	22.500	24.584
Central Mineira	23.677	25.176	27.885	27.815	28.862	31.280	34.128	42.177	42.123
Vale do Mucuri	6.391	6.926	6.480	6.875	9.058	9.523	11.219	11.199	10.799
Sul/Sudoeste de Minas	32.969	32.184	37.019	39.219	40.304	42.241	49.446	50.939	61.129
Norte de Minas	23.914	25.225	25.888	25.086	24.356	30.738	30.451	31.075	31.283
Jequitinhonha	7.540	7.435	7.498	8.247	8.360	8.774	8.874	9.137	8.477
Campo das Vertentes	2.295	2.479	1.736	1.695	1.659	2.514	2.720	2.769	2.744
Vale do Rio Doce	10.462	10.385	11.755	10.890	11.074	10.870	11.648	11.727	11.734
Zona da Mata	25.590	26.098	26.900	26.759	27.328	27.399	29.551	28.388	28.107
Região Metropolitana - Belo Horizonte	11.030	9.714	9.855	9.577	10.122	10.721	10.953	11.778	11.615

Fonte: IBGE - Produção Agrícola Municipal. Disponível em www.sidra.ibge.gov.br - Acesso em 15/11/2011

As informações obtidas neste trabalho vão ao encontro das constatações de Mizziara (2006), ao desenvolver estudos sobre a expansão da fronteira agrícola no Cerrado, ressaltando os fatores determinantes na escolha de novas áreas para o cultivo da cana, condicionada pela fertilidade do solo, topografia e infraestrutura, especialmente a rodoviária.

Tais fatores são facilmente verificados no caso da mesorregião Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, a principal produtora de cana-de-açúcar no estado de Minas Gerais. Trata-se de uma região com solos com boa fertilidade, condições topográficas favoráveis, boa infraestrutura viária e proximidade com São Paulo (reduzindo os custos de escoamento da produção). Por sua vez, as regiões oeste e noroeste também apresentam malha viária satisfatória, topografia propícia e preços de terra mais acessíveis em relação ao Triângulo Mineiro e ao Estado de São Paulo. Estudo desenvolvido por Carrijo (2008) apontou na mesma direção, ao analisar a expansão do setor sucroalcooleiro no estado de Goiás, constatando que as empresas deste ramo consideram a existência de vantagens competitivas como, por exemplo, os preços das terras e dos arrendamentos no Centro-Oeste (mais baixos em relação às regiões Sul e Sudeste), uma topografia plana que facilita a mecanização do plantio e da

colheita, as condições favoráveis do solo e do clima, além da disponibilidade de recursos hídricos.

A tabela 4 apresenta os resultados deste estudo para a variação de uso e ocupação do solo nos municípios de Arcos, Bambuí, Iguatama, Japaraíba, Lagoa da Prata, Luz e Pompéu, no período de 1995 a 2010. As principais mudanças no uso do solo ocorreram em função da expansão em 130,46% da área plantada de cana-de-açúcar, 87,07% de reflorestamento e 31,55% de culturas agrícolas. As variações de perda ficaram por conta da redução em 19,6% das áreas remanescentes de Cerrado, além de 8,48% das pastagens cultivadas.

Tabela 4 - Conversão do uso e ocupação do solo nos municípios do Centro-Oeste de Minas Gerais, no período 1995-2010 (em hectares).

Municípios	Cana-de-açúcar	Agricultura	Pastagem Cultivada	Reflorestamento	Remanescente de Cerrado	Corpo hídrico	Área urbana
Arcos	1.695	1.191	-2.794	938	-2.433	-3	373
Bambuí	10.322	-211	-4.304	7.878	-13.943	39	245
Iguatama	3.210	4.584	-2.830	813	-5.884	37	65
Japaraíba	220	369	-71	151	-756	0	38
Lagoa da Prata	4.718	-522	-3.177	564	-1.754	-32	203
Luz	9.048	6.665	-11.570	1.068	-5.339	-1	132
Pompéu	12.439	1.627	-2.167	13.212	-30.676	924	307
Total	41.652	13.703	-22.580	24.623	-60.783	964	1.364

Fonte: Dados obtidos por imagens de satélite (Landsat 5-TM, resolução espacial de 30 metros).

Para atender a esta crescente demanda de álcool e açúcar, grandes investimentos estão sendo feitos no setor sucroalcooleiro, com a implantação de novas usinas e arrendamentos rurais. O vigor demonstrado pelo setor encontra espaço na medida em que existe grande quantidade de terras aptas ao cultivo da cana-de-açúcar. De acordo com o zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar, publicado por meio do Decreto nº 6.961 de 17 de setembro de 2009, o país possui cerca de 64,7 milhões de hectares que poderão ser cultivados com cana. As terras que estão sendo incorporadas à expansão do agronegócio canavieiro são aquelas dotadas de uma combinação convergente de vários fatores que potencializem a renda fundiária. Ou seja, a expansão tem se destinado para as áreas já inseridas na dinâmica econômica nacional, com 85% das lavouras de cana-de-açúcar concentradas na região Centro-Sul (SOUZA, 2008, p. 13).

Carrijo e Miziara (2009), durante estudo de caso realizado em Goiás, apontaram na mesma direção, ao verificar que o crescimento da produção da cana-de-açúcar está ocorrendo de forma diferente daquela divulgada para a sociedade (i.e. plantios em áreas de pastagens “degradadas” e áreas marginalizadas, como as semiáridas). Em pesquisas realizadas junto à Secretaria de Indústria e Comércio do Estado de Goiás (análise dos projetos aprovados pelo

PRODUZIR), assim como na pesquisa de campo realizada no município de Mineiros, verifica-se que a atividade canieira está procurando os melhores solos goianos, os quais, conseqüentemente, já possuem alguma atividade produtiva.

Nos municípios da região Centro-Oeste de Minas, destacados para este estudo, os dados indicam que a expansão da área plantada de cana-de-açúcar ocorreu predominantemente sobre as áreas de pastagens (48,75%), agricultura (33,84%) e remanescentes (14,18%) (Figura 3A). Ao analisar o aumento da área plantada em cada município, percebe-se que na maioria deles (cinco) o avanço foi sobre as pastagens; já em Bambuí e Iguatama o setor que mais cedeu espaço para as lavouras de cana foi o da cultura agrícola. Estes dados confirmam a hipótese inicial deste trabalho, de que a expansão da cana na região oeste de Minas vem ocorrendo sobre áreas de pastagens cultivadas e culturas agrícolas. Entre 1995 e 2010, no município de Pompéu, 5.732 ha de áreas remanescentes de Cerrado foram convertidos para lavouras de cana-de-açúcar (Figura 3B).

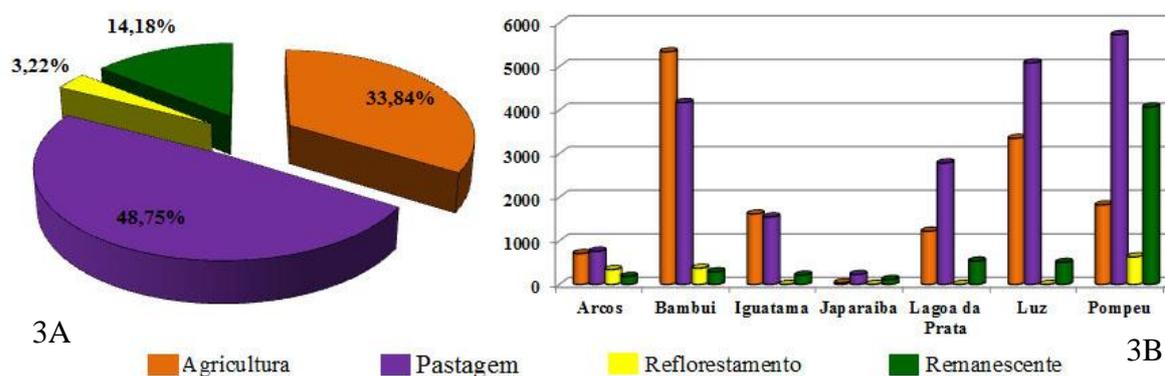


Figura 3 - Classes de uso da terra convertidas em cana-de-açúcar nos principais municípios produtores da região Centro-Oeste de Minas Gerais, no período de 1995 a 2010. Dados obtidos por imagens de satélite (Landsat 5-TM).

Os resultados deste estudo estão em concordância com a tese de que a cana-de-açúcar tende a ocupar os melhores solos em razão de possuir um maior nível de investimento (SOUZA, 2008; CARRIJO e MIZIARA 2009). Ao comparar, por exemplo, o nível de investimento da soja e da cana-de-açúcar, esta última apresenta uma aplicação de recursos 2,5 vezes maior em relação à primeira (MIZIARA, 2009). A mudança no padrão tecnológico também reflete diretamente no nível de investimentos, os quais resultam na transformação da base agrícola, com efeitos sobre uma nova etapa da expansão da fronteira agrícola, fato constatado em Goiás (MIZIARA, 2006; SILVA e MIZIARA, 2011).

No período analisado neste estudo (1995 - 2010), a cana-de-açúcar expandiu nos municípios pesquisados da região Centro-Oeste de Minas, em todos os recortes temporais.

Entretanto, o maior crescimento de área plantada ocorreu entre os anos de 2005 a 2010. Neste intervalo, o avanço das lavouras foi de 55,61%, frente aos 25,89% observados entre 1995 e 2000 e os 17,64% ocorridos entre os anos 2000 e 2005 (figura 4).

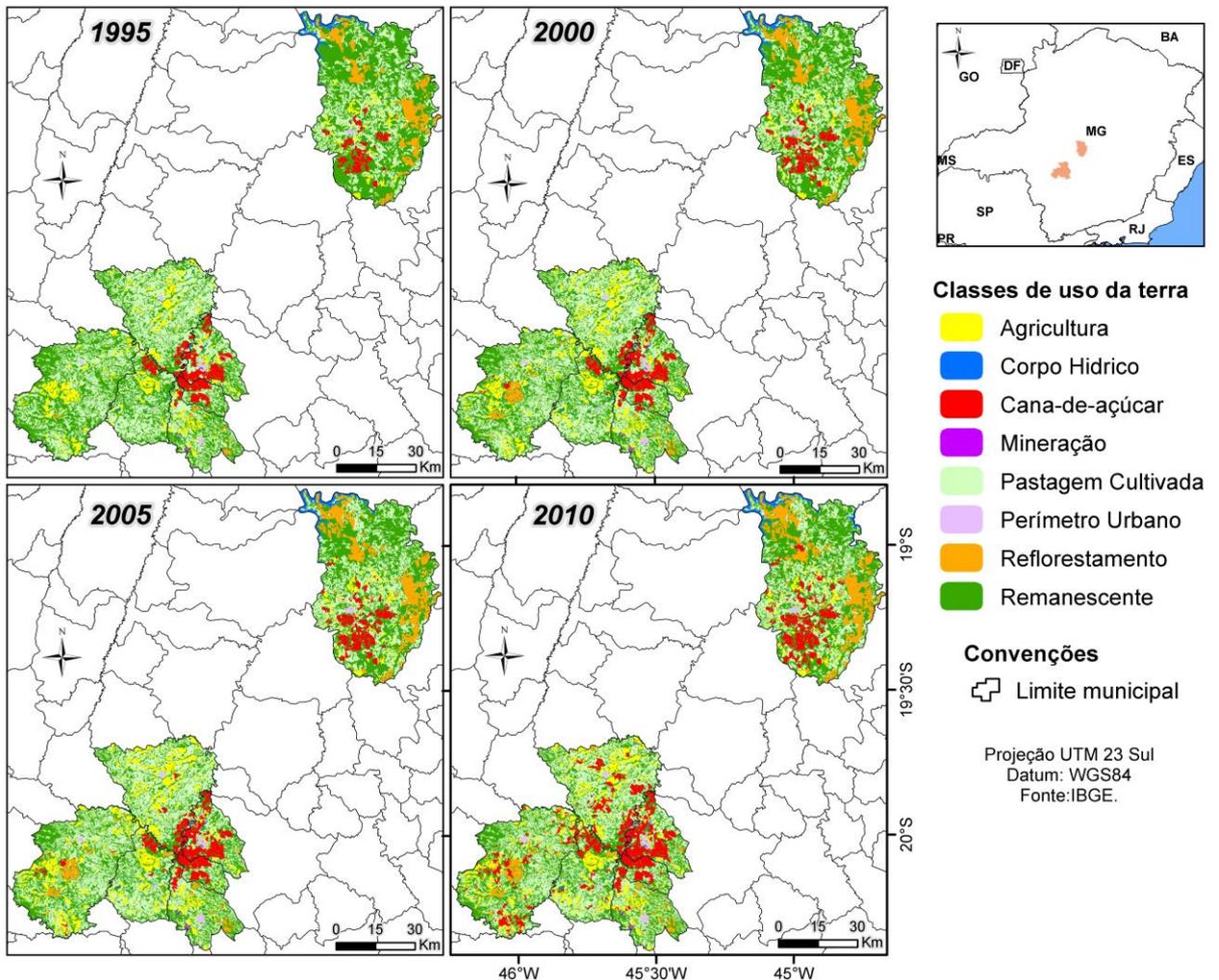


Figura 4 - Mapa de uso e ocupação do solo da região Centro-Oeste de Minas Gerais, para os anos de 1995, 2000, 2005 e 2010.

Entre os municípios estudados, a maior expansão da cana ocorreu em Bambuí; nas imagens de 1995, a área deste cultivo era praticamente desprezível naquele município (figura 4). O crescimento da área plantada entre o primeiro e o segundo intervalo foi ainda restrito (em 2005 a área cultivada era de 1.308 ha). Contudo, foi no período de 2005 a 2010 que se registrou uma expansão mais intensiva, ocasião em que a área plantada chegou a 10.322 ha; ou seja, um crescimento de quase sete vezes. Esta expressiva mudança coincidiu com a instalação no município de Bambuí de uma usina de grande porte para a produção de etanol.

Tais dados apresentados corroboram com a tese da transformação da dinâmica agrícola e apontam para uma competição entre a cana-de-açúcar e outras culturas com menor nível de investimento. Neste caso, a expansão da cana ocorreu majoritariamente sobre áreas de pastagens cultivadas e cultivos de grãos.

2.3.2. Impactos socioambientais

Sob o ponto de vista econômico, o setor sucroalcooleiro no Brasil tem grande importância, com reflexo no Produto Interno Bruto (PIB) setorial de US\$ 28 bilhões ou 1,5% do PIB nacional para 2008 (ROVERE *et al.*, 2009). Estudo sobre os efeitos sócio-econômicos da expansão da cana-de-açúcar no Vale do São Patrício - GO demonstram que o PIB *per capita* dos municípios com usina receberam, no período de 2001 a 2006, um aumento muito acima daqueles que não possuem usina (ÁVILA, 2009). Ao desenvolver o presente trabalho, buscou-se também fazer uma análise da relação entre a expansão canavieira e a variação do PIB *per capita*.

Os dados indicaram que a expansão da cana-de-açúcar no Centro-Oeste mineiro tem contribuído para o crescimento econômico dos municípios de Arcos, Bambuí, Iguatama, Lagoa da Prata, Luz, Japaraíba e Pompéu, o que se confirma pelo aumento do PIB *per capita* destas localidades, acima da média regional e estadual. Ressalva-se que, no período analisado, além do crescimento das lavouras de cana, constatou-se também o crescimento das áreas de agricultura e de reflorestamento, o que, entre outros fatores, pode ter contribuído para este fato. Os dados mencionados referem-se ao intervalo entre 1999 e 2008, de modo a permitir uma comparação dos efeitos da expansão da cana nestes municípios. Neste período, a média do PIB *per capita* dos municípios supracitados cresceu 224,69%, enquanto o crescimento do PIB da região Centro-Oeste de Minas Gerais foi de 179,2%, contra 182,06% no estado.

A expansão da cana nessa região (Centro-Oeste de Minas) intensificou-se a partir de 2006, fenômeno que contribuiu para um maior crescimento do PIB *per capita* dos municípios que integram este estudo. Entre 2006 e 2008, a média do crescimento do PIB nos municípios que compõem a área de estudo foi de 39,94%, enquanto que na região Centro-Oeste de Minas Gerais foi de 22,49%, contra 29,1% no estado. Esta curva de crescimento fez com que em 2008 o PIB *per capita* dos municípios que tiveram a expansão da cana-de-açúcar crescesse de forma mais contundente e alcançasse o PIB *per capita* do Estado (figura 5A). Entre 1999 e 2008, todos os municípios estudados apresentaram crescimento do PIB *per capita* acima de

150%, com destaque para o município de Iguatama, que teve uma variação positiva de 339% (figura 5B).

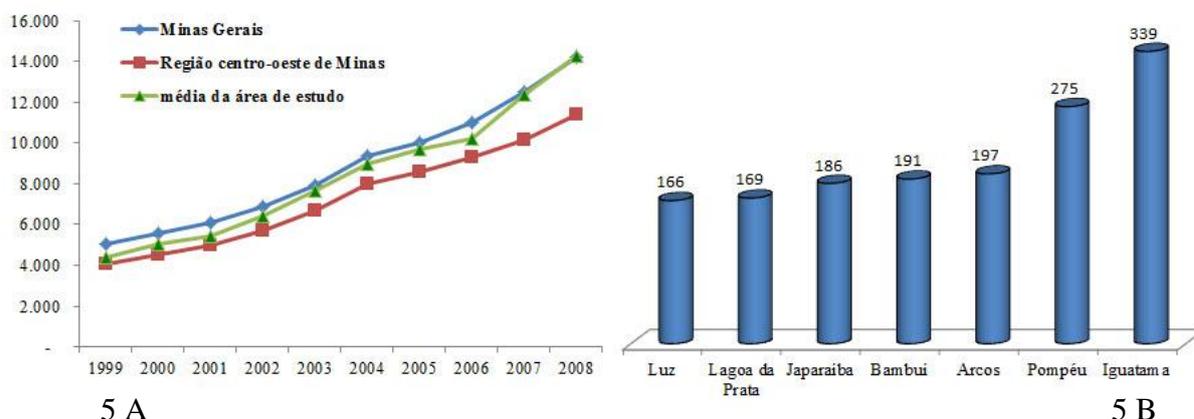


Figura 5 - Variação do PIB per capita nos municípios que compõem a área de estudo no período de 1999 a 2008.

Fonte: dados da Fundação João Pinheiro (FJP/MG).

Se por um lado a economia é estimulada pelo setor sucroalcooleiro, o aumento expressivo das áreas cultivadas com cana-de-açúcar no Cerrado tem despertado diversas preocupações em relação aos impactos ambientais. Há fortes evidências de que o avanço do setor sucroalcooleiro tem prejudicado a manutenção das áreas remanescentes de Cerrado, como observado na mesorregião Sul Goiana, com elevada fragmentação, sobretudo em áreas de reserva legal e de preservação permanente (matas ciliares) (FERREIRA *et al.*, 2009). Para Rovere *et al.* (2009), os pontos críticos do setor estão relacionados à alteração da biodiversidade, perda de solos, disponibilidade hídrica, qualidade do ar, clima global, segurança alimentar e condições de trabalho.

Os resultados do quarto relatório de avaliação das mudanças climáticas globais, divulgados em 2007 pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima (IPCC), alertaram para a possibilidade de aumento da temperatura global nas próximas décadas em até 5 °C, seguido pela alta possibilidade de redução ou variação no ciclo de chuvas, ambas as previsões aplicáveis ao bioma Cerrado e Amazônia. O relatório destacou ainda que a maior parte do acréscimo de temperatura observado nos últimos 50 anos foi provocada pelo aumento na emissão de gases do efeito estufa, provenientes de atividades humanas, especialmente devido à queima de combustível fóssil e mudanças no uso da terra.

De acordo com Gibbs *et al.* (2008), dentre os cultivares utilizados para a produção de etanol, a cana-de-açúcar é a que apresenta o melhor custo-benefício, tanto em termos de eficiência energética quanto na emissão de gases de efeito estufa (gerados durante o plantio,

ao substituir a cobertura vegetal nativa por uma cultura não-perene); ainda assim, este estudo aponta para o fato de que centenas de anos seriam necessários para que o uso dos biocombustíveis fossem compensatórios para o débito de carbono na atmosfera, uma vez que o desmatamento e as queimadas associados a estes plantios emitem uma grande quantidade de dióxido de carbono. Resultados semelhantes foram observados por Borges *et al.* (2011), contabilizando a emissão de CO₂ a partir das queimadas associadas a estes plantios em Goiás. Com relação à mudança de temperatura na área agrícola, SCOTT *et al.* (2011) apontaram uma pequena diminuição da temperatura no clima local em áreas cultivadas com cana-de-açúcar, quando comparadas com áreas de pastagens; neste estudo foram utilizadas informações do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e do Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG) da Universidade Federal de Goiás (UFG), para avaliar o impacto no clima local da expansão da cana-de-açúcar no Cerrado brasileiro. Os resultados indicam que a cana pode até ajudar a resfriar a região onde as lavouras se localizam, comparada a outras culturas, pois reflete mais a luz solar, com um índice maior de transpiração. Apesar de alguma compensação ambiental, Scott et al. (2011) ressaltam que a substituição da vegetação nativa pela plantação de cana provoca um aquecimento local.

Sobre as áreas de Cerrado desmatadas para incorporação do plantio de cana, entre os anos de 1995 e 2010, todos os municípios investigados apresentaram redução das áreas de remanescentes, na ordem de 19,6% ou 60.783 ha. Durante todo esse período, a maior redução de remanescentes ocorreu entre 2000 e 2005, com 9,74%. Já o intervalo de menor redução foi entre 2005 e 2010 (3,67%), período em que a expansão dos plantios se deu de forma menos intensa sobre áreas de Cerrado. Em termos percentuais, os municípios com maior redução das áreas de remanescentes foram Pompéu (23,11%), Iguatama (22,28%) e Bambuí (19,6%).

2.4. Considerações

Entre os anos de 1995 e 2010 ocorreram variações significativas no uso e ocupação do solo nos municípios localizados na região Centro-Oeste de Minas Gerais. Entre as principais mudanças, destaca-se um crescimento expressivo da área plantada de cana-de-açúcar, em especial nos municípios de Bambuí, Luz e Pompéu. As áreas de reflorestamento também tiveram uma expansão considerável, com destaque para Bambuí e Pompéu. Embora as lavouras de cana tenham ocupado, prioritariamente, áreas de pastagens e agricultura, no âmbito geral ocorreu um aumento da área agrícola nos municípios estudados. Por outro lado,

houve também uma redução das áreas de pastagem e de remanescentes de Cerrado, na ordem de 8% e 19%, respectivamente.

As hipóteses iniciais desta pesquisa foram confirmadas, ao constatar-se que as mudanças no uso e ocupação do solo nos municípios investigados propiciaram uma transformação da dinâmica agrícola. Tal fenômeno deve-se especialmente à expansão canavieira, que tende a ocupar os melhores solos em razão de um maior nível de investimento.

Os resultados deste estudo indicaram que o avanço do setor sucroalcooleiro contribuiu para um crescimento do PIB nos municípios produtores de cana-de-açúcar, em especial naqueles onde as usinas estão instaladas. Sob o ponto de vista socioambiental, a expansão das lavouras canavieiras tem despertado diversas preocupações em relação à alteração da biodiversidade, perda de solos, disponibilidade hídrica e, segurança alimentar. Os dados deste estudo, obtidos por meio de imagens de satélite, confirmaram a redução de 60.783 ha de áreas remanescentes de Cerrado na região Centro-Oeste de Minas Gerais, no período entre 1995 e 2010. Por fim, destaca-se a necessidade de outras investigações complementares, com foco nos aspectos socioambientais, que permitam avaliar melhor as consequências desta nova dinâmica agrícola na região analisada.

Agradecimentos

A CAPES pela bolsa de pesquisa concedida ao terceiro autor. Suporte financeiro para esta pesquisa também foi obtido junto ao *United States National Aeronautics and Space Administration* (NASA) - Land-Cover and Land-Use Change Program (LCLUC) (NNX11AE56G). Agradecemos também ao laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG), da UFG, pelo apoio técnico ao projeto, bem como ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG) pelo apoio logístico na realização do trabalho.

2.5. Referências bibliográficas

- ÁVILA, S. R. S. A. **Efeitos sócio econômicos da expansão da cana de açúcar no Vale do São Patrício**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Brasília, 119 p, 2009.
- BORGES, A.; FERREIRA, M. E.; PONTES, M. N.; MIZIARA, F.; RIBEIRO, F. L. **Quantification of greenhouse gases emission from sugarcane burnings: a study case in savanna areas of Brazil**. Revista Brasileira de Ciências Ambientais, v. 21, pp. 60-65, 2011.
- CARRIJO, E. L.; MIZIARA, F. **A Expansão do setor sucroalcooleiro como uma nova etapa da fronteira agrícola em Goiás: estudo de caso no município de Mineiros**. Revista de Economia da UEG, Anápolis (GO), Vol. 05, nº 02, jul-dez., 2009.
- CARRIJO, E. L. O. **A expansão da fronteira agrícola no Estado de Goiás – setor sucroalcooleiro**. UFG, Goiânia, GO. Dissertação de Mestrado, 2008.
- CASTRO, S. S.; ABDALA, K.; SILVA, A. A.; BORGES, V. M. S. **A expansão da cana-de-açúcar no Cerrado e no estado de Goiás: elementos para uma análise espacial do processo**. Boletim Goiano de Geografia, Goiânia, v. 30, n. 1, p. 171-191, jan./jun, 2010.
- CASTRO, S. S.; BORGES, R. O.; SILVA, R. A. A.; BARBALHO, M. G. S. **Estudo da expansão da cana-de-açúcar no Estado de Goiás: subsídios para uma avaliação do potencial de impactos ambientais**. II Fórum de C&T no Cerrado. Goiânia, GO, 2007.
- FERREIRA, L. G.; FERREIRA, M. E.; ROCHA, G. F.; NEMAYER, M.; FERREIRA, N. C. **Dinâmica agrícola e desmatamentos em áreas de Cerrado: uma análise a partir de dados censitários e imagens de resolução moderada**. Revista Brasileira de Cartografia, v. 61, n. 2, 2009.
- FERREIRA, M. E.; FERREIRA, L. G.; MIZIARA, F.; SOARES-FILHO, B. S. **Modeling landscape dynamics in the central Brazilian savanna biome: future scenarios and perspectives for conservation**. Journal of Land Use Science, v. 7, 2012.
- GIBBS, H. K.; JOHANSTON, M.; FOLEY, J. A.; ZAKS, D. **Carbon payback times for crop-based biofuel expansion in the tropics: the effects of changing yield and technology**. Environmental Research Letters, v. 3, 2008. DOI: 10.1088/1748-9326/3/3/034001.
- IBGE. 2004. **Mapa de Biomas do Brasil**. Escala 1:5.000.000. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/biomas2/viewer.htm>> acesso em: 20 de out., 2007.
- INPE-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Tutorial Spring: Spring básico**. São José dos Campos: INPE, 2009. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/manuais.html>.

MINAS GERAIS. Fundação João Pinheiro. **Informativo CEI - PIB Minas Gerais – municípios e regiões – 1999/2008.** Disponível em: <http://www.fjp.mg.gov.br/index.php/servicos/81-servicos-cei/58-produto-interno-bruto-de-minas-gerais>. Acesso em 02 nov., 2011.

MIZIARA, F. **Expansão da Lavoura de Cana em Goiás e Impactos Ambientais.** In: XIV Congresso Brasileiro de Sociologia, 2009, Rio de Janeiro. Anais do XIV Congresso Brasileiro de Sociologia, v. 1, 2009.

_____. **Expansão de Fronteiras e Ocupação do Espaço no Cerrado: o caso de Goiás.** In: Guimarães, Lorena D.; Silva, Maria Aparecida Daniel da; Anacleto, Teresa Cristina. (Org.). *Natureza Viva Cerrado*. 1ª ed. Goiânia: Editora da UCG, pp. 169-196, 2006.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação.** – 4. Ed. Atual. e ampl.- Viçosa- MG: Ed. UFV, 2011. 422 p.

PIRES, M. O. **Cerrado: Sociedade e biodiversidade.** In: IORIS, E (Org). *Plantas Medicinais do Cerrado: perspectivas comunitárias para a saúde, o meio ambiente e o desenvolvimento sustentável.* Mineiros/GO: Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior: Projeto Centro Comunitário de Plantas Medicinais, pp. 155-173,1999.

RIBEIRO, N. V.; FERREIRA, L. G.; FERREIRA, N. C. **Expansão da Cana-de-açúcar no Bioma Cerrado: Uma análise a partir da modelagem perceptiva de dados cartográficos e orbitais.** Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2009.

RUDORFF, B. F. T; SUGAWARA. L. M. **Mapeamento da cana-de-açúcar na região centro-sul via imagens de satélites.** Informe Agropecuário, Belo Horizonte, V. 28, n. 241, pp. 79-86, nov./dez., 2007.

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto.** 5ª ed., Uberlândia. Ed. Universidade Federal de Uberlândia, 2003.

ROVERE, E.L.L.; OBERLING, D.F.; OBERMAIER, M.; SOLARI, R.; WILLS, W. **Avaliação da Sustentabilidade da Expansão do Etanol da Cana-de-açúcar no Brasil.** Laboratório Interdisciplinar do Meio Ambiente (LIMA), Rio de Janeiro, 2009.

SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L. S.; FERREIRA, L. G. **Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 43, n. 1, pp. 153-156, jan., 2008.

SANT'ANNA A.; FERRAZ, J.V.; SILVA, M.L.M et al. (Coord.). **Agrianual 2009: Anuário da Agricultura Brasileira.** São Paulo: IFNP, pp. 256-257, 2009.

SCOTT, R. L.; DAVID B. L.; GREGORY, P. A.; QIAOZHEN Mu; CHRISTOPHER B. Field. **Direct impacts on local climate of sugar-cane expansion in Brazil**. Nature Climate Change, v. 1, 2011.

SILVA, A. A.; MIZIARA, F. 2010. **A expansão da fronteira agrícola e a localização das usinas de cana-de-açúcar**. Pesquisa Agropecuária Tropical, UFG, Goiânia, v. 41, n. 3, pp. 399-407, jul./set., 2011.

SILVEIRA, L. J.; CARVALHO, N. D. **Expansão do setor sucroalcooleiro no Brasil: algumas considerações**. Revista Triangulo: Ensino Pesquisa Extensão, Uberaba – MG, v.1. n.1, pp. 81-95, jul./dez., 2008

SOUZA, E. L. de; MACEDO, I. de C. **Etanol e bioeletricidade: a cana-de-açúcar no futuro da matriz energética**. São Paulo: UNICA, 2009.

SOUZA, M. A. **A dinâmica territorial da expansão do agronegócio sucroalcooleiro: contribuições teóricas para a atuação dos movimentos sociais**. AGRÁRIA, São Paulo, n. 9, pp. 3-24, 2008.

3. FATORES DETERMINANTES E CENÁRIOS FUTUROS SOBRE A EXPANSÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR NA REGIÃO DE CERRADO NO CENTRO-OESTE MINEIRO.

Edmar Geraldo Oliveira
Instituto Federal de Minas Gerais - IFMG
edmar@ifmg.edu.br

Fausto Miziara
Universidade Federal de Goiás - UFG
fausto@fchf.ufg.br

Manuel Eduardo Ferreira
Universidade Federal de Goiás - UFG
manuel@ufg.br

RESUMO

Entre os anos de 2005 e 2010, a área plantada de cana-de-açúcar no Centro-Oeste mineiro, uma região de Cerrado, passou por uma significativa expansão (75%). Tal fenômeno socioeconômico trouxe algumas perguntas e especulações sobre a expansão da cana nesta região, com riscos de transformação da paisagem como um todo. Neste caso, as plantações deste cultivar se concentraram nos municípios de Arcos, Bambuí, Iguatama, Japaraíba, Lagoa da Prata e Luz, correspondendo no acréscimo de 22.000 hectares. Neste estudo buscou-se identificar a influência das variáveis fisiográficas sobre a expansão canavieira, bem como a simulação de cenários futuros. Para a parametrização do modelo de expansão, utilizou-se dados do IBGE para os municípios referentes à área plantada com cana-de-açúcar, visando caracterizar dois contextos distintos no setor sucroalcooleiro, o primeiro no período de 1995 a 2000, e o segundo entre os anos de 2005 e 2010. Considerando-se as taxas oriundas destes dois momentos, foram simulados dois cenários futuros para a cobertura e uso da terra no ano de 2030. Para tanto, utilizou-se a plataforma livre DINAMICA EGO, por meio da qual se aplicou técnicas de análise multivariada e não-linear (baseado no conceito de autômatos celulares). Os resultados indicaram que, entre as variáveis analisadas, a localização das usinas, distâncias de áreas cultivadas, malha viária e a topografia exerceram influência favorável à expansão da cana, ao passo que o tipo de solo e a hidrografia não foram determinantes para o aumento da área plantada naquela região. Os mapas de cenários futuros apontam diferenças significativas entre os dois cenários simulados. No primeiro, a área de pastagem se manteria estável, a vegetação remanescente de Cerrado sofreria uma variação positiva de 5,3% (regeneração), a cana-de-açúcar sofreria uma redução de 24,7% em sua área cultivada, enquanto a agricultura em geral aumentaria sua abrangência em 40%. O segundo cenário é caracterizado por um expressivo aumento nas lavouras de cana-de-açúcar, aumentando a sua área em 127,3%. A conversão para a cana se daria especialmente sobre áreas com agricultura e pastagens, as quais sofreriam reduções de 35% e 27,1%, respectivamente. Apesar do cenário mais extremo, a vegetação remanescente ainda se manteria estável, com uma pequena oscilação positiva de 1,4%.

Palavras-chave: cana-de-açúcar, Cerrado, modelagem ambiental, DINAMICA, cenários futuros.

ABSTRACT

Between 2005 and 2010, the sugarcane planted area in the Midwest of Minas Gerais, a region of Cerrado, underwent a significant expansion (75 %). This socioeconomic phenomenon raised some questions and speculation about the expansion of sugarcane in this region, with the risk of transformation of the landscape as a whole. In this case, plantings of this cultivar were concentrated in the towns of Arcos, Bambuí, Iguatama, Japaraíba, Lagoa da Prata and Luz, corresponding to an increase of 22,000 hectares. This study aimed at identify the influence of physiographic variables on sugarcane expansion, as well as the simulation of future scenarios. To parameterize the expansion model, we used data from the IBGE for towns related to the sugarcane planted area, in order to characterize two distinct contexts in the biofuels industry, the first from 1995 to 2000, and the second between 2005 and 2010. Considering the rates from these two moments, two future scenarios were simulated to coverage and land use in the year 2030. For this, we used the free platform DINAMICA EGO, whereby we applied techniques of multivariate and nonlinear analysis (based on the concept of cellular automata). The results indicated that, among the analyzed variables, plants location, distances of cultivated areas, road network and topography exerted favorable influence to the expansion of sugar cane, while the soil type and hydrography were not decisive for the increase of the planted area in that region. Maps of future scenarios indicate significant differences between the two simulated scenarios. In the first, the pasture area would remain stable, the remaining vegetation of Cerrado would suffer an increase of 5.3% (regeneration), the cane sugar would drop by 24.7% in its cultivated area, while agriculture in general would increase its coverage by 40%. The second scenario is characterized by a significant increase in crops of sugar cane, increasing its area by 127.3%. The conversion to sugar cane would occur especially over areas with agriculture and pastures, which would suffer reductions of 35% and 27.1%, respectively. Despite the most extreme scenario, the remaining vegetation would keep itself stable, with a small positive bias of 1.4%.

Keywords: sugarcane, Cerrado, environmental modeling, DINAMICA, future scenarios.

3.1. Introdução

A atividade canavieira no Brasil está diretamente relacionada com a sua história socioeconômica. Desde que a cana-de-açúcar passou a ser cultivada no país, ciclos de ascensão são observados, como no período colonial, em que a produção de açúcar constituiu-se na principal atividade econômica, interrompido apenas com o surgimento de novos mercados e nações produtoras (BARBOSA, 2011). Após um longo período de declínio, que se estendeu de meados do século XVIII até a primeira metade do século XX, a cana-de-açúcar voltou a ocupar lugar de destaque no cenário econômico nacional, a partir da década de 1970.

A crise do petróleo em 1973 elevou de forma expressiva os preços deste recurso no mercado internacional, provocando desequilíbrio na balança comercial do Brasil (NATALE NETTO, 2007).

Diante disto, o governo brasileiro criou em 1975 o Programa Nacional do Álcool (Proálcool), com o objetivo de diminuir a dependência de importação de combustíveis derivados de petróleo. Tais medidas favoreceram e estimularam a produção canavieira, com um período de ascensão até o final da década de 1980. Em função da queda no preço do petróleo no mercado internacional, e com o fim do Instituto do Açúcar e do Álcool (IAA) em 1990, o setor sucroalcooleiro voltou a viver momentos de recessão.

Entretanto, já no início do século XXI, mediante uma maior preocupação com as mudanças climáticas globais, e suas possíveis consequências para o clima em escala regional e local, o etanol proveniente da cana-de-açúcar volta a ser uma alternativa para combustíveis de menor impacto ao meio ambiente (SARTORI, 2010; QUEIROZ, 2008). No Brasil, o aumento da demanda por etanol se deveu ao lançamento, ainda em 2003, dos chamados carros *flex fuel*, movidos tanto à álcool quanto à gasolina, com uma enorme aceitação por parte dos consumidores. Desde então, a venda destes veículos cresceu significativamente, alcançando em 2010 uma frota em circulação superior a 12 milhões de unidades, com participação estimada de 43% na frota total de veículos leves (MME, 2011).

De acordo com relatório da Renewable Fuels Association (RFA, 2005), as oscilações no preço do petróleo, a necessária redução na emissão de poluentes (ex. gases de efeito estufa) e a segurança energética são os principais fatores para incentivo na produção e consumo do etanol. Por outro lado, o preço do petróleo no mercado internacional é fortemente influenciado pelo aumento da demanda e pela localização das principais reservas em países politicamente instáveis, como é o caso dos países produtores no oriente médio (CAMPOS, 2005; LINS, 2011).

Ao longo do século XX, a produção de cana-de-açúcar migrou do nordeste brasileiro (historicamente, a principal região produtora no país), para as regiões Sudeste e Centro-Oeste, em especial no estado de São Paulo, atualmente o maior produtor nacional. Essa concentração espacial obedece a lógica de instalação das unidades próximas aos locais de produção e dos mercados consumidores, o que contribui para a redução de custos de produção e logística (SARTORI, 2010).

Visando um aumento na escala de produção, os plantios de cana-de-açúcar vêm se expandindo rumo ao centro do país, sobretudo nos estados de Goiás, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul. Tal tendência se deve, principalmente, às amplas faixas de terras, boa

infraestrutura viária e proximidade de mercados consumidores, propiciando uma nova dinâmica no uso e ocupação do solo no bioma Cerrado (MIZIARA, 2009; CASTRO *et al.*, 2010).

Neste contexto, o estado de Minas Gerais, que historicamente também foi um importante produtor, ampliou a área cultivada e a produção de cana-de-açúcar nos últimos anos, alcançando na safra 2009/2010 a condição de segundo maior produtor nacional, posição que passou a ser ocupada pelo estado de Goiás na safra 2012/2013 (CONAB, 2013).

Em Minas Gerais, a atividade sucroalcooleira esteve durante muitos anos concentrada nas regiões da Zona da Mata e Sul. A partir dos anos 1990, a região do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba passa a destacar-se em área plantada e produtividade de cana. O avanço da atividade naquela região deve-se aos fortes investimentos realizados por grupos empresariais nordestinos, atraídos pelas condições topográficas, climáticas e logísticas (proximidade com São Paulo e outros grandes centros). Desde então, esta região tornou-se o principal produtor de cana-de-açúcar neste estado. De acordo com dados do IBGE, em 2011 o Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba detinha 63% do total da área plantada, com 66,7% de toda a produção de cana no estado.

A partir de 2006, a área plantada e a produção canavieira expandiram-se de forma vigorosa para outras partes do estado de Minas Gerais, em especial para as regiões Centro-Oeste, Noroeste e Central Mineira. A Federação da Agricultura do Estado de Minas Gerais (FAEMG, 2008) relata que, entre os anos de 2006 e 2007, a área destinada ao plantio da cana-de-açúcar no Centro-Oeste mineiro passou de 22.842 hectares para 33.876 hectares. No mesmo período, a produção aumentou para 1,7 milhão de toneladas por ano, o equivalente a um crescimento de 51%.

Especificamente na região Centro-Oeste de Minas, o aumento da área plantada se concentrou nos municípios de Arcos, Bambuí, Iguatama, Japaraíba, Lagoa da Prata e Luz. Estudo desenvolvido por Oliveira *et al* (2012) demonstrou que nestes municípios o aumento da área cultivada com cana foi de 74% entre os anos de 2005 e 2010, correspondendo ao acréscimo de 22.009 hectares. Entre esses municípios, Lagoa da Prata possui a maior área plantada. Entretanto, a maior expansão ocorreu em Bambuí, cuja área plantada expandiu de 1.308, em 2005, para 10.322 hectares em 2010, ou seja, uma ocupação quase sete vezes maior do que em 2005.

A maior parte da produção canavieira da região Centro-Oeste de Minas Gerais é absorvida por duas grandes usinas instaladas nos municípios de Bambuí e Lagoa da Prata. A Bambuí Bioenergia, produtora de etanol e bioeletricidade, instalada em 2006 no município de

BambuÍ, foi responsável pelo expressivo aumento da área cultivada com cana naquele município e adjacências. Segundo Barbosa (2011), o investimento inicial previsto e anunciado pela empresa foi de cerca de R\$ 250 milhões.

Em 2001, a usina Luciânia, localizada em Lagoa da Prata, foi adquirida pelo grupo empresarial Louis Dreyfus Commodities e posteriormente passou a se chamar LDC Biosev. Em 2006, a empresa passou por um processo de expansão, aumentando sua capacidade de moagem para cerca 2,4 milhões de toneladas de cana-de-açúcar por safra.

É nesse contexto que se insere o presente estudo, com o objetivo de analisar a influência de aspectos fisiográficos para a expansão da cana-de-açúcar na região Centro-Oeste de Minas Gerais, além de simular os cenários futuros com horizonte temporal até 2030. Para tanto, utilizou-se técnicas de SIG e modelagem de sistemas ambientais, em especial a plataforma DINAMICA EGO.

Mais especificamente, as questões que se colocam nesta pesquisa são: 1) Quais foram os fatores espaciais determinantes para a formação das lavouras de cana-de-açúcar nesta região? 2) Em relação à cobertura e uso da terra, quais são as tendências para expansão das lavouras de cana até o ano de 2030?

As hipóteses levantadas são: 1) A combinação de fatores naturais, como a declividade, tipos de solos e rede de drenagem, aliados à infraestrutura (rede viária e localização), explicam a distribuição espacial das lavouras de cana-de-açúcar no Centro-Oeste mineiro; 2) É possível modelar a expansão da cana-de-açúcar na região a partir de fatores e cenários previamente observados.

3.2. Materiais e Métodos

3.2.1. Área de Estudo

A área de abrangência deste estudo engloba os municípios do Centro-Oeste mineiro, com área plantada e produção de cana-de-açúcar com relevância em escala industrial. Para tanto, foi feito um levantamento junto ao banco de dados agregados no site do IBGE/SIDRA (PAM - Produção Agrícola Municipal) e no CANASAT/INPE, com objetivo de analisar a variação da área plantada e produção no período de 2002 a 2010. Os dados obtidos indicaram que nesta região, os municípios com maior área plantada e produção são Lagoa da Prata, Bambuí, Iguatama, Japaraíba, Luz e Arcos os quais ocupam uma área de 4.376 km² (figura 6).

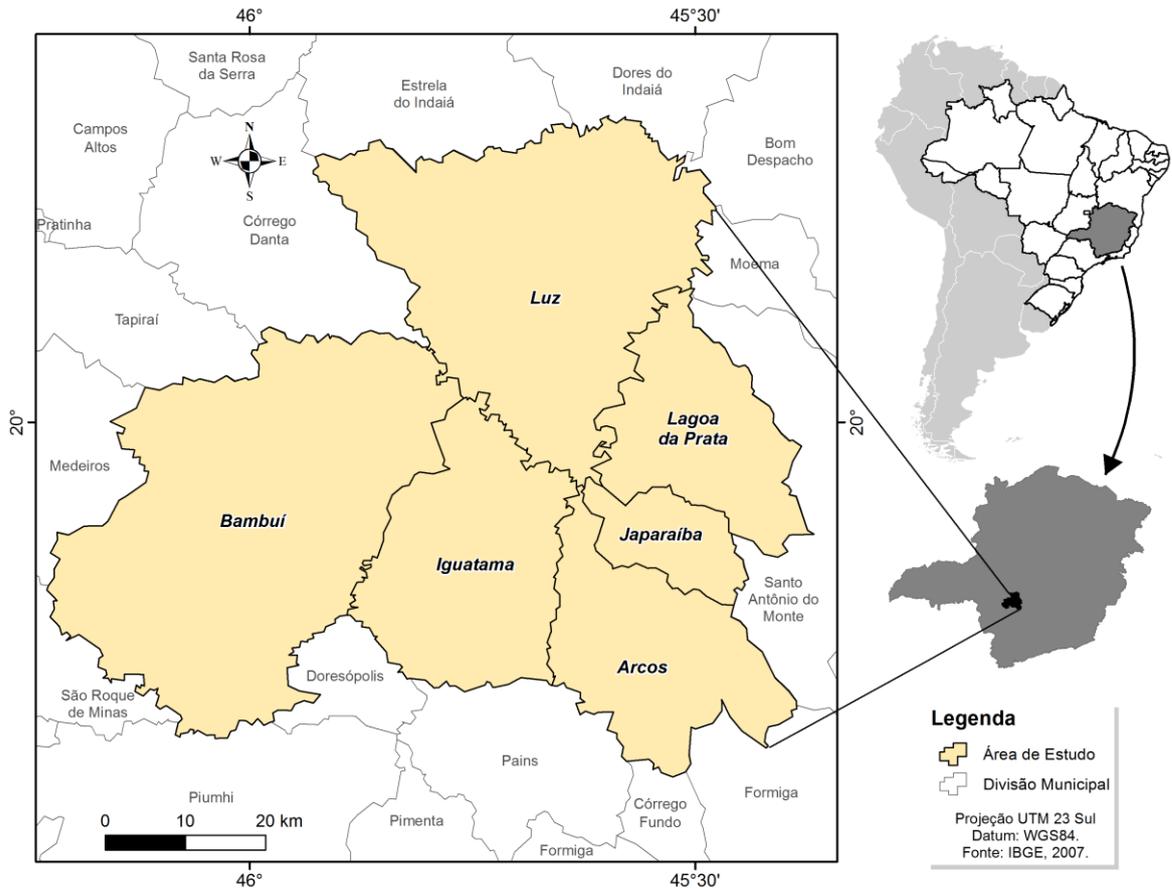


Figura 6 - Localização da área de estudo. Destaque para os municípios de Arcos, Bambuí, Iguatama, Japaraíba, Lagoa da Prata e Luz.

3.2.2. Plataforma de pesquisa DINAMICA EGO

O DINAMICA EGO, principal ambiente computacional utilizado nesta pesquisa, é um software livre desenvolvido e mantido pelo Centro de Sensoriamento Remoto (CSR) do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais. Trata-se de uma plataforma de modelagem desenvolvida para modelos espacialmente explícitos, também conhecidos como modelos de paisagem, modelos espaciais, ou modelos distribuídos (SOARES-FILHO *et al.*, 2002; RODRIGUES *et al.*, 2007).

A construção de modelos no DINAMICA se dá por meio de uma interface gráfica ou de sua linguagem de programação EGO (*Environment for Geoprocessing Objects*). Os modelos podem receber como entrada dados no formato de mapas, tabelas e matrizes. Os resultados gerados pelo modelo são disponibilizados na forma de *raster*, tabelas e valores. Nesta pesquisa, o método de pesos de evidência é utilizado para cálculo das probabilidades de

influência das variáveis fisiográficas (ex. relevo e solo) e de infraestrutura (ex. rodovias) sobre a expansão da cana-de-açúcar.

O método baseia-se no teorema da probabilidade bayesiana, fundamentada no Teorema de Bayes, que determina a possibilidade de ocorrer um evento, dada a ocorrência prévia de uma evidência. A probabilidade bayesiana está relacionada a dois conceitos: a probabilidade *a priori* $P(D)$ e probabilidade *a posteriori* $P(D/B)$ (BONHAM-CARTER, 1994; ALMEIDA, 2003; ALMEIDA et al., 2007; SILVA, 2003). Por meio da combinação das variáveis pelo somatório de seus pesos de evidência, podem-se obter mapas de probabilidade de mudança, os quais indicam as áreas mais favoráveis para determinada transição na paisagem.

Como o DINÂMICA EGO suporta dados espaciais apenas armazenados em estrutura matricial, todos os mapas de entradas necessitaram ser convertidos da estrutura vetorial para estrutura matricial (padrão GEOTIF). Este procedimento foi realizado com o uso do SIG ArcGis (ESRI, 2009), sendo que para cada mapa gerado foi definida a resolução espacial de 100 x 100 metros. Outra ação necessária foi a organização da base de dados, descrita na sequência, de modo a estruturar os mapas com as mesmas resoluções e dimensões em termos de linhas e colunas.

3.2.3. Base de dados

As bases de dados utilizadas neste estudo (figura 7) estão descritas abaixo, juntamente com os respectivos procedimentos de análise.

Mapa de uso da terra – Foram utilizados os mapa de cobertura e uso da terra produzidos pelo próprio autor, abrangendo os seis municípios da área de estudo. As imagens de satélite utilizadas para o mapeamento do uso da terra foram obtidas pelo sensor Landsat 5-TM, (órbita 219 / ponto 74), disponibilizadas no portal de dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE (www.inpe.br). Os mapas retratam quatro momentos, 1995, 2000, 2005 e 2010, na escala 1:1.000.000. As classes de uso da terra mapeadas foram agricultura em geral, cana-de-açúcar, mineração, pastagem cultivada, perímetro urbano, reflorestamento e vegetação remanescente (Cerrado); o algoritmo de classificação utilizado foi o MAXVER (Máxima Verossimilhança), supervisionado (amostras de pixels por classe temática obtidas nas próprias imagens), seguido por interpretação visual. Para uso no DINÂMICA, foram

consideradas apenas quatro classes de uso da terra: (1) agricultura, (2) cana-de-açúcar, (3) pastagem e (4) remanescentes de Cerrado.

Mapa de rodovias – O mapa de rede viária constitui o arranjo espacial das estradas pavimentadas e não pavimentadas, de gestão federal, estadual e municipal, compreendidas nos limites dos seis municípios que compõem a área de estudo. A existência da malha viária, com seus atributos qualitativos e quantitativos, é considerada relevante ao processo de dinâmica na paisagem. Optou-se pela utilização do mapa de rodovias do IBGE (2003), disponível em www.ibge.gov.br, na escala de 1:1.000.000 (série Brasil Geográfico).

Mapa de relevo (declividade) – Este mapa foi elaborado com base nos dados obtidos pelo *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM⁶), e representa os aspectos topográficos da área contemplada nesse estudo. Os produtos são disponibilizados na estrutura matricial (GeoTiff). O relevo foi classificado em cinco faixas de declividade, conforme parâmetros utilizados pela EMBRAPA (1999), a saber: 0 a 3% (plano), 3 a 8% (suave ondulado), 8 a 20% (ondulado), 20 a 45% (forte ondulado) e >45% (montanhoso).

Mapa de Drenagem – Decidiu-se pelo uso do mapa de drenagem da Agência Nacional de Águas (ANA, 2007), disponível no endereço eletrônico <http://www.ana.gov.br/bibliotecavirtual> à escala 1:1.000.000, recortado para o limite dos seis municípios abrangidos nesse estudo.

Mapa de solos – Utilizou-se o mapa de solos do estado de Minas Gerais, com sua respectiva legenda expandida, publicado em 2010 na escala 1:500.000 pela Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC), pela Universidade Federal de Lavras (UFLA), pela Universidade Federal de Viçosa (UFV) e pela Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM). A área de estudo contempla os seguintes tipos de solos: Cambissolo Háplico, Latossolo Amarelo, Latossolo Vermelho, Argissolo Vermelho-Amarelo, Neossolo Litólico e Neossolo Flúvico.

⁶ SRTM: Shuttle Radar Topography Mission. Dados de altimetria disponibilizados, gratuitamente, através do portal ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/srtm/version2/SRTM3/South_America/

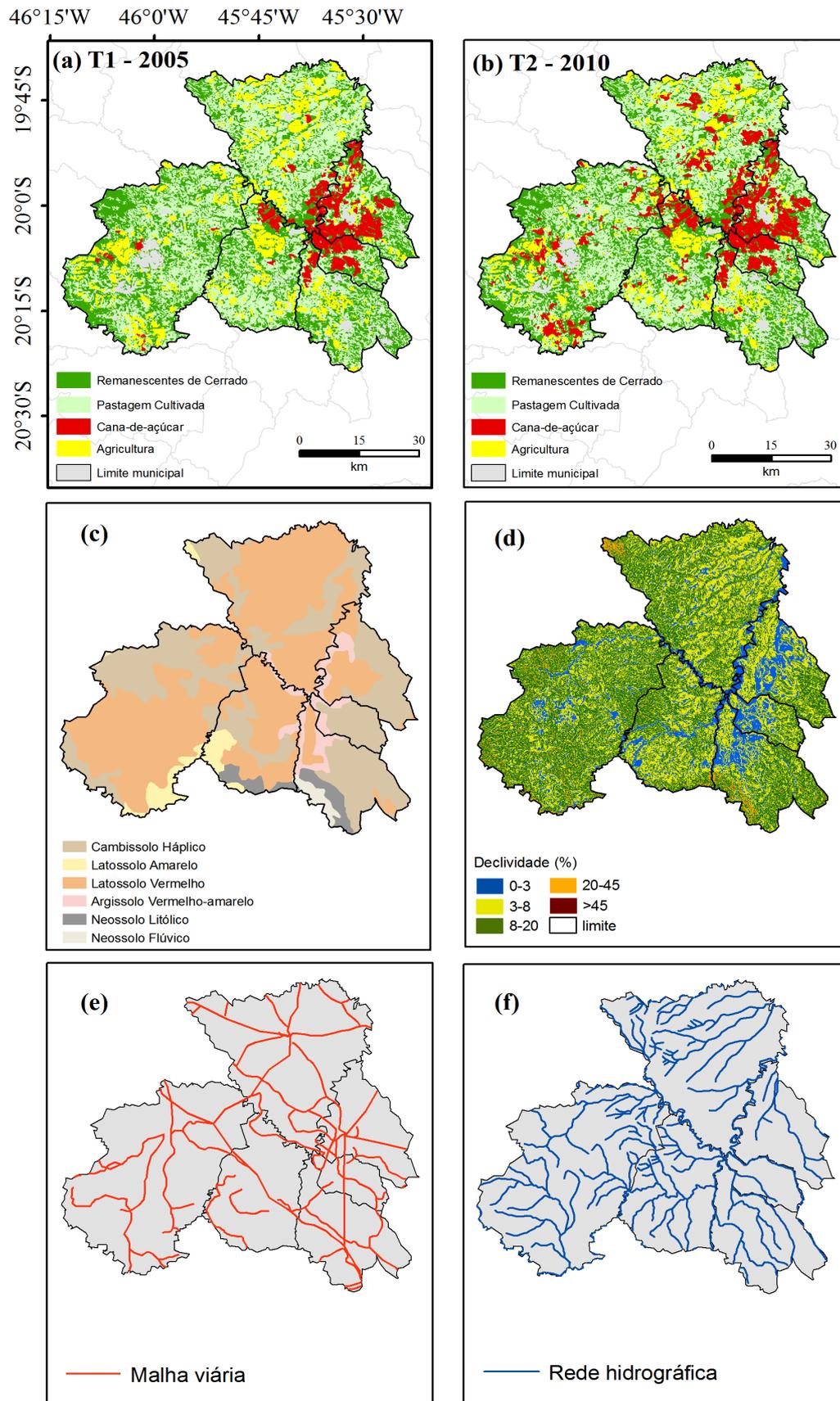


Figura 7 - Base de dados utilizada para modelagem ambiental no DINAMICA, constituída por variáveis dinâmicas e estáticas representadas nos mapas da área de estudo.

3.2.4. A modelagem de sistemas ambientais

Ao simular cenários futuros por meio da modelagem de sistemas ambientais, é importante considerar que os resultados estarão condicionados a uma combinação de fatores de ordem socioeconômica, política e ambiental, representados pelos dados de entrada. Sendo assim, utilizou-se neste estudo os mapas de cobertura e uso da terra que representam dois momentos distintos em relação ao setor sucroalcooleiro.

O primeiro representa o intervalo de tempo entre os anos de 1995 e 2000, ocasião em que as condições do mercado do etanol mostraram-se desfavoráveis em decorrência da crise de credibilidade ocasionada pelos problemas de abastecimento no final dos anos 1980. A década de 1990 foi marcada pela desregulamentação do setor sucroalcooleiro, queda abrupta na produção de veículos movidos à álcool e estabilidade dos preços do petróleo no mercado internacional. Naquele contexto, a produção de etanol concentrou-se basicamente na fabricação do álcool anidro para ser misturado à gasolina, como aditivo carburante, na proporção de 20 a 25% (MARCOCCIA, 2007). As variações da área plantada de cana-de-açúcar naquele período são apresentadas na tabela 1.

Entre os anos de 2005 e 2010, uma conjunção de fatores favoráveis, entre eles o aumento no consumo do etanol no mercado brasileiro (fruto do sucesso de vendas dos carros *flex*), a valorização do açúcar, os preços elevados do petróleo no mercado internacional e a busca por fontes de energia alternativas aos combustíveis fósseis fizeram com que este segundo momento fosse de expressivo crescimento para o setor sucroalcooleiro. O período ficou caracterizado pelos grandes investimentos em complexos agroindustriais para produção de etanol e a área plantada expandiu-se de forma significativa (tabela 5).

Tabela 5 - Aumento da área plantada de cana-de-açúcar (em %) para os períodos 1995-2000 e 2005-2010.

	1995-2000	2005-2010
Área de estudo	9,4	120,4
Estado de Minas Gerais	9,3	113,8
Brasil	5,2	57,6

Fonte: IBGE/SIDRA. Consulta realizada em 27/07/2013.

Portanto, a simulação foi elaborada para dois cenários, em passos anuais, sendo o primeiro por um intervalo de tempo de 35 anos, a partir de 1995, e o segundo com intervalo de 25 anos, a partir de 2005, ambos cenários com horizonte temporal até o ano de 2030. A opção por este horizonte temporal se justifica na busca por um alinhamento com o ciclo do Plano Nacional de Energia (PNE), elaborado pelo Governo Federal e publicado em 2007, com

abrangência até o ano de 2030. Para o Ministério das Minas e Energias (MME), o PNE 2030 é um instrumento fundamental para o planejamento de longo prazo, haja vista que poderá orientar tendências e balizar as alternativas de suprimento da demanda de energia nas próximas décadas, através da orientação estratégica da expansão.

Para obtenção dos cenários simulados, foram realizados os procedimentos em 6 passos: 1) cálculo do percentual das mudanças na paisagem entre t1 e t2, através de matrizes de transição; 2) cálculo das faixas de distâncias para as variáveis contínuas; 3) cálculo dos coeficientes de pesos de evidência; 4) análise de correlação entre os mapas de entrada para todas as transições; 5) ajustes e simulações; e 6) validação do modelo. Visando simplificar o processo, todas as etapas foram realizadas de forma independente (ainda que pudessem ser agrupadas).

A calibração do modelo envolveu, primeiramente, o cálculo das faixas de distâncias (intervalos de categorização), para posterior derivação dos pesos de evidências em relação ao objeto de referência, considerado nos mapas como variáveis estáticas e dinâmicas. Na plataforma do programa DINAMICA há duas funções que são responsáveis pelo processo de transição das células de um estado a outro. São as funções *expand* e *patch*. O primeiro é responsável pela expansão ou contração das manchas já existentes para cada uma das classes inseridas no modelo (agricultura, cana-de-açúcar, pastagem e vegetação remanescente) enquanto o segundo tem a função de criar novas manchas por meio de um mecanismo de sementeira.

Outra função importante é a *modulate change matrix*, voltado para a definição do percentual de células que irão sofrer mudança em cada um dos cenários gerados pelo *expand*, ficando o programa responsável por providenciar o restante das mudanças pela função *patch*. Neste trabalho, o percentual definido para o *expand* foi obtido por meio de sucessivos testes, até se atingir um resultado que evidenciou melhor o mapa simulado com o de referência. Os valores estabelecidos para a média, variância e isometria nas funções *expand* e *patch* também foram definidos por sucessivos testes.

Para a validação do modelo, utilizou-se a função de decaimento exponencial disponível no DINAMICA. Neste método aplicam-se as medidas de similaridade *fuzzy* em um contexto de vizinhança local, que permite a quantificação do grau de semelhança entre a paisagem inicial (t1) e final (t2), com o mapa final simulado. Portanto, a representação de uma célula é influenciada por ela mesma e, em menor magnitude, pelas células na sua vizinhança. Na validação dos dois cenários simulados, utilizou-se janelas de tamanhos 5x5, 7x7, 9x9 e 11x11 pixels.

3.3. Resultados e Discussões

3.3.1. A influência das variáveis fisiográficas e de infraestrutura viária sobre a expansão canavieira

Determinar a melhor localização de um investimento, tendo em vista o retorno econômico da atividade, nunca foi uma decisão simples. No agronegócio, em especial, é fundamental uma análise minuciosa sobre certos fatores, haja vista a influência destes sobre a produção, considerando também a dificuldade de conhecimento absoluto sobre outros, como, por exemplo, as condições climáticas e as políticas de governo para o setor.

Partindo deste pressuposto, e em consonância com Miziara (2006), de que o preço da terra reflete sua capacidade de gerar lucros, considera-se que o mesmo seja fortemente condicionado pelas seguintes variáveis: localização (que incorpora tanto a distância em relação aos mercados consumidores quanto a infraestrutura existente), fertilidade, topografia e recursos hídricos. Assim, esses fatores constituem referência fundamental aos agentes econômicos na escolha dos locais para realizarem seus investimentos. Os resultados obtidos nesse trabalho permitiram identificar a relevância de cada uma dessas variáveis e a influência destas sobre a expansão da cana-de-açúcar na região Centro-Oeste de Minas Gerais.

De acordo com Queiroz (2008), a localização de um determinado empreendimento é fator determinante, na maioria dos casos, do sucesso ou do fracasso do investimento. As empresas do setor sucroalcooleiro, ao tomarem a decisão sobre a expansão das lavouras, não consideram uma única variável e sim a conjunção de fatores que sejam favoráveis ao aumento da produtividade e diminuição dos custos de produção. Nesse sentido foram analisadas as seguintes variáveis: distâncias das usinas, distâncias de áreas cultivadas, rodovias, topografia, rede hidrográfica/drenagem e tipos de solos.

Na análise dos resultados obtidos por meio do método de pesos de evidências, os coeficientes positivos indicam associação favorável entre a variável estudada e a expansão canavieira. Em contrapartida, os valores negativos repelem a ocorrência da expansão, enquanto os resultados próximos a zero não exercem efeito sobre a ampliação das lavouras.

A distância entre as lavouras de cana-de-açúcar e a usina é um fator importante, uma vez que quanto menor o tempo entre a colheita e a moagem, menor será o efeito de atividades microbianas nos colmos, e melhor será a qualidade da matéria-prima entregue à indústria (VASCONCELOS, 2010). Considerando-se ainda que o corte da cana não deve ser realizado no período chuvoso, o que diminui o tempo da colheita (em média, para 7 meses), as curtas distâncias entre as áreas de lavouras e usinas agilizam o transporte da cana.

Os resultados obtidos mostram valores positivos para as faixas de distâncias de até 9 km das usinas (figura 8-A), favorecendo, portanto, o cultivo da cana nas terras próximas ao parque industrial. Tais resultados são coerentes com as observações constatadas durante o trabalho de campo realizado na área de estudo, onde existem enormes áreas cultivadas no entorno das usinas. É importante também destacar que, nestes casos, os custos com o transporte da cana até a usina são reduzidos, uma vez que as distâncias a serem percorridas são menores.

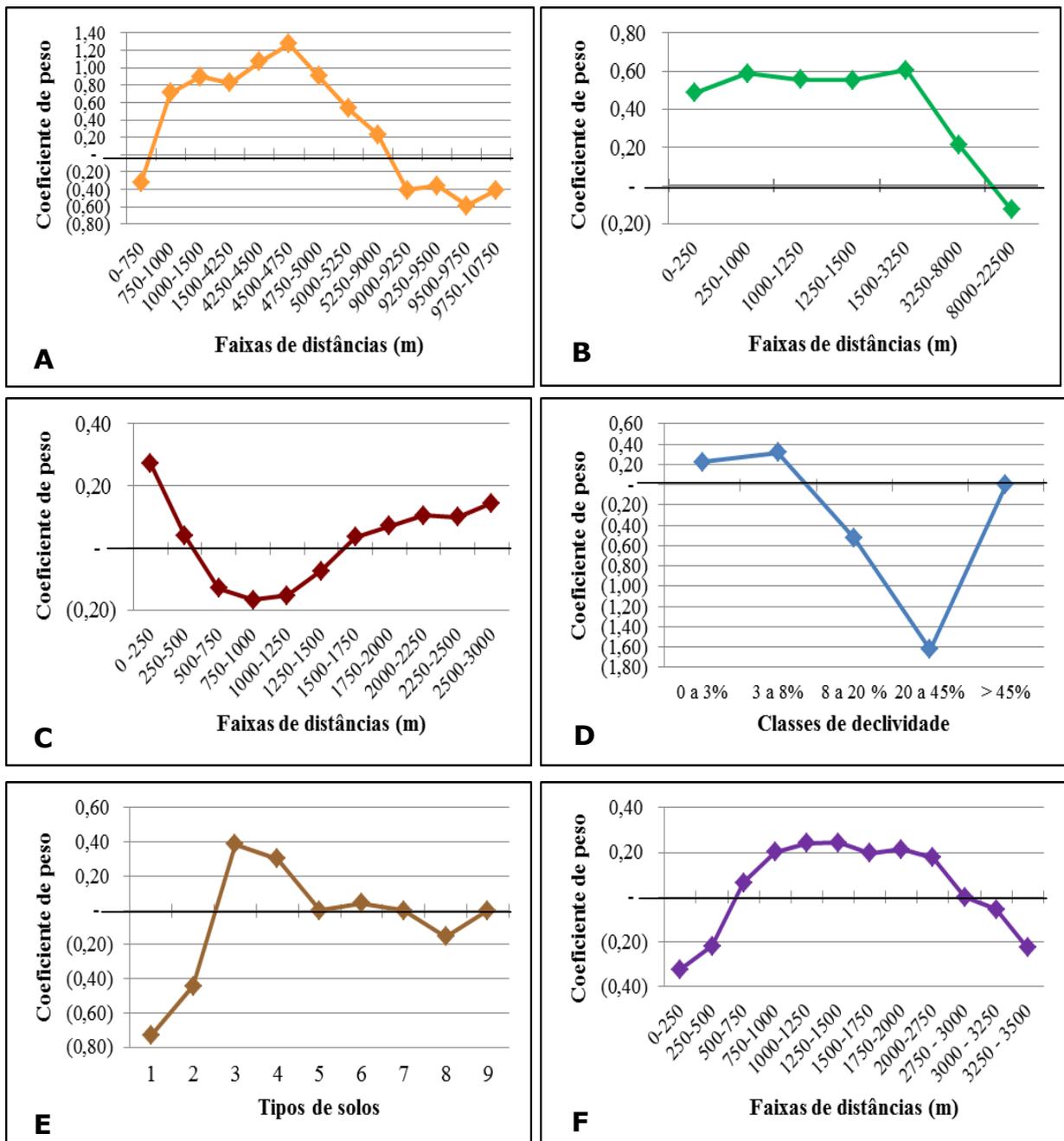


Figura 8 - Coeficientes de pesos de evidência para expansão da cana-de-açúcar nos municípios de Arcos, Bambuí, Iguatama, Japaraíba, Lagoa da Prata e Luz, no período de 2005 a 2010. (A) Distância das usinas; (B) Distâncias de áreas cultivadas; (C) Rodovias; (D) Declividade; (E) Tipos de solos; e (F) Rede de drenagem.

Os dados apresentados na figura 8-B indicam que a expansão das lavouras de cana tende a ocorrer em áreas próximas aos canaviais já existentes, uma vez que os valores são positivos para as seis primeiras faixas que correspondem às distâncias de até 8 km. Ao utilizar áreas próximas às lavouras para ampliar o cultivo, aproveita-se a infraestrutura disponível, haja vista que a proximidade das lavouras favorece o escoamento da produção, além de reduzir o custo do transporte (RIBEIRO, 2010; GRANJA JÚNIOR, 2010; QUEIROZ, 2008).

Considerando que na região centro sul os tratores e caminhões são os veículos mais utilizados para o transporte da cana até as usinas (MARQUES, *et al*, 2006), esperava-se que os coeficientes para a variável rodovias fossem positivos para todas as faixas de distâncias entre áreas cultivadas e estradas. Não foi exatamente o que aconteceu. Os resultados obtidos mostram valores positivos para as duas primeiras faixas de distâncias, que correspondem até 500 metros, e na sequência indicam valores negativos para os quatro intervalos seguintes (distâncias entre 500 e 1500 metros), voltando a apresentar coeficientes positivos nos cinco intervalos seguintes (figura 8-C).

Uma possível explicação para este comportamento irregular observado nos resultados dessa variável deve-se ao fato de que o mapa de entrada (utilizado durante o cálculo dos pesos de evidência) não contemplou as estradas vicinais. Em muitas localidades, estas estradas servem de corredores entre as lavouras e as rodovias principais. Neste caso, o ideal seria utilizar um mapa de rodovias da área de estudo com maior detalhamento e que, portanto, pudesse representar melhor a realidade da região, o que não foi possível fazer neste estudo, dada a indisponibilidade de mapa regional de estradas com tal nível de detalhamento/escala.

Em relação à topografia, a literatura indica que as áreas planas ou levemente acidentadas, com declividade em torno de 12%, são as mais adequadas para o cultivo da cana-de-açúcar, por permitirem a mecanização e, de certa forma, reduzirem os custos de produção. Acima desse limite há restrições às práticas mecânicas. Ressalta-se, ainda, que para culturas mecanizadas, com adoção de colheitadeiras automotrizes, o limite máximo de declividade cai para 10% (SILVA; GARCIA, 2009).

Além disto, a exigência legal quanto à mecanização da colheita (ao invés de queimadas antes da colheita manual) e a escassez e/ou elevação dos custos da mão-de-obra em algumas regiões produtoras, estão contribuindo para que as usinas priorizem o cultivo em terras planas ou levemente onduladas. É exatamente esta a tendência retratada pelos resultados obtidos neste estudo pelo método de pesos de evidência, expressos na figura 8-D. Os valores positivos para os dois primeiros intervalos, que compreendem uma declividade de até 8%, favorecem a transição nestas áreas e ratifica a relevância desta variável na expansão

canavieira no Centro-Oeste mineiro. Cabe ressaltar que, para os outros intervalos, a relação foi negativa, refletindo uma rejeição por áreas declivosas para o cultivo de cana-de-açúcar.

Ao analisar o mapa de uso e ocupação da terra do ano de 2010, e quantificar em ambiente SIG a área plantada de cana-de-açúcar, observou-se que a tendência apontada pelo método de pesos de evidência (figura 8-D) se confirmou na prática. De um total de 51.050 hectares cultivados com cana nos seis municípios abrangidos neste estudo, 41.612 (81,5%) estão em terrenos com declividade de até 8%, conforme pode ser observado nos dados transcritos na tabela 6.

Tabela 6 - Área cultivada com cana-de-açúcar em 2010, de acordo com declividade do terreno, por município (em hectares).

Municípios	Classes de declividade (EMBRAPA, 2009)					Área total
	0 a 3%	3 a 8%	8 a 20%	20 a 45%	>45%	
Arcos	657,29	1.551,68	284,19	0	0	2.493,16
BambuÍ	2.356,00	4.925,45	2.983,62	117,71	0	10.382,77
Iguatama	1.099,14	3.083,42	1.305,17	13,47	0	5.501,19
JaparaÍba	3.132,07	2.778,12	93,68	0	0	6.203,87
Lagoa da Prata	4.792,40	8.042,67	2.001,11	3,90	0	14.840,08
Luz	2.737,35	6.754,36	2.418,63	15,69	0	11.926,04
	14.774,25	27.135,69	9.286,40	150,76	0	51.347,10

Fonte: mapa de uso e ocupação da terra em 2010, produzido por esta pesquisa.

Em relação à fertilidade dos solos, os resultados indicam que a mesma não exerce influência significativa sobre a expansão da cana no Centro-Oeste mineiro. Os valores que permitem fazer esta afirmação estão descritos na figura 8-E, onde os coeficientes são negativos e/ou nulos (igual à zero) para sete dos nove tipos de solos identificados.

As exceções são para os Latossolos amarelo e vermelho (intervalos 3 e 4), cujos coeficientes foram positivos. Se considerarmos que tais tipos de solos apresentam baixa fertilidade, tendo como características elevado intemperismo, profundidade, acidez, com baixa saturação por bases, distróficos ou alumínicos (SANTOS, 2013), é possível então ratificar que a fertilidade do solo não exerceu influência determinante na expansão das lavouras de cana na área deste estudo.

No entanto, tais classes de solos estão associadas a terrenos mais planos; daí a preferência pelos mesmos. Outra possível explicação para tal escolha pode ser creditada à utilização de modernas técnicas agrícolas, que permitem a correção dos solos, o que fez do Cerrado (normalmente com terras pouco férteis) um dos principais propulsores do agronegócio brasileiro (FERREIRA, 2009). Com isso, é possível constatar que a ideia da “construção do solo” (REZENDE 2002) mostra como a tecnologia, associada aos elevados

investimentos, tornam a fertilidade “natural” do solo um fator com menor influência no processo de tomada de decisão dos agentes econômicos.

No que diz respeito à rede de drenagem, os resultados obtidos (figura 8-F) mostram coeficientes negativos para os dois primeiros intervalos, os quais correspondem a distâncias de até 500 metros. Considerando que a legislação ambiental determina faixas que variam de 20 a 500 metros em torno dos rios, lagos e nascentes como áreas de preservação permanente (APPs), é possível (e indicado) que a cana não seja cultivada nestes espaços. Para as distâncias que variam de 500 a 2750 metros, os resultados dos pesos de evidência mostraram associação positiva entre a expansão das lavouras de cana e a rede de drenagem, já que se tratam de áreas favoráveis para o plantio irrigado.

3.3.2. Cenários futuros para a região Centro-Oeste de Minas Gerais

Neste estudo foram simulados dois cenários sobre a cobertura e uso da terra na região Centro-Oeste de Minas Gerais, tendo como horizonte temporal o ano de 2030. As simulações foram realizadas a partir de mapas representativos de dois momentos para o setor sucroalcooleiro, sendo um com taxas de baixo crescimento e outro de expansão vigorosa. Os resultados indicam as possíveis modificações na paisagem, com ênfase para a cultura da cana-de-açúcar, tema principal desta pesquisa.

No primeiro cenário (tabela 7), gerado a partir de taxas de transição oriundas do intervalo de tempo entre os anos de 1995 a 2000, a classe temática que sofreria maior variação positiva seria a agricultura. Se comparado com os dados de 2010, a agricultura neste cenário aumentaria sua área de abrangência em 40% nos seis municípios que compõem este estudo. Este expressivo crescimento da agricultura se daria, sobretudo sobre áreas hoje ocupadas com cana-de-açúcar, uma vez que, os resultados indicam que esta cultura sofreria uma redução da área plantada em 24,7%, o que equivale a 12.626 hectares. Já as áreas de pastagens se manteriam praticamente estáveis com uma variação negativa de 1%, ao passo que as áreas remanescentes de Cerrado teriam um acréscimo de 5,3%, decorrente de regeneração.

Tabela 7 - Processo de conversão entre as classes de uso da terra nos municípios de Arcos, Bambuí, Iguatama, Japaraíba, Lagoa da Prata e Luz no período de 2010 a 2030 - Cenário 1.

De/Para	Agricultura	Cana-de-açúcar	Pastagem	Remanescente	Total
Agricultura		4.213	15.206	14.642	34.061 (a)
Cana-de-açúcar	8.221		10.438	16.295	34.953 (c)
Pastagem	28.097	7.901		56.689	92.687 (e)
Remanescente	16.038	9.292	59.368		84.698 (g)
Total	52.355 (b)	21.407 (d)	85.012 (f)	87.626 (h)	

As análises das matrizes de transição, expostas na tabela 7, para o intervalo de tempo entre 2010 e 2030 permitem verificar a ocorrência de processos de conversão (expansão ou redução) entre todas as classes estudadas no período. Os resultados evidenciam uma expansão da agricultura, com saldo positivo em todas as transições, cedendo 34.061 hectares para outros usos e ocupando 52.355 hectares das demais classes (b-a). Por outro lado, a transição da cana-de-açúcar seria negativa, pois cederia mais espaço em relação a outras classes de uso (d-c). A pastagem também apresenta, em menor proporção, uma variação negativa na transição com as demais classes (f-e), enquanto a vegetação remanescente é aquela que apresenta maior estabilidade na transição com as demais classes de uso.

Este cenário representaria profundas mudanças em relação ao quadro atual destas duas classes (cana-de-açúcar e agricultura) no uso da terra na área deste estudo. Sua efetivação se daria em caso de forte crise no setor sucroalcooleiro, fazendo com que as usinas diminuíssem radicalmente seus investimentos nas lavouras de cana. As terras, que em sua maioria são arrendadas, não teriam seus contratos renovados e, quando devolvidas aos seus donos, seriam utilizadas prioritariamente para a agricultura. Aquelas terras que não fossem utilizadas para a agricultura tenderiam a uma renovação gradual da vegetação nativa, haja vista, que os remanescentes de Cerrado aumentariam sua área em 7.872 hectares ao longo de 20 anos (entre 2010 e 2030), conforme pode ser observado na figura 9.

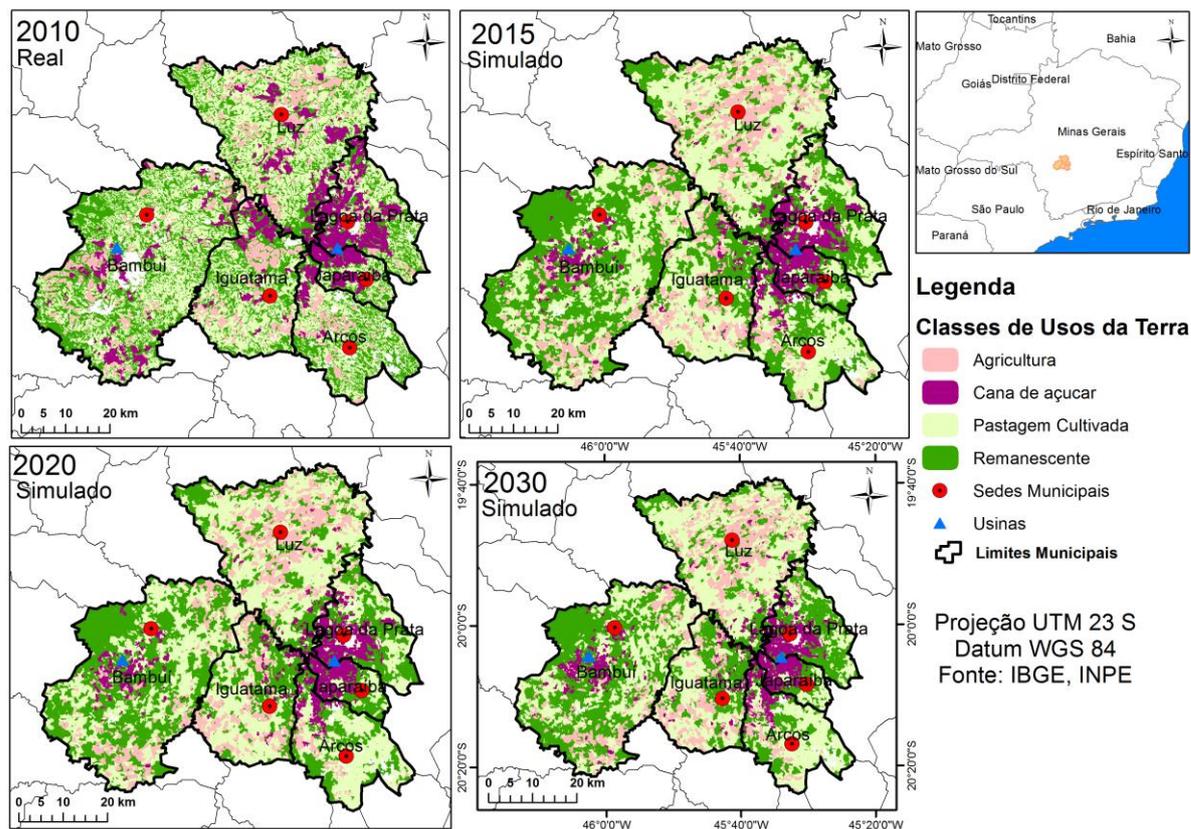


Figura 9 - Resultados do Cenário 1, comparando o mapa de cobertura e uso da terra em 2010 (real), gerado a partir de imagens Landsat para este ano, com os mapas simulados para os anos de 2015, 2020 e 2030.

O segundo cenário (tabela 8), produzido a partir de mapas temáticos que representam as transições ocorridas entre os anos de 2005 a 2010, é caracterizado por um expressivo aumento nas lavouras de cana-de-açúcar, em 127,3%. A expansão das lavouras de cana se daria especialmente sobre áreas com agricultura e pastagens, as quais sofreriam reduções de 35% e 27,1%, respectivamente. Neste cenário, a vegetação remanescente ainda se manteria estável, com uma pequena oscilação positiva de 1,4%.

Tabela 8 - Processo de conversão entre as classes de uso da terra nos municípios de Arcos, Bambuí, Iguatama, Japarabá, Lagoa da Prata e Luz no período de 2010 a 2030 – Cenário 2.

De/Para	Agricultura	Cana-de-açúcar	Pastagem	Remanescente	Total
Agricultura		23.346	4.346	4.686	32.378 (i)
Cana-de-açúcar	1.954		4.747	670	7.371(l)
Pastagem	10.733	45.487		13.444	69.664(n)
Remanescente	2.476	3.576	14.166		20.219(p)
Total	15.163 (j)	72.409(m)	23.259(o)	18.801(q)	

Os resultados produzidos pela matriz de transição para o intervalo entre 2010 e 2030 ratificam a tendência de expansão da cana sobre áreas de agricultura e pastagem, uma vez que estas classes seriam as que mais cederiam espaço para a cana, com 23.346 e 45.487 hectares, respectivamente (tabela 8). Novamente, é possível ver neste cenário o expressivo crescimento das lavouras de cana, pois, enquanto a mesma cederia 7.371 hectares para outras classes, outros 72.409 seriam convertidos das demais classes (m-l). Em relação à vegetação remanescente de Cerrado, a mesma apresenta comportamento que pode considerado estável, haja vista, que a variação negativa seria de 1.418 hectares para um período de 20 anos (q-p).

Este cenário pode ser considerado otimista do ponto de vista do setor sucroalcooleiro, pois representa a tendência de expansão ocorrida na segunda metade da década passada. Naquele período, as taxas de crescimento na área deste estudo foram superiores às registradas em âmbito estadual e nacional. Ou seja, apesar de algumas dificuldades vivenciadas pelo setor, a perspectiva para a região é de expansão das lavouras de cana.

A usina Bambuí Bioenergia, instalada no município de Bambuí em 2006, possui atualmente 17.000 hectares de área plantada com cana-de-açúcar; segundo a gerência agrícola da empresa⁷, para atender a capacidade de processamento da usina são necessários 30.000 hectares de cana, ou seja, um aumento de 56,7% em quatro anos. Esta é a meta que a empresa estabeleceu para se alcançada em 2017 (figura 10).

⁷ Informações obtidas, por meio de entrevista, junto a gerência agrícola da Bambuí Bioenergia em 15/07/2013.

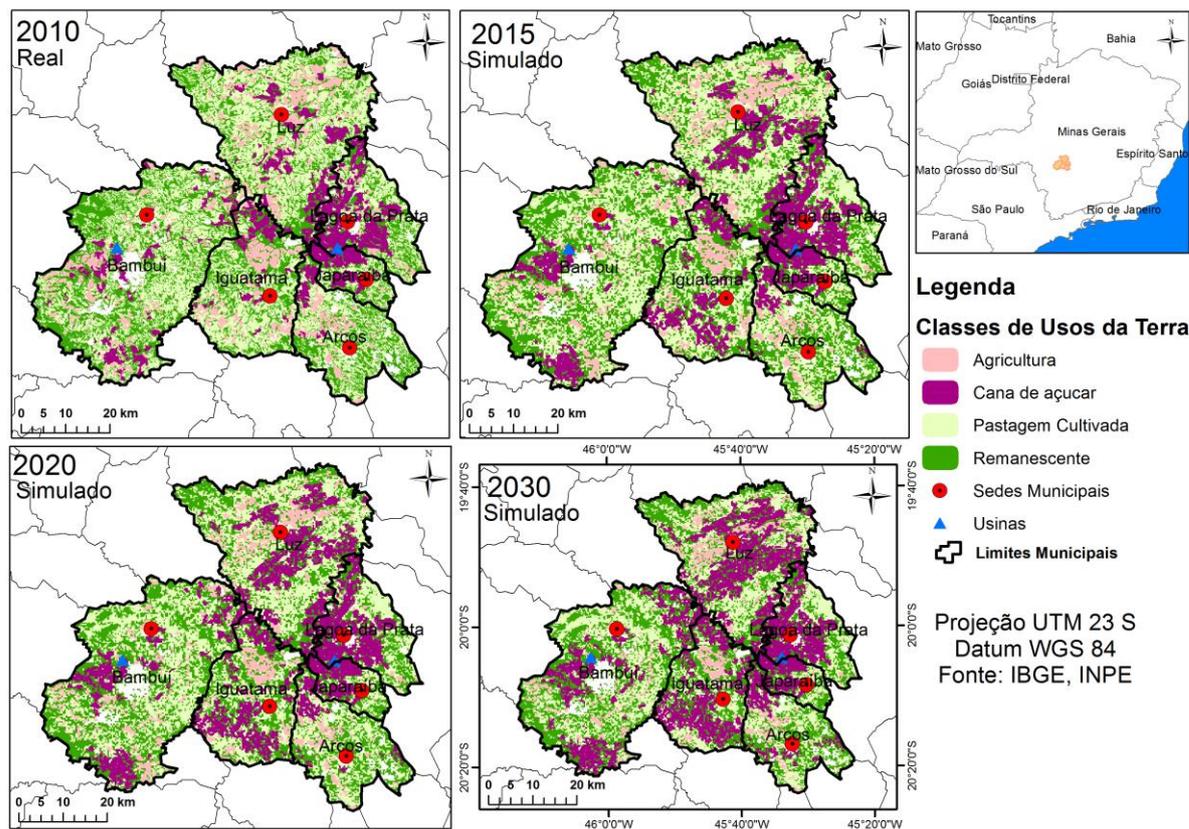


Figura 10 - Resultados do Cenário 2, comparando o mapa de cobertura e uso da terra em 2010 (real), gerado a partir de imagens Landsat para este ano, com os mapas simulados para os anos de 2015, 2020 e 2030.

É importante destacar que os cenários gerados neste estudo retratam tendências observadas em dois períodos distintos em termos econômicos e que, portanto, podem sofrer alterações por eventos diversos que venham a ocorrer no futuro, como por exemplo, incentivos ofertados por meio políticas públicas, fortes oscilações na econômica, mudanças na legislação ambiental, maior gestão territorial, entre outros. Porém, segundo Gricio (2008), uma das características de sistemas de modelagem de paisagem é a capacidade de receber novas informações e incorporá-las, retratando novos cenários a partir da atualização do banco de dados ou inclusão de novas variáveis, o que seria possível nesta pesquisa.

3.4. Considerações

Estudos sobre modelagem dinâmica com vistas à simulação de cenários futuros podem ser úteis, na medida em que requerem a investigação de processos históricos ocorridos e principalmente pela identificação de tendências de ocupação. Nos últimos anos, as pesquisas

desenvolvidas nesta área do conhecimento estão se expandindo, especialmente aquelas com foco no desmatamento, seja na Amazônia (SOARES-FILHO *et al.*, 2006; XIMENES *et al.*, 2008), no Cerrado (FERREIRA *et al.*, 2012) ou no sul do país (BENEDETTI, 2010).

No que diz respeito ao uso da modelagem de sistemas ambientais para a investigação da dinâmica de lavouras (não apenas para a cana-de-açúcar), ainda são poucas as produções científicas neste sentido. Considerando as possíveis consequências de ordem socioeconômica e ambiental, advindas dos fenômenos de expansão e/ou retração, e, ainda, às múltiplas possibilidades resultantes de estudos com a modelagem, fica caracterizada a relevância desta pesquisa, sob o ponto de vista acadêmico e social.

Os resultados obtidos neste estudo confirmaram a hipótese de que entre as variáveis analisadas, a topografia, malha viária e localização (distâncias das usinas e das plantações existentes) exerceram influência positiva na expansão das lavouras de cana-de-açúcar na região Centro-Oeste de Minas Gerais. Esta constatação vai ao encontro do modelo teórico proposto por Miziara (2006), de que as culturas com maior nível de investimento tendem a ocupar as melhores terras, promovendo um reordenamento na dinâmica agrícola, o que pode ser considerado como uma nova etapa da expansão da fronteira agrícola na região.

No que diz respeito à simulação da cobertura e uso da terra para o ano de 2030, foram observadas duas situações distintas. No cenário 1 foi observado um aumento da área de agricultura, que se daria prioritariamente sobre terras atualmente ocupadas com lavouras de cana-de-açúcar. As pastagens, que ocupam grandes áreas na região, se manteriam estáveis, indicando que as atividades diretamente relacionadas a mesma não sofreriam mudanças significativas. Do ponto de vista da manutenção da vegetação remanescente de Cerrado, os resultados são favoráveis à preservação do bioma, haja vista que este cenário sinaliza para um acréscimo de 7.872 hectares de recomposição entre os anos de 2010 e 2030.

Os resultados obtidos para o segundo cenário simulado indicaram um expressivo crescimento da área plantada de cana-de-açúcar. Neste caso a probabilidade maior seria de que as lavouras de cana ocupassem áreas atualmente utilizadas para agricultura e pastagens. Os resultados deste cenário refletem a tendência ocorrida na região, especialmente nos últimos oito anos (em 2005), quando as lavouras de cana se expandiram de forma vigorosa (OLIVEIRA, *et al.*, 2012).

A partir das discussões propostas neste estudo, pode-se afirmar que os cenários simulados não são inexoráveis, mas refletem a projeção futura de tendências atuais. Portanto, entende-se que tais informações poderão ser úteis como subsídio aos tomadores de decisão (sejam órgãos públicos ou sociedade em geral) para se implementar ações e/ou programas que

visem mitigar possíveis impactos sociais e/ou ambientais, decorrentes da expansão canavieira na região Centro-Oeste de Minas Gerais.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento da Universidade Federal de Goiás (LAPIG/UFG), ao Centro de Sensoriamento Remoto da Universidade Federal de Minas Gerais (CSR/UFMG) e ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG), pelo apoio técnico e logístico durante a realização desta pesquisa.

3.5. Referências Bibliográficas

ALMEIDA, C. M. de. **Modelagem da dinâmica espacial como uma ferramenta auxiliar ao planejamento: simulação de mudanças de uso da terra em áreas urbanas para as cidades de Bauru e Piracicaba (SP)**. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 351f. São José dos Campos, 2003.

ALMEIDA, C. M. de.; MONTEIRO, A. M. V. CÂMARA, G.; SOARES-FILHO, B. S.; CERQUEIRA, G. C.; PENNACHIN, C. L.; BATTY, M. **Modelos Celulares de Dinâmica Espaço-temporais: Aplicações em Estudos Urbanísticos**. In: MEIRELLES, M. S. P.; CAMARA, G. ALMEIDA, C. M. de. (Org.) *Geomática: Modelos e Aplicações Ambientais*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 447 – 496, 2007.

AVILA, A. M. H. **Uma Síntese do Quarto Relatório do IPCC**. Revista Multiciência, CEPAGRI/UNICAMP, edição n. 8, mudanças climáticas, maio 2007.

BARBOSA, R. R. **Agroindústria canavieira e desenvolvimento local, Bambuí-MG**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa – UFV. 2011

BENEDETTI, A. C. P. **Modelagem dinâmica para simulação de mudanças na cobertura florestal das serras do sudeste e campanha meridional do Rio Grande do Sul**. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), 166 f. 2010.

BONHAM-CARTER, G. F. **Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS**. Ontario: Pergamon, 1994. 305 p.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME) e Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Secretaria de Petróleo, Gás Natural e Combustíveis Renováveis. **Boletim Mensal dos Combustíveis Renováveis, nº 17**, jan. 2011.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030** / Ministério de Minas e Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2007.

Brasil. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Energia 2021** / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2012.

BUENO, L. O. **Mudanças climáticas no contexto das ciências e da divulgação científica**. Dissertação de mestrado. IPEN/USP. São Paulo, 2010

CAMPOS, A. F. **A reestruturação da indústria de Petróleo Sul Americana nos anos 90**. Tese de doutorado. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2005.

CASTRO, S. S.; ABDALA, K.; SILVA, A. A.; BORGES, V. M. S. **A expansão da cana-de-açúcar no Cerrado e no estado de Goiás: elementos para uma análise espacial do processo**. Boletim Goiano de Geografia, Goiânia, v. 30, n. 1, p. 171-191, jan./jun, 2010.

CAVALCANTE, L. R. M. T.. **Produção teórica em Economia Regional: Uma proposta de sistematização**. Associação Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos, 2007.

CHAGAS, A. L. S. **Economia de Baixo Carbono: Avaliação de impactos de restrições e perspectivas tecnológicas**. Subprojeto 2 - Estudos Setoriais: Biocombustíveis. USP, Ribeirão Preto/SP, 2012.

CLEMENTE, A.; HIGACHI, H. Y. **Economia e Desenvolvimento Regional**. São Paulo: Atlas, 2000.

DONDA JUNIOR, A. **Fatores Influentes no Processo de Escolha da Localização Agroindustrial no Paraná: Estudo de Caso de uma Agroindústria de Aves**. Florianópolis, UFSC, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2002.

Etanol e bioeletricidade: a cana-de-açúcar no futuro da matriz energética / [coordenação e organização Eduardo L. Leão de Souza e Isaias de Carvalho Macedo]. -- São Paulo : Luc Projetos de Comunicação, 2010.

FERREIRA, M. E.; FERREIRA JUNIOR, L. G.; MIZIARA, F.; SOARES-FILHO, B. S. **Modeling landscape dynamics in the central Brazilian savanna biome: future scenarios and perspectives for conservation**. Journal of Land Use Science, 2012.

FERREIRA, M. E. **Modelagem da dinâmica de paisagem do Cerrado**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Goiás (UFG), 2009.

FIGUEIREDO, A. T. L. **Uma abordagem Pós-Keynesiana para a teoria da localização: análise da moeda como um fator determinante na escolha locacional das empresas.** Tese de Doutorado em Economia. CEDEPLAR/UFMG, 2009.

GRANJA JUNIOR, J. R. M. **Expansão da Atividade Canavieira em Goiás e Tocantins: Condicionantes e Componentes Principais.** Universidade Federal do Tocantins. Palmas, 2010. 116 f.

GRICIO, A. M. **Evolução da paisagem do baixo curso do Rio Piranhas-Assu (1988-2024): uso de autômatos celulares em modelo dinâmico espacial para simulação de cenários futuros.** Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), 2008.

LINS, H. N. **Geoeconomia e geopolítica dos recursos energéticos no capitalismo contemporâneo: O petróleo no vértice das tensões internacionais na primeira década do século XXI.** 2011

MACIEL, M. R. A. **O trabalhador temporário da indústria canavieira de Lagoa da Prata-MG: panorama sobre condições de vida, de trabalho e de saúde.** Dissertação de Mestrado. FUNEDI-UEMG, 2010.

MARCOCCIA, R. **A participação do etanol brasileiro em uma nova perspectiva na matriz energética mundial.** Dissertação de Mestrado. EP/FEA/IEE/IF/USP. São Paulo, 2007.

MARJOTTA-MAISTRO, M.C. (organizadora). **Desafios e perspectivas para o setor sucroenergético do Brasil.** São Carlos: EdUFSCar, 2011. 313 p. (Coleção UAB-UFSCar)

MARQUES, K. M.; ALVES, K. C. M.; BORGES, R. M. **A logística de transporte da cana-de-açúcar como uma especificidade da logística geral aplicada ao setor sucroalcooleiro.** Monografia. Faculdades integradas “Antônio Eufrásio de Toledo” Presidente Prudente/SP. 2006

MIZIARA, F. **Expansão da Lavoura de Cana em Goiás e Impactos Ambientais.** In: XIV Congresso Brasileiro de Sociologia, 2009, Rio de Janeiro. Anais do XIV Congresso Brasileiro de Sociologia, v. 1, 2009.

MORAES, M. A. F. D. de. **A desregulamentação do setor sucroalcooleiro do Brasil.** Americana: Caminho Editorial, 2000. 238p.

NATALE NETTO, J. **A saga do álcool: fatos e verdades sobre os 100 anos do álcool combustível em nosso país.** Osasco, SP, Novo século, 2007.

OLIVEIRA, E. G.; FERREIRA, M. E.; ARAÚJO, F. M. **Diagnóstico sobre o uso da terra na região Centro-Oeste de Minas Gerais, Brasil: A renovação da paisagem pela cana-de-**

açúcar e seus impactos socioambientais. Revista Sociedade Natureza. UFU. Ano 24 n.3 set/dez 2012.

QUEIROZ, S. de T. P. **Usinas de álcool – fatores influentes no processo de escolha da localização de novas unidades.** Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília (UnB), 2008

REZENDE, G. C. **Ocupação Agrícola e Estrutura Agrária no Cerrado: O Papel do Preço da Terra, dos Recursos Naturais e da Tecnologia.** Rio de Janeiro: IPEA n° 913, 2002.

RODRIGUES, H. O.; SOARES-FILHO, B. S.; COSTA, W. L. S. **DINAMICA-EGO: uma plataforma para modelagem de sistemas ambientais.** In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13., 2007, Florianópolis. Anais... São José dos Campos: INPE. Artigos, p. 3089-3096. CD-ROM, On-line, 2007.

SANTOS, H.G. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 3ª edição. Brasília-DF. Embrapa Solos. 2013. 353p.

SARTORI, M. A. **Fatores determinantes para expansão do setor sucroalcooleiro em Minas Gerais.** Tese de Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos, UFV, 2010.

SILVA, A. de B. **Sistemas de Informações Georeferenciadas: Conceitos e fundamentos.** Campinas: UNICAMP, 2003. 236 p.

SOARES-FILHO, B. S.; PENNACHIN, C. L.; CERQUEIRA, G. **DINAMICA: a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier.** Ecological Modelling, v. 154, n. 3, p. 217-235, 2002.

SOARES-FILHO, B. S.; NEPSTAD, D. C.; CURRAN, L. M.; CERQUEIRA, G. C.; GARCIA, R. A.; RAMOS, C. A.; VOLL, E.; MCDONALD, A.; LEFEBVRE, P.; SCHLESINGER, P. **Modelling conservation in the Amazon basin.** Nature, v. 440, n. 23 (520-523), 2006.

SILVA, F.I.C.; GARCIA, A. **Colheita mecânica e manual da cana-de-açúcar: Histórico e análise.** Nucleus, v.6, n.1, abr. 2009.

SOARES-FILHO, B. S.; RODRIGUES, H. O.; COSTA, W. L. S. **Modeling environmental dynamics with dinamica EGO.** 1ª ed. Belo Horizonte, MG, 2009.

Universidade Federal de Viçosa/Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais/Universidade Federal de Lavras/Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Mapa de solos do Estado de Minas Gerais: legenda expandida.** Belo Horizonte: FEAM, 2010.

VASCONCELOS, R. R. A. **Deterioração da matéria-prima de três variedades de cana-de-açúcar ao longo do tempo no município de Taquarana, Estado de Alagoas.** TCC/UACECA, UFAL, 2010.

XIMENES, A. C.; ALMEIDA, C. M.; AMARAL, S.; ESCADA, M. I.; AGUIAR, A. P. D. **Modelagem dinâmica do desmatamento na Amazônia.** Boletim de Ciências Geodésicas (UFPR), v. 14, n. 3 (370-391), 2008.

4. EFEITOS DA EXPANSÃO CANAVIEIRA SOBRE A COBERTURA E USO DA TERRA NO CENTRO-OESTE MINEIRO

Edmar Geraldo Oliveira
Instituto Federal de Minas Gerais - IFMG
edmar@ifmg.edu.br

Fausto Miziara
Universidade Federal de Goiás - UFG
fausto@fchf.ufg.br

Manuel Eduardo Ferreira
Universidade Federal de Goiás - UFG
manuel@ufg.br

RESUMO

A crise econômica mundial de 2008 contribuiu para a redução dos investimentos no setor sucroenergético brasileiro. Não obstante, em ritmo inferior aquele observado no período pré-crise, as lavouras de cana-de-açúcar continuaram se expandindo, especialmente nas regiões centro-sul do país. Neste artigo buscou-se analisar os efeitos desta expansão frente às principais commodities agrícolas na região Centro-Oeste de Minas Gerais, abordando-se também os possíveis impactos ambientais advindos deste processo, considerando para ambas análises um cenário simulado para o ano de 2030. Os resultados obtidos demonstram que entre os anos de 2005 e 2010, as lavouras de milho e soja foram aquelas que mais cederam espaço para a cana nos municípios de Arcos, Bambuí, Iguatama, Japaraíba, Lagoa da Prata e Luz. A simulação realizada para o ano de 2030, por meio de técnicas de modelagem ambiental, indica que a cana-de-açúcar continuará se expandindo na região estudada, especialmente nos municípios de Bambuí, Luz e Iguatama. O aumento da área plantada deverá ocorrer prioritariamente sobre terras atualmente utilizadas para agricultura e pecuária. Os mapas futuros da cobertura e uso da terra, produzidos neste estudo, apontam um cenário no qual as áreas remanescentes de Cerrado sofrerão pequenas variações em relação ao tamanho vigente, sugerindo que a expansão canavieira não ocupará tais espaços.

Palavras-chave: cana-de-açúcar, Cerrado, cobertura e uso da terra, competição agrícola.

ABSTRACT

The global economic crisis of 2008 contributed to the investment reduction in the Brazilian sugarcane industry. Nevertheless, at a slower pace than that observed in the pre-crisis period, sugarcane crops continued to expand, especially in the South Central regions of the country. This paper aims at analyze the effects of this expansion in relation to the major agricultural commodities in the Midwest region of Minas Gerais, also addressing the possible environmental impacts arising from this process, considering for both analyzes a simulated scenario for the year 2030. The results show that between the years 2005 and 2010 corn and

soybean crops were those that yielded more space for sugarcane in the towns of Arcos, Bambuí, Iguatama, Japaraíba, Lagoa da Prata and Luz. The simulation performed for 2030, by means of environmental modeling techniques, indicates that sugarcane will continue to expand in the region studied, especially in the towns of Bambuí, Luz and Iguatama. The increase in the planted area is expected to occur primarily on land currently used for agriculture and livestock. Cover and land use future maps, produced in this study, suggest a scenario in which the remaining areas of Cerrado will suffer small variations compared to the current size, suggesting that sugarcane expansion will not occupy such spaces.

Keywords: sugarcane, Cerrado, cover and land use, agricultural competition.

4.1. Introdução

No início do século XXI, o setor sucroenergético viveu uma fase de intenso desenvolvimento no Brasil. Os fatores que mais contribuíram para a prosperidade do setor naquele período foram o aumento no consumo do etanol no mercado interno, fruto do sucesso dos veículos *flex-fuel*, lançados no mercado brasileiro em 2003 (TOLMASQUIM, 2012; RODRIGUES, 2012); a volatilidade dos preços do petróleo no mercado internacional (SOUZA, 2006); as políticas públicas favoráveis ao setor mediante subsídios, incentivos fiscais e financiamentos, em especial por meio do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social - BNDES (SILVA e PEIXINHO, 2012; SAUER e PIETRAFESA, 2012); e a busca por fontes de energia alternativas aos combustíveis fósseis (ABRAMOVAY, 2009; SANTOS *et al*, 2010).

Entretanto, aquele contexto favorável vivido nos primeiros anos da década passada foi alterado pela diminuição no ritmo de investimentos, motivado pelos efeitos da crise financeira mundial ocorrida no final de 2008 (PITTA e MENDONÇA, 2010) e pela política de preços para a gasolina adotada pela Petrobrás⁸, especialmente entre os anos de 2011 e 2013. Registre-se também que as descobertas no Brasil das reservas de petróleo nas regiões de pré-sal, entre o litoral do Espírito Santo e de São Paulo, e o êxito da exploração do gás de xisto nos Estados Unidos afetaram o setor sucroalcooleiro. Esta conjuntura fez com que o etanol,

⁸ Nos três últimos anos o Governo Federal, por intermédio da Petrobrás, adotou uma política de subsídio dos preços da gasolina e do diesel com objetivo de manter a inflação estável. De acordo com Relatório do Tribunal de Contas da União (TCU), ao manter o preço da gasolina no mercado nacional, abaixo do nível praticado internacionalmente, a Petrobrás acumulou grandes perdas financeiras nos últimos anos. Como as refinarias nacionais não possuem, atualmente, capacidade de atendimento da demanda de derivados, o perfil de importação e exportação de derivados se alterou. O Brasil saiu da situação de exportador de gasolina, com receitas de quase US\$ 2 bilhões, em 2007, para a de importador, com gastos em torno de US\$ 3 bilhões, em 2012. E ainda tem um efeito colateral, porque essas ações causaram efeito direto no mercado de etanol, que perdeu competitividade frente à gasolina.

visto por muitos analistas como sendo uma das principais alternativas a gasolina, perdesse força na competição com os combustíveis fósseis.

Cabe salientar que as dificuldades vividas, após a crise financeira de 2008, provocaram uma desaceleração no ritmo de expansão, mas não ficou caracterizada uma retração no setor sucroenergético brasileiro. Tanto é verdade que, de acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) - obtidos por meio dos levantamentos anuais da Produção Agrícola Municipal⁹ (PAM), a área plantada de cana-de-açúcar continuou a crescer, ainda que num ritmo moderado. Tais dados demonstram que, entre 2003 e 2008, o crescimento anual médio da área plantada de cana no Brasil foi de 7,9%, ao passo que nos anos subsequentes (entre 2009 e 2012) as lavouras continuaram se expandindo, porém num ritmo menor, com percentual anual médio de 4,4%.

O atual Plano Decenal de Expansão de energia (PDE), publicado em 2012 pelo Ministério das Minas e Energias (MME), apresenta projeções favoráveis para mercado brasileiro de etanol. De acordo com a publicação, no curto prazo, estima-se que a oferta de etanol permanecerá com restrições, as quais deverão ser superadas no médio e longo prazo através de investimentos na renovação dos canaviais e na ampliação e implantação de unidades produtoras. Esta perspectiva tem como principal parâmetro a estimativa de aumento expressivo da frota de veículos *flex-fuel*, que deverá saltar de 49% em 2011 para 78% da frota nacional de veículos leves em 2020 (PNE, 2007).

A expansão das lavouras de cana-de-açúcar, sobretudo nos últimos oito anos, tem ocorrido de forma mais expressiva sobre áreas de Cerrado, em especial nas porções deste bioma localizadas nos estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais (CASTRO *et al.*, 2010; PEREIRA, 2007; OLIVEIRA, *et al.*, 2012). Este processo tem chamado a atenção de muitos pesquisadores, com estudos sobre os efeitos deste fenômeno, alguns deles relacionados à nova dinâmica da cobertura e uso da terra resultante da expansão canavieira. Entretanto, existe uma carência de estudos em escalas regionais e microrregionais, para detectar os padrões de mudanças de uso das terras (CASTRO, *et al.*, 2010).

O estado de Minas Gerais, que apresentou taxas de crescimento da área plantada, no período de 2003 a 2008, superiores à média nacional, também diminuiu o ritmo da expansão das lavouras, porém manteve o incremento após a crise financeira de 2008, com percentuais de aumento da área plantada bastante significativos. No período áureo, entre 2003 e 2008, a taxa anual média de crescimento da área plantada no estado foi de 14,2%. Nos quatro anos

⁹ Disponível em <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?c=1612&z=t&o=11>. Acesso em 01/11/2013.

posteriores ao início da crise, ou seja, entre 2009 e 2012, esta taxa foi de 9,7% (IBGE/SIDRA, 2013). Se considerarmos que se trata de um período pós-crise financeira global, o aumento da área plantada pode ser considerado bastante satisfatório diante do contexto macroeconômico.

De acordo com Salgado Behaine (2012), é notável a expansão da atividade da agroindústria canavieira em Minas Gerais. Esta afirmação é corroborada pelo Instituto de Desenvolvimento Integrado de Minas Gerais – INDI, cujos dados apontam, na safra 2010/2011, a existência de 43 unidades produtoras de etanol e de açúcar no estado. Deste total, 19 usinas estavam voltadas para a produção de etanol, 2 se dedicavam exclusivamente à fabricação de açúcar e outras 22 com produção mista (açúcar e etanol) (SIAMIG, 2011). Ainda de acordo com a União dos Produtores de Bioenergia (UDOP), em 2011 existiam doze unidades produtoras em fase de projeto cadastradas no Departamento da Cana-de-açúcar e Agroenergia em Minas Gerais.

Em relação à área de abrangência deste estudo, que contempla a região Centro-Oeste do estado de Minas Gerais, os dados do IBGE/PAM evidenciam uma significativa expansão das lavouras de cana-de-açúcar, sobretudo no período de 2005 a 2010. O aumento da área plantada potencializou a produção, sendo que em 2010 a região foi responsável por 6,2% da quantidade de cana-de-açúcar produzida no estado, o que equivale a 3.760.964 toneladas. Entre os 56 municípios que compõem o Centro-Oeste mineiro, a atividade canavieira está concentrada em seis deles, que responderam, naquele mesmo ano, por 84,5% da quantidade produzida na região.

Além dos municípios de Lagoa da Prata e Japaraíba, produtores já tradicionais na região, a partir de 2006 as lavouras se expandiram de forma expressiva para outros municípios. O município de Bambuí que em 2005 tinha uma produção irrisória de cana registrou em 2010 uma área plantada de 5.278 hectares, naquele mesmo período Iguatama passou de 1.062 para 6.000 hectares cultivados, o município de Luz aumentou sua área plantada em mais de 200%, saindo de 2.595 para 7.793 hectares e em Arcos a expansão foi ainda maior, pulando de 747 hectares em 2005 para 3.919 em 2010.

O aumento das lavouras de cana-de-açúcar provocou uma nova dinâmica agrícola no Centro-Oeste mineiro, em geral e nos municípios supracitados, em particular. A questão preponderante deste reordenamento está relacionada ao uso da terra e das consequências advindas da concorrência entre a cana e as demais formas de uso praticadas tradicionalmente na região. A substituição nestes municípios, de áreas antes ocupadas pela pecuária e agricultura pelas lavouras de cana-de-açúcar, pode ser explicada pelo fator econômico. Segundo Lima (2010), à medida que a rentabilidade de uma atividade agrícola cresce, há uma

atração de produtores para ela, o que pode configurar novas organizações produtivas no uso do solo.

Nesta mesma linha de raciocínio podem-se citar os estudos de Miziara (2006; 2009), quando o autor afirma que o setor sucroenergético possui um pacote tecnológico com maior nível de investimento em relação a pecuária extensiva e as culturas como soja e milho; por esta razão, as lavouras de cana-de-açúcar tendem a ocupar as terras de melhor qualidade e dotadas de infraestrutura. Este fenômeno foi constatado em regiões como o sul do estado de Goiás (ABDALA e CASTRO, 2010), no Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba (PEREIRA, 2012; BRITO e REIS, 2012) e no Centro-Oeste mineiro (OLIVEIRA, *et al.*, 2012).

O que não se discute claramente são os deslocamentos dessas culturas e da pecuária nas regiões em que a cana-de-açúcar tem se expandido de forma mais significativa. Uma vez que as lavouras de cana estão ocupando áreas agrícolas ou de pecuária, o que tem acontecido com tais atividades? Elas estão sendo abandonadas ou estão migrando para outras regiões? Esta nova dinâmica no uso da terra no Centro-Oeste mineiro está exercendo pressão sobre áreas de remanescentes de Cerrado daquela região?

É neste contexto que se insere este estudo, o qual tem como objetivo analisar os principais efeitos da expansão das lavouras de cana-de-açúcar sobre a cobertura e uso da terra na região Centro-Oeste de Minas Gerais, no período de 2005 a 2010. Pretende-se ainda investigar os possíveis impactos ambientais sobre os remanescentes de Cerrado no Centro-Oeste mineiro, no ano de 2030, a partir de um cenário simulado para a área deste estudo (OLIVEIRA *et al.*, 2013 – no prelo). A nossa hipótese é de que o crescimento das lavouras de cana projetado para o Centro-Oeste mineiro provocará um deslocamento de outras culturas agrícolas e da pecuária sobre áreas remanescentes de Cerrado.

Para tanto, pretende-se utilizar dados censitários, de sistemas de informações geográficas (SIG) e resultados da modelagem ambiental que permitam avaliar a espacialização da agricultura, pastagens e remanescentes de Cerrado, frente a expansão canavieira ocorrida nos municípios de Arcos, Bambuí, Iguatama, Japaraíba, Lagoa da Prata e Luz.

4.2. A expansão do setor sucroenergético e a segurança alimentar no Brasil.

Nos últimos anos, os biocombustíveis alcançaram uma maior visibilidade no âmbito nacional e internacional, motivada especialmente pelo aumento dos preços do petróleo e da

preocupação com as questões ambientais, entre elas a emissão de CO₂ e o aquecimento global (KOHLHEPP, 2010). Neste mesmo período o setor sucroenergético brasileiro experimentou um expressivo crescimento, ocasião em que as lavouras de cana-de-açúcar se expandiram significativamente no país, sobretudo em áreas do bioma Cerrado. Atualmente, o Brasil é o maior produtor e exportador de açúcar no mundo, líder global na produção de etanol de cana-de-açúcar e o segundo maior produtor e consumidor no âmbito geral, logo atrás dos Estados Unidos, que utiliza o milho como principal material prima na produção do etanol (MARIN e NASSIF, 2013).

O cenário de expansão mundial dos biocombustíveis tem ampliado o debate sobre a questão de segurança alimentar, em especial a polêmica que envolve a produção de gêneros alimentícios *versus* biocombustíveis. A controvérsia sobre a questão é ampla, mas para alguns estudiosos, o aumento da produção de biocombustíveis é a principal causa para a alta dos preços de alimentos no mundo, ou seja, a oferta de comida teria diminuído em decorrência da redução de áreas agriculturáveis para o setor (SANTOS, *et al.*, 2011). Uma destas vozes é do ex-relator especial da ONU pelo direito à alimentação, Jean Ziegler que, em abril de 2008, criticou o Brasil por usar áreas de plantio para a produção de etanol ao invés de cultivar alimentos.

Segundo Mathews (2007), essas críticas só fazem sentido dentro dos contextos agrícolas europeu e norte-americano de produção. Naqueles continentes a baixa disponibilidade de terras agricultáveis tornou-se um obstáculo para a produção de biomassa. Em 2007 um episódio ocorrido no México e que ficou conhecido como a crise das *tortilhas*, foi atribuído, entre outros fatores, ao aumento da produção norte-americana de etanol a partir do amido de milho. Na ocasião ocorreu um aumento exacerbado dos preços do milho, principal ingrediente das *tortilhas*, alimento essencial para a população mexicana, o que resultou em manifestações populares e na intervenção do governo sobre o preço do milho naquele país (TOMAZ e CARVALHO, 2011).

A realidade brasileira é bastante diferente, conforme veremos a seguir o país possui condições favoráveis para produzir etanol sem comprometer a produção de gêneros alimentícios. De acordo com Kohlhepp (2010), as críticas existentes na Europa e a visão equivocada sobre a produção de etanol no Brasil se deve aos escassos conhecimentos sobre a diferenciação das regiões naturais, econômicas e sócio espaciais do nosso país, como também desconhecimento dos produtos primários na produção de biocombustíveis, sobretudo em relação à cana-de-açúcar.

Em relação a disponibilidade de terras agrícolas, os dados do Zoneamento Agroecológico da Cana-de-Açúcar (ZAE), publicado pela EMBRAPA em 2009, mostram que o Brasil possui cerca de 64,7 milhões de hectares de terras aptas para o cultivo da cana, sendo que naquele ano o país ocupava menos de 1% de sua área territorial na produção do agronegócio canavieiro. Com base nas estimativas do ZAE (EMBRAPA, 2009, p. 07), “o país não necessita incorporar áreas novas com cobertura nativa ao processo produtivo, podendo expandir ainda a área de cultivo com cana-de-açúcar sem afetar diretamente as terras utilizadas para a produção de alimentos”.

Segundo Santos *et al.* (2011), para que houvesse prejuízo à disponibilidade de alimentos no Brasil, as estatísticas deveriam apontar queda nas safras; mas o que vem acontecendo é exatamente o contrário, ou seja, um aumento na produção decorrente dos ganhos de produtividade. Dados apresentados por Kohlhepp (2010) demonstram que entre 1990 e 2007 as áreas plantadas no país com arroz, feijão, mandioca e batata diminuíram na ordem de 4%, 25%, 2% e 7%, respectivamente, enquanto a produção dos gêneros alimentícios básicos como o feijão e o arroz aumentou consideravelmente em razão do aumento da produtividade (com variações de 42% e 78%, respectivamente). Nesse mesmo espaço de tempo, a área de plantio do milho aumentou em 17%, com aumento de produção em 143%, havendo duplicação da produtividade.

Outra crítica recorrente é a de que a expansão das lavouras de cana-de-açúcar no Brasil contribui para a elevação dos preços de gêneros alimentícios. Segundo Kohlhepp (2010) esta crítica é incorreta, pois o país apresenta vantagens em razão das grandes áreas ainda disponíveis para a agricultura. Conforme já foi dito a realidade brasileira é muito diferente, por exemplo, daquela vivida nos Estados Unidos, onde a principal matéria prima para produção do etanol é o milho, ou em parte da Europa, onde-se utiliza a beterraba na produção deste biocombustível, tendo como consequência o aumento demasiado nos preços desses produtos.

Segundo Schmidhuber (2008) e Kohlhepp (2010), a drástica subida dos preços dos alimentos básicos no Brasil deve ser atribuída especialmente ao aumento do preço do petróleo, influenciando na cadeia de preços dos combustíveis, adubos, pesticidas e transportes, como também pela especulação nos mercados de capitais, e não pela diminuição de áreas de plantio, muito menos por causa da diminuição da produção ou por aumento de consumo de gêneros alimentícios. Corroborando com estes autores Hoffmann (2006) afirma “no Brasil a quantidade de alimentos produzida supera com folga as necessidades de sustento

da população do país”, o que leva a crer que a causa da insegurança alimentar concentra-se na falta do poder aquisitivo das classes sociais mais baixas.

Estudo desenvolvido na Universidade de Brasília (UnB) por Hernández (2008) concluiu que não existe competição entre a produção da cana-de-açúcar, enquanto matéria prima para a produção de etanol, e a produção de alimentos básicos, no caso as culturas de milho, arroz e feijão. De acordo com a autora, no Brasil os dois setores convivem perfeitamente, sem que um afete a produção do outro.

Numa análise em escala microrregional, com foco no Centro-Oeste mineiro, a partir dos dados do IBGE/PAM, é possível constatar que a recente expansão da cana-de-açúcar está exacerbando a competição por áreas agrícolas nos municípios de Arcos, Bambuí, Iguatama, Japaraíba, Lagoa da Prata e Luz (tabela 9).

Tabela 9 - Comparativo entre as variações no tamanho da área plantada e a quantidade produzida nos municípios de Arcos, Bambuí, Iguatama, Japaraíba, Lagoa da Prata e Luz no período de 2005 a 2010.

	Área plantada (ha)		Variação percentual	Quantidade produzida (t)		Variação percentual
	2005	2010		2005	2010	
Cana-de-açúcar	17.826	39.286	120,4%	1.302.255	3.178.471	144,1%
Milho	21.870	20.320	-7,1%	112.805	110.354	-2,2%
Feijão	2.842	5.170	81,9%	4.392	9.758	122,2%
Arroz	1.740	1.360	-21,8%	4.690	4.262	-9,1%
Café	4.357	4.612	5,9%	5.386	7.738	43,7%
Soja	6.640	4.000	-39,8%	14.199	9.900	-30,3%

Compilação: E. G. Oliveira

Fonte: <http://www.sidra.ibge.gov.br>

Este processo tem provocado modificações na cobertura e uso da terra naquela região, os quais serão discutidos com maior profundidade na sequência deste estudo.

4.3. A expansão da cana e o reordenamento do uso da terra no Centro-Oeste mineiro.

A região Centro-Oeste do estado de Minas Gerais, constituída por 56 municípios (equivalente a 31.543 km²), é uma das dez Regiões de Planejamento adotadas pelo Governo do Estado (FJP, 1992). Trata-se de uma região com predominância de propriedades pequenas (até 10 hectares) e médias com algumas poucas consideradas grandes, com área superior a 1.000 hectares. A agropecuária é uma das principais atividades econômicas da região, com destaque para as culturas de cana-de-açúcar, milho, feijão e café, possuindo também um expressivo rebanho bovino. Os dados apresentados na tabela 10 demonstram os principais

produtos agrícolas da região e suas variações (área plantada e produção) no período de 2005 a 2010.

Tabela 10 - Soma da área plantada dos principais produtos agrícolas cultivados nos municípios de Arcos, Bambuí, Iguatama, Japaraíba, Lagoa da Prata e Luz no período de 2005 a 2010 (em hectares).

	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Cana-de-açúcar	17.826	18.861	28.489	36.3012	44.372	39.296
Milho	21.870	20.830	19.850	20.150	20.020	20.320
Feijão	2.842	3.628	5.480	6.990	6.045	5.170
Café	4.357	4.507	4.557	4.937	5.012	4.612
Soja	6.640	4.900	7.200	6.500	4.000	4.000
Arroz	1.740	1.720	1.535	1.310	1.165	1.360
Rebanho bovino*	263.979	266.233	260.781	255.457	267.833	273.131
Produção de leite**	164.667	163.455	152.770	144.941	143.475	146.454

Compilação: E. G. Oliveira

Fonte: <http://www.sidra.ibge.gov.br>

* em número de cabeças / ** em litros

Dentre as principais culturas temporárias da região, o milho é a que possui a maior capilaridade em relação ao cultivo, haja vista ser o mesmo, produzido em todos os 56 municípios do Centro-Oeste mineiro. As plantações de milho são encontradas nos três tipos de propriedades, sendo que nas pequenas seu plantio é principalmente para consumo próprio (subsistência), enquanto nas propriedades médias e grandes a produção se dá em escala comercial. Entre os seis municípios que compõem a área deste estudo, Bambuí e Iguatama são aqueles com maior área plantada, com 6.770 e 6.000 hectares na safra de 2012 (IBGE/PAM), respectivamente. Por outro lado, os municípios de Lagoa da Prata e Japaraíba, com 500 e 1200 hectares na safra 2012, respectivamente, são aqueles com menor área plantada de milho.

O aumento da área plantada de cana-de-açúcar, entre os anos de 2005 e 2010, nos municípios que compõem este estudo, coincide com uma diminuição em 7,1% da área cultivada com milho, o que representa uma redução de 1.550 hectares (IBGE/PAM). Naquele intervalo de tempo as maiores reduções da área plantada ocorreram nos anos de 2006 e 2007, com variações negativas de 4,8% e 4,7%, respectivamente. Em 2008 e 2009 a cultura apresentou, em relação aos dois anos anteriores, uma ligeira recuperação de área plantada (figura 11-A).

Ainda de acordo com os dados do IBGE/PAM, no período de 2005 a 2010 as lavouras de cana aumentaram 120,4%, nos municípios que compõem este estudo. As taxas de crescimento são bastante significativas em todos os anos, exceto em 2010, quando foi registrada uma diminuição da área plantada de cana. Tais dados indicam que as lavouras de cana-de-açúcar podem ter ocupado terras antes utilizadas para o plantio de milho. Contudo, a produção de milho que sofreu uma diminuição considerável, especialmente em 2006,

recuperou-se gradativamente, alcançando em 2010 um total de 110.354 toneladas produzidas, o que equivale a uma redução de 2,2% em relação a 2005, ocasião em que a cana ainda não tinha se expandido de forma vigorosa na região. Possivelmente, este resultado pode ser creditado ao aumento da produtividade, haja vista, a diminuição da área plantada.

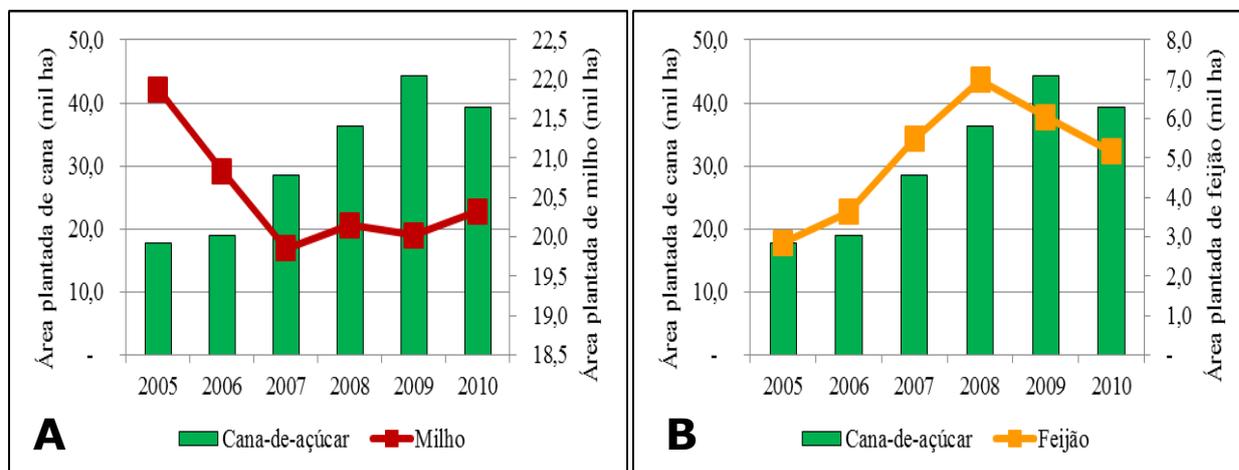


Figura 11 - Variações na área plantada de cana-de-açúcar, milho e feijão, no período de 2005 a 2010, nos municípios de Arcos, Bambui, Iguatama, Japarafba, Lagoa da Prata e Luz.

A análise comparativa entre a área plantada de cana-de-açúcar e feijão no Centro-Oeste mineiro, entre os anos de 2005 e 2010, demonstrada na figura 11-B, indica um crescimento e queda de ambas. Conforme já mencionado, naquele período as lavouras de cana na região aumentaram substancialmente, saltando de 17.826 hectares em 2005 para 39.296 hectares em 2010. A área cultivada de feijão também foi ampliada, especialmente entre os anos de 2005 e 2008, quando a soma da área cultivada nos seis municípios estudados chegou a 6.990 hectares. Em 2009 e 2010 ocorreu uma redução da área, entretanto o percentual de crescimento acumulado no período estudado foi de 81,9%, o equivalente à incorporação de 2.328 hectares.

Tais dados indicam que a expansão da cana-de-açúcar na região Centro-Oeste de Minas Gerais não ocorreu sobre áreas cultivadas com feijão. De acordo com relatório de acompanhamento da safra brasileira 2009/2010, produzido pela CONAB¹⁰, a redução da área plantada em 2009 e 2010 ocorreu nas principais regiões produtoras do estado e se deu em função dos baixos preços praticados no mercado interno, associado ao risco de perdas nas fases de maturação e colheita, contribuindo para a diminuição da área plantada naquele ano em 7,1% em relação a safra 2008/2009.

¹⁰ Disponível em http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/3graos_09.12.pdf - Acesso em 19/11/2013.

Características técnicas, agrônômicas e culturais que permitem o cultivo do feijão em pequenas propriedades tendem a favorecê-lo na concorrência por terras com culturas que necessitam de áreas maiores, como o caso da cana-de-açúcar. No Brasil, dados do Censo Agropecuário de 2006 (IBGE, 2009) atribuem à agricultura familiar quase 70% da produção nacional do feijoeiro comum, o que reforça sua vocação para produção em pequena escala. Outro ponto relevante em relação à disputa por terras diz respeito ao fato de que o feijoeiro se apresenta como cultura importante na sucessão de cultivos ao longo do ano, pois pode ser cultivado em período relativamente curto, com ciclo produtivo geralmente em torno de 90 dias, permitindo a utilização da mesma área para o plantio de outras culturas.

A produção de soja na região Centro-Oeste de Minas Gerais não possui relevância nos âmbitos estadual e nacional. Em nível regional, no ano de 2005, três municípios tinham produção significativa: Bambuí, Iguatama e Luz. A expansão da cana na região promoveu uma competição pelo uso da terra com a soja, que, apesar de leves variações positivas em 2007 e 2008, diminuiu a área plantada no período analisado. Em Bambuí, por exemplo, a redução das lavouras foi de 60%, enquanto em Luz o cultivo praticamente desapareceu. Já em Iguatama ocorreu um aumento da ordem de 20% na área de soja, entretanto, na soma da área plantada de todos os municípios, a redução no intervalo entre 2005 e 2010 foi de 39,8% (figura 12-A).

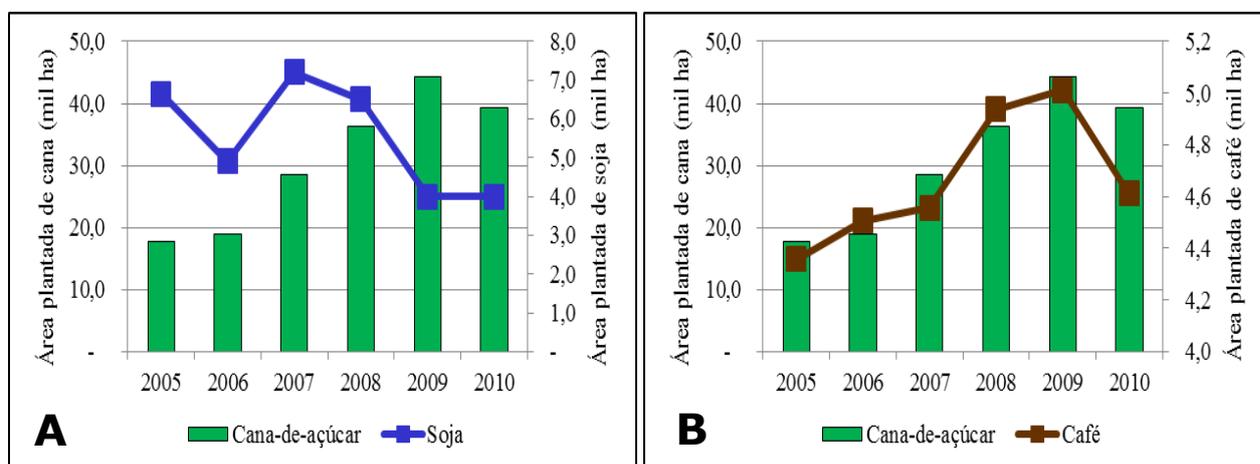


Figura 12 - Variações da área plantada de cana-de-açúcar, soja e café, no período de 2005 a 2010 nos municípios de Arcos, Bambuí, Iguatama, Japaraíba, Lagoa da Prata e Luz.

A substituição de áreas de soja pela cana-de-açúcar também foi registrada em outras regiões do país, como é o caso do sudoeste de Goiás e do sudeste de Mato Grosso do Sul, onde tradicionalmente se cultiva soja, forçando a um reordenamento do uso da terra (CASTRO, *et al.*, 2010; LIMA, 2010). Ainda em Goiás, estudos desenvolvidos por Abdala e Ribeiro (2011) e Borges (2010), para as microrregiões de Meia Ponte e Quirinópolis,

mostraram que a cana está substituindo as áreas antes ocupadas por plantios de grãos em geral, e da soja em particular.

Entre as quatro lavouras com maior área plantada nos municípios de abrangência deste estudo, e que tiveram o seu comportamento (expansão ou retração) confrontado à cana-de-açúcar, a única lavoura perene é a do café. Cabe destacar ainda que, entre estes municípios, apenas Bambuí possuía em 2005 uma área relevante ocupada com lavouras de café. A instalação no município da Bambuí Bioenergia, em 2006, e a expansão das lavouras de cana não resultaram em diminuição, entre 2005 e 2010, da área plantada com café. Ao contrário, naquele período foi registrado um aumento da área em 5,9% (figura 12-B), sinalizando que a expansão da cana não afetou a área plantada de café na região.

Os resultados sobre as variações na cobertura e uso da terra, obtidos no primeiro artigo desta tese, por meio da classificação das imagens Landsat, indicaram que entre 2005 e 2010, a expansão da cana no centro-oeste mineiro ocorreu predominantemente sobre áreas de pastagens. As modificações no tamanho da área ocupada por tais atividades naquele período evidenciam que as lavouras de cana tiveram um crescimento de 74%, enquanto a área de pastagens diminuiu seu tamanho em 8,4%, o que equivale a 15.511 hectares. Os resultados apresentados na figura 13 corroboram com os argumentos sobre a competição pelo uso da terra estabelecida entre a cana e as pastagens. No período e região estudados a cana-de-açúcar aumentou sua área de cultivo em todos os municípios analisados, por outro lado as áreas de pastagens diminuíram em todos os municípios.

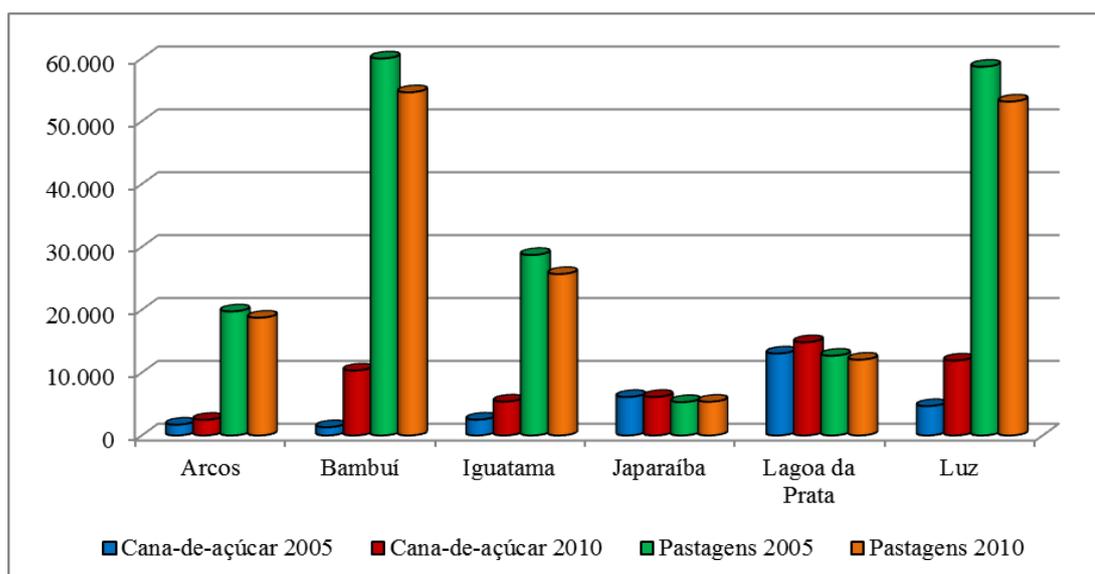


Figura 13 - Variações da área plantada de cana-de-açúcar e das pastagens nos municípios de Arcos, Bambuí, Iguatama, Japaraíba, Lagoa da Prata e Luz, entre os anos de 2005 e 2010.

Conforme já destacamos nesta tese, este padrão de ocupação já foi diagnosticado e registrado em outras regiões do país. Registre-se, por exemplo, além das regiões já mencionadas, o caso do município de Rio Brillhante, maior produtor de cana-de-açúcar no Mato Grosso do Sul e segundo maior do Brasil. Naquele município as novas áreas de cana-de-açúcar tiveram um crescimento de 8,3% em 2010, ocupando mais intensamente as pastagens, e algumas áreas de lavoura localizadas próximas às usinas. (PAM/IBGE, 2010)

Apesar da redução da área de pastagens apresentada na figura 13, verifica-se, conforme apresentado na Tabela 10, um aumento de 0,7% ao ano, entre 2005 e 2010, na quantidade de rebanho bovino nos municípios que compõem esta pesquisa. Tais dados permitem afirmar que o aumento da área plantada de cana e a diminuição das pastagens, entre 2005 e 2010, não impactaram negativamente na produção pecuária do Centro-Oeste mineiro. Possivelmente este fato deva-se a adoção de técnicas de produção aprimoradas que permitem uma maior eficiência (produzir mais em menos área).

Segundo Dias-Filho (2011), a maior competição pelo uso da terra exigirá a modernização da pecuária, a qual passará inevitavelmente pelo investimento no melhoramento das pastagens por meio da reutilização das áreas abertas, que atualmente se encontram improdutivas (abandonadas) ou com baixa produtividade (subutilizadas), tornando a atividade mais produtiva e sustentável.

4.4. Impactos sobre os remanescentes de Cerrado no Centro-Oeste mineiro.

São inúmeras as preocupações com vistas à adoção de práticas ambientais que possibilitem o desenvolvimento sustentável e o bem-estar da humanidade (LIBONI e CEZARINO, 2012). No contexto desta pesquisa, muitos países estão buscando fontes renováveis de energia, que permitam modificar o padrão energético atual e reduzir seus principais impactos ambientais, principalmente quanto às emissões dos gases de efeito estufa. No caso do etanol brasileiro, cuja matéria prima principal é a cana-de-açúcar, existe também a preocupação com os impactos ambientais advindos do cultivo dessa gramínea em larga escala (monocultura).

A recente expansão das lavouras de cana-de-açúcar tem ocupado grandes áreas do Cerrado brasileiro, notadamente aquelas de relevo plano (normalmente com latossolos), localizadas nos estados de São Paulo, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso (RIBEIRO, 2010). Ainda de acordo com esta autora, as plantações ocorreram, em sua maioria, em áreas ocupadas (pelo menos até o ano de 2002) por agricultura e pastagem, sendo

que pouco mais de 3% ocorreram sobre áreas ocupadas com remanescentes de Cerrado. Macedo (2005) também apresenta argumentos similares ao afirmar que a expansão da cana-de-açúcar ocorrida nos últimos anos se deu principalmente em substituição de outras coberturas que já haviam substituído o Cerrado (em geral, pastagens), e não em áreas de vegetação nativa.

Contrapondo a este argumento, Abdala (2012) afirma que o expressivo aumento das lavouras de cana contribuiu de forma direta e indireta para aumentar a pressão antrópica sobre os remanescentes de Cerrado. Pressuposição semelhante é defendida por Silva e Miziara (2011), ao alertarem que a substituição de áreas de vegetação natural por áreas de cultivo pode promover prejuízos ambientais incalculáveis. Este é um debate recorrente, no qual Liboni e Cezarino (2012) defendem a necessidade de um monitoramento constante dos impactos ambientais decorrentes da expansão canavieira sobre o Cerrado brasileiro.

Para Ribeiro (2010), os principais impactos ambientais decorrentes da expansão canavieira no Cerrado estão associados à proximidade das lavouras com as áreas protegidas ou prioritárias à conservação da biodiversidade, queimadas (especialmente na colheita) e expansão sobre áreas remanescentes. Se, por um lado, a mecanização da colheita está diminuindo as queimadas, o seu efeito colateral é a supressão de todas as árvores na área cultivada, de modo a eliminar obstáculos ao deslocamento das máquinas colheitadeiras de cana. Considerando que o Cerrado possui muitas espécies endêmicas, tais como Pequiizeiro (*Caryocar brasiliensis*), Baru (*Dipteryx alata*), Cagaita (*Eugenia dysenterica*), Barbatimão (*Stryphnodendron adstringens*), entre outras, esta prática pode ser considerada como impacto extremamente negativo ao bioma.

Durante o trabalho de campo desta pesquisa, realizado em julho de 2013 (apêndice 1), foi possível constatar por meio de entrevistas e observações *in loco* que as empresas estão priorizando áreas de pastagens e agricultura para a expansão das lavouras de cana. Esta opção apresenta algumas vantagens, como, por exemplo, uma maior celeridade na preparação do terreno, haja vista não ser necessário a obtenção de licenças para desmatamento de florestas nativas. Além do mais, ao utilizar áreas já antropizadas para o cultivo da cana, as empresas buscam disseminar a imagem de que o setor sucroalcooleiro não é o principal responsável pela redução das áreas de remanescentes de Cerrado na região Centro-Oeste de Minas Gerais.

As simulações de cenários futuros sobre a cobertura e uso da terra realizadas neste estudo, por meio da utilização de técnicas de modelagem ambiental, permitiu a elaboração de prognósticos sobre a dinâmica da paisagem para o intervalo de tempo entre os anos de 2010 e 2030. A primeira análise é ilustrada pelos dados obtidos na matriz de transição resultante

deste processamento, uma vez que esta permite a obtenção das taxas de probabilidade de mudança de uma classe para outra (HAYKIN, 2000). Os resultados possibilitam a análise da dinâmica da paisagem, por meio das variações na cobertura e uso da terra em uma determinada região, num dado período de tempo.

A matriz de transição produzida para os municípios que compõem a área deste estudo indica a ocorrência de mudanças entre os mapas de uso e cobertura da terra, para as classes temáticas agricultura, pastagens, cana-de-açúcar e remanescentes de Cerrado, entre os anos de 2010 (t1) e 2030 (t2). Entre estas, a mais significativa envolve a conversão de áreas de agricultura e pastagem para o cultivo da cana-de-açúcar, com taxas de 48% e 26,8%, respectivamente. Conforme já discutido anteriormente, este processo está alicerçado em bases capitalistas, ou seja, os proprietários das terras buscam as atividades com maior possibilidade de lucro na aplicação do capital (MIZIARA, 2006).

Os dados indicam ainda que a expansão da cana no Centro-Oeste mineiro não exercerá impacto significativo sobre áreas remanescentes de Cerrado na região, uma vez que a taxa de transição para o período de 20 anos é de apenas 2,4%. Por outro lado, a expansão da cana sobre áreas de pastagens poderá empurrar a pecuária extensiva para áreas de remanescentes, tendo como consequência o aumento da pressão antrópica sobre a vegetação nativa do Cerrado, cujo percentual de conversão simulado para as pastagens é de 9,6% no intervalo de tempo entre os anos de 2010 e 2030 (tabela 11). Porém, como observado na sequência, este é um processo dinâmico, onde podem ocorrer transições de mão dupla entre todas as classes, o que requer uma análise sistêmica, sob pena de interpretar os dados equivocadamente.

Tabela 11 - Matriz de transição para os municípios de Arcos, Bambuí, Iguatama, Japaraíba, Lagoa da Prata e Luz no período de 2010-2030, calculada com o mapa de uso da terra e variáveis explicativas em Oliveira et al. (2013).

De/Para	Agricultura	Cana-de-açúcar	Pastagem	Remanescente
Agricultura		0,480	0,089	0,096
Cana-de-açúcar	0,038		0,093	0,013
Pastagem	0,063	0,268		0,079
Remanescente	0,017	0,024	0,096	

Se por um lado áreas de remanescentes poderão ser convertidas para pastagens, por outro a dinâmica da paisagem representada na matriz de transição (Tabela 11) indica que os remanescentes de Cerrado tendem a se manter estáveis em relação ao seu tamanho, haja vista que algumas áreas de agricultura e pastagens poderão ser convertidas para esta classe, com taxas de 9,6% (valor de 0,096 na matriz de transição) e 7,9% (valor de 0,079 na matriz de

transição), nessa ordem. Segundo Rezende e Papa (2008), estudos de longo prazo têm comprovado a impressionante capacidade que as savanas tropicais tem de se recuperar dos distúrbios antrópicos, ou seja, desde que protegido para recuperação é possível uma revegetação gradual do Cerrado.

As variações no tamanho da área remanescente de Cerrado, simuladas para o período de 2010 a 2030, indicam que a redução estimada para o intervalo de 20 anos é de 1.916 hectares, resultando em uma média anual de 95,8 hectares nos seis municípios estudados. Estes dados ratificam os argumentos utilizados para demonstrar que a expansão da cana-de-açúcar na área de abrangência deste estudo, provavelmente, não exercerá influência significativa sobre as áreas remanescentes de Cerrado (figura 14).

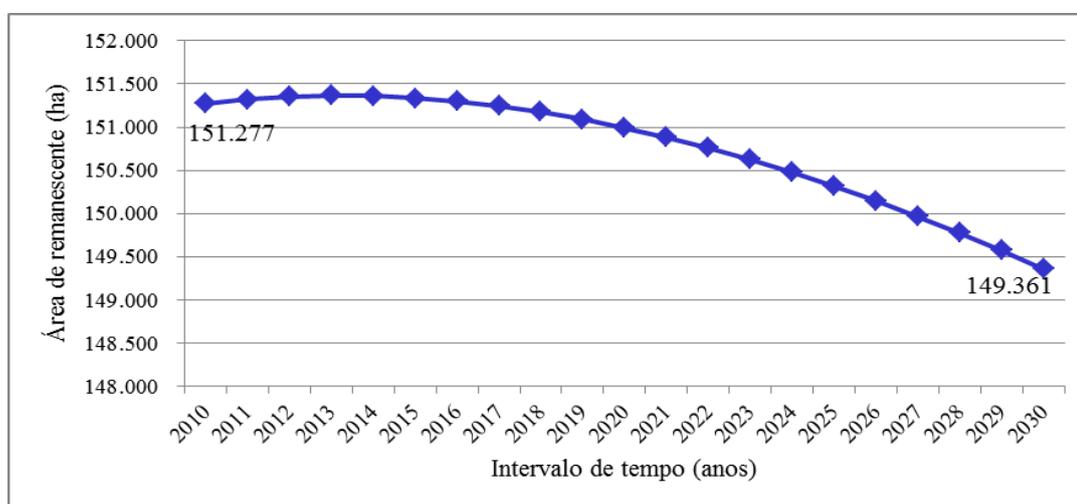


Figura 14 - Simulação das variações nas áreas de remanescentes de Cerrado nos municípios de Arcos, Bambuí, Iguatama, Japaraíba, Lagoa da Prata e Luz entre os anos de 2010 e 2030.

Tendo como parâmetros os dados quantitativos da cobertura e uso da terra em 2010 e as taxas líquidas da matriz de transição, calculou-se as alterações no tamanho das áreas (em hectares) resultante das conversões simuladas entre as classes de uso analisadas. Os resultados demonstram que, em termos percentuais, a classe que mais cederá área para a cana é a agricultura (48%), enquanto que, em termos absolutos, a maior área a ser convertida para a cana será aquela ocupada por pastagens, com um total de 45.487 hectares.

Em relação aos impactos ambientais, especificamente no que diz respeito às alterações provenientes de desmatamento de áreas de Cerrado, os dados indicam que aproximadamente 20 mil hectares poderão ser convertidos, sendo que a maior parte poderá ser destinada às pastagens (14.166 hectares). Em contrapartida, os resultados indicam que no processo dinâmico da paisagem é possível a ocorrência de mudanças que favoreçam a recuperação gradativa da vegetação natural do Cerrado. Neste caso, a pastagem se apresenta como a classe

de uso com maior potencial para conversão, sendo estimada a transformação de 13.444 hectares no período de 2010 a 2030 (tabela 12).

Tabela 12 - Simulação do processo de conversão entre as classes de uso da terra nos municípios de Arcos, Bambuí, Iguatama, Japaraíba, Lagoa da Prata e Luz, no período de 2010 a 2030, considerando-se um cenário favorável ao setor sucroalcooleiro.

De/Para	Agricultura	Cana-de-açúcar	Pastagem	Cerrado	Total
Agricultura		23.346	4.346	4.686	32.378 (i)
Cana-de-açúcar ¹¹	1.954		4.747	670	7.371(l)
Pastagem	10.733	45.487		13.444	69.664(n)
Cerrado	2.476	3.576	14.166		20.219(p)
Total	15.163 (j)	72.409(m)	23.259(o)	18.801(q)	

Estudo desenvolvido por Ribeiro (2010) apresenta resultados com tendências semelhantes em relação às projeções futuras para a expansão canavieira no Cerrado. De acordo com a autora, até o ano de 2035, o cultivo de cana-de-açúcar tenderá a ocorrer sobre áreas já ocupadas com agricultura, provavelmente temporárias, e pastagens. Tal estudo aponta que as áreas de remanescentes poderão sofrer um pequeno impacto, pois a área onde a cana-de-açúcar tende a ocupar até 2035 já se encontra sob forte pressão antrópica.

Dando prosseguimento à análise dos resultados obtidos nesta pesquisa, os mesmos indicam que as lavouras de cana-de-açúcar poderão aumentar em área plantada a uma taxa anual média de 6,8% nos seis municípios que compõem este estudo. Caso se confirme este prognóstico, o crescimento da área plantada em 2030 será de 129,6%, se comparado aos dados de 2010, devendo ocorrer com maior vigor nos municípios de Luz, Bambuí e Iguatama. Os dados apresentados na figura 15 indicam que a expansão da cana no Centro-Oeste mineiro se dará prioritariamente sobre áreas de agricultura (35,4%) e pastagens (27,2%). Este resultado reproduz o padrão de ocupação da cana-de-açúcar observado em importantes regiões produtoras, como o caso de São Paulo, Sul de Goiás e o Triângulo Mineiro.

¹¹ Apesar de a cana-de-açúcar ser uma cultura agrícola, durante o processo de modelagem a mesma foi analisada separadamente, haja vista, que a investigação do processo de expansão da cana no Centro-Oeste mineiro ser o objetivo da pesquisa.

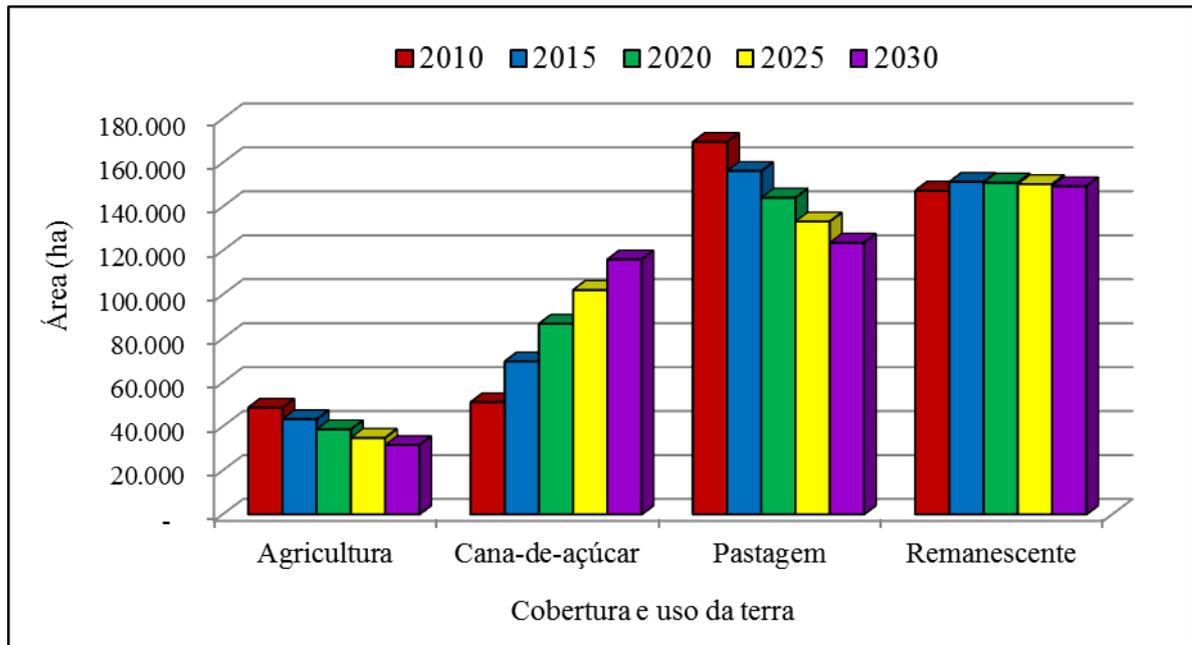


Figura 15 - Simulação das variações na cobertura e uso da terra nos municípios de Arcos, Bambuí, Iguatama, Japaraíba, Lagoa da Prata e Luz para os anos de 2015, 2020, 2025 e 2030.

A boa notícia, do ponto de vista ambiental, é que a área de remanescente de Cerrado nos municípios estudados se manterá praticamente estável, com variação de apenas 1,3% no período simulado (2010 a 2030), o que indica que a expansão da cana na região não exercerá pressão sobre a vegetação nativa do bioma. Todavia, é sabido que de uma forma geral a expansão da cana-de-açúcar sobre as áreas de Cerrado tem provocado mudanças diretas e indiretas sobre a cobertura e uso da terra (PIAU, 2012). As primeiras ocorrem pela substituição de áreas de agricultura e pastagens pelas lavouras de cana, enquanto as indiretas são consequências do deslocamento destas atividades, em razão da pressão pelo uso do solo, o que gera, evidentemente, diversos impactos ambientais.

Existem diversos mecanismos que permitem avaliar com exatidão a expansão da cana sobre áreas antropizadas ou nativas. Contudo, segundo Piau (2012), estudos de mudança indireta do uso do solo não são comuns no Brasil e mesmo nos Estados Unidos e na Europa os debates têm sido realizados de forma inconclusiva, devido a muitas incertezas na identificação da causalidade da mudança nas escalas regionais e nacionais. Considerando os prognósticos de aumento da área plantada da cana-de-açúcar sobre as áreas de Cerrado, entende-se que são necessários novos estudos sobre os efeitos indiretos das mudanças no uso do solo, de modo a obter resultados que permitam uma melhor compreensão dos possíveis impactos ambientais resultantes deste processo.

Cabe destacar que os cenários futuros ora discutidos para a cobertura e uso da terra, por meio de técnicas de modelagem em sistemas ambientais (plataforma DINAMICA EGO, SOARES-FILHO *et al.* 2002, SOARES-FILHO 2006), indicam uma probabilidade de mudança na paisagem com base na realidade observada em 2005 e 2010 (mapas temáticos contendo o uso da terra nos anos de 2005 e 2010, além de taxas de cultivos). Os resultados aqui apresentados poderão sofrer alterações significativas por eventos que venham a ocorrer futuramente, haja vista que as mudanças no uso da terra são processos dinâmicos, complexos e não lineares, fruto do contexto político, econômico e social.

4.5. Considerações

O setor sucroenergético brasileiro ainda está passando por certas dificuldades econômicas, fruto da crise financeira mundial ocorrida em 2008, e da atual política governamental de manter os preços da gasolina no mercado interno, abaixo das cotações internacionais. Entretanto, a perspectiva retratada no PNE 2030 é de recuperação gradual em função do aumento da frota de veículos *flexfuel* e da competitividade comercial do etanol.

Os resultados obtidos neste estudo demonstram que a recente expansão das lavouras de cana-de-açúcar no Centro-Oeste mineiro ocuparam prioritariamente as áreas de agricultura e pastagens. De uma forma geral, este tem sido o padrão de ocupação observado em outras regiões produtoras no país. Diversos estudiosos concordam que este processo é determinado, na maioria dos casos, pelo maior nível de investimento do setor, o que possibilita aos proprietários da terra vislumbrar uma maior renda.

Entre os municípios que compõem a área deste estudo, no período de 2005 a 2010 as culturas que mais cederam espaço para a cana-de-açúcar foram o milho e a soja. Por outro lado as lavouras de feijão e café não sofreram alterações negativas de área plantada; ao contrário, naquele período ocorreu uma expansão destas duas culturas. As simulações realizadas para o ano de 2030, sob um contexto favorável ao setor sucroalcooleiro, indicam que as áreas remanescentes de Cerrado, localizadas no Centro-Oeste mineiro, não sofrerão reduções significativas no período de tempo compreendido entre os anos de 2010 e 2030.

Em relação aos cenários simulados neste estudo e que serviram como parâmetro para projeções futuras sobre o uso da terra, reportamo-nos a Gricio (2008), para dizer que a modelagem dinâmica tem como uma das suas principais características a capacidade de receber novas informações e incorporá-las ao sistema, permitindo a simulação de novos

cenários futuros. Para tanto, faz-se necessária a atualização do banco de dados, inclusas as novas variáveis que retratem a dinâmica espacial e temporal da paisagem investigada. Portanto, tais estudos com uso de modelagem de cenários poderão ser úteis na identificação de tendências de uso e ocupação da terra, proporcionando subsídios para o planejamento da gestão territorial e/ou ações mitigadoras para possíveis impactos ambientais.

Embora se reconheça a importância socioeconômica do setor sucroenergético, é nítida a preocupação de ONGs e da sociedade em geral em relação aos impactos ambientais decorrentes do avanço da cana-de-açúcar em áreas do Cerrado. A diversidade de fatores relacionados às mudanças no uso do solo, a ausência de pesquisas sobre o tema na área de abrangência deste estudo e as especificidades regionais, comprovam a necessidade de novas investigações que possam analisar os principais impactos ambientais resultantes da expansão canavieira na região Centro-Oeste de Minas Gerais. Portanto, por não ser este o foco deste estudo, mas reconhecendo sua relevância, recomenda-se que o mesmo possa ser abordado em pesquisas futuras.

4.6. Referências bibliográficas

ABDALA, K. O. **Dinâmica de competição agropecuária pelo uso do solo no estado de Goiás e implicações para a sustentabilidade dos recursos hídricos e remanescentes florestais**. Tese (Doutorado) Universidade Federal de Goiás. Programa Multidisciplinar de Doutorado em Ciências Ambientais (CIAMB) 2012.

ABDALA, K. O.; RIBEIRO, F. L. **Análise dos Impactos da Competição pelo Uso do Solo no Estado de Goiás Durante o Período 2000 a 2009 Provenientes da Expansão do Complexo Sucroalcooleiro**. RBE Rio de Janeiro v. 65 n. 4 / p. 373–400 Out-Dez 2011.

ABDALA, K. O.; CASTRO, S. S. **Dinâmica de uso do solo da expansão sucroalcooleira na microrregião meia ponte, Estado de Goiás, Brasil**. Revista Brasileira de Cartografia, nº 62/04, 10 2010.

ABRAMOVAY, R. (Org.) **Biocombustíveis: a energia da controvérsia**. São Paulo: Editora Senac, 2009.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2021**. Brasília: MME/EPE, 2012.

_____. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030 (PNE) v. 2**. Ministério de Minas e Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2007.

_____. **Zoneamento Agroecológico da Cana-de-Açúcar (ZAE)**. Brasília: EMBRAPA, 2009.

BRITO, J. L. S.; REIS, L. N. G. **Mapeamento das áreas de conversão do uso da terra para cana-de-açúcar na mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba-MG por meio de imagens TM/LANDSAT**. Caminhos de Geografia, v. 13, n. 41 p. 170–186 Uberlândia, 2012.

CASTRO, S. S.; ABDALA, K.; SILVA, A. A.; BÔRGES, V. M. S. **A expansão da cana-de-açúcar no Cerrado e no estado de Goiás: Elementos para uma análise espacial do processo**. Boletim Goiano de Geografia. Goiânia, v. 30, n. 1, p. 171-191, jan./jun. 2010

DIAS-FILHO, M. B. **Os desafios da produção animal em pastagens na fronteira agrícola brasileira**. Revista Brasileira de Zootecnia. v.40, p.243-252, 2011.

GRICIO, A. M. **Evolução da paisagem do baixo curso do Rio Piranhas-Assu (1988-2024): uso de autômatos celulares em modelo dinâmico espacial para simulação de cenários futuros**. Tese de Doutorado. UFRN, 2008.

HAYKIN, S. **Redes Neurais: princípios e práticas**. Porto Alegre: Bookman, 2000. 900 p.

HOFFMANN, R. **Segurança alimentar e produção de etanol no Brasil**. Segurança Alimentar e Nutricional, Campinas, 13:1–5, 2006.

KOHLHEPP, G.; **Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil**. Estudos Avançados. Nº 24. v. 68. São Paulo, 2010.

LIBONI, L. B.; CEZARINO, L. O. **Impactos sociais e ambientais da indústria da cana-de-açúcar**. Future Studies Research Journal, São Paulo, v. 4, n. 1, pp. 202 - 230, jan./jun. 2012.

LIMA, D. A. L. L. **Estrutura e expansão da agroindústria canavieira no Sudoeste Goiano: impactos no uso do solo e na estrutura fundiária a partir de 1990**. Tese (Doutorado). Instituto de Economia. Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Campinas, 2010.

MACEDO, I. C. (Org.). (2005). **A energia da cana-de-açúcar**. São Paulo: UNICA.

MARIN, F.; NASSIF, D. S. P. **Mudanças climáticas e a cana-de-açúcar no Brasil: Fisiologia, conjuntura e cenário futuro**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 17, nº 2, p. 232-239, 2013.

MATHEWS, J. **Biofuels: What a Biopact between North and South could achieve**. Energy Policy, 35, 3550-3570, (2007).

MIZIARA, F. **Expansão da Lavoura de Cana em Goiás e Impactos Ambientais**. In: XIV Congresso Brasileiro de Sociologia, 2009, Rio de Janeiro. Anais do XIV Congresso Brasileiro de Sociologia, v. 1, 2009.

_____, F. **Expansão de fronteiras e ocupação do espaço no Cerrado: o caso de Goiás**. In: GUIMARÃES, L. D *et al.* (org.). Natureza Viva: Cerrado. 1ª ed. Goiânia: Editora da UCG, pp. 169-196, 2006.

MURILLO HERNÁNDEZ, D. I. **Efeitos da produção de etanol e biodiesel na produção agropecuária do Brasil**. Dissertação (Mestrado) Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília (UNB), Brasília, 2008.

PEREIRA, M. F. V. **Os agentes do agronegócio e o uso do território no Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba: Da moderna agricultura de grãos à expansão recente da cana-de-açúcar**. Revista do Departamento de Geografia – USP, Volume 23, p. 83-104, 2012.

PEREIRA, M. C. **A expansão da cadeia sucroalcooleira em Mato Grosso do Sul, Dinâmica e Determinantes**. Dissertação (Mestrado em Agronegócios). Departamento de Economia e Administração. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2007.

PITTA, F. T.; MENDONÇA, M. L. **O etanol e a reprodução do capital em crise**. AGRÁRIA, São Paulo, No. 13, pp. 4-33, 2010

OLIVEIRA, E. G.; FERREIRA, M. E.; ARAÚJO, F. M. **Diagnóstico sobre o uso da terra na região Centro-Oeste de Minas Gerais, Brasil: A renovação da paisagem pela cana-de-açúcar e seus impactos socioambientais**. Revista Sociedade Natureza. UFU. Ano 24 n.3 set/dez 2012.

REZENDE, A. V.; PAPA, D. A. **Revegetação natural de áreas antropizadas**. Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente – SEDUMA. Brasília – DF – Brasil 2008.

RIBEIRO, N. V. **Expansão sucroalcooleira no bioma Cerrado**. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Goiás, Instituto de Estudos Sócio-Ambientais. 2010

RODRIGUES, B. R. **Estoques Reguladores de Etanol Combustível Frente à Introdução dos Veículos Flex Fuel na Frota Nacional**. Dissertação (Mestrado) Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE/Programa de Planejamento Energético, 2012.

SALGADO BEHAINE, J. J. **Análise de fatores condicionantes da decisão de implantação de usinas sucroalcooleiras no Estado de Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa (UFV), 2012.

SANTOS, C. T.; FAVARO, F.; PARENTE, V. **Previsão de fabricação de carros bicomcombustíveis e de demanda de etanol no Brasil em 2014**. Future Studies Research Journal. v. 2, n. 3, pp. 85 – 98, 2010.

SANTOS, M. F. R. F.; BORSCHIVER, S.; COUTO, M. A. P. G. **O complexo agroindustrial da cana-de-açúcar no Brasil: uma discussão sobre aspectos atuais relacionados ao etanol biocombustível**. Economia & Tecnologia - Ano 07, Vol. 24 - Janeiro/Março de 2011.

SAUER, S.; PIETRAFESA J. P. **Cana-de-açúcar, financiamento público e produção de alimentos no Cerrado**. Campo-Território: revista de geografia agrária, v. 7, n. 14, p. 1-29, ago., 2012

SIAMIG, Estatísticas. Sindicato da Indústria do Álcool de Minas Gerais, Belo Horizonte, disponível em <http://www.siamig.com.br>, 2011.

SILVA, J. F. **Degradação ambiental a partir da cultura da cana-de-açúcar, no município de Itapororoca** – PB. Monografia (TCC) – Universidade Estadual da Paraíba, Guarabira: UEPB, 2010.

SILVA, W. F.; PEIXINHO, D. M. **A expansão do setor sucroenergético em Goiás: a contribuição das políticas públicas**. Campo-Território: revista de geografia agrária, v. 7, n. 13, p. 97-114, fev., 2012.

SILVA, A. A.; MIZIARA, F. **Avanço do setor sucroalcooleiro e expansão da fronteira agrícola em Goiás**. Pesq. Agropec. Trop., Goiânia, v. 41, n. 3, p. 399-407, jul./set. 2011

SOARES FILHO, B.S.; PENNACHIN, C. L.; CERQUEIRA, G. **DINAMICA – A stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier**. Ecological Modelling, v. 154, n. 3, p. 217-235, 2002.

SOARES-FILHO, B. S.; NEPSTAD, D; CURRAN, L.;VOLL, E.; CERQUEIRA, G.; GARCIA, R. A.; RAMOS, C. A.; MCDONALD, A; LEFEBVRE, P., SCHLESINGER, P. **Modeling conservation in the Amazon basin**. Nature, v. 440, p. 520-523, 2006.

SOUZA, F. R. **Impacto do preço do petróleo na política energética mundial**. Dissertação (Mestrado em Ciências em planejamento energético). Programa de Pós-Graduação de Engenharia. Universidade Federal do Rio de Janeiro. COPPE/UFRJ. 2006.

SCHMIDHUBER, J. **Die Industriestaaten sollten die Bioenergie nicht fördern**. Neue Zürcher Zeitung, 107, p.30, 2008.

TOLMASQUIM, M. T. **Perspectivas e planejamento do setor energético no Brasil**. Estudos Avançados 26 (74), 2012.

THOMAZ, L. F.; CARVALHO, C. E. **A crise das tortillas no México (2007): Alta das commodities, instabilidade financeira e segurança alimentar**. Anais do III Simpósio de Pós-Graduação em Relações Internacionais do Programa “San Tiago Dantas” (UNESP, UNICAMP e PUC/SP), 2011.

5. Conclusões

O crescimento do setor sucroenergético brasileiro, ocorrido nos últimos anos, deve-se a uma conjuntura favorável, com destaque para o aumento da frota nacional de veículos leves com motores flexfuel, à volatilidade dos preços do petróleo no mercado internacional e à busca por fontes de energia alternativas aos combustíveis fósseis. Neste mesmo período, as lavouras de cana-de-açúcar, principal matéria prima deste setor, foram expandidas de forma significativa, sobretudo em áreas do bioma Cerrado localizadas na região centro sul do país.

Os elevados custos de produção em São Paulo, principal estado produtor de açúcar e etanol, fomentou a instalação de usinas e o cultivo da cana-de-açúcar em outras regiões, com destaque para os estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais. No caso de Minas Gerais, a região do Triângulo Mineiro destaca-se como principal produtora, ainda que novas unidades industriais tenham sido implantadas em outras regiões, como no Noroeste e Centro-Oeste do estado.

No caso do Centro-Oeste mineiro, área abrangida por este estudo, constatou-se que o aumento das lavouras intensificou-se a partir de 2006, com a implantação de uma usina de etanol de grande porte no município de Bambuí. Naquela mesma região, em Lagoa da Prata, a usina existente passou por uma ampliação na sua capacidade de produção de açúcar e etanol. Além dos municípios nos quais se localizam tais usinas, os investimentos realizados nos parques industriais potencializaram o aumento das lavouras de cana em Arcos, Iguatama, Japaraíba e Luz. Os resultados obtidos nesta pesquisa demonstram que, entre 2005 e 2010, o aumento da área plantada de cana nestes seis municípios foi de 120%, com incidência prioritária sobre áreas de agricultura e pastagens.

Ao avaliar os fatores fisiográficos determinantes para a expansão da cana no Centro-Oeste mineiro, constatou-se que a topografia favorável (áreas levemente onduladas), disponibilidade de terras próximas às usinas e áreas já cultivadas, bem como a existência de uma boa malha viária, favorecem a expansão das lavouras naquela região. Por outro lado, os coeficientes obtidos nesta pesquisa indicam que a rede de drenagem não exerceu influência significativa no aumento da área plantada de cana. Em relação aos tipos de solos, observou-se uma tendência do cultivo da cana nos latossolos amarelo e vermelho que, aliás, são os mais comuns no Cerrado, em particular na área deste estudo.

Os resultados deste estudo corroboraram com a hipótese de que o aumento da área plantada de cana provocou um reordenamento na produção agrícola no Centro-Oeste mineiro,

com impactos diretos sobre a cobertura e uso da terra. O maior nível de investimento, associado a um pacote tecnológico mais robusto, favoreceu a cana-de-açúcar na competição pelas melhores terras. Entre os anos de 2005 e 2010, ocasião em que a cana expandiu fortemente, registrou-se uma diminuição da área plantada de soja e milho nos municípios que compõem esta pesquisa. A análise destes dados indica que tais culturas cederam espaço para as lavouras de cana naquela região.

Conforme preconizado por Miziara (2006), os investimentos no agronegócio estão associados à obtenção de lucros advindos da aplicação do capital. Portanto, as atividades agrícolas com maior rentabilidade se mostram mais competitivas na ocupação e uso da terra. Parece ter sido este o padrão observado na área deste estudo, uma vez que as culturas de feijão, café e cana cresceram em área plantada durante o período investigado, enquanto a soja e o milho, conforme já mencionado, apresentaram uma redução da área cultivada.

Em relação às projeções futuras para a cobertura e uso da terra, esta pesquisa analisou dois cenários distintos para o ano de 2030, obtidos por meio de técnicas de modelagem ambiental. A opção pelo horizonte temporal deve-se ao fato de ser este o intervalo abrangido pelo Plano Nacional de Energia (PNE 2030), elaborado pelo Ministério das Minas e Energia, e utilizado pelo Governo Federal para balizar o planejamento de longo prazo para o setor energético no país.

As projeções obtidas para o primeiro cenário simulado, para o qual utilizou-se como parâmetro as taxas referentes ao intervalo entre 1995 e 2000, indicam que nos próximos 20 anos a área plantada de cana nos municípios que compõem este estudo poderá diminuir em 24,7%. Possivelmente, este cenário se daria apenas em caso de forte crise no setor, sendo que o espaço cedido pela cana seria ocupado por outros cultivos comerciais, com aumento em torno de 40% até o ano de 2030. Em relação às pastagens e áreas remanescentes de Cerrado na região, as mesmas se manteriam praticamente estáveis, com pequenas variações percentuais.

O segundo cenário futuro, produzido com taxas que representam o contexto vivido entre os anos de 2005 e 2010, apresentou-se bastante favorável ao setor sucroenergético. Os resultados obtidos indicam que, se mantidos níveis de governança semelhantes aos registrados naquele período, as lavouras de cana na região Centro-Oeste de Minas Gerais poderão se expandir a uma taxa média de 6,35% ao ano até 2030, o que resultaria num incremento de cerca de 72.000 hectares de cana para esta região de cultivo. Neste caso, o aumento das lavouras de cana se daria preferencialmente sobre áreas de agricultura e pastagens, as quais sofreriam reduções de 35% e 27%, respectivamente.

As simulações de cenários futuros, produzidas neste estudo, apontaram tendências resultantes de um dado contexto socioeconômico, o qual contempla uma diversidade de fatores relacionados às mudanças no uso do solo e às especificidades regionais. Considerando que se trata de um processo dinâmico, possíveis variações nas projeções aqui obtidas poderão ocorrer. A modelagem ambiental tem como uma das suas principais características a capacidade de receber novas informações e incorporá-las ao sistema, permitindo a obtenção de resultados atualizados. Para tanto, faz-se necessária a atualização do banco de dados, inclusas as novas variáveis que retratem a dinâmica espacial e temporal da paisagem investigada.

É indiscutível que esta temática, no contexto aqui apresentado, não se esgota com esta tese. Portanto, sugere-se estudos complementares incorporando novas variáveis e/ou metodologias, que permitam analisar os impactos diretos e indiretos da expansão canavieira em relação à competição pelo uso da terra. Entende-se, ainda, que a realização de novas pesquisas científicas, que possam investigar os impactos ambientais advindos da expansão das lavouras de cana-de-açúcar, sejam de grande relevância para outras regiões do bioma Cerrado.

**APÊNDICE I - RELATÓRIO DO TRABALHO DE CAMPO REALIZADO NOS
MUNICÍPIOS DE ARCOS, BAMBUÍ, IGUATAMA, JAPARAÍBA, LAGOA DA
PRATA E LUZ**



Doutorando: Edmar Geraldo de Oliveira (IFMG)

Orientador: Prof. Dr. Fausto Miziara (CEDIM/UFG)

Co-orientador: Prof. Dr. Manuel Eduardo Ferreira (LAPIG/UFG)

Julho/2013

Introdução

A primeira parte desta pesquisa de doutorado consistiu em um diagnóstico sobre o uso e ocupação do solo na região Centro-Oeste de Minas Gerais em quatro recortes temporais contemplando os anos de 1995, 2000, 2005 e 2010. Para tanto, utilizou-se imagens do sensor LANDSAT-5-TM, para as quais se aplicaram o método de classificação supervisionada por Máxima Verossimilhança (MAXVER), seguido por interpretação visual.

Os resultados obtidos indicaram um expressivo crescimento das lavouras de cana-de-açúcar na região, especialmente partir do ano de 2006, ratificando os dados disponíveis nas plataformas do IBGE (produção agrícola municipal) e do Canasat - INPE. Desta forma foi possível fazer uma análise da dinâmica da vegetação naquela região, com ênfase na expansão das áreas plantadas de cana-de-açúcar, destacando-se os efeitos deste processo sobre o uso e ocupação do solo. Entretanto, naquela ocasião não foi possível validar em campo os mapas produzidos em laboratório, sendo este trabalho realizado no período de 15 a 19/07/2013 e os resultados apresentados neste relatório.

Cabe registrar que o artigo produzido a partir deste estudo e intitulado “Diagnóstico do uso da terra na região Centro-Oeste de Minas Gerais, Brasil: a renovação da paisagem pela cana-de-açúcar e seus impactos socioambientais”, foi publicado na Revista Sociedade & Natureza (UFU) em dezembro de 2012 (ano 24 n.3, p. 545-556).

Toda representação cartográfica é sempre uma aproximação da realidade (BATISTA, *et al*, 2010), portanto, o trabalho de campo representa uma fase importante dentro da pesquisa, uma vez que, através dele pode-se ou não comprovar os resultados obtidos em laboratório. De acordo com Motta *et al.* (2001), a coleta dos dados de referência, ou seja, aqueles que representam a situação real de campo à época da obtenção da imagem, é uma parte essencial de qualquer projeto de classificação de alvos presentes na área de estudo.

Sendo assim, buscou-se comprovar neste trabalho de campo os dados classificados em ambientes SIG com ênfase na área plantada de cana-de-açúcar nos municípios de Arcos, Bambuí, Iguatama, Japaraíba, Lagoa da Prata e Luz. Para tanto, utilizou-se a imagem mais recente (2010) em termos de recorte temporal para plotar os pontos do trabalho de campo.

Objetivos

1. Validar em campo o mapa de uso e ocupação do solo, classificado em ambiente SIG, com ênfase na área cultivada com cana-de-açúcar nos municípios de Arcos, Bambuí, Iguatama, Japaraíba, Lagoa da Prata e Luz.
2. Investigar a percepção dos representantes de empresas e/ou instituições relacionadas ao setor sucroalcooleiro quanto aos efeitos sociais, ambientais e econômicos resultantes da expansão canavieira no Centro-Oeste mineiro.

Materiais e métodos

Para se alcançar os objetivos propostos neste trabalho de campo, os procedimentos metodológicos utilizados foram os seguintes:

Optou-se pelo tipo de entrevista semi-estruturada, a qual segundo Triviños (1987, p. 146) tem como característica questionamentos básicos que são apoiados em teorias e hipóteses que se relacionam ao tema da pesquisa, e que, em seguida, oferecem amplo campo de interrogativas, fruto de hipóteses que vão surgindo à medida que se recebem as respostas do informante, sendo o foco principal colocado pelo investigador-entrevistador.

A composição da amostra foi feita pelas instituições e/ou empresas que possuem relação direta com a expansão canavieira nos municípios contemplados no estudo. As instituições e/ou empresas selecionadas foram as seguintes: EMATER (Arcos, Bambuí, Iguatama, Japaraíba e Luz), Sindicatos de trabalhadores rurais (Arcos, Japaraíba e Lagoa da Prata), Sindicato dos produtores rurais (Bambuí, Iguatama e Luz) Instituto Estadual de Florestas (IEF - Arcos), Secretarias Municipais de Agricultura e/ou Meio Ambiente (Arcos, Bambuí, Iguatama, Japaraíba, Lagoa da Prata e Luz), IFMG – Campus Bambuí e as Usinas Bambuí Bioenergia (Bambuí) e LDC BioSev (Lagoa da Prata).

Para a plotagem dos pontos a serem visitados em campo, utilizou-se inicialmente o ArcGis 9.3, para fazer a sobreposição da malha viária ao mapa de uso e ocupação do solo (2010). Para a definição dos polígonos (pontos) estabeleceu-se os seguintes critérios:

1. Estabeleceu-se um raio para distâncias de até 5 km das rodovias que interligam as sedes dos municípios. São elas: MG 429 (entre Bambuí e Arcos), MG 170 (entre Arcos – Lagoa da Prata – Moema), BR 262 (entre Moema e Luz) e MG 176 (entre Luz e Bambuí).

2. Estabeleceu-se um raio para distâncias de até 5 km das usinas Bambuí Bioenergia (Bambuí) e LDC BioSev (Lagoa da Prata).

Tendo como parâmetro os critérios supracitados, foram selecionados 31 pontos (polígonos) previamente classificados em laboratório para o trabalho de validação em campo nos municípios de Arcos, Bambuí, Iguatama, Japaraíba, Lagoa da Prata e Luz (figura 16).

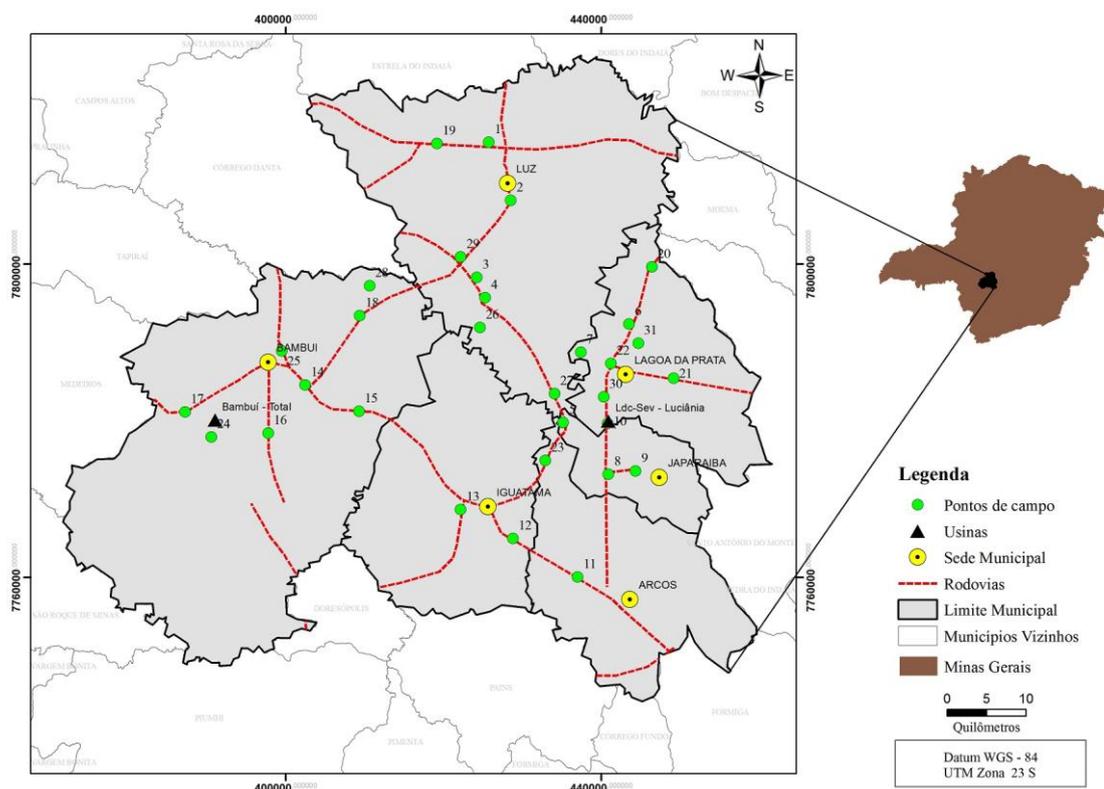


Figura 16 - Polígonos pré-selecionados para validação da área plantada de cana-de-açúcar nos municípios de Arcos, Bambuí, Iguatama, Japaraíba, Lagoa da Prata e Luz.

As 31 coordenadas geográficas pré-selecionadas foram trabalhadas no software TrackMaker e inseridas em um receptor GPS (sistema de posicionamento global por satélite), sendo as mesmas utilizadas para orientação e localização dos pontos em campo.

No campo também foram realizados registros fotográficos, a fim de identificar e comprovar informações relevantes à pesquisa, além de adquirir dados sobre a longitude, latitude e altitude dos pontos mais próximos às coordenadas pré-selecionadas (quando não foi possível chegar ao ponto exato), o que contribuiu para o registro das imagens e caracterização da paisagem.

Todo o trajeto realizado durante o trabalho de campo foi registrado por um receptor GPS e poderá ser analisado por meio do Google Earth, o que permite, além da visualização da rota percorrida, observar diversos aspectos geográficos da região. Do total de 31 pontos pré-

determinados, 26 foram identificados em campo, o que representa 83,9% da amostra. Os demais pontos (5) não foram localizados em função da dificuldade de acesso, não sendo possível considerá-los para efeito de validação da área plantada de cana-de-açúcar na região.

Entrevistas e coleta de dados

As entrevistas foram realizadas com objetivo de obter informações sobre o processo de expansão da cana-de-açúcar e a percepção quanto às consequências sociais, econômicas e ambientais oriundas deste movimento na região abrangida pelo estudo.

Inicialmente foram feitos contatos telefônicos com todas as instituições e/ou empresas instaladas nos municípios de abrangência do estudo e previamente definidas para compor a amostra da pesquisa. Posteriormente foram encaminhados ofícios cujo conteúdo contemplava uma síntese do estudo, seus objetivos e solicitava o agendamento para a realização das entrevistas.

Os responsáveis pelos escritórios da EMATER em Iguatama e Luz tinham férias programadas para o período do trabalho de campo e se comprometeram a responder as questões da entrevista e enviar por e-mail. No dia 16/07/2013, data programada para a realização das atividades no município de Arcos era feriado municipal, razão pela qual não foi possível conversar com os responsáveis pelo IEF, Secretaria Municipal de Agricultura e Meio Ambiente e Sindicato Rural, entretanto, estes se comprometeram a responder as questões e devolver por e-mail. O Coordenador do curso de açúcar e álcool do IFMG – Campus Bambuí, Sindicato Rural dos municípios de Luz e Bambuí também não puderam responder a entrevista no período do trabalho de campo e ficaram de responder por e-mail.

Os demais representantes das instituições participantes foram entrevistados pelo pesquisador, conforme agenda descrita na tabela 13. As 14 entrevistas realizadas foram gravadas (áudio) com autorização prévia dos participantes. Este recurso é indicado para permitir que seja ampliado o poder de registro e captação de elementos de comunicação de extrema importância, pausas de reflexão, dúvidas ou entonação da voz, aprimorando a compreensão da narrativa (SCHRAIBER, 1995).

Tabela 13 - Agenda de entrevistas realizadas com representantes da EMATER, Secretarias Municipais de Agricultura e/ou Meio Ambiente, Sindicatos de trabalhadores rurais, Bambuí bioenergia, IFMG – Campus Bambuí.

	15/07/2013	16/07/2013	17/06/2013	18/07/2013	19/07/2013
8:00 as 9:00	Entrevista com o Sr. José Claudio Augusto, representante da EMATER em Bambuí.		Entrevista com o Sr. Sebastião J. Lopes, Presidente do Sindicato dos Trabalhadores rurais de Japaraíba.	Entrevista com o Sr. Nelson R. de Paula, Presidente do Sindicato dos Trabalhadores Rurais de Lagoa da Prata.	Entrevista com o Sr. Áureo Pereira, Diretor Geral Substituto do IFMG - Campus Bambuí.
9:00 as 10:00		Entrevista com o Sr. Zenaido Lima, representante da EMATER em Arcos.	Entrevista com o Sr. Sidnei Silva, representante da EMATER em Japaraíba.	Entrevista com o Sr. João Nogueira Júnior, Secretario Municipal de Meio Ambiente de Lagoa da Prata.	
10:00 as 11:00	Entrevista com o Sr. Diego Borges representante da Secretaria Municipal de Agricultura e Meio Ambiente de Bambuí.		Entrevista com a Srª Lenir Moreira, responsável pelo Departamento Municipal de Meio Ambiente de Japaraíba.		
13:00 as 14:00		Entrevista com a Srª Luiza Leão, Secretária Municipal de Agricultura e Meio Ambiente de Iguatama.		Entrevista com a Sra. Lourdes Miriam Raposo, Secretária Municipal de Agricultura e Meio Ambiente de Luz.	
14:00 as 15:00	Entrevista com o Sr. Rodrigo Sorrage, engenheiro responsável pelo setor agrícola Usina Bambuí Bioenergia.	Entrevista com o Sr. Adriano Apolinário, Presidente do Sindicato Rural de Iguatama.	Entrevista com o Sr. José Lucas Marinho, Engenheiro Ambiental da Usina BioSev (Lagoa da Prata) – <i>estivemos ao local e não fomos recebidos.</i>		
15:00 as 16:00	Visita as instalações da Usina Bambuí Bioenergia.		Visita as instalações da Usina LDC BioSev. <i>Não foi realizada</i>		

Roteiro para realização das entrevistas

O roteiro da entrevista foi elaborado considerando-se a vivência do pesquisador e de seus orientadores de tese, bem como a literatura sobre o tema em estudo.

1. Existe no seu município ou na região algum órgão ou entidade que faz (ou já tenha feito) um monitoramento da área plantada de cana-de-açúcar? Em caso positivo quais são eles?
2. Existem dados atualizados sobre o tamanho da área cultivada com cana-de-açúcar no seu município ou região? Em caso positivo, qual a área ocupada pela cana (em ha) e qual a fonte destes dados?
3. Você tem conhecimento de algum trabalho científico sobre a expansão da cana-de-açúcar na região Centro-Oeste de Minas (ou na região Central Mineira)? Em caso positivo lembra-se do autor e/ou instituição responsável?
4. Em relação ao uso e ocupação da terra, quais foram os principais espaços ocupados pelas lavouras de cana-de-açúcar no seu município e/ou região? (agricultura, pastagens, vegetação nativa, pastagens degradadas, reflorestamento, entre outros).
5. Quais foram os fatores determinantes para a expansão das lavouras de cana-de-açúcar no município e/ou região? (clima, infraestrutura viária, tipo de solos, preços da terra, incentivos fiscais, etc).
6. Fale um pouco sobre o processo de compra e/ou arrendamento de terras por parte das Usinas. Quais os principais motivos que levaram muitos agricultores a vender ou arrendar suas terras para a usina?
7. Quais as terras foram mais valorizadas pelas Usinas para o cultivo da cana-de-açúcar? Qual o peso de fatores como fertilidade dos solos, declividade, proximidade das rodovias, rios, etc.? Como ocorreu este processo?
8. Sob o ponto de vista econômico (aumento da renda, aquecimento do comércio local, valorização imobiliária, arrecadação municipal, etc) você considera que a expansão canavieira proporcionou benefícios para o município? Em caso positivo, quais foram estes benefícios?
9. No que diz respeito a questão social (geração de empregos, assistência médica/odontológica, acesso a atividades de lazer, etc) você acredita que expansão da cana na região foi positiva, negativa ou não exerceu influência? Porque?
10. Qual sua análise em relação à expansão da cana e os impactos ambientais decorrentes deste processo (consequências que podem ser observadas na fauna, flora e rios)?

11. Você sabe dizer se nas propriedades onde é cultivada a cana-de-açúcar que abastece a usina existe a demarcação de áreas de reserva legal (APPs)?
12. Como é feita a colheita (corte) da cana, manual ou mecanizada? Quais as principais consequências deste processo para o meio ambiente e as pessoas em geral?
13. Qual sua expectativa em relação ao setor sucroalcooleiro para os próximos anos na região Centro-Oeste de Minas Gerais?
14. O novo código florestal afeta de alguma forma o processo de expansão das lavouras?

Visitas às usinas de álcool e açúcar

Na área de abrangência deste estudo existem duas grandes usinas produtoras de açúcar e etanol que absorvem a produção canavieira da região: a LDC Biosev e a Bambuí Bioenergia.

A LDC Biosev está instalada no município de Lagoa da Prata (figura 17), tendo iniciado suas atividades em 1945, cujo primeiro nome foi Usina São Francisco. Durante a década de 1970, passou a ser denominada Usina Luciânia, em homenagem ao proprietário daquele período, Antônio Luciano Pereira. (MACIEL, 2010).

Em 2001 a usina Luciânia foi adquirida pelo grupo empresarial Louis Dreyfus Commodities e em 2006 passou por um processo de expansão, aumentando desta forma sua capacidade de moagem para cerca 2,4 milhões de toneladas de cana-de-açúcar por safra. Sua produção por safra atinge em média 3,5 milhões de sacas (50kg) de açúcar e mais 90 milhões de litros de etanol. Além dos produtos derivados da cana-de-açúcar, a usina de Lagoa da Prata possui capacidade instalada para produção de 85 MW de energia elétrica, gerada a partir da queima do bagaço da cana.

O nosso contato na empresa foi com o engenheiro ambiental Sr. José Lucas Marinho. No dia e horário pré-agendados nos dirigimos a usina e ao chegarmos fomos informados que não poderíamos ser recebidos porque o Sr. José Lucas tinha outros compromissos naquele dia. No dia seguinte, por intermédio do presidente do sindicato dos trabalhadores rurais de Lagoa da Prata, fizemos contato telefônico com o gerente da usina, Sr. Gustavo Vilela Leite, e o mesmo nos informou que para a realização da entrevista e visita as instalações seria necessário autorização da chefia do escritório em São Paulo. O mesmo ficou de fazer o contato e dar um retorno em até 15 dias. Transcorrido o prazo solicitado pelo gerente da usina não obtivemos nenhum retorno da LDC. Após diversas tentativas de reagendamento e diante

das dificuldades encontradas, optou-se pelo cancelamento da visita às instalações da usina e a realização da entrevista, conforme programado previamente.



Figura 17 - (A) Vista parcial da usina LDC BioSev no município de Lagoa da Prata-MG. (B) Pesquisador, durante trabalho de campo, próximo à entrada principal do parque industrial da usina LDC.

Fonte: arquivo pessoal do pesquisador.

A Bambuí Bioenergia S.A. produz etanol e bioeletricidade. A empresa instalou-se no município de Bambuí em 2006, tendo como primeiro nome Total Agroindústria Canavieira S.A. Segundo Barbosa (2011), o investimento inicial foi de cerca de 250 milhões de reais, sendo a mesma responsável pelo expressivo aumento da área cultivada com cana naquele município. Além das lavouras localizadas no município de Bambuí, atualmente a usina processa cana produzida em Arcos, Córrego Danta, Iguatama, Medeiros e Luz.

Em dezembro de 2009, a empresa ganhou destaque nacional em razão da aquisição de 43,58% das suas ações pela Petrobras Biocombustível, criada em 2008 com uma subsidiária integral da Petrobras. A capacidade atual (2012) de moagem é de 1,2 milhão de toneladas de cana-de-açúcar por ano. Entretanto, segundo informações veiculadas pela FAEMG¹² e pelo Jornal Cana¹³, a empresa fez expressivos investimentos em busca de maior eficiência energética, o que poderá dobrar sua capacidade de produção.

Para a ampliação da capacidade de produção de etanol, estão sendo investidos R\$ 130 milhões que possibilitarão dobrar a capacidade de moagem de cana-de-açúcar da usina para 2,4 milhões de toneladas por ano. Consequentemente, a capacidade de produção de etanol

¹² Disponível em <http://www.faemg.org.br/News.aspx?Code=2186&ParentCode=139&ParentPath=None&ContentVersion=R>. Acesso em 25/07/2013.

¹³ Disponível em <http://www.novacana.com/n/industria/investimento/investimentos-etanol-petrobras-anos-060213/#>. Acesso em 25/07/2013.

alcançará 206 mil m³ por ano, o que permitirá ampliar a venda de energia excedente a partir do bagaço da cana-de-açúcar dos atuais 30 GWh por ano para 167 GWh por ano.

Chegamos a usina da Bambuí Bioenergia (figura 18) às 14 horas do dia 15/07/2013. O agendamento havia sido feito previamente com o engenheiro Rodrigo Sorragi Lima, responsável pelo setor agrícola da empresa. Às 16 horas e 30 minutos fomos recebidos pelo Sr. Rodrigo que nos concedeu uma entrevista, cujos pontos principais foram os seguintes:

Uso e ocupação do solo – Os principais espaços utilizados para cultivo da cana-de-açúcar na região foram áreas de pastagens, incluído áreas degradadas (cerca de 65%) e agricultura (aproximadamente 35%).

Áreas de cultivo da cana – Cerca de 99% das áreas usadas para o cultivo da cana são arrendadas. Os fatores de maior relevância na definição das áreas de cultivo são: menor distância da usina, topografia plana (até 12% de declividade), tipos de solos e a vegetação predominante (a empresa não tem interesse em áreas com matas, haja vista, que a mesma não tem autorização para realizar desmatamento).

Fatores determinantes para instalação da usina no município de Bambuí – Foi feito um estudo preliminar onde se apontou que o clima da região é propício para o cultivo da cana (com destaque para o índice pluviométrico), baixa concorrência por áreas de plantio da cana, fertilidade do solo e topografia favorável (áreas planas).

Principais benefícios econômicos e sociais advindos da instalação da usina – Geração de empregos (considerando todas as etapas da produção, atualmente a empresa possui cerca de 1.200 colaboradores), pagamento de tributos municipais que elevaram a arrecadação do município de Bambuí, aumento da renda dos pequenos produtores rurais que arrendaram suas terras a usina, contribuição para melhoria das estradas rurais, apoio em eventos e atividades culturais.

Principais impactos ambientais – supressão de árvores (a existência de árvores no meio das plantações de cana-de-açúcar atrapalha a colheita mecânica), contudo, a empresa respeita o percentual de 20% da área na forma de reserva averbada e faz o replantio de espécies nativas.

Colheita – Atualmente cerca de 90% da colheita é feita de forma mecanizada e o objetivo é chegar a 100%.

Planos de expansão para os próximos anos – A área atual plantada é de 17.000 hectares e a empresa já possui cerca de mais 4.000 hectares já arrendados. Para atender a capacidade de processamento da usina são necessários aproximadamente 30.000 hectares de área cultivada. Esta é a meta que a empresa estabeleceu para ser alcançada até o ano de 2017.

Após a realização da entrevista o Sr. Rodrigo nos acompanhou em uma visita as instalações do parque industrial, onde pudemos constatar a organização e grandeza da usina. Dois dias após a realização da visita o Sr. Rodrigo nos encaminhou uma planilha de Excel com os dados (serie histórica) sobre produção e área plantada de cana-de-açúcar destinada a produção de etanol na usina Bambuí Bioenergia.

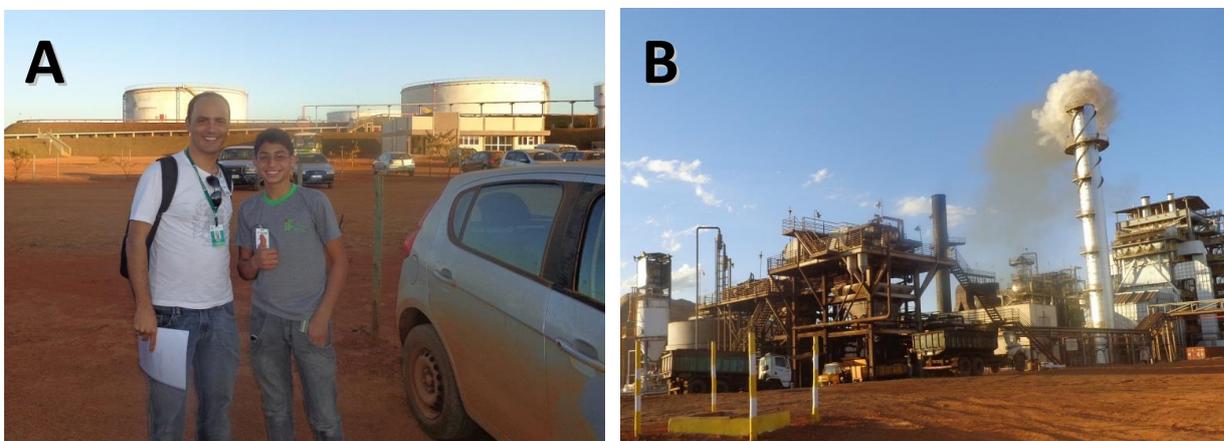


Figura 18 - (A) Equipe de campo durante visita as instalações da usina Bambuí Bioenergia no município de Bambuí-MG. (B) Parque industrial da usina em operação.

Fonte: arquivo pessoal do pesquisador.

Considerações relevantes obtidas por meio das entrevistas

Conforme já descrito anteriormente todas as entrevistas foram gravadas em áudio para se garantir a fidedignidade das informações. Entre aqueles representantes das instituições que se comprometeram a enviar as entrevistas por e-mail, recebemos até o momento apenas o material encaminhado pelo IEF de Arcos.

As entrevistas gravadas foram analisadas minuciosamente pelo pesquisador com objetivo de se obter a transcrição dos aspectos primordiais de cada uma das questões abordadas, os quais são apresentados na sequência.

Monitoramento da área plantada e da produção canavieira – além do controle das próprias usinas, apenas a EMATER faz o monitoramento da área plantada e produção. Este trabalho desenvolvido pela empresa faz parte da estimativa da safra agrícola, os dados são repassados mensalmente ao escritório regional em Divinópolis, que posteriormente os repassam ao escritório central em Belo Horizonte. Segundo informações obtidas nas entrevistas, esta base de dados é que subsidia o banco de dados da CONAB e do IBGE.

Todos os entrevistados afirmaram não ter conhecimento sobre estudos científicos sobre a expansão da cana-de-açúcar na região Centro-Oeste de Minas Gerais. Contudo, após consulta via web, em diversos bancos de teses e dissertações, pesquisador localizou duas dissertações de mestrado que versam sobre a cana na região. São elas: “O trabalhador temporário da indústria canavieira de Lagoa da Prata-MG: panorama sobre condições de vida, de trabalho e saúde”. (Maciel, M. R. A., FUNEDI, 2010) e “Agroindústria canavieira e desenvolvimento local, Bambuí-MG”. (Barbosa, R. R., UFV, 2011)

A área do estudo caracteriza-se pela predominância de pequenas propriedades rurais e algumas poucas de grandes dimensões. De acordo com a maioria dos entrevistados a expansão das lavouras de cana ocorreu predominantemente em áreas de pastagens e agricultura (especialmente milho e feijão). Estas informações corroboram os dados das imagens classificadas em laboratório (OLIVEIRA, *et al.*, 2012).

Os fatores determinantes para a expansão da cana na região foram preços de terras mais baixos em relação às principais regiões produtoras (Triângulo Mineiro, interior de São Paulo, etc), baixo custo da mão de obra, clima favorável para a produção da cana (temperatura, luz e umidade), topografia plana que favorece a mecanização e a existência de boa infraestrutura viária (BR 262, BR 354, MG 170 e MG 176)

Os principais motivos que levaram os agricultores a arrendarem suas terras para a usina foram a possibilidade de aumento da renda familiar, desinteresse de muitos jovens trabalhadores rurais em permanecer no campo para dar sequência ao empreendimento familiar, dificuldade de acesso a linhas de crédito para os pequenos agricultores, baixa rentabilidade para os agricultores que não podem investir em tecnologia, dificuldades na comercialização dos produtos e o aumento de barreiras sanitárias, como por exemplo, a exigência quanto a existência de um resfriador de leite nas propriedades.

As terras mais valorizadas para o plantio da cana são aquelas dotadas da combinação dos seguintes fatores: terrenos planos (favorecem a mecanização), localização (a proximidade com usina diminui os custos com transporte), infraestrutura viária (estradas que permitam o acesso de caminhões de grande porte e maquinário em geral), tipo de vegetação existente (a existência de matas e espécies nativas protegidas por lei dificulta a exploração daquelas áreas).

Estes fatores foram observados em diversas localidades visitadas durante o trabalho de campo (figura 19). Em relação ao preço da terra na região, foi relato que ocorreu uma expressiva valorização nos últimos anos, tanto para aquisição, quanto no arrendamento.

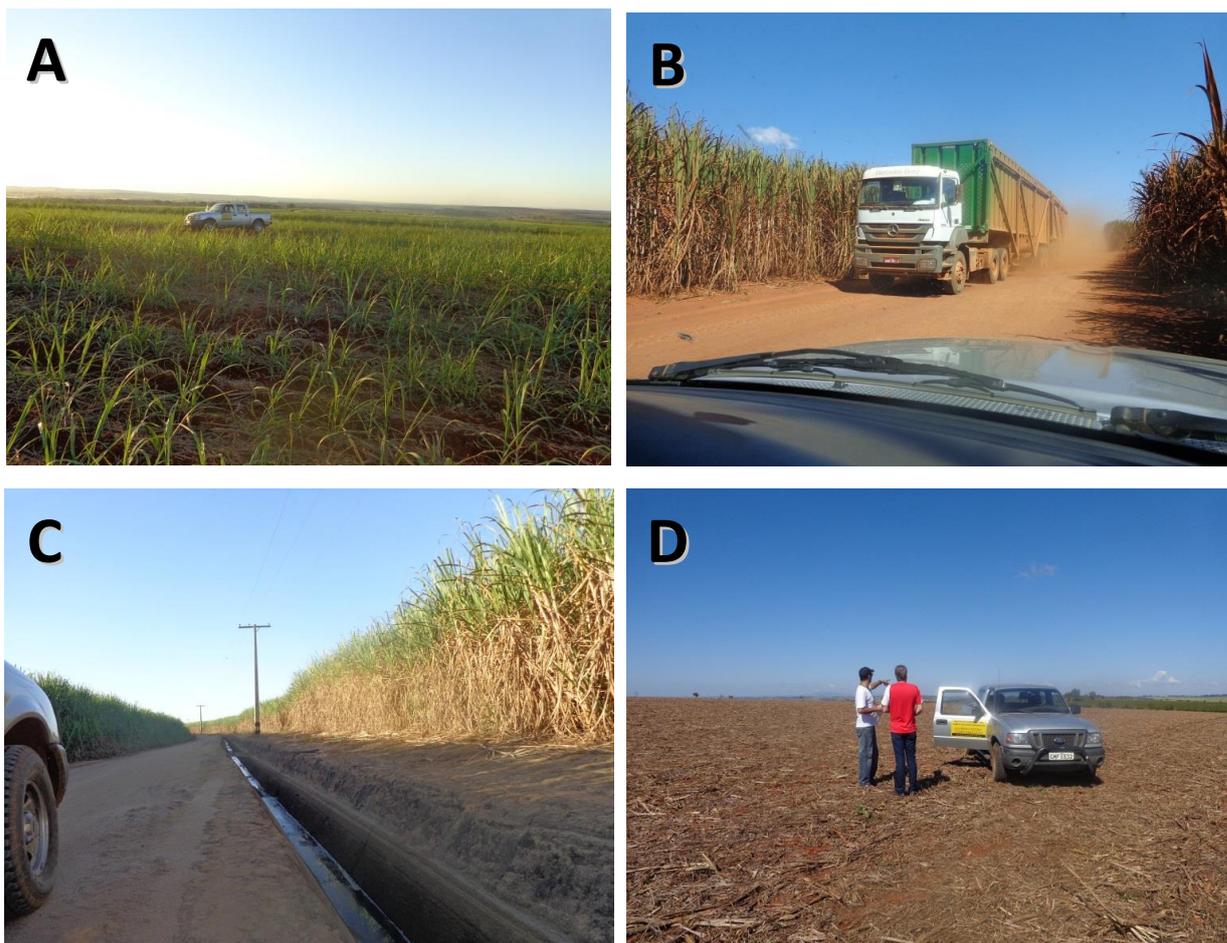


Figura 19 - Fatores fisiográficos relevantes para definição de áreas destinadas ao cultivo da cana-de-açúcar. (A) topografia plana; (B) estradas adequadas ao trânsito de caminhões e máquinas de grande porte; (C) proximidade da usina, neste caso é possível ver um canal utilizado para deslocamento do vinhoto usado para irrigação das lavouras; e (D) terras já trabalhadas, onde não há necessidade de supressão da vegetação nativa

Todos os entrevistados afirmaram que a maior parte da colheita da cana na região ocorre de forma mecanizada. Os dados da empresa Bambuí Bioenergia indicam que 90% de sua colheita é feita por máquinas. As informações obtidas junto ao Sindicato dos Trabalhadores Rurais de Japaraíba apontam que na safra atual existem “apenas” 50 trabalhadores no corte manual da cana. De acordo com o Sindicato dos Trabalhadores Rurais de Lagoa da Prata, no final da década de 80 a então usina Luciânia chegou a ter cerca de 5.000 trabalhadores no corte manual, sendo que atualmente permanecem “somente” 140 empregados envolvidos diretamente neste processo.

Em campo pudemos constatar que as informações obtidas nas entrevistas correspondem a realidade, haja vista, que de todas as 26 localidades visitadas em apenas uma observamos indícios da colheita manual (figura 20-A). Entre outras razões, este procedimento está avançando para o cumprimento do protocolo de intenções, assinado em agosto de 2008, que prevê 100% da colheita mecanizada até o ano de 2014, em áreas com declividade inferior

a 12%. O protocolo em questão foi firmado entre o Governo do Estado de Minas Gerais, o Sindicato da Indústria da Fabricação do Alcool no Estado de Minas Gerais – SIAMIG, o Sindicato da Indústria do Açúcar no Estado de Minas Gerais – SINDAÇÚCAR/MG, a Universidade Federal de Lavras – UFLA, a Associação de Fornecedores de cana-de-açúcar, o Instituto Estadual de Florestas - IEF, a Fundação Estadual de Meio Ambiente – FEAM, a Secretaria de Estado da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – SEAPA, a Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico – SEDE, a Federação dos Trabalhadores da Agricultura do Estado de Minas Gerais – FETAEMG, a Associação Mineira de Defesa do Ambiente – AMDA, Secretaria Extraordinária de Reforma Agrária e a Assembleia Legislativa do Estado de Minas Gerais – ALEMG.

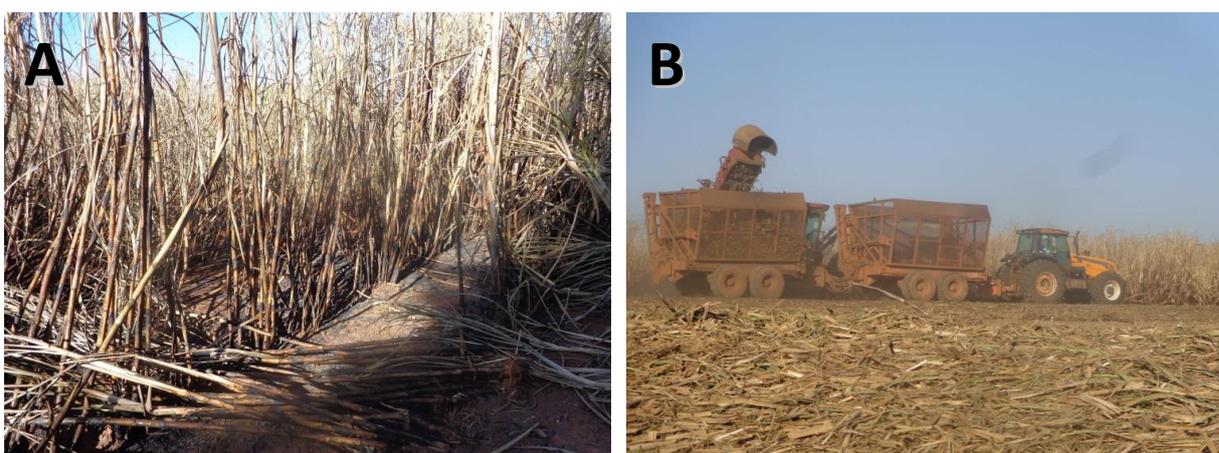


Figura 20 - (A) Área queimada para posterior realização do corte manual da cana-de-açúcar, (B) área onde a colheita é realizada de forma mecanizada.

Fonte: arquivo pessoal do pesquisador.

A maioria dos entrevistados afirmou que a expansão do setor sucroalcooleiro proporciona benefícios econômicos aos municípios produtores, especialmente aqueles onde estão instaladas as usinas (Bambuú e Lagoa da Prata). Na percepção destas pessoas tais benefícios advêm da combinação dos seguintes fatores: 1- aumento da renda em razão da maior oferta de empregos (a empresa Bambuú bioenergia possui cerca de 1.200 colaboradores e a LDC Biosev emprega aproximadamente 1.500 trabalhadores); arrendamento de terras para o cultivo da cana-de-açúcar (proporciona um aumento da renda dos produtores rurais que não possuem escala de produção e/ou não conseguem agregar valor aos seus produtos). Como consequência é possível observar em algumas cidades, como é o caso de Bambuú, um aquecimento do mercado imobiliário e o investimento na abertura de novos loteamentos.

No que diz respeito aos efeitos sociais, as informações obtidas indicam que os principais benefícios estão direcionados para os empregados das usinas e seus dependentes, como por

exemplo, cesta básica, assistência médica e odontológica, cartão farmácia, entre outros. Iniciativas deste tipo estão alinhadas a lei 4.860 de 1965, denominada de Plano de Assistência Social (PAS), que determina a aplicação de 1% da produção de cana, 1% da produção e comercialização do açúcar e 2% da produção e comercialização do álcool em benefícios sociais para os colaboradores e dependentes (BRAGATO, *et al.*, 2008).

Em relação aos impactos ambientais, atualmente a maior preocupação contempla a redução da biodiversidade nas áreas cultivadas com a cana-de-açúcar. Entretanto, foram feitos relatos de que no passado ocorreram fortes agressões ao meio ambiente e a saúde dos trabalhadores, especialmente em áreas de cultivo da antiga Usina Luciânia, conforme registros em matéria publicada na mídia em 2008¹⁴. As informações obtidas por meio das entrevistas indicam que estão ocorrendo avanços em relação a preservação do meio ambiente, destacando-se a diminuição das queimadas e o maior respeito as áreas de proteção permanente.

Validação da área plantada de cana-de-açúcar no Centro-Oeste mineiro

Para fins de validação estatística da área plantada de cana-de-açúcar na região pesquisada, consideramos a amostra de 26 polígonos (pontos). Para cada um dos pontos visitados foi feito o registro fotográfico, descrição da localização e caracterização da paisagem como forma de identificar a cobertura e uso da terra, confrontando os dados obtidos em campo com a classificação feita em laboratório (tabela 14). Entre as 26 localidades visitadas, 21 delas corresponderam a classificação das imagens Landsat, o que representa um percentual de 80,8% de acerto em relação a classificação feita em laboratório.

¹⁴ Para ler mais sobre esta questão acesse http://www.social.org.br/BDF_08_279_0107081.pdf

Tabela 14 - Coordenadas de localização (em UTM), identificação da cobertura e uso da terra e validação em campo dos pontos pré-selecionados.

Número do Ponto	Eixo X (longitude)	Eixo Y (latitude)	Municípios	Classificação em laboratório	Constatação em campo
1	425714,28930900000	7815514,86482000000	Luz	cana-de-açúcar	cana-de-açúcar
2	428490,79250100000	7808110,85630000000	Lagoa da Prata	Água	Água
3	424192,99693400000	7798261,50045000000	Luz	cana-de-açúcar	cana-de-açúcar
4	425251,53877600000	7795709,14205000000	Luz	cana-de-açúcar	cana-de-açúcar
5	435154,40016200000	7779762,07533000000	Japaraíba	cana-de-açúcar	cana-de-açúcar
6	443483,90973900000	7792348,88980000000	Lagoa da Prata	cana-de-açúcar	cana-de-açúcar
7	437375,60271600000	7788739,43565000000	Lagoa da Prata	cana-de-açúcar	cana-de-açúcar
8	440892,50676000000	7773153,99773000000	Japaraíba	cana-de-açúcar	cana-de-açúcar
9	444334,39047900000	7773579,32181000000	Japaraíba	cana-de-açúcar	cana-de-açúcar
10	440815,16463300000	7779625,97352000000	Lagoa da Prata	cana-de-açúcar	cana-de-açúcar
11	436990,22208900000	7760042,03418000000	Arcos	Agricultura	Pastagem
12	428766,29538800000	7764961,01837000000	Iguatama	Agricultura	Pastagem
13	422156,41037600000	7768650,25652000000	Iguatama	Pastagem	Pastagem
14	402436,56078000000	7784544,72420000000	BambuÍ	cana-de-açúcar	Pastagem
15	409277,02317600000	7781162,92257000000	BambuÍ	Agricultura	Pastagem
16	397748,15396900000	7778395,99396000000	BambuÍ	cana-de-açúcar	Agricultura
17	387204,95686900000	7781086,06344000000	BambuÍ	cana-de-açúcar	cana-de-açúcar
18	409363,67194600000	7793387,67231000000	BambuÍ	Pastagem	Pastagem
19	419143,99599000000	7815374,30648000000	Luz	Agricultura	Agricultura
20	446390,88689700000	7799637,40001000000	Lagoa da Prata	cana-de-açúcar	
21	449157,81550700000	7785399,24654000000	Lagoa da Prata	cana-de-açúcar	cana-de-açúcar
22	441202,89575400000	7787278,45222000000	Lagoa da Prata	cana-de-açúcar	cana-de-açúcar
23	432902,10992500000	7774904,13261000000	Arcos	Remanescente	
24	390556,57343600000	7777901,63860000000	BambuÍ	cana-de-açúcar	cana-de-açúcar
25	399472,23229000000	7788892,49391000000	BambuÍ	Pastagem	Pastagem
26	424617,01239200000	7791890,57349000000	Luz	cana-de-açúcar	cana-de-açúcar
27	434070,68514200000	7783436,06941000000	Luz	cana-de-açúcar	
28	410628,65108700000	7797193,85333000000	BambuÍ	cana-de-açúcar	
29	422157,52029400000	7800913,83513000000	Luz	cana-de-açúcar	cana-de-açúcar
30	440296,27451400000	7783026,41376000000	Lagoa da Prata	cana-de-açúcar	cana-de-açúcar
31	444677,24481200000	7789866,87616000000	Lagoa da Prata	cana-de-açúcar	

Para garantir a veracidade da classificação é preciso averiguar sua exatidão e um dos parâmetros mais utilizados e eficientes na sua determinação é o índice Kappa. De acordo com Rovedder (2007) uma das vantagens alegadas para o uso do Kappa é que ele incorpora a informação dos pixels mal classificados, e não apenas dos em classificados como a exatidão global.

Normalmente, a matriz de confusão ou matriz de erros (tabela 15) é usada para avaliar o resultado de uma classificação, a fim de verificar a qualidade dos dados contidos nesse mapa, sendo posteriormente calculado o coeficiente Kappa de concordância.

Tabela 15 - Matriz de confusão ou matriz de erros.

Classes temáticas	Pontos de referência "verdade de campo"					Erro de comissão (%)
	Cana-de-açúcar	Água	Pastagem	Agricultura	Total	
Cana-de-açúcar	16	0	1	1	18	0,111
Água	0	1	0	0	1	0,000
Pastagem	0	0	3	0	3	0,000
Agricultura	0	0	3	1	4	0,750
Total	16	1	7	2	21	-
Erro de omissão (%)	0,000	0,000	0,571	0,500	-	-

Total de pontos amostrais → 26

Diagonal principal (pontos de correspondência) → 21

O índice de Exatidão Global é calculado por meio da seguinte equação:

$$EG = \frac{A}{N} * 100$$

Onde:

EG → Exatidão Global;

A → Pontos amostrais com acerto;

N → Número total de pontos amostrais.

Portanto, temos:

$$EG = (21/26)*100 = 80,77$$

Após o cálculo de erros, calculou-se o índice Kappa (IK), com os valores da matriz. O índice é calculado pela seguinte expressão:

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} + *x_{+i})}$$

Onde:

K → Coeficiente Kappa de concordância;

N → Número total de pontos amostrais;

$R \rightarrow$ Número de linhas da matriz de erros;

$x_{ii} \rightarrow$ Observações na linha i e coluna i ;

$x_{i+} \rightarrow$ Total marginal da linha i ;

$x_{+i} \rightarrow$ Total marginal da coluna i .

Assim temos:

$$\sum_{i=1}^r x_{ii} = 16 + 1 + 3 + 1 = 21$$

$$\sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i}) = (16 * 18) + (1 * 1) + (7 * 3) + (2 * 4) = 318$$

$$K = [(26 * 21) - 318] / (26^2 - 318)$$

$$K = 0,64$$

O resultado do IK mostrou-se satisfatório, uma vez que, de acordo com os valores de referência recomendado pela “escala de importância”, proposta por Landis e Koch (1977) apud Silva (2003) para avaliar o índice Kappa, valores entre 0,60 a 0,79 são considerados muito bons (tabela 16).

Tabela 16 - Qualidade da classificação associada aos valores da estatística Kappa (Landis & Koch, 1997).

Índice Kappa de concordância	
< 0	Sem concordância
0,00 a 0,19	Ruim
0,20 a 0,39	Razoável
0,40 a 0,59	Boa
0,60 a 0,79	Muito Boa
0,80 a 1,00	Excelente

Caracterização paisagística dos pontos pré-selecionados para validação em campo do mapa da cana-de-açúcar na região Centro-Oeste de Minas Gerais.

Pesquisador: Edmar Geraldo de Oliveira

Equipamento (marca e modelo): Garmin GPSMap 60 CSX

Operador responsável: Guilherme Felipe Costa Rodrigues (aluno do IFMG)

Observação: A latitude, longitude e altitude descritas para cada um dos pontos visitados foram registradas no ponto mais próximo da coordenadas geográficas pré-selecionadas, sendo que muitas delas coincidem (quando se chegou ao ponto exato) e outras representam a proximidade do ponto pré-determinado.

Número do Ponto (polígono)	01	
Latitude: -45° 42' 32,6" (W)		
Longitude: -19° 45' 16,7" (S)		
Altitude: 686 metros		
Município: Luz		
Referência: Trevo da BR 262 e da MG 176 próximo a cidade de Luz.		
Data do registro: 18/07/2013		
Hora do registro: 11h02min.		
Cobertura e uso no local exato da coordenada: Cana-de-açúcar		

Principais características da vegetação: Chegamos ao ponto exato da coordenada geográfica. Trata-se de uma área cultivada com cana-de-açúcar onde foi possível constatar, no momento da visita ao local, que a colheita (corte) havia ocorrido recentemente. Na localidade existem grandes lavouras de cana. No entorno destas plantações existem áreas de pastagens. Observando a oeste do ponto demarcado é possível visualizar uma área de remanescente de Cerrado com um tamanho considerável. A topografia do terreno é levemente ondulada. O ponto localiza-se a 4,5 km da MG 176. Fotos: 930 a 936.

Número do Ponto (polígono)	02	
Latitude: -45° 40' 57,6" (W)		
Longitude: -19° 49' 20,8" (S)		
Altitude: 647 metros		
Município: Luz		
Referência: Saída de Luz para Bambuí pela MG 176 (Estrada de terra).		
Data do registro: 18/07/2013		
Hora do registro: 12h26min.		
Cobertura e uso no local exato da coordenada: Água		

Principais características da vegetação: Chegamos a 91 metros do ponto exato da coordenada pré-determinada que localiza-se as margens de um rio. Na localidade existe uma grande plantação de cana e do lado oposto, as margens do rio tem uma mata de tamanho razoável que aparentemente está bastante preservada quanto à vegetação nativa. Entre a plantação de cana e margem do rio tem uma distância de aproximadamente 50 metros. Fotos: 943 a 949.

Número do Ponto (polígono)	03	
Latitude: -45° 43' 25,7" (W)		
Longitude: -190 54' 42,2" (S)		
Altitude: 728 metros		
Município: Luz		
Referência: Perto da localidade de Esteios		
Data do registro: 18/07/2013		
Hora do registro: 14h36min.		
Cobertura e uso no local exato da coordenada: Cana-de-açúcar		

Principais características da vegetação: Chegamos a 90 metros do ponto exato da coordenada pré-determinada que localiza-se no meio de uma plantação de cana-de-açúcar. Diferentemente de outros locais (pontos) visitados, neste pode-se ver algumas árvores nativas no meio da plantação de cana. As plantas estão adultas, porém ainda não está no ponto ideal para a colheita (corte). Pelo tamanho das plantas (entre 1,5 e 2 metros) é possível estimar que a plantação tenha aproximadamente um ano. Fotos: 950 a 957.

Número do Ponto (polígono)	04	
Latitude: -45° 42' 51,3" (W)		
Longitude: -19° 56' 00,9" (S)		
Altitude: 710 metros		
Município: Luz		
Referência: Perto da localidade de Esteios		
Data do registro: 18/07/2013		
Hora do registro: 14h58min.		
Cobertura e uso no local exato da coordenada: Cana-de-açúcar		

Principais características da vegetação: Chegamos ao ponto exato da coordenada pré-determinada que localiza-se no meio de uma plantação de cana-de-açúcar, as margens de um carreador (estrada dentro do canavial) de passagem. Foi possível verificar a existência de algumas árvores nativas, entre elas o pequiheiro, no meio da plantação de cana. Fotos: 958 a 966.

Número do Ponto (polígono)	05	
Latitude: -45° 37' 10" (W)		
Longitude: -20° 4' 36,8" (S)		
Altitude: 639 metros		
Município: Japaraíba		
Referência:		
Data do registro: 17/07/2013		
Hora do registro: 15h32min.		
Cobertura e uso no local exato da coordenada: Cana-de-açúcar		
<p><i>Principais características da vegetação:</i> Chegamos a 149 metros do ponto exato da coordenada pré-determinada que localiza-se no meio de uma enorme plantação de cana com plantas adultas. Para chegar ao ponto percorremos cerca de 10 km de estradas de terra entre os canaviais. A cerca de 200 metros do ponto, na extremidade da lavoura (divisa) existe uma área de pastagem com gado de recria e engorda e também glebas de vegetação nativa. Vale registrar que durante o trajeto na plantação de cana passamos por uma área em que a mesma foi queimada para a colheita (foi a única até o momento). Nas demais áreas que passamos e que estava ocorrendo a colheita a mesma estava sendo feita com máquinas. Fotos: 914 a 921.</p>		

Número do Ponto (polígono)	06	
Latitude: -45° 31' 35,2" (W)		
Longitude: -19° 57' 55,4" (S)		
Altitude: 645 metros		
Município: Lagoa da Prata		
Referência:		
Data do registro: 16/07/2013		
Hora do registro: 17h45min.		
Cobertura e uso no local exato da coordenada: Cana-de-açúcar		
<p><i>Principais características da vegetação:</i> Chegamos a 1,4 km do ponto exato da coordenada. Não foi possível chegar ao ponto exato devido a dificuldade de acesso (existe um lago e não conseguimos achar a estrada para passar ao outro lado) e pelo avançar do horário, já era final de tarde e estava quase escurecendo. Entretanto, foi possível visualizar uma grande área de cana do outro lado do lago o que nos leva crer que o no ponto exato da coordenada existe cana plantada. aparentemente é possível observar neste ponto que foram respeitadas as distâncias legais entre a plantação de cana e o leito, bem como a vegetação nativa no seu entorno. Existe também áreas de pastagens próximo ao lago. Para chegar ao ponto é necessário cruzar um extenso canal. Fotos: 866 a 872.</p>		

Número do Ponto (polígono)	07	
Latitude: -45° 35' 55,1" (W)		
Longitude: -19° 59' 49,2" (S)		
Altitude: 641 metros		
Município: Lagoa da Prata		
Referência:		
Data do registro: 17/07/2013		
Hora do registro: 13h11min.		
Cobertura e uso no local exato da coordenada: Cana-de-açúcar		

Principais características da vegetação: Chegamos ao ponto exato da coordenada que localiza-se em uma área de cana que foi reformada e as plantas aparentam altura entre 25 e 35 cm de altura. A cultura predominante na região é a cana-de-açúcar, mas também existem áreas de pastagens. Ao observar a oeste do ponto demarcado é possível visualizar a existência uma grande área de reserva nativa (mata) e ao noroeste também existem áreas remanescentes de Cerrado. O ponto fica próximo a uma pequena Lagoa. Fotos: 879 a 885.

Número do Ponto (polígono)	08	
Latitude: -45° 33' 55,7" (W)		
Longitude: -20° 08' 16,2" (S)		
Altitude: 674 metros		
Município: Japaraíba		
Referência: próximo ao trevo de Japaraíba.		
Data do registro: 16/07/2013		
Hora do registro: 15h28min.		
Cobertura e uso no local exato da coordenada: Cana-de-açúcar		

Principais características da vegetação: Chegamos a 13 metros do ponto exato da coordenada que se localizada no meio de uma extensa plantação de cana-de-açúcar. No trajeto de Arcos para Japaraíba existem plantações de eucalipto ao longo da rodovia MG 170. No entanto, logo após passar a divisa entre os dois municípios é possível visualizar a predominância das lavouras de cana em Japaraíba. O ponto localiza-se a 150 metros da rodovia e antes da localidade denominada Capoeirão. Fotos: 845 a 853.

Número do Ponto (polígono)	09	
Latitude: -45° 31' 59,8" (W)		
Longitude: -20° 08' 1,1" (S)		
Altitude: 687 metros		
Município: Japaraíba		
Referência: Próximo a Japaraíba		
Data do registro: 16/07/2013		
Hora do registro: 16h01min.		
Cobertura e uso no local exato da coordenada: Cana-de-açúcar		

Principais características da vegetação: Chegamos a 94 metros do ponto exato da coordenada que se localiza no meio de uma plantação de cana-de-açúcar entre a localidade denominada Capoeirão e a cidade de Japaraíba. A área é enorme dos dois lados da rodovia que liga Japaraíba a MG 170 e possui topografia bastante plana. O ponto localiza-se a cerca de 200 metros da rodovia. Fotos: 854 a 858.

Número do Ponto (polígono)	10	
Latitude: -45° 34' 04,8" (W)		
Longitude: -20° 04' 47,2" (S)		
Altitude: 664 metros		
Município: Lagoa da Prata		
Referência: Usina LDC BioSev		
Data do registro: 17/07/2013		
Hora do registro: 14h55min.		
Cobertura e uso no local exato da coordenada: Cana-de-açúcar		

Principais características da vegetação: Chegamos a 200 metros do ponto exato da coordenada que localiza-se dentro do parque industrial da Usina LDC BioSev em Lagoa da Prata. Não tivemos permissão para acessar o ponto exato, mas foi possível constatar que no ponto exato da coordenada não tem cana plantada. Contudo, vale ressaltar que em todo o entorno da usina existe extensas áreas plantadas com cana-de-açúcar que a circundam por todos os lados. Fotos: 904 a 909.

Número do Ponto (polígono)	11	
Latitude: -45° 36' 14,5" (W)		
Longitude: -20° 15' 22,9" (S)		
Altitude: 671 metros		
Município: Arcos		
Referência: Fazenda Calciolândia		
Data do registro: 16/07/2013		
Cobertura e uso no local exato da coordenada: Pastagem		
Hora do registro: 9h20min.		
<p><i>Principais características da vegetação:</i> Chegamos a 25 metros do ponto exato da coordenada que está localizada em uma área de pastagem ao lado de um pequeno pântano as margens da BR 354 na Fazenda Calciolândia. Existe uma enorme área de cana cultivada do lado direito da BR 354 (sentido Iguatama – Arcos). Fotos: 830 a 839. Na região existem muitas indústrias de calcário que é uma das principais atividades econômicas do município de Arcos.</p>		

Número do Ponto (polígono)	12	
Latitude: -45° 40' 54,7" (W)		
Longitude: -20° 12' 41,6" (S)		
Altitude: 660 metros		
Município: Iguatama		
Referência: Fazenda Calciolândia		
Data do registro: 16/07/2013		
Hora do registro: 8h52min.		
Cobertura e uso no local exato da coordenada: Pastagem		
<p><i>Principais características da vegetação:</i> Chegamos ao ponto exato da coordenada e no local existe uma área de pastagem. Fui informado por uma moradora local que do outro lado da cerca (+- 50 metros) tinha cana plantada e a cerca de 2 anos a área foi convertida para pastagem. Do outro lado da BR 354, a cerca de 300 metros existe uma área cultivada com cana-de-açúcar. Fotos: 809 a 819. Localiza-se a 177 metros da BR 354. Fotos: 820 a 827.</p>		

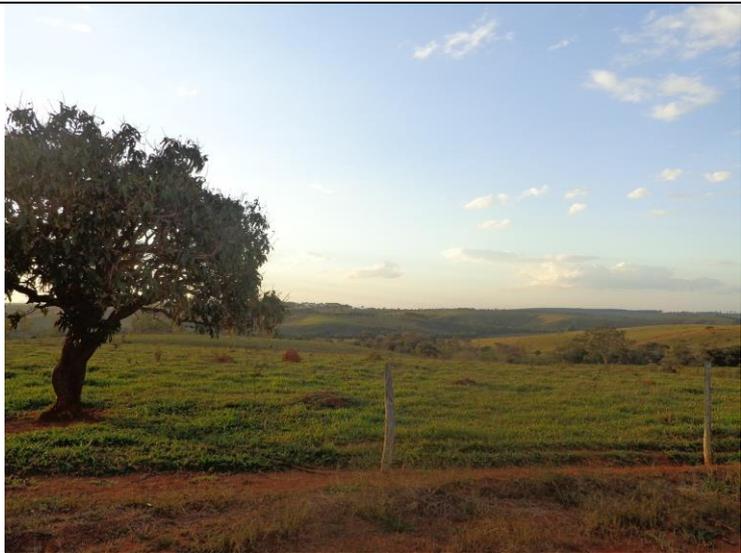
Número do Ponto (polígono)	13	
Latitude: -45° 44' 34,3" (W)		
Longitude: -20° 10' 38,6" (S)		
Altitude: 640 metros		
Município: Iguatama		
Referência: Próximo a Iguatama		
Data do registro: 16/07/2013		
Hora do registro: 8h12min.		
Cobertura e uso no local exato da coordenada: Pastagem		
<p><i>Principais características da vegetação:</i> Chegamos a 225 metros do ponto exato da coordenada que se localizada em uma área de pastagem, no entanto, a 200 metros existe uma enorme lavoura de cana-de-açúcar, sendo que parte dela é irrigada com pivô central. As plantas estão com altura de mais ou menos 50 cm. Do outro lado do rio tem uma área de agricultura, atualmente ocupa com feijão e que também é irrigada com pivô central e ao lado outra lavoura de cana. O ponto localiza-se a 3 km de distância da BR 354 e próximo ao rio São Francisco no município de Iguatama.</p>		

Número do Ponto (polígono)	14	
Latitude: -45° 56' 04,78" (W)		
Longitude: -20° 02' 03,86" (S)		
Altitude: 734 metros		
Município: Bambuí		
Referência: BR 354 entre os municípios de Bambuí e Iguatama		
Data do registro: 15/07/2013		
Hora do registro: 9h57min.		
Cobertura e uso no local exato da coordenada: Pastagem		
<p><i>Principais características da vegetação:</i> Fizemos o registro a 200 metros do ponto exato da coordenada pré-determinada. No local não existe plantio de cana-de-açúcar, trata-se de uma área com predominância de pastagens e agricultura. Possui também pequenas áreas de vegetação nativa. Fotos: 733 a 739.</p>		

Número do Ponto (polígono)	15	
Latitude: -45° 52' 3,4" (W)		
Longitude: -20° 3' 51,6" (S)		
Altitude: 745 metros		
Município: Bambuí		
Referência: BR 354 entre os municípios de Bambuí e Iguatama		
Data do registro: 16/07/2013		
Hora do registro: 7h20min.		
Cobertura e uso no local exato da coordenada: Pastagem		
<p><i>Principais características da vegetação:</i> Chegamos ao ponto exato da coordenada. No local existe uma área de pastagem e do outro lado da estrada tem um plantio de eucalipto. O ponto está localizado bem próximo a uma Estrada de terra e a um curral. O ponto localiza-se a 450 metros de uma área cultivada com cana-de-açúcar e 1 km da rodovia BR 354.</p>		

Número do Ponto (polígono)	16	
Latitude: -45° 58' 40,81" (W)		
Longitude: -20° 05' 19,53" (S)		
Altitude: 816 metros		
Município: Bambuí		
Referência:		
Data do registro: 15/07/2013		
Hora do registro: 11h05min.		
Cobertura e uso no local exato da coordenada: Agricultura		
<p><i>Principais características da vegetação:</i> Chegamos ao ponto exato da coordenada. No local é cultivado milho, no momento da visita o terreno estava limpo, uma vez, que já tinha sido realizada a colheita. O ponto localiza-se a 250 metros de uma grande área cultivada com cana-de-açúcar, sendo que uma parte dela estava em reforma. De acordo com um morador local a cana é cultivada naquela localidade a cerca de 5 anos. Próximo a plantação de cana existem áreas de pastagens, lavouras de café e remanescentes de Cerrado.</p>		

Número do Ponto (polígono)	17	
Latitude: -46° 04' 21,89" (W)		
Longitude: -20° 04' 48,05" (S)		
Altitude: 752 metros		
Município: Bambuí		
Referência: MG 176 entre os municípios de Bambuí a Medeiros.		
Data do registro: 15/07/2013		
Hora do registro: 13h54min.		
Cobertura e uso no local exato da coordenada:		
<p><i>Principais características da vegetação:</i> Não conseguimos chegar ao ponto exato da coordenada devido à dificuldade de acesso. Ficamos a 1,9 km do ponto pré-determinado. Visualmente foi possível constatar que do outro lado do vale existe uma grande plantação de cana e ao lado uma plantação de eucalipto, bem como, áreas de pastagens com resquícios de vegetação nativa do Cerrado na parte mais acidentada do terreno. Fotos: 772 a 776.</p>		

Número do Ponto (polígono)	18	
Latitude: -45° 51' 11" (W)		
Longitude: -19° 58' 20,2" (S)		
Altitude: 686 metros		
Município: Bambuí		
Referência: Estrada de terra que liga Luz a Bambuí (MG 176).		
Data do registro: 18/07/2013		
Hora do registro: 17h05min.		
Cobertura e uso no local exato da coordenada: Pastagem		
<p><i>Principais características da vegetação:</i> Chegamos a 2,5 km do ponto exato da coordenada pré-determinada. Após passar por um canalial nos deparamos com uma porteira trancada com cadeado, como este era o único acesso não sendo possível avançar. Observando a distância não parece ser área de cana, pois a predominância da vegetação na localidade é de pastagens e não avistamos nenhum canalial na direção do ponto indicada pelo GPS. Fotos: 985 a 992.</p>		

Número do Ponto (polígono)	19	
Latitude: -45° 46' 32,4" (W)		
Longitude: -19° 45' 4,9" (S)		
Altitude: 718 metros		
Município: Luz		
Referência: Fazenda Cruzeiro		
Data do registro: 18/07/2013		
Cobertura e uso no local exato da coordenada: Pastagem		
Hora do registro: 11h45min.		
<p><i>Principais características da vegetação:</i> Chegamos a 445 metros do ponto exato da coordenada pré-determinada. Trata-se de uma área de agricultura localizada próxima a áreas de pastagem, que alias ocupa a maior parte das terras da localidade. A vegetação predominante é o capim braquiária e com algumas árvores nativas ao longo da pastagem. Próximo da entrada da fazenda Cruzeiro, onde o ponto está localizado existe uma plantação de cana, aparentemente para fins de alimentação do gado, haja vista que não foram identificados sinais semelhantes aqueles existentes nas áreas cultivadas pelas usinas. O ponto localiza-se a 2,2 km da 262. Fotos: 937 a 942.</p>		

Número do Ponto (polígono)	21	
Latitude: -45° 29' 10" (W)		
Longitude: -20° 01' 39,1" (S)		
Altitude: 731 metros		
Município: Lagoa da Prata		
Referência: MG 429 entre os municípios de Lagoa da Prata e Santo Antônio do Monte.		
Data do registro: 16/07/2013		
Cobertura e uso no local exato da coordenada: Cana-de-açúcar		
Hora do registro: 17h05min.		
<p><i>Principais características da vegetação:</i> Chegamos ao ponto exato da coordenada pré-determinada que se localizada no meio de uma plantação de cana-de-açúcar . Trata-se de uma área que foi reformada e no momento da visita a campo as plantas apresentavam tamanho estimado entre 30 e 40 cm. Foi possível visualizar que a sudoeste do ponto existem áreas de eucalipto e a noroeste avistamos áreas de pastagens e de preservação (mata nativa). O ponto localiza-se a cerca de 2,1 km da MG 429 entre os municípios de Lagoa da Prata e Santo Antônio do Monte. Fotos: 860 a 865.</p>		

Número do Ponto (polígono)	22	
Latitude: -45° 33' 4 3,6" (W)		
Longitude: -20° 0' 37,1" (S)		
Altitude: 665 metros		
Município: Lagoa da Prata		
Referência: Próximo a Lagoa da Prata		
Data do registro: 17/07/2013		
Hora do registro: 12h41min.		
Cobertura e uso no local exato da coordenada: Cana-de-açúcar		
<p><i>Principais características da vegetação:</i> Chegamos ao ponto exato da coordenada. Trata-se de uma área de cana que estava em reforma no momento da visita de campo. A palha da cana colhida estava incorporada ao solo e as novas plantas ainda não haviam nascido. Na localidade predomina a cultura da cana, mas existem áreas de pastagens e pequenas glebas de vegetação nativa. Fotos: 873 a 878.</p>		

Número do Ponto (polígono)	24	
Latitude: -46° 02' 50,10" (W)		
Longitude: -20° 05' 34,88" (S)		
Altitude: 797 metros		
Município: Bambuí		
Referência: Próximo a usina Bambuí Bioenergia.		
Data do registro: 15/07/2013		
Hora do registro: 11h51min.		
Cobertura e uso no local exato da coordenada: Cana-de-açúcar		
<p><i>Principais características da vegetação:</i> Chegamos a 44 metros do ponto exato da coordenada que se localizada no meio de plantação de cana-de-açúcar. Trata-se de uma enorme área cultivada coma cana, bem próximo a usina Bambuí Bioenergia. Foi possível observar que no entorno das lavouras de cana existem áreas de agricultura, sendo uma delas bem próximo a usina, onde registramos a colheita mecânica de feijão.</p>		

Número do Ponto (polígono)	25	
Latitude: -45° 57' 39,7" (W)		
Longitude: -19° 59' 38,7" (S)		
Altitude: 702 metros		
Município: Bambuí		
Referência: Próximo a BR 354 e a cidade de Bambuí.		
Data do registro: 19/07/2013		
Hora do registro: 8h40min.		
Cobertura e uso no local exato da coordenada: Pastagem		

Principais características da vegetação: Chegamos a 10 metros do ponto exato da coordenada pré-determinada que localiza-se em uma pastagem ao lado de uma plantação de cana-de-açúcar e as margens da BR 354 no município de Bambuí. Na localidade, além das lavouras de cana, existem também áreas de pastagens e glebas de vegetação nativa do Cerrado. Fotos: 993 a 997.

Número do Ponto (polígono)	26	
Latitude: -45° 43' 14,6" (W)		
Longitude: -19° 58' 04,2" (S)		
Altitude: 661 metros		
Município: Luz		
Referência:		
Data do registro: 18/07/2013		
Hora do registro: 15h32min.		
Cobertura e uso no local exato da coordenada: Cana-de-açúcar		

Principais características da vegetação: Chegamos a 35 metros do ponto exato da coordenada pré-determinada que localiza-se no meio de uma plantação de cana-de-açúcar com plantas adultas. O ponto localiza-se a 10 km da MG 176 entre os municípios de Luz e Bambuí. Existem resquícios de vegetação nativa, especialmente próximo a um pequeno rio existente na localidade. Durante o trajeto até o ponto encontramos com 4 máquinas de cortar cana da empresa LDC BioSev, tratores e caminhões que estavam parados no meio de uma área já colhida. Fotos: 967 a 976.

Número do Ponto (polígono)	29	
Latitude: -45° 44' 22,5" (W)		
Longitude: -19° 53' 41,8" (S)		
Altitude: 684 metros		
Município: Luz		
Referência:		
Data do registro: 18/07/2013		
Hora do registro: 16h22min.		
Cobertura e uso no local exato da coordenada: Cana-de-açúcar		
<p><i>Principais características da vegetação:</i> Chegamos a 1000 metros do ponto exato da coordenada pré-determinada. Não foi possível ir adiante porque existe um rio que impediu a nossa passagem, para acessar o ponto seria necessário passar para o outro lado do rio e não conseguimos encontrar a estrada de acesso. A distância foi possível ver outras áreas de cana do outro lado do rio, porém não é possível afirmar que o ponto exato está em local cultivado com cana, entretanto, ao analisar as imagens no Google Earth é possível confirmar que se trata de uma área de cana-de-açúcar. Entre as duas áreas de cana, próximo ao rio existem áreas de pastagem (braquiária) e pequenas faixas de árvores nativas. Fotos: 977 a 984.</p>		

Número do Ponto (polígono)	30	
Latitude: -45° 34' 18,8" (W)		
Longitude: -20° 02' 56,9" (S)		
Altitude: 717 metros		
Município: Lagoa da Prata		
Referência:		
Data do registro: 17/07/2013		
Hora do registro: 13h40min.		
Cobertura e uso no local exato da coordenada: Cana-de-açúcar		
<p><i>Principais características da vegetação:</i> Chegamos a 114 metros do ponto exato da coordenada que localiza-se no meio de uma plantação de cana-de-açúcar. Como as plantas estavam grandes e ocupando todo o espaço não foi possível chegar ao ponto exato. Fotos: 886 a 890.</p>		

Agradecimentos

O autor agradece aos professores Dr. Fausto Miziara (CEDIM/UFG) e Manuel Eduardo Ferreira (LAPIG/UFG) pelas relevantes orientações na preparação e realização deste trabalho de campo, ao Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG – Câmpus Bambuí e São João Evangelista) pelo apoio logístico e operacional, ao Geógrafo Fabrício Silva pelas contribuições na preparação do trabalho de campo e ao aluno do IFMG Guilherme Felipe Costa Rodrigues, responsável pelo manuseio do receptor de GPS utilizado para localização das coordenadas geográficas pré-selecionadas para validação do mapa da cana-de-açúcar na região Centro-Oeste de Minas Gerais.

Referencias

BATISTA, J. L. O.; BARROS E SILVA, A.; SANTOS, R. L. Procedimentos metodológicos para o mapeamento da cobertura e uso do solo da carta SC-24-Z-C-I-3, utilizando Geotecnologia. III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife - PE, 2010.

BRAGATO, I. R.; SIQUEIRA, E. S.; GRAZIANO, G. O.; SPERS, E. E. Produção de açúcar e álcool vs. responsabilidade social corporativa: as ações desenvolvidas pelas usinas de cana-de-açúcar frente às externalidades negativas. Gest. Prod., São Carlos, v. 15, n. 1, p. 89-100, jan.-abr. 2008.

SCHRAIBER, L. B. Pesquisa qualitativa em saúde: reflexões metodológicas do relato oral e produção de narrativas em estudo sobre a profissão médica. Revista de Saúde Pública, São Paulo, v. 29, n. 1, p. 63-74, 1995.

FERREIRA, M. E. Modelagem da dinâmica de paisagem do Cerrado. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Goiás (UFG), 2009.

FONSECA, L. M. G. Processamento Digital de Imagens. São Paulo: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001.

MANGABEIRA, J.A.C., AZEVEDO, E.C. de, LAMPARELLI, R.A.C. Avaliação do Levantamento do Uso das Terras por Imagens de Satélite de Alta e Média Resolução Espacial. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, (Comunicado Técnico, 11). 16 p. 2003.

MOTTA, J. L. G.; FONTANA, D. C. & WEBER, E. Verificação da acurácia da estimativa de área cultivada com soja através de classificação digital de imagens Landsat. In: INPE. Anais X SBSR. Foz de Iguaçu: INPE, 2001, p.123-129.

OLIVEIRA, E. G. *et al.* Diagnóstico sobre o uso da terra na região Centro-Oeste de Minas Gerais, Brasil: A renovação da paisagem pela cana-de-açúcar e seus impactos socioambientais. Revista Sociedade Natureza. UFU. Ano 24 n.3 set/dez 2012.

ROVEDDER, J. Validação da classificação orientada a objetos em imagens de satélite Ikonos II e elaboração de indicadores ambientais georreferenciados no município de Torres, planície costeira do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado. CEPSSRM/UFRGS, 2007

TRIVIÑOS, A. N. S. Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação. São Paulo: Atlas, 1987.

APÊNDICE II - Parâmetros calibrados nos algoritmos expander e patcher nos modelos de simulação para os períodos 1995 a 2000 e 2005 a 2010 nos municípios de Arcos, Bambuí, Iguatama, Japaraíba, Lagoa da Prata e Luz.

Expander (Média) - cenário 1- 1995 a 2000				
De/ Para	Agricultura	Cana-de-açúcar	Pastagem	Remanescente
Agricultura		50.0	70.0	70.0
Cana-de-açúcar	50.0		50.0	70.0
Pastagem	50.0	50.0		90.0
Remanescente	50.0	50.0	90.0	

Expander (Variância) - cenário 1- 1995 a 2000				
De/ Para	Agricultura	Cana-de-açúcar	Pastagem	Remanescente
Agricultura		30.0	50.0	50.0
Cana-de-açúcar	30.0		30.0	50.0
Pastagem	30.0	30.0		70.0
Remanescente	30.0	30.0	70.0	

Expander (Isometria) - cenário 1- 1995 a 2000				
De/ Para	Agricultura	Cana-de-açúcar	Pastagem	Remanescente
Agricultura		1.5	1.5	1.5
Cana-de-açúcar	1.5		1.5	1.5
Pastagem	1.5	1.5		1.5
Remanescente	1.5	1.5	1.5	

Patcher (Média) - cenário 1- 1995 a 2000				
De/ Para	Agricultura	Cana-de-açúcar	Pastagem	Remanescente
Agricultura		50.0	70.0	70.0
Cana-de-açúcar	50.0		50.0	70.0
Pastagem	50.0	50.0		90.0
Remanescente	50.0	50.0	90.0	

Patcher (Variância) - cenário 1- 1995 a 2000				
De/ Para	Agricultura	Cana-de-açúcar	Pastagem	Remanescente
Agricultura		30.0	50.0	50.0
Cana-de-açúcar	30.0		30.0	50.0
Pastagem	30.0	30.0		70.0
Remanescente	30.0	30.0	70.0	

Patcher (Isometria) - cenário 1- 1995 a 2000				
De/ Para	Agricultura	Cana-de-açúcar	Pastagem	Remanescente
Agricultura		1.5	1.5	1.5
Cana-de-açúcar	1.5		1.5	1.5
Pastagem	1.5	1.5		1.5
Remanescente	1.5	1.5	1.5	

Expander (Média) - cenário 2- 2005 a 2010				
De/ Para	Agricultura	Cana-de-açúcar	Pastagem	Remanescente
Agricultura		90.0	50.0	50.0
Cana-de-açúcar	50.0		50.0	50.0
Pastagem	50.0	70.0		50.0
Remanescente	50.0	50.0	50.0	

Expander (Variância) - cenário 2- 2005 a 2010				
De/ Para	Agricultura	Cana-de-açúcar	Pastagem	Remanescente
Agricultura		70.0	30.0	30.0
Cana-de-açúcar	30.0		30.0	30.0
Pastagem	30.0	50.0		30.0
Remanescente	30.0	30.0	30.0	

Expander (Isometria) - cenário 2- 2005 a 2010				
De/ Para	Agricultura	Cana-de-açúcar	Pastagem	Remanescente
Agricultura		1.7	1.5	1.5
Cana-de-açúcar	1.5		1.5	1.5
Pastagem	1.5	1.7		1.5
Remanescente	1.5	1.5	1.5	

Patcher (Média) - cenário 2- 2005 a 2010				
De/ Para	Agricultura	Cana-de-açúcar	Pastagem	Remanescente
Agricultura		90.0	30.0	30.0
Cana-de-açúcar	30.0		30.0	30.0
Pastagem	30.0	90.0		30.0
Remanescente	30.0	30.0	30.0	

Patcher (Variância) - cenário 2- 2005 a 2010				
De/ Para	Agricultura	Cana-de-açúcar	Pastagem	Remanescente
Agricultura		70.0	30.0	30.0
Cana-de-açúcar	30.0		30.0	30.0
Pastagem	30.0	70.0		30.0
Remanescente	30.0	30.0	30.0	

Patcher (Isometria) - cenário 2- 2005 a 2010				
De/ Para	Agricultura	Cana-de-açúcar	Pastagem	Remanescente
Agricultura		1.7	1.5	1.5
Cana-de-açúcar	1.5		1.5	1.5
Pastagem	1.5	1.5		1.5
Remanescente	1.5	1.5	1.5	

APÊNDICE III - Validação dos modelos - índices de similaridade Fuzzy calculados através da função de decaimento exponencial para distintos tamanhos de janela.

Cenário 1- 1995 a 2000	
Tamanho da Janela (pixels)	Índice de similaridade <i>Fuzzy</i>
5 x5	0,735
7 x7	0,751
9 x9	0,760
11 x 11	0,764

Cenário 2- 2005 a 2010	
Tamanho da Janela (pixels)	Índice de similaridade <i>Fuzzy</i>
5 x5	0,582
7 x7	0,600
9 x9	0,611
11 x 11	0,617

Observação 1 - De acordo com Barni (2009) valores acima de 50% de similaridade entre os mapas comparados são satisfatórios para validação do modelo. Os resultados obtidos indicam em determinada área o percentual de células do mapa simulado que são idênticas ao do mapa de referência.

Observação 2 - O índice tende a ser maior quanto maior forem as janelas de amostragem. Assim sendo, a partir de certa resolução (em geral, acima de 11 ou 13 *pixels*) é comum ocorrer a saturação, conferindo ineficiência ao mesmo para avaliar o ajuste entre o mapa real e o mapa simulado (FERRARI, 2008).