

*Fatores determinantes e cenários futuros sobre a
expansão da cana-de-açúcar na região de
Cerrado no Centro-Oeste mineiro*

*Determinants and future scenarios for the expansion of
sugarcane in the Cerrado region of Minas Gerais in the
Midwest*

*Determinantes y escenarios futuros para la expansión de la
caña de azúcar en la región del Cerrado de Minas Gerais, en
el Medio Oeste*

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

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

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

Resumo

Neste estudo buscou-se identificar a influência das variáveis fisiográficas sobre a expansão canavieira no Centro-Oeste mineiro, entre os anos de 2005 e 2010, bem como a simulação de cenários futuros para a cobertura e uso da terra no ano de 2030. Os resultados indicaram que, entre as variáveis analisadas, a localização das usinas, distâncias de áreas cultivadas, malha viária e a topografia exerceram influência favorável 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.

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

Abstract

In this study we sought to identify the influence of physiographic variables on sugarcane expansion in the Midwest of Minas Gerais, between the years 2005 and 2010, as well as the simulation of future scenarios to cover and land use in the year 2030. The results indicated that, among the variables, location of plants, distances of cultivated areas, road network and topography exerted a favorable influence on the increase in planted area in the region. Maps of future scenarios indicate significant differences between the two simulated scenarios. At first, the pasture area would remain stable, the remaining Cerrado vegetation would suffer an increase of 5.3% (regeneration), the sugarcane would fall 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 127.3%. The conversion to sugarcane would occur especially on areas with agriculture and pastures, which would suffer from 35% and 27.1% reductions respectively.

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

Resumen

En este estudio hemos tratado de identificar la influencia de variables fisiográficas en expansión de la caña en la minera Medio Oeste, entre los años 2005 y 2010, así como la simulación de escenarios futuros para cubrir y uso de la tierra en el año 2030. Los resultados indicaron que, entre las variables, la ubicación de las plantas, distancias áreas cultivadas, red de carreteras y la topografía ejerce una influencia favorable en el aumento de la superficie plantada en la región. Mapas de escenarios futuros indican diferencias significativas entre los dos escenarios simulados. Al principio, la zona de pastos se mantendría estable, la vegetación del Cerrado restante sufriría un aumento del 5,3% (regeneración), la caña de azúcar se reduciría en un 24,7% en su área cultivada, mientras que la agricultura en general sería aumentar su cobertura en un 40%. El segundo escenario se caracteriza por un aumento significativo en los cultivos de azúcar de caña, aumentando su área de 127,3%. La conversión de la caña de azúcar se producirá sobre todo en las zonas de agricultura y pastos, que sufrirían de un 35% y un 27,1% de reducción, respectivamente.

Palabras clave: caña de azúcar, el Cerrado, la modelización ambiental, escenarios futuros.

Introdução

A atividade canvieira 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 dos 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 Alcool (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 Alcool (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 pelos 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 determinantes para a espacialização das lavouras de cana-de-açúcar nesta região? 2) Em relação à cobertura e uso da terra, quais são as tendências para ocupação 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 espacialização 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.

Materiais e métodos

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 31.543 km² (figura 1).

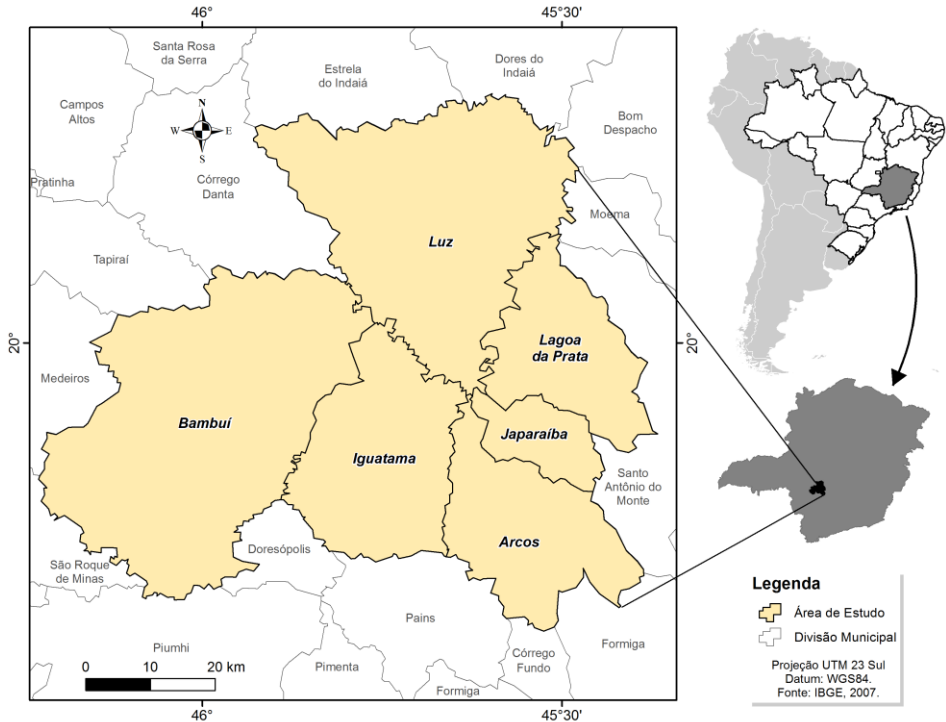


Figura 1- Localização da área de estudo. Destaque para os municípios de Arcos, Bambuí, Iguatama, Japaraíba, Lagoa da Prata e Luz.

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). Através 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 no formato *raster* todos os mapas de entradas necessitaram ser convertidos do formato vetorial para imagem (padrão GEOTIF). Este procedimento foi realizado com o uso do SIG ArcGis (ESRI, 2009), sendo que para cada mapa gerado foi definida a célula de saída com *pixel* 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.

Base de dados

As bases de dados utilizadas neste estudo (figura 2) estão descritas abaixo, juntamente com os respectivos procedimentos de análise.

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

b- 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).

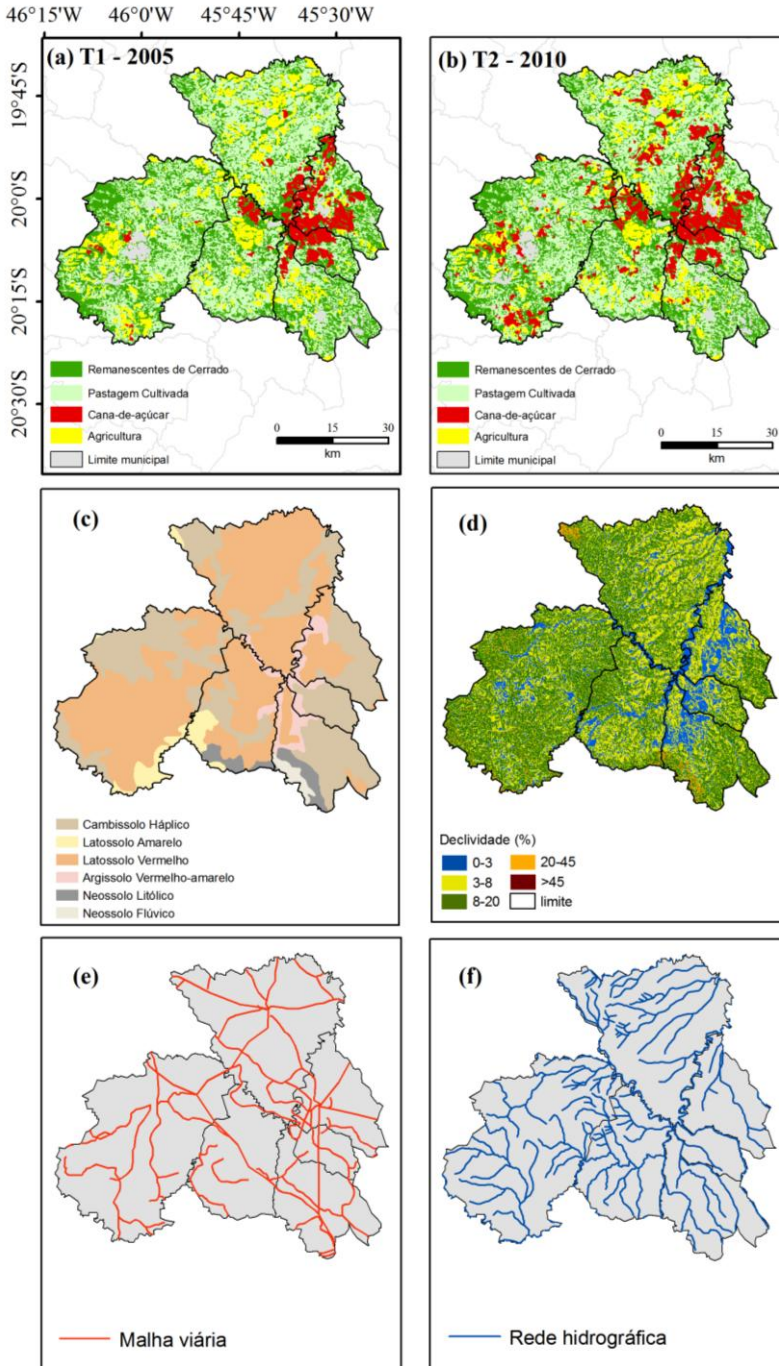


Figura 2 – Base de dados utilizada para modelagem ambiental no DINAMICA, constituída por variáveis dinâmicas e estáticas representadas nos mapas da área de estudo.

c- Mapa de relevo (declividade) – Este mapa foi elaborado com base nos dados obtidos pelo *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM¹), e representa os aspectos topográficos da área contemplada nesse estudo. Os produtos são disponibilizados no formato 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).

d- Mapa de bacias hidrográficas – 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.

e- 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.

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

¹ SRTM: Shuttle Radar Topography Mission. Dados de altimetria disponibilizados, gratuitamente, através do portal ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/srtm/version2/SRTM3/South_America/

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 1).

Tabela 1 – 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, o modelo de simulação foi rodado 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.

Para obtenção dos cenários simulados, foram realizados os procedimentos em 6 passos: 1) cálculo do percentual das mudanças na paisagem entre t_1 e t_2 , 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 *expander* e *patcher*. 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 através de um mecanismo de sementeira.

Outra função importante é o *modulate change matrix*, voltado para a definição do percentual de células que irão sofrer mudança em cada um dos cenários gerados pelo *expander*, ficando o programa responsável por providenciar o restante das mudanças pela função *patcher*. Neste trabalho, o percentual definido para o *expander* foi obtido através 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 *patcher* também foram definidos por sucessivos testes.

Para a validação do modelo, utilizou 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.

Resultados e discussões

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 3-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.

Os dados apresentados na figura 3-B indicam que a expansão das lavouras de cana tende a ocorrer em áreas próximas aos canais 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 3-C).

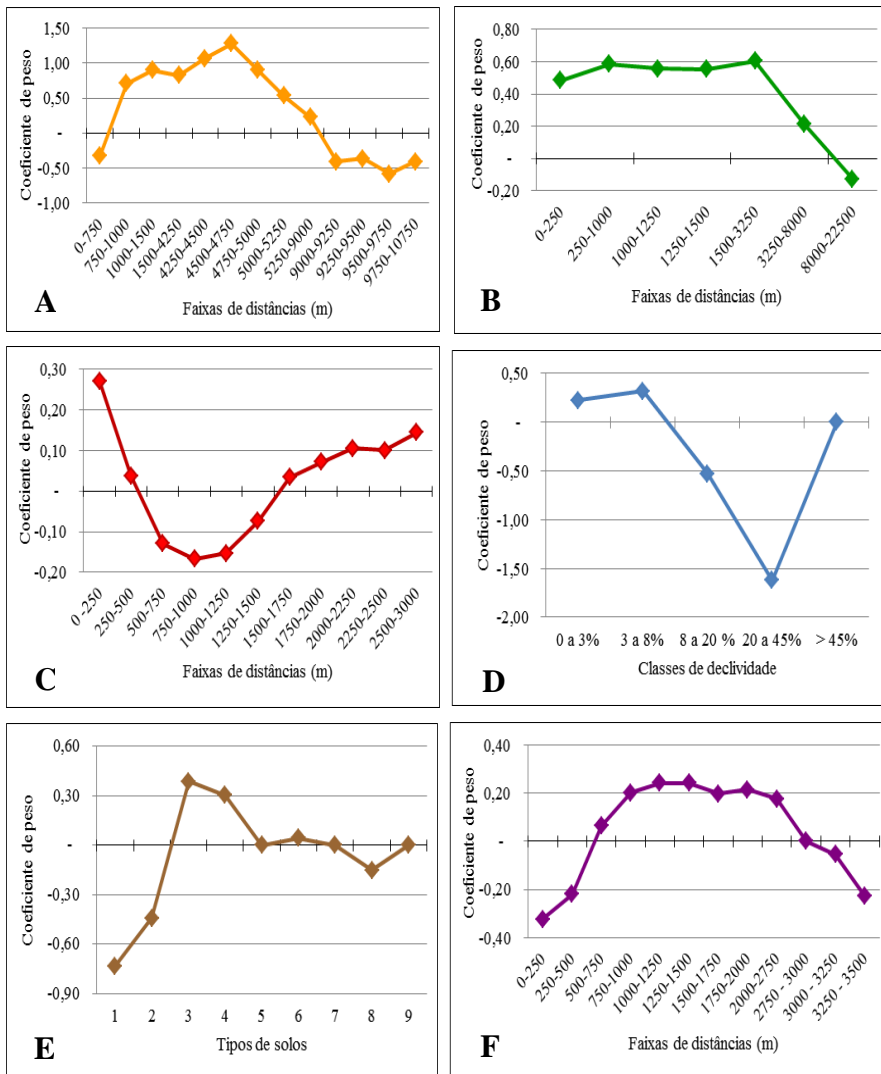


Figura 3 – Coeficientes de pesos de evidência para expansão da cana-de-açúcar nos municípios de Arcos, Bambuí, Iguatama, Japaraíba, Lagoa da Prata e Luz, no período de 2005 a 2010. (A) Distância das usinas; (B) Distâncias de áreas cultivadas; (C) Rodovias; (D) Declividade; (E) Tipos de solos; e (F) Rede de drenagem.

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 3-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 3-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 2.

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 3-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.

Tabela 2 - 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.

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 2-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.

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 3), 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 3 – Processo de conversão entre as classes de uso da terra nos municípios de Arcos, Bambuí, Iguatama, Japaraíba, Lagoa da Prata e Luz no Cenário 1, período de 2010 a 2030.

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 3, 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 4.

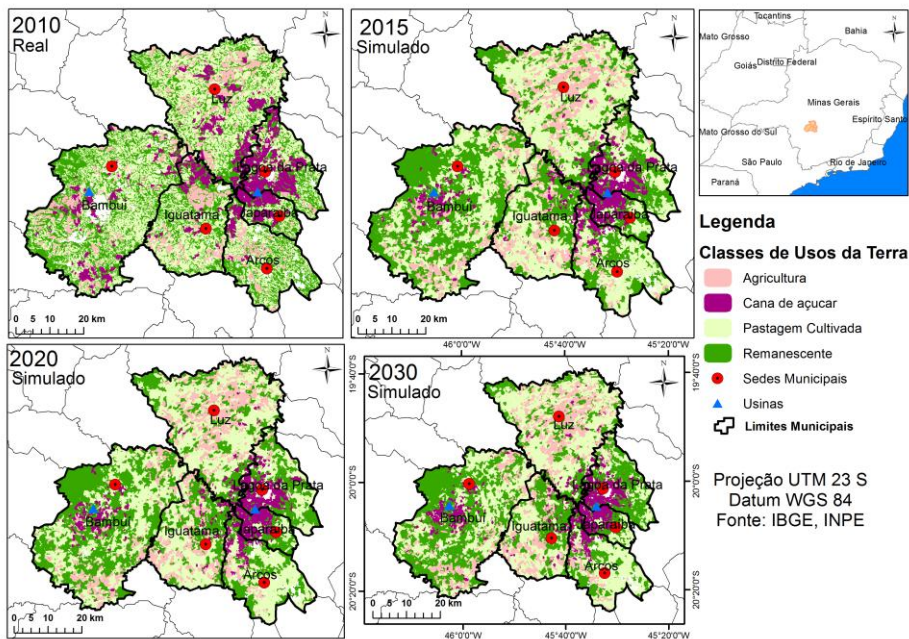


Figura 4 – Resultados do Cenário 1, comparando o mapa de cobertura e uso da terra em 2010 (real), gerado a partir de imagens Landsat para este ano, com os mapas simulados para os anos de 2015, 2020 e 2030.

O segundo cenário (tabela 4), 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 4 – 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.

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 4). 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 àquelas 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 empresa², 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 5).

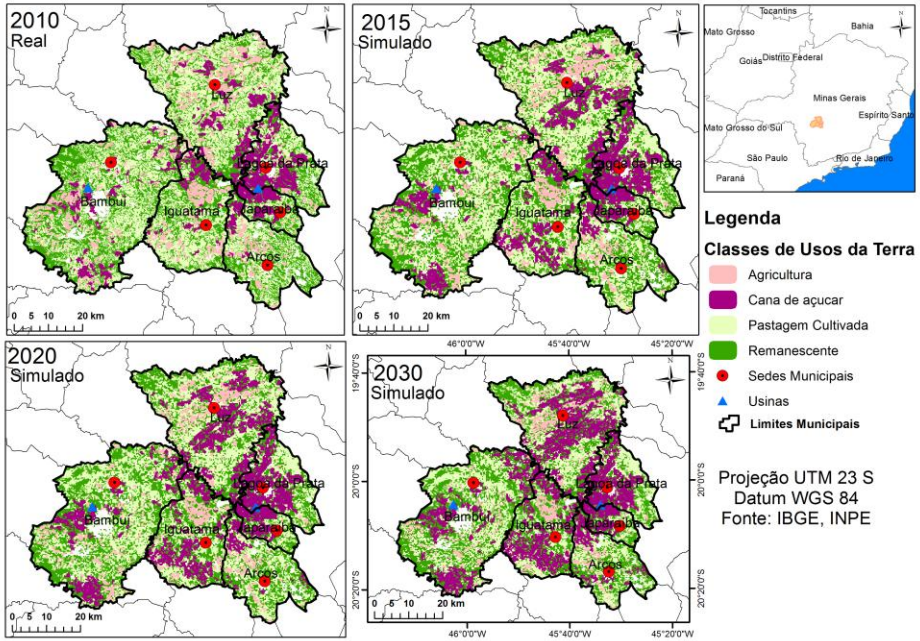


Figura 5 – Resultados do Cenário 2, comparando o mapa de cobertura e uso da terra em 2010 (real), gerado a partir de imagens Landsat para este ano, com os mapas simulados para os anos de 2015, 2020 e 2030.

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.

² Informações obtidas, por meio de entrevista, junto a gerencia agrícola da Bambuí Bioenergia em 15/07/2013.

Considerações finais

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.

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.

Edmar Geraldo Oliveira

Doutor em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Goiás e mestre em Meio Ambiente e Sustentabilidade pela Universidade de Caratinga-MG – UNEC. Atualmente é professor efetivo do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - IFMG - Campus São João Evangelista.

Av. Professor Mário Werneck, Buritis. Cep: 30575-180 - Belo Horizonte, MG.

E-mail: edmar@ifmg.edu.br

Fausto Miziara

Doutor, mestre e graduado em Sociologia pela Universidade de Brasília e professor titular da Universidade Federal de Goiás junto a Faculdade de Ciências Humanas e Filosofia.

Campus II, Cx. Postal 131, CEP 74001-970, Goiânia - GO.

E-mail: faustomiziara@uol.com.br

Manuel Eduardo Ferreira

Doutor em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Goiás, com estágio pós-doutoral no Woods Hole Research Center (Massachusetts, EUA); mestre em Processamento de Dados em Geologia e Análise Ambiental e graduado em Geografia pela Universidade de Brasília. Atualmente é professor adjunto da Universidade Federal de Goiás e o atual Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFG.

Campus II (Samambaia). Itatiaia. Cep: 74001-970 - Goiania, GO.

E-mail: manuel@ufg.br

Recebido para publicação em março de 2014

Aprovado para publicação em maio de 2014