

ARTIGO DE REVISÃO

AVALIAÇÃO DE ÁREAS POTENCIAIS AO CULTIVO DE BIOMASSA PARA PRODUÇÃO DE ENERGIA E UMA CONTRIBUIÇÃO DE SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

**ADALBERTO K. MIURA¹, ANTONIO R. FORMAGGIO², YOSIO E. SHIMABUKURO³,
SERGIO D. DOS ANJOS⁴, ALFREDO J. B. LUIZ⁵**

RESUMO: A humanidade sempre utilizou a biomassa para fins energéticos, porém com o aumento da demanda, ameaças à segurança energética e os danos para o ambiente e para a saúde decorrentes da utilização dos combustíveis fósseis, a importância desta fonte renovável vem sendo resgatada. Neste cenário, o planejamento agroenergético passa a ser de grande importância para países tropicais como o Brasil, pois permite viabilizar a produção de biomassa para energia onde esta é requerida, de forma sustentável, sem deixar de considerar os aspectos sociais e ambientais. Desta forma, o presente artigo tem por objetivo apresentar importantes questões relacionadas ao planejamento energético regional, como forma de contribuir para soluções e políticas públicas relacionadas à produção de energia de biomassa. Ademais, é apresentada a contribuição das técnicas de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas para avaliações de *áreas potenciais ao cultivo de culturas bioenergéticas*, além de um modelo conceitual que demonstra como essas técnicas podem constituir-se em ferramentas de apoio à tomada de decisão estratégica nesta área de bioenergia. Adicionalmente, algumas dificuldades e limitações para o planejamento territorial e agroenergético também foram relacionadas.

PALAVRAS-CHAVE: agroenergia, biocombustíveis, SIG, sensoriamento remoto, modelagem dinâmico-espacial, modelo conceitual.

ASSESSMENT OF POTENTIAL AREAS TO BIOMASS CULTIVATION FOR ENERGY PRODUCTION AND A CONTRIBUTION OF REMOTE SENSING AND GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS

ABSTRACT: Since early times, the human kind has been using the biomass for energy purposes. However, the current increasing energy demand can endanger the energy security of the nations and, as well, could put in risk the planet's environmental quality and human health. Thus, by the issues concern about the fossil fuels utilization, the importance of renewable energy sources is being rescued. In this scenario, the biomass energy planning becomes very important to tropical countries, like Brazil, because it would allow stimulating the production of biomass for energy where it is required, but in a sustainable way, considering the social and environmental aspects. Thus, this study aims to present important aspects related with regional energy planning as a contribution for proposing better solutions to energy demands and to think about better public policies related to energy production from biomass. Besides, a contribution of Remote Sensing and Geographic Information System in order to assess *areas for biomass energy production* and a conceptual model are presented as framework which demonstrates how these techniques can constitute support tools to strategic decision making process in bioenergy issues. Some difficult and constraints to territorial and agro-energy planning in Brazil was also presented.

KEYWORDS: agro-energy, biofuels, GIS, remote sensing, spatial dynamic models, conceptual model.

¹ Pesquisador, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA Clima Temperado). Doutorando do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE/MCT), adalberto.miura@cpect.embrapa.br.

² Pesquisador, Titular do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE/MCT).

³ Pesquisador, Titular do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE/MCT).

⁴ Pesquisador da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA Clima Temperado).

⁵ Eng^o Agrônomo, Doutor em Sensoriamento Remoto. Pesquisador da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA Meio Ambiente).

Recebido pelo Conselho Editorial em: 9-6-2009

Aprovado pelo Conselho Editorial em: 13-4-2010

INTRODUÇÃO

A energia proveniente da biomassa cultivada (agroenergia) ganhou, recentemente, grande destaque mundial como fonte renovável de energia, devido aos impactos da última crise energética (2007-2008) e aos temores de que as mudanças climáticas e ambientais sejam irreversíveis.

Uma ampliação da oferta de bioenergia na matriz energética global poderia reduzir o uso de combustíveis fósseis e, conseqüentemente, contribuir para a segurança energética dos países, durante o necessário período de transição do atual modelo energético para outros socialmente aceitáveis e mais limpos, com menor "pegada ecológica"¹.

Neste novo contexto, é exigida uma nova "revolução verde" na agricultura, visto que não se requer apenas o atendimento das necessidades alimentares para uma população crescente, mas também aos insumos demandados pela indústria de bioenergia. Por outro lado, as controvérsias sobre a sustentabilidade econômica, riscos ambientais e à segurança alimentar precisam ser dirimidas ou, ao menos, minimizadas. Para isto, é necessário que a agroenergia esteja contemplada em estudos macroeconômicos e em planejamentos energéticos e territoriais.

A abordagem sistêmica e integradora oferecida pelos ambientes de geoinformação representa uma das mais completas formas de análise deste problema, pois permite que diferentes variáveis possam ser relacionadas e visualizadas tanto espacialmente como temporalmente, possibilitando também a simulação de diferentes cenários.

Deste modo, o objetivo do presente trabalho é apresentar questões relacionadas ao planejamento energético regional, como forma de contribuir para o encaminhamento de soluções e de políticas públicas relacionadas à produção de energia de biomassa. Ademais, é apresentada a contribuição das técnicas de Sensoriamento Remoto e de Sistemas de Informações Geográficas para este estudo, além de um modelo conceitual que demonstra como essas técnicas podem constituir-se em ferramentas de apoio à tomada de decisão estratégica, na área de bioenergia.

BIOENERGIA E BIOCOMBUSTÍVEIS

No âmbito energético, a biomassa pode ser definida como matéria orgânica, derivada de plantas (resultante da conversão fotossintética) ou de animais, os quais são reservatórios temporários de energia química (SIMS, 2002).

Para a FAO² (2004), todo material combustível proveniente da biomassa recebe a denominação de *biocombustível*, e as formas de energia derivadas de sua transformação podem ser tratadas por *bioenergia (stricto sensu)*. Os insumos bioenergéticos (biomassa) são alvo da *agroenergia*, que, em sentido amplo, é entendida como um tipo de energia renovável, biomassa de origem agropecuária (plantações e animais), florestal e da gerência de resíduos, bem como das tecnologias empregadas para seu uso ou beneficiamento (BRASIL, 2006).

Como combustível, a biomassa apresenta grandes possibilidades para pesquisa e utilização, pois as formas tradicionais (lenha e carvão vegetal) estão cedendo espaço à biomassa moderna, (biocombustíveis de 1ª geração, formas mais eficientes de geração e cogeração de bioenergia), como bioálcool, biodiesel, bio-hidrogênio. Contudo, na segunda geração de biocombustíveis, obtidos por meio do aproveitamento de resíduos agrícolas, industriais, urbanos ou outros insumos não convencionais, com grande aporte tecnológico, espera-se um grande rendimento energético por área e baixos impactos ambientais (HALL et al., 2005; MUNDIM, 2006; VIGUIRISTI, 2008).

¹ Do inglês "*ecological footprint*" (REES, 1992). É um indicador de sustentabilidade que informa a área total do Planeta (ecossistemas terrestres ou aquáticos) necessária para prover alimento e abrigo a uma população, bem como assimilar os resíduos por ela produzidos (REES, 2000).

² FAO, Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação.

Outra importante vantagem da biomassa como fonte de energia é a possibilidade de ampliar, descentralizar e distribuir a oferta energética, atendendo a regiões que possuem déficit na geração, que possibilitaria aos locais longínquos ou isolados tornarem-se menos dependentes de combustíveis para movimentação de frotas ou como fonte primária de energia. Nestes casos, os produtores rurais ganham importância, pois além de produzir alimentos, podem tornar-se importantes fornecedores de energia, para além do meio rural (CASTELLANELLI et al., 2008).

Com uma privilegiada situação territorial e climática (disponibilidade de áreas agrícolas em clima predominantemente tropical, com boa disponibilidade hídrica) para a agroenergia (BACCHI, 2006; BRASIL, 2006), o Brasil apresenta-se em condições competitivas para tornar-se líder mundial na produção de biocombustíveis, sem prejuízo à segurança alimentar e com impactos ambientais aceitáveis, promovendo a otimização das áreas já destinadas à produção agrícola, estimulando o manejo sustentável das terras e o aproveitamento de áreas degradadas ou marginalizadas (BRASIL, 2006).

Pela possibilidade de a biomassa energética ser produzida tanto em sistemas de produção familiar, quanto em larga escala em cultivos empresariais, os agrocombustíveis ganham importância estratégica, pois podem fomentar o setor agrícola, ampliar a geração de empregos e contribuir para a segurança energética. Por este motivo, AMORIM (2007) acredita que o País deverá tornar-se o principal palco de investimentos internacionais do setor. Neste sentido, BENETTI (2009) corrobora identificando os principais atores e as formas mais importantes da internacionalização da indústria de etanol brasileira e como este setor tem-se reorganizado.

Até a safra de 2005/2006, o País liderou a produção mundial de bioetanol, perdendo, nas safras seguintes para os EUA, devido à modificação de orientação política daquele país em relação à segurança energética nacional (AMORIM, 2007). Já no Brasil, a decisão sobre a produção de biocombustíveis, além de ser uma orientação governamental, também se dá por força do mercado, motivados pelos preços internacionais de *commodities* como petróleo, soja e açúcar (AMATTUCCI & SPERS, 2010), sendo pequena a influência de agricultores, movimentos sociais, empresariais ou ideologias.

Para a produção de bioetanol no Brasil, são consideradas como matérias-primas prioritárias a cana-de-açúcar, a mandioca, a batata-doce e o sorgo sacarino. Mas, para a produção de biodiesel, o rol de oleaginosas é amplo, incluindo também a utilização de gorduras animais e de óleos residuais. Atualmente, no cenário nacional, a soja destaca-se por sua grande disponibilidade, a mamona pelos incentivos governamentais à agricultura familiar e o dendê pelo grande rendimento em óleo e pelo potencial produtivo em áreas marginais no Norte e Nordeste brasileiro, muito embora haja outras culturas promissoras (canola, girassol, algodão, pinhão-manso, tungue, etc.) para o biodiesel.

POTENCIAL AGROENERGÉTICO DAS TERRAS

Áreas, ou *territórios potenciais*, são aquelas que, por características intrínsecas (naturais, geográficas, sociais, econômicas ou políticas), estão vocacionadas ou apresentam aptidão para algum tipo de atividade, uso ou fim (COUNCIL OF EUROPE, 2007). Por exemplo, as áreas potenciais para projetos de irrigação, minimamente, precisam ter acesso fácil a algum manancial de qualidade onde os conflitos de uso da água possam ser mediados ou mitigados, bem como apresentem um balanço ótimo em função do custo/benefício econômico, social e ambiental.

Por outro lado, a *identificação de áreas potenciais* não deve ser confundida com *zoneamento*, instrumento de ordenamento/planejamento territorial, que orienta o uso do solo, preocupando-se em identificar e caracterizar unidades territoriais homogêneas, nas quais é possível estabelecer a setorização do espaço para atividades específicas (BRASIL, 2007). Porém, as análises para a tomada de decisão estratégica são realizadas por abordagens bastante distintas, nem sempre compatíveis, como Métodos *ad hoc*, Listagens, Matrizes, Modelos de Simulação, *Overlays*, Geoestatística, Análise Multivariada, Análise Multicriterial, dentre outros (FIDALGO, 2003).

Para estimar o potencial de fontes energéticas renováveis, deve-se avaliar a influência das características locais, observar limitações impostas pelas tecnologias disponíveis e ter-se em conta as expectativas econômicas (VOIVONTAS et al., 1998).

Em suma, o planejamento agroenergético deve considerar os diferentes níveis de potencialidade das áreas aptas à produção de biomassa energética (Figura 1), para que seja definido, de modo restrito ou participativo, dentre muitas soluções ótimas, a mais adequada ao atendimento da demanda bioenergética, no momento e circunstância avaliados, para o território de interesse.

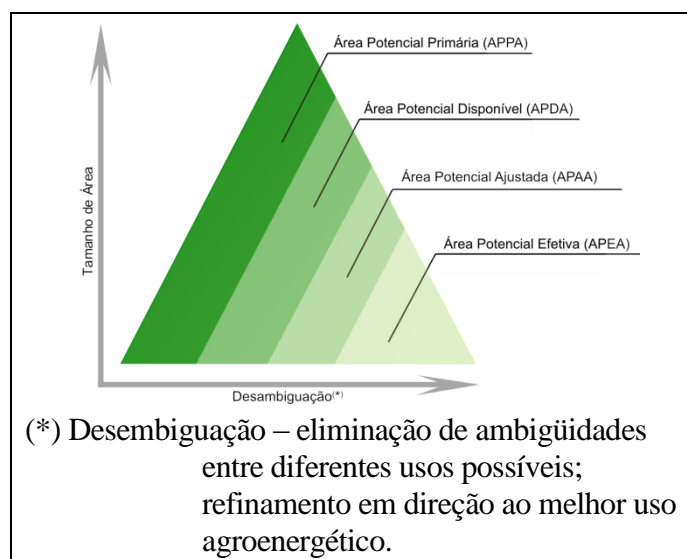


FIGURA 1. Os diferentes níveis de potencialidade de áreas aptas à agroenergia. **The different levels of potentiality of suitable areas for agro-energy.**

Neste documento, propõem-se então algumas definições:

Área de Potencial Primário para Agroenergia (APPA): diz respeito ao conjunto máximo de áreas agricultáveis, passíveis a cultivos energéticos por suas características naturais, como clima, relevo, solo, insolação e balanço hídrico.

Área de Potencial Disponível para Agroenergia (APDA): exclui da APPA as superfícies impedidas fisicamente (e.g. áreas de corpos d'água, cidades, afloramentos rochosos) e as protegidas legalmente (e.g. áreas de proteção permanente, unidades de conservação e biomas protegidos) para o cultivo agroenergético.

Área de Potencial Ajustado para Agroenergia (APAA): leva em conta, para cada cultura energética considerada, variáveis como infraestrutura (industrialização e transporte), usos atuais das terras, aptidão agrícola, aspectos ambientais e características socioeconômicas, para excluir da APDA as superfícies que ofereçam maior risco aos investimentos em agroenergia.

Área de Potencial Efetivo para Agroenergia (APEA): é resultante dos processos de desambiguação e refere-se ao potencial agroenergético real da região de interesse, levando-se em conta as vantagens de conversões de usos em relação aos usos já existentes e entre as culturas energéticas consideradas, além de aspectos logísticos (transporte, distribuição e beneficiamento), de custos e de consumo da agroenergia a ser produzida. Obtêm-se, então, diferentes níveis de potencialidade agroenergética efetiva (alto potencial, médio potencial, baixo potencial e impróprio para cultivos energéticos), sendo as de alto potencial consideradas como Áreas Potenciais Prioritárias à Agroenergia³.

³ Áreas Potenciais Prioritárias à Agroenergia: espaços geográficos preferencialmente vocacionados à produção de biomassa para fins energéticos em relação a outros possíveis usos.

CONTRIBUIÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO E DOS SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS NO PLANEJAMENTO AGROENERGÉTICO

De forma geral, o cultivo de biomassa para produção de energia pode dar-se em qualquer área agricultável. Entretanto, para garantir os interesses nacionais, incluindo-se aqueles aparentemente antagônicos como desenvolvimento econômico e biodiversidade, os governos precisam fornecer os marcos legais, incentivos fiscais e financeiros necessários aos territórios com potencialidade à produção de energia renovável (VOIVONTAS et al., 1998). Neste contexto, torna-se indispensável uma correta avaliação do potencial de produção agroenergética, aliada a um efetivo planejamento territorial, pois um importante fator limitante para o planejamento e desenvolvimento de uma cadeia de agroenergia é o fornecimento constante e de longo prazo de biomassa com custos competitivos (DAM et al., 2007).

O *planejamento agroenergético* pode ser entendido como o conjunto de etapas envolvidas na análise de viabilidade econômica e localização de empreendimentos, produção de biomassa, comercialização, beneficiamento, produção de bioenergia, consumo e destinação de resíduos (NIBBI et al., 2004). Já o *planejamento territorial* compreende o conjunto de diretrizes, políticas e ações, com vistas a alcançar um ordenamento do espaço geográfico afetado pelas atividades humanas (sociais e econômicas), buscando o crescimento e o desenvolvimento desejado de forma sustentável (BRASIL, 2007).

Estas atividades deveriam ser prioritárias para os principais agentes e vetores setoriais envolvidos com o tema (VOIVONTAS et al., 1998), pois o suprimento energético é estratégico para o desenvolvimento das nações (RAMACHANDRA, 2009), uma vez que incrementos na atividade agropecuária ou industrial demandam suprimento de energia (JEBARAJ & INIYAN, 2006; BORGES NETO & CARVALHO, 2009).

Portanto, a identificação e a estimativa de fontes de energias renováveis, a avaliação do perfil de demanda energética e o desenvolvimento de planos estratégicos para integração das fontes renováveis de energia constituem a base sobre a qual uma política regional realista deveria ser formada (VOIVONTAS et al., 1998).

Adicionalmente, é necessário considerar, durante a análise sobre as fontes de biomassa, sua dinâmica natural, tanto ao longo do tempo quanto sobre um território (NOON & DALY, 1996), assim como os interesses dos diferentes *stakeholders*, tornando o planejamento para bioenergia algo muito complexo (HEKTOR, 2000).

Diferentes ferramentas e métodos podem ser empregados na análise e planejamento agroenergético. Destacam-se o Sensoriamento Remoto (SR) e os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), coadjuvados ou não por inteligência artificial, abordagens multicritério e modelagem dinâmica espacial.

A principal contribuição do SR é fornecer uma visão sinótica sobre o uso/cobertura das terras do espaço geográfico considerado. No caso específico da bioenergia, esta técnica também pode favorecer outras análises, como: indicação da disponibilidade de terras para fins de produção de biomassa (SUDHA & RAVINDRANATH, 1999), previsão de safra (RIZZI & RUDORFF, 2007), monitoramento do desenvolvimento e quantidade da biomassa (BÁÁTH et al., 2002), mensuração da expansão de culturas agroenergéticas, como a cana-de-açúcar (RUDORFF et al. 2010).

O SR também é utilizado no levantamento (BROWN et al., 2007) e no monitoramento das mudanças de uso e cobertura da terra (RAMACHANDRA, 2007) advindos da expansão da agroenergia, bem como de seus impactos ambientais (FIRBANK, 2008), contribuição às mudanças climáticas (DALE, 1997) e inventário de sequestro de carbono (MACDICKEN, 1997), dentre outras aplicações.

Os SIGs, diferentemente dos mapas convencionais, permitem recuperar, armazenar e visualizar dados espacializados, facilitando o cruzamento de informações e a análise de dados, de forma a integrar vários níveis de informação e gerar novos dados e informações (NOON & DALY, 1996).

Podem ser encontrados na literatura vários exemplos de uso do SIG, como a avaliação de disponibilidade de biomassa para fins energéticos (DOMINGUEZ & MARCOS, 2000; FIORESE & GUARISO, 2010), disponibilidade e adequabilidade das terras para agroenergia (ANDERSEN et al., 2005; FIORESE & GUARISO, 2010), localização ótima de plantas de geração de energia de biomassa (PANICHELLI & GNANSOUNOU, 2008), otimização de custos (VOIVONTAS et al., 2001), apoio à agricultura de precisão (MACHADO et al., 2002; ESQUIVEL et al., 2008), bem como auxiliar a avaliação dos impactos ambientais em todo o ciclo de vida dos produtos e serviços associados à bioenergia (PANICHELLI et al., 2009) e no monitoramento de gases de efeito estufa (GNANSOUNOU et al., 2008).

Técnicas de inteligência artificial têm-se mostrado promissoras na avaliação do potencial de energias renováveis juntamente com os SIGs (JEBARAJ & INIYAN, 2006), em especial as redes neurais artificiais (KALOGIROU, 2001). Algumas aplicações destas técnicas podem ser coligidas da literatura, como modelagem de emissões de gases de efeito estufa a partir da queima de biomassa para produção de eletricidade (NARAYANAN et al., 2006) e modelos de previsão de crescimento e produtividade de culturas agroenergéticas (KAUL et al., 2005; ALVAREZ, 2009).

As *abordagens multicriteriais convencionais* não levam em conta a heterogeneidade espacial (PHUA & MINOWA, 2005), porém têm sido empregadas com bastante sucesso como coadjuvantes do processo decisório relativo às fontes renováveis, em especial à bioenergia, seja na análise de riscos e incertezas (BUCHHOLZ et al., 2007), de custos (ROZAKIS et al., 2001), de oportunidades de mercado (BUCHHOLZ et al., 2009) seja na avaliação de impactos ambientais, mudanças climáticas (PHUA & MINOWA, 2005) e investimentos em projetos de MDL (Mecanismos de Desenvolvimento Limpo) (DIAKOULAKI et al., 2007).

Entretanto, os *métodos multicriteriais* também podem apoiar os SIGs em sistemas de suporte à decisão (SSD), o que instrumentaliza o processo decisório de planejamento territorial ou setorial (JANKOWSKI, 1995; GOMES & LINS, 2002). Já existem experiências interessantes no emprego destas técnicas associadas a SIGs, voltadas à cadeia agroenergética (ROZAKIS et al., 2001), ou à avaliação da aptidão das terras para biomassa energética (TENERELLI & MONTELEONE, 2008).

O planejamento territorial voltado à agroenergia pode, também, beneficiar-se com o emprego da *modelagem dinâmica espacial*, principalmente pela construção de cenários preditivos que possam levar em conta, além da expressão espacial e temporal dos fenômenos analisados, as relações sociais, ambientais e econômicas, bem como as externalidades. Estas modelagens podem dar-se em nível regional (SCHNEIDER et al., 2001; SCHEFFRAN et al., 2007), nacional (URGATE & RAY, 2000) e até mesmo global (YAMAMOTO et al., 2001). Apesar de não fornecer estimativas acuradas, estes modelos são essenciais para a construção de cenários futuros e para o planejamento estratégico e estabelecimento de políticas orientativas e corretivas.

MODELO CONCEITUAL DE PLANEJAMENTO AGROENERGÉTICO REGIONAL

Tendo em vista a atual conjuntura bioenergética global e a disposição brasileira em posicionar-se na liderança mundial em biocombustíveis, é fortemente requerido ao País planejar a produção de biomassa energética e sua conversão, distribuição e uso de agroenergia. Contudo, características regionais e a conservação da biodiversidade devem ser respeitadas, pois, segundo RAMACHANDRA (2009), somente quando as necessidades energéticas estão integradas às preocupações ambientais em nível local e global é possível alcançar o desenvolvimento sustentável para uma região.

De acordo com VOIVONTAS et al. (1998), para estimar o potencial de fontes energéticas renováveis, deve-se avaliar a influência das características locais, observar as limitações impostas pelas tecnologias disponíveis e ter-se em conta as expectativas econômicas.

Tendo em vista que estas diferentes abordagens apresentam grande dependência geográfica (NOON & DALY, 1996), os projetos energéticos baseados em biomassa requerem uma acurada

O processo decisório, público ou privado, sobre o quê, onde e quando investir, é etapa importante neste processo, a qual poderá lançar mão de expedientes multicriteriais, de forma participativa ou apenas deliberativa, direcionando os investimentos e as políticas para a agroenergia.

O planejamento agroenergético não pode deixar de monitorar o uso da terra e o consequente desempenho de seus indicadores, sob pena de ameaçar seriamente o setor e, por conseguinte, o provimento de bioenergia. Portanto, é necessário um *benchmarking*, incluindo-se também todos os indicadores, visando a medidas corretivas que possam garantir um alto grau de eficiência energética, social, econômica e ambiental.

No entanto, há no País importantes entraves para que o planejamento territorial e agroenergético seja levado a termo. Dentre estes, citam-se, como principais, os de ordem conjuntural, estrutural⁴ e metodológica.

Os entraves de ordem *conjuntural* referem-se às flutuações políticas que refletem na mudança de direcionamento de diferentes setores, como agricultura, indústria e movimentos sociais, pois, conforme observam DAM et al. (2007), políticas para alimentos e energia são modificadas ao longo do tempo, podendo gerar grandes impactos sobre a oferta e a conversão de biomassa energética.

Por vezes, ações governamentais com fins agroenergéticos não são bem-sucedidas por falta de adesão dos setores agrícolas e industriais, os quais têm interesses diversos, muitas vezes relacionados com o mercado de *commodities* agrícolas, cuja variação de preços é cíclica e obedece às leis de mercado (oferta vs. demanda), sofrendo também a influência de movimentos de especulação (FÜRSTENAU, 2009; AMATUCCI & SPERS, 2010), os quais são determinantes para o suprimento de biocombustíveis.

Por outro lado, pressões de movimentos sociais para a adoção de políticas que viabilizem a agricultura familiar, a reforma agrária, a sustentabilidade ambiental e o uso de fontes de energia limpa também exercem peso conjuntural, porém não fazem frente aos interesses econômicos e aos mecanismos do mercado de *commodities* (FIAN, 2008).

Outro importante obstáculo refere-se à falta de diálogo entre os atores governamentais (VILANI, 2008). No caso brasileiro, a Casa Civil coordena as ações de oito ministérios e secretarias nacionais voltadas ao desenvolvimento do setor agroenergético, com destaque ao Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento e ao Ministério de Minas e Energia. Entretanto, ainda há pouca integração entre as agendas de cada pasta, principalmente entre os escalões mais baixos.

Segundo BELINI & NASCIMENTO (2008), a agroenergia continua sendo percebida apenas como uma alternativa energética ao invés de receber investimentos como uma das principais componentes da matriz energética nacional. VILANI (2008) complementa, ao comparar a destinação dos recursos do PAC (Programa de Aceleração do Crescimento) do Governo Federal até 2010: Petróleo e Gás R\$ 133,8 bilhões contra R\$ 17, 4 bilhões para os combustíveis renováveis.

Sob o ponto de vista estrutural, os entraves para o planejamento territorial e agroenergético relacionam-se à disponibilidade (acessibilidade, interoperabilidade, custo e obstância⁵) e à qualidade (ontologia, semântica, acurácia, topologia) dos dados geoespaciais, pois, muitas vezes, estes encontram-se dispersos em diferentes instituições e em diferentes formatos, bem como é possível encontrar bases de dados estruturadas com métodos e tecnologias inadequados ou ultrapassados, coexistindo com outras elaboradas com técnica apurada e recursos modernos (WEBER et al., 1999; DEVILLERS et al., 2007), sem que haja, para cada base, metadados que informem sobre o significado, pertinência, abrangência, consistência e relevância das mesmas (MOURA, 2005; DEVILLERS et al., 2005).

⁴ O termo *estrutural* refere-se à infraestrutura de dados espaciais, denotando o conjunto de tecnologias, políticas e arranjos estruturais que facilitam o acesso à geoinformação (COLEMAN & MACLAUGHLIN, 1998).

⁵ Obstância: restrição ou proibição, por confidencialidade, interesse nacional ou privado (DEVILLERS et al., 2005; DEVILLERS et al., 2007).

⁶ *Geodata warehouse*: repositórios de dados espaciais.

⁷ *Clearinghouses*: "um aparato computacional baseado na Internet que facilita o acesso a dados espaciais, pela criação de um local centralizado onde podem ser encontrados dados de diversas fontes diferentes, e onde estão disponíveis serviços complementares, tais como busca, visualização, transferência e manipulação de dados espaciais" (DAVIS JÚNIOR & ALVES, 2006).

A criação de bancos de dados para SIGs é tarefa complexa e de custo elevado (DAVIS JÚNIOR & ALVES, 2006). Um ideal de *geodata warehouse*⁶ ou de *clearinghouse*⁷ de dados espaciais brasileiros ainda está distante, devido à desatualização das bases de geodados brasileiras (muitas, anteriores à década de 1980), irregularidades em sua qualidade ou fidedignidade, pois há materiais produzidos de modo inadequado, além de apresentarem-se em diferentes projeções, datums, escalas, resoluções e precisões (MOREIRA et al., 2007), muitas vezes com deficiência em metadados, não mantendo as mesmas características cartotemáticas para a totalidade do território nacional, o que compromete a estruturação de planos de informação e a análise espacial destes dados, principalmente no que diz respeito ao planejamento territorial e ao agroenergético.

Os entraves metodológicos dizem respeito ao desenvolvimento de métodos e técnicas que retornem soluções ótimas em termos de planejamento territorial e energético, sendo adaptáveis a diferentes realidades nacionais e mudanças conjunturais e da ação das principais forças (e.g. mercado, políticas, meio ambiente, novas tecnologias, mudanças climáticas). Há trabalhos sendo desenvolvidos em diferentes partes do mundo, visando ao melhor aproveitamento territorial para a agroenergia (DOMINGUES & MARCOS, 2000; SCHEFFRAN et al., 2007; TENERELLI & MONTELEONE, 2008; FIORESE & GUARISO, 2010). Além das diferenças fisiográficas locais, do montante de terras agricultáveis, tecnologias disponíveis e da infraestrutura de base, cada nação tem um conjunto diferente de tipos de biomassa disponíveis à conversão energética e, por isto, as metodologias devem ser adaptadas a cada realidade, de forma a permitir a melhor análise.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Brasil apresenta-se com grande potencial para produção de agroenergia e exportação de biocombustíveis, sem que se coloque em risco a segurança alimentar, reafirmando a vocação agrícola nacional. Contudo, um correto planejamento territorial, energético e agrícola é fundamental para que se assevere as seguranças alimentar e energética, com atendimento às necessidades socioambientais regionais, embora haja importantes entraves conjunturais e tecnológicos.

O interesse e o volume de investimentos para a agroenergia e biocombustíveis têm-se mostrado cíclico, muitas vezes associado à volubilidade dos mercados de *commodities* energéticas e agrícolas, a inconstâncias e inconsistências nas políticas públicas nacionais ou, ainda, relativas às hesitações da opinião pública frente a temas socioambientais e econômicos.

Contudo, diante da necessidade de reduzir-se a "pegada ecológica", a sociedade tem exigido garantias à segurança alimentar, energética e à sustentabilidade ambiental, o que contribui para que as atenções estejam voltadas aos biocombustíveis como uma forma de transição às desejáveis fontes energéticas limpas e mais eficientes.

Desta forma, discutir o planejamento agroenergético de regiões brasileiras é vital e estratégico. As geotecnologias reúnem todas as condições necessárias para contribuir em análises diagnósticas e prognósticas com o tema. Prevenindo os indesejáveis conflitos de destinação agrária e pressões sobre os remanescentes naturais e biodiversidade, garantindo que haja produtos energéticos e alimentos onde o País necessite. Neste sentido, o uso de técnicas de Sensoriamento Remoto e Sistemas Geográficos de Informações são de grande utilidade para o planejamento agroenergético no País.

Entretanto, o uso de pacotes metodológicos importados e modelagens tipo *bottom-up*, eficientes em suas regiões de origem, tem dificuldades de implementação no País, em virtude das distintas características fisiográficas regionais e dos agricultores brasileiros e do próprio agronegócio nacional, cujas ações são vinculadas ao mercado internacional de *commodities*.

Entretanto, abordagens adaptadas ao contexto local/regional e modelagens tipo *top-down* apresentam-se como variantes com melhores expectativas de sucesso para planejar, modelar ou simular o setor agroenergético, bem como apoiar o processo decisório.

REFERÊNCIAS

- ALVAREZ, R. Predicting average regional yield and production of wheat in the Argentine Pampas by an artificial neural network approach. *European Journal of Agronomy*, v.30, n.2, p.70-77, 2009.
- AMATTUCCI, M. ; SPERS, E. E. The Brazilian biofuel alternative. *International Journal of Automotive Technology and Management*, v.10, n.1, p.37-55, 2010.
- AMORIM, G. Biocombustíveis e investimento externo. *Análise Conjuntural*, v.29, n.5-6, p.8-10, 2007.
- ANDERSEN, R.S.; TOWERS, W.; SMITH, P. Assessing the potential for biomass energy to contribute to Scotland's renewable energy needs. *Biomass and Bioenergy*, Oxford, v.29, n.2, p.73-82, 2005.
- BÅÅTH, H.; GÄLLERSPÅNG, A.; HALLSBY, G.; LUNDSTRÖM, A.; LÖFGREN, P.; NILSSON, M.; STÅHL, G. Remote sensing, field survey, and long-term forecasting: an efficient combination for local assessments of forest fuels. *Biomass and Bioenergy*, Oxford, v.22, n.3, p.145-157, 2002.
- BACCHI, M. R. P. *Brasil - gerando energia de biomassa, limpa e renovável*. 2006. Disponível em: <<http://www.cepea.esalq.usp.br/especialagro>>. Acesso em: 15 abr. 2008.
- BELINI, L. ; NASCIMENTO, N. Os Rumos da Política Energética Brasileira. In: ENCONTRO NACIONAL DA ANPPAS, 4., 2008, Brasília. *Anais...* Disponível em: <<http://www.anppas.org.br/encontro4/cd/ARQUIVOS/GT4-554-401-20080517180714.pdf>>. Acesso em: 12 maio 2010.
- BENETTI, M. A internacionalização recente da indústria de etanol brasileira. *Indicadores Econômicos FEE*, São Paulo, v.36, n.4, p.149-160, 2009.
- BORGES NETO, M.R.; CARVALHO, P.C.M. Planejamento energético rural assistido por computador. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.29, n.2, p.172-184, 2009.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Produção e Agroenergia. *Plano Nacional de Agroenergia 2006–2011*. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. 110 p.
- BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Secretaria de Gestão. Comissão Europeia. *Textos de Referência em Planejamento Territorial Integrado*. Brasília: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, 2007. 90 p.
- BROWN, S.; HALL, M.; ANDRASKO, K.; MARZOLI, W.; GUERRERO, G.; MASERA, O.; DUSHKU, A.; DEJONG, B.; CORNELL, J. Baselines for land-use change in the tropics: application to avoided deforestation projects. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, Alexandria, v.12, n.6, p.1001-1026, 2007.
- BUCHHOLZ, T.; RAMETSTEINER, E.; VOLK, T. A.; LUZADIS, V.A. Multi Criteria Analysis for bioenergy systems assessments. *Energy Policy*, Surrey, v.37, n.2, p.484-495, 2009.
- BUCHHOLZ, T.S.; VOLK, T.A.; LUZADIS, V.A. A participatory systems approach to modeling social, economic, and ecological components of bioenergy. *Energy Policy*, Surrey, v.35, n.12, p.6.084-6.094, 2007.
- CASTELLANELLI, M.; SOUZA, S.N.M.; SILVA, S.L.; KAILER, E.K. Desempenho de motor ciclo Diesel em bancada dinamométrica utilizando misturas diesel/biodiesel. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.28, n.1, p.145-153, 2008.
- COLEMAN, D. J.; MCLAUGHLIN, J. Defining global geospatial data infrastructure (GGDI): components, stakeholders and interfaces. *Geomatica*, Ontario, v.52, n.2, p.129-144, 1998.
- COUNCIL OF EUROPE. European Conference of Ministers responsible for Spatial/Regional Planning (CEMAT). *Spatial development glossary*. Strasbourg: Council of Europe, 2007. 77 p.

- DAM, J. van; FAALJ, A.P.C.; LEWANDOWSKI, I.; FISCHER, G. Biomass production potentials in Central and Eastern Europe under different scenarios. *Biomass and Bioenergy*, Kidlington, v.31, n.6, p.345-366, 2007.
- DALE, V.H. The Relationship Between Land-Use Change And Climate Change. *Ecological Applications*, Washington, v.7, n.3, p.753-769, 1997.
- DAVIS JÚNIOR, C.A.; ALVES, E.L.L. Infraestruturas de dados espaciais: potencial para uso local. *Revista IP - Informática Pública*, Belo Horizonte, v.8, n.1, p.65-80, 2006.
- DEVILLERS, R.Y.B.; GERVAIS, M.; JEANSOULIN, R.; PINET, F.; SCHNEIDER, M.; BEJAOU, L.; LEVESQUE, M.; SALEHI, M.; ZARGAR, A. How to improve geospatial data usability: from metadata to quality-aware GIS community. In: A AGILE Pre-Conference Workshop, 2007, Aalborg, Denmark. *Anais...* Disponível em: <http://sirs.scg.ulaval.ca/YvanBedard/article_nonprotege/459_soumis.pdf>. Acesso em 12 maio 2010.
- DEVILLERS, R.; BÉDARD, Y.; JEANSOULIN, R. Multidimensional management of geospatial data quality information for its dynamic use within geographical information systems. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Falls Church, v.71, n.2, p.205-215, 2005.
- DIAKOULAKI, D.; GEORGIU, P.; TOURKOLIAS, C.; GEORGOPOULOU, E.; LALAS, D.; MIRASGEDIS, S.; SARAFIDIS, Y. A multicriteria approach to identify investment opportunities for the exploitation of the clean development mechanism. *Energy Policy*, Surrey, v.35, n.2, p.1.088-1.099. 2007.
- DOMINGUEZ, J. ;MARCOS, M. J. Análisis de la producción potencial de energía con biomasa en la región de Andalucía (España) utilizando sistemas de información geográfica. *Cybergeo, v.Environment, Nature, Paysage*, n.article 142, 15 nov. 2000.
- ESQUIVEL, M.B.; HERNÁNDEZ, F.; FERNÁNDEZ, S.; MARRERO, E.; PONCE, L.; QUINTANA, L.; GONZÁLEZ, A.; MAYET, R.; MUÑOZ, Y.J. G. Agricultura de precisión en la caña de azúcar. *Mapping Interactivo*, Madrid, n.127, p.42-49, 2008.
- FIDALGO, E.C.C. *Crerios para a análise de métodos e indicadores ambientais usados na etapa de diagnóstico de planejamentos ambientais*. 2003. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.
- FIGIORESE, G.; GUARISO, G. A GIS-based approach to evaluate biomass potential from energy crops at regional scale. *Environmental Modelling & Software*, Amsterdam, v.25, n.6, p.702-711, 2010.
- FIRBANK, L. Assessing the Ecological Impacts of Bioenergy Projects. *BioEnergy Research*, New York, v.1, n.1, p.12-19, 2008.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. *Unified bioenergy terminology - UBET*. Roma, 2004. 50 p.
- FIAN. FOOD FIRST INFORMATION AND ACTION NETWORK . *Os agrocombustíveis no Brasil*. Heidelberg: Fian International, 2008. 76 p.
- FÜRSTENAU, V. A safra 2008 e as previsões para 2009. *Indicadores Econômicos FEE*, Porto Alegre, v.36, n.4, p.23-28, 2009.
- GNANSOUNOU, E.; DAURIAT, A.; PANICHELLI, L.; VILLEGAS, J. Energy and greenhouse gas balances of biofuels: biases induced by LCA modelling choices. *Journal of Scientific and Industrial Research*, New Delhi, v.67, 2008, p.885-897, 2008.
- GOMES, E.G.; LINS, M.P.E. Integrating geographical information systems and multi-criteria methods: a case study. *Annals of Operations Research*, Amsterdam, v.116, n.1, p.243-269, 2002.

- HALL, D.O.; HOUSE, J.I.; SCRASE, I. Visão geral de energia e biomassa. In: ROSILLO-CALLE, F.; BAJAY, S.V.; ROTHMAN, H. (Org.). *Uso da biomassa para produção de energia na indústria brasileira*. Campinas: UNICAMP, 2005. p.25-67.
- HEKTOR, B. Planning models for bioenergy: Some general observations and comments. *Biomass and Bioenergy*, Oxford, v.18, n.4, p.279-282, 2000.
- JANKOWSKI, P. Integrating geographical information systems and multiple criteria decision-making methods. *International Journal of Geographical Information Science*, London, v.9, n.3, p.251-273, 1995.
- JEBARAJ, S.; INIYAN, S. A review of energy models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Washington, v.10, n.4, p.281-311, 2006.
- KALOGIROU, S. A. Artificial neural networks in renewable energy systems applications: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Washington, v.5, n.4, p.373-401, 2001.
- KAUL, M.; HILL R. L. WALTHALL, C. Artificial neural networks for corn and soybean yield prediction. *Agricultural Systems*, Essex, v.85, n.1, p.1-18, 2005.
- MACDICKEN, K. Project specific monitoring and verification: State of the art and challenges. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, Netherlands, v.2, n.2, p.191-202, 1997.
- MACHADO, H.M.; LAMPARELLI, R.A.C.; ROCHA, J.V.; ZULLO JR., J.; PEREIRA, V.H. Utilização de dados orbitais (Landsat 7) e Sistema de Informações Geográficas (Sig) na estimativa do potencial de produção da cana-de-açúcar. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2., 2002, Viçosa-MG. *Anais...* Disponível em: <<http://www.centreinar.org.br/siap2007/siap2002/artigos/siap017.pdf>> Acesso 12 jun. 2010.
- MOURA, A.C.M. A importância dos metadados no uso das Geotecnologias e na difusão da Cartografia Digital. In: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE MAPEAMENTO SISTEMÁTICO, 2., 2005, Belo Horizonte. *Anais...* p.1-18.
- MOREIRA, M.L.O.; MEDEIROS, L.C.; COSTA, H.F. Integração de dados multifontes para mapeamentos temáticos. *Revista Geográfica Acadêmica*, v.1, n.1, p.28-36, 2007.
- MUNDIM, A.O.F. Sistemas Rurais integrados: alimentos e energia. In: SEMINÁRIO “PLANTANDO O FUTURO: REFLORESTAMENTO PRODUTIVO, CONSORCIADO E INCLUDENTE”, 2006, Belo Horizonte. *Resumos...* Disponível em: <<http://www.fbds.org.br/Apresentacoes/ApresentacaoSebrae.pdf>>. Acesso em: 13 maio 2008.
- NARAYANAN, K.V.; NATARAJAN, E.; SREEJAA, B.S. Artificial neural network model for emissions from cofiring of coal and biomass in a travelling grate boiler in India. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, Taiwan, v.1, n.4, 2006, p.355-359, 2006.
- NIBBI, L.; TONDI, G.; MARTELLI, F.; MALTAGLIATI, S.; CHIARAMONTI, D.; RICCIO, G.; BERNETTI, I.; FAGARAZZI, C.; FRATINI, R. Gis methodology and tool to analyse and optimise biomass resources exploitation. In: WORLD CONFERENCE ON BIOMASS FOR ENERGY, INDUSTRY AND CLIMATE PROTECTION, 2., 2004, Rome. *Anais...* Disponível em: <http://web.etaflorence.it/uploads/media/OE2_2_01.pdf>. Acesso em: 15 maio 2009.
- NOON, C.E.; DALY, M.J. GIS-based biomass resource assessment with BRAVO. *Biomass and Bioenergy*, Oxford, v.10, n.2-3, p.101-109, 1996.
- PANICHELLI, L.; GNANSOUNOU, E. GIS-based approach for defining bioenergy facilities location: A case study in Northern Spain based on marginal delivery costs and resources competition between facilities. *Biomass and Bioenergy*, Oxford, v.32, n.4, p.289-300, 2008.
- PANICHELLI, L.; DAURIAT, A.; GNANSOUNOU, E. Life cycle assessment of soybean-based biodiesel in Argentina for export. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, Frankfurt, v.14, n.2, p.144-159, 2009.

- PHUA, M.; MINOWA, M. A GIS-based multi-criteria decision making approach to forest conservation planning at a landscape scale: a case study in the Kinabalu Area, Sabah, Malaysia. *Landscape and Urban Planning*, Amsterdam, v.71, n.2-4, p.207-222, 2005.
- RAMACHANDRA, T.V. Comparative assessment of techniques for bioresource monitoring using GIS and remote sensing. *The ICFAI Journal of Environmental Sciences*, v.1, n.2, p.7-47, 2007.
- RAMACHANDRA, T.V. RIEP: Regional integrated energy plan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Washington, v.13, n.2, p.285-317, 2009.
- REES, W.E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out. *Environment and Urbanization*, London, v.4, n.2, p.121-130, 1992.
- REES, W.E. Eco-footprint analysis: merits and brickbats. *Ecological Economics*, v.32, n.3, p.341-345, 2000.
- RIZZI, R.; RUDORFF, B.F.T. Imagens do sensor MODIS associadas a um modelo agrônômico para estimar a produtividade de soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.42, p.73-80, 2007.
- ROZAKIS, S.; SOLDATOS, P.G.; KALLIVROUSSIS, L.; NICOLAOU, I. Multiple criteria analysis of bio-energy projects: evaluation of bio-electricity production in Farsala Plain, Greece. *Journal of Geographic Information and Decision Analysis*, v.5, n.1, p.49-64, 2001.
- RUDORFF, B.F.T.; AGUIAR, D.A.; SILVA, W.F.; SUGAWARA, L.M.; ADAMI, M.; MOREIRA, M.A. Studies on the rapid expansion of sugarcane for ethanol production in São Paulo State (Brazil) using Landsat Data. *Remote Sensing*, Ottawa, v.2, n.4, p.1.057-1.076, 2010.
- SCHEFFRAN, J.; BENDOR, T.; WANG, Y.; HANNON, B. A spatial-dynamic model of bioenergy crop introduction in Illinois. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE SYSTEM DYNAMICS SOCIETY, 25., 2007, Boston. *Anais...* Disponível em: <<http://www.systemdynamics.org/conferences/2007/proceed/papers/BENDO452.pdf>>. Acesso em: 27 nov. 2008.
- SCHNEIDER, L.C.; KINZIG, A.P.; LARSON, E.D.; SOLÓRZANO, L.A. Method for spatially explicit calculations of potential biomass yields and assessment of land availability for biomass energy production in Northeastern Brazil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Amsterdam, v.84, n.3, p.207-226, 2001.
- SIMS, REH. *The brilliance of bioenergy: in business and in practice*. London: Earthscan, 2002. 316 p.
- SUDHA, P.; RAVINDRANATH, N.H. Land availability and biomass production potential in India. *Biomass and Bioenergy*, Oxford, v.16, n.3, p.207-221, 1999.
- TENERELLI, P.; MONTELEONE, M. A combined land-crop multicriteria evaluation for agro-energy planning. In: EUROPEAN BIOMASS CONFERENCE & EXHIBITION, 16., 2008, Valencia. *Anais...* Valencia: ETA-Florence Renewable Energies, 2008. Disponível em: <<http://sustoil.fg.googlepages.com/VP5.2.12.pdf>>. Acesso em: 10 maio 2009.
- URGATE, D.G.; RAY, D.E. Biomass and bioenergy applications of the POLYSYS modeling framework. *Biomass and Bioenergy*, Oxford, v.18, n.4, p.291-308, 2000.
- VIGUIRISTI, J.A. Biocombustibles de segunda generación. *Física y Sociedad*, n.19, p.31-33, 2008. (Especial monográfico: Energías de futuro, predicciones hasta 2030)
- VILANI, R.M. Energia e meio ambiente no Programa de Aceleração do Crescimento (PAC): uma análise crítica. In: ENCONTRO NACIONAL DA ANPPAS, 4., 2008, Brasília. *Anais...* Disponível em: <<http://www.anppas.org.br/encontro4/cd/ARQUIVOS/GT4-177-41-20080508155753.pdf>>. Acesso em: 12 maio 2010.
- VOIVONTAS, D.; ASSIMACOPOULOS, D.; KOUKIOS, E.G. Assessment of biomass potential for power production: a GIS based method. *Biomass and Bioenergy*, Oxford, v.20, n.2, p.101-112, 2001.

VOIVONTAS, D.; ASSIMACOPOULOS, D.; MOURELATOS, A.; COROMINAS, J. Evaluation of Renewable Energy potential using a GIS decision support system. *Renewable Energy*, Oxford, v.13, n.3, p.333-344, 1998.

WEBER, E.; ANZOLCH, R.; LISBOA FILHO, J.; COSTA, A.C.; IOCHPE, C. *Qualidade de dados geoespaciais*. Porto Alegre: UFRGS, 1999. p.38.

YAMAMOTO, H.; FUJINO, J.; YAMAJI, K. Evaluation of bioenergy potential with a multi-regional global-land-use-and-energy model. *Biomass and Bioenergy*, Oxford, v.21, n.3, p.185-203, 2001.