

Revista Brasileira de Cartografia (2014) N<sup>o</sup> 66/5: 1177-1201  
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto  
ISSN: 1808-0936

## **CÁLCULO DE INDICADORES PARA A AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE EXPANSÃO DA CULTURA CANAVIEIRA – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PARA A EXTRAÇÃO DE DADOS MULTIFONTES**

*Calculus of Indicators for the Assessment of Sugarcane Crop Expansion Process – Methodological Procedures for the Multisource Data Extraction*

**Rodrigo Peçanha Demonte Ferraz<sup>1</sup>, Margareth Simões<sup>1,2</sup> & Vincent Dubreuil<sup>3</sup>**

**<sup>1</sup>Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA**

**Embrapa Solos - CNPS**

Rua Jardim Botânico 1024, Rio de Janeiro, RJ, CEP 2246 - Brasil

rodrigo.demonte@embrapa.br

margareth.simoese@embrapa.br

**<sup>2</sup>Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ**

**PPG -MA – Doutorado em Meio Ambiente**

Rua Maracanã 524, Rio de Janeiro, RJ, CEP 20550-013 - Brasil

maggie.simoese@gmail.com

**<sup>3</sup>Université Rennes 2**

**Laboratoire COSTEL - UMR 6554 CNRS-LETG**

Place du Recteur H. Le Moal, 35043 Rennes - França

vincent.dubreuil@uhb.fr

*Recebido em 06 de Fevereiro, 2012/Aceito em 26 de Maio, 2012*

*Received on February 06, 2012/ Accepted on May 26, 2012*

### **RESUMO**

O presente artigo objetivou apresentar os procedimentos metodológicos e as técnicas de geoprocessamento utilizadas para a extração de dados de modelos espacializados ou de bases cartográficas temáticas visando o cálculo de indicadores para a avaliação do processo de expansão da cultura canavieira em quatro Microrregiões do Estado de Goiás: Sudoeste de Goiás, Vale do Rio dos Bois, Quirinópolis e Meia Ponte. Os diversos dados espaciais em formato shape, adquiridos de fontes secundárias ou de modelos especificamente elaborados, foram introduzidos em um Sistema de Informações Geográficas (SIG), no qual, por meio de técnicas simples de geoprocessamento, foram realizados ajustes e a integração dos dados espaciais para a obtenção dos dados (grandezas físicas) requeridos para o cálculo de diversos índices propostos pelo Sistema de Indicadores para a Avaliação do Potencial de Sustentabilidade Hídrica da Atividade Canavieira - SISH-Cana (FERRAZ, 2012). Os resultados demonstram a pertinência das técnicas utilizadas. O nível de detalhamento dos modelos espaciais adotados foi adequado, considerando que os índices propostos se aplicam à caracterização de unidades territoriais de análise de grande abrangência geográfica (microrregiões) em subsídio a planejamentos setoriais (Recursos hídricos; Agricultura) de nível estratégico.

**Palavras-chave:** Geoprocessamento, Sistemas de Informações Geográficas, Cartografia Temática, Indicadores, Cultura Canavieira.

## ABSTRACT

This article aimed to present a methodological procedures and geoprocessing techniques used for data extraction either of thematic cartographic bases or of spatial models in order to calculate indicators for the sugarcane expansion assessment, applied to four microregions of Goiás State, Brazil: Sudoeste de Goiás, Vale do Rio dos Bois, Quirinópolis and Meia Ponte. The various spatial data in shape format, acquired from secondary sources or elaborated models were introduced in a Geographical Information System (GIS) which, through simple techniques of geoprocessing, were done adjustments and spatial data integration in order to obtain data (physical quantities) required for the calculus of various indexes proposed by the Indicators System of Sugarcane Water Sustainability Assessment -SISH-Cana (FERRAZ, 2012). The results demonstrate the appropriateness of the techniques used. The details level of spatial models adopted was appropriate, considering that the proposed indexes applies to the characterization of territorial units of analysis with large geographical coverage (micro-regions) for a strategic level of planning.

**Keywords:** Geoprocessing, Geographical Information System, Thematic Cartography, Indicators, Sugarcane Cultivation.

## 1. INTRODUÇÃO

Os dados produzidos pelo Zoneamento Agroecológico da Cana-de-açúcar (EMBRAPA, 2009) indicam que a região Centro-Oeste possui um grande potencial de expansão, em termos de disponibilidade de áreas e aptidão pedoclimática. Por sua vez os dados do Projeto CANASAT/INPE (RUDORFF *et al.*, 2010) têm acompanhado a expansão da atividade canavieira que está se deslocando para o norte do território paulista e avançando sobre a região Centro-Oeste, notadamente, sobre áreas já antropizadas situadas nos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás.

A região Centro-oeste, que abriga em sua maior extensão o Bioma Cerrado, se notabiliza não somente por sua relevância ecológica, mas também, por ser responsável por 44% da produção nacional de grãos e por conter importantes cidades e polos de desenvolvimento agroeconômico (IBGE, 2010). Diversos trabalhos têm se preocupado em estudar a dinâmica e a problemática ambiental ensejada pela expansão da atividade canavieira em curso nesta região brasileira. Os resultados da maioria destes trabalhos apontam para a mesma tendência de expansão e substituição de atividades agrícolas. Inicialmente a cultura da cana-de-açúcar tem ocupado as áreas com topografia e solos mais favoráveis anteriormente utilizados por outras culturas agrícolas. Na medida da diminuição da oferta de áreas preferenciais, o processo da expansão da cultura canavieira tem convertido pastagens em áreas de produção. Sobretudo, em áreas onde já conta com uma infraestrutura local, em termos de acesso de bens, insumos e serviços, e, notadamente, a existência de uma

rede viária adequada para o escoamento da produção (SANTOS *et al.*, 2011; NASSAR *et al.*, 2008; CASTRO *et al.*, 2010; ABDALA e CASTRO (2010); BORGES, 2010; e, SILVA e MIZIARA, 2010, ambos, *apud* CASTRO *et al.*, 2010).

O Centro-Oeste brasileiro constitui uma região com potencial para abrigar diversas atividades agroeconômicas. No entanto, para a consecução do desenvolvimento sustentável desta região, estratégias para o planejamento territorial devem ser priorizadas para compatibilizar as múltiplas atividades agroeconômicas e o uso adequado dos recursos naturais. Sendo assim, indicadores para o monitoramento do processo de expansão em curso da nova atividade entrante podem contribuir para a tomada de decisão dos diversos atores públicos e econômicos dedicados a questão.

Considerando a necessidade de planejamento e gestão territorial, a implementação de Sistemas de Informação Geográfica aliado à aplicação de indicadores de sustentabilidade, podem contribuir para a planificação adequada da atividade canavieira ora em expansão. Visto que, os Sistemas de Informação Geográfica facilitam a espacialização dos dados, permitem o emprego de técnicas de geoprocessamento e de análise espacial, tornando possível o manejo de um grande número de variáveis e a integração de dados de diversas fontes. Além de permitir a espacialização dos resultados, a visualização dos dados e a produção de documentos cartográficos permitem a redução da subjetividade e a integração de conhecimento especializado nos procedimentos de análise. Todas estas características tornam os Sistemas de Informação

Geográfica uma ferramenta especialmente útil para fins de planejamento (HASENACK *et al.*, 2001; MEDEIROS & CÂMARA, 2002).

Sendo assim, o presente artigo objetivou apresentar os procedimentos metodológicos e as técnicas de geoprocessamento utilizadas para a extração de dados de modelos espacializados ou bases cartográficas temáticas para o cálculo de índices para a avaliação do processo de expansão da cultura canavieira. São indicadores na forma de índices adimensionais componentes do Sistema de Indicadores de Avaliação do Potencial de Sustentabilidade Hídrica da Atividade de Canavieira - SISH-Cana, proposto por FERRAZ (2012). Os indicadores foram aplicados em estudo de caso visando à descrição analítica de quatro Microrregiões do Estado de Goiás: Sudoeste de Goiás, Vale do Rio dos Bois, Quirinópolis e Meia Ponte.

## **2. METODOLOGIA**

A metodologia referente à proposição e elaboração do Sistema de Indicadores para Avaliação do Potencial de Sustentabilidade Hídrica da Atividade Canavieira - SISH-Cana, assim como, a base teórica, as justificativas e a elaboração dos modelos utilizados para a extração de dados para o cálculo dos indicadores aplicados no estudo de caso proposto encontram-se descritas, de modo completo, em Ferraz (2012).

As principais etapas metodológicas foram:

### **2.1. 1ª etapa - Aquisição dos dados**

Consistiu na aquisição, seleção e organização dos dados utilizados para a geração de modelos ou estimativa direta dos parâmetros para o cálculo dos indicadores. Os dados alfanuméricos em formato *xlsx* ou *accdb Excel e Access/Windows Office/Microsoft* e os dados espaciais em formato *shape* foram adquiridos diretamente por *download* dos bancos de dados das fontes detentoras que os dispõem *on line* ou adquiridos após solicitação às instituições e/ou aos autores dos modelos utilizados;

### **2.2. 2ª etapa - Organização e padronização cartográfica**

Consistiu na organização dos dados em ambiente computacional *ArcCatalog/ArcGIS 10/*

*ESRI*, no qual os arquivos *shape* referentes aos diferentes temas ou modelos foram organizados, e padronizados cartograficamente de acordo com as Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos em Território Brasileiro, anexo à Resolução COCAR nº 02/83, de 21/07/1983, o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) recomendadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE). Assim sendo, foi utilizado como Sistema Geodésico de Referência o *South American Datum*, 1969 (SAD 69 - Elipsóide SGR-67), e, como Sistema de Projeção Cartográfica, a projeção Cônica de Albers. Justifica-se a escolha desta última, por tratar-se de uma projeção equivalente ou isométrica, pois mantém a proporção das áreas sendo adequada para o mapeamento temático acima de 1:250.000 de áreas com extensão predominante leste-oeste como o presente caso. Todos *shapes* e/ou as bases cartográficas temáticas foram recortadas com *shape* do perímetro da Mesorregião Sul Goiano (Dado original do IBGE disponível na base de dados do Sistema Estadual de Estatística e de Informações. Geográficas do Estado de Goiás - SIEG/GO; acessível em: <http://www.sieg.go.gov.br/downloads>), através da função: *Analysis Tools/ Extract/Clip do ArcCatalog/ArcGIS10*;

### **2.3. 3ª etapa – Estruturação do SIG e geoprocessamento**

Consistiu na estruturação de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) utilizando-se o pacote computacional *ArcGIS 10/ESRI*, no qual os arquivos *shape* referentes aos diferentes temas ou modelos foram organizados, e trabalhados com diversas técnicas de geoprocessamento para a extração dos dados utilizados para o cálculo dos indicadores;

### **2.4. 4ª etapa – Extração dos dados e efetuação do cálculo dos indicadores**

Consistiu na tabulação, organização dos dados e o cálculo dos dados intermediários e dos indicadores em planilhas *Excel/Windows Office/Microsoft*.

Após a estruturação do SIG, os seguintes procedimentos metodológicos foram realizados para a extração dos dados para o cálculo dos indicadores subdivididos em Grupos referentes ao módulo B do SISH-Cana (FERRAZ, 2012):

### 2.4.1. Indicadores do Processo de Ocupação e Expansão da Cultura Canavieira

O 1º Grupo de Indicadores do Módulo B do SISH-Cana contém dois índices que, em relação à área total, indicam a proporção de ocupação e expansão da cultura canavieira nas Unidades Territoriais de Análise em apreciação. O Quadro 1 apresenta os indicadores com as respectivas fórmulas matemáticas.

Os dados e informações para o cálculo dos indicadores supracitados podem ser extraídos diretamente do Projeto CANASAT/INPE (2010) que os disponibiliza na forma tabulada no site <[www.dsr.inpe.br/laf/canasat/mapa.html](http://www.dsr.inpe.br/laf/canasat/mapa.html)>. Entretanto, para efeito deste estudo de caso, com o auxílio de ferramentas de geoprocessamento a partir das áreas canavieiras disponibilizadas pelo CANASAT/INPE, foram realizados alguns ajustes nas estimativas das áreas de ocupação e expansão da cultura canavieira para a região estudada para o período de 2005/2006 a 2010/2011. A justificativa para os referidos ajustes se encontra na própria metodologia adotada pelo Projeto CANASAT/INPE para a identificação e classificação das áreas com a cultura da cana-de-açúcar. Com efeito, o citado projeto distingue as seguintes classes de uso do solo referentes à cultura da cana-de-açúcar: (a) Soca: é a classe de lavouras de cana que já passaram por mais de um corte, ou seja, é a cana que rebrotou de uma planta ou de uma soca. Nesta classe também se encontram as lavouras reformadas com cana planta de ano; (b) Reformada: é a classe das lavouras de cana planta de ano-e-meio que foram reformadas no ano safra anterior e que estão disponíveis para colheita na safra corrente; (c) Expansão: é a classe de lavouras de cana que pela primeira vez estão disponíveis para colheita. Lavouras de cana que foram convertidas em outro uso por um período igual ou maior a duas safras e voltaram a ser cultivadas com cana também se inserem

nesta classe; (d) Em reforma: é a classe das lavouras de cana que não serão colhidas devido à reforma com cana planta de ano-e-meio ou por serem destinadas a outro uso. Quando a lavoura da classe “em reforma” é de fato reformada com cana planta de ano-e-meio ela passa para a classe “reformada” no ano- safra seguinte. Com base nestas classes o Projeto CANASAT/INPE disponibiliza as seguintes estimativas: (i) Total disponível para colheita: corresponde ao somatório das classes:  $a + b + c$ ; (ii) Total cultivado: corresponde ao somatório das classes:  $a + b + c + d$ . Como pode ser observado, a área total cultivada estimada pela metodologia adotada pelo Projeto CANASAT/INPE inclui a classe “em reforma” que, trata-se, por definição, das áreas que estão sendo reformadas com cana planta de ano-e-meio, mas, também inclui as áreas que estão sendo preparadas para outros usos, uma vez que, existe uma dificuldade intrínseca para a distinção dessas duas categorias. Deste modo a classe “em reforma” introduz uma incerteza na estimativa do “total da área cultivada” efetivamente. No entanto, a classe “reformada” do ano subsequente constitui a área efetivamente cultivada com a cultura da cana-de-açúcar que esta inclusa na categoria “em reforma” do ano anterior. Sendo assim, a substituição da área estimada para classe “em reforma” do ano em apreciação pela a área estimada para a classe “reformada” do ano subsequente, eliminaria as áreas contabilizadas indevidamente que introduzem certo grau de imprecisão, ajustando a estimativa da área total cultivada em um determinado ano agrícola em uma dada Unidade Territorial de Análise. O procedimento metodológico adotado seguiu as seguintes etapas:

#### 2.4.1.1 Elaboração da carta - Área Total da Cultura Canavieira 2005/2006 (C01-ATCC)

Geração de uma carta de referência com a Área Total da Cultura Canavieira para o ano-

Quadro 1: Indicadores do Processo de Ocupação e Expansão da Cultura

INDICADORES	FÓRMULAS
IOCC - Índice de Ocupação da Cultura Canavieira	$IOCC = Stc/Stu$
IECC - Índice de Expansão da Cultura Canavieira	$IECC = (Stc-Stca)/Stu$

Nota: (i) Stc = área total da cultura canavieira; (ii) Stu = área total da unidade territorial de análise; (iii) Stca = área total da cultura canavieira no ano anterior. Fonte: Ferraz (2012)

agrícola base de 2005/2006, início do período estudado. Esta base foi obtida, a partir da Área Total Cultivada para o Estado de Goiás (BC-CANASAT), substituindo o *layer* da classe “em reforma” do ano base de 2005/2006 pelo *layer* da classe “reformada” do ano base, subsequente, 2006/2007, por meio das seguintes operações de geoprocessamento: (i) Eliminação do *layer* da classe “em reforma” da Área Total Cultivada do ano-agrícola base de 2005/2006 Goiás (BC-CANASAT, 2005/2006); (ii) Extração do *layer* da classe “reformada” da Área Total Cultivada do ano-agrícola base de 2006/2007 Goiás (BC-CANASAT, 2006/2007); (iii) Atualização da base de referência da Área Total Cultivada do ano-agrícola base de 2005/2006, ajustada, com o *layer* da classe “reformada” de 2006/2007;

#### **2.4.1.2 Elaboração da carta - Área de Expansão da Cultura Canavieira 2010/2011 (C02-AECC)**

Geração de uma carta com a Área de Expansão da Cultura Canavieira para o período entre os anos-agrícolas de 2005/2006 a 2010/2011. Esta base foi obtida a partir da Área Total Cultivada para o Estado de Goiás, período 2006/2007 a 2010/2011 (BR-CANASAT), fazendo o somatório ou união somente das áreas de “expansão” de todos os anos do período especificado, por meio das seguintes operações de geoprocessamento: (i): União dos *layers*, ano a ano, da classe “expansão” de todos os anos agrícolas do período 2006/2007 a 2010/2011, (ii) Subtração da carta Área Total da Cultura Canavieira 2005/2006 da carta com a união dos *layers* da classe “expansão” Observa-se que esta última operação foi realizada para fazer um pequeno ajuste na “área final de expansão da cultura canavieira”, visto que, algumas áreas (polígonos) que foram classificadas como de “expansão” já apareciam como áreas canavieiras em 2005/2006. De fato, durante o período estudado, essas áreas deixaram de ser e tornaram a ser áreas cultivadas com a cultura canavieira, superestimando a área de expansão total para o período avaliado; (iii) Interseção da carta Área Total de Expansão da Cultura Canavieira, ajustada, com a carta das microrregiões e municípios;

#### **2.4.1.3 Extração dos dados**

Seleção e extração dos dados por microrregião através da função *Select by attributes* do ArcMap/ArcGIS10 e exportação das tabelas do ArcMap/ArcGis10 em formato *xml* para o formato *xlsx* do Excel/Microsoft office, para o posterior cálculo dos indicadores explicitados;

#### **2.4.1.4 Cálculo dos Indicadores**

Efetivação dos cálculos dos indicadores IOCC e IECC, para os municípios e microrregiões, por meio de planilhas do programa Excel/Microsoft office.

A figura 1 apresenta um esquema sumarizando a metodologia para a elaboração das cartas de referência para o cálculo dos Indicadores do Processo de Ocupação e Expansão da Cultura (IOCC e IECC).

#### **2.4.2 Indicadores de Substituição de Atividades Agrícolas e Mudanças de Uso do Solo**

O 2º Grupo de Indicadores do Módulo B do SISH-Cana contem dois índices que indicam, em relação ao somatório da área de expansão e retração da cultura canavieira, o saldo de substituição mútua entre atividades agrícolas ou pastagens e a cultura canavieira. Um terceiro índice sinaliza para a proporção da supressão de áreas com vegetação nativa em função da expansão canavieira. O Quadro 2 apresenta os indicadores com as respectivas fórmulas matemáticas.

Cumprir esclarecer que para efeito do exercício deste estudo de caso foram utilizadas as fórmulas simplificadas, uma vez que, as áreas de retração da cultura canavieira, ou seja, perda de áreas para outras atividades agrícolas ou pecuárias foram desprezíveis em comparação com as áreas de expansão da cultura canavieira. Os dados para o cálculo dos indicadores supracitados foram extraídos a partir da elaboração de uma base cartográfica de referência de Uso da Terra e Cobertura do Solo para o ano-agrícola base de 2005/2006. A referida base foi obtida a partir dos dados do Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira - PROBIO (MMA 2008) ano base 2002 e dados

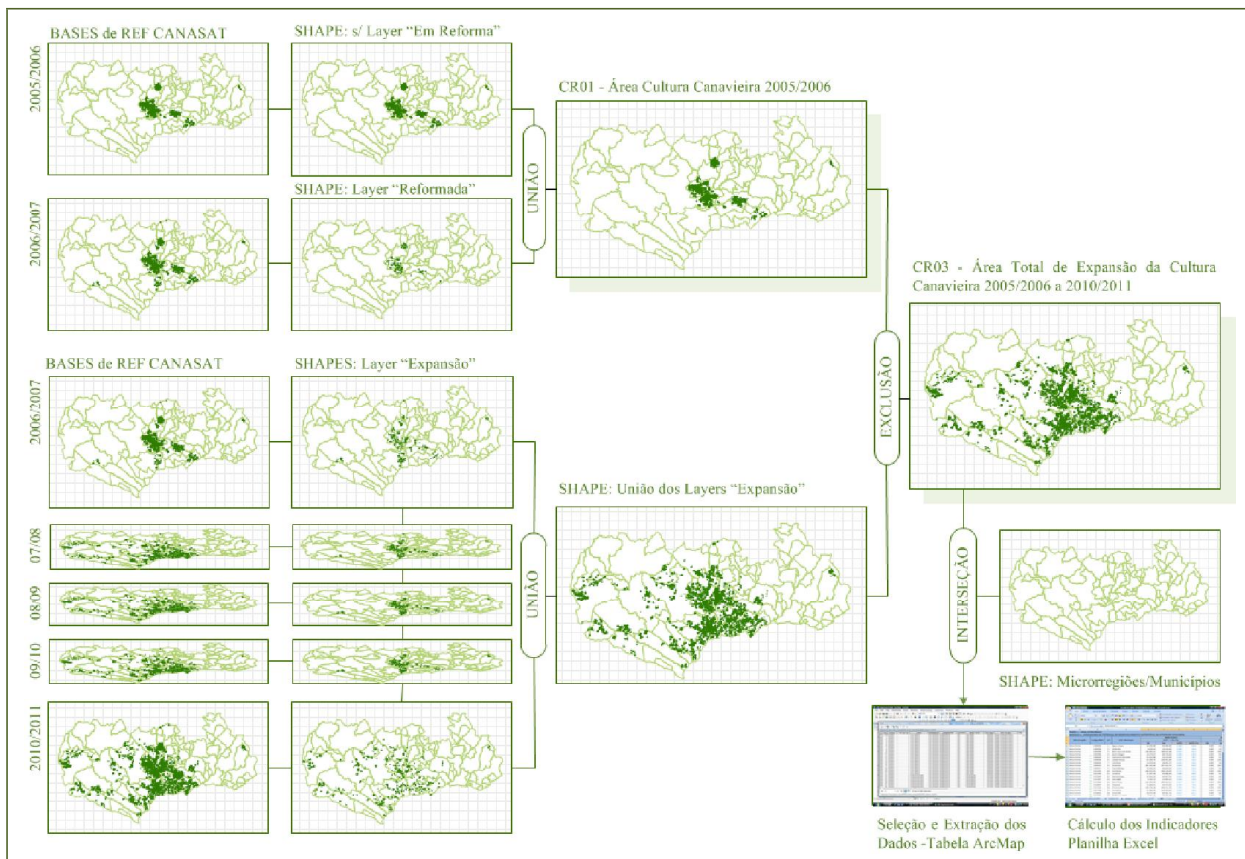


Fig. 1 - Apresentação esquemática da metodologia para a elaboração das cartas de referência para o cálculo dos indicadores do Processo de Ocupação e Expansão da Cultura (IOCC e IECC).

Quadro 2: Indicadores de Substituição de Atividades Agrícolas e Mudanças de Uso do Solo

INDICADORES	FÓRMULAS
ISAA - Índice de Substituição de Áreas Agrícolas	ISAA = (Sca-Sac)/(Sec+Src) ISAA* = Sca/Sec
ISAP - Índice de Substituição de Áreas com Pastagens	ISAP = (Scp-Spc)/(Sec+Src) ISAP* = Scp/Sec
ISVN - Índice de Supressão de Vegetação Nativa	ISVN = Ssv/Sec

Nota: (i) Sca = área de substituição de culturas agrícolas pela cultura da cana-de-açúcar; (ii) Sac = área de substituição da cultura da cana-de-açúcar por culturas agrícolas; (iii) Scp = área de substituição de pastagens pela cultura da cana-de-açúcar; (iv) Spc= área de substituição da cultura da cana-de-açúcar por pastagens; (v) Ssv = área de supressão de vegetação nativa em função da expansão da cultura canavieira; (vi) Sec = área de expansão da cultura canavieira; (viii) Src = área de retração da cultura canavieira. ISAA\* e ISAP\* correspondem as fórmulas simplificadas, quando não há retração da cultura canavieira.

do Projeto CANASAT/ INPE do ano-agrícola base 2005/2006, ambos para o Estado de Goiás. Os dados do PROBIO/MMA foram elaborados a partir da interpretação e classificação semi-automática de imagens orbitais Landsat ETM+ do ano base 2000 com resolução espacial da

ordem de 20 a 30 metros. O mapeamento de Uso da Terra e Cobertura do Solo foi realizado com base no Sistema Brasileiro de Classificação de Vegetação do Brasil (IBGE, 1992) na escala de 1:250.000 (EMBRAPA, 2007). Considerou-se ainda que os dados do PROBIO/MMA, apesar

de terem sido obtidos com base no ano de 2002, estariam razoavelmente atualizados em relação ao ano base de 2005, admitindo-se que as mudanças de uso do solo ocorridas em um período de três anos, com a exceção do próprio processo de expansão da cultura canavieira, não teriam mudado substancialmente os padrões de uso e cobertura do solo na região de interesse. Assim, como as categoriais de classificação de uso antrópico do solo do PROBIO/MMA não discriminam os tipos de culturas agrícolas, foi realizada uma “atualização” da base do PROBIO/MMA com os dados da cultura canavieira do ano-agrícola base de 2005/2006 do Projeto CANASAT/INPE, de modo a obter uma base de referência de Uso da Terra e Cobertura do Solo contendo a classe “cultura da cana-de-açúcar”. O procedimento metodológico adotado seguiu as seguintes etapas:

#### **2.4.2.1 Elaboração da Carta - Uso da Terra e Cobertura do Solo 2005/2006 (C03-UTCS)**

Geração de uma carta de referência do Uso da Terra e Cobertura do Solo para o ano-agrícola base de 2005/2006, início do período estudado. Esta carta foi obtida, a partir da base de referência de Uso da Terra e Cobertura do Solo (BR-PROBIO) da Área Total Cultivada para o Estado de Goiás (BR-CANASAT), por meio das seguintes operações de geoprocessamento: (i) União da carta de referência Área Total da Cultura Canavieira 2005/2006 (C01-ATCC) com a base de referência do Uso da Terra e Cobertura do Solo (BR-PROBIO); (ii) Interseção com a carta das microrregiões e municípios.

#### **2.4.2.2 Interseção da Área de Expansão da Cultura Canavieira 2010/2011 (C02-AECC) com o Uso da Terra e Cobertura do Solo 2005/2006 (C03-UTCS)**

Carta obtida por meio da seguinte operação de geoprocessamento: (i): Interseção das cartas de referência C02-AECC e C03-UTCS.

#### **2.4.2.3 Extração dos dados**

Seleção e extração dos dados por microrregião e exportação das tabelas do *ArcMap/ArcGis10* em formato *xml* para o formato *xlsx* do *Excel/Microsoft office*, para o

posterior cálculo dos indicadores explicitados.

#### **2.4.2.4 Cálculo dos Indicadores**

Efetivação dos cálculos dos indicadores ISAA, IASP e IASV, para os municípios e microrregiões, por meio de planilhas do programa *Excel/Microsoft office*.

A figura 2 apresenta um esquema sumarizando a metodologia para a elaboração das cartas de referência para o cálculo dos indicadores Substituição de Atividades Agrícolas e Mudanças de Uso do Solo (ISAA, IASP e IASV).

#### **2.4.3 Indicador de Adequação do Processo de Expansão da Cultura Canavieira**

O 3º Grupo de Indicadores do Módulo B do SISH-Cana contém um índice que indica a proporção da área de expansão da cultura canavieira que ocorreu sobre áreas de topografia adequada e aptidão edáfica média e alta nas Unidades Territoriais de Análise em apreciação. O Quadro 3 apresenta o indicador com a respectiva fórmula matemática.

Os dados para o cálculo do indicador supracitado foram extraídos a partir da interseção da base cartográfica de referência do Zoneamento Agroecológico da Cana-de-açúcar – ZAE-Cana (EMBRAPA, 2009) com a carta da Área de Expansão da Cultura Canavieira ano-agrícola base de 2010/2011 (C02-AECC) obtida a partir dos dados do Projeto CANASAT/INPE (2010), ambos para o Estado de Goiás. O procedimento metodológico adotado seguiu as seguintes etapas:

#### **2.4.3.1 Interseção da Área de Expansão da Cultura Canavieira 2010/2011 (C02-AECC) com o Zoneamento Agroecológico da Cana-de-açúcar (BR- ZAE-Cana)**

Carta obtida por meio da seguinte operação de geoprocessamento: (i): Interseção da carta de referência C02-AECC e a base cartográfica BR- ZAE-Cana.

#### **2.4.3.2 Extração dos dados**

Seleção e extração dos dados por microrregião e exportação das tabelas do *ArcMap/ArcGis10* em formato *xml* para o formato *xlsx* do *Excel/Microsoft office*, para o

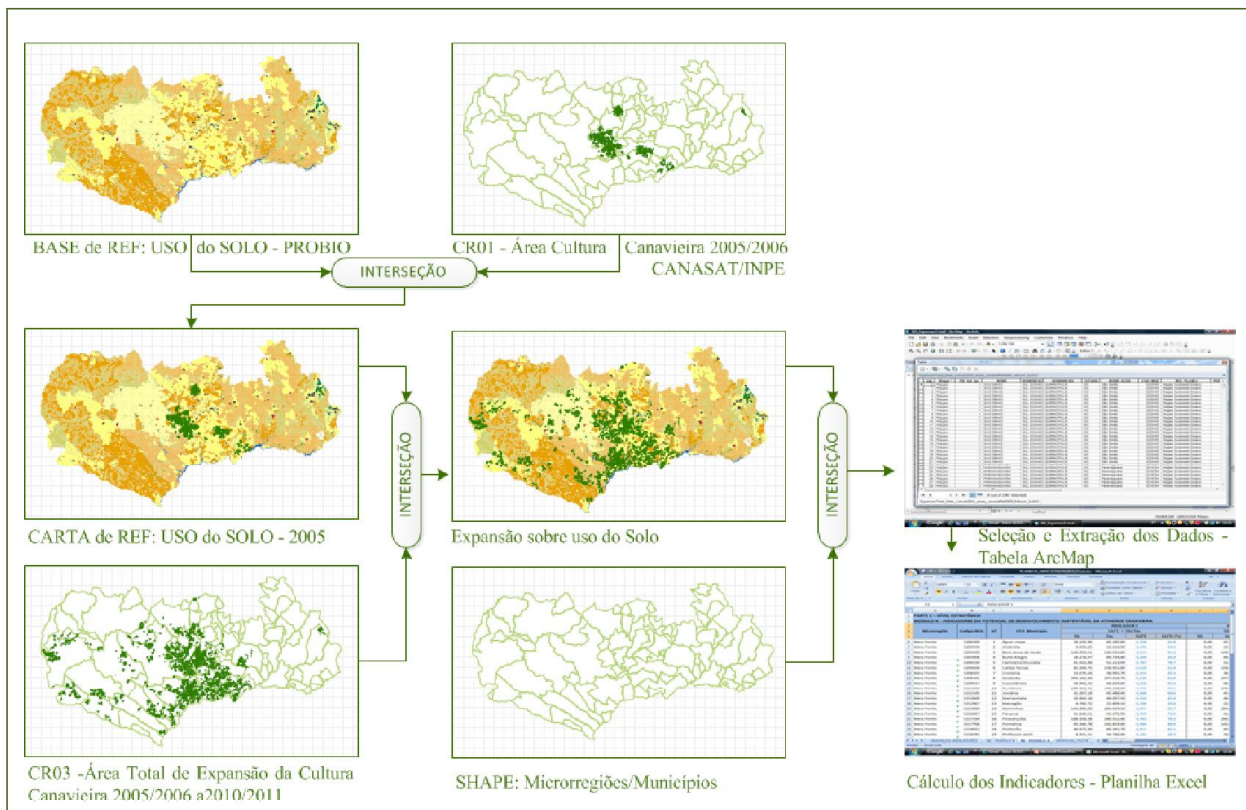


Fig. 2 - Apresentação esquemática da metodologia para a elaboração das cartas de referência para o cálculo dos indicadores Substituição de Atividades Agrícolas e Mudanças de Uso do Solo (ISAA, IASP e IASV).

Quadro 3. Indicador de Adequação do Processo de Expansão da Cultura Canavieira

INDICADOR	FÓRMULA
IEAC - Índice de Expansão Adequada da Cultura Canavieira	$IEAC = Seac/Sec$
Nota: (i) Seac = área de expansão adequada da cultura canavieira; (ii) Sec = área total de expansão da cultura canavieira.	

posterior cálculo dos indicadores explicitados;

### 2.4.3.3 Cálculo dos Indicadores

Efetivação dos cálculos do indicador IEAC, para os municípios e microrregiões, por meio de planilhas do programa *Excel/Microsoft office*.

A figura 3 apresenta um esquema sumarizando a metodologia adotada para a elaboração da carta para o cálculo do indicador de Adequação do Processo de Expansão da Cultura Canavieira (IEAC).

### 2.4.4 Indicadores do Processo de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira

O 4º Grupo de Indicadores do Módulo B do SISH-Cana contém dois índices que indicam a proporção da ocupação da cultura canavieira

em relação à Área Máxima de Expansão Sustentada para atividade canavieira em sistema de sequeiro ou irrigação suplementar nas Unidades Territoriais de Análise em apreciação. O Quadro 4 apresenta os indicadores com as respectivas fórmulas matemáticas.

Os dados para o cálculo dos indicadores supracitados foram obtidos a partir da carta da Área de Expansão da Cultura Canavieira ano-agrícola base de 2010/2011 (C02- AECC) e do procedimento de estimativa do atendimento da demanda hídrica por sistema de produção descrito no primeiro item deste artigo e em Ferraz (2012). O procedimento metodológico adotado seguiu as seguintes etapas:

#### 2.4.4.1 Extração dos dados

Seleção e extração dos dados da Área de



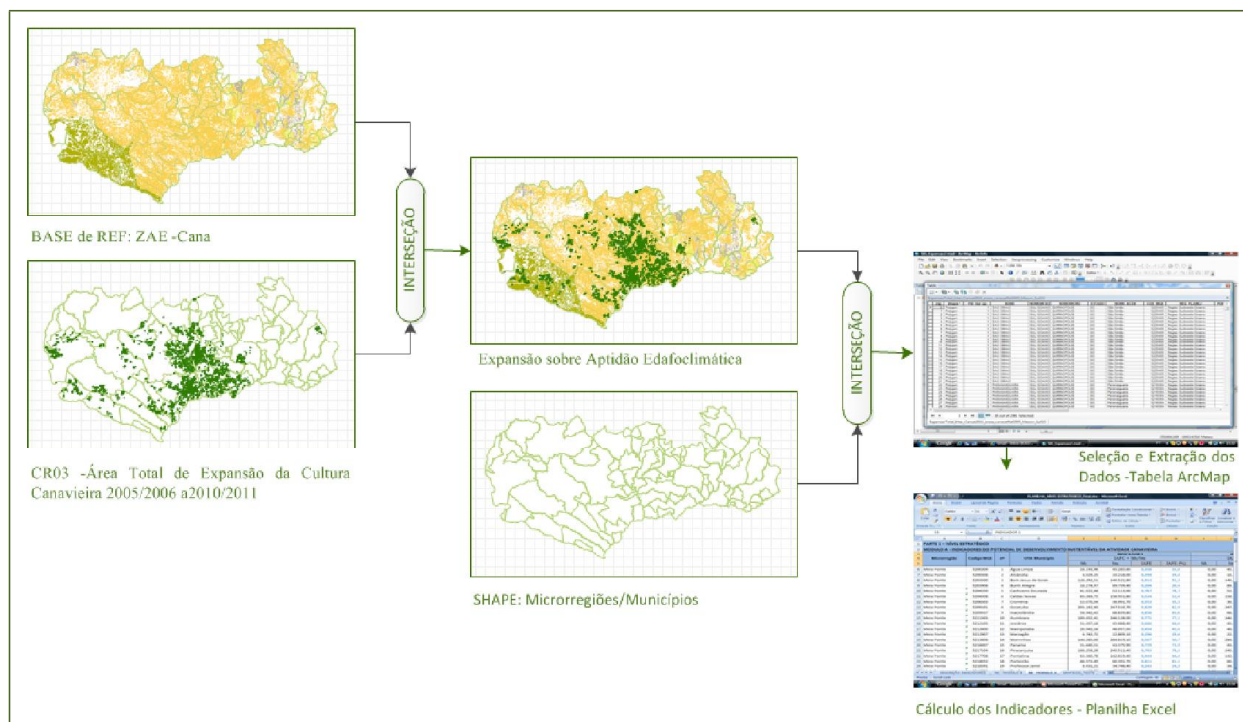


Fig. 3 - Apresentação esquemática da metodologia adotada para a elaboração da carta para o cálculo do indicador de Adequação do Processo de Expansão da Cultura Canavieira (IEAC).

Quadro 4: Indicadores do Processo de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira.

ÍNDICADORES	FÓRMULAS
IESCs - Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira em sistema de sequeiro	$IESCs = Scs / Smes$
IESCi - Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira em sistema de irrigação	$IESCi = Sci / Smei$

Nota: (i) Scs = área da cultura canavieira em sistema de sequeiro; (ii) Sci = área da cultura canavieira em sistema de irrigação; (iii) Smes = área máxima de expansão sustentada para a cultura canavieira em sistema de sequeiro; (vi) Smei = área máxima de expansão sustentada para a cultura canavieira em sistema de irrigação.

Expansão da Cultura Canavieira 2010/2011 (C02-AECC), por microrregião e municípios, através da função *Select by attributes* do *ArcMap/ArcGIS10* e exportação das tabelas do *ArcMap/ArcGis10* em formato *xml* para o formato *xlsx* do *Excel/Microsoft office*, para o posterior cálculo dos indicadores explicitados;

#### 2.4.4.2 Cálculo dos Indicadores

Efetivação dos cálculos dos indicadores IESCs e IESCi, para os municípios e microrregiões, por meio de planilhas do programa *Excel/Microsoft office*. A figura 4 apresenta um esquema sumarizando a metodologia adotada para o cálculo dos indicadores do processo

de expansão sustentada da cultura canavieira (IESCs e IESCi).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Exemplificando a aplicação dos indicadores que foram calculados a partir dos dados e procedimentos metodológicos explicitados, a figura 6 apresenta na forma de gráfico (tipo radar) o conjunto dos oito índices para cada microrregião estudada: Meia Ponte; Sudoeste de Goiás; Vale do Rio dos Bois e de Quirinópolis.

Interpretando os indicadores em conjunto, pode-se descrever e sumarizar o processo de expansão da atividade canavieira ocorrido em cada microrregião durante o período de

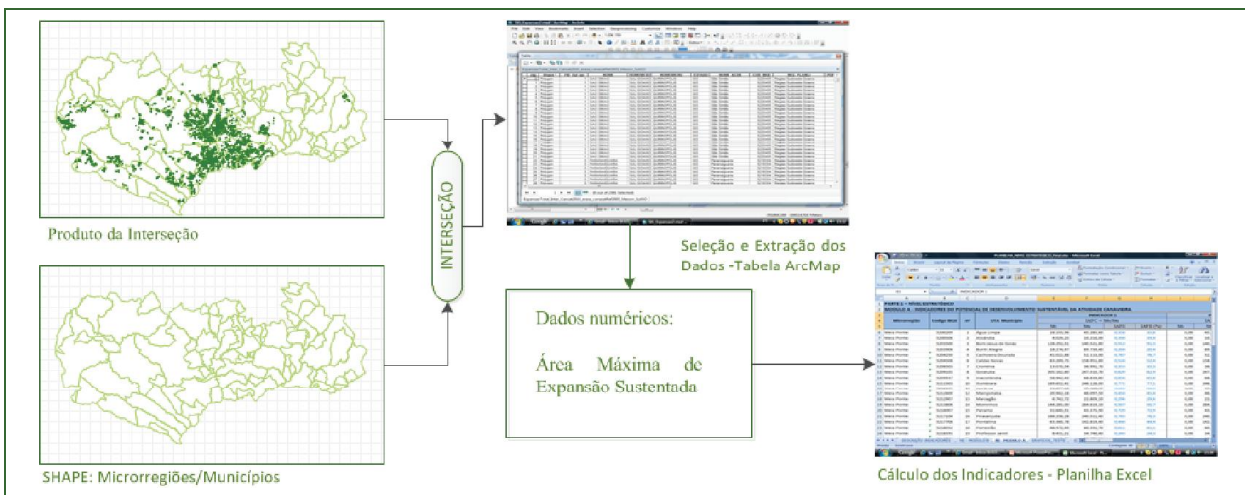


Fig. 4 - Apresentação esquemática da metodologia adotada para o cálculo dos indicadores do processo de expansão sustentada da cultura canieira (IESCs e IESCi).

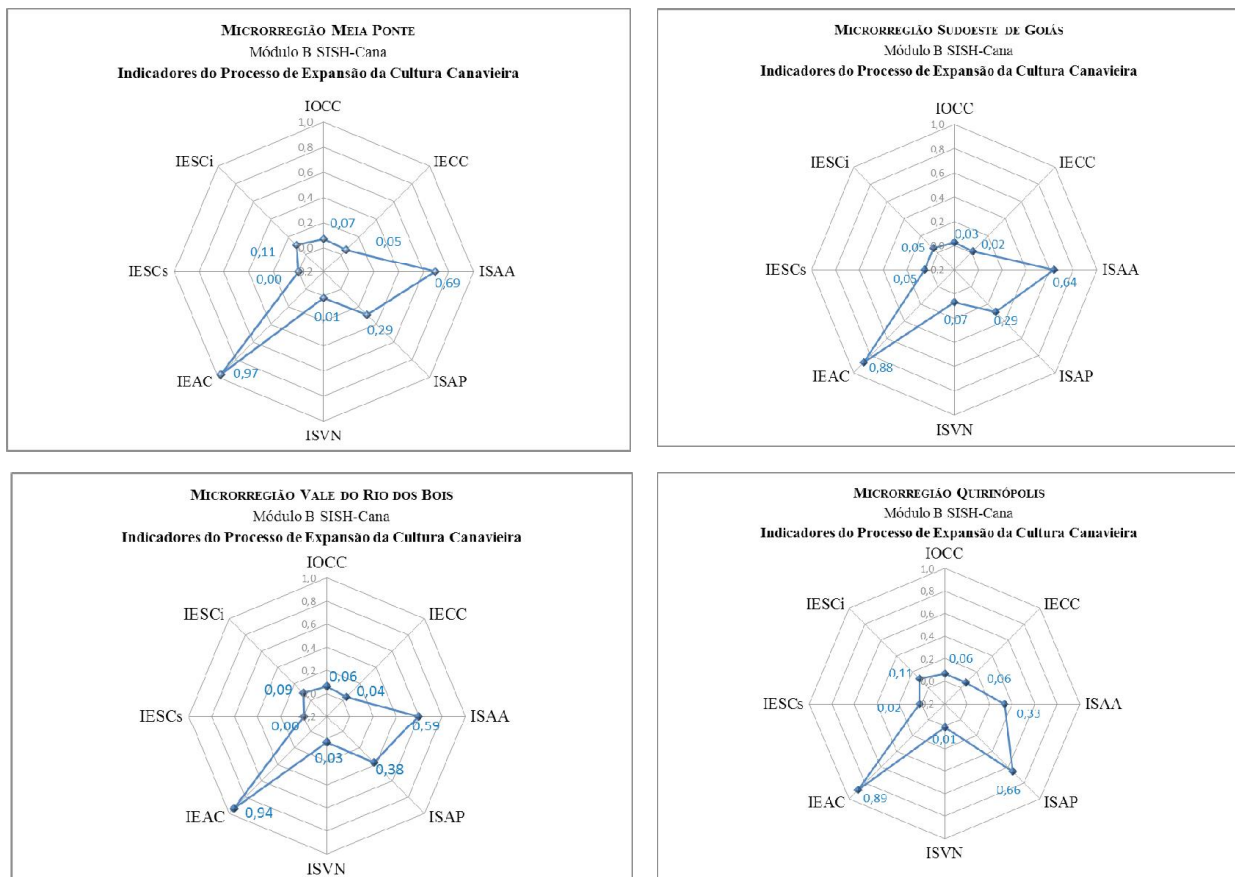


Fig. 5 - Gráficos dos Indicadores do Processo de Expansão da Cultura Canieira (Módulo B do SISH-Cana) para as microrregiões: Meia Ponte; Sudoeste de Goiás; Vale do Rio dos Bois e de Quirinópolis.

2005/2006 a 2010/2011, como se segue:

### 3.1 Meia Ponte

A microrregião de Meia Ponte conta atualmente com 7% de sua área total ocupada (2010/2011) com a cultura canieira,

representando apenas 11% da área máxima capaz de ser cultivada de forma sustentada com base na disponibilidade hídrica para atender a demanda hídrica potencial estimada para a condução da cultura canieira exclusivamente em regime de irrigação compulsória; 5% da área total da

microrregião foram convertidos à produção canavieira no período recente de 2005/2006 a 2010/2011, com taxa de crescimento médio da ordem de 0,83% ao ano, sendo que 97% do processo de expansão ocorreram sobre áreas consideradas tecnicamente adequadas sendo 69% sobre áreas agrícolas, 29% sobre áreas com pastagens e 1% sobre vegetação nativa.

### **3.2 Sudoeste de Goiás**

A microrregião do Sudoeste de Goiás conta atualmente com 3% de sua área total ocupada (2010/2011) com a cultura canavieira, representando 5% da área máxima capaz de ser cultivada de forma sustentada com base na disponibilidade hídrica para atender a demanda hídrica potencial estimada para a condução da cultura canavieira, tanto em sistema de sequeiro quanto em regime de irrigação compulsória; 2% da área total da microrregião foram convertidos à produção canavieira no recente período de 2005/2006 a 2010/2011, com taxa de crescimento médio da ordem de 0,33% ao ano, sendo que 88% do processo de expansão ocorreram sobre áreas consideradas tecnicamente adequadas sendo 64% sobre áreas agrícolas, 29% sobre áreas com pastagens e 7% sobre vegetação nativa.

### **3.3 Vale do Rio dos Bois**

A microrregião de Vale do Rio dos Bois conta atualmente com 6% de sua área total ocupada (2010/2011) com a cultura canavieira, representando apenas 9% da área máxima capaz de ser cultivada de forma sustentada com base na disponibilidade hídrica para atender a demanda hídrica potencial estimada para a condução da cultura canavieira exclusivamente em regime de irrigação compulsória; 4% da área total da microrregião foram convertidos à produção canavieira no período recente de 2005/2006 a 2010/2011, com taxa de crescimento médio da ordem de 0,67% ao ano, sendo que 94% do processo de expansão ocorreram sobre áreas consideradas tecnicamente adequadas sendo 59% sobre áreas agrícolas, 38% sobre áreas com pastagens e 3% sobre vegetação nativa.

### **3.4 Quirinópolis**

A microrregião de Quirinópolis conta atualmente com 6% de sua área total ocupada (2010/2011) com a cultura canavieira,

representando 2% e 11% da área máxima capaz de ser cultivada de forma sustentada com base na disponibilidade hídrica para atender a demanda hídrica potencial estimada para a condução da cultura canavieira, respectivamente, em sistema de sequeiro e em regime de irrigação compulsória; os 6% da área total da microrregião, ocupados atualmente com a cultura canavieira foram convertidos no período recente de 2005/2006 a 2010/2011, com taxa de crescimento médio da ordem de 1% ao ano, sendo que 89% do processo de expansão ocorreram sobre áreas consideradas tecnicamente adequadas sendo 33% sobre áreas agrícolas, 66% sobre áreas com pastagens e 1% sobre vegetação nativa.

## **4. CONCLUSÕES**

Com base nos resultados referentes ao desenvolvimento dos procedimentos metodológicos adotados e na aplicação dos dados extraídos dos modelos visando o cálculo dos indicadores do Módulo B do SISH-Cana (FERRAZ, 2012), pode-se concluir que: (i) o uso de tecnologias, como os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) com suas principais funcionalidades no tocante às ferramentas básicas de geoprocessamento possibilita, de modo rápido e relativamente simples, a elaboração dos modelos espacializados e a extração das variáveis a estes associadas; (ii) a metodologia utilizada a partir da interseção das bases derivadas do mapa de uso e cobertura do PROBIO/MMA (2008) e dos dados de monitoramento do CANASAT/INPE, não permitiu obter uma estimativa muito detalhada das áreas substituídas (ISSA, ISAP e ISVN), entretanto, os resultados indicam a ordem de grandeza e a tendência dos processos de substituição de atividades agrícolas e mudanças de usos do solo; (iii) os demais modelos espacializados utilizados atenderam satisfatoriamente, em termos de nível de detalhamento, aos propósitos explicitados, considerando que os indicadores, na forma como foram propostos, são orientados para o planejamento ambiental a nível estratégico.

## **AGRADECIMENTOS**

Devemos agradecimentos as seguintes instituições que propiciaram os meios e os recursos para a realização do presente trabalho: (i) Programa de Pós-Graduação em Meio

Ambiente - PPG-MA da Universidade do Estado do Rio de Janeiro / UERJ; (ii) Laboratório COSTEL/Universidade Rennes 2 França; (iii) Embrapa; (iv) CNPq.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDALA, K. & CASTRO, S.S. Dinâmica de uso do solo da expansão sucroalcooleira na Microrregião Meia Ponte, estado de Goiás, Brasil. In VI SEM. LATINO-AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA, Portugal, maio de 2010. **Anais**. Disponível em <http://www.uc.pt/fluc/cegot/VISLAGF/actas/tema3/klaus>. Acesso em jan de 2010.

CASTRO, S.S.; ABDALA K.; SILVA, R.A.A. & BORGES V. A Expansão da Cana-de-açúcar no Cerrado e no estado de Goiás: Elementos para uma Análise Espacial do processo. In: **Boletim Goiano de Geografia**, v 30,n.1,p 171-190, jan/jun. 2010

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Mapeamento de cobertura vegetal do Bioma Cerrado: estratégias e resultados**. Edson Eyji Sano (Org) Planaltina DF: Embrapa Cerrados, 2007 (Documentos/Embrapa Cerrados, ISSN 1517 - 5111; 190) p.60

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar**. Celso Vainer Manzatto (Org.). Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. (Documentos / Embrapa Solos, ISSN 1517-2627; 110); 55 p.

FERRAZ R.P.D. **Sistema de Indicadores para a Avaliação do Potencial de Sustentabilidade Hídrica e Monitoramento da Cultura da Cana-de-açúcar: Contribuição Metodológica para o Planejamento da Expansão da Atividade Canavieira**. TESE de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente -PPGMA/ UERJ. Rio 2012 p. 498

HASENACK, H.; WEBER, E.; VALDAMERI, R. **Análise de Vulnerabilidade de um Parque Urbano através de Módulos de Apoio à Decisão em Sistemas de Informação Geográfica**.

UFRGS – Centro de Ecologia/Centro de Recursos IDRISI, Porto Alegre/RS. Disponível em: <<http://www.cieg.ufpr.br/>>. Acesso em: out de 2008 p.10

IBGE. 1992. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Série Manuais Técnicos em Geociências n. 1. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Rio de Janeiro. P.92

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Projeto CANASAT- Mapeamento da cana via imagens de satélite de observação da terra**. Bernardo Friedrich Theodor Rudorff (Coordenador) – Disponível em: <[www.dsr.inpe.br/laf/canasat/mapa.html](http://www.dsr.inpe.br/laf/canasat/mapa.html)>. Acesso 10/01/ 2010

NASSAR, A.M.; RUDORFF, L.B.A.; AGUIAR, D.A.; BACCHI, M.R.P.; ADAMI, M. Prospects of the sugarcane expansion in Brazil: impacts on direct and indirect land use changes. In: ZUURBIER, P. and VOOREN, J.V. (Edit) **Sugarcane Ethanol: contributions to climate change mitigation and the environment**. 1st Ed. Wageningen Publs. Wageningen, 2008. 63-94 p.

MMA- Ministério do Meio Ambiente. **Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira - PROBIO** (disponível em: <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>) Acesso 24/06/2008 p.75

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**. 2010; 2(4):1057-1076. doi: <10.3390/rs2041057>.

SANTOS J.S.dos; AGUIAR D. A. de; ADAMI M.; RUDORFF, B.F.T. **Identificação da dinâmica do uso e cobertura da terra: expansão da cultura da cana-de-açúcar**. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.6610-6617





























