

Revista Brasileira de Cartografia (2013) N<sup>o</sup> 65/5: 843-852  
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto  
ISSN: 1808-0936

## **EXTRAÇÃO DE DADOS DE MODELOS ESPACIALIZADOS VISANDO O CÁLCULO DE INDICADORES PARA A AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE SUSTENTABILIDADE HÍDRICA DA CULTURA CANAVIEIRA**

*Data Extraction from Spatial Models Aiming the Calculation of Indicators for the Assessment of Sugarcane Cultivation Water Sustainability Potential*

**Rodrigo P. 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  
Rua Jardim Botânico 1024, CEP 22460, Brasil  
{rodrigo, margaret}@cnps.embrapa.br

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

**Programa de Pós-Graduação Meio Ambiente – PPGMA, Dep. de Eng. de Sistemas e Computação – DESC/FEN**  
Rua Maracanã 524, Rio de Janeiro, R.J., CEP 20550-013, Brasil

**<sup>3</sup>Université Rennes 2**

**Lab. 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 21 de junho, 2012*

*Received on february 06, 2012/ Accepted on june 21, 2012*

### **RESUMO**

O presente artigo objetivou apresentar os procedimentos metodológicos e as técnicas de geoprocessamento utilizadas para a extração de dados de bases cartográficas temáticas e de modelos hídricos espacializados requeridos para o cálculo de indicadores de sustentabilidade hídrica 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 e de modelos especificamente elaborados para este fim foram introduzidos em um Sistema de Informações Geográficas (SIG), no qual, por meio de técnicas simples de geoprocessamento, foram ajustados e integrados para a obtenção dos dados (grandezas físicas) utilizados para a determinação de indicadores (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 e do nível de precisão e detalhamento dos modelos espaciais adotados, considerando que os índices aplicam-se para a avaliação de *unidades territoriais de análise* em nível de *microrregião* com vistas a planejamentos territoriais e/ou setoriais em nível estratégico.

**Palavras chaves:** Sistemas de Informações Geográficas, Geoprocessamento, Cartografia Temática, Indicadores, Sustentabilidade Hídrica, Cultura da Cana-de-açúcar.

## ABSTRACT

This article aimed to present the methodological procedures and geoprocessing techniques used for data extraction of thematic cartographic bases or spatial models for the calculation of indices for the evaluation of water sustainability of sugarcane cultivation, applied to the analytical description of 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 in secondary sources or elaborate models were introduced in a Geographical Information System (GIS) from computational *ArcGIS 10ESRI* package. Where by means of simple geoprocessing techniques were done tweaking and/or crossings of spatial data (*shapes*) in order to obtain data (IUPAP) concerning territorial units of analysis adopted (UTAs microregions) for calculating dimensionless index proposed by System of Indicators for Assessment of the Potential for Water Sustainability and Monitoring of the Sugarcane Cultivation -SISH-Cana (FERRAZ, 2012). The results demonstrate the appropriateness of the techniques used and the level of precision and accuracy of spatial models adopted, whereas the proposed indexes apply to the characterization of the UTAs in strategic planning process, territorial and/or sectoral (water resources; agriculture).

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

## INTRODUÇÃO

Os dados produzidos pelo Zoneamento Agroecológico da Cana-de-açúcar (EMBRAPA, 2009) indicam que a região Centro-Oeste do Brasil possuem um grande potencial de expansão, em termos de disponibilidade de áreas e de 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. Entretanto, a disponibilidade hídrica climática na área de domínio do bioma Cerrado apresenta limitações, uma vez que, o clima regional é caracterizado por duas estações bem definidas, uma chuvosa, que se inicia nos meses de setembro ou outubro e se estende até os meses de março ou abril, e, outra, que vai até setembro/outubro marcada pela seca com forte deficiência hídrica em função da redução acentuada dos índices pluviométricos (SILVA *et al.*; 2008). Constituindo, deste modo, certo risco para o pleno desenvolvimento da cultura canavieira que, segundo Silva *et al.* (2008), torna a prática da irrigação suplementar obrigatória para se atingir produtividades satisfatórias. Contudo, o Centro-Oeste brasileiro constitui uma região com potencial para a expansão da cultura da cana-de-açúcar. Entretanto, para a promoção do desenvolvimento sustentável da atividade canavieira nesta região, esforços orientados para o planejamento do uso

dos recursos hídricos, da ocupação territorial, assim como, o monitoramento do processo de expansão da atividade em desenvolvimento, devem ser maximizados. Tornando-se importante, neste contexto, que os diversos atores públicos, econômicos possam contar com instrumentos de planejamento e gestão cada vez mais eficazes que forneçam os subsídios técnicos adequados para a tomada de decisões.

Considerando a necessidade de planejamento e de gestão territorial, a implementação de *Sistemas de Informação Geográfica (SIGs)* em conjunto com *Sistemas de Indicadores* de sustentabilidade, podem contribuir para a planificação adequada da atividade canavieira em expansão. Visto que, os SIGs integram diversas técnicas de geoprocessamento, permitem a análise espacial e facilitam a espacialização dos dados. Assim, tornam possível o manejo de um grande número de variáveis e a integração de dados de diversas fontes além de permitir a redução da subjetividade e a integração de conhecimento especializado nos procedimentos de análise. Permitem ainda a espacialização dos resultados, a visualização dos dados e a produção de documentos cartográficos. Todas estas características tornam os *Sistemas de Informação Geográfica* ferramentas especialmente úteis 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 bases cartográficas temáticas e de modelos hídricos especializados para a

caracterização do processo de expansão e do cálculo de índices para a avaliação da sustentabilidade hídrica da cultura canavieira.

## 1. METODOLOGIA

Os procedimentos metodológicos adotados se resumiram a etapas referentes à aquisição, à organização, à estruturação de um SIG e à extração de dados oriundos de bases cartográficas temáticas e de modelos espacializados visando o cálculo de indicadores/índices para a avaliação da sustentabilidade hídrica e 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. As técnicas de geoprocessamento utilizadas para a extração dos dados para o cálculo dos índices do SISH-Cana são relativamente simples, constituindo funcionalidades rotineiras encontradas na maioria dos aplicativos de geoprocessamento. Os referidos índices compõem o Sistema de Indicadores de Avaliação do Potencial de Sustentabilidade Hídrica da Atividade de Canavieira - SISH-Cana (FERRAZ, 2012). Assim, a base teórica, as justificativas e a elaboração dos modelos utilizados para a extração de dados e cálculo dos indicadores encontram-se descritas, de modo completo, em Ferraz (2012). As principais etapas metodológicas foram:

**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. 2ª etapa - Organização e padronização cartográfica:** Consistiu na organização dos dados em ambiente computacional *ArcCatalog/ArcGIS 10/ESRI*, onde 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 que mantém a proporção das áreas sendo adequada para mapeamentos temáticos com áreas com extensão predominante leste-oeste e escalas iguais ou menores a 1:250.000, como o presente caso. Todos os dados espaciais e/ou bases cartográficas temáticas foram recortadas com o 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>)

**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*, onde 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;

**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*.

Na 3ª etapa, após a estruturação do SIG, os seguintes procedimentos metodológicos foram realizados para a extração dos dados utilizados no cálculo dos indicadores. Os indicadores foram subdivididos em grupos conforme as diferentes funcionalidades (FERRAZ, 2012):

## 2. Indicadores de Favorabilidade Edafoclimática

Constituem três *índices de área* que indicam de favorabilidade das áreas quanto às condições de aptidão edafoclimática para o desenvolvimento da cultura canavieira. O Quadro 1 apresenta os Indicadores de Favorabilidade Edafoclimática com as respectivas fórmulas matemáticas.

Quadro 1: Indicadores de Favorabilidade Edafoclimática.

INDICADORES	FÓRMULAS
IAFC - Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira	IAFC = Sfc/Stu
IAFS - Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro	IAFS = Sfs/Stu
IAIC - Índice de Área de Irrigação Compulsória para a Cultura Canavieira	IAIC = Sic/Stu

Os parâmetros para os cálculos desses três indicadores são extraídos de zoneamentos de aptidão agrícola e de risco climático, específicos para a cultura da cana-de-açúcar. Desta forma, se faz necessário a elaboração ou obtenção dos referidos modelos para que se possa realizar a extração dos dados requeridos para o cálculo dos indicadores propostos. No presente estudo foram utilizados os dados do Zoneamento Agroecológico da Cana-de-açúcar - ZAE-Cana (EMBRAPA, 2009). Como os resultados do ZAE-Cana estão disponíveis somente em tabelas e mapas no formato PDF, para consulta via visualizador *Web*, contendo apenas informações sumarizadas das estimativas de áreas aptas à produção de cana-de-açúcar por município, para a realização do presente estudo se fez necessário a obtenção dos arquivos *shapes* e tabelas associadas (formatos: *shp* e *dbf*). Deste modo, foi possível se extrair os dados dos modelos de risco climático e de aptidão edáfica, necessários para a determinação das áreas favoráveis à cultura canavieira em sistemas de sequeiro ou de irrigação compulsória, requeridas para a determinação dos indicadores supracitados. Tendo sido eliminadas as áreas de restrição legal e/ou ambiental como Unidades de Conservação, Terras Indígenas, dentre outras categorias, segundo o ZAE-Cana (EMBRAPA, 2009) as áreas indicadas para a expansão compreendem aquelas edafoclimaticamente aptas com declividades inferiores a 12%, atualmente em produção agrícola intensiva, produção agrícola semi-intensiva ou pastagens. No presente trabalho para a determinação das áreas: (i) Área Favorável à Expansão; (ii) Área Favorável ao Sistema de Sequeiro; e, (iii) Área de Irrigação Compulsória; que compõem os índices correlatos, utilizou-se, para efeito da determinação das áreas aptas, o modelo da aptidão edafoclimática elaborado no âmbito do ZAE-Cana sem considerar o uso atual da terra e considerando apenas as áreas de aptidão

edáfica “Preferencial” (P) e “Regular” (R) excluindo-se as áreas categorizadas como “Marginais”, consideradas de aptidão pedológica baixa. Em relação ao modelo de risco climático, mantendo os critérios estabelecidos no ZAE-Cana, considerou-se apenas as áreas de “Baixo Risco Climático”, categorias “A” e “B”, que significam “Sem limitação ao cultivo” e “Irrigação de Salvamento Indicada”, respectivamente (EMBRAPA, 2009). Desta forma, com resultado do cruzamento entre os modelos de aptidão edáfica e de o risco climático/ aptidão climática do ZAE-Cana, definiu-se as áreas supracitadas (FERRAZ, 2012). O procedimento metodológico adotado seguiu as seguintes etapas:

**2.1 Ajuste dos shapes:** Foram realizados alguns ajustes nos *shapes* originais do ZAE-Cana (EMBRAPA, 2009), visto que, no referido zoneamento adotou-se o critério de excluir as áreas já ocupadas com a cultura da cana-de-açúcar para que os resultados pudessem expressar o quantitativo de áreas aptas por município ainda disponíveis para a expansão da cultura canavieira (Pereira, comunicação pessoal em 06/2011). Por esta razão, os *shapes* finais com todos os modelos integrados do ZAE-Cana não contêm as áreas ocupadas com a cultura da cana-de-açúcar do ano-agrícola base de 2007/2008, dados provenientes do CANASAT/INPE (2010) ([www.dsr.inpe.br/canasat](http://www.dsr.inpe.br/canasat)). Portanto, foi necessário obter o *shape* do modelo de aptidão edafoclimática anterior a exclusão das áreas de cana-de-açúcar e refazer a operação de geoprocessamento para a exclusão das áreas de declividade acima de 12%.

**2.2 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;

**2.3 Cálculo dos Indicadores:** Efetivação dos cálculos dos indicadores IAFC, IAFS e IAIC, para os municípios e microrregiões, por meio de planilhas do programa *Excel/Microsoft office*.

A figura 1 apresenta um esquema sumarizando a metodologia para o ajuste dos *shapes*, extração e cálculo dos Indicadores de Favorabilidade Edafoclimática (IAFC, IAFS e IAIC).

**3. Indicador de Vulnerabilidade dos Recursos Hídricos.**

Trata-se de um indicador que sinaliza a proporção ponderada, em relação à área total da unidade territorial de análise, de ocorrência de áreas vulneráveis à contaminação dos mananciais hídricos superficiais e subterrâneos por efluentes da agroindústria sucroalcooleira. O Quadro 2 apresenta o indicador com a respectiva fórmula matemática.

A determinação do indicador IVCH - Índice de Vulnerabilidade à Contaminação dos Mananciais Hídricos - se baseia na estimativa

de ocorrência relativa de áreas consideradas vulneráveis à contaminação dos corpos hídricos por efluentes da agroindústria sucroalcooleira a partir de um modelo espacialmente distribuído descrito por Gomes, Spadotto e Pessoa (2002), que propuseram um método de avaliação da vulnerabilidade natural dos solos quanto à movimentação de agroquímicos e risco de contaminação das águas subterrâneas e superficiais. No presente estudo de caso utilizou-se um modelo elaborado por Barbalho e Campos (2010) que consistiu em uma adaptação do modelo proposto por Gomes, Spadotto e Pessoa (2002) e foi publicado no trabalho intitulado: *Vulnerabilidade Natural dos Solos e Águas do Estado de Goiás à Contaminação por Vinhaça Utilizada na Fertilização da Cultura da Cana-de-açúcar*. O indicador estabelece a relação da média ponderada das diferentes classes de vulnerabilidade conforme o modelo de referência

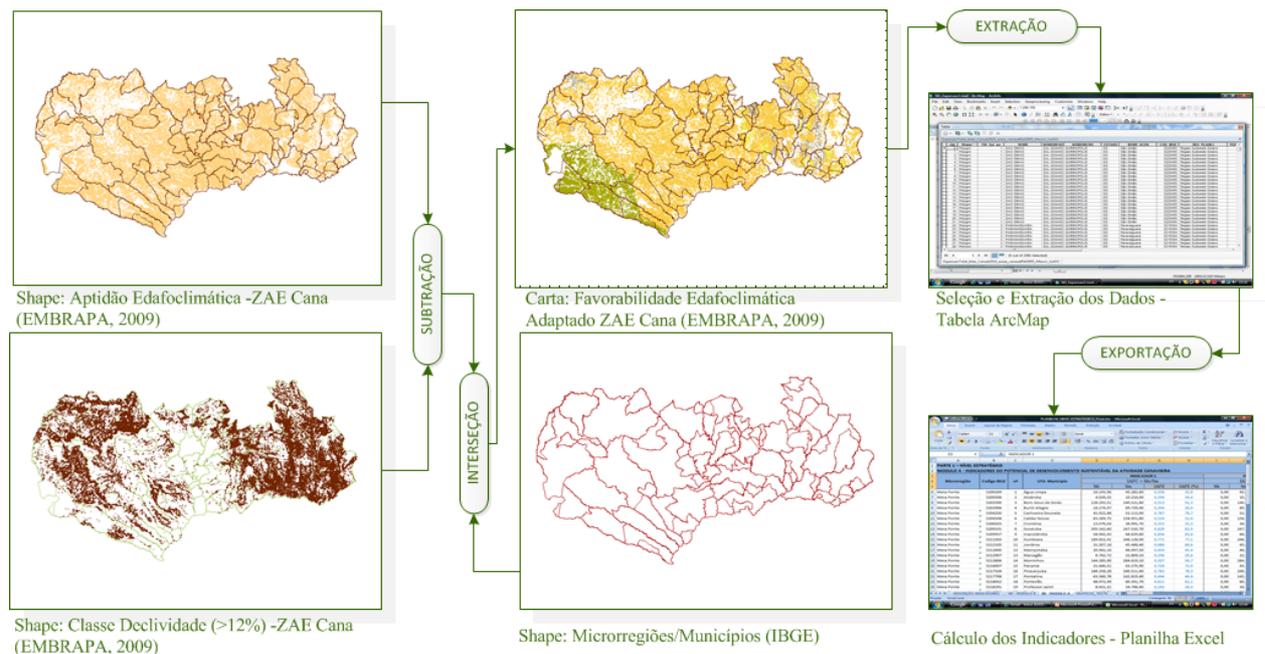


Fig.1 - Esquema sumarizando a metodologia para o ajuste dos *shapes*, extração e cálculo dos Indicadores de Favorabilidade Edafoclimática (IAFC, IAFS e IAIC). Fonte: Ferraz (2012)

Quadro 2: Índice de Vulnerabilidade à Contaminação dos Mananciais Hídricos

INDICADOR	FÓRMULA
IVCH - Índice de Vulnerabilidade à Contaminação dos Mananciais Hídricos	$IVCH = S_{VP} / S_{UTA}$

Nota: (i)  $S_{VP}$  = Área vulnerabilidade ponderada à contaminação dos mananciais hídricos; (ii)  $S_{UTA}$  = Área total da unidade territorial de análise. Fonte: Ferraz (2012)

adotado como a área total da unidade territorial de análise. As áreas com solos de alta condutividade hidráulica e de “baixa a moderada” declividade constituem áreas alto potencial para a infiltração da água e contaminação dos aquíferos freáticos associados. Enquanto que as áreas com baixa condutividade hidráulica e “moderada a alta” declividade constituem áreas com alto potencial para escoamento superficial e contaminação dos mananciais de superfície

O procedimento metodológico adotado seguiu as seguintes etapas:

**3.1 Elaboração da carta temática de vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos freáticos por município:** Corresponde à interseção do modelo de Vulnerabilidade Natural dos Solos e Águas à Contaminação por Vinhaça do Estado de Goiás (BARBALHO e CAMPOS, 2010) com a base cartográfica de unidades administrativas/municípios (IBGE);

**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 posterior cálculo dos indicadores explicitados;

**3.3 Cálculo dos Indicadores:** Efetivação dos cálculos do indicador IAVH, 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 da carta temática de vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos freáticos por município, extração e cálculo do indicador de vulnerabilidade hídrica (IAVH).

#### 4. Indicadores de sustentabilidade hídrica.

Constituem indicadores que, em relação à oferta hídrica regional, descrevem o grau de comprometimento da disponibilidade hídrica para atender a demanda potencial de água da atividade canavieira nas unidades territoriais de análise em apreciação. O Quadro 3 apresenta os indicadores de sustentabilidade hídrica com as respectivas fórmulas matemáticas.

Os parâmetros para os cálculos desses quatro indicadores são extraídos de modelos distribuídos de vazão que possam fornecer a estimativa da produção ou oferta de água de uma

dada região geográfica e de modelos de balanço hídrico climático que permitam a estimativa dos excedentes e déficits hídricos, determinando a possível necessidade de irrigação e, conseqüentemente, a demanda de água por parte da cultura de interesse. No presente estudo, para a estimativa da oferta hídrica da região em apreço foi utilizado um modelo espacialmente distribuído da vazão, com base no índice regional de vazão específica (FERRAZ, 2012). Primeiramente, foram obtidos os dados de vazão das séries hidrológicas e as respectivas áreas de contribuição das seções de controle de 46 estações fluviométricas coordenadas pela Agência Nacional de Águas – ANA do Ministério do Meio Ambiente, por meio de solicitação direta ou através de consulta e *download* das bases de dados disponibilizadas pela mesma agência através do Sistema de Informações Hidrológicas - *HidroWeb* (<http://hidroweb.ana.gov.br>). Para gerar o modelo espacializado, calculou-se as vazões específicas médias de longo termo (qmlt) com o auxílio do Sistema Computacional para Análises Hidrológicas - *SisCAH 1.0*, desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos – GPRH (ANA/UFV) (SOUSA *et al.*, 2009). Os referidos índices foram regionalizados considerando-se zonas hidrológicas homogêneas baseadas na divisão das bacias hidrográficas com seus atributos naturais e na variação e distribuição espacial da precipitação pluviométrica com base no modelo gerado por Evangelista (2011). Para a estimativa da demanda hídrica foi utilizado um modelo espacial de disponibilidade hídrica climática, realizado pelo método do balanço hídrico climático (THORNTHWAITE, 1955), por Silva *et al.* (2008). Este último teve como foco determinar as diferentes lâminas de irrigação necessárias para atender o déficit hídrico da cultura da cana-de-açúcar na região de interesse. O procedimento metodológico adotado seguiu as seguintes etapas:

**4.1 Elaboração do modelo de zonas hidrológicas homogêneas:** Foi elaborado um mapa de *zonas hidrológicas homogêneas* a partir da interseção da base cartográfica de *Ottobacias* nº 5 (ANA - <http://www2.ana.gov.br>), ajustada, com um *modelo regional da precipitação média anual* (EVANGELISTA, 2011);

**4.2 Elaboração do modelo de vazão específica:** A partir da interseção do modelo de zonas hidrológicas homogêneas com os pontos de localização das estações fluviométricas, foi elaborado um modelo espacializado de vazões específicas, atribuindo-se valores para cada zona hidrológica com base em critérios de regionalização adotados e explicitados em Ferraz (2012);

**4.3 Elaboração de uma carta temática de vazões específicas por município:** Interseção do modelo de vazão específica com a base cartográfica de unidades administrativas/municípios (IBGE);

**4.4 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/

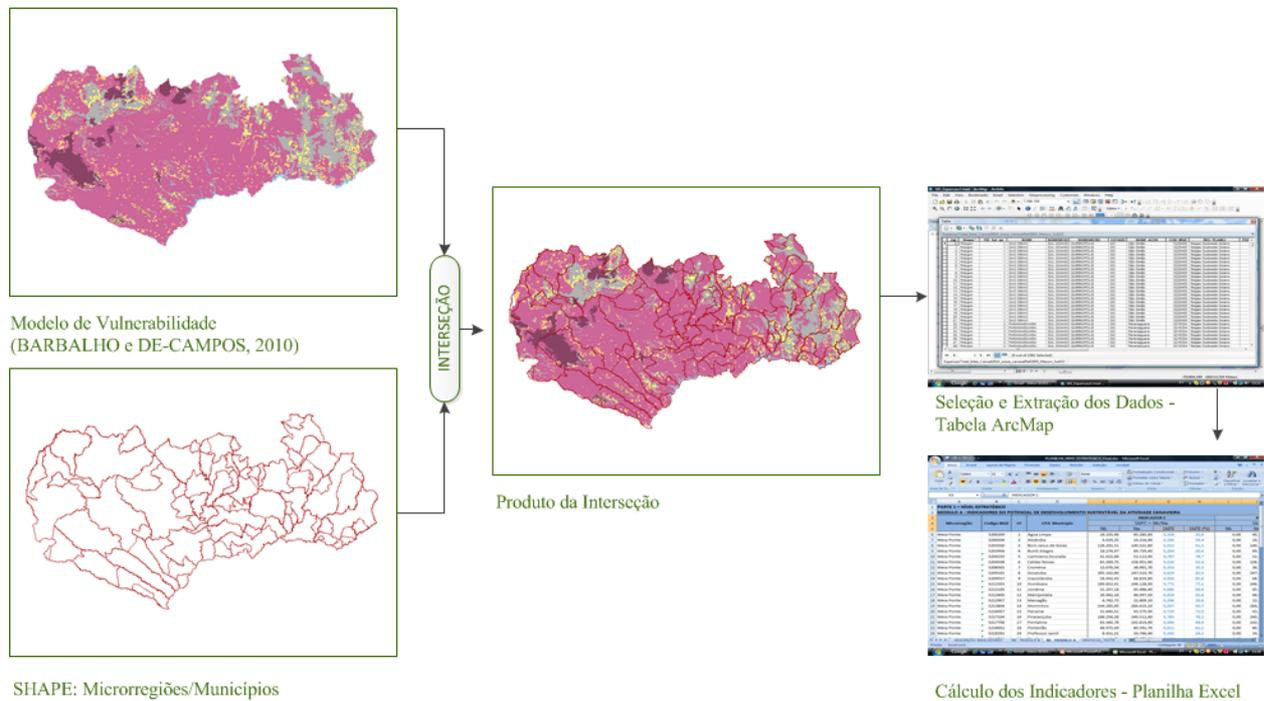


Fig. 2 - Apresentação esquemática da metodologia para a elaboração da carta temática de vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos por município, extração e cálculo do Indicador de vulnerabilidade à contaminação hídrica (IVCH). Fonte: Ferraz (2012)

Quadro 3: Indicadores de Sustentabilidade Hídrica

INDICADORES	FÓRMULAS
ICDHs - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a atividade canavieira em sistema de Sequeiro	$ICDHs = DeHs / DiHt$
IADHs - Índice de Atendimento à Demanda Hídrica da cultura canavieira em Sistema de Sequeiro	$IADHs = Smes / Sfs$
ICDHi - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a atividade canavieira em Sistema de Irrigação	$ICDHi = DeHi / DiHt$
IADHi - Índice de Atendimento à Demanda Hídrica da cultura canavieira em Sistema de Irrigação	$IADHi = Smei / Sic$

Nota: (i) DeHs= Demanda hídrica da cultura canavieira em sistema de sequeiro; (ii) DeHi= Demanda hídrica da cultura canavieira em sistema de irrigação compulsória; (iii) DiHt= Disponibilidade hídrica total da unidade territorial de análise;(iv) Smes= Área máxima de expansão sustentada para cultura canavieira em sistema de sequeiro ; (v) Smei= Área máxima de expansão sustentada para cultura canavieira em sistema de irrigação compulsória (vi) Sfs= Área favorável à cultura canavieira em sistema de sequeiro; (vii) Sic= Área de irrigação compulsória. Fonte: Ferraz (2012)

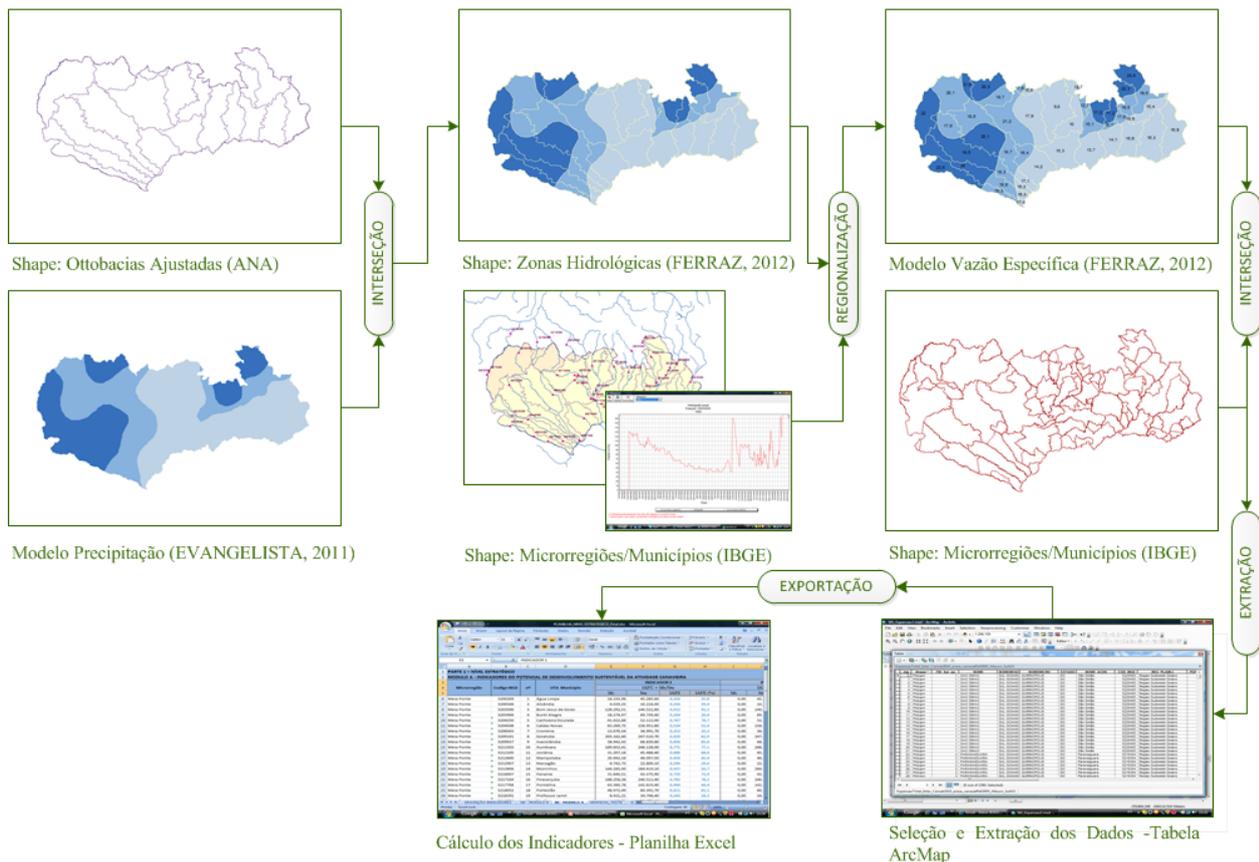


Fig. 3 - Apresentação esquemática da metodologia para a elaboração de um modelo de vazão específica, extração e cálculo dos indicadores de sustentabilidade hídrica (ICDHs, IADHs, ICDHi, IADHi). Fonte: Ferraz (2012).

Microsoft office, para o posterior cálculo dos indicadores explicitados;

**4.5 Cálculo dos Indicadores:** Efetivação dos cálculos dos indicadores ICDHs, IADHs, ICDHi, IADHi, para os municípios e microrregiões, por meio de planilhas do programa Excel/Microsoft office.

A figura 3 apresenta um esquema sumariando a metodologia para a elaboração das cartas de referência para o cálculo dos Indicadores de sustentabilidade hídrica (ICDHs, IADHs, ICDHi, IADHi).

**Resultados e discussão**

Exemplificando a aplicação dos indicadores que foram calculados a partir dos dados e procedimentos metodológicos explicitados por meio do SIG elaborado, a figura 4 apresenta na forma de gráfico (tipo radar) o conjunto dos oito índices para cada microrregião estudada: (A) Meia Ponte; (B) Sudoeste de Goiás; (C) Quirinópolis; (D) Vale do Rio dos Bois;

Interpretando os indicadores em conjunto, pode-se descrever e sumarizar o potencial de

sustentabilidade hídrica da atividade canieira de cada microrregião como se segue:

(A) **Meia Ponte** – Com um índice de vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos por vinhaça considerado moderado (IVCH=0,58), a microrregião Meia Ponte possui 65% do seu território favorável ao desenvolvimento da cultura canieira, exclusivamente, em sistema de irrigação, cuja demanda potencial compromete 35% do volume hídrico total disponível, mas, com potencial de expansão sustentada de 100% da área total apta para a cultura canieira irrigada;

(B) **Sudoeste de Goiás** - Com um índice de vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos por vinhaça considerado alto (IVCH=0,62), a microrregião Sudoeste de Goiás possui 57% do seu território favorável ao desenvolvimento da cultura canieira, sendo 43% em sistema de irrigação compulsória e 14% favorável ao sistema de sequeiro. Possui potencial de expansão sustentada de 100% da área total apta para os dois sistemas de produção canieira com comprometimento de 2% e 17% do volume hídrico total disponível para atender

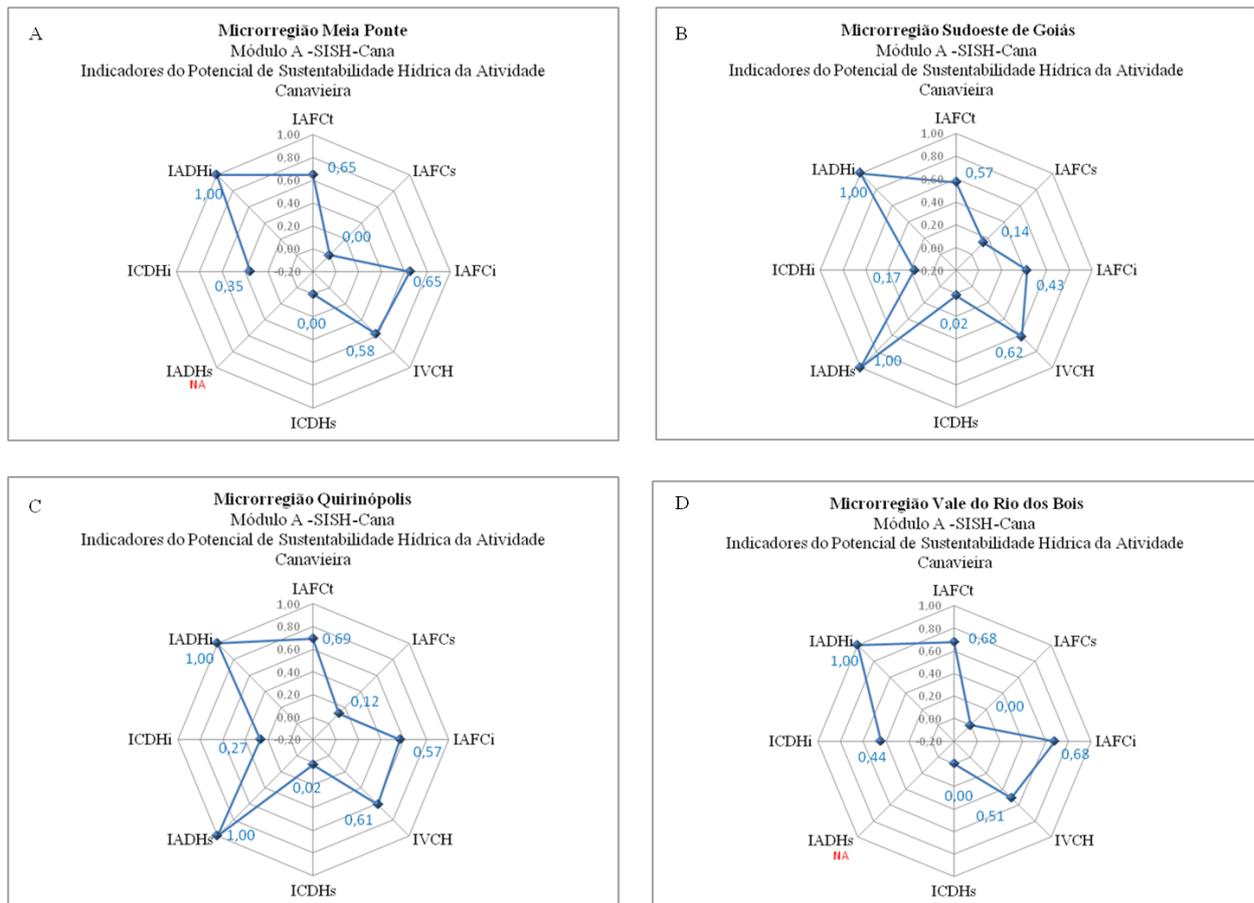


Fig. 4 - Gráficos dos indicadores para a avaliação do potencial de sustentabilidade hídrica da atividade canieira para as microrregiões: (A) Meia Ponte; (B) Sudoeste de Goiás; (C) Quirinópolis; (D) Vale do Rio dos Bois. Fonte: Ferraz (2012).

as demandas projetadas para os sistemas de sequeiro e de irrigação compulsória, respectivamente;

**(C) Quirinópolis** - Com um índice de vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos por vinhaça considerado alto (IVCH=0,61) a microrregião de Quirinópolis possui 69% do seu território favorável ao desenvolvimento da cultura canieira, sendo 57% em sistema de irrigação compulsória e 12% favorável ao sistema de sequeiro. Possui potencial de expansão sustentada de 100% da área total apta para os dois sistemas de produção canieira com comprometimento de 2% e 27% do volume hídrico total disponível para atender as demandas projetadas para os sistemas de sequeiro e de irrigação compulsória, respectivamente;

**D) Vale do Rio dos Bois** - Com um índice de vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos por vinhaça considerado moderado (IVCH=0,51), a microrregião Vale do Rio dos Bois possui 68% do seu território favorável ao desenvolvimento da cultura canieira,

exclusivamente, em sistema de irrigação compulsória. Possui potencial de expansão sustentada de 100% da área total apta para produção canieira irrigada com comprometimento de 44% do volume hídrico total disponível para atender a demanda projetada;

### 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 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 especializados e a extração das variáveis a estes associadas; (ii) os modelos especializados utilizados atenderam satisfatoriamente, em termos de

detalhamento cartográfico aos propósitos explicitados, considerando que os indicadores, na forma como foram propostos, são orientados para o planejamento ambiental a nível estratégico.

### Agradecimentos

Devemos agradecimentos às 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; (v) Agradecimentos pessoais ao Dr. Balbino Antônio Evangelista (Embrapa Cerrados); Dr. Alfredo Borges De-Campos (Universidade Federal de Goiás) e Dra. Maria Gonçalves da Silva Barbalho (Universidade Federal de Goiás)

### Referências Bibliográficas

BARBALHO, M.G.; DE-CAMPOS, A.B. **Vulnerabilidade natural das águas e solos do Estado de Goiás a contaminação por vinhaça utilizados na fertirrigação da cultura de cana-de-açúcar.** In: Boletim Goiano de Geografia, v 30, n.1, p 155-170, jan/jun. 2010

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

EVANGELISTA B. A. **Projeção de cenários atuais e futuros de produtividade de cana-de-açúcar em ambiente de Cerrado.** Tese de Doutorado Programa de Pós Graduação: Engenharia Agrícola/ UNICAMP. Campinas, SP: [s.n.], 2011.

FERRAZ R.P.D. **Sistema de indicadores para a avaliação da sustentabilidade hídrica da expansão canavieira: contribuição metodológica para o planejamento e gestão.** TESE de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente -PPGMA/UERJ. Rio 2012 (em publicação)

GOMES, M. A. F.; SPADOTTO, C. A.; PESSOA, M. C. Avaliação da vulnerabilidade natural dos solos em áreas agrícolas: subsídio à avaliação do risco de contaminação do lençol freático por agroquímicos. *Revista Ecotoxicologia e Meio Ambiente*, v. 12, p. 169-179, Curitiba, jan. 2002.

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: 12 out. 2001.

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 25/04/ 2010

MEDEIROS, J. S. DE; CÂMARA, G. Curso “Geoprocessamento para Projetos Ambientais” (2002). Disponível em: <[http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis\\_ambiente/](http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis_ambiente/)>.

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>.

SILVA F. A. M. da; MÜLLER A. G.; LIMA J. E. F. W.; SILVA E. M. da; MARIN F.; LOPES T. S. de S. **Avaliação da oferta e demanda hídrica para o cultivo da cana-de-açúcar no Estado de Goiás.** Anais do II Simpósio Internacional de Savanas Tropicais – IX Simpósio Nacional do Cerrado. Brasília, DF, 2008.

SOUSA, H. T.; PRUSKI, F. F.; BOF, L. H. N.; Cecon, P. R.; Souza, J. R. C. SisCAH 1.0: Sistema computacional para análises hidrológicas. Brasília: Agência Nacional de Águas, Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2009. 60p.

THORNTHWAITE C.W.; MATHER J.R. **The Water Balance.** Publications in Climatology, New Jersey Drexel Institute of Tecnology, 104p. 1995.