

Indicadores extraídos de modelos espaciais para a avaliação da sustentabilidade hídrica da cultura canavieira: Estudo de caso dos municípios do sudoeste do Estado de Goiás, Brasil.

Rodrigo P. D. Ferraz .⁽¹⁾,
Margareth G. Simões.^(2,1),
Vincent Dubreuil.⁽³⁾

(1) Embrapa Solos, Rua Jardim Botânico 1024, Rio de Janeiro, Brasil
[rodrigo.demonte@embrapa.br].

(2) Universidade do Estado do Rio de Janeiro/PPGMA, Rua Maracanã 524, Rio de Janeiro, Brasil [margareth.simoese@embrapa.br].

(3) Université Rennes2, Lab. Costel UMR 6554 CNRS-LETG, Place du Recteur H. Le Moal, 35043 Rennes, França [vincent.dubreuil@uhb.fr].

Abstract - Indicators extracted from spatial models for sugarcane water sustainability assessment: study case of municipalities in the southwest region of the Goiás State, Brazil. The aim of this study was to evaluate the indicators for Water Sustainability Assessment of Agricultural Systems, proposed by Ferraz (2012), by conducting a study case to assess the sugarcane activity water sustainability in 10 municipalities in the southwest region of the Goiás State, Brazil. These indicators are direct indexes obtained from data extracted through geoprocessing techniques from spatial models, such as: (i) Sugarcane Agroecological Zoning (Embrapa, 2009); (ii) Water contamination vulnerability by agricultural effluents model (Barbalho e Campos, 2010); (iii) Specific flow spatially model (Ferraz, 2012.). The indexes allow indicate: (i) pedoclimatic favorability areas; (ii) the surface and groundwater contamination vulnerability areas; (iii) sugarcane water sustainability level. The results show that the indicators were able to characterize and distinguish the differences between the units of analysis (municipalities) and, considering the scale and the detail level required, spatial models used were appropriate.

Palavras-chave: recursos hídricos, disponibilidade hídrica; demanda de água na agricultura; impacto hídric.

1. Introdução

A atividade canavieira no Brasil se apresenta bastante concentrada, com mais de 85% da produção localizada no Centro-sul do país, majoritariamente, no Estado de São Paulo (IBGE, 2010). No entanto, os dados do Projeto CANASAT (INPE) têm acompanhado a tendência de expansão da atividade canavieira que está se deslocando para o norte do território paulista e avançando sobre algumas áreas da região Centro-Oeste (Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás). O Zoneamento Agroecológico da Cana-de-açúcar (EMBRAPA, 2009) indica que a região Centro-Oeste possui um grande potencial de expansão, em termos de disponibilidade de áreas e aptidão pedoclimática. Contudo, nesta região, área de domínio do bioma Cerrado, a disponibilidade hídrica climática apresenta limitações, em função da distribuição e concentração dos totais precipitados, configurando certo risco para a cultura da cana-de-açúcar conduzida em sistema de sequeiro sem apoio de sistemas de irrigação suplementar. De uma forma geral, 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 destes a setembro/outubro, outra estação, marcada pela seca com forte deficiência hídrica em função da redução acentuada dos índices pluviométricos (SILVA *et al.*; 2008). Desta forma, Silva *et al.* (2008) afirmam que, para a expansão do cultivo da cana-de-açúcar na região do Cerrado, em algumas áreas, haverá a necessidade de irrigação de salvamento ou suplementar, com lâminas de irrigação estimadas de 80 a 120mm, aplicadas após o corte ou plantio. Neste contexto, nas regiões onde a deficiência hídrica constitui um fator limitante

para a produção canavieira, o estímulo à prática da irrigação pode configurar uma opção estratégica de grande alcance para aumentar a produtividade agrícola e, conseqüentemente, a oferta de cana-de-açúcar para a agroindústria sucroalcooleira. A partir da perspectiva de que a prática da irrigação pode constituir uma alternativa técnica, economicamente viável, para o desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar nas condições do Cerrado, se faz necessário avaliar a disponibilidade hídrica regional para atender a demanda crescente de água que será requerida para sustentar a atividade canavieira em expansão e, conseqüentemente, antever a pressão e os impactos sobre os recursos hídricos, antecipando aos possíveis conflitos pelo uso da água. Com base nos indicadores propostos pelo Sistema de Indicadores para Avaliação do Potencial de Sustentabilidade Hídrica da Atividade Canavieira - SISH-Cana (FERRAZ, 2012), o presente artigo apresenta uma avaliação do potencial de sustentabilidade hídrica para a atividade canavieira de dez municípios contrastantes, situados na Mesorregião do Sul do Estado de Goiás, um dos *hotspots* da expansão canavieira no Brasil. O objetivo deste capítulo consiste em, além de apresentar o estudo de caso supracitado, demonstrar através deste, a aplicabilidade do Sistema de Indicadores SISH-Cana (FERRAZ, 2012), enquanto uma metodologia capaz de fornecer, em nível estratégico, subsídios técnicos para o planejamento agrícola e a gestão dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica.

2. Metodologia

2.1. Área do estudo de caso

A delimitação da área para realização do estudo de caso foi estabelecida em função da ocorrência de novos focos de expansão da cultura canavieira conforme comprovam os dados do Projeto CANASAT/INPE e com base na divisão de Unidades Territoriais do IBGE. Assim, como recorte geográfico mais abrangente foi escolhido a Mesorregião Sul Goiano, onde foram escolhidos os seguintes municípios: (1) Chapadão do Céu; (2) Portelândia; (3) Itajá; (4) Palminópolis; (5) Porteirão; (6) Serranópolis; (7) Buriti Alegre; (8) Mineiros; (9) Rio Verde; (10) Caçu.

2.2. Indicadores: conceitos e procedimentos metodológicos

2.2.1. Indicadores de Favorabilidade Edafoclimática

Os *Indicadores de Favorabilidade Edafoclimática* constituem três *índices de área* que indicam a favorabilidade das áreas quanto às condições de aptidão edafoclimática para o desenvolvimento da cultura canavieira (quadro 1).

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	$IAIC = Sic/Stu$

Nota: (i) Sfc= área total favorável à cultura canavieira; (ii) Sfs= área favorável à cultura canavieira em sistema de sequeiro; (iii) Sic= área de irrigação compulsória para a cultura canavieira; (iv) Stu= área total da unidade territorial de análise. Fonte: Ferraz (2012)

Os parâmetros para os cálculos dos *Indicadores de Favorabilidade Edafoclimática* podem ser extraídos de zoneamentos de aptidão agrícola e/ou de risco climático específicos para a cultura em avaliação. No presente estudo, foram utilizados os dados dos modelos de risco climático e de aptidão edáfica do Zoneamento Agroecológico da Cana-de-açúcar - ZAE-Cana (EMBRAPA, 2009). Segundo o ZAE-Cana (EMBRAPA, 2009), excluindo-se as áreas de

restrição legal e/ou ambiental, 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. Para efeito da determinação das áreas aptas utilizou-se 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. Desta forma, para a determinação dos indicadores supracitados, foram determinados os seguintes parâmetros: (i) Área Favorável à Expansão; (ii) Área Favorável ao Sistema de Sequeiro; e, (iii) Área de Irrigação Compulsória. Como uma razão entre áreas, os indicadores supracitados são adimensionais podendo ser expressos em percentagem ou normalizados em uma escala decimal, variando no intervalo: $0 \leq \text{IAFC} \leq 1$. A interpretação dos indicadores IAFC_T , IAFC_S e IAFC_I é baseada nos critérios apresentados no quadro 2.

Quadro 2. Critérios de interpretação dos Indicadores de Favorabilidade Edafoclimática

IAFC_T ou IAFC_S ou $\text{IAFC} = 1,0$ (100% da SBH) - Essa condição ocorre quando: SFT ou SFS ou SIC = SBH.	Significa que a área total da UTA é favorável ou apta para a cultura canavieira. Indica máxima favorabilidade da UTA para o desenvolvimento da cultura canavieira
IAFC_T ou IAFC_S ou $\text{IAFC} = 0,0$ (0% da SBH) - Essa condição ocorre quando: SFT ou SFS ou SIC = 0,0 (zero).	Significa ausência de áreas favoráveis ou aptas para a cultura canavieira na UTA. Indica máxima desfavorabilidade da UTA para o desenvolvimento da cultura canavieira
$0 < \text{IAFC}_T$ ou IAFC_S ou $\text{IAFC} < 1$ (x% da SBH) - Essa condição ocorre quando SFT ou SFS ou SIC < SBH.	Indica a ocorrência de áreas favoráveis ou aptas para a cultura canavieira na UTA, cuja grandeza revela a proporção das áreas favoráveis ou aptas para o desenvolvimento da cultura canavieira em relação à área total da UTA

Nota : UTA – Unidade Territorial de Análise

2.2.3. Indicador de Vulnerabilidade dos Recursos Hídricos.

O indicador *Índice de Vulnerabilidade à Contaminação dos Mananciais Hídricos* 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 (quadro 3) 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.

Quadro 3. Indicador de Vulnerabilidade à Contaminação dos Mananciais Hídricos

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

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)

No presente estudo utilizou-se um modelo elaborado por Barbalho e Campos (2010) que consistiu em uma adaptação do modelo proposto por Gomes, Spadotto e Pessoa (2002). O indicador estabelece a relação da média ponderada das diferentes classes de vulnerabilidade conforme o modelo de referência 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 de alto potencial para a infiltração da água e contaminação dos aquíferos freáticos. 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. Como uma razão entre áreas o indicador IVCH é adimensional e

pode ser normalizado em uma escala decimal, variando no intervalo: $0 \leq IVCH \leq 1$. A interpretação do IVCH é baseada nos critérios apresentados no quadro 4.

Quadro 4. Critérios de interpretação do Indicador de Vulnerabilidade à Contaminação dos Mananciais Hídricos

IVCH = 0,0 Essa condição ocorre quando: $S_{VP} = 0,0$	Significa que a UTA não possui nenhuma das 3 classes de vulnerabilidade à contaminação dos recursos hídricos. Constitui um valor referencial de ausência de vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos na UTA considerada
IVCH = 1,0 Essa condição ocorre quando: $S_{VP} = S_{UTA}$	Significa que a área inteira da UTA é constituída com a classe de máxima vulnerabilidade à contaminação dos recursos hídricos. Constitui um valor crítico, indicando máxima vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos na UTA considerada.
$0 \leq IVCH \leq 1$ Essa condição ocorre quando: $S_{VP} = S_{UTA}$	Significa que a UTA possui uma combinação das 3 classes de vulnerabilidade à contaminação dos recursos hídricos de acordo com os critérios estabelecidos, cuja grandeza revela a proporção ponderada de ocorrência das áreas consideradas vulneráveis

Nota : UTA – Unidade Territorial de Análise

2.2.3. Indicadores de sustentabilidade hídrica.

Os indicadores de sustentabilidade hídrica constituem indicadores que, em relação à oferta hídrica regional, descrevem o grau de comprometimento da disponibilidade hídrica e o nível de atendimento da demanda potencial de água da atividade canavieira nas unidades territoriais de análise em apreciação (quadro 5). Os parâmetros para os cálculos dos 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.

Quadro 5. 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)

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 (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 (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: (i) *Elaboração do modelo de zonas hidrológicas homogêneas* a partir da intersecção da base cartográfica de Ottobacias nº 5 (ANA - <http://www2.ana.gov.br>), ajustada, com um *modelo regional da precipitação média anual* (EVANGELISTA, 2011); (ii) *Elaboração do modelo de vazão específica* a partir da intersecção do modelo de zonas hidrológicas homogêneas com os pontos de localização das estações fluviométricas, atribuindo-se valores para cada zona hidrológica com base em critérios de regionalização adotados e explicitados em Ferraz (2012); (iii) *Elaboração de uma carta temática de vazões específicas por município* a partir da intersecção do modelo de vazão específica com a base cartográfica de unidades administrativas/ municípios (IBGE); (iv) *Extração dos dados*: Seleção e extração dos dados por município 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. Como uma razão entre volumes (ICDH) e áreas (IADH), os indicadores supracitados são adimensionais podendo ser expressos em percentagem ou normalizados em uma escala decimal, variando no intervalo: $0 \leq \text{ICDH}$ ou $\text{IADH} \leq 1$. A interpretação dos indicadores ICDH e IADH é baseada nos critérios apresentados no quadro 6 e quadro 7, respectivamente.

Quadro 6. Critérios de interpretação dos Indicadores de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica

ICDH = 1,0 (100% da DiH) Essa condição ocorre quando: $\text{DeH} = \text{DiH}$ $\text{ICDH} > 1$ Essa condição ocorre quando $\text{DeH} > \text{DiH}$	Significa o comprometimento máximo da Disponibilidade Hídrica. Constitui um valor crítico, limite da sustentabilidade hídrica, pois, para atender a demanda da cultura comprometeria toda a disponibilidade hídrica da UTA considerada.
$0 \leq \text{ICDH} \leq 1$ (x % da DiH) Essa condição ocorre quando $\text{DeH} < \text{DiH}$	Significa um grau intermediário de comprometimento da Disponibilidade Hídrica, cuja grandeza do valor do indicador revela o grau de comprometimento da Disponibilidade Hídrica.

Nota: (i) Quando o índice for maior do que 1,0 ($\text{ICDH} > 1$) o indicador assume o valor 1,0 ($\text{ICDH} = 1$). Considera-se que a noção de “comprometimento de um recurso natural” não pode, por lógica, ultrapassar a 100% do mesmo, logo quando o índice ICDH, matematicamente, ultrapassar o valor da unidade o indicador se limita ao valor unitário, (iv) $\text{ICDH} = 0,0$ (0% da DiH); (ii) Quando o índice for igual a zero ($\text{ICDH} = 0,0$) o mesmo não se aplica. Pois, por uma interação lógica, não faz sentido se determinar o “grau de comprometimento” de uma demanda inexistente. Portanto, adota-se o critério de não aplicação do indicador ICDH, designado pelo código NA (Não se Aplica); (iii) UTA – Unidade Territorial de Análise.

Quadro 7. Critérios de interpretação dos Indicadores de Atendimento da Demanda Hídrica

$\text{IADH} = 0,0$ (x % da S_F) Essa condição ocorre quando $S_{ME} = 0,0$ Para: $S_{ME} = 0,0$ a $\text{DiH} = 0,0$	Significa que não há mais volumes hídricos disponíveis para atender a qualquer demanda extra na UTA considerada. Corresponde a um valor crítico sinalizador da condição de insustentabilidade hídrica para a atividade canavieira.
$0 < \text{IADH} < 1$ (x % da S_F) Essa condição ocorre quando $S_{ME} < S_F$	Significa que a disponibilidade hídrica atende parcialmente a demanda hídrica da atividade canavieira. A grandeza do valor do indicador revela a proporção da área capaz de ser irrigada ou desenvolvida em sequeiro com base na disponibilidade hídrica da UTA em apreciação.
$\text{IADH} = 1,0$ (100% da S_F) Essa condição ocorre quando $S_{ME} = S_F$	Significa que a disponibilidade hídrica atende exatamente a demanda hídrica total. Constitui um valor crítico, limite da sustentabilidade hídrica, pois, a demanda hídrica da atividade canavieira se iguala à oferta hídrica.
$\text{IADH} > 1$ Essa condição ocorre quando $S_{ME} > S_F$	Significa que a disponibilidade hídrica atende plenamente (com sobras) à demanda hídrica conforme o sistema especificado.

Nota: (i) Quando o índice IADH for maior do que 1,0 ($IADH > 1$) a Área Máxima de Expansão Sustentada passa a ser determinada pela Área Total Favorável, pois, esta já estabelece um limite para a expansão canavieira baseado em critérios técnicos baseados na aptidão edafoclimática. Logo, neste caso, a $S_{ME} = S_F$ e o indicador IADH assume o valor unitário ($IADH = 1,0$); (ii) Quando a Área Favorável for inexistente ($S_F=0,0$) o índice não se aplica por uma impossibilidade matemática (quociente com denominador igual a zero) e, também porque, por interação lógica, não faz sentido considerar um valor relativo (área máxima) quando a própria área inexistente. Portanto, nesses casos adota-se o critério de não aplicação do indicador ICDH, designado pelo código NA (Não se Aplica); (iii) UTA – Unidade Territorial de Análise.

3. Resultados

Os resultados dos indicadores calculados para a avaliação da sustentabilidade hídrica da atividade canavieira, para os dez municípios contrastantes da região Sudoeste do Estado de Goiás, Brasil, encontram-se na tabela 1.

Tabela 1. Indicadores de sustentabilidade hídrica dos dez municípios contrastantes da região Sudoeste do Estado de Goiás, Brasil.

Municípios	Indicadores							
	IAFC _T	IAFC _S	IAFC _I	IVCH	ICDH _S	IADH _S	ICDH _I	IADH _I
1	0,69	0,69	0,00	0,55	0,09	1,00	0,00	NA
2	0,47	0,00	0,47	0,56	0,00	NA	0,19	1,00
3	0,68	0,39	0,29	0,60	0,06	1,00	0,12	1,00
4	0,82	0,00	0,82	0,57	0,00	NA	0,66	1,00
5	0,81	0,00	0,81	0,65	0,00	NA	0,58	1,00
6	0,61	0,57	0,04	0,79	0,08	1,00	0,01	1,00
7	0,20	0,00	0,20	0,55	0,00	NA	0,12	1,00
8	0,41	0,10	0,31	0,66	0,01	1,00	0,12	1,00
9	0,72	0,00	0,72	0,61	0,00	NA	0,29	1,00
10	0,69	0,00	0,69	0,65	0,00	NA	0,31	1,00

Nota 1: Municípios: (1) Chapadão do Céu; (2) Portelândia; (3) Itajá; (4) Palminópolis; (5) Porteirão; (6) Serranópolis; (7) Buriti Alegre; (8) Mineiros; (9) Rio Verde; (10) Caçu – Nota 2: (i) IAFC - Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira; (ii) IAFC_S - Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro; (iii) IAFC_I - Índice de Área de Irrigação Compulsória para a Cultura Canavieira; (iv) IVCH - Índice de Vulnerabilidade à Contaminação dos Mananciais Hídricos; (v) ICDH_S - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a atividade canavieira em sistema de Sequeiro; (vi) IADH_S - Índice de Atendimento à Demanda Hídrica da cultura canavieira em Sistema de Sequeiro; (vii) ICDH_I - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a atividade canavieira em Sistema de Irrigação; (viii) IADH_I - Índice de Atendimento à Demanda Hídrica da cultura canavieira em Sistema de Irrigação.

Com base nos indicadores descritos pode-se interpretar a situação quanto à sustentabilidade hídrica de cada município selecionado para o estudo de caso utilizado como exemplo da aplicação do sistema de indicadores proposto, como se segue: (1) Chapadão do Céu: Com índice de vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos (IVCH), indicando um risco médio (0,55), o município possui 69% de seu território favorável ao cultivo da cultura canavieira que pode ser conduzida totalmente em sistema de sequeiro. Apresenta ainda, um potencial de expansão sustentada até a área máxima favorável para a cultura com a utilização de apenas 9% dos volumes hídricos disponíveis para atender plenamente a demanda hídrica projetada; (2) Portelândia: Com o IVCH indicando um risco médio (0,56), o município possui 47% de seu território favorável à condução da cultura canavieira, exclusivamente, em sistema de irrigação suplementar, apresentando potencial de expansão sustentada até a área máxima favorável a cultura irrigada, com um comprometimento de 19% dos volumes hídricos disponíveis para atender plenamente a demanda hídrica projetada; (3) Itajá: Com o IVCH, indicando um risco médio (0,60), o município possui 68% de seu território favorável à condução da cultura canavieira, dos quais, 39% favoráveis à condução da cultura canavieira em sistema de sequeiro e 29% em sistema de irrigação suplementar. Apresenta, ainda, um potencial de expansão até a área máxima

favorável ao cultivo da cultura tanto em sistema de sequeiro quanto de irrigado, com um comprometimento de, respectivamente, 6% e 19% dos volumes hídricos disponíveis para atender plenamente às demandas projetadas para cada modalidade de produção; (4) Palminópolis: Com o IVCH, indicando um risco médio (0,57), o município possui 82% de seu território favorável à condução da cultura canavieira, exclusivamente, em sistema de irrigação suplementar. Apresenta, ainda, um potencial de expansão sustentada até a área máxima favorável ao cultivo da cultura irrigada, com um comprometimento na ordem de 66% dos volumes hídricos disponíveis para atender plenamente à demanda projetada; (5) Porteirão: Com o IVCH, indicando um risco médio (0,65), o município possui 81% de seu território favorável à condução da cultura canavieira, exclusivamente, em sistema de irrigação suplementar. Apresenta, ainda, um potencial de expansão sustentada até a área máxima favorável ao cultivo da cultura cana-de-açúcar irrigada, com um comprometimento de 58% dos volumes hídricos disponíveis para atender plenamente a demanda hídrica projetada; (6) Serranópolis: com o IVCH, indicando um risco alto (0,79), o município possui 61% de seu território favorável à condução da cultura canavieira, dos quais, 57% favoráveis à condução da cultura canavieira em sistema de sequeiro e 4% em sistema de irrigação suplementar. Apresenta, ainda, um potencial de expansão sustentada até a área máxima favorável à cultura tanto em sistema de sequeiro quanto de irrigado compulsória, com a utilização, respectivamente, de 8% e 1% dos volumes hídricos disponíveis para atender plenamente as demandas projetadas; (7) Buriti Alegre: Com o IVCH, indicando um risco médio (0,55), o município possui 20% de seu território favorável à condução da cultura canavieira, exclusivamente, em sistema de irrigação suplementar. Apresenta um potencial de expansão sustentada até a área máxima favorável ao cultivo da cultura da cana-de-açúcar irrigada, com um comprometimento de 12% dos volumes hídricos disponíveis para atender plenamente a demanda posta; (8) Mineiros: Com o IVCH, indicando um risco alto (0,66), o município possui 41% de seu território favorável à condução da cultura canavieira, dos quais, 10% favoráveis à condução da cultura canavieira em sistema de sequeiro e 31% em sistema de irrigação suplementar. Apresenta um potencial de expansão sustentada até a área máxima favorável à cultura canavieira tanto em sistema de sequeiro quanto de irrigado compulsória, com a utilização, respectivamente, de 1% e 12% dos volumes hídricos disponíveis para atender plenamente às demandas projetadas; (9) Rio Verde: Com o IVCH indicando um risco médio (0,61), o município possui 72% de seu território favorável a condução da cultura canavieira, exclusivamente, em sistema de irrigação suplementar, apresentando potencial de expansão sustentada até a área máxima favorável á cultura da cana-de-açúcar irrigada, com a utilização de 29% dos volumes hídricos disponíveis para atender plenamente a demanda projetada.; (10) Caçu: Com o IVCH, indicando um risco médio (0,61), o município possui 69% de seu território favorável à condução da cultura canavieira, exclusivamente, em sistema de irrigação suplementar. Apresenta um potencial de expansão sustentada até a área máxima favorável à cultura da cana-de-açúcar irrigada, com a utilização de 31% dos volumes hídricos disponíveis para atender a totalidade da demanda projetada.

Conclusão

Do ponto de vista do desempenho do Sistema SISH-Cana, em relação aos resultados obtidos em conjunto pelos indicadores aplicados nos Estudos de Caso pode-se concluir que os mesmos foram suficientemente sensíveis para descrever as singularidades e acentuar as diferenças contrastantes entre o municípios (UTAs) analisados.

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

Barbalho, M.G.; Campos, A.B.de. 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. 2011. *Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)* - UNICAMP. Campinas, SP, 2011.

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.

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.

IBGE. Levantamento sistemático da produção agrícola - Pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil. Abril de 2010. Rio de Janeiro: IBGE. Abr. 2010. Acesso em 06/08/2010. Disponível em < ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_%5Bmensal%5D/Fasciculo/lspa_201004.zip >

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>. Acesso 12/03/ 2010

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.

Thorntwaite C.W.; Mather J.R. The Water Balance. New Jersey: New Jersey Drexel Institute of Tecnology, 1995. 104 p. (*Publications in Climatology*)