

Revista Brasileira de Cartografia (2016), N^o 68/2 Edição Especial Aplicações dos SIG: 235-252
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

RISCO DE IMPACTOS AMBIENTAIS GERADOS PELA DINÂMICA DE USO DO SOLO NO ESTADO DE GOIÁS: UMA ABORDAGEM MULTIMÉTODOS

*Risk of Environmental Impacts Generated Through the Dynamics of
Land Use in the State of Goiás: a Multimethod Approach*

Klaus de Oliveira Abdala¹, Francis Lee Ribeiro¹ & Manuel Eduardo Ferreira²

¹Universidade Federal de Goiás – UFG

Setor de Desenvolvimento Rural - Escola de Agronomia

Campus Samambaia – Cx. POSTAL 131 - Goiânia - GO, CEP 74690-900

agroklaus@gmail.com, francisleerib@gmail.com

²Universidade Federal de Goiás – UFG

Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento - Instituto de Estudos Sócio-Ambientais

Campus Samambaia – Cx. POSTAL 131 - Goiânia - GO, CEP 74690-900

mferreira.geo@gmail.com

Recebido em 13 de Novembro, 2014/ Aceito em 1 de Maio, 2015

Received on November 13, 2014/ Accepted on May 1, 2015

RESUMO

Este artigo analisa a dinâmica de uso do solo entre as principais atividades agropecuárias no Estado de Goiás e os riscos de impactos decorrentes deste processo na substituição de culturas, no uso consuntivo de água, nos remanescentes florestais e nos riscos de degradação dos solos e contaminação hídrica. A partir de uma abordagem multimétodos, combinando métodos econométricos, estatísticos, geográficos, geológicos e agrônômicos, foi possível identificar, como resultado dessa dinâmica, municípios especializados em cada uma destas atividades, nos quais as culturas de soja e milho substituem o cultivo de pastagem, deslocando-o para outras áreas, nas quais se torna o maior responsável pelo desflorestamento. Além disso, parte desta especialização localizou-se em áreas de risco, indicando que essas atividades agropecuárias podem ser as maiores responsáveis pelos impactos edáficos e hidrológicos observados na escala de bacias hidrográficas.

Palavras-chave: Impactos Ambientais, Bovinocultura, Soja, Milho, Dinâmica de Uso do Solo.

ABSTRACT

This article analyzes the dynamics of land use between the main agricultural activities in the state of Goiás and the risks of impacts of this process on alternative crops, the consumptive use of water in remnant forest areas, and the risks of land degradation and water contamination. From a multimethod approach combining econometric methods, statistical, geographic, geological and agricultural, we identified, as a result of this dynamic, specialized municipalities in each of these activities, in which the soybean and corn replace the pasture farming, moving it to other areas, where it makes the most responsible for deforestation. In addition, part of this specialization was located in risk areas, indicating that

these agricultural activities may be the most responsible for edaphic and hydrologic impacts observed on the scale of river basins.

Keywords: Environmental Impacts, Cattle, Soybean, Corn, Dynamic of Land Use.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com o relatório Livestock's long shadow (STEINFELD *et al.*, 2006), o setor pecuário é considerado o de maior crescimento dentro do agronegócio mundial, fornecendo meios de subsistência para cerca de 1,3 bilhão de pessoas, contribuindo com cerca de 40% da produção agropecuária, além de responsável pela ocupação de 30% da superfície terrestre global.

O Brasil, segundo as estimativas do USDA (2014), possui o segundo maior rebanho bovino do mundo, com aproximadamente 208 milhões de cabeças, superado apenas pela Índia; entretanto, é o maior produtor mundial de carne bovina e líder mundial em exportações, atendendo 22,5% da demanda mundial em 2013.

Em relação à distribuição regional do efetivo brasileiro de bovinos em 2010, 34,2% encontrava-se na região Centro-Oeste, 20,7% no Norte e 18,5% no Sudeste do país (IBGE, 2010).

Segundo a EMBRAPA (2011), o Brasil é detentor ainda da maior produtividade mundial de grãos de soja (3.106 Kg/ha) e o segundo maior produtor mundial desta oleaginosa (USDA, 2014), com uma produção de 94 milhões de toneladas, sendo superado apenas pelos Estados Unidos.

A soja atua como um grande potencializador das economias locais e regionais, envolvendo atividades complementares que vão desde o fornecimento de máquinas, insumos e assistência técnica, até a logística de comercialização e transportes (WWF-Brasil, 1999). A necessidade de rotação de culturas acaba gerando outros produtos, como o milho, que também dinamiza setores mais diversos, estimulando os demais segmentos da cadeia.

Estes dois complexos, soja e bovino, estão economicamente interligados, vez que, aproximadamente 50% do peso bruto da soja é destinado à produção de farelo, para a composição de ração, que será utilizada na alimentação animal (STEINFELD, 2006).

Especificamente no Estado de Goiás, de acordo com o Instituto Mauro Borges (IMB, 2012), o rebanho bovino goiano somou, em 2012, um total de 22,05 milhões de cabeças,

consolidando-o na 3ª posição de maior rebanho bovino nacional, atrás de Mato Grosso e Minas Gerais. Já a produção nacional de leite, com a marca de 32,3 bilhões de litros, posiciona Goiás como o 4º maior produtor, com uma contribuição de 11% do montante nacional. Como consequência, este detém a terceira maior concentração de frigoríficos sob inspeção federal no país, com um total de 10 plantas instaladas, ficando atrás apenas de Mato Grosso, com 18 plantas, e de São Paulo, com 14 plantas (ABIEC, 2011).

Além da pecuária, Goiás se insere ainda como o quarto maior produtor nacional de soja, com uma área plantada de 2.669.894 ha em 2012, equivalente a 10,6% da área total de produção de soja no Brasil, ficando atrás do Mato Grosso (27,5%), Paraná (17,7%) e Rio Grande do Sul (17,0%). Detém ainda a quinta maior posição dentre os produtores nacionais de milho, com 1.221.160 ha em 2012. (IBGE, 2014).

Apesar do destaque do agronegócio no Brasil, particularmente, no Estado de Goiás, tais atividades não constam como geradoras de uma série de impactos ambientais ao longo da cadeia de produção.

Tais impactos estão relacionados à alteração da paisagem local, devido ao desflorestamento e introdução de espécies exóticas, conseqüentemente incorrendo na perda de biodiversidade (STEINFELD *et al.*, 2006; CONSERVAÇÃO INTERNACIONAL, 2005); além disso, alterações promovidas no solo podem ocasionar processos erosivos e a contaminação dos recursos hídricos, devido à descarga direta de resíduos no ambiente (SCHLESINGER, 2010; DIAS FILHO & FERREIRA, 2008; ZEN, 2008; DEDECEK *et al.*, 2006; SCHLESINGER, 2005; ZHANG *et al.*, 2001; NOVAES, 2000; MUELLER, 1995).

Apesar de parte destes impactos ambientais poderem ser minimizados por técnicas agrícolas modernas como a de plantio direto, que mantém a vegetação responsável pela cobertura e agregação do solo, reduzindo processos erosivos (CUNHA, 1997), as condições climáticas do bioma Cerrado,

no qual Goiás está inserido, não permitem um controle eficiente da erosão com esta técnica, uma vez que a mesma tem proporcionado uma cobertura do solo de apenas 54% neste bioma, contra os 86% promovidos pelas condições climáticas do sul do país, por exemplo (SÁ *et al.*, 2004).

Além desses impactos (contaminação do solo, água e erosão), é importante salientar que o milho é uma das culturas mais plantadas sob irrigação em Goiás. Quando sistemas de irrigação são utilizados de forma não controlada, provocam grande perda de água do lençol freático, comprometendo o abastecimento futuro, inclusive para o consumo humano (SANTOS & CÂMARA, 2002)

A literatura que descreve os impactos ambientais da agricultura, e que propõe medidas mitigadoras, é vasta, porém não exaustiva, uma vez que, segundo Schlesinger (2010), Dias Filho e Ferreira (2008) e Steinfeld *et al.* (2006), vários desses impactos têm em suas quantificações dificuldades ou imprecisões inerentes.

Apesar dessas limitações relativas à mensuração, a referida pesquisa questiona se é possível relacionar determinados impactos à dinâmica de expansão da atividade agrícola em Goiás, às características geológicas das regiões de ocupação e aos índices de produtividade de seus locais de concentração.

A localização destes impactos, relacionada às regiões especializadas nestas culturas, constituirá suporte ao aprimoramento de medidas de gestão pública e privada, permitindo mitigar tais impactos, tornando a atividade em questão mais competitiva e sustentável.

Segundo Cunha (2005), a falta de informações sobre como diferentes ecossistemas reagem a diversas atividades agrícolas (e suas técnicas de exploração) é um dos fatores que dificultam a coordenação entre políticas ambientais e de produção agrícola no país. Diante desse dilema, propõe-se que Sistemas de Informações Geográficas (SIG) sobre as relações entre a agricultura e o meio ambiente sejam combinados por meio de um “Índice de Risco Ambiental da Agricultura” (IRAA).

Tal índice seria utilizado como subsídio em projetos de infraestrutura, decisões a respeito de assentamentos da reforma agrária, subsídio ao seguro agrícola e ao crédito rural e, especialmente,

na gestão de opções tecnológicas (privadas) para a agricultura.

Diante do contexto apresentado, o presente trabalho teve por objetivo identificar os municípios especializados em bovinocultura e nas culturas de soja e milho, bem como alocar, dentro do Estado de Goiás, os riscos de impactos hidrológicos e edáficos e a influência que a expansão da bovinocultura e das culturas de soja e milho exerce sobre o desflorestamento promovido na última década, mais precisamente no período de 2001 a 2011.

Como objetivo específico, buscou-se analisar os riscos de impactos ambientais gerados pela dinâmica de uso do solo no Estado de Goiás.

1.1 Área de estudo

O estudo está localizado no Estado de Goiás, a leste da região Centro-Oeste, no Planalto Central brasileiro, cobrindo um território de 340.086 km², delimitado pelos Estados do Mato Grosso do Sul a sudoeste, Mato Grosso a oeste, Tocantins a norte, Bahia a nordeste, Minas Gerais a leste, sudeste e sul, e pelo Distrito Federal a leste. Goiás destaca-se ainda por ser único Estado da Federação totalmente inserido na área core do bioma Cerrado (CARVALHO *et al.*, 2008).

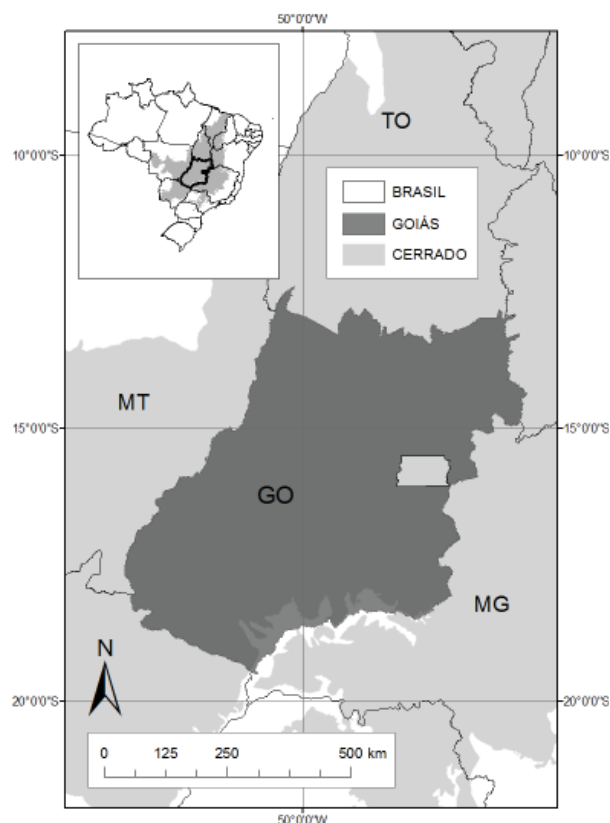


Fig. 1 - Localização da área de estudo.

Segundo Abdala (2012), o uso do solo em Goiás pode ser caracterizado a partir da diversificação de sua fronteira agrícola em meados da década de 1970, baseada principalmente em programas governamentais, como o Programa de Desenvolvimento das áreas do Cerrado (Polocentro). Tais programas eram constituídos por uma política de incentivos creditícios e fiscais que incentivaram os médios e os grandes produtores rurais a demandarem inovações físico-químicas, mecânicas e biológicas responsáveis pela adequação dos solos ao processo de modernização agropecuária no Estado. O aumento do estoque de terras agrícolas de boa qualidade e a perspectiva de um contínuo aumento desse estoque (fruto não só da abundância e do baixo preço das terras passíveis de serem convertidas, mas também do custo relativamente baixo dessa conversão) mantinham um preço da terra relativamente baixo no Cerrado, base da competitividade agrícola do Estado. O incremento da produção agropecuária tornou-se responsável pela entrada no Estado, nos anos 80 do século XX, das principais tradings de commodities agrícolas. Este fato teve um papel importante na ocupação e desenvolvimento econômico da região, uma vez que incentivou a implantação das principais agroindústrias processadoras de carnes, grãos, sucroalcooleiras e lácteas em Goiás, aproximando, sistemicamente, a agricultura com a indústria. O setor agrícola foi se integrando ao Cerrado, o qual se apresentou, desde então, com um grande potencial produtivo.

Dessa forma, ao longo do processo de modernização econômica, Goiás vem sendo caracterizado por diferentes dinâmicas de uso do solo. Segundo os dados do IBGE (2014), é possível identificar a presença de três principais complexos: bovinos, soja e milho responsáveis pelo uso e ocupação de aproximadamente 94% dos solos goianos. Tais complexos estabelecem uma situação de competição por terras agricultáveis e por recursos naturais, sendo responsáveis por diferentes externalidades no processo. Tal competição, concentrando a produção da região em um determinado complexo, altera a demanda por recursos naturais; logo, terras disponíveis, água e remanescentes de Cerrado apresentam atualmente uma dinâmica que pode estar relacionada a esta competição.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para analisar o problema exposto anteriormente, empregou-se uma abordagem multimétodos, i.e., métodos econométricos, estatísticos, geográficos, geológicos e agrônômicos combinados, propiciando uma abordagem interdisciplinar, a qual se acreditou ter maior poder de análise.

2.1 Especialização Produtiva dos Municípios

Para identificar os municípios especializados nas atividades agropecuárias no Estado de Goiás, foi utilizado como referencial analítico o Quociente de Localização. Segundo Lopes (2001), o Quociente de Localização é uma medida essencialmente voltada a avaliar o grau relativo de concentração de uma determinada atividade. A estrutura dos seus resultados permite fazer uma análise centrada numa região específica, para todos os setores de atividade em causa e, deste modo, tecer considerações sobre o grau de especialização/diversificação desse território.

Entretanto, o Quociente de Localização permite apenas a análise estática, para um ano agrícola, não refletindo a evolução da dinâmica dos setores agropecuários. Portanto, optou-se também pelo modelo Shift-Share, ou modelo diferencial-estrutural, conforme Abdala e Ribeiro Lee (2011).

O modelo Shift-Share consiste na descrição do crescimento econômico de uma região em termos de sua estrutura produtiva. Sua aplicação no setor agropecuário procura explicar o comportamento da produção agrícola mediante a decomposição dos fatores responsáveis pela variação da produção.

Segundo Moreira (1996), o método utiliza três efeitos explicativos na variação da produção: i) efeito área - EA; ii) efeito rendimento ou produtividade - ER; iii) efeito localização geográfica - EL.

O efeito área constitui-se num indicador de mudanças na produção provenientes de alterações na estrutura agrária, supondo que os demais efeitos permaneçam constantes no decorrer do tempo. Dessa forma, um aumento na produção é atribuído à incorporação de novas áreas, indicando um uso extensivo do solo. O efeito rendimento quantifica a variação na quantidade produzida decorrente

da variação exclusivamente na produtividade, refletindo diferenciais tecnológicos nos fatores de produção. O efeito localização geográfica quantifica as variações na quantidade produzida provenientes das vantagens comparativas das regiões, ou seja, da mudança na localização das culturas entre as microrregiões estudadas, mantendo-se os demais componentes constantes.

Zockun (1978) já demonstrava que a área cultivada por determinada cultura, dentro do sistema de produção, pode ser modificada por dois fatores: i) pela escala, com a variação da área total das culturas estudadas; e ii) pela substituição, com a variação da participação de cada cultura dentro do sistema de produção. Esse último fator, quando positivo, indica que, no período analisado, a cultura considerada se expandiu, ganhando área de outras culturas e aumentando sua participação. Quando for negativo, indica substituição por outra cultura dentro do sistema.

Importante ressaltar que, para os propósitos deste trabalho, serão utilizados apenas o efeito área, e seus componentes escala e substituição.

2.2 Quociente de Localização

Para o cálculo do Quociente de Localização (QL), foram utilizadas as seguintes variáveis, conforme Equação 1:

X_{rj} - Área colhida da cultura j no município r ;
 X_r - Área colhida total das culturas consideradas no município r ;
 X_{pj} - Área colhida da cultura j no Estado de Goiás,
 X_p - Área colhida total das culturas consideradas no Estado de Goiás.

$$QL = \frac{(X_{rj} / X_r)}{(X_{pj} / X_p)} \quad (1)$$

Na interpretação dos resultados, valores inferiores a 1 significam uma expressão da cultura j no município r inferior à expressão dessa cultura no Estado de Goiás; valores superiores a 1 significam uma expressão da cultura j superior à verificada no Estado de Goiás, ou seja, a região em questão é mais especializada na cultura j do que no restante do Estado de Goiás.

2.3 Shift-Share

Para o cálculo do Shift-Share, foram utilizadas as seguintes variáveis:

Act - Área total colhida da c -ésima cultura no Estado de Goiás, no período t ;

$\lambda = (A_f / A_i)$ - Coeficiente que mensura a modificação na área total cultivada das culturas entre o período inicial e final;

Rcmt - Rendimento da c -ésima cultura, no m -ésimo município do Estado, no período t ;

Assim, a variação da área ocupada por determinada cultura no sistema de produção é expressa pela Equação 2:

$$EA = (A_{cf} - A_{ci}) \quad (2)$$

Considerando λ como o coeficiente que mede a modificação do tamanho do sistema, a variação da área ocupada pelo sistema pode ser decomposta no efeito escala e no efeito substituição, de acordo com as Equações 3 e 4:

Efeito escala:

$$(EE) = (\lambda A_{ci} - A_{ci}) \quad (3)$$

Efeito substituição:

$$(ES) = (A_{cf} - \lambda A_{ci}) \quad (4)$$

Desta forma, utilizou-se os resultados do Shift-Share, a partir do qual foi equacionada a variação da área agropecuária de cada município, para os temas culturas temporárias, pastagens e outras culturas, segundo a Equação 5:

$$\Delta(\text{área agropecuária}) = \Delta(\text{área culturas temporárias}) + \Delta(\text{área pastagens}) + \Delta(\text{área outras culturas}) \quad (5)$$

Partindo-se da premissa de que a área territorial é composta pelas categorias área agropecuária, vegetação remanescente, parques, lagos, áreas urbanas e culturas permanentes e, dentre estas categorias, a mais expressiva e que não foi compreendida na análise é a de remanescentes florestais, é possível inferir que variações acentuadas na área agropecuária ocorrem em função da variação da área de remanescentes florestais, expressa pela Equação 6:

$$\Delta(\text{Saldo de área agropecuária}) = f\Delta(\text{Remanescentes florestais}) \quad (6)$$

Dessa forma, o saldo de área agropecuária constitui uma variável proxy sinalizadora de desflorestamento ou recomposição florestal.

Para efetuar os cálculos do Quociente de Localização e do Shift-Share, os dados de área e rendimento das culturas para todos os municípios do Estado de Goiás (e para o Distrito Federal) foram coletados da Pesquisa Agrícola Municipal - IBGE (2014), referentes ao período 2001 a 2011. Para eliminar o efeito de variações sazonais na produção, foi utilizada a média dos três primeiros anos, ou seja, entre 2000 e 2002, como período inicial, e dos três últimos anos, 2010 a 2012, como período final.

Os dados referentes à área de pastagens foram coletados dos censos agropecuários de 1975, 1985, 1995 e 2006, a partir dos quais foi possível estimar a equação para determinação dos valores correspondentes ao período analisado, conforme Nogueira (2010). O autor utiliza os dados censitários que fornecem a área de pastagem e a quantidade de cabeças bovinas para os anos 1975, 1985, 1995 e 2006, para obter a capacidade de suporte das pastagens em cada ano de realização do censo. A partir desses resultados, obtém-se a Equação 7, que fornece a taxa de lotação para os demais anos compreendidos em sua análise, permitindo estimar a área de pastagens a cada ano para qualquer município:

$$Ap = Nc/Pdt \quad (7)$$

onde:

Ap = área de pastagem (ha)

Nc = número de cabeças (cab)

Pdt = taxa de lotação (cab/ha)

A taxa de lotação, obtida pelos dados apresentados no formato cabeças por hectare, representa um proxy do efeito rendimento de pastagens, por indicar sua capacidade de suporte em diferentes níveis de população da espécie; entretanto, apresenta a limitação de não especificar o estágio de desenvolvimento do animal e, neste sentido, deveria ser corrigida para unidades animal (UA) equivalentes ao consumo de uma vaca de 450 kg, conforme Santos (1998). Porém, como os dados fornecidos pelo IBGE não permitem essa transformação, optou-se por manter o indicador na forma de cabeças por hectare.

Importante, ainda, relatar o fato de que a metodologia de coleta de dados do IBGE, para área de pastagens, foi alterada no Censo de 2006, o qual passou a incluir áreas de Cerrado ralo como Matas e Florestas, excluindo-as da categoria de pastagens naturais, como era feito anteriormente. Para verificar a possibilidade de vies, o presente trabalho comparou os resultados das análises de regressão entre os censos, com e sem o ano de 2006, obtendo-se uma variação de 4% entre os resultados, para uma perda de 22% de correlação entre as equações ($R^2=0,92$ para $R^2=0,72$); portanto, optou-se por manter o ano censitário de 2006 para estimativa da taxa de lotação. Outra dificuldade no tratamento de dados refere-se à ausência de dados censitários em nível municipal, para determinados anos e municípios; para mitigar tal problema, optou-se por utilizar uma função do Excel, a qual utiliza um algoritmo de regressão logarítmica, com base nos dados existentes, para encontrar os dados ausentes. Quando o município apresentava dados para apenas um ano, utilizou-se como base de referência os dados da média para Goiás e DF, sendo que, ao final, os dados municipais foram corrigidos por um fator, de tal modo que a sua somatória correspondesse ao resultado médio para estas localidades. Tal análise foi executada para todos os municípios do Estado de Goiás, mais o Distrito Federal.

O efeito rendimento de pastagens foi utilizado para confecção dos mapas utilizados na análise dos impactos de localização das atividades, conforme descrito a seguir. Para tanto, este foi formulado na forma de taxa anual de variação do rendimento, dada pela Equação 8:

$$R\% = \left(\left(\sqrt[n]{\frac{Rcf}{Rci}} \right) - 1 \right) 100 \quad (8)$$

2.4 Impactos e Vulnerabilidade Ambientais

Dentre os impactos ambientais gerados pelas atividades agropecuárias, este trabalho analisou a poluição hídrica, a degradação dos solos e o processo de desflorestamento na referida área de estudo. Observa-se que foram calculados os riscos de contaminação hídrica por percolação e contaminação hídrica por escoamento superficial e degradação dos solos.

A poluição hídrica gerada pela agropecuária é resultante da combinação da concentração de resíduos poluentes, sobretudo a uréia, antibióticos e demais medicamentos excretados pelo animal, ou de defensivos e fertilizantes utilizados nas culturas (STEINFELD *et al.*, 2006; ROOK *et al.*, 2004) e da taxa de escoamento superficial (MANSO & FERREIRA, 2007) ou da percolação destes, no caso específico da bovinocultura (ZHANG *et al.*, 2001; CORRELL, 1999). Assim, uma alta concentração desses resíduos, associada a elevadas taxas de escoamento superficial, ou de percolação para águas subterrâneas, constituirão condição de elevado risco do local à poluição hídrica.

Dias Filho e Ferreira (2008) e Steinfeld *et al.* (2006) descrevem, ainda, a degradação de pastagens como agente responsável pelo processo de erosão dos solos, com a consequente poluição hídrica. Tal processo resulta da presença de terrenos declivosos, com solos de elevada vulnerabilidade à erosão, associado a pastagens de baixo rendimento e alta lotação.

Segundo Mindrisz (2006), a vulnerabilidade à contaminação de um aquífero refere-se ao seu grau de proteção natural às possíveis ameaças de contaminação, sendo esta proteção função das características litológicas e hidrogeológicas dos estratos, que o separam da fonte de contaminação, e dos gradientes hidráulicos, que determinam os fluxos e o transporte das substâncias contaminantes através dos sucessivos estratos até o aquífero.

Narciso & Gomes (2005) elaboraram um índice de vulnerabilidade à contaminação de aquíferos, adaptado a partir do método DRASTIC descrito por Aller *et al.* (1987). Tal índice foi calculado a partir das características intrínsecas da bacia hidrográfica e das atividades relativas à simples ocupação humana, conforme os temas: Declividade (D), Geologia (G), Falhas (F), Recursos Hídricos (RH), Uso do Solo (US) e Ocupação Humana (OH). Para estimar o índice, os autores consideraram: i - a declividade e a geologia como estimadores da velocidade de infiltração; ii - as falhas e os recursos hídricos como estimadores da atividade hidrológica do terreno; e iii - o uso do solo e a ocupação humana como estimadores do potencial de contaminação da área.

IMAGEM e WWF-Brasil (2004) desenvolveram um mapa de escalas de vulnerabilidade à erosão para os solos do

Estado de Goiás e Distrito Federal. Seguindo a metodologia descrita em Crepani *et al.* (2001), estimaram os valores de vulnerabilidade para os solos como função dos temas: declividade, permeabilidade do solo, uso e cobertura vegetal. Segundo o método, quanto maior a declividade, menor a permeabilidade do solo; e quanto menor seu nível de cobertura vegetal, maior será a vulnerabilidade deste à erosão.

Os métodos para os cálculos de vulnerabilidade descritos acima utilizaram um Sistema de Informações Geográficas (SIG), a partir da álgebra de mapas temáticos (BARBOSA, 1997). Segundo esse sistema, um valor relativo é atribuído a cada tema, os quais são somados para a obtenção do mapa final.

Assim, o Indicador de vulnerabilidade pode ser obtido pela Equação 9:

$$Iv = \sum_{i=1}^n pTi/n \quad (9)$$

onde:

T = tema

Iv = índice de vulnerabilidade

n = quantidade de temas

p = valor relativo, entre cada tema, atribuindo sua magnitude de importância no processo analisado.

Outro fator a ser considerado na análise de risco referente à poluição hídrica de determinado local é sua hidrologia. Neste sentido, mantendo-se as demais condições constantes, quanto maior a concentração de recursos hídricos e pontos de drenagem, maior o risco de contaminação das águas por escoamento superficial.

Segundo Crhistofolletti (1978), a densidade de drenagem correlaciona o comprimento total dos canais ou rios com a área da bacia hidrográfica. Desse modo, onde a infiltração é mais dificultada, há maior escoamento superficial, gerando possibilidades maiores para esculturação de canais permanentes e consequente densidade de drenagem mais elevada, sendo que, em uma situação oposta, ou seja, de menor escoamento superficial, a percolação é acentuada.

Para a análise do uso consultivo de água, para as culturas de soja e milho, foi utilizado como referência o trabalho de Matos *et al.* (2007), o qual apresenta as bacias hidrográficas

em condições de risco de deficiência hídrica. Tais bacias foram identificadas no SIG de hidrografia, fornecido por SIEG (2011), e intersectadas com o mapa de quociente de localização, identificando-se assim os municípios especializados em soja e milho pertencentes às regiões de risco.

Além disso, foram utilizadas as informações sobre a localização dos sistemas de irrigação via pivô central (SIEG, 2006), a qual foi submetida a análises estatísticas de correlação, permitindo inferir o uso desses sistemas pelas culturas de soja e milho.

2.5 Álgebra de Mapas

No cálculo do risco de impactos hidrológicos, foi utilizada a álgebra de mapas, conforme metodologia descrita por Barbosa (1997). Para a geração dos mapas de risco de impactos hidrológicos, foram considerados os temas Quociente de Localização (QL) como indicador da intensidade de uso do solo; Efeito Rendimento de pastagens (ER) como indicador da intensidade de cobertura vegetal; mapa de Vulnerabilidade dos solos à Erosão (VE) como indicador de permeabilidade dos solos e declividade; e Densidade de drenagem (Dd) como indicador de hidrologia.

Os mapas de QL e ER foram gerados a partir dos resultados obtidos dos cálculos do Shift-Share e do próprio Quociente de Localização. Tais resultados foram espacializados (transformados em formato vetorial), sendo intersectados com o limite político dos municípios em Goiás. O mapa densidade de drenagem foi gerado a partir do mapa de drenagem para o Estado de Goiás e DF (SIEG, 2011), o qual foi submetido ao algoritmo Kernel, conforme metodologia adotada por Silverman (1986). O mapa de vulnerabilidade dos solos à erosão (IMAGEM e WWF-BRASIL, 2004) foi obtido diretamente no portal do SIEG (SIEG, 2011). Os mapas obtidos apresentavam valores com diferentes dimensões para cada tema; diante disso, estes valores foram normalizados entre 0 a 1, a fim de que representassem a mesma faixa de pesos no cálculo do risco. Após a normalização, os mapas foram transformados para o formato raster (imagem) e então submetidos à álgebra de mapas.

A Figura 2 representa, de forma esquemática, a operação de álgebra de mapas. No cálculo do risco de contaminação hídrica por percolação, considerou-se que: - quanto mais

intensa a atividade de ocupação por pastagens no município (uso antrópico), avaliada como Quociente de Localização (QL); - quanto maior o rendimento de pastagens (ER), o qual, por um lado, corresponde a uma maior intensidade de cobertura vegetal; - quanto menor vulnerabilidade à erosão (VE) e; - quanto menor densidade de drenagem (Dd), maior será o risco de infiltração da água e, portanto, maior o potencial de contaminação do lençol freático.

Já o cálculo do risco de contaminação hídrica por escoamento superficial e degradação dos solos considera que: quanto mais intensa a ocupação; menor o efeito rendimento de pastagens; maior a taxa de escoamento superficial e; maior a densidade de drenagem, maior o risco de escoamento superficial e degradação dos solos.

Para os cálculos referentes à soja e milho, foi elaborado apenas o mapa de risco de contaminação hídrica por escoamento e de degradação dos solos, uma vez que não foram encontradas na literatura evidências que suportassem a contaminação por percolação. Além disso, não foi considerado o efeito rendimento, uma vez que essas culturas apresentam elevada variabilidade relacionada a fatores climáticos e, portanto, não constitui um parâmetro estável para confecção do risco calculado.

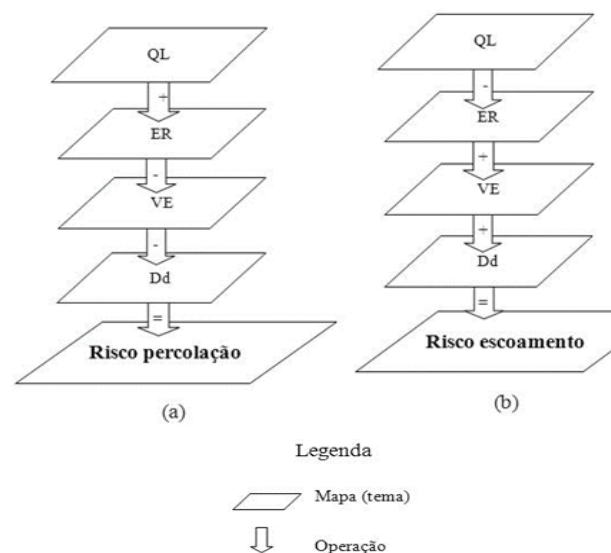


Fig. 2 - Álgebra de mapas para o cálculo do risco de contaminação hídrica por percolação (a) e risco de contaminação hídrica por escoamento superficial e degradação dos solos (b). Fonte: elaboração dos autores.

Importante salientar que, conforme Narciso e Gomes (2005) e IMAGEM e WWF-Brasil (2004), quanto maior a cobertura vegetal, maior a taxa de infiltração do solo, logo, o rendimento de pastagens constitui um indicador relativo de cobertura vegetal do solo. Apesar de o maior rendimento de pastagens representar seu uso mais intenso, com possibilidade de degradação, partiu-se da constatação empírica de que pastagens que aumentaram seu rendimento ao longo do período apresentam melhor manejo e, portanto, maior produção de massa vegetal (e cobertura do solo ao longo do ano).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na análise dos impactos da dinâmica de uso do solo pelas atividades agropecuárias no Estado de Goiás, os resultados são apresentados em três etapas. Primeiramente, faz-se uma abordagem global na qual o Estado é analisado pelo modelo Shift-Share, a partir da decomposição da variação da área cultivada em efeitos escala e substituição.

A seguir, esses resultados são discriminados em nível municipal, evidenciando os municípios com maior especialização na bovinocultura e em soja e milho, bem como os efeitos dessa especialização na composição agropecuária dos municípios e, conseqüentemente, nos remanescentes de Cerrado. Por fim, é apresentada a análise de risco de impactos hidrológicos, sendo utilizado, para tanto, um Sistema de Informações Geográficas (SIG), contendo as classes de risco, o que permite discutir os efeitos da especialização nos recursos hídricos.

3.1 Expansão Agropecuária no Estado de Goiás

Em 2012, o Estado de Goiás apresentou, em sua composição de uso do solo, o predomínio

de pastagens e culturas temporárias. Conforme apresentado na Tabela 1, observa-se que, com 0,1% de participação na área agropecuária, as culturas permanentes são pouco significativas, motivo pelo qual se optou por excluí-las das análises deste trabalho.

A pastagem é a categoria de uso e ocupação do solo predominante no Estado de Goiás, ocupando aproximadamente 75% dos solos em uso agropecuário. Segundo os estudos de Ferreira *et al.* (2007) e dados mais recentes do projeto TerraClass Cerrado (BRASIL.MMA, 2015), restam ainda 35% do território goiano coberto por remanescentes do bioma Cerrado. Esse dado permite inferir que a pastagem ocuparia aproximadamente 50% da superfície territorial goiana (75% dos 65% em uso), o que demonstra que Goiás está acentuadamente acima da média de uso e ocupação do solo por pastagens no mundo (30%), conforme indicam os dados de Steinfeld *et al.* (2006).

Na distribuição das culturas temporárias dentro do Estado, as culturas de soja e milho ocupam juntas aproximadamente 74% do uso do solo para esta categoria, e 18,5% do total, constituindo dessa forma, juntamente às pastagens, 93,4% das fontes de substituição entre cultivos no período analisado.

Para selecionar as culturas componentes do modelo de mudança no uso do solo, utilizaram-se métodos agronômicos e pesquisa bibliográfica (CASTRO, 2015; LAZIA, 2015; GLOBO RURAL, 2015; EMATER, 2015; ROBERTO, 2015; RODRIGUES, 2015; e LANDAL, 2010), com o objetivo de excluir as culturas de 2ª safra (safrinha) e 3ª safra (irrigadas), culturas estas plantadas em sucessão e não em rotação, e que, portanto, não representam substituição

Tabela 1: distribuição relativa do uso do solo para agropecuária no Estado de Goiás em 2012

	Culturas temporárias (Ct)				Pastagem	Culturas permanentes	Total
	Soja	Milho	Cana	Outras			
Área (ha)	2.669.894	1.221.160	732.870	620.399	15.746.982	37.947	21.029.252
% Ct	51	23,3	13,8	11,9			
% Ct	88			12			
% total	12,7	5,8	3,48	2,95	74,8	0,1	100

Fonte dos dados: PAM IBGE (2012).

de cultivos. Ao longo do período 2001-2011, observa-se, conforme apresentado na Tabela 2, uma diminuição de 741.380 ha na área cultivada no Estado pelo conjunto das culturas analisadas.

Tabela 2: variação da área ocupada (ea) em efeitos escala (ee) e substituição (es) no Estado de Goiás, entre 2001 e 2011

Cult	EA	EE	ES
Soja	935.749	-1.679.721	998.052
Cana	512.634	-157.900	518.490
Feijão	27.273	-44.412	28.920
Amend.	248	-323	260
Abacaxi	16	-91	106
Sub-tot	1.475.919	-1.882.445	1.545.828
Mand.	-2.935	-23.065	-2.080
Algod.	-18.876	-103.036	-15.055
Arroz	-53.361	-127.119	-48.646
Milho	-130.017	-582.223	-108.422
Pasto	-2.012.110	-17.267.769	-1.371.627
sub-tot.	-2.217.299	-18.103.212	-1.545.828
TOTAL	-741.380	-19.985.658	0

Fonte: resultados da pesquisa.

Essa retração pode ser explicada pelo efeito da variação das categorias que não foram compreendidas na análise, tais como: matas e florestas, parques, lagos, áreas urbanas e culturas permanentes. Tais categorias foram excluídas por não serem significativas, como no caso de culturas permanentes, ou por não haver dados disponíveis que permitam quantificá-las com precisão similar às demais.

As culturas que apresentaram maior expansão de área cultivada no Estado, entre 2001 e 2011, foram soja (935.749 ha), cana-de-açúcar (512.634 ha) e feijão (27.273 ha), tendo ocupado juntas 67% da área cedida pelas culturas em retração. Analogamente, a cultura que apresentou maior retração foi a de pastagens (2.012.110 ha), equivalente a 90% da área agropecuária substituída no período.

3.2 Análise da especialização dos municípios em bovinocultura

O resultado do Quociente de Localização identificou, em 2011, 177 municípios goianos com concentração da área em pastagens acima da média estadual (74,8%). Estes municípios foram agrupados e os resultados dos seus modelos

Shift-Share foram submetidos, juntamente aos respectivos Quocientes de Localização, à análise de correlação de Spearman, uma vez constatado que a distribuição dos dados não lhe conferia normalidade (Tabela 3).

Os resultados mostram que o Quociente de Localização foi significativamente correlacionado ao efeito área para a cultura da soja e cana-de-açúcar. O sinal negativo indica que, quanto maior a concentração de pastagens, menor a de cana e soja. Este resultado sugere que as regiões em que as pastagens mais se concentram são desfavoráveis à produção econômica de soja e cana. Segundo Abdala e Ribeiro Lee (2011) e Abdala e Castro (2010), as culturas de cana e soja tendem a pressionar as pastagens, deslocando-as para regiões marginais.

Tabela 3: coeficientes de correlação de Spearman entre as variáveis utilizadas no modelo shift-share

	QL	EAM	SALDO
QL	1	0,172*	0,122
EAOC	-0,116	0,470**	0,161*
EAC	-0,384**	-0,181*	0,095
EAS	-0,494**	-0,035	-0,09
EAM	0,172*	1	0,216**
EAP	0,208**	0,216*	0,976**

Fonte: resultados da pesquisa.

**Correlação significativa ao nível de 0.01(2-caudas).

* Correlação significativa ao nível de 0.05(2-caudas).QL = concentração de pastagens em relação à média do Estado; SALDO = saldo de área agropecuária final; EA = área final - área inicial; OC = outras culturas temporárias; P = pastagens; C = cana; S = soja; M = milho

O efeito área para milho e outras culturas, positivamente correlacionados entre si e com o saldo de área agropecuária, sugerem uma diversificação produtiva nestas áreas. Já o efeito área-milho, negativamente correlacionado ao efeito área-cana, sugere que o milho possa estar substituindo a cana como fonte de energia para o gado.

É possível observar, ainda na tabela 3, que a variação da área de pastagens (EAP) está positivamente correlacionada ao saldo de área total agropecuária. Chama a atenção o elevado

valor (0,976) deste coeficiente, indicando ser esta categoria a maior responsável pelo desflorestamento nas regiões de especialização da bovinocultura.

3.3 Análise da especialização dos municípios em soja e milho

O resultado do Quociente de Localização identificou, em 2011, 42 municípios com concentração da área de soja acima da média estadual (12,7%). Estes municípios foram agrupados e os resultados dos seus modelos Shift-Share foram submetidos à análise de correlação de Spearman, após conferida a inexistência de distribuição normal para os dados apresentados (Tabela 4).

Os resultados indicam que o Efeito Área para soja (EA-S) foi significativamente correlacionado ao Efeito Área para outras culturas (EA-OC). O sinal positivo indica que a soja não está competindo com essa categoria. De fato, a correlação significativa e com valor negativo, entre o EA-S e o Efeito Área para pastagem (EA-P), indica ser esta a categoria preferencialmente substituída pela soja.

Tabela 4: coeficientes de correlação de Spearman entre as variáveis utilizadas no modelo shift-share

Variáveis	EA-S	SALDO
EA-OC	0,214*	0,158
SALDO	0,300*	1,00
EA-C	-0,195	0,348*
EA-S	1,00	0,300*
QL-S	0,276	0,259
EA-P	-0,526**	0,387*

Fonte: resultados da pesquisa

** Correlação significativa ao nível de 0.01 (2-caudas).

* Correlação significativa ao nível de 0.05(2-caudas).

QL = concentração de soja ou milho em relação à média do Estado; SALDO = saldo de área agropecuária final; EA = área final - área inicial; OC = outras culturas temporárias; P = pastagens; C = cana; S = soja; M = milho.

O EA-S, EA-C e EA-P, positivamente correlacionados ao saldo agropecuário, indicam que nos municípios com maior concentração em soja, estas culturas têm sido as maiores responsáveis pelo desflorestamento na região; entretanto, a correlação negativa entre EA-S e EA-P sugere uma mudança de uso de solo em um ciclo de sucessão pastagem, soja e cana, apoiando as análises de Abdala e Lee (2011) e Abdala e Castro (2010). Além disso, as correlações entre os EA-S, EA-P e Saldo agropecuário confirmam as evidências da literatura (FBOMS, 2004), isto é, a expansão da soja substitui áreas de pastagem, deslocando esta por sua vez para outras regiões nas quais se torna responsável pelos desflorestamentos.

3.4 Análises do Sistema de Informações Geográficas

A terceira etapa deste trabalho consistiu na elaboração dos mapas saldo de área agropecuária, riscos hidrológicos e de degradação dos solos e relação entre disponibilidade e demanda hídrica.

3.4.1 Saldo de área agropecuária

O mapa de saldo de área agropecuária é fruto do resultado do modelo Shift-Share, onde o resultado indica expansão ou retração da área agropecuária ao longo do período analisado. A Figura 3 apresenta o resultado do saldo agropecuário ao longo do período. Os municípios que apresentaram maior redução de área agropecuária foram: Niquelândia (-153.877 ha); Crixás (-88.544 ha); Nova Crixás (-73.176 ha) e São João D'Aliança (-49.830 ha), municípios localizados ao Norte de Goiás, em regiões de menor dinamismo econômico.

Os municípios que apresentaram maior expansão de área agropecuária foram Cristalina (117.939 ha), São João da Paraúna (116.427 ha), Rio Verde (49.412 ha) e Montividiu (43.319 ha). Regiões caracterizadas pelo elevado padrão de aptidão agrícola e dinamismo econômico. Estes resultados parciais carecem de maior investigação ao correlacionarem positivamente dinamismo econômico com desflorestamento, sugerindo que o custo de oportunidade das matas e florestas estaria sendo superado pelas culturas de maior valor comercial.

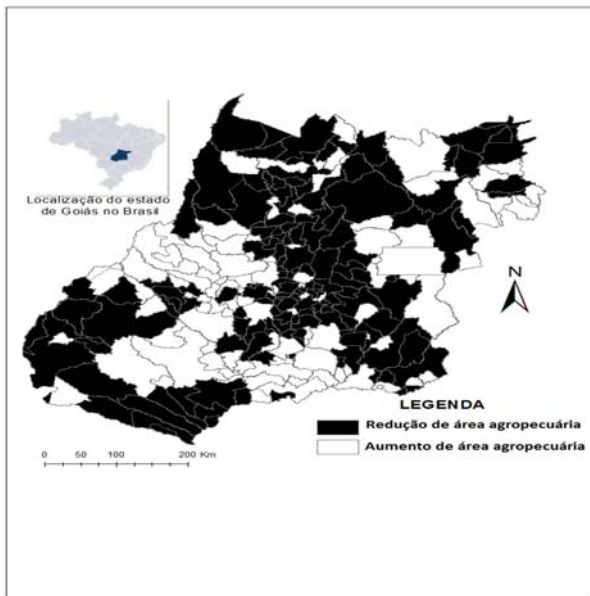


Fig. 3 - Mapa indicador de variação de área agropecuária para os municípios do Estado de Goiás e DF. Fonte: elaboração dos autores.

3.4.2 Risco de contaminação por percolação promovido pela bovinocultura

O risco de contaminação por percolação é apresentado na Figura 4.

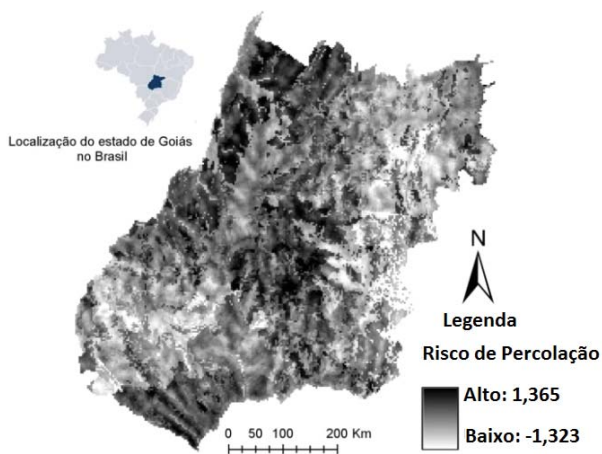


Fig. 4 - Mapa de risco de contaminação hídrica por percolação de poluentes da bovinocultura no Estado de Goiás e DF. Fonte: elaboração dos autores.

Observa-se que as áreas que apresentaram maior risco de contaminação das águas subterrâneas estão localizadas nas regiões Centro-Oeste, Noroeste e Sudoeste do Estado. Tais regiões são caracterizadas por apresentarem solos mais planos, menor densidade de drenagem,

pastagens com maior rendimento e concentração da bovinocultura acima da média do Estado. Tais condições conferem a essas regiões elevado risco de acúmulo de contaminantes na superfície, com potencial de percolação para águas subterrâneas.

Correll (1999) e Zhang *et al.* (2001) alertam para o risco de percolação de nitrato em campos em que altas doses de esterco são aplicadas, ou dos pontos de confinamento, com a transferência de patógenos e ameaças particulares, como os antibióticos, para a qualidade da água potável, com a possível contaminação do lençol freático e rios.

3.4.3 Riscos de contaminação hídrica por escoamento superficial e de degradação dos solos pela bovinocultura

A Figura 5 apresenta o mapa de riscos de contaminação hídrica por escoamento superficial e de degradação dos solos.

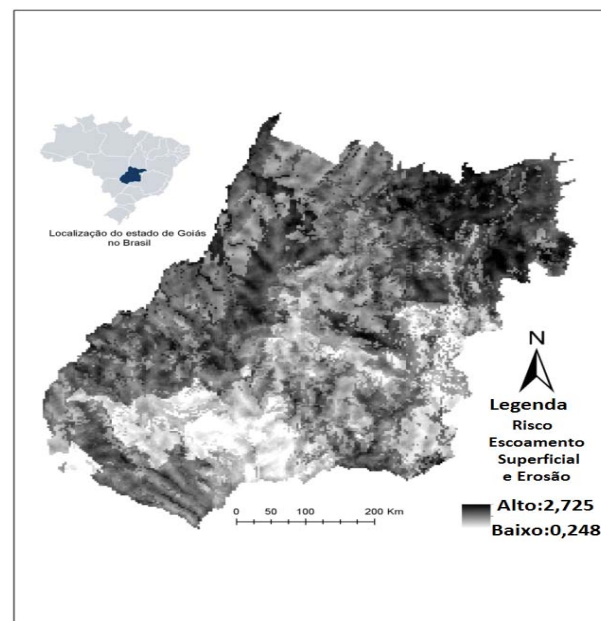


Fig. 5 - Mapa de riscos de contaminação hídrica por escoamento superficial e de degradação dos solos provenientes da bovinocultura no Estado de Goiás e DF. Fonte: elaboração dos autores.

De maneira geral, as regiões que evidenciaram os maiores riscos analisados situam-se ao longo dos limites norte e oeste do Estado. Estas regiões são caracterizadas por apresentarem solos mais declivosos, elevada rede de drenagem, baixo rendimento de pastagens e elevada concentração de bovinocultura.

O baixo rendimento de pastagens é característica do seu processo de degradação, sendo especialmente importante em climas onde ocorrem estações secas, pois nestes locais a produção de biomassa é irregular, resultando em uma série de problemas ambientais, incluindo a erosão do solo, degradação da vegetação, liberação de carbono a partir da decomposição de matéria orgânica, perda de biodiversidade devido às mudanças do habitat e prejuízos diversos ao ciclo da água. Nesse sentido, o setor pecuário é responsável por cerca de 55% da erosão e 33% da descarga de Nitrogênio e Fósforo em cursos de água doce (STEINFELD *et al.*, 2006).

A Tabela 5 apresenta ainda o resultado da análise de correlação entre os resultados dos mapas de riscos e os temas utilizados para seus cálculos. Observa-se que as áreas de maior concentração da bovinocultura (QL) estão mais correlacionadas às regiões de risco de contaminação por percolação (RP) do que as regiões sujeitas aos riscos de degradação dos solos e contaminação hídrica por escoamento superficial (REE).

O índice de concentração da bovinocultura (QL) foi inversamente correlacionado ao rendimento das pastagens (R); tal situação alerta para as áreas de maior risco de degradação dos solos e contaminação por escoamento superficial, uma vez que o baixo rendimento de pastagens é fator de agravamento para esta categoria de risco.

Tabela 5: correlação espacial entre os mapas de risco e as variáveis utilizadas em seu cálculo

TEMA	QL	RP	REE
QL	1,0000	0,6463	0,3737
RP	0,6463	1,0000	-0,4601
REE	0,3737	-0,4601	1,0000
R	-0,8798	0,4035	-0,5177
V	-0,2944	-0,7217	0,53386
Dd	-0,7862	-0,4920	-0,3257

Fonte: resultados da pesquisa.

O tema vulnerabilidade dos solos (V) foi o que conferiu maior explicação ao risco de contaminação por percolação, com um R^2 de 49%. Como este tema é um indicador de escoamento, era esperado o sinal negativo na correlação, indicando que áreas mais planas estariam mais sujeitas à contaminação por

percolação. Já o risco de contaminação por escoamento superficial e degradação dos solos teve no rendimento das pastagens (R) e na vulnerabilidade dos solos (V) os dois fatores que mais explicaram os resultados, com R^2 de 25% para cada tema, corroborando com Manso e Ferreira (2007), Dias Filho e Ferreira (2008) e Steinfeld *et al.* (2006), que relatam serem estes dois temas os maiores responsáveis pelos processos analisados.

3.4.4 Riscos de contaminação hídrica por escoamento superficial e de degradação dos solos

A Figura 6 apresenta o mapa de riscos de contaminação hídrica por escoamento superficial e de degradação dos solos.

As regiões que evidenciaram os maiores riscos de contaminação situam-se nas regiões Sudoeste, Sudeste e Centro-Leste do Estado de Goiás.

É importante salientar que, os municípios de Mineiros, Jataí, Chapadão do Céu, Portelândia e Perolândia, citados por Gomes *et al.*, (2006) como a região de afloramento do aquífero Guarani, estão localizados na porção sudoeste, portanto, em regiões de médio a alto risco de contaminação hídrica por escoamento superficial.

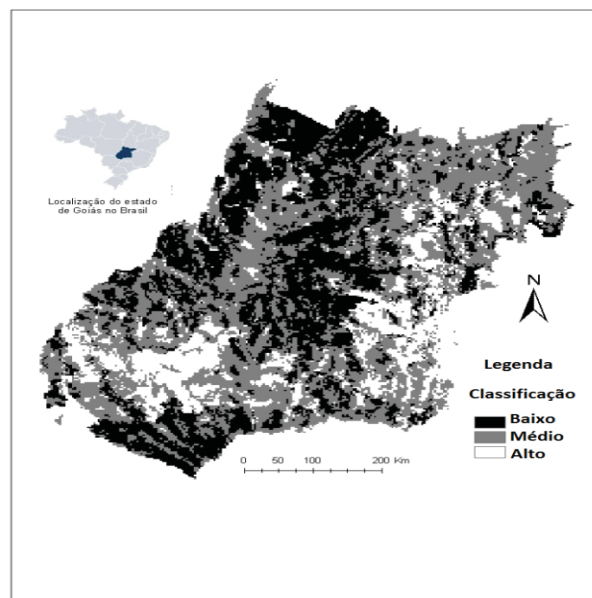


Fig. 6 - Mapa de risco de contaminação hídrica por escoamento superficial de poluentes e degradação dos solos pelas culturas de soja e milho no Estado de Goiás e DF. Fonte: elaboração dos autores.

Finalmente, a análise dos resultados de comparação entre as bacias hidrográficas com situação crítica, em termos de disponibilidade hídrica, e os municípios especializados nas culturas de soja e milho, é apresentada na Figura 7.

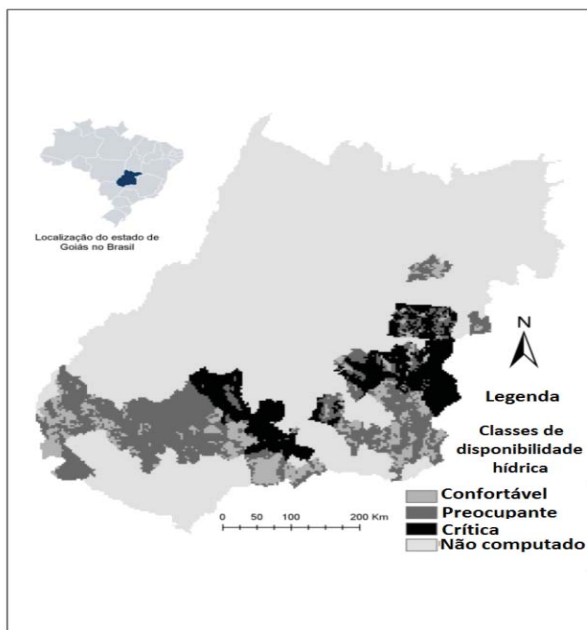


Fig. 7 - Mapa de localização dos municípios especializados em soja e milho segundo as classes de disponibilidade hídrica das bacias hidrográficas no Estado de Goiás e DF. Fonte: elaboração dos autores

Tal análise revelou que, dos 42 municípios, 15 pertencem às bacias consideradas como tendo relação hídrica preocupante, com destaque para os municípios de Cristalina e Luziânia, incluindo o DF, com elevado índice de desmatamento.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A atividade de bovinocultura é a mais expressiva em termos de uso e ocupação do solo no Estado de Goiás, ocupando cerca de 75% da área rural, juntamente com as culturas de soja e milho, ambas ocupando, aproximadamente 19%, somando 94% do uso agropecuário, e, portanto, sendo as principais atividades agropecuárias de Goiás.

Mesmo amplamente distribuída ao longo do território Goiano, foi possível a identificação de 177 municípios especializados na atividade de bovinocultura. Para esses municípios, a principal categoria que as pastagens substituem é a de remanescentes de Cerrado, seguidas das de soja e cana-de-açúcar, indicando que as áreas aptas para bovinocultura apresentam menor

aptidão para essas outras categorias. Importante salientar que esta análise é suportada apenas por resultados estatísticos.

Foi possível ainda a identificação de 42 municípios especializados em soja e milho, concentrados na região Centro-Sul do Estado, alguns deles com elevado grau de desflorestamento. Entretanto, a expansão dessas culturas substituiu preferencialmente as áreas de pastagem, não sendo, portanto, diretamente responsável pelo processo de desflorestamento observado. Apesar disso, ao substituírem o cultivo de pastagens, as culturas de soja e milho deslocam esse para novas áreas, nas quais ele se torna o maior responsável pelo desflorestamento.

As áreas que apresentaram maior risco de contaminação das águas subterrâneas pela bovinocultura foram identificadas como pertencentes às regiões Centro-Oeste, Noroeste e Sudoeste do Estado. Tais áreas são caracterizadas por apresentarem solos mais planos, menor densidade de drenagem, pastagens com maior rendimento e concentração da bovinocultura acima da média do Estado. Essas condições conferem a estas regiões risco elevado de acúmulo de contaminantes na superfície, com potencial de percolação para águas subterrâneas.

Já as regiões que evidenciaram os maiores riscos de degradação dos solos e contaminação hídrica por escoamento superficial situam-se no perímetro Norte e Oeste do Estado. Estas regiões são caracterizadas por apresentarem solos mais declivosos, elevada rede de drenagem, baixo rendimento de pastagens e elevada concentração de bovinocultura.

As áreas que apresentaram maiores riscos hidrológicos devido às culturas de soja e milho foram identificadas como pertencentes às regiões Centro-Leste, Sudeste e Sudoeste de Goiás. Tais áreas são caracterizadas por apresentarem solos mais declivosos, elevada rede de drenagem e concentração da produção de soja e milho acima da média estadual, gerando maiores riscos de degradação dos solos e contaminação hídrica por escoamento superficial.

De modo geral, os municípios com maior especialização em bovinocultura estão mais associados a áreas de risco de contaminação por percolação do que por escoamento superficial; entretanto, o resultado da correlação entre os mapas indicou que quanto mais elevada

a especialização dos municípios, menor o rendimento das pastagens nesses, logo, atenção especial deve ser dada às áreas de risco de degradação dos solos e contaminação por escoamento, pois a característica de baixo rendimento potencializa acentuadamente esses riscos.

A região de afloramento do aquífero Guarani, localizada na porção Sudoeste de Goiás, apresentou médio a alto risco de contaminação hídrica por escoamento superficial, promovido pelas culturas de soja e milho, justificando atenção especial das autoridades ambientais.

Dos 42 municípios especializados em soja e milho, 15 pertencem às bacias consideradas com relação hidrológica de deficiência hídrica crítica, com destaque para os municípios localizados na região Centro-Sul do Estado e para o DF; ou seja, combinam as características de região de elevado risco de erosão com disponibilidade hídrica preocupante. Além disso, a maioria dos municípios que irrigam preferencialmente as culturas de soja e/ou milho localiza-se nessa região.

Os resultados apresentados constituem subsídios para formulação de políticas agrícolas e ambientais, conforme proposto por Cunha (2005), o qual sugere que as informações levantadas pelos sistemas de informação geográfica (SIG) sejam combinadas em um índice de “risco ambiental da agricultura” (IRAA). Tal índice seria utilizado para a elaboração de mapas que forneceriam preciosos subsídios aos Relatórios de Impacto ao Meio Ambiente (RIMA) para orientarem os projetos públicos e privados.

A associação das metodologias de SIG, Análise Diferencial-Estrutural, Medidas de Especialização e Análise de Correlações mostrou ser mais esclarecedora do que qualquer uma delas utilizadas isoladamente para abordar a questão proposta neste trabalho.

O conjunto de métodos apresentados, permitindo um escopo analítico e inferências mais amplas, foi mais satisfatório que os métodos aplicados isoladamente, observando-se uma complementaridade analítica e reforçando a importância da interdisciplinaridade na abordagem de questões socioeconômicas e ambientais.

Acredita-se que, com a atualização dos mapas de uso e ocupação dos solos nos modelos

aqui apresentados, seja possível aprimorar os resultados e localizar com mais precisão os impactos.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG), pelo apoio a esta pesquisa (Universal, processo n°. 201210267000966, chamada pública 05/2012). MEF é bolsista de produtividade pelo CNPq.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDALA, K. O. **Dinâmica de competição agropecuária pelo uso do solo no Estado de Goiás e implicações para a sustentabilidade dos recursos hídricos e remanescentes florestais**. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Goiás, Programa Multidisciplinar de Doutorado em Ciências Ambientais (CIAMB), 2012. 202p.

ABDALA, K. O. & CASTRO, S. S. Dinâmica de uso do solo da expansão sucroalcooleira na microrregião Meia Ponte, Estado de Goiás, Brasil. Rio de Janeiro RBC - **Revista Brasileira de Cartografia** n° 62 (4), dezembro 2010. p. 661-674

ABDALA, K. O. & RIBEIRO LEE, F. Análise dos Impactos da Competição pelo Uso do Solo no Estado de Goiás Durante o Período 2000 a 2009 Provenientes da Expansão do Complexo Sucroalcooleiro. **Revista Brasileira de Economia** (Impresso), v. 65, p. 373-400, 2011

ABDALA, K. O.; RIBEIRO LEE, F. & FIGUEIREDO. Expansion of sugar-alcohol sector and food production: an analysis of the stock. In: **VII International PENSA Conference. Economic crisis: food, fiber and bioenergy chains**. São Paulo, november 26-28, 2010. n.i.

ABIEC - Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes. **Mapa das Plantas Frigoríficas**. Disponível em <http://www.abiec.com.br/2_mapa.asp>. Acesso em: 17 nov 2011.

ALLER, L.; BENNETT, T.; LEHR, J. H.; PETTY, R. J. & HACKETT G., 1987, **DRASTIC: A standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings**: NWWA/EPA Series, EPA-600/2-87-035. 641p.

- BARBOSA, C. C. F. *Álgebra de mapas e suas aplicações em sensoriamento remoto e geoprocessamento*. São José dos Campos, SP, 1997. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Sensoriamento Remoto). INPE. 126p.
- BRASIL. MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE. **Mapeamento do uso e Cobertura do Cerrado: Projeto TerraClass Cerrado 2013**. Brasília: MMA, 2015.
- CARVALHO, T. M. de; FERREIRA, M. E. & BAYER, M. Análise integrada do uso da terra e geomorfologia do bioma cerrado: um estudo de caso para Goiás. In: **Revista Brasileira de Geografia Física**. Recife-PE. V.01 n.01, mai/ago, 2008. p.62-72.
- CASTRO, J. D. B. **Produção e Oferta de Alho em Goiás**. Goiás: SEPLAN. Disponível em <<http://www.seplan.go.gov.br/sepin/pub/conj/conj4/09.htm>>. Acesso: 19 maio 2015. n.i
- CRHISTOFOLETTI, A. A morfologia de bacias de drenagem. **Notícias Geomorfológicas**, Campinas, v.18, n.36, p.130-2, 1978
- CONSERVAÇÃO INTERNACIONAL. **Hotspot Revisados**. 2005. Disponível em <<http://www.conservation.org.br/publicacoes/files/HotspotsRevisitados.pdf>>. Acesso: 02 dezembro 2011.
- CORRELL, D. L. Phosphorus: a rate limiting nutrient in surface waters. **Poultry Science**, 1999, 78(5): 675–682pp.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. DE; HERNANDEZ, P.; FLORENZANO, T.G.; DUARTE, V. & BARBOSA, C. C. F. 2001. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento territorial**. São José dos Campos. SAE/INPE. (INPE-8454-RPQ/722). 124p.
- CUNHA, A. S. **Oportunidades para a coordenação de políticas agrícolas e ambientais no Brasil**. CEPAL - Serie Medio ambiente y desarrollo. Santiago Chile: Nações Unidas, outubro del 2005. 77p.
- CUNHA, G. **Plantio direto**. 39.ed. São Paulo: IEA, 1997. 28p.
- DEDECEK, R. A.; RESK, D. V. S. & FREITAS, J. E. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em Latossolo Vermelho-Escuro dos cerrados em diferentes cultivos sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.10, p.265-272, 2006
- DIAS FILHO, M. B. & FERREIRA, J. N. Influência do pastejo na biodiversidade do ecossistema da pastagem. In: Pereira, O. G.; Obeid, J. A.; Fonseca, D. M. da; Nascimento Júnior, D. do. (Ed.). **Simpósio sobre manejo estratégico da pastagem**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2008, p. 47-74.
- EMATER. **Uruana e região comemoram a boa produtividade da melancia nesta safra**. Disponível em <<http://www.emater.go.gov.br/w/4864>>. Acesso: 19 maio 2015. n.i.
- EMBRAPA – CNPSO. **Soja em números (safra2010/2011)**. Disponível em: <http://www.cnpso.embrapa.br/index.php?op_page=294&cod_pai=17> Acesso 02 dezembro 2011.
- FBOMS - Fórum Brasileiro de ONGs e Movimentos Sociais para Meio Ambiente e Desenvolvimento. **Relação entre cultivo de soja e desmatamento**. Brasília: FUNDAÇÃO ESQUEL, 2004. 12p.
- GLOBO RURAL. **Lavouras de alho, batata e cebola, em Cristalina (GO)**. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=ST_eQYpUW9U> Acesso: 19 maio 2015. n.i.
- GOMES, M.A. F.; FILIZOLA, H.F.; SPADOTTO, C. A.; PEREIRA A. S. **Caracterização das áreas de afloramento do Aquífero Guarani no Brasil: base para uma proposta de gestão sustentável**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 20p.
- IBGE. **Censo Agropecuário 2006**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/ca/default.asp?z=p&o=2>>. Acesso: 11 dezembro 2012. .n.i.
- IBGE - **Produção Agrícola Municipal** - Disponível em <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?c=1612&z=t&o=3>>. Acesso: 20 junho 2014. n.i.
- IBGE (2010). **Produção pecuária municipal**. Disponível em <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo1.asp?ti=1&t->

- f=99999&e=c&t=1&p=PP&v=105&z=t&o=3>. Acesso: 20 outubro 2014. n.i.
- IMAGEM- WWF BRASIL. **Mapa de vulnerabilidade ambiental do Estado de Goiás, Brasil**. S. J. Campos: Soluções de Inteligência Geográficas, 2004. 8p.
- IMB - Instituto Mauro Borges de Estatísticas e Estudos Socioeconômicos - **Pesquisas Anuais - PPM - Pesquisa da Pecuária Municipal – 2012**. Disponível em <<http://www.imb.go.gov.br/>>. Acesso: 03 novembro 2014. n.i.
- LANDAU, E.C. & GUIMARÃES, D. P. **Zoneamento de riscos climáticos para a cultura de sorgo granífero no Estado de Goiás**. EMBRAPA: EMS. 2010. Disponível em <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo_6_ed/go.htm> Acesso: 22 fevereiro 2016n.i.
- LAZIA, B. **Clima e época ideais para plantar tomate industrial**. CPT: Portal Agropecuário tomate. Disponível em <<http://www.portalagropecuario.com.br/agricultura/producao-de-tomate-para-a-industria-clima-e-epoca-de-plantio/>>. Acesso: 19 maio 2015. n.i.
- LOPES, A. S. **Desenvolvimento regional: problemática, teoria, modelos**. Fundação Calouste Gulbenkian: Lisboa, 2001. (pp. 159-171 e 245-255)
- MANSO, K. & FERREIRA, O. **Confinamento de bovinos: estudo do gerenciamento dos resíduos**. Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2007. Disponível em <<http://www.cnpgec.embrapa.br/publicacoes/doc/doc64/>>. Acesso: 24 setembro 2011. 19p.
- MATOS, B. A.; TEIXEIRA, A. L. F.; BURNETT, J. A. ; ZOBY, J.L.G ; FREITAS, M.A.S. . Disponibilidade e demandas de recursos hídricos nas 12 regiões hidrográficas do Brasil. In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2007, São Paulo. **Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 2007. 20p.
- MINDRISZ, A. C. **Avaliação da contaminação da água subterrânea de Poços Tubulares, por combustíveis fósseis, no Município de Santo André, São Paulo: uma contribuição à gestão ambiental**. 2006. 231 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Autarquia associada à Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- MOREIRA, C. G. **Fontes de crescimento das principais culturas do Rio Grande do Norte, 1981- 1992**. 1996. 109 f. Dissertação (Mestrado) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996. 109p.
- MUELLER, C. **A sustentabilidade da expansão agrícola nos cerrados**. Instituto Sociedade, População e Natureza – Documento de Trabalho n. 36. p.1-21, 1995
- NARCISO, M.G., GOMES, L.P. Análise espacial da área de influência do aquífero da Serra das Areias- carta de vulnerabilidades à poluição. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 3851-3861
- NOGUEIRA, M. P. **Os avanços da pecuária de corte**. Casa Branca SP:BIGMA, 2010. Disponível em <<http://www.cnpc.org.br/news1.php?ID=2587>>. Acesso: 07 dezembro 2011. n.i.
- NOVAES, W. **Agenda 21 brasileira: bases para discussão**. Brasília: MMA-PNUD, 2000. 196p.
- ROBERTO, G. **Normativa apresenta soluções para cultivo de girassol em Goiás**. Goiás: FAEG. Disponível em <<http://sistemafaeg.com.br/noticias/10762-normativa-apresenta-solucoes-para-cultivo-de-girassol-em-goias>>. Acesso: 19 maio 2015.
- RODRIGUES K. **Irrigação garante produção elevada o ano todo em GO**. Goiás: O Hoje. Disponível em <<http://www.ohoje.com.br/economia/irrigacao-garante-producao-elevada-o-ano-todo-em-go/>> Acesso: 19 maio 2015.
- ROOK, A.J.; DUMONT, B.; ISSELSTEIN, J.; OSORO, K.; WALLISDEVRIES, M.F.; PARENTE, G.; MILLS, J. Matching type of livestock to desired biodiversity outcomes in pastures – a review. **Biological Conservation**, v.119, p.137–150, 2004.
- SÁ, J.C.M.; CERRI, C.C.; PICCOLO, M.C.; FEIGL, B.E.; BUCKNER, J.FORNARI, A.; SÁ, M.F.M.; SEGUY, L.; BOUZINAC, S.; VENZKE-FILHO, S.P.; PAULETI, V. & NETO, M.S. O plantio direto como base do sistema de produção visando o seqüestro de carbono. **Revista Plantio Direto**, 84:45-61, 2004.

- SANTOS, T. C. C. & CÂMARA, J. B. D. (orgs.) **Geo Brasil 2002 – Perspectivas do meio ambiente no Brasil**. Brasília: IBAMA: PNUMA: MMA, 2002
- SANTOS, J.P.V.A.. Novos ajustes para a equivalência de lotação (UA/ha) em sistemas de produção de leite a pasto em função do tamanho do animal. **Anais da XXXV Reunião da SBZ**, julho 1998 Disponível em < <http://www.milkpoint.com.br/radar-tecnico/sistemas-de-producao/novos-ajustes-para-a-equivalencia-de-lotacao-uaha-em-sistemas-de-producao-de-leite-a-pasto-em-funcao-do-tamanho-do-animal-16763n.aspx>> Acesso: 22 fevereiro 2016.
- SCHLESINGER, S. **Onde pastar? O gado bovino no Brasil**. – Rio de Janeiro: FASE, 2010. 112p.
- SCHLESINGER, S. **O Brasil está nu! O avanço da monocultura da soja, o grão que cresceu demais**. Rio de Janeiro: FASE, 2006.148p.
- SIEG. **Base cartográfica e mapas temáticos do Estado de Goiás**. Disponível em < <http://www.sieg.go.gov.br/>> Acesso: 08 setembro 2011.
- SILVERMAN, B.W. **Density Estimation for Statistics and Data Analysis**. New York: Chapman and Hall, 1986.176 p.
- STEINFELD, H.; GERBER, P.; WASSENAAR, T.; CASTEL, V.; ROSALES, M.; DE HAAN, C. **Livestock's long shadow**. Rome: (FAO) Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2006 390p.
- USDA - United States Department of Agriculture. **Livestock and Poltry: world markets and trade**. Disponível em <<http://apps.fas.usda.gov/psdonline/psdHome.aspx>>. Acesso: 18 junho 2012.
- WORLD WILDLIFE FUND - WWF. **Repercussões Ambientais da Expansão da Soja no Cerrado e seus Vínculos com a Liberalização do Comércio e a Política Macroeconômica Brasileira**. Brasília: WWF Brasil, 1999. Disponível em <www.race.nucai.ufrj.br/eco/trabalhos/mesa2/4.doc>. Acesso: 22 fevereiro 2016. 20p.
- ZEN, S. BARIONI, L. G.; BONATO, D. B.B.; ALMEIDA, M. H. S.; RITLL, T. F. **Pecuária de corte brasileira: impactos ambientais e emissões de gases efeito estufa (GEE)**. Piracicaba-SP. Esalq/Cepea, 2008. 6p.
- ZHANG, H.; DAO, THANH H.; WALLACE, H.A.; BASTA, N.T.; DAYTON, E.A.; DANIEL T.C.. Remediation techniques for manure nutrient loaded soils. In: RICE, J.M.; CALDWELL, D.F.; HUMENIK, F.J. eds. **Animal Agriculture and the Environment: White paper summaries**, National center for manure and animal waste management, 2001. pp.482-504
- ZOCKUN, M. H. G. P. **A expansão da soja no Brasil: Alguns aspectos da produção**. Dissertação (Mestrado), USP/FEA, 1978. 228p.