

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE DOUTORADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

KARLA ALCIONE DA SILVA CRUVINEL

**AVALIAÇÃO DA VARIABILIDADE DE QUALIDADE AMBIENTAL DE
BACIAS DE MANANCIAIS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO COM A
APLICAÇÃO DE UM ÍNDICE PARA O ESTADO DE GOIÁS**

GOIÂNIA

2016

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR AS TESES E DISSERTAÇÕES ELETRÔNICAS (TEDE) NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: ☐ Dissertação ☒ Tese

2. Identificação da Tese ou Dissertação

Autor (a):	Karla Alcione da Silva Cruvinel		
E-mail:	karlaalcionne.ufg@gmail.com		
Seu e-mail pode ser disponibilizado na página? ☒ Sim ☐ Não			
Vínculo empregatício do autor	Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil e Ambiental		
Agência de fomento:	Fundação de Amparo à Pesquisa de Goiás	Sigla:	FAPEG
País:	Brasil	UF:	GO
		CNPJ:	08.156.102/0001-02
Título:	Avaliação da variabilidade de qualidade ambiental de bacias de mananciais de abastecimento público com a aplicação de um índice para o Estado de Goiás		
Palavras-chave:	Indicador, Perda de Solo, IQA, Mananciais de Abastecimento, Bacia Hidrográfica		
Título em outra língua:	Evaluation of environmental quality of water supply watershed basins by application of variability measure index for the state of Goiás.		
Palavras-chave em outra língua:	indicator; losses of soil; IQA; water catchment; watershed basin		
Área de concentração:	Estrutura e Dinâmica Ambiental		
Data defesa: (dd/mm/aaaa)	31/03/2016		
Programa de Pós-Graduação:	Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais		
Orientador (a):	Dr. Klebber Teodomiro Martins		
E-mail:	Klebber.formiga@gmail.com		
Co-orientador (a):*	Dr. Paulo Sérgio Scalize		
E-mail:	pscalize.ufg@gmail.com		

*Necessita do CPF quando não constar no SisPG

3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento ☒ SIM ☐ NÃO¹

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF ou DOC da tese ou dissertação.

O sistema da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações garante aos autores, que os arquivos contendo eletronicamente as teses e ou dissertações, antes de sua disponibilização, receberão procedimentos de segurança, criptografia (para não permitir cópia e extração de conteúdo, permitindo apenas impressão fraca) usando o padrão do Acrobat.



Assinatura do (a) autor (a)

Data: 16 /05 /2016

¹ Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE DOUTORADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

**AVALIAÇÃO DA VARIABILIDADE DE QUALIDADE AMBIENTAL DE
BACIAS DE MANANCIAIS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO COM A
APLICAÇÃO DE UM ÍNDICE PARA O ESTADO DE GOIÁS**

Tese apresentada ao Programa de Doutorado em
Ciências Ambientais da Universidade Federal de
Goiás, como requisito à obtenção do título de
Doutora em Ciências Ambientais.

Área de concentração: Estrutura e Dinâmica
Ambiental

Orientador: **Professor Dr. Klebber Teodomiro
Martins Formiga**

Coorientador: **Professor Dr. Paulo Sérgio
Scalize**

GOIÂNIA

2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Cruvinel, Karla Alcione da Silva

Avaliação da Variabilidade de Qualidade Ambiental de Bacias de
Mananciais de Abastecimento Público com a Aplicação de um Índice
para o Estado de Goiás [manuscrito] / Karla Alcione da Silva
Cruvinel. - 2016.

x, 118 f.

Orientador: Prof. Dr. Klebber Teodomiro Martins Formiga; co
orientador Dr. Paulo Sérgio Scalize.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Goiás, , Programa
de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Goiânia, 2016.

Inclui mapas, fotografias.

1. Indicador . 2. Perda de Solo. 3. Mananciais de Abastecimento.
4. Bacia Hidrográfica. 5. IQA. I. Formiga, Klebber Teodomiro Martins,
orient. II. Título.

CDU 502/504

Este trabalho é dedicado

aos meus amados pais, Luzia e Divino, pelo apoio, amor e ensinamentos durante toda minha vida.

Ao meu filho Pedro, por deixar meus dias mais lindos.

Ao meu esposo Ilton Cruvinel pelo apoio, companheirismo e compreensão.

AGRADECIMENTOS

Agradecer a Deus, pois os Planos Dele para mim não foram frustrados e tudo acontece conforme a sua vontade.

Aos meus amados pais Divino e Luzia, exemplos de pais, que me ensinaram grandes valores humanos.

Ao meu amado filho Pedro, minha vida, a alegria dos meus dias.

Ao meu esposo Ilton, por sua dedicação e companheirismo.

Meus irmãos Kátia e Gustavo, aos meus sobrinhos Manu e Davi, ao meu cunhado Eliabe, obrigada pelo carinho de sempre.

À Universidade Federal de Goiás, à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação e à Coordenação do Doutorado em Ciências Ambientais.

Ao meu orientador professor Dr. Klebber Teodomiro Martins Formiga pela dedicação, pelo companheirismo e confiança. Um exemplo de profissional e ser humano.

Ao meu coorientador Professor Dr. Paulo Scalize pelo apoio, paciência, incentivo e sempre disponível ajuda.

Ao professor Dr. Nilson Clementino Ferreira, Professor Dr. Joel Vasco, Professor Saulo Bruno de Sousa, Professor Dr. Humberto Ruggieri por tão preciosas ajudas.

Aos colegas Aldrei Marucci Veiga, Luiza Virgínia, Germán Sanz, Bruna Ferreira, Welligton Nunes de Oliveira, nos quais encontrei respostas e ajudas.

À Universidade Federal de Goiás (UFG) por me autorizar licença para a realização desse trabalho, bem como à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) pela bolsa de estudos a mim concedida durante meu processo de graduação em doutorado.

À SANEAGO, Companhia de Saneamento do Estado de Goiás, pela disponibilização dos dados que muito auxiliaram a realização deste trabalho;

À todos aqueles, em especial familiares e amigos, que participaram deste processo, com palavras de estímulo, incentivo e carinho.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO.....	viii
ABSTRACT.....	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. O PROBLEMA DA PESQUISA.....	3
3. OBJETIVOS DA TESE.....	4
3.1 Objetivo Geral.....	4
3.2 Objetivos Específicos.....	4
4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	5
4.1 Uso e Ocupação do Solo na Qualidade Ambiental de Bacias Hidrográficas.....	5
4.2 Indicadores Ambientais.....	7
4.3 Erosão e Fatores Condicionantes.....	11
4.4 <i>Universal Soil Loss Equation</i> (USLE).....	12
4.5 Soil and Water Assessment Tool – SWAT.....	16
4.6 Ferramentas de Geotecnologia aplicadas ao planejamento de bacias hidrográficas.....	17
4.7 Planejamento ambiental de bacias hidrográficas.....	19
5 ESTRUTURA DA TESE.....	22
CAPÍTULO I:	24
Variabilidade espacial da perda de solos de bacias hidrográficas de mananciais de captação do estado de Goiás	
Introdução.....	26
Materiais e Métodos.....	30
Resultados e Discussão.....	33
Conclusão.....	39
Referências.....	40
CAPÍTULO II.....	43
Predição de perda de solo em bacias hidrográficas de mananciais de captação por diferentes ferramentas, aplicação e avaliação da similaridade	
Introdução.....	45
Materiais e Métodos.....	47
Resultados e Discussão.....	51
Conclusão.....	60
Referências.....	61
CAPÍTULO III.....	67
Aplicação de modelo hidrológico SWAT na simulação de cenários de perda de solo em bacias de abastecimento público	
Introdução.....	69
Materiais e Métodos.....	70
Resultados e Discussão.....	76
Conclusão.....	80
Referências.....	81

CAPÍTULO IV	85
Índice de qualidade ambiental de bacias hidrográficas de mananciais de abastecimento do estado de Goiás	
Introdução.....	87
Materiais e Métodos.....	88
Resultados e Discussão.....	93
Conclusão.....	100
Referências.....	101
 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES.....	105
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	107

RESUMO

A importância de conservação ambiental e o uso consciente de recursos naturais é algo cada vez mais discutido entre a sociedade civil e comunidade científica. Existe uma necessidade urgente do monitoramento da qualidade ambiental de áreas como bacias hidrográficas, o que requer planejamento e escolha de variáveis que auxiliem no entendimento da funcionalidade desses sistemas. Desta forma, os índices e indicadores apresentam-se como ferramentas eficazes, no sentido de tornar os dados técnicos mais facilmente visualizados. Assim, neste estudo foram utilizados indicadores socioeconômicos e ambientais, com o objetivo de estruturar um índice capaz de estimar o grau de qualidade ambiental de bacias hidrográficas. O Índice de Qualidade Ambiental de Bacias (IQAB) foi construído a partir das variáveis Perda de Solo (PS), Porcentagem de Vegetação Nativa (PVN), Índice de Qualidade da Água (IQA) e Índice de Desenvolvimento dos Municípios (IDM). Foi utilizado o Geoprocessamento na identificação do PVN e da perda de solo nas bacias, sendo que para este último empregou-se a Equação Universal de Perda de Solos (EUPS). Aplicou-se ainda o software *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) na predição de perda de solo de cinco das bacias estudadas, a fim de promover a comparação da aplicabilidade direta deste modelo frente ao método implementado EUPS. Estudou-se a mudança de cenários nestas mesmas cinco bacias, no SWAT, onde se buscou avaliar a influência da vegetação na produção de sedimentos para diferentes cenários de cobertura vegetal. Para a obtenção do IQA de cada bacia, utilizou-se a adaptação do método desenvolvido por Sousa (2014). Após a sua construção, o IQAB foi aplicado em 126 bacias de mananciais de abastecimento do estado de Goiás, o qual possibilitou a identificação do grau de qualidade ambiental de cada uma. Verificou-se que quase 85% das bacias estudadas estão classificadas em IQAB péssimo ou ruim, sendo que em quase todas estas o IQA do manancial também é ruim. Ao analisar o IQAB das bacias nas dez diferentes regiões de Planejamento do estado de Goiás, observou-se que a melhor média é na região Noroeste, a qual também possui melhores PVN do estado. Com relação a perda de solo, nota-se que maior parte das bacias (64%) estão enquadradas na susceptibilidade erosiva baixa e moderadas, mas com algumas em susceptibilidade erosiva muito alta a severa. Portanto, conclui-se que a metodologia utilizada neste trabalho mostrou ser uma eficiente estratégia de gestão para bacias hidrográficas podendo ser utilizada como instrumento de planejamento ambiental dessas áreas.

ABSTRACT

The need for environmental preservation and responsible use of natural resources is something increasingly discussed between civil society and the scientific community and the need to monitor the environmental quality of areas such as river basins requires planning and choice of variables that help in understanding functionality of these systems. In addition, the index and indicators are presented as efficient tools in order to make them more easily visualized technical data. In this study, socioeconomic and environmental indicators were used in order to structure an index able to estimate the degree of environmental quality of the watershed. The Environmental basins Quality Index (EQI) was built from the variables Soil Loss (SL), Native Vegetation Index (NVI), Water Quality Index (WQI) and Municipal Development Index (MDI). The GIS was used to identify the NVI and loss of soil in the basin, and for the latter employed Universal Soil Loss Equation (USLE). It was applied still Soil and Water Assessment Tool software (SWAT) in soil loss prediction five basins studied in order to promote the direct comparison of the model front applicability of the method implemented USLE. We studied different scenarios in these same five basins in SWAT, which we sought to evaluate the influence of vegetation in sediment yield for different land cover scenarios. To obtain the WQI of each basin, we used the adaptation of the method developed by Sousa (2014). After that, the EQI was applied in 126 basins of supply water sources in Goias State, which enabled the identification of the degree of environmental quality of each. It was found that almost 85% of the studied basins are classified as very bad or bad EQI, and in almost all of these the WQI of the spring is also bad. By analyzing the EQI basins in ten different regions of Goias State Planning it was noted that average is best in the Northwest region, which also has better native state of vegetation index. Regarding the loss of soil, it is noted that most of the basins (64%) are classified in low and moderate erosive susceptibility, but with some in erosive susceptibility very high severe. Therefore, it was concluded that the methodology used in this study proved to be an effective management strategy for catchments and can be used as an environmental planning instrument in these areas.

1. INTRODUÇÃO

Os problemas ambientais decorrentes da ocupação e transformação do solo tem assumido grande relevância no cenário mundial, pois implica em transformações no sistema ambiental. Essas alterações em bacias hidrográficas interferem na sua qualidade e influenciam no ecossistema, transformando o solo, ocasionando erosões e deteriorando a qualidade da água por sedimentos e contaminantes encaminhados aos cursos d'água.

Estudos para entender a relação entre uso do solo e a qualidade da água estão sendo desenvolvidos, e apresentam resultados que comprovam a influência da conversão de áreas florestadas em áreas agrícolas com processos erosivos e redução da qualidade da água do manancial (SCHNEIDER et al., 2011; RIBOLZI et al., 2011; ELÇI & SELÇUK, 2013).

No estado de Goiás ocorreu uma extensa transformação do uso do solo a partir de 1970, em decorrência da substituição das pastagem natural por pastagem formada e pelo crescimento urbano. Essa mudança implicou em desmatamento e substituição da vegetação original por espécies vegetais que propiciam maior rendimento para a atividade pecuária (SANTOS et al., 2010). Favorecendo desta forma reflexos negativos sobre as bacias hidrográficas, por meio da impermeabilização do solo, redução da recarga eficiente do lençol freático e, conseqüentemente, a redução da disponibilidade hídrica no local (POFF et al., 2006; VALLE JUNIOR, 2008).

A situação se agrava quando está inserido em todo este contexto um manancial de abastecimento, pois as degradações dessas bacias, principalmente pela falta de planejamento ambiental e ausência de prática conservacionista do solo, concorrem para a deterioração da qualidade da água bruta captada (DUMANSKI, 2006; SCALIZE et al., 2010).

Bonnet et al. (2008), investigaram a influência da forma de uso do solo na qualidade ambiental das bacias hidrográficas de mananciais superficiais de abastecimento público em Goiás. Os resultados apresentados indicam que apenas 31,52% das 89 bacias de captação avaliadas possuem o índice normalizado de vegetação remanescente (Normalized Remaining Vegetation Index, NRVI) mínimo para atendimento dos requisitos legais brasileiros. Situação preocupante, pois a vegetação na bacia, assim como declividade, geologia, clima e solos influem na qualidade da água, interferindo no aporte de sedimentos e demais substâncias que chegam até os corpos d'água.

Desta forma, a inserção da avaliação de aspectos como as perdas de solo e mudança do uso do solo em estudos de bacias hidrográficas, consiste em uma demanda atual e de expressiva importância para o desenvolvimento sustentável, subsidiando as ações dos órgãos responsáveis pela gestão de recursos hídricos (ELÇI E SELÇUK, 2013).

A necessidade de se monitorar e controlar a forma de uso das bacias hidrográficas é indiscutível, pois quando se refere à avaliação de alterações ambientais, estas áreas são sistemas complexos que resultam de inter-relações entre os meios físicos, sociais e ambientais, envolvendo também componentes estruturais e funcionais, processos econômicos e sociais, demonstrando assim uma unidade interessante para integrar esforços de pesquisa e gerenciamento, e tem sido utilizada como instrumento de percepção e gerenciamento.

A preservação da bacia hidrográfica representa um dos métodos mais efetivos e econômicos de assegurar suprimentos adequados e seguros de água. O poder público e a sociedade civil possuem maior capacidade de organização e direcionamento de esforços, reconhecimento dos diversos níveis de demandas específicas, formulação de políticas na área de recursos hídricos, além de apoiar a operacionalização dos comitês de bacias hidrográficas, dentre outros (VLAHOS & HERBST, 2000; ALBUQUERQUE, 2012; PRADO & NOVO, 2015).

Entidades brasileiras e internacionais, como a *Environmental Protection Agency* (EPA), têm alertado sobre a necessidade de gerar mudanças paradigmáticas na gestão da água e das bacias hidrográficas, assumindo inclusive ações que reduzam reais ou potenciais conflitos entre povos e países.

No Brasil, este planejamento de bacias está contemplado na Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei nº 9.433 (BRASIL, 1997), ao instituir a bacia hidrográfica como unidade territorial, cabendo ao Poder público o papel de atuar como gestor no planejamento e intervir, se necessário, no seu território. Para tanto, a Lei estabelece que os Planos de Recursos Hídricos devam ser planos diretores que visam fundamentar e orientar a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos que deverão ser elaboradoras por bacias hidrográficas, estado e país.

Há de se considerar que a regulamentação do uso da terra, a legislação e o controle de poluição de lançamento de esgotos e águas pluviais, apresentam boa eficiência no controle da qualidade da bacia hidrográfica, bem como da água dos mananciais (WILCOCK et al., 2006; KHARE et al., 2012; OU et al., 2016).

A análise do uso e ocupação do solo em bacias hidrográficas, assim como o levantamento das características morfológicas e hidrológicas destacam-se como fatores relevantes na avaliação ambiental, pois as condições atuais das características do meio físico são, em parte, resultantes das diferentes formas de uso e ocupação e das interferências antrópicas nos processos ambientais. Desta forma, o conhecimento sobre a qualidade de cursos d'água de uma bacia é interessante, pois os resultados possibilitam inferir sobre as condições da bacia hidrográfica como um todo. (QUEIROZ et al., 2010; ROMÃO & SOUZA, 2011; OLSZEWSKI et al., 2011; NASCIMENTO et al., 2015; ANDRIETTI et al., 2016).

A necessidade de se monitorar e controlar a forma de uso das bacias hidrográficas é indiscutível, pois quando se refere à avaliação de alterações ambientais, estas áreas são sistemas complexos que resultam de inter-relações entre os meios físicos, sociais e ambientais, envolvendo também componentes estruturais e funcionais, processos econômicos e sociais, demonstrando assim uma unidade interessante para integrar esforços de pesquisa e gerenciamento, e tem sido utilizada como instrumento de percepção e gerenciamento.

Assim, instrumentos como indicadores ambientais são interessantes no processo de avaliação. Por meio de seu uso é possível medir de forma prática o objeto avaliado, promovendo discussões, tomadas de decisões e favorecendo o planejamento ambiental de bacias hidrográficas. Representando um importante instrumento para o gerenciamento dos recursos hídricos em um processo em que se busca conciliar o aproveitamento dos recursos naturais da bacia hidrográfica com o crescimento econômico, garantindo a equidade mediante processos de decisão com a participação de diferentes atores.

2. PROBLEMA DE PESQUISA

Em face da contextualização a respeito da degradação de bacias hidrográficas de mananciais de abastecimento, (i) entendidas como problemas ambientais preocupantes, (ii) com previsão de intensificação numérica, (iii) que vêm sendo ocupadas de forma irregular sujeitas a riscos de alteração significativa da qualidade ambiental, surgiram basicamente as seguintes questões de pesquisa: qual o grau de conhecimento científico acumulado sobre o assunto? Em que nível está ocorrendo a alteração da qualidade do meio físico dessas áreas e da qualidade da água desses mananciais? Qual o grau de influência da retirada da vegetação nativa na alteração da qualidade da água do manancial

de abastecimento? Há métodos claros e confiáveis de avaliação suficientemente segura do monitoramento da alteração dessas áreas?

Assim, a hipótese que norteou a presente pesquisa foi a de que as bacias hidrográficas de mananciais de abastecimento estão sendo negativamente alterada ao ponto de comprometerem o uso da água do manancial para abastecimento público. Em regiões no Estado de Goiás, onde há intensa ocupação do uso do solo, com bacias hidrográficas contendo pouca vegetação nativa, os mananciais possuem pior qualidade da água. Questão que pode ser avaliada por intermédio de procedimentos investigatórios combinados até então não aplicados para esse tipo de ambiente. Para defender esta hipótese, foram aplicados métodos investigatórios com abordagem da perda de solo, avaliação da qualidade da água dos mananciais, desenvolvimento econômico do município e porcentagem de vegetação nativa existente na bacia.

O presente trabalho tem a pretensão de contribuir para o entendimento e a obtenção de respostas mais abrangentes e seguras sobre os impactos potenciais da alteração do uso e ocupação do solo nestas áreas. Adicionalmente, acredita-se que esta pesquisa poderá servir de referência para o poder público no disciplinamento do uso do solo das bacias de mananciais de abastecimento e no estabelecimento de planejamento da utilização dessas áreas.

3. OBJETIVOS DA TESE

3.1. Geral

Desenvolver um método de avaliação da qualidade ambiental de bacias hidrográficas de mananciais de abastecimento de Goiás, por meio da construção de um índice de qualidade ambiental de bacias (IQAB), baseado em critérios de perda de solo, porcentagem de vegetação nativa da bacia, qualidade da água e desenvolvimento econômico municipal.

3.2. Específicos

- 1) Estimar a produção de sedimentos no estado de Goiás e em bacias hidrográficas de mananciais localizadas no Estado;
- 2) Avaliar as variáveis físicas que apresentam maior influência na produção de sedimentos nas bacias;

- 3) Simular o efeito do aumento de vegetação nativa na produção de sedimentos de bacias hidrográficas;
- 4) Aplicar o IQAB na avaliação de bacias hidrográficas de mananciais de captação de água do Estado de Goiás;
- 5) Identificar as bacias prioritárias para proposição de intervenção em sua gestão ambiental por meio do IQAB;

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 Uso e Ocupação do Solo na Qualidade Ambiental de Bacias Hidrográficas

As atividades do homem em uma bacia hidrográfica resultam em alterações nos recursos hídricos e no solo, cabendo ao próprio homem realiza-las de modo a provocar o menor impacto possível (CARDOSO et al., 2008).

A conversão das áreas dentro de uma bacia hidrográfica para agricultura, assim como a impermeabilização do solo, afetam negativamente a hidrologia, geomorfologia, química e a ecologia dos sistemas lóticos (SNYDER *et al.*, 2005).

Deste modo, a análise do uso e ocupação do solo em bacias hidrográficas, assim como o levantamento das características morfológicas e hidrológicas destacam-se como fatores relevantes na avaliação ambiental, pois as condições atuais das características do meio físico são, em parte, resultantes das diferentes formas de uso e ocupação e das interferências antrópicas nos processos ambientais (ROMÃO & SOUZA, 2011; OLSZEWSKI et al., 2011).

Para Bonnet et al., (2008) o entendimento sistemático e abrangente das relações entre cobertura e uso do solo e qualidade da água oportuniza uma eficaz gestão ambiental e territorial, tendo como unidade a bacia hidrográfica e como precursor a disponibilidade quali-quantitativa da água em bacias de manancial.

Queiroz et al. (2010) ressalta que nas avaliação dos efeitos das atividades humanas exercidas nas bacias hidrográficas sobre os ecossistemas é indicado monitorar variáveis que sejam sensíveis às mudanças. E nesse aspecto, o conhecimento sobre a qualidade de cursos d'água de uma bacia é interessante, pois os resultados possibilitam inferir sobre as condições da bacia hidrográfica como um todo.

No estudo de Arcova e Cicco (1999) foram avaliados fatores que influenciam na qualidade da água de quatro microbacias, sendo duas recobertas pela Mata Atlântica e

duas por agricultura e pecuária. Os resultados apresentaram maiores valores de turbidez e cor aparente para as áreas com agricultura e pecuária. O que pode ser explicado pela maior capacidade de geração de escoamento superficial nas áreas com solo mais exposto e, conseqüentemente, maior tendência de ocorrência de transporte de material particulado em suspensão.

No trabalho de Elçi e Selçuk (2013) foram levantadas as perdas de solo devido à mudança no uso do solo na Bacia de Tahtali, na Turquia, para os anos de 1995 e 2005. Os autores identificaram uma perda de solo anual média de 2,5 no ano de 2005 quando comparado a 1995.

Bonnet et al. (2008), investigou a influência da forma de uso do solo na qualidade ambiental das bacias hidrográficas de mananciais superficiais de abastecimento público em Goiás. Os resultados apresentados indicam que apenas 31,52% das 89 bacias de captação avaliadas possuem o índice normalizado de vegetação remanescente (Normalized Remaining Vegetation Index, NRVI) mínimo para atendimento dos requisitos legais brasileiros. Situação preocupante, pois a vegetação na bacia, assim como declividade, geologia, clima e solos influem na qualidade da água, interferindo no aporte de sedimentos e demais substâncias que chegam até os corpos d'água (HABERLAND et al., 2012).

Desta forma, a inserção da avaliação de aspectos como qualidade da água, perdas de solo e mudança do uso da terra em estudos de bacias hidrográficas consiste em uma demanda atual e de expressiva importância para o desenvolvimento sustentável, subsidiando as ações dos órgãos responsáveis pela gestão de recursos hídricos (ELÇI & SELÇUK, 2013).

Neste contexto, há de se considerar que a regulamentação do uso da terra, a legislação e o controle de poluição de lançamento de esgotos e águas pluviais, apresentam boa eficiência no controle da qualidade da bacia hidrográfica, bem como da água dos mananciais (WILCOCK et al., 2006; KHARE et al., 2012).

A necessidade de se monitorar e controlar a forma de uso das bacias hidrográficas é indiscutível, pois quando se refere à avaliação de alterações ambientais, estas áreas são sistemas complexos que resultam de inter-relações entre os meios físicos, sociais e ambientais, envolvendo também componentes estruturais e funcionais, processos econômicos e sociais, demonstrando assim uma unidade interessante para integrar esforços de pesquisa e gerenciamento, e tem sido utilizada como instrumento de percepção e gerenciamento (TUNDISI, 2003). Deste modo, instrumentos como

indicadores ambientais são interessantes no processo de avaliação, por meio de seu uso é possível medir de forma prática o objeto avaliado, promovendo discussões e tomadas de decisões.

4.2 Indicadores Ambientais

Nos últimos anos os indicadores ambientais têm se tornado um componente importante para avaliações de alterações ambientais. Isto aumentou a influência de indicadores na gestão ambiental e elaboração de políticas públicas (RUFINO, 2002; SILVA, 2002; FIDALDO, 2003; DIAS et al., 2011). Proporcionando informações de forma mais sintética e compreensível e transmitindo informações que nos esclarece uma série de fenômenos que não são imediatamente observáveis. Quantificando ainda as informações de caráter técnico e científico e tornando compreensíveis os fenômenos complexos para que possam ser analisados por diferentes segmentos da sociedade (RUFINO, 2002; DIAS et al., 2011).

O Indicador é uma ferramenta capaz de facilitar a comunicação sobre fenômenos complexos, cumprindo desta forma uma função social e podendo ser aplicadas a várias situações problemas: análise de tendência, informações ao público e investigação científica (RAMOS, 1997; OECD, 2003; UNICEF, 2003).

Segundo Hammond et al. (1995), os indicadores e índices estão no topo de uma pirâmide de informação, cuja base de dados principal é derivada do monitoramento e da análise de dados (Figura 1). Sendo que o índice é a representação do resultado numérico de um indicador (EPA, 1995). Desta forma, eles representam um modelo empírico da realidade e devem ser analiticamente analisados com uma metodologia fixa de medição.



Figura 1 - Pirâmide de informação
Fonte: Hammond et al.(1995).

De acordo com OECD (2003) a necessidade de se construir um Sistema de Indicadores Ambientais pode ser justificado por:

- Necessidade de se ter uma melhor informação sobre o estado do meio ambiente;
- Redução da informação estatística a uns poucos parâmetros.

Observa-se, deste modo, na literatura, a existência de uma grande quantidade de indicadores (econômicos, culturais, políticos, sociais, de sustentabilidade, bióticos, físicos, entre outros). A seleção dos componentes desses indicadores e a integração para quantificar o impacto de uma ação tem sido o maior desafio dos pesquisadores (OECD, 2003).

Neste contexto, os trabalhos que visam avaliar a qualidade ambiental de sistemas, inclusive de bacias hidrográficas, tem se tornado comum por meio do uso de indicadores (ROCHA et al., 2010; PEREIRA et al., 2012; ELÇI & SELÇUK, 2013, PEROVIC et al., 2013). Bem como, o uso do Índice de Qualidade da Água (IQA), que tem sido um instrumento importante nesses trabalhos.

O Índice IQA foi desenvolvido em 1970, pela “*National Sanitation Foundation*”, dos Estados Unidos e tem sido utilizado para os mais variados fins como, avaliação da qualidade das águas subterrâneas, de lagos e de rios; de água de contato primário e recreação, de reservatórios de água potável e de águas de abastecimento (ALMEIDA et al., 2012; DE TOLEDO e NICOLELLA, 2002; DEBELS et al., 2005; SILVA et al., 2010).

Nos Estados Unidos da América (EUA) os métodos mais difundidos para avaliação de IQA são duas variações do *National Sanitation Foundation Water Quality Index* (NSF WQI). A variação aditiva do NSF WQI, denominada *Addictive Water Quality Index* (AWQI) e a denominada *Multiplicative Water Quality Index* (MWQI). Outro método amplamente disseminado nos Estados Unidos é o denominado *Oregon Water Quality Index* - OWQI (CUDE, 2001). No Canadá o método mais utilizado é conhecido como *Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index* (CWQI) (LUMB et al., 2011). E no Brasil, o mais conhecido é da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), que utiliza o IQA desenvolvido por meio de adaptações do modelo americano NSF MWQI.

Além dos métodos já consagrados, outros tem sido desenvolvidos buscando mais facilidade de aplicação e com robustez apresentada, como é o caso do método desenvolvido por SOUZA et al., (2014). O método foi desenvolvido por meio de estatística de análise fatorial e a consistência geral dos dados para o emprego desta análise

fatorial foi aferida pelo método Kayser-Meyer-Olkin (KMO), demonstrando confiabilidade em sua utilização.

No trabalho desenvolvido por Ruffino (2002) o IQA foi utilizado entre 6 indicadores, todos agregados, objetivando a avaliação da qualidade ambiental do município de Tubarão (SC). Já no estudo desenvolvido por Mello et al. (2011) o IQA foi utilizado para analisar a qualidade da água bruta em oito pontos ao longo do rio Meia Ponte (estado de Goiás, Brasil). Esses estudos deixam evidente que a ocupação de uma bacia sem critérios ambientais pode comprometer consideravelmente a qualidade das águas superficiais.

Khwakaram et al. (2012), utilizando-se da metodologia norte-americana de cálculo de IQA denominada OWQI (CUDE, 2001), por meio de amostragem periódica em 10 pontos de coleta distintos e análise das variáveis pH, condutividade, oxigênio dissolvido, turbidez, dureza total, cálcio, magnésio, sódio, potássio, cloretos, sulfatos, nitratos e fosfatos, determinou o IQA do rio Qalysan, no Iraque. Os autores concluíram que as águas dos rios em estudo, nos pontos avaliados, são poluídas e inadequadas às atividades humanas, principalmente durante o verão. Os autores afirmam que a ferramenta de cálculo de IQA utilizado produziu resultados de fácil compreensão e condizentes com os parâmetros individuais de contaminantes identificados.

Siqueira et al. (2012), utilizaram-se do IQA em conjunto com interpretação de dados dos meios físicos, bióticos e socioeconômicos da região de Parauapebas (estado do Pará, Brasil) para a produção de um diagnóstico ambiental da área estudada. Desta forma, o uso de indicadores integrados tem apresentado respostas importantes para a gestão ambiental de áreas.

Assim como no trabalho de Siqueira et al., (2012), os indicadores socioeconômicos estão inseridos em muitos dos trabalhos que visam o diagnóstico ambiental, bem como o Indicador de Salubridade Ambiental (ISA). Desenvolvido pelo Estado de São Paulo, pela Câmara Técnica de Planejamento do Conselho Estadual de Saneamento (CONESAN), o ISA tem em sua composição subindicadores que abrangem a caracterização qualitativa e quantitativa dos serviços de abastecimento de água, esgotos sanitários e limpeza pública, o controle de vetores, roedores, problemas localizados (área de risco) e um indicador socioeconômico dos municípios para balizar ações compatíveis com as realidades locais. Ele tem sido utilizado em diversos estudos para diferentes locais. (DIAS et al., 2004; BAHIA, 2006; ARAVÉCHIA JÚNIOR, 2010, ROCHA et al., 2010).

Bollmann (2001) ressalta que existe “a correlação entre o nível de qualidade socioeconômica da população residente e a qualidade ambiental geral da bacia”. Justificando desta forma o uso de variáveis sociais e econômicas nas investigações realizadas em bacias hidrográficas.

Para Aravéchia Júnior (2010), os indicadores sociais foram os pioneiros a nível mundial, sua utilização começou em 1947. Para Milléo (2005), o uso dos indicadores sociais eram motivados pela ideia de monitorar a mudança ao longo do tempo na vida da população. Estas informações quando combinadas poderiam gerar novos conhecimentos sobre como aumentar a qualidade de vida das pessoas a partir de políticas sociais que fossem realmente efetivas.

Uma importante fonte de dados sobre as condições socioeconômicas dos municípios Brasileiros é o Índice de Desenvolvimento Humano no Município (IDHM). Adaptado do IDH Global em 2012, o PNUD/Brasil teve o desafio de prepará-lo para os 5.565 municípios brasileiros a partir de dados do Censo Demográfico de 2010. O IDHM inclui três componentes, IDHM Longevidade, IDHM Educação e IDHM Renda. São mais de 180 indicadores socioeconômicos, que dão suporte à análise e ampliam a compreensão dos fenômenos e dinâmicas voltados ao desenvolvimento municipal. O IDHM é um número que varia entre 0 e 1, quanto mais próximo de 1, maior o desenvolvimento humano de um município (PNUD, 2013).

Os IDH's Longevidade, Educação e Renda levam em consideração respectivamente uma vida longa e saudável, medida pela expectativa de vida ao nascer; o acesso ao conhecimento, medido pela escolaridade da população adulta e o fluxo escolar da população jovem; e o padrão de vida, medido pela renda *per capita* da população (PNUD, 2013).

Semelhante ao IDHM, o Índice de Desempenho dos Municípios Goianos (IDM), criado pelo Instituto Mauro Borges (IMB), é uma medida sintética que parte do contexto socioeconômico dos municípios do estado de Goiás em diferentes áreas de atuação. Quando comparados ao IDHM, ele pode ser ressaltado pela sua melhor resolução temporal, já que ele foi planejado para ser publicado a cada 2 anos e o IDHM a cada 10 anos. Deve-se também destacar o fato dos dados possuírem maior proximidade com as fontes de informação, favorecendo maior precisão nos dados apurados. Essas fontes de dados utilizadas são, as oficiais, como censo demográfico e censo escolar e sistemas de informações como DataSUS e Mapa da Saúde, registros administrativos junto a Agência Nacional de Telecomunicações - ANATEL, CELG Distribuição, Saneamento de Goiás

SANEAGO e Agência Goiana de Transportes e Obras - AGETOP, entre outros. São no total 34 variáveis avaliadas com enfoque em economia, segurança pública, trabalho, saúde, educação e infraestrutura. Desta forma, O IDM objetiva facilitar o diagnóstico e a comparação dos municípios, em face de subsidiar o planejamento das ações do governo.

4.3 Erosão e Fatores Condicionantes

Um modelo de avaliação da qualidade de bacias hidrográficas é o estudo de susceptibilidade e vulnerabilidade das áreas à processos erosivos. Pesquisas com este enfoque é uma demanda atual, já que estes processos aumentaram em muitas partes do mundo, especialmente nos países em desenvolvimento. O que pode estar relacionado às diferentes condições socioeconômicas, aos fatores demográficos e aos recursos limitados destes locais. Além dos fatores humano, à ocupação desordenada e o manejo inadequado do solo (BAYRAMIN et al., 2003; LULSEGED & VLEK, 2008; SHIFERAW, 2011).

A identificação do nível de influência que os fatores ambientais e antrópicos têm sobre a erosão dos solos e a, conseqüente produção e transporte de sedimentos, constitui um desafio. No entanto, sabe-se que os processos erosivos são intensificados pelas ações antrópicas, como desmatamento, atividades agropecuárias e manejo inadequado do solo (GRILO & ERNANI, 2008; NUNES et al., 2011).

O processo erosivo não acontece de forma constante em todos os solos, pois os atributos físicos, químicos e biológicos interferem no processo e são particularidades de cada solo. Ela é ocasionada por forças ativas como a intensidade da chuva, declividade, comprimento de rampa do terreno e permeabilidade. Portanto, a erosão é um processo complexo que envolve vários fatores, de forma e magnitudes variáveis, conforme o local onde ocorre (RETZLAF, 2008; VALLE JUNIOR, 2008; CARVALHO et al., 2009).

Os impactos ambientais negativo diretos e indiretos dos processos erosivos envolvem a perda de solo, perda de cobertura verde, deterioração da agricultura, a desertificação, problemas relacionadas à qualidade e disponibilidade da água, decorrentes da poluição e do assoreamento dos mananciais, o que pode favorecer a ocorrência de enchentes no período chuvoso e o aumento da escassez de água no período de estiagem e, naturalmente, repercussões econômicas. Os impactos ambientais advindos da erosão atinge dessa maneira tanto a população urbana quanto rural (KHWLIE et al., 2002; CHAVES et al., 2012; FROTA & NAPPO, 2012).

Deste modo, o conhecimento das variações espaciais da erosão do solo é necessário para o planejamento dos esforços de conservação (SHIFERAW, 2011). A implementação de medidas eficazes de conservação do solo tem de ser precedida por uma avaliação de risco de erosão distribuído e de suas intensidades (KHWLIE et al., 2002). Assim, estes estudos podem ser proporcionados pela utilização da USLE.

4.4 Universal Soil Loss Equation (USLE)

A Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) está inserida no conceito de modelagem e é um subsídio importante para tomadas de decisões que envolvem questões ambientais, principalmente no sistema aberto de bacia hidrográfica (SILVA et al., 2010). Este, como outros modelos semelhantes, trabalham buscando identificar a vulnerabilidade natural utilizando como variáveis a cobertura do solo, declividade, permeabilidade do solo e outras características ambientais (JONI, 1998; HARUM et al. 2008).

Assim, a EUPS é um modelo de predição de perda de perda de solo amplamente utilizado ao longo de décadas em todo o mundo, quer na forma original ou modificada, inclusive no Brasil. O foco de estudo do modelo são os processos erosivos e, conseqüentemente, perdas de solo (DIAS, 2003; MIHARA et al. 2005; SERIO et al., 2008; VALLE JUNIOR, 2008; CORREA & ALIAGA, 2009; ELÇI E SELÇUK, 2013, PEROVIC et al, 2013, SILVA, 2014).

A EUPS tem o objetivo prever a perda de solo em $\text{ton ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ em uma determinada área, utilizando a geotecnologia no auxílio da sua aplicação. Assim, o seu uso possibilita medidas de controle e planejamento para o uso adequado das terras, uma vez que ela, assim como demais modelos matemáticos, considera a avaliação em função dos fatores que representam o clima, o solo, o relevo e o uso da terra (VALLE JUNIOR, 2008).

A dificuldade de utilização da EUPS ocorre pela ausência de informações suficientes para que se obtenha uma estimativa confiável. Mesmo com esta deficiência, o modelo permite identificar áreas com maior ou menor vulnerabilidade a perda de solo, considerando diferentes cenários de uso e manejo do solo, bem como variações ao longo do tempo (MATA et al., 2007; ALCÂNTARA & SOUZA, 2010; FROTA, 2012).

Como o modelo favorece o estudo de processos erosivos que apresentam relevante importância, podendo ser incorporado ao planejamento do uso do solo, incluindo os

fatores relacionados à detecção das áreas mais susceptíveis, com o objetivo de organizar as práticas econômicas (FROTA E NAPPO, 2012).

A perda de solo estimada pela EUPS é calculada pela equação proposta por Wischmeier e Smith (1978):

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad \text{Equação 1}$$

Onde, A = estimativa da perda média anual de solo ($\text{ton ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$); P = erosividade da chuva ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$); K = fator de erodibilidade do solo ($\text{ton h MJ}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$); L = comprimento da encosta (m); S = grau de declividade (%); C = fator de uso e manejo da terra (adimensional); P = fator de práticas conservacionistas (adimensional).

Os fatores que compõe a EUPS estão detalhados nos itens que seguem:.

a) Fator R – Erosividade da Chuva

Muitos são os parâmetros que podem ser utilizados para estimar a erosividade da chuva; a questão mais importante é a sua escolha adequada, já que cada ambiente e evento são únicos nas escalas temporal e espacial (SILVA, 2014).

Este fator é expresso em ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e corresponde à capacidade erosiva da chuva em contato direto com o solo. Ele está intrinsecamente ligado com as características físicas das chuvas, tais como: intensidade, duração, distribuição e tamanho das gotas (MATA et al., 2007).

b) Fator K – Erodibilidade do solo

A erodibilidade é considerada a mais importante variável na predição de erosões. Ela é definida como a perda de solo removido por unidade de área (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1999). Pode-se traduzi-la pelas condições de reação do solo aos processos erosivos de natureza hidrológica. Estes processos consistem na desagregação das partículas do solo e seu transporte, pelo impacto das gotas da chuva e escoamento superficial (FROTA, 2012).

O fator K depende de atributos do solo como: textura, teor de matéria orgânica, estrutura e permeabilidade.

c) Fator LS – Comprimento de Rampa

O volume e velocidade da água de escoamento superficial estão diretamente relacionados com a declividade do terreno. Os valores de comprimento de rampa podem ser obtidos por diferentes métodos, manualmente sobre as bases cartográficas e ábacos ou por ferramentas de geotecnologia, pois a maior parte dos softwares possuem algoritmos de manipulação que percorrem o modelo numérico de terreno, aplicando a equação para determinação da declividade (VALLE JUNIOR, 2008).

Nos trabalhos em que a geotecnologia é utilizada na determinação dos fatores da USLE, o fator comprimento de encosta e o fator declividade estão associados, representados pela variável LS para determinação do fator comprimento de rampa (VALLE JUNIOR, 2008).

O valor da variável LS pode ser obtido pela Equação 1.

$$LS = \left(\frac{\text{fluxo acumulado} \times \text{tamanho da célula}}{22,13} \right)^{0,4} \times \left(\frac{\text{seno declividade}}{0,0896} \right)^{1,3} \quad \text{Equação 2}$$

d) Fator Uso e Manejo da Terra (C) e Práticas Conservacionistas (P)

“Os fatores C e P estão relacionados ao uso da Terra e cobertura vegetal da área estudada, podendo, portanto, variar ao longo dos anos em função de mudanças na forma e intensidade deste uso” (SILVA, 2014).

Enquanto que os fatores R, K, LS são correlacionadas a aspectos naturais no processo de erosão, os fatores CP sofrem influência direta de ações antrópicas.

O fator uso e manejo da terra é conceituada como a relação esperada entre perdas de solo em um terreno cultivado e em um terreno desprotegido. Enquanto que o fator práticas conservacionistas é a relação entre a intensidade da perda de solo esperada com determinada prática conservacionista correlacionando com a disposição da cultura no sentido do declive (VALLE JUNIOR, 2008).

Observa-se, portanto, que a EUPS é um modelo que envolve características importantes para determinação de perda de solo. E por isso tem sido aplicada em uma diversidade de trabalhos em diversos locais do mundo. Como o estudo de Perovic et al., (2013), no qual a aplicação da USLE possibilitou a identificação da perda de solo anual média na Bacia do Rio Nisava, localizado na parte sul-oriental da Sérvia. Os estudos apontaram para uma perda de solo anual média estimada em 27,0 t ha⁻¹ ano⁻¹, classificado na categoria de taxa erosão muito alta, em escala desenvolvida pelos autores (Quadro 1).

Ainda nessa mesma escala, cerca de 40% da área da bacia foi caracterizada com taxa de erosão grave (40-80 t ha⁻¹ ano⁻¹), enquanto que 46,7% da área da bacia, com taxa moderada de erosão. Os autores identificaram que mais de 77% das erosões estão localizadas em áreas com declividades acima de 10%, onde também estão as erosões mais graves. Nas áreas com declividades inferiores a 5% predominam as erosões moderadas. Desta forma, a declividades é um fator que exerce notável influência nas perdas de solo.

Quadro 1 - Categoria das Erosões conforme a perda de solo

Categoria das Erosões	Perda de Solo t ha⁻¹ ano⁻¹
Slight – Leve	0–5
Moderate – Moderado	5–10
High – Alto	10–20
Very high – Muito Alto	20–40
Severe – Grave	40–80
Very severe – Muito Grave	>80

Fonte: Adaptado de Perovic et al., (2013)

Essa classificação de perda de solo também foi apresentada por FAO (1967), conforme Quadro 2.

Quadro 2 – Classificação das Erosões

Perda de Solo t ha⁻¹ ano	Grau de Erosão
<10	Baixo
10 – 50	Moderado
50 – 200	Alto
>200	Muito Alto

Fonte: FAO (1967)

Da mesma forma, Costa e Silva (2012), verificaram em seu estudo que as áreas com maior topografia favorecem o acúmulo de sedimentos. A maior perda de solo na área estudada está relacionada à presença de cana-de-açúcar e solo exposto. Observa-se pelos resultados deste trabalho que as maiores perdas de solo, 20 t ha⁻¹ ano, foram influenciadas por ações antrópicas em conjunto com declividades acentuadas. Frota e Nappo (2012) ressalta que a cobertura vegetal tem papel atenuante nos impactos das gotas de chuva,

diminuindo a velocidade de escoamento superficial, apresentando eficiência em reduzir as perdas de solo por erosão.

Deste modo, estudos que avaliem o potencial de perda de solo são importantes no processo de indicação de áreas prioritárias para a conservação do solo, uma vez que estudos demonstram a maior susceptibilidade de algumas áreas diante das suas características naturais e a forma de uso e ocupação do seu solo (PEROVIC et al., 2013).

4.5 Soil and Water Assessment Tool – SWAT

O SWAT é um modelo de domínio público desenvolvido pelo Serviço de Pesquisa Agrícola (ARS) dos Estados Unidos, no início da década de 90. O seu objetivo é prever o impacto das alterações do uso do solo, no tipo e no manejo do solo sobre o escoamento superficial e subterrâneo, produção de sedimentos, cargas de poluentes e qualidade da água em bacias hidrográficas em geral. O modelo calcula a perda de solo causada pela chuva e o escoamento superficial utilizando a Equação Universal de Perda de Solo Modificada (MUSLE) (SRINIVASAN & ARNOLD, 1994).

O SWAT é um modelo paramétrico distribuído que permite inúmeras análises de diferentes processos físicos e de produção de sedimentos e que possibilita a divisão das bacias em sub-bacias de forma a refletir as diferenças de tipo de solo, cobertura vegetal, topografia e uso do solo para o propósito da modelagem de modo a permanecer os parâmetros espacialmente distribuídos da bacia hidrográfica e características homogêneas dentro da mesma (NEVES, 2005). Além das sub-bacias o modelo ainda possibilita a divisão em Unidades de Resposta Hidrológica (HRU's), que são partes das sub-bacias que possuem uma única combinação de uso do solo/solo/manejo.

Apesar de ser um modelo muito utilizado no mundo, ainda apresenta algumas restrições de utilização no Brasil relacionadas à calibração, devido à falta de dados necessários para alimentá-lo, em especial a ausência de dados hidrossedimentológicos que permitam sua validação (UZEIKA, 2012). Mas o que não inviabilizou a sua utilização para realização de inúmeros trabalhos científicos que buscaram fornecer resultados de produção de sedimentos em diversos locais no mundo (TRIPATHI et al., 2003; TESFAHUNE et al., 2012; OLIVERIA, 2013; VEIGA, 2014; LOBERA et al., 2016).

Na Grécia, pesquisadores estudaram o escoamento e o transporte de sedimentos em um divisor de águas do mar mediterrâneo, formado por afluentes temporários e nascentes. Na calibração do modelo SWAT foram utilizadas as concentrações mensais de

sedimentos em oito pontos distintos com registros feitos entre o ano 2010 e 2011. Com base no balanço hídrico construído com dados de 12 anos de precipitação, a evapotranspiração real da bacia foi de 46,9% (GAMVROUDIS et al., 2015).

Ainda na Grécia, a fim de simular a hidrologia e o transporte de sedimentos em uma bacia do semiárido mediterrâneo, localizada em Creta na Grécia, utilizou-se o SWAT acoplado de um modelo que avaliou os sólidos em suspensão na água. Para a calibração do modelo foram utilizados dados mensais dos níveis de sólidos na água, com acompanhamento feito entre os anos de 2011 e 2014. As taxas médias de erosão para as sub-bacias estudadas foram iguais a 0,97 t / há. Ano. Chegando em 1,6 t / há. Ano em anos de maior precipitação (NERANTZAKI et al., 2015).

No Brasil, o SWAT tem sido utilizado em diversos trabalhos de simulações da produção de sedimentos, como o de Uzeika (2012), que o aplicou para estimar os processos hidrológicos e da produção de sedimentos em uma pequena bacia hidrográfica rural. Veiga (2014) realizou análises da calibração do modelo em termos de fluxo e sedimentos para a bacia do Córrego Samambaia, no estado de Goiás, com resultados para a análise estatística do coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe (COE) de 0,8 e 0,88. Oliveira (2013) utilizou o modelo para avaliar a mudança de cenários na estimativa da produção de sedimentos na bacia e no reservatório de abastecimento do Ribeirão João Leite.

4.6 Ferramentas de Geotecnologia aplicadas ao planejamento de bacias hidrográficas

As ferramentas de geotecnologia tem sido utilizadas com a EUPS em larga escala em trabalhos que visam avaliar a qualidade ambiental de bacias hidrográficas, na análise de uso e ocupação do solo, e na avaliação de perdas de solo (VALLE JUNIOR, 2008; CORREA & ALIAGA, 2009; ELÇI E SELÇUK, 2013, PEROVIC et al, 2013, SILVA, 2014).

A aplicação de modelos quantitativos, como a EUPS, foi intensamente facilitada pelo desenvolvimento dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG's). Uma vez especializada, a EUPS por meio do SIG, permite além da análise da perda de solo, a contextualização dos resultados obtidos em função do uso e ocupação do solo. Essa aplicação pode ser verificada nos trabalhos desenvolvidos por Lopes et al. (2011) e Costa et al., (2013).

Silva et al. (2010) afirma que as ferramentas de geotecnologias são fundamentais na busca de maior eficiência no apoio à decisão no planejamento de uso sustentável das terras.

Moura (2005) ressalta que a geotecnologia proporciona grandes contribuições nas Ciências da Terra ao possibilitar a implantação de processos com abordagem e análises sistêmicas, conceitos que trouxeram para as ciências que lidam com complexa gama de variáveis, grande ganho na proximidade entre o modelo de estudo e a realidade.

O sensoriamento remoto juntamente com o geoprocessamento e os sistemas de informações geográficas tem-se mostrado eficiente em proporcionar estudos que venham a melhorar o monitoramento e o gerenciamento de bacias hidrográficas de forma eficaz e confiável (GALVÍNCIO et al, 2007).

Para Currrey-Gregory e Crosby (1995), os SIGs são bons instrumentos para avaliar, gerenciar e analisar dados ambientais em uma base geográfica. A Environmental Protection Agency (EPA) e outras agências americanas têm aplicado com sucesso o SIG em projetos de manejo de recursos hídricos.

No trabalho realizado por Oliveira et al. (2013) a avaliação do potencial de uso do solo na bacia do Rio Meia Ponte utilizou-se de geotecnologia. Para obter resultados os autores trabalharam a partir do cruzamento do levantamento de informações sobre solos, declividade média e coeficiente de rugosidade.

Haberland et al. (2012) relacionaram o uso e ocupação da terra e a qualidade da água do trecho urbano do rio das Antas por meio da interpretação e classificação de imagens orbitais. Assim como Elçi e Selçuk (2013), que utilizaram de imagens de satélite da bacia hidrográfica do ano de 1995 e de 2005 para examinar as mudanças no uso da terra associados à urbanização ao redor do reservatório de Tahtali na Turquia e verificaram o efeito dessa urbanização correlacionando os resultados das imagens com parâmetros da qualidade da água .

Wu et al. (2013) utilizaram SIG e Sensoriamento Remoto para extrair informações sobre o uso da terra e para determinar padrões espaço-temporais dos serviços ecossistêmicos na área metropolitana de Hangzhou, China, durante o período de 1978-2008 a partir de séries temporais Landsat MSS / TM / ETM + imagens. Observaram que o território urbano aumentou 169,85%, enquanto a terra nua aumentou 83,70%.

Pode-se destacar também o trabalho do Pedron et al. (2006), no qual ocorreu a determinação do uso, ocupação e aptidão agrícola de terras, assim como os conflitos

decorrentes dos vários tipos de uso, buscando contribuir para o planejamento racional dos recursos naturais de São João do Polêsine, RS;

Deste modo, várias pesquisas servem-se das ferramentas dos SIGs e produtos de sensoriamento remoto, por meio de *softwares* especializados, oferecendo, cada vez mais técnicas elaboradas para estudos ambientais (PRADO, 2004; CHAVES, 2005; SANTANA, 2008; SILVA et al., 2010; LUBENOW et al., 2012; HABERLAND et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2013). O desenvolvimento destes trabalhos demonstra a eficácia dessas ferramentas, as quais possibilitaram a realização de estudos confiáveis com precisão e rapidez na geração das informações.

Para Valladares et al. (2012), o uso de SIG, favorece o diagnóstico e a caracterização de territórios de interesse por sua facilidade na manipulação e o cruzamento de dados espacializados do meio físico e socioeconômico. Portanto, os cenários gerados refletem a realidade ambiental, fornecendo apoio para os estudos de suscetibilidade à erosão dos solos e nas decisões de planejamento e adequação do uso das terras.

4.7 Planejamento ambiental de bacias hidrográficas

As bacias urbanas ou rurais sofrem grandes alterações principalmente pela impermeabilização e mudança do uso da terra que geram mudanças nas vazões dos cursos d'água, escoamento superficial mais rápido e aumento na frequência das enchentes, que acaba refletindo na qualidade e quantidade dos recursos hídricos e, conseqüentemente, na qualidade de vida da população. A falta de planejamento adequado que considere as potencialidades e fragilidades dos recursos naturais podem provocar diferentes impactos (OLIVEIRA E RODRIGUES, 2009).

Por isso, as entidades brasileiras e internacionais, como a Environmental Protection Agency (EPA), têm alertado sobre a necessidade de gerar mudanças paradigmáticas na gestão da água e das bacias hidrográficas, assumindo inclusive ações que reduzam reais ou potenciais conflitos entre povos e países.

Para Vlahos e Herbst (2000), a preservação da bacia hidrográfica representa um dos métodos mais efetivos e econômicos de assegurar suprimentos adequados e seguros de água.

Currey-Gregory e Crosby (1995) ressaltam que a proteção de microbacias hidrográficas é uma abordagem geográfica ao manejo de recursos hídricos, promovida

em nível nacional nos EUA, pela Environmental Protection Agency (EPA), entre outras agências do governo federal americano e adotada por um série de agências estaduais de manejo de recursos hídricos. Entende-se que o sucesso na proteção de microbacias é a capacidade de identificar, visualizar e priorizar problemas de qualidade da água para ações de manejo em microbacias.

Albuquerque (2012) ressalta que, o poder público e a sociedade civil possuem maior capacidade de organização e direcionamento de esforços, reconhecimento dos diversos níveis de demandas específicas, formulação de políticas na área de recursos hídricos, além de apoiar a operacionalização dos comitês de bacias hidrográficas, dentre outros.

O planejamento de bacias está contemplado na Lei 9.433 de 1997 ao instituir a bacia hidrográfica como unidade territorial, cabendo ao poder público o papel de atuar como gestor no planejamento e intervir, se necessário, no seu território. Para tanto, a Lei estabelece que os Planos de Recursos Hídricos devem ser plano diretores que visam fundamentar e orientar a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos que deverão ser elaboradas por bacias hidrográficas, por estado e para o país.

O planejamento dos recursos hídricos para Barth e Pompeu (1987), tem a finalidade de avaliar as demandas e disponibilidade desse recurso de modo a compatibiliza-lo com os seus usos múltiplos. Desta forma, Campos e Sousa (2003) ressaltam que o planejamento é a melhor forma de atingir os objetivos. Por sua vez o plano é o documento que materializa, em textos, um planejamento, e viabiliza sua materialização em termos de ações.

Segundo Leal (2012), é imprescindível o desenvolvimento de uma política bem sucedida de gerenciamento de recursos hídricos, de forma que esta satisfaça, sem impactar negativamente a natureza, as necessidades sociais, em consonância com o suporte para o ordenamento territorial e ambiental.

Rodrigues et al. (2004) reforça a significância do planejamento ambiental de um território ou bacia hidrográfica, já que é importante para a elaboração dos programas de desenvolvimento econômico e social e para a otimização do plano de uso, manejo e gestão de qualquer unidade territorial.

Vettorazzi (2006) apresenta estudos realizados por diferentes autores, sobre abordagens que podem ser empregadas na priorização de áreas para a conservação de água e solo em bacias hidrográficas. Em todos ficaram evidentes a necessidade de transformar os dados disponíveis em informações com qualidade, para dar

sustentabilidade aos processos propostos. Diante disto é clara a importância do apoio por meio de informações e ferramentas de forma que subsidiem os processos decisórios.

A pesquisa desenvolvida por Giri e Singh (2013) é um exemplo na proposição da abordagem para uso do planejamento ambiental como meio de controlar a qualidade da água do Rio Wang Chu, onde foi verificado a influência do crescimento da área urbana da cidade de Thimphu, capital do Butão. Em seus resultados é possível verificar o aumento da área urbana em locais antes ocupados por agricultura e floresta. Os autores relacionam essa mudança do uso da terra com a deterioração da qualidade da água, ressaltando a importância de políticas públicas e planejamento ambiental adequado para estas áreas.

Deste modo, o planejamento é um processo que busca soluções para os problemas e necessidades. No planejamento de bacias hidrográficas, o objetivo é fornecer um tomador de decisão, com recomendações alternativas para o uso da terra e dos recursos hídricos da bacia. O planejamento normalmente não é realizado como uma atividade contínua, mas é dividido em vários passos. Os passos incluem a identificação das atividades que indicam a necessidade de planejamento, considerando as características políticas, sociais e econômicas de uma região ou país e que irá influenciar e condicionar o processo de planejamento. Deve-se então definir os problemas e os objetivos desse planejamento e levantar os recursos potencialmente disponíveis para resolver os problemas e atingir os objetivos, a fim de que se elabore um conjunto de estratégias, projetos e programas, incluindo neles os custos sociais e econômicos e classificando os de acordo com uma prioridade (OAS, 1978).

Almeida (1993), ressalta a ideia exposto anteriormente ao afirmar que, o planejamento ambiental “consiste em um grupo de metodologias e procedimentos para avaliar as consequências ambientais de uma ação proposta e identificar alternativas a esta ação, ou um conjunto de metodologias e procedimentos que avalia as contraposições entre as aptidões e usos dos territórios a serem planejados.”

Deste modo o planejamento ambiental de bacias hidrográficas representa um importante instrumento para o gerenciamento dos recursos hídricos. Em um processo em que se busca conciliar o aproveitamento dos recursos naturais da bacia hidrográfica com o crescimento econômico, garantindo a equidade mediante processos de decisão com a participação de diferentes atores.

5 ESTRUTURA DA TESE

A tese está organizada em quatro capítulos, sendo todos elaborados na forma de artigos científicos, onde são apresentados os resultados obtidos com o estudo. Os títulos e enfoques de cada capítulo são:

- **CAPÍTULO I – Variabilidade espacial da perda de solos de bacias hidrográficas de mananciais de captação do Estado de Goiás:** este artigo foi escrito como apresentação dos resultados obtidos pela aplicação da Equação Universal da Perda de Solo (EUPS), utilizando ferramentas de Geotecnologias, para determinar a perda de solo em 183 bacias hidrográficas de mananciais de abastecimento de água do estado de Goiás. O estudo teve como objetivo avaliar a fragilidade e vulnerabilidade de bacias hidrográficas de mananciais de abastecimento de água de Goiás á perdas de solo utilizando a EUPS, dentro de um ambiente GIS, identificando os fatores que exercem maior influência sobre os resultados, e desenvolvendo mapa de classificação para delineamento das bacias que requerem medidas prévias de conservação do solo. **O artigo foi submetido à Revista Sociedade e Natureza, na data de 10 de novembro de 2014. Se encontra atualmente em processo de avaliação.**

- **CAPÍTULO II –Predição de perda de solo em bacias hidrográficas de mananciais de captação por diferentes ferramentas, aplicação e avaliação da similaridade:** Este artigo apresenta o uso dos modelos hidrossedimentologicos EUPS e SWAT na estimativa de produção de sedimentos de bacias não instrumentadas, sendo desenvolvido em cinco diferentes bacias, localizadas em Goiás. O objetivo principal do trabalho foi realizar um estudo de comparação da aplicabilidade direta do método EUPS frente ao método implementado no SWAT em bacias hidrográficas de Goiás e a discussão da similaridade dos modelos e as principais vantagens e desvantagens de cada um (artigo a ser submetido à Revista Estudos Avançados, após o depósito da tese);

- **CAPÍTULO III – Aplicação de modelo hidrológico SWAT na simulação de cenários de perda de solo em bacias de captação:** O presente trabalho teve como objetivo principal analisar a produção de sedimentos para diferentes

cenários de cobertura vegetal de bacias de mananciais de captação de três municípios do Estado de Goiás, Brasil (a capital Goiânia, Cidade de Goiás e Rio Verde). Os cenários definidos tratam da situação das bacias com a porcentagem de vegetação nativa da reserva legal estabelecida no Código Florestal Brasileiro, Lei de nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Foi utilizado o *The Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) para realizar as simulações (artigo a ser submetido à Revista ABES, após o depósito da tese).

- CAPÍTULO IV – Análise da qualidade ambiental de bacias hidrográficas de mananciais de abastecimento do Estado de Goiás – construção do índice:

Este artigo apresentou a construção uma metodologia de avaliação de qualidade ambiental para 126 bacias hidrográficas de mananciais de abastecimento, utilizando variáveis como perda de solo e porcentagem de vegetação nativa na bacia, Índice de Qualidade da Água (IQA) e Índice de Desempenho dos Municípios (IDM). Para a elaboração do Índice de Qualidade Ambiental das Bacias (IQAB) utilizou-se estatística de análise multifatorial e análise de Cluster (artigo a ser submetido à Revista Ambiente e Sociedade, após o depósito da tese).

CAPÍTULO I

VARIABILIDADE ESPACIAL DA PERDA DE SOLOS DE BACIAS HIDROGRÁFICAS DE MANANCIAIS DE CAPTAÇÃO DO ESTADO DE GOIÁS

**Spatial variability losses of soil watershed basins for water catchment of the Goiás
State, Brazil**

VARIABILIDADE ESPACIAL DA PERDA DE SOLOS DE BACIAS HIDROGRÁFICAS DE MANANCIAIS DE CAPTAÇÃO DO ESTADO DE GOIÁS

Spatial variability losses of soil watershed basins for water catchment of the Goiás State, Brazil

RESUMO

As mudanças nos usos do solo no estado de Goiás provenientes do avanço da agricultura e pecuária tem provocado grande influência nas perdas de solo. Portanto, este estudo identificou o potencial de perda de solos no estado e, isoladamente em 183 bacias de mananciais de captação de água do estado utilizando a Equação Universal de Perda de Solos (EUPS), sendo os Fatores R, K, LS e CP obtidos através de ferramenta de geoprocessamento. Os resultados geraram um cenário no qual a maior parte da área do estado de Goiás, 77,6%, apresenta fraca susceptibilidade erosiva, 8,5% susceptibilidade erosiva moderada e 6,9% com susceptibilidade erosiva alta. Com relação à perda de solos das bacias de captações, foi constatada que doze bacias apresentaram susceptibilidade erosiva muito alta e duas na classe severa, 64% das bacias com baixa e moderadas susceptibilidade erosiva. Assim, o uso da EUPS em conjunto com ferramenta de geoprocessamento mostrou-se eficaz na representação espacial das perdas de solos, de modo a identificar áreas mais vulneráveis ao processo de erosão, auxiliando na proposição de medidas prioritárias de conservação do solo.

Palavras-chave: perda de solos; EUPS; geoprocessamento; mananciais de captação.

ABSTRACT

The changes in land use at state of Goiás due to the advancement of agriculture and livestock has caused major influence on soil losses. This study identified the potential soil loss in the state and alone in 183 watershed basins for water catchment in the state of Goiás using the Universal Soil Loss Equation (USLE), and their R, K, LS and CP factors were obtained by Geoprocessing tool. The results generated a scenario where most of the area of the state, 77.6%, shows weak erosive sensitivity, 8.5% moderate and 6.9% erosive susceptibility with high erosive susceptibility. With respect to soil loss of funding basins was found that twelve basins showed very high class and two in severe erosive susceptibility, 64% of the basins were framed with low and moderate erosive susceptibility. Thus, the use of USLE in conjunction with Geoprocessing tool was effective in the spatial representation of soil loss, in order to identify areas most vulnerable to the erosion process, and assist in proposing priority measures for soil conservation.

Keywords: soil loss; USLE; Geoprocessing; sources of funding.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento econômico e agrícola do Brasil tem sido, nas últimas décadas, caracterizado pelo uso intensivo dos recursos naturais sem o devido planejamento, que aliado às características dos solos e do clima, promove uma maior susceptibilidade à erosão dos solos, interferindo diretamente na produtividade agrícola e na conservação do meio ambiente (VANZELA et al., 2010; NEVES et al., 2011).

Pesquisas que visam à compreensão dos fatores que condicionam a erosão e, conseqüentemente, a perda de solo em bacias, são relevantes para o planejamento e gestão dos recursos hídricos, pois auxiliam na busca por medidas mitigadoras das consequências decorrentes da produção, transporte e deposição de sedimentos.

Deste modo, a Equação Universal de Perda do Solo (EUPS) de Wischmeier e Smith, (1978), tem sido muito aplicada em vários estudos na estimativa da vulnerabilidade natural à perda de solo de bacias hidrográficas (CORREA & ALIAGA, 2009; ELÇI & SELÇUK, 2013, PEROVIC et al., 2013). A aplicação desta equação foi intensamente facilitada pelo desenvolvimento das ferramentas de geotecnologias. Permitindo, além da análise da perda de solo, a contextualização dos resultados obtidos em função do uso e ocupação do solo, sendo, portanto, uma boa ferramenta para o planejamento conservacionista do solo e da água (PRUSKI et al., 2006; BESKOW et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2011).

De acordo com Benatto et al. (2006), somente nos estados de São Paulo, Santa Catarina, Paraná e Rio Grande do Sul, estudos utilizando a EUPS já produziram mais de uma centena de trabalhos conclusivos, o que facilitou a tomada de decisão no âmbito de práticas conservacionistas. No entanto, mesmo existindo diversos trabalhos no Brasil, a região Centro-Oeste do país ainda carece de mais estudos sobre estimativas de perdas de solo em bacias hidrográficas, principalmente em bacias de mananciais de captação de abastecimento. Estudos estes que são importantes em uma região, como o estado de Goiás, na qual a agricultura e pecuária são as principais formas de uso antrópico do solo, abrangendo mais de 60% de seu território (GOIÁS, 2011).

Os problemas ambientais decorrentes do uso intensivo do solo, da ausência de práticas conservacionistas ou manejo inadequado e, principalmente, da discrepância entre aptidão e uso do solo, têm se agravado no estado de Goiás, devido à perda da cobertura de vegetação nativa que leva a processos erosivos (HERMUCHE et al., 2009). O estado de Goiás é uma região intensamente ocupada por agricultura e pastagem, com grande

presença de solos com alta erodibilidade, como os cambissolos, neossolos, gleissolos e argissolos, aumentando os riscos de degradação das áreas e representando um cenário preocupante, que destaca para a necessidade de pesquisas que busquem a identificação de áreas vulneráveis, como forma de priorizar as áreas de conservação específica das bacias e a adoção de práticas conservacionistas mais restritivas

Nesse sentido, este estudo teve por objetivo estimar a perda de solos com aplicação da EUPS para todo o estado de Goiás e, isoladamente em 183 bacias de mananciais de captação de água do estado, utilizando ferramentas de geoprocessamento para relacionar a erosividade pluviométrica, com a erodibilidade dos solos, com o uso e ocupação dos solos e suas práticas conservacionistas, para melhor elaborar mapas classificando as bacias hidrográficas estudadas, conforme a sua potencial perda de solos, destacando assim as que requerem medidas prioritárias de conservação do solo.

ÁREA DE ESTUDO

O estado de Goiás está localizado na região Centro-Oeste do Brasil, com população estimada 6.434.048 habitantes (IBGE, 2013) distribuídas em 246 municípios, que estão agrupados em cinco grandes mesorregiões, Centro, Sul, Noroeste, Norte e Leste. O estado se destaca pelo crescimento demográfico, que aumentou aproximadamente 25,5% do ano 2000 para o ano 2013. A maior parte da população reside na mesorregião Centro Goiana, onde está localizada a capital do estado, Goiânia, e mais dezenove municípios que formam a Região Metropolitana de Goiânia (IBGE, 2013).

Quase todo o estado de Goiás, 97% da área, está inserido no Bioma Cerrado e em três grandes bacias hidrográficas, Tocantins-Araguaia, Paraná e São Francisco (ANA, 2007). Segundo Lima et al. (2008), o cerrado contribui com recursos hídricos superficiais para 8 das 12 regiões hidrográficas instituídas pelo Conselho Nacional dos Recursos Hídricos (CNRH). Situação que insere Goiás no importante cenário de distribuição dos recursos hídricos no Brasil.

O regime climático no estado é caracterizado por um período chuvoso (outubro a abril) e outro seco (maio a setembro). No período chuvoso ocorrem 95% do total de precipitação pluvial, com destaque para os meses de dezembro e janeiro, quando chove na maior parte do estado em torno de 250 a 300mm no mês. Essa precipitação pluvial é caracterizada por ser crescente do sul para o norte e de leste para oeste, com índice pluviométrico médio anual em torno de 1.532 mm, variando entre 1.400 a 1.600 mm,

podendo chegar a 2.000mm em alguns locais do estado. Os índices térmicos são variados, com valores médios de 34°C nos meses de agosto e setembro, com maiores índices térmicos ocorrendo em localidades situadas à noroeste do estado. Nos meses mais frios, junho e julho, a temperatura média fica em torno de 12°C em áreas localizadas no sudeste e sudoeste goiano (GOIÁS, 2006).

O mapeamento do uso do solo, realizado a partir de imagens Landsat/TM-5 obtidas em 2011, demonstra que o território goiano é ocupado em 62,16% por áreas antropizadas, sendo 39,96% por pastagens, 22,2% agricultura, a vegetação remanescente ocupa 35,21% do território, as manchas urbanas e os grandes corpos d'água estão em 2,4% do território goiano e os 0,23% restantes são de mineração, estradas, bancos de areia e outros (GOIÁS, 2011). A maior parte dessa vegetação remanescente nativa se encontra no Nordeste Goiano e há grande ocorrência de agricultura e pastagem no Sul Goiano, onde poucas áreas estão cobertas por vegetação remanescente nativa. No Centro Goiano é pouca a presença de vegetação nativa, por outro lado é possível observar grandes áreas urbanizadas, áreas agrícolas e pastagens.

No Leste Goiano está localizado o entorno do Distrito Federal, onde a ocupação urbana é muito expressiva, predominando áreas de pastagens com poucas áreas de agricultura e de vegetação remanescente. No Norte Goiano, as áreas ocupadas por vegetação nativa se destacam, mas é possível observar também extensas áreas de pastagens. Enquanto que no Noroeste Goiano, as zonas de pastagens são predominantes, com pouca ocorrência de áreas agrícolas e vegetação nativa bastante fragmentada. Na Figura 1 é possível observar o mapa de uso do solo da área de estudo.

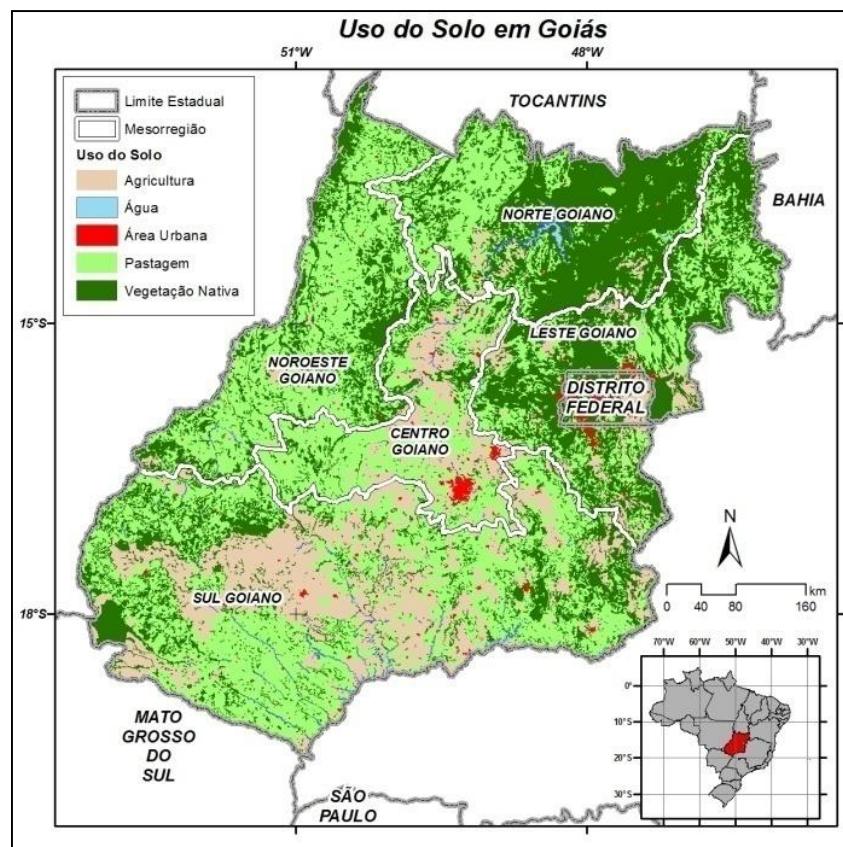


Figura 1: Uso do Solo em Goiás (SOUZA et al., 2014).

As principais formas de ocupação do solo em Goiás, agricultura e pecuária, posiciona favoravelmente o estado diante da economia. De acordo com GOIÁS (2013), a agropecuária continua sendo a principal economia do estado, com produção aproximada de 13,3 milhões de toneladas de grãos, representando 9% da produção nacional, quarto maior produtor nacional de grãos. A pecuária goiana, altamente expressiva, posiciona o estado dentre os maiores produtores do país. Já o setor industrial em Goiás é diversificado, com enfoque em mineração e produção de álcool, estando a caminho de se tornar um dos líderes nacionais na produção de etanol.

O sistema de abastecimento de água no estado é operado em parte dos municípios pela Companhia Estadual, SANEAGO, e em parte pelas prefeituras. A SANEAGO atua em 225 municípios aproximadamente 92% dos municípios goianos, representando um total de 93,33% da população do estado. O índice de atendimento total de água nos municípios operados pela SANEAGO é de 85%, e de 94% para o índice de atendimento urbano de água. Com relação ao sistema de esgotamento sanitário, observa-se que apenas 30% dos municípios operados pela SANEAGO possuem algum tipo de atendimento de sistema de esgoto sanitário, com 54% da população urbana destes municípios possuindo

acesso a este serviço (BRASIL, 2014).

Todas as 183 bacias hidrográficas estudadas neste trabalho são de mananciais de abastecimento público da SANEAGO, que abastecem 177 municípios, com áreas que variam de 0,075km², como é o caso das bacias de captação que abastece o município de Adelândia, até 12.129,26 km², bacia que abastece o município de Caçú.

MATERIAIS E MÉTODOS

Delimitação das Bacias Hidrográficas

As bacias hidrográficas foram delineadas neste trabalho utilizando-se o programa computacional ArcGIS 10.1 e adotando as coordenadas dos pontos de captação de água como exutório das bacias. Utilizou-se os dados altimétricos produzidos no âmbito do projeto Topodata, elaborado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (VALERIANO E ROSSETTI, 2011). Estes dados foram selecionados por um processo de eliminação de dados espúrios (depressões ou saliências), utilizando-se o algoritmo de preenchimento, que detecta os pontos de depressões e saliências, e em seguida calcula um valor médio, baseado em valores vizinhos ao ponto espúrio (PLANCHON E DARBOUX, 2001).

Os mapas de direção e de acumulação de fluxo foram produzidos utilizando-se a sobreposição do mapa altimétrico com o mapa de rede de drenagem. O mapa de direção de fluxo classifica o relevo em oito direções, considerando a análise altimétrica relativa, enquanto que o mapa de acumulação de fluxo considera os valores altimétricos para detectar a quantidade de células por onde a água percorre até chegar a uma determinada célula (GRUBER E PECKHAM, 2008).

EUPS para estimativa das perdas de solo com de ferramenta de Geotecnologia

As perdas de solo foram estimadas pela EUPS, proposta por Wischmeier e Smith (1978) (Equação 1).

$$A = R \times K \times LS \times CP \quad (1)$$

Onde, A = estimativa da perda média anual de solo (tonha⁻¹ano⁻¹); R= erosividade da precipitação e da enxurrada (MJ mm ha⁻¹ ano⁻¹); K = fator de erodibilidade do solo (ton

ha MJ⁻¹ mm⁻¹); LS = comprimento de rampa (adimensional); CP = fator de cobertura e manejo da cultura no local e fator de prática agrícola utilizada (sendo P= 1).

O valor da Erosividade da Precipitação (R) para as bacias hidrográficas estudadas foi calculado utilizando registros contínuos da série histórica de precipitação pluviométrica (milímetros dia⁻¹) disponibilizada por “Tropical Rainfall Measuring Mission” (TRMM). O qual é satisfatório com relação ao grau de confiabilidade (NOBREGA *et al.*, 2008). Apresentando-se aplicável em estudos direcionados para fins hidrológicos, principalmente no Brasil (COLLISCHON *et al.*, 2007; NOBREGA *et al.*, 2008). A erosividade é obtida a partir da aplicação da equação 2 e 3.

$$R = \sum_{i=1}^{12} EI_{30i} \quad (2)$$

sendo que:

$$EI_{30i} = 67,3555 \left(\frac{r^2}{P} \right)^{0,85} \quad (3)$$

onde: EI30= média mensal do índice de erosividade; r = média mensal da precipitação; P = média anual da precipitação; i = índice de meses; R = erosividade.

As estimativas de precipitações acumuladas diárias foram obtidas para o ano de 2012 com resolução de 0,25 x 0,25 graus.

Os valores de erodibilidade do solo K foram obtidos por meio de dados da literatura proposto por Silva e Alvares (2005), conforme Quadro 1. Os autores dessa pesquisa realizaram a compilação de informações de diversos trabalhos científicos para a estruturação de um banco de dados e determinação dos valores médios (médias aritméticas) de erodibilidade para cada classe de solo.

Quadro1 -Valores de erodibilidade para grandes grupos de solo

Grandes Grupos de Solos	Erodibilidade (ton h MJ⁻¹ mm⁻¹)
Argissolos	0,01990
Cambissolos	0,0182
Chernossolos	0,0104
Espodossolos	0,0248
Gleissolo	0,0279
Latossolo	0,0043
Neossolos	0,0127
Nitossolos	0,0091
Organossolos	0,0124
Planossolos	0,0134

Fonte: Silva e Alvares (2005)

O fator comprimento de rampa (LS) foi determinado a partir do processamento dos dados altimétricos obtidos junto ao projeto Topodata/INPE, trabalhando com o modelo proposto Moore e Burch (1986), utilizado por Shiferaw (2011) e Silva (2014), utilizando a equação 4.

$$LS = \left(\frac{\text{fluxo acumulado} \times \text{tamanho da célula}}{22,13} \right)^{0,4} \times \left(\frac{\text{sen(declividade)}}{0,0896} \right)^{1,3} \quad (4)$$

Para a determinação do uso e ocupação do solo nas bacias, utilizou-se o mapa de uso e cobertura vegetal da terra do estado de Goiás, elaborados no âmbito do projeto “Macrozoneamento, Agroecológico e Econômico do estado de Goiás”, a partir do processamento de imagens Landsat/TM-5 de 2011 (GOIÁS, 2011).

Em seguida foi aplicada a metodologia proposta por Baptista (2003), na qual são correlacionadas as classes de uso e ocupação de solo com os fatores C e P integradas, tornando-se CP.

No mapa de uso e ocupação do solo, as classes foram associadas a valores de CP pré-determinados na metodologia adotada por Baptista (2003) (Quadro 2).

Quadro 2-Valores de CP para classes de uso e ocupação do solo

Uso e ocupação do solo	CP
Espaço urbano consolidado	0,0
Agricultura	0,12
Pastagem	0,055
Cerrado	0,0007
Floresta Estacional	0,00004
Banco de Areia	1,0

Fonte: Baptista (2003)

Cálculo da EUPS

Todos os fatores da EUPS foram mapeados para toda a área geográfica do estado de Goiás, sendo, portanto produzidos mapas de erosividade (fator R), de erodibilidade dos solos (fator K), de comprimento de rampa (fator LS) e de classes de uso e ocupação do solo, combinado com práticas conservacionistas (fator CP). Esses mapas foram armazenados digitalmente em estrutura matricial, com resolução espacial de 30 metros. Em seguida, por meio de ferramentas computacionais de álgebra de mapas, realizou-se a multiplicação de todos dos componentes da EUPS, obtendo a seguir o mapa de perda de

solo para todo o estado de Goiás, no qual cada célula, com resolução espacial de 30 metros, tem um valor de perda de solo calculado.

Posteriormente, por meio de operações zonais, integrou-se a área de cada bacia hidrográfica delineada, com o mapa de perda de solo do estado de Goiás, obtendo-se um valor médio para cada uma das 183 bacias estudadas, de onde foram elaborados mapas adotando coloração dentro do conjunto de bacias. Os valores obtidos foram classificados de acordo com os níveis de susceptibilidade a erosão proposta por Perovic et al, (2013), podendo ser observado no Quadro 3, no qual possibilitou também avaliar os resultados obtidos de perda de solo com susceptibilidade à erosão.

Quadro 3 - Susceptibilidade Erosiva a partir da EUPS

Susceptibilidade Erosiva	ton.ha⁻¹.ano⁻¹
Fraca	0 - 5
Moderada	5 - 10
Alta	10 - 20
Muito Alta	20 - 40
Severa	40 - 80
Muito Severa	>80

Fonte: Perovic et al. (2013)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O primeiro resultado obtido foi o mapa das bacias de captação de água no estado de Goiás, cujo tratamento de água e abastecimento público municipal é de responsabilidade da SANEAGO. São 183 bacias, sendo que várias delas possuem sobreposição espacial (Figura 2). Ao todo, as bacias de captação ocupam uma área do estado de Goiás de 64.071,75 km², ou seja, 18,8% da área do estado. Muitas bacias ocupam áreas de vários municípios.

A heterogeneidade das áreas das bacias de captação é uma de suas características, variando de poucos a muitos quilômetros quadrados. Em geral, o tamanho da bacia de captação tem relação com a localização do ponto de captação, que foi adotado como exutório no processo de delimitação das bacias.

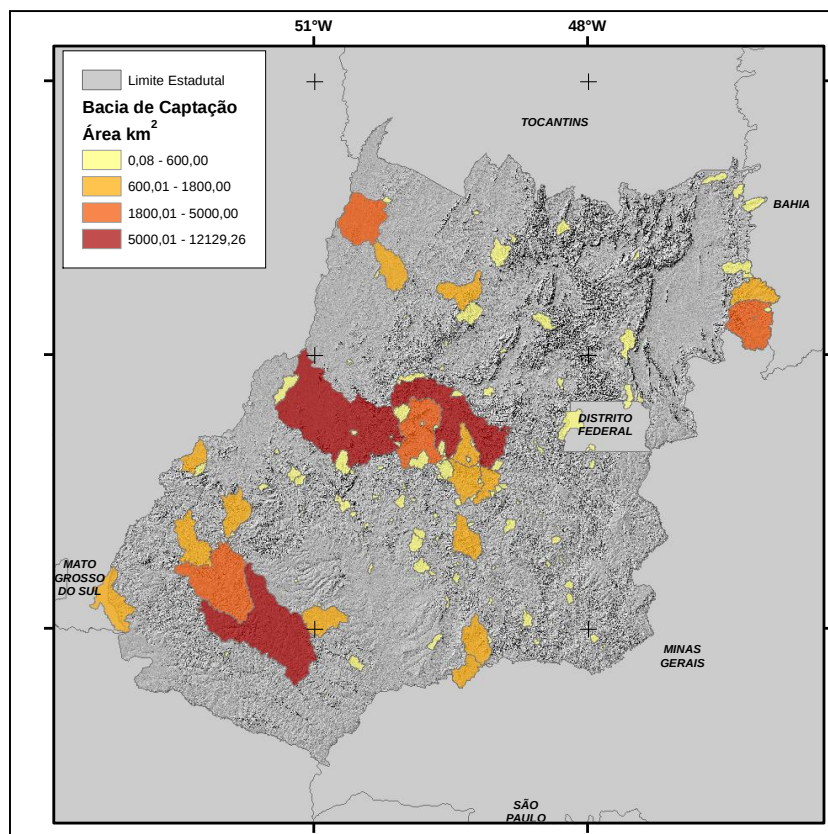


Figura 2 - Bacias de captação de água para abastecimento público de municípios goianos sob responsabilidade da Saneago.

Após a delimitação das bacias de captação, foram elaborados os mapeamentos dos fatores R, K, LS e CP utilizados na EUPS (Figura 3).

O mapeamento da erosividade (Figura 3a) evidenciou que na porção noroeste do estado de Goiás ocorrem os maiores índices pluviométricos, enquanto nas porções sudeste e nordeste sofrem as menores erosividades. Devido ao relevo predominantemente de baixa declividade em todo o estado, os maiores comprimentos de rampa identificados, localiza-se na parte norte de Goiás e na região do entorno do Distrito Federal, com expressivas porções de terra nas regiões noroeste, nordeste e sul do estado onde os comprimentos de rampa são praticamente nulos (Figura 3b).

Em relação à cobertura do solo e as práticas conservacionistas (CP), os maiores valores encontrados (Figura 3c), coincidem com as áreas ocupadas com agricultura (cor vermelha), em seguida estão as áreas de pastagem (cor laranja), depois as áreas cobertas com vegetação nativa (cor verde-clara), e finalmente os valores nulos ficaram em áreas urbanizadas e em corpos hídricos (cor verde-escura). Observou-se neste estudo que varias das bacias de captação de água em Goiás, principalmente as localizadas nas porções sul

e central do estado vem sofrendo intensa pressão antrópica resultante das atividades agropecuárias e também da urbanização.

O mapa de erodibilidade do solo (Figura 3d), mostra que existem porções expressivas do estado de Goiás, onde predominam cambissolos, neossolos, gleissolos e argissolos, que são os maiores valores de erodibilidade, os quais estão apresentados nos mapas nas cores laranja e vermelha. Por outro lado, os planossolos, latossolos e plintossolos, na tonalidade verde, são os solos com menores valores de erodibilidade.

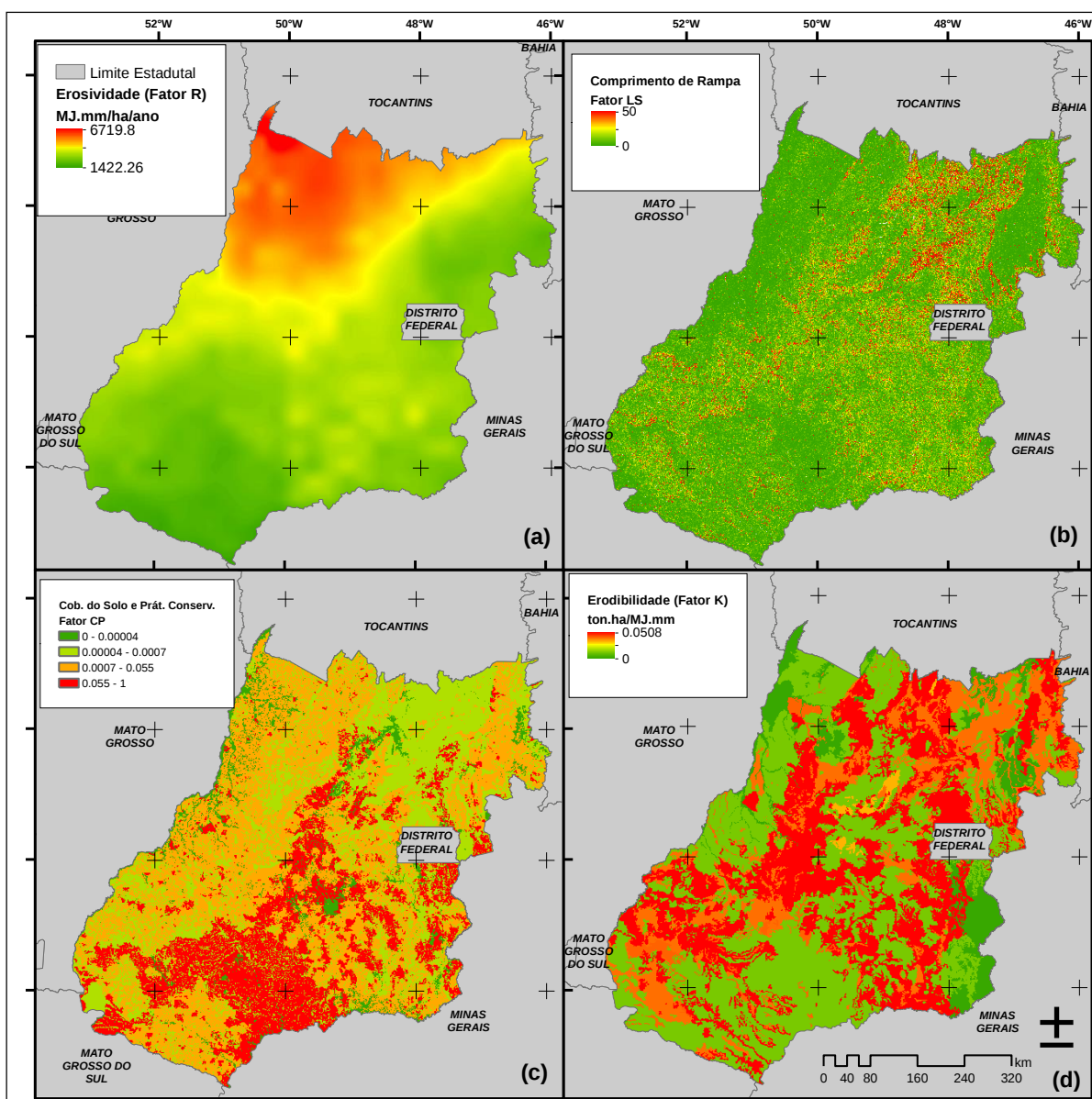


Figura 3 - Mapeamento dos fatores utilizados no cálculo da EUPS, (a) erosividade, (b) comprimento de rampa, (c) cobertura e práticas conservacionistas e (d) erodibilidade do solo.

Por meio da multiplicação dos mapeamentos dos fatores da EUPS, obteve-se o mapeamento da susceptibilidade à erosão do estado de Goiás, conforme se pode observar na Figura 4.

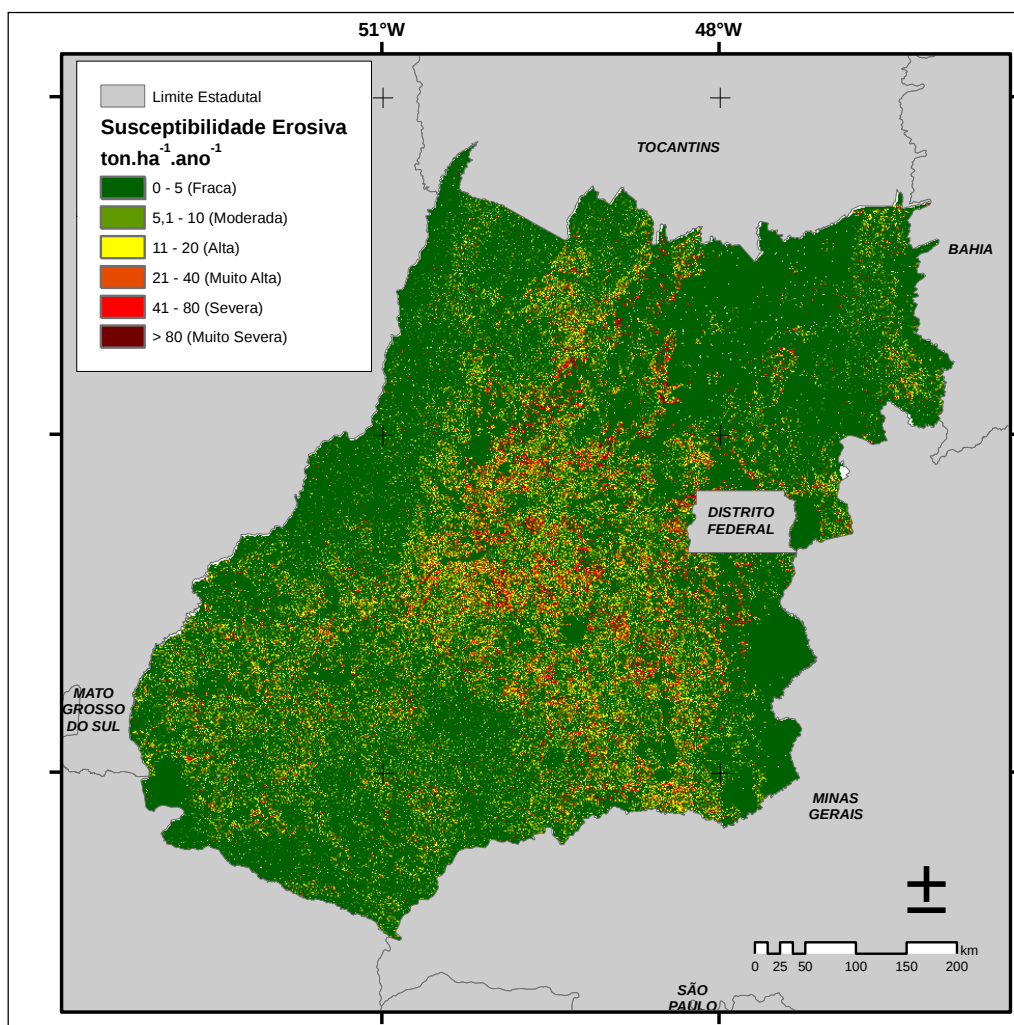


Figura 4 - Mapa de susceptibilidade erosiva em Goiás.

A maior parte da área do estado de Goiás, 77,58% da área, de acordo com a aplicação da EUPS, apresenta perda de solos menor ou igual a 5 $\text{ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, portanto com de solos pode variar de 5 a 10 $\text{ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, apenas 8,5% da área do estado se enquadra nesta categoria. Os locais com perdas de solos entre 10 e 20 $\text{ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, contendo susceptibilidade erosiva alta, totalizam 6,91% da área do estado de Goiás. Apenas 4,31% da área do estado de Goiás apresentam perda de solos variando de 20 a 40 $\text{ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, possuindo muito alta sensibilidade erosiva, em seguida tem-se as áreas com susceptibilidade erosiva severa (entre 40 e 80 $\text{ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$), ocupando 1,92% da área do estado, o restante da área do estado de Goiás, 0,76%, contendo susceptibilidade erosiva

muito severa, com perda de solos superior a 80 $\text{ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. fraca sensibilidade erosiva. No caso de susceptibilidade erosiva moderada, onde a perda

Por meio de análise zonal entre o mapa de bacias hidrográficas de captação (Figura 2) e o mapa resultante da EUPS (Figura 4), foram calculadas a média da perda de solos em cada bacia de captação de água em Goiás, as quais estão dispostas na Figura 5 conforme classificação da susceptibilidade erosiva proposto por Perovic et al. (2013).

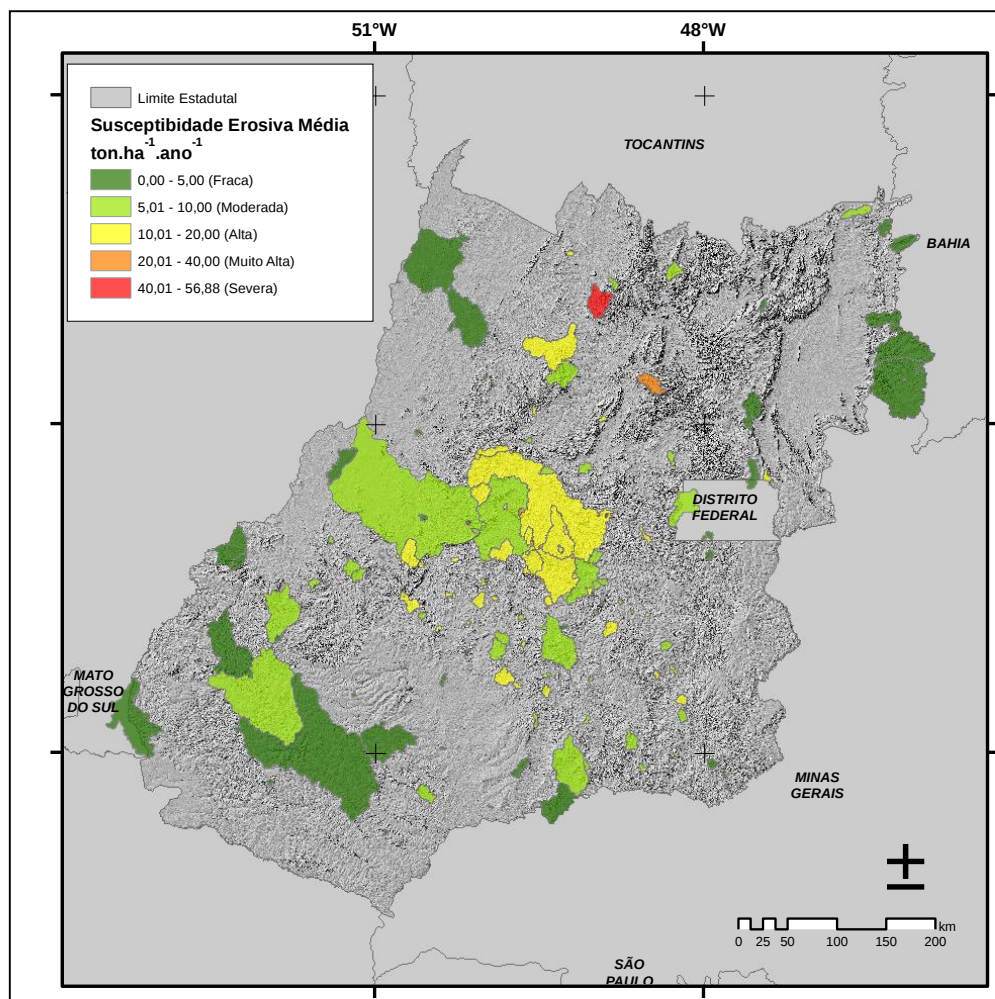


Figura 5 - Susceptibilidade erosiva média das bacias de captação

Os resultados obtidos neste estudo demonstraram que a maioria das bacias de captação apresentou fraca e moderada susceptibilidade erosiva, o que está bastante relacionado com o relevo de baixa declividade em todo o estado. Nas bacias com alta e muito alta susceptibilidade erosiva, os fatores determinantes foram o comprimento de rampa (LS) em conjunto com a erodibilidade (K) do solo, que desempenham papéis importantes no processo de erosão do solo, assim como identificado no trabalho de Perovic et al. (2013).

No Quadro 4 estão dispostos os municípios divididos quanto a susceptibilidade erosiva média apresentada por suas bacias de captação. Pode ser observado que 62 municípios goianos apresentaram susceptibilidade erosiva fraca e 49 municípios fazem a captação em bacias com susceptibilidade erosiva moderada. Considerando as bacias de captação com alta susceptibilidade erosiva, apresentando importantes quantidades de perdas de solos por hectare durante o ano, foram encontrados 56 municípios abastecidos por águas captadas em bacias com situação que merece maiores cuidados. O município de Goiânia é abastecido por água captada e tratada das bacias do córrego Samambaia e do ribeirão João Leite, com susceptibilidade erosiva moderada, e da bacia do rio Meia Ponte com alta susceptibilidade erosiva. Ainda no Quadro 4, com maior preocupação, tem-se que em Goiás, 10 municípios estão captando água em bacias hidrográficas com susceptibilidade erosiva muito alta e os municípios de Santa Tereza de Goiás e Goiás (córrego Pedro Ludovico) abastecidos por bacias de captação com susceptibilidade erosiva severa. Esta situação tem influência direta do relevo, com altos valores de comprimento de rampa, combinado tipo de solo de alta erodibilidade. É importante mencionar que o município de Goiás possui duas outras bacias de captação, um com susceptibilidade erosiva moderada e outra com susceptibilidade erosiva alta, ambas localizadas no córrego Bacalhau.

Quadro 4 – Municípios divididos quanto a classificação da susceptibilidade erosiva média de sua bacia de captação de água para abastecimento público.

<i>Municípios abastecidos por bacias de captação com fraca susceptibilidade erosiva</i>
Abadia de Goiás, Acreúna, Adelândia, Alto Paraíso, Alvorada do Norte, Amorinópolis, Aparecida de Goiânia, Aragarças, Araguapaz, Bom Jardim de Goiás, Bom Jesus de Goiás, Britania, Buritinópolis, Cachoeira Alta, Cachoeira Dourada, Caçú, Caiapônia, Campo Alegre, Catalão, Cavalcante, Cidade Ocidental, Cocalzinho, Cristalina, Crixás, Damianópolis, Divinópolis de Goiás, Doverlândia, Goiatuba, Iaciara, Inaciolândia, Israelândia, Itapirapuã, Itarumã, Jandaia, Jussara, Luiz Alves, Luziânia, Mambai, Maurilândia, Monte Alegre de Goiás, Montividiu, Mozarlândia, Mundo Novo de Goiás, Nova Crixás, Novo Gama, Ouvidor, Pilar de Goiás, Pirenópolis, Planaltina, Portelândia, Posse, Rio Verde, Santa Bárbara de Goiás, Santa Helena de Goiás, Santa Rita do Araguaia, São Domingos, São João da Aliança, São José dos Bandeirantes, São Miguel do Araguaia, Serranópolis, Terezina de Goiás e Três Ranchos.
<i>Municípios abastecidos por bacias de captação com moderada susceptibilidade erosiva</i>
Água Limpa, Aloândia, Anápolis, Aragoiânia, Arenópolis, Aruanã, Aurilândia, Buriti Alegre, Caldazinha, Campestre de Goiás, Campos Belos, Cezarina, Corumbá, Cromínia, Cumari, Diorama, Formoso, Goianápolis, Goianésia, Goiânia, Goiás, Guapó, Indiara, Ipameri, Iporá, Itumbiara, Jataí, Jauapací, Joviânia, Leopoldo de Bulhões, Marzagão, Minaçu, Montes Claros de Goiás, Morrinhos, Nova Glória, Orizona, Padre Bernardo, Palmeiras de Goiás, Palminópolis, Piracanjuba, Piranhas de

Goiás, Professor Jamil, Quirinópolis, Rianópolis, Santa Tereza, Santo Antônio do Descoberto, Silvania, Uruaçu e Uruana.
<i>Municípios abastecidos por bacias de captação com alta susceptibilidade erosiva</i>
Alexânia, Americano do Brasil, Anicuns, Araçú, Barro Alto, Bela Vista, Brazabrantes, Campo Verde, Carmo do Rio Verde, Ceres, Rialma, Córrego do Ouro, Damolândia, Edealina, Edéia, Estrela do Norte, Fazenda Nova, Firminópolis, Formosa, Goiânia, Goiás, Heitorai, Hidrolândia, Inhumas, Itaberaí, Itaguarí, Itapuranga, Itauçu, Jaraguá, Moiporá, Morro Agudo de Goiás, Nerópolis, Petrolina de Goiás, Pontalina, Porangatu, Rubiataba, Sanclerlândia, São Francisco de Goiás, São João da Paraúna, São Luis de Montes Belos, Terezópolis, Trindade, Turvânia, Urutaí, Varjão e Vianópolis.
<i>Municípios abastecidos por bacias de captação com muito alta susceptibilidade erosiva</i>
Avelinópolis, Bonfinópolis, Campo Limpo, Caturaí, Niquelândia, Interlândia, Itaguarú, Ouro Verde, Santa Rosa de Goiás e Taquaral de Goiás.
<i>Municípios abastecidos por bacias de captação com severa susceptibilidade erosiva</i>
Santa Tereza de Goiás e Goiás.

CONCLUSÃO

O presente trabalho permitiu concluir que a aplicação do modelo EUPS, juntamente com o geoprocessamento, é de substancial importância para um mapeamento da susceptibilidade erosiva de bacias hidrográficas onde estão inseridas as captações de água para consumo humano, contribuindo dessa forma no planejamento conservacionista e no controle imediato das áreas que apresentam situações mais críticas.

Com a metodologia empregada, foi detectada que a maioria das bacias de captação do estado de Goiás apresenta fraca e moderada susceptibilidade erosiva, estando relacionado com o relevo e baixa declividade nessas áreas. Um grupo pequeno apresentou susceptibilidade erosiva muito alta e severa, assim como a bacia do rio Meia Ponte, um dos principais mananciais de abastecimento de Goiânia, a capital do estado, que está inserida na classe de alta susceptibilidade erosiva. Portanto, as bacias inseridas nestas classes necessitam de atenção imediata do ponto de vista da conservação do solo por parte dos municípios na gestão de suas bacias de mananciais de abastecimento.

Nestes casos a adoção de práticas conservacionistas dos solos, a instrução dos proprietários rurais para utilização adequada do solo e elaboração de programa de apoio e incentivo à conservação do meio ambiente são instrumentos importantes no processo de proteção desses mananciais de abastecimento.

Diante desse cenário, recomenda-se o estabelecimento de legislações que regulamente o uso e ocupação do solo para bacias de mananciais de captação, sendo este

um instrumento viabilizador da preservação desses mananciais, bem como para a sua manutenção da qualidade e quantidade da água.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) por conceder uma bolsa de estudo para o primeiro autor;

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Panorama do enquadramento dos corpos d'água do Brasil, e Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil.** / coordenação geral, João G.L. Conejo; coordenação executiva, Marcelo P. da Costa, José Luiz Gomes Zoby. Brasília: ANA, 2007.

BAPTISTA, G.M.M. **Diagnóstico ambiental de erosão laminar: Modelo Geotecnológico e aplicação.** Editora Universa. Brasília, DF. 2003, 140p.

BENATTO, L.; GOMES, J.P.M.; MERTEN, G.H. Estimativa de perda de solo através da equação universal de perdas de solo considerando diferentes cenários de manejo do solo.in **Anais do VII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos**, Porto Alegre, Nov. 2006.

BESKOW, S.; MELLO, C.R.; NORTON, L.D.; CURI, N.; VIOLA, M.R.; AVANZI, J.C. **Soil erosion prediction in the Grande River Basin, Brazil using distributed modeling.** Catena, 79: 49-59, 2009.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2012.** Brasília: SNSA/MCIDADES, 2014. 164 p.

COLLISCHONN, B.; ALLASIA, D.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C.E.M. Desempenho do satélite TRMM na estimativa de precipitação sobre a bacia do Paraguai superior. **Revista Brasileira de Cartografia**, nº 59/01, 2007.

CORREA, C.P.; ALIAGA, C. Evaluación de la pérdida de suelo, asociada al proceso de expansión urbana y reconversión productiva. Caso: comunas de Los Andes, Quillotay Concón, Valle del Aconcagua. **Revista de Geografía Norte Grande**, Pontifica Universidad Católica do Chile, Santiago-Chile, 2009.

ELÇI, S.; SELÇUK,P. Effects of basin activities and land use on water quality trends in Tahtali Basin, **Turkey Environ Earth Sci**, n.68, p.1591-1598, 2013.

GOIÁS (Estado). Secretaria de Indústria e Comércio. Superintendência de Geologia e Mineração. **Caracterização Climática do Estado de Goiás.** Goiânia, 2006.

GOIÁS (Estado). **Macrozoneamento, Agroecológico e Econômico do Estado de Goiás: Um Novo Olhar sobre o Território Goiano**, Goiânia, 2011.

GOIÁS (Estado). Secretaria de Estado de Gestão e Planejamento (SEGPLAN); Instituto Mauro Borges de Estatísticas e Estudos Socioeconômicos. **Goiás em Dados**, Goiânia, 2013.

GRUBER, S., PECKHAM, S. Land-Surface Parameters and Objects in Hydrology. In: Hengl, T. and Reuter, H.I. [Eds.]: **Geomorphometry: Concepts, Software, Applications**. Developments in Soil Science, Elsevier, n. 33, p. 293-308, 2008.

HERMUCHE, P.M.; GUIMARÃES, G. M. A.; CASTRO, S. S. Análise dos compartimentos morfoedológicos como subsídio ao planejamento do uso do solo em Jataí – GO. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, n. 26, p. 113-131, 2009.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. **Censo Demográfico**. Rio de Janeiro, 2013.

LIMA, J.E.F.W.; E.M. Análise da situação dos recursos hídricos do cerrado com base na importância econômica e socioambiental de suas águas. **II Simpósio Internacional Savanas Tropicais. IX Simpósio Nacional do Cerrado**. 12 a 17 de outubro, Brasília, 2008.

MOORE, I.D.; BURCH, G. L. Modeling erosion and deposition: topographic effects. **Transaction of the ASAE**. v. 20, n. 6, p. 1624 –1630, 1986.

NEVES, S.M.A.S.; MOTINHO, M.C.; NEVES, R.J.; SOARES, E.R.C. Estimativa da perda de solo por erosão hídrica na bacia hidrográfica do Rio Jauru/MT. **Sociedade & Natureza**, ano 23, n. 3, p. 423-434, set/dez, 2011.

NOBREGA, R.S. *et al.*, *Análise da Estimativa de Precipitação do TRMM em uma Sub-bacia da Amazônia Ocidental*. **Revista de Geografia**. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. 25, nº1, jan/abr. 2008.

OLIVEIRA, P.T.S.; ALVES SOBRINHO, T.; RODRIGUES, D.B.B.; PANACHUKI, E. Erosion risk mapping applied to environmental zoning. **Water Res. Manag.**, 25:1021-1036, 2011.

PEROVIC, V.; ZIVOTIC, L.; KADOVIC, R.; DORDEVIC, A.; JARAMAZ, D.; MRVIC, V.; MRVIC, V.; TODOROVIC, M. Spatial modelling of soil erosion potential in an unglaciated watershed of South-eastern Serbia. **Environ Earth Sci**, n.68, p.115–128, 2013.

PLANCHON, O.; DARBOUX, F. A fast, simple and versatile algorithm to fill the depressions of digital elevation models. **Catena**, n. 46, p.159-176, 2001.

PRUSKI, F.F.; BRANDAO, V.S.; SILVA, D.D. **Escoamento superficial**. 2a ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2008.

SHIFERAW, A. Estimating soil loss rates for soil conservation planning in the BorenaWoreda of South Wollo Highlands, Ethiopia. **Journal of Sustainable Development in Africa**. v.13, n.3, 2011.

SILVA, A.M.; ALVARES, C.A. Levantamento de informações e estruturação de um banco dados sobre a erodibilidade de classes de solos no estado de São Paulo. **Geociências**, v. 24, n. 1, p. 33-41, 2005.

SILVA, C.L. **Estudo dos impactos das atividades aeroportuárias utilizando dados de sensoriamento remoto**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais), Universidade de Brasília, 2014.

SOUZA S.B. **Variabilidade da qualidade de água bruta e seus efeitos sobre a saúde ambiental e o saneamento em Goiás**. Tese (Doutorado de Ciências Ambientais), Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

VALERIANO, M.M.; ROSSETTI, D. F. Topodata: Brazilian full coverage refinement of SRTM data. **Applied Geography (Sevenoaks)**, v. 32, p. 300-309, 2011.

VANZELA, L.S.; HERNANDEZ, F.B.T.; FRANCO R.A.M. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.1, p. 55–64, 2010.

WISCHMEIER, W.H; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses - A guide to conservation planning**.U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook, n.537, Washington, 1978.

CAPÍTULO II

PREDIÇÃO DE PERDA DE SOLO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS DE MANANCIAIS DE CAPTAÇÃO POR DIFERENTES FERRAMENTAS, APLICAÇÃO E AVALIAÇÃO DA SIMILARIDADE

**Soil loss prediction at hidrografic basin of water catchment for too different,
aplication and similarity evaluation**

PREDIÇÃO DE PERDA DE SOLO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS DE MANANCIAIS DE CAPTAÇÃO POR DIFERENTES FERRAMENTAS, APLICAÇÃO E AVALIAÇÃO DA SIMILARIDADE

Soil loss prediction at hidrografic basin of water catchment for too different, aplicacion and similarity evaluation

RESUMO

Os modelos matemáticos são importantes ferramentas para a previsão das perdas de solo resultantes dos diferentes usos que determinada área está submetida. Esses se baseiam em informações fornecidas sobre o meio ambiente, necessitando de dados tal como a variáveis climáticas. O objetivo principal deste estudo é a comparação da aplicabilidade direta do método EUPS frente ao método implementado no *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) em bacias hidrográficas de Goiás. O presente trabalho faz o uso das ferramentas para a estimativa de produção de sedimentos de bacias não instrumentadas, sendo desenvolvido em cinco diferentes bacias, localizadas em Goiás. Com relação a perda de solo, os maiores valores foram para a bacia do córrego Bacalhau e o menor para a bacia do ribeirão das Lajes. Foram observadas fortes evidências de que a magnitude da perda de solo está relacionada com fatores como clima, topografia, existência de vegetação e relevo. A análise estatística utilizando a ACP, produziu resultados que demonstram que a perda de solo da EUPS e do SWAT estão no F1 com valores elevados, junto com a declividade e a temperatura, mostrando uma tendência semelhante que permite agrupá-las. A regressão linear confirmou a similaridades nos resultados entre os valores de perda de solo encontrados no SWAT e na EUPS.

Palavras-chave: EUPS; SWAT; Análise de Componentes Principais (ACP).

ABSTRACT

Mathematical models are important tools for prediction of soil loss resulting from the different uses that particular area were submitted. These are based on information provided on the environment, requiring data such as climatic variables. The aim of this study is to compare the direct applicability of USLE forward method to method implemented in SWAT in Goias watersheds. This work makes use of tools in estimating production of non-instrumented basins sediment, being developed in five different basins, located in Goias. With respect to soil loss, the highest values were for the river Bacalhau and the lowest for the basin of the river Lajes. They were found strong evidence that the

magnitude of soil loss is related to factors such as climate, topography, existing vegetation and topography. Statistical analysis using the PCA produced results that demonstrate soil loss and SWAT USLE is in F1 with high values, along with the slope and temperature, showing a similar trend that allows joining them. Linear regression confirmed the similarities in results between the soil loss values found in SWAT and USLE.

Keywords: USLE, SWAT; principal components analysis (PCA).

INTRODUÇÃO

O aumento de processos erosivos tem se tornado um problema global grave, devido ao impacto econômico proporcionado na área, aos problemas ambientais relacionados ao processo, como o assoreamento de cursos de água e de reservatórios, alteração da qualidade da água dos mananciais superficiais e consequentemente aos custos adicionais envolvidos no tratamento de água (TESFAHUNE et al., 2012).

Diversas pesquisas apontam que as mudanças de uso e cobertura do solo surgem de acordo com as necessidades e padrões impostos pela economia global e têm diferentes efeitos nos ecossistemas e na sociedade. Assim, analisar as possíveis alterações na paisagem e seus impactos constitui uma tarefa complexa, sendo cada vez mais importante o desenvolvimento de pesquisas que mensurem com acurácia a magnitude das alterações no uso e na cobertura do solo (VANZELA et al. 2010; SILVA et al., 2012; GALHARTE et al., 2014; JACOB et al. 2015).

Para Panagos et al. (2016), entre os aspectos relacionados com os processos erosivos, a erosividade da chuva e o tipo de cobertura do solo são os fatores mais dinâmicos que envolvem os estudos de transporte de sedimentos. Se conhecer a variabilidade desses dois fatores é possível avaliar de forma realista e precisa a erosão do solo.

Assim, a identificação de áreas críticas relacionada a estes processos e o levantamento da quantidade de sedimentos transportado para o rio é essencial para diagnosticar as características e estado de uma bacia hidrográfica e ainda buscar a implementação eficiente de práticas e de programas de gestão de bacias, no qual inclua o monitoramento, quantificação e simulação das alterações ambientais provocadas na área (TRIPATHI et al., 2003; XAVIER, 2009). Todo o esforço envolvido nesses trabalhos é útil para selecionar e adotar medidas de conservação do solo adequadas para reduzir a erosão nas bacias.

Por isso, para melhor compreensão dos processos ambientais e dos impactos da alteração do uso do solo sobre a quantidade e qualidade da água, os estudos que envolvem bacias hidrográficas têm sido desenvolvidos com o suporte de modelos hidrossedimentológicos variados. Esses modelos são ferramentas que permitem uma quantificação aproximada do processo de erosão, facilitando o reconhecimento das áreas de alto risco e, conseqüentemente, o desenvolvimento de um planejamento eficiente para evitar futuras degradações do solo (SANTHI et al., 2001).

Dentre os modelos hidrossedimentológicos, existem aqueles que trabalham com a predição de perdas de solo e simulações de parâmetros hidrológicos, como a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) e o *Soil and Water Assessment Tool (SWAT)*, que se destacam nestes temas pela existência de um número considerável de trabalhos científicos que buscaram fornecer resultados de produção de sedimentos através da aplicação destes modelos para diversos locais no mundo (LAM et al., 2010; ELÇI & SELÇUK, 2013, PEROVIC et al., 2013).

A EUPS, proposta Wischmeier & Smith (1978), é um modelo matemático empírico, com maior aplicabilidade em relação aos modelos físicos e conceituais, utilizado há muitos anos na predição de perda de solo, inclusive em vários estudos de bacias no Brasil, apresentando bons resultados quando utilizado em conjunto com técnicas de geoprocessamento (KINELL, 2001; AMORIM, 2004; AYER et al., 2015).

Enquanto que o SWAT é um modelo paramétrico distribuído que permite inúmeras análises de diferentes processos físicos e de produção de sedimentos. Apesar de ser um modelo muito utilizado no mundo, ainda apresenta algumas restrições de utilização no Brasil relacionadas a calibração, devido à falta de dados necessários para alimentá-lo, em especial a ausência de dados hidrossedimentológicos que permitam sua validação (UZEIKA, 2012).

A maior parte dos trabalhos desenvolvidos com modelos hidrossedimentológicos buscaram a sua implementação por meio da calibração e validação, o que no Brasil, restringe os estudos a poucas bacias, uma vez que, como exposto anteriormente, ocorre a falta de dados necessários para alimentá-los (UZEIKA, 2012). Existem esforços na busca por desenvolver estudos capazes de analisar a influência das formas de uso e ocupação do solo e das práticas de manejo e conservação do solo sob os aspectos ambientais da área, levando desta forma ao desenvolvimento de pesquisas que utilizam os modelos hidrossedimentológico na análise do comportamento do modelo e não da calibração, o

que pode representar um avanço significativo no planejamento das bacias hidrográficas não instrumentadas.

Desta forma, este artigo apresenta o uso de ferramentas hidrossedimentológicas na estimativa de produção de sedimentos de bacias não instrumentadas. Foi avaliada a aplicabilidade direta do método EUPS frente ao método implementado no SWAT em bacias de mananciais de captação no estado de Goiás.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de Estudo

O trabalho foi conduzido em cinco diferentes bacias hidrográficas de mananciais que abastecem municípios do estado de Goiás, Rio Verde, Cidade de Goiás e Goiânia (**Figura 1**). O município de Rio Verde, inserido na região sudoeste do estado, abrange uma área de 8.388,295 km², com população estimada de 202.221 hab (IBGE, 2014). Foram realizadas simulações nas duas bacias de mananciais de abastecimento deste município, Ribeirão das Lajes, área de 17,12 km² e Ribeirão da Abóbora, área de 135,39 km². A média pluviométrica acumulado anual dos últimos 10 anos no município foi 1.685mm.

A Cidade de Goiás, com uma população estimada de 24.615 hab (IBGE, 2014), possui dois mananciais de abastecimento superficiais, o Córrego Bacalhau, cuja bacia possui área de 31,91 km² e o Córrego Pedro Ludovico, bacia hidrográfica com área de 11,67 km². A média anual de precipitação nos 10 anos estudados foi de 1.704 mm, com maior índice pluviométrico entre os meses de dezembro e janeiro. A bacia do rio Meia Ponte, um dos dois principais mananciais de abastecimento de Goiânia, possui uma área de 1.637,78 km² e média pluviométrica dos últimos 10 anos no município foi 1.802mm.

Em todos os municípios estudados, o clima predominante na região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, característico dos climas úmidos tropicais, com duas estações bem definidas, isto é, seca no inverno e úmida no verão (GOIÁS, 2006).

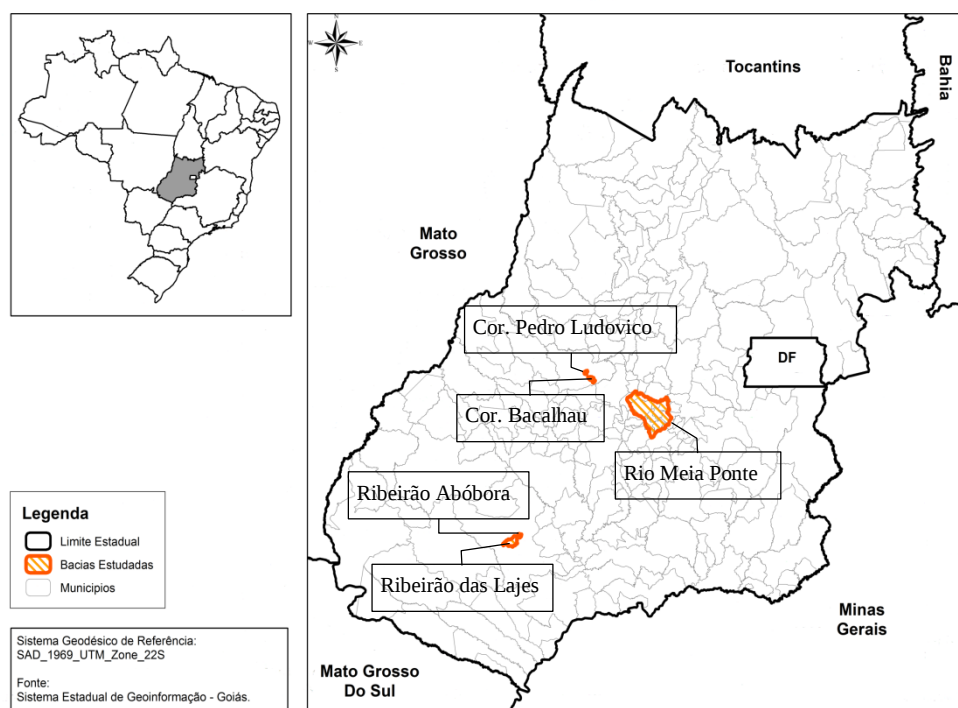


Figura 1: Localização das bacias hidrográficas estudadas no estado.

Modelos Empregados

Dados iniciais

Os métodos de cálculos espaciais empregados baseiam-se em ferramenta de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Tanto para a ferramenta de SWAT como para o cálculo da EUPS foram utilizados os seguintes dados cartográficos para cada uma das bacias hidrográficas estudadas: uso e ocupação do solo, tipos de solos e o Modelo de Elevação Digital (MDE) com resolução espacial de 30 metros.

O trabalho inicial consistiu em adotar as coordenadas dos pontos de captação de água para posteriormente delinear as bacias hidrográficas utilizando MDE e o programa computacional ArcGIS 10.1. Os dados de relevo utilizados possuem resolução espacial de 30 metros, produzidos no âmbito do Projeto TOPODATA, que realizou uma série de processamento de dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*).

Para a determinação do uso e ocupação do solo nas bacias, utilizou-se o mapa de uso e cobertura vegetal da terra do estado de Goiás, elaborados no âmbito do projeto “Macrozoneamento, agroecológico e econômico do estado de Goiás” (GOIÁS, 2011).

Os mapas de solos das bacias estudadas foram elaborado a partir do mapa digital de solos, escala 1:100.000, produzido a partir da digitalização dos mapas de solos do projeto RADAM-BRASIL, no âmbito do projeto de determinação de áreas prioritárias para unidades de preservação.

Além dos dados cartográficos, no caso de SWAT foi preciso a modificação da base de dados do modelo para sua adaptação às características próprias da área de estudo. Para a introdução e assimilação dos parâmetros regionais exigidos no modelo foram adotadas as equivalências recolhidas no trabalho de Baldissera (2005).

Equação Universal de Perda de Solo (EUPS)

É constituída por fatores naturais e antrópicos multiplicados entre si, que representados em uma equação resultam em perda de solo anual média por unidade de área (WISCHMEIER & SMITH, 1978), conforme apresentada em 1.

$$A = R \times K \times LS \times CP \quad (1)$$

Sendo:

A = estimativa da perda média anual de solo ($t.ha^{-1}.ano^{-1}$);

R= erosividade da precipitação e da enxurrada ($MJ.mm.ha^{-1}.ano^{-1}$);

K = fator de erodibilidade do solo ($t.ha.MJ^{-1}.mm^{-1}$);

LS = comprimento de rampa (adimensional);

CP = fator de cobertura e manejo da cultura no local e fator de prática agrícola utilizada (P= 1).

O valor da Erosividade da Precipitação (R) para as bacias hidrográficas estudadas foi calculado utilizando registros contínuos de precipitação pluviométrica ($mm.dia^{-1}$) disponibilizada por “*Tropical Rainfall Measuring Mission*” (TRMM). O uso deste tipo de técnicas de sensoriamento remoto, facilita a disponibilização da series de dados em bacias não monitorizadas, permitindo estimar o índice pluviométrico médio anual com um grau de confiabilidade suficiente (NOBREGA *et al.*, 2008), como foi aplicado em outros estudos hidrometeorológicos no Brasil como Collischon *et al.*, (2007); ou Nobrega *et al.* (2008). As estimativas de precipitações acumuladas diárias foram obtidas para o ano de 2012 com resolução de 0,25 x 0,25 graus.

Os valores de erodibilidade do solo K foram obtidos por meio de dados da literatura proposto por Silva e Alvares (2005). O fator topográfico (LS) foi calculado empregando-se o Modelo de Elevação Digital (MDE) e os registros coletados do banco de dados do projeto Topodata. Posteriormente, trabalhou-se com o modelo proposto Moore e Burch (1986) e utilizado por Shiferaw (2011), Silva (2014) e Santos *et al.* (2015) já no estado de Goiás em (2).

$$LS = \left(\frac{\text{fluxo acumulado} \times \text{tamanho da célula}}{22,13} \right)^{0,4} \times \left(\frac{\text{seno declividade}}{0,0896} \right)^{1,3} \quad (2)$$

Para a determinação do uso e ocupação do solo nas bacias, utilizou-se o mapa de uso e cobertura vegetal da terra do solo de Goiás, em seguida foi aplicada a metodologia proposta por Baptista (2003), na qual são correlacionadas as classes de uso e ocupação de solo com os fatores C e P integradas, tornando-se CP.

Soil and Water Assessment Tool (SWAT)

O modelo SWAT foi desenvolvido pelo Agricultural Research Service (ARS) (Arnold et al., 1998) nos Estados Unidos com o objetivo de analisar os impactos gerados pela alteração do uso do solo em bacias hidrográficas. Foi utilizado neste trabalho o modelo hidrossedimentológico ArcSWAT-2009 com a interface no ArcGis.

Para a utilização do modelo hidrológico SWAT é indispensável uma série de dados climáticos em escala temporal, podendo o período de tempo variar de acordo com o estudo que se deseja realizar. Para o desenvolvimento deste estudo foram utilizados dados diários de precipitação (mm), temperatura mínima e máxima (C°) e umidade (%) do período de 01 de janeiro de 2003 a 31 de dezembro de 2013, de três estações climáticas operadas pelo INMET – Instituto Nacional de Meteorologia.

- Rio Verde (83470): Coordenadas geográficas -17.6°S, -50.91°O; altitude 774m;
- Cidade de Goiás (83374): Coordenadas geográficas -15.91°S, -50.13°O; altitude 512m;
- Goiânia (83423): Coordenadas geográficas -16.66°S, -49.25°O; altitude 741m.

A radiação solar e velocidade do vento foram simuladas pelo SWAT, utilizando o gerador climático WXGEM, baseados nos dados da série histórica introduzida ao banco de dados do modelo.

Análise Estatística

Para os modelos estatísticos propostos no trabalho foram adotados os procedimentos referidos em Antunes et al. (2014) empregando o *software* XLSTAT 2014. Com o objetivo de verificar a correlação entre as variáveis, declividade média, área total da bacia, número de sub-bacias, porcentagem de vegetação nativa, precipitação média e máxima (mm/ano) e temperatura mínima e máxima (°C), foram realizadas técnicas estatísticas exploratórias de Análise em Componentes Principais (ACPs) de Sperman.

A partir dos resultados obtidos, estabeleceu-se a correlação entre as variáveis SWAT e EUPS, por meio de um modelo de regressão linear com uma tolerância de 0.001 e um intervalo de confiança de 95%, a fim de se elucidar o nível de relação entre elas. Na ACP foram utilizadas variáveis climáticas e morfológicas contempladas nos modelos para as cinco bacias estudadas, buscando levantar padrões de correlação entre elas e a identificação das que mais se destacam, visto que a finalidade da análise dos componentes principais (ACP) é obter escores que explicam essas correlações (SINGH et al., 2004). A ACP é uma ferramenta exploratória, de ampla utilização em diversas áreas e inclusive em estudos ambientais (LIU et al., 2003; LAMBRAKIS et al., 2004; SILVA et al., 2010; GUEDES et al., 2012).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se uma diversificação nas classes de uso do solo e dos tipos de solos das diferentes bacias estudadas (**Figura 2**). No município de Rio Verde, na bacia do ribeirão das Lajes existe apenas uma classe de uso do solo (agricultura). Enquanto que na bacia do ribeirão Abóbora o solo é constituído principalmente por Latossolo em mais de 90% da área e de Argissolo em 4,79%, que são solos de moderadamente a bem drenados, inseridos no grupo hidrológico B de mínima saturação hidráulica, com uma condutividade hidráulica saturada (SOL_K) de 90 mm/h (BALDISSERA, 2005). O uso do solo desta bacia é composto por cinco tipos diferentes, com predominância da agricultura, presente em mais de 70% da área.

O segundo município estudado, Cidade de Goiás, também apresenta duas bacias hidrográficas de captação. O córrego Bacalhau possui o uso e ocupação misto, com presença de cerrado (60%), pastagem (32%) e área urbana (8%). E a bacia do córrego Pedro Ludovico é ocupada totalmente por pastagem. O solo encontrado nas duas bacias é o Cambissolo, considerado como solo raso ou pouco profundo, com erodibilidade muito alta, favorecendo valores elevados de perda de solo (BALDISSERA, 2005 e HERMUCHE et al., 2009).

A bacia do rio Meia Ponte é a maior bacia estudada e apresenta seis diferentes classes de uso e ocupação do solo, sendo elas: agricultura (43,71%), pastagem (39,98%), floresta (11,90%), urbano (3,35%), cerrado (0,9%) e água (0,14%) e cinco classes de solo. Destaca-se que esta bacia foi delimitada tendo como ponto de exutório a captação de água da cidade de Goiânia, a qual se encontra em uma área à montante da grande ocupação

urbana desta, o que justifica a pequena ocupação urbana no mapa de uso de solo processado para este trabalho.

Os valores anuais de erosividade de chuva encontrados para as bacias estudadas estão apresentadas na **Tabela 1**. Segundo a classificação interpretativa de Carvalho (2008,) os valores médios encontrados podem ser considerados como erosividade fraca para as bacias do município de Rio Verde, erosividade moderada para as bacias de Cidade de Goiás e do rio Meia Ponte. O maior valor foi encontrado para a bacia do córrego Bacalhau e a menor para a bacia do ribeirão das Lajes. Os coeficientes de variação entre os valores mínimo, médio e máximo de cada bacia estudada variaram em média 2,5%, indicando que as características da chuva que determinam o potencial erosivo, principalmente intensidade e quantidade, apresentam pouca variação.

Tabela 1: Valores de Erosividade para cada bacia estudada

Bacias	Erosividade Mínima (MJ.mm.ha ⁻¹ .h ⁻¹ .ano ⁻¹)	Erosividade média (MJ.mm.ha ⁻¹ .h ⁻¹ .ano ⁻¹)	Erosividade Máxima (MJ.mm.ha ⁻¹ .h ⁻¹ .ano ⁻¹)
Ribeirão das Lajes	1.897	1.906	1.921
Ribeirão Abóbora	1.894	1.908	1.931
Córrego Bacalhau	3.434	3.467	3.505
Córrego Pedro Ludovico	3.429	3.438	3.446
Rio Meia Ponte	2.872	3.016	3.335

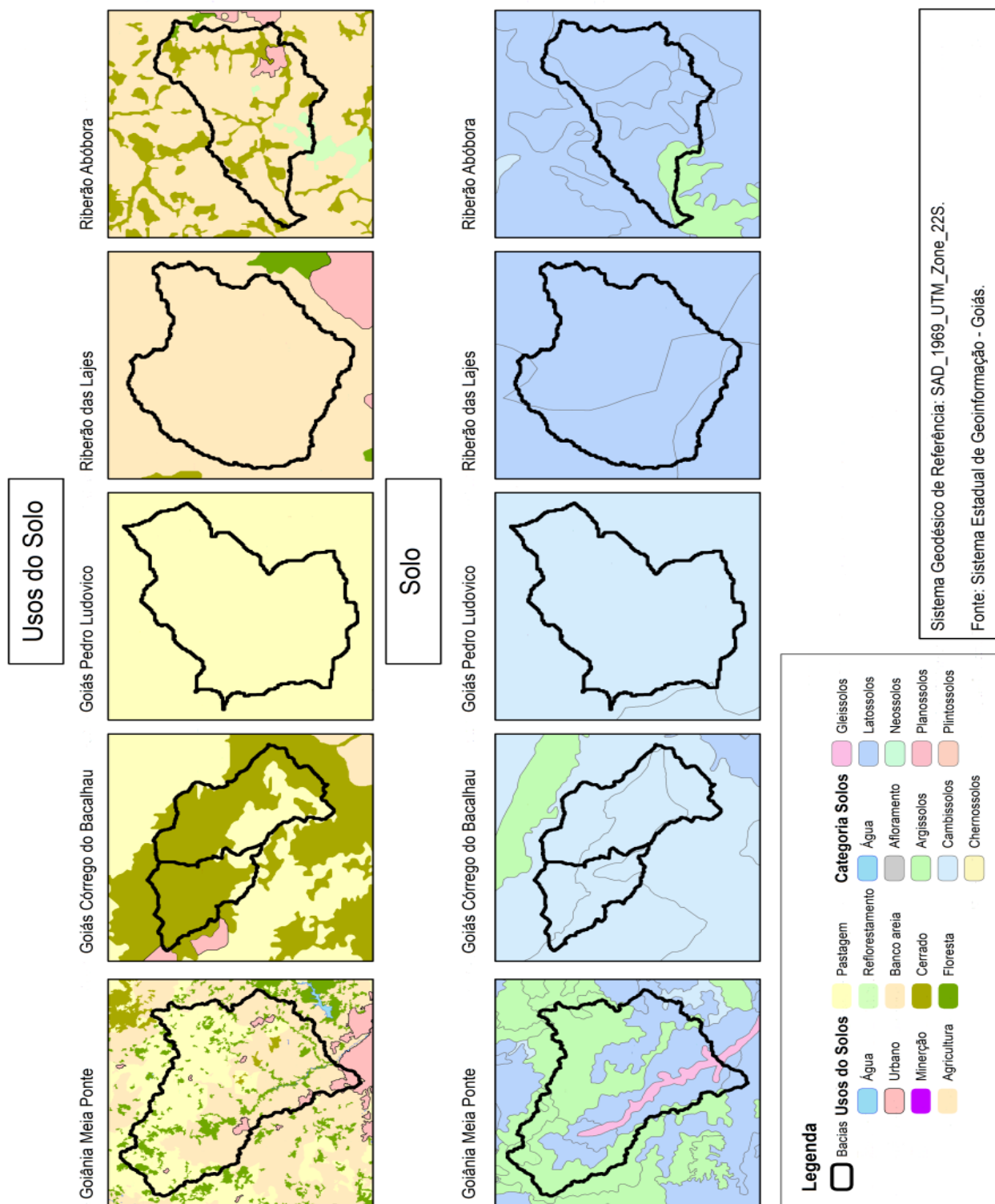


Figura 2: Usos do solo e tipos de solo nas cinco bacias hidrográficas estudadas

Após a simulação das cinco bacias no modelo hidrológico SWAT e da EUPS, chegou-se aos valores de perda de solo para cada bacia estudada (**Tabela 2**). Ressalta-se que o SWAT trabalha com a subdivisão da bacia em sub-bacias e HRU's - Hydrology Response Units (Unidades de Resposta Hidrológica) - o que requer uma quantidade de cálculo maior do que o empregado na EUPS para a obtenção de um valor médio de perda de solo para toda a bacia. Observa-se que em quatro das cinco bacias estudadas, os valores de perda de solo na modelagem com o EUPS são menores que os do SWAT, com exceção da bacia do córrego Pedro Ludovico, que apresentou menor valor com a aplicação da EUPS.

Tabela 2: Valores médios de Perda de solo para as bacias estudadas

Variáveis	Rib. Abóbora	Rib. Lajes	Cor.Bacalhau	Cor.Pedro Ludovico	Rio Meia Ponte
EUPS ($t\ ha^{-1}ano^{-1}$)	2,86	3,66	19,52	56,87	13,97
SWAT ($t\ ha^{-1}ano^{-1}$)	6,79	7,19	23,53	39,71	15,52
Diferença (%)	+57,87	+49,09	+17,04	-30,17	+10

Com a obtenção dos valores de perda de solo para cada bacia nos dois diferentes modelos utilizados, buscou-se a elaboração de mapas de distribuição espacial da perda de solo (**Figuras 3 e 4**). Ao analisá-los, observa-se diferentes distribuição e comportamento de perda de solo entre os modelos utilizados. O SWAT apresenta uma distribuição mais homogênea das perdas de solo, enquanto que a EUPS favorece maior nível detalhe dessa distribuição em decorrência da menor escala de processamentos dos dados no mapa.

Observa-se que a máxima perda de solo, tanto no SWAT quanto na EUPS, ocorre na bacia do córrego Pedro Ludovico, que é uma bacia com sua área totalmente ocupada por pastagem e, comparada as outras bacias é a que apresenta maior declividade média, 15%, considerada na classe de relevo ondulado pela Embrapa (1999), erosividade moderada, temperatura máxima e solo com erodibilidade classificada como moderada (SILVA et al., 2009). Ao se considerar o valor médio de perda do solo de $4,89\ t.h^{-1}.ano^{-1}$ obtido por Bragagnolo e Pan (2000) para uma bacia com o mesmo uso do solo, nota-se que o conjunto de características da bacia do córrego Pedro Ludovico favoreceram na elevada perda de solo.

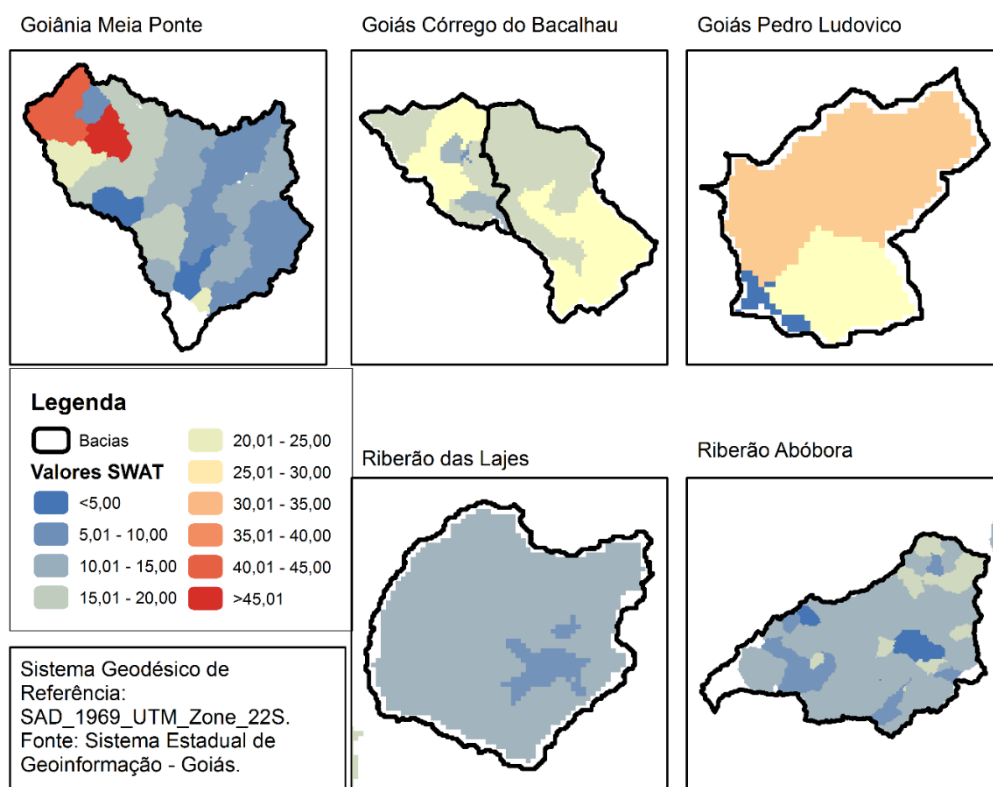


Figura 3: Distribuição da perda de solo no SWAT em $t.ha^{-1}.ano^{-1}$

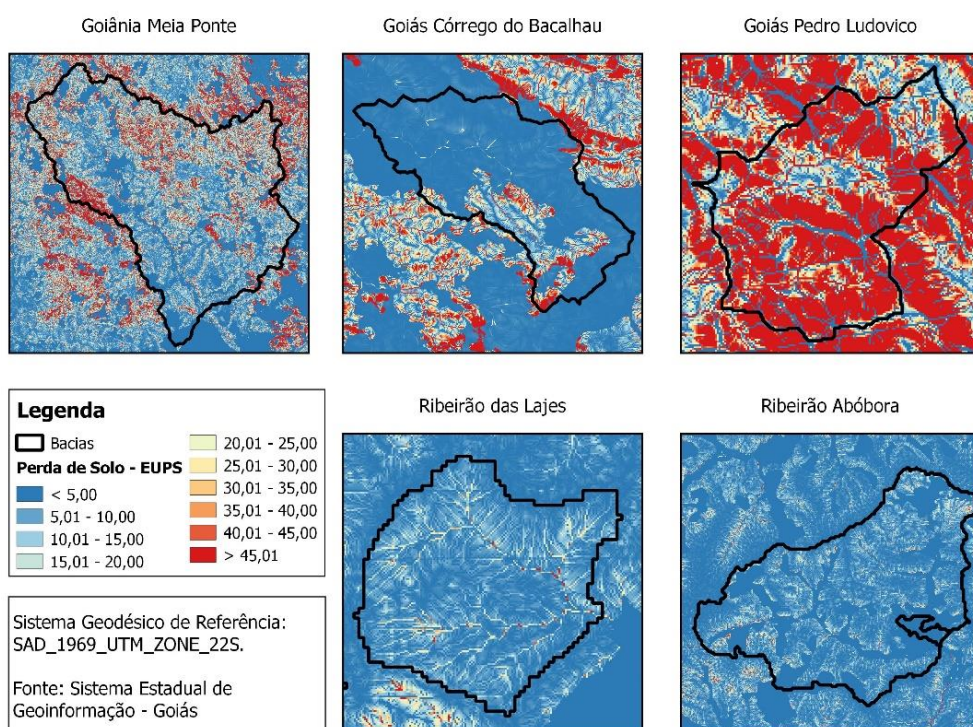


Figura 4: Distribuição da perda de solo na EUPS em $t.ha^{-1}.ano^{-1}$

Percebeu-se ainda para a bacia do córrego Pedro Ludovico o comportamento diferente nos dois modelos de perda de solo, a EUPS apresentou maior sensibilidade que o SWAT com relação às características presentes nesta bacia, constatado pelo maior valor de perda de solo no modelo EUPS. Possivelmente porque o SWAT é um modelo mais complexo, com processamento temporal e com tendência de atenuar os resultados. Desta forma, destaca-se a necessidade de maiores cuidados na seleção dos valores de cada variável trabalhada na EUPS.

Semelhante à bacia do Córrego Pedro Ludovico, a do Córrego Bacalhau possui alto valor de perda de solo, situação que pode ser explicada pelas variáveis climáticas, que são as mesmas para as duas bacias e o fator erodibilidade, relacionado ao tipo de solo. Miqueloni et al., (2012) também observaram a importante influência das variáveis climáticas na perda de solo.

A bacia do ribeirão das Lajes possui declividade menor que 5%, caracterizando relevo suave-ondulado, não possui vegetação nativa, com a sua área totalmente ocupada por agricultura e ausência de vegetação ciliar. O que pode justificar a maior perda de solo concentrada nas margens do manancial, conforme pode ser visualizado no mapa de perda de solo desta bacia (**Figura 4**). A perda de solo apresentada é menor que o valor de 22,43 t.ha⁻¹.ano⁻¹ identificada por Neves et al., (2011) para área de culturas anuais e de 15 t.ha⁻¹.ano⁻¹ apresentada por Bragagnolo e Pan (2000), o que pode estar sendo influenciado pelo relevo e presença de latossolo, que segundo Mannigel et al (2002), são solos com baixos valores de erodibilidade.

O ribeirão Abóbora, assim como o ribeirão das Lajes, está localizado no município de Rio Verde, desta forma, possui as mesmas características climáticas, e também valores declividades próximos, em torno de 6%. No entanto, possui maior diversidade de ocupação do solo, com presença de vegetação nativa, diferente do ribeirão das Lajes. O que pode ter favorecido a redução nas perdas de solo, já que se observa menores valores de perda de solo em áreas de vegetação nativa, da mesma forma que no estudo de Ferraz et al. (2013).

A bacia do rio Meia Ponte se difere das demais pelo tamanho e maior área urbana. Possui declividade média de 10% e vegetação nativa em quase 13% da bacia. Apresentou maiores valores de perda de solo para as áreas ocupadas por pastagem e agricultura, principalmente em áreas com maiores declividades. No mapa de perda de solo do SWAT para esta bacia visualiza-se áreas críticas na parte mais a montante da bacia, ocupada por

pastagem e agricultura. Comportamento não apresentado no mapa da EUPS, o qual apresenta maior detalhe de distribuição da perda de solo, sem grandes áreas críticas.

Constata-se nesta situação que o SWAT produz resultados mais homogêneos, devido ao seu processamento em HRU's e sub-bacia, que são delineadas a partir de características semelhantes das áreas, enquanto que a EUPS apresenta um melhor nível de detalhamento da área devido ao tamanho dos pixels da imagem trabalhada. Para Lajiao et al. (2012), isto pode ser uma limitação do modelo SWAT ao ser necessário proceder simulações em um maior nível de detalhamento.

Sendo assim, observa-se nos resultados gerados para as bacias estudadas, fortes evidências de que a magnitude da perda de solo está relacionada com fatores como clima, topografia, existência de vegetação e relevo. Corroborando com as conclusões de Xavier (2009) e Uzeika (2012), que afirmam que a avaliação destas variáveis no contexto da perda de solo devem ser analisadas em conjunto e não isoladas. Desta forma, buscou-se inserir estas variáveis em conjunto com os valores de perda de solo da EUPS e do SWAT, de modo a observar o comportamento no modelo estatístico de ACP (**Tabela 3**). Enquanto que o escoamento superficial, representado pelo SURQ_r e o número de sub-bacias foram também utilizados na análise estatística devido as suas influências na perda de solo identificadas em trabalhos semelhantes, como o de Lelis (2011).

Tabela 3: Dados de cada variável utilizada na análise estatística ACP

Variáveis	Rib. Abóbora	Rib. Lajes	Cor.Bacalhau	Cor.Pedro Ludovico	Rio Meia Ponte
EUPS (t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	2.86	3.66	19.52	56.87	13.97
SWAT (t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹) SED	6.79	7.19	23.53	39.71	15.52
SURQ ¹ mm/ano	367.29	252.70	204.62	190.36	213.37
Mum sub-bacia n°	76.00	22.00	25.00	3.00	19.00
Area total Km2	135.39	17.12	31.91	11.67	1637
Decliv med %	5.77	4.57	11.33	14.85	10.27
Veg Nat %	19.00	0.00	75.80	0.00	12.80
Prec média (mm/dia)	1685.50	1685.50	1759.80	1759.80	1802.10
Prec Max (mm/dia)	13.11	13.11	14.56	14.56	12.13
Temp Max (°C)	30.02	30.02	34.28	34.28	31.36
Temp min (°C)	17.69	17.69	20.66	20.66	18.91

¹ Escoamento Superficial na bacia gerado no SWAT.

A análise estatística utilizando a ACP, produziu resultados que demonstram que a simulação com EUPS e SWAT estão no F1 com valores elevados, junto com a declividade

e a temperatura, mostrando uma tendência semelhante que permite agrupá-las, permitindo também adicionar a variável SURQ (escoamento superficial), mas com um comportamento oposto por apresentar sinal negativo (**Tabela 4**). Portanto, nota-se que as variáveis que mais explicam a diferença entre as bacias estão no F1, sendo a declividade, o escoamento superficial, temperaturas e perda de solo.

Tabela 4: Carga das variáveis nos componentes principal.

	F1	F2	F3	F4
EUPS [t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹]	0.9965	-0.0392	-0.0361	-0.0642
SWAT [t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹]	0.9965	-0.0392	-0.0361	-0.0642
SURQ [mm/ano]	-0.9965	0.0392	0.0361	0.0642
Mum sub-bacia [n°]	-0.6661	0.4083	0.6232	-0.0352
Area total [Km ²]	-0.4816	0.7858	-0.3849	0.0491
Decliv med [%]	0.9324	0.2082	0.0740	0.2860
Veg Nat [%]	-0.1066	0.8807	0.4585	-0.0533
Prec media [mm/ano]	0.6296	0.5028	-0.5898	-0.0544
Prec Max [mm/ano]	0.6552	-0.1789	0.7338	0.0155
Temp Ma [°C]x	0.9636	0.2429	0.1080	-0.0292
Temp min [°C]	0.9636	0.2429	0.1080	-0.0292

No gráfico Biplot estão apresentadas as variáveis declividade média [%], área total da bacia [km²], número de sub-bacias, porcentagem de vegetação nativa [%], precipitação média e máxima [mm/ano] e temperatura mínima e máxima [°C], com cargas fatoriais F1 e F2 (**Figura 5**). Indicando que as duas primeiras componentes fatoriais são suficientes para explicar 83,9% da variação total dos dados, com o primeiro eixo responsável por explicar 65,62% das variações e o segundo por 18,28%, o que representa uma dependência entre as variáveis analisadas, como era esperado, já que o método utiliza variáveis semelhantes.

Observa-se que as bacias poderiam ser agrupadas em três grupos: G1, correspondem às bacias do município de Rio Verde; G2, bacias da Cidade de Goiás; e G3 onde unicamente se encontra a bacia de Meia Ponte (Goiânia). Esta classificação pode estar respondendo as diferenças climatológicas existentes entre cada um dos municípios.

Outro resultado obtido é a relação entre os parâmetros analisados e as bacias estudadas. Estas análises exploratórias demonstram que a bacia do Córrego Bacalhau e bacia do Córrego Pedro Ludovico explicam melhor o modelo estatístico desenvolvido para as variáveis climáticas, declividade, EUPS e SWAT. Enquanto a bacia do Rio Meia Ponte explica melhor as variáveis, porcentagem de vegetação nativa, área total da bacia,

número de sub-bacias e escoamento superficial. Dessa forma a análise de componentes principais mostrou a sua utilidade no estudo do peso de cada um dos parâmetros frente aos processos de perda de solo.

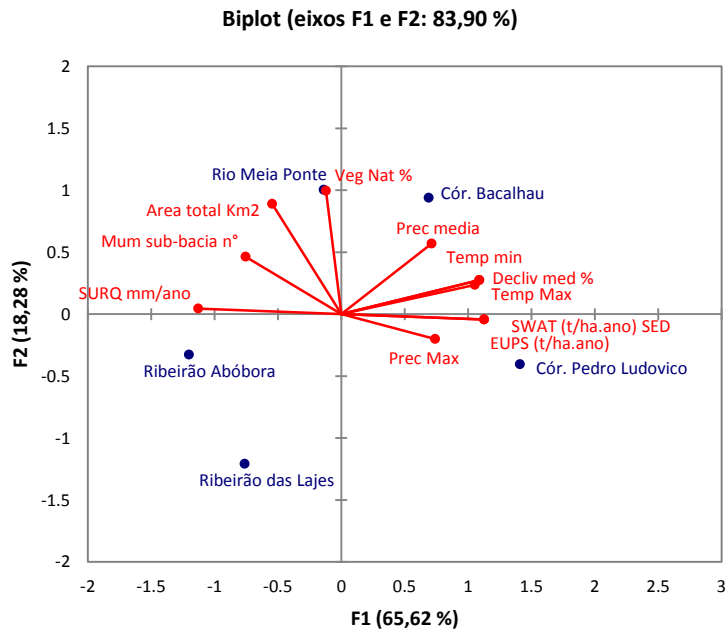


Figura 5: Gráfico Biplot dos resultados da ACP

Uma vez detectada a relação direta entre o EUPS e SWAT foi realizado ainda um estudo de correlação entre ambas metodologias mediante um modelo de regressão linear para as cinco bacias estudadas (**Figura 6**).

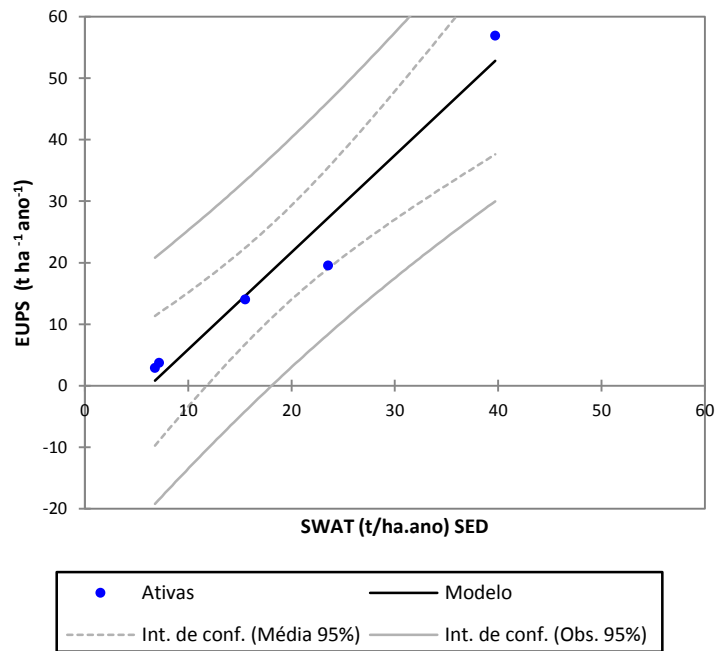


Figura 6: Regressão Linear com as variáveis SED (produção de sedimentos) da EUPS e do SWAT ($R^2=0.956$)

O resultado do modelo é apresentado em (3) e na **Tabela 5**, demonstrando uma correlação entre EUPS e SWAT de 1,6 com um R^2 de 0.978

$$EUPS_{[t,ha^{-1}.ano^{-1}]} = -9.92229 + 1.57959xSWAT_{[t,ha^{-1}.ano^{-1}]} \quad (3)$$

Tabela 5: Resultados da Regressão Linear com as variáveis SED (produção de sedimentos) da EUPS e do SWAT

Fonte	Valor	Erro padrão	T	Pr > t	Limite inferior (95%)	Limite superior (95%)
Intercepto	-9,922	4,342	-2,285	0,106	-23,741	3,896
SWAT (t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	1,580	0,195	8,084	0,004	0,958	2,201

Verificou-se tanto na regressão linear quanto na comparação direta dos valores de perda de solo das bacias estudadas (**Tabela 5**) que quando a perda de solo é pequena o SWAT tende a apresentar valores significativamente maiores do que o EUPS, mas quando os valores são maiores o comportamento não é semelhante.

CONCLUSÃO

Trabalhar no Brasil com bacias não instrumentadas tem sido uma demanda real, mas que apresenta dificuldades, já que a ausência de dados necessários para alimentar e especialmente para calibrar os modelos hidrossedimentológicos são uma restrição para os estudos que favorecem o planejamento dessas áreas. Portanto, escolher modelos que proporcionem a realização do trabalho com a quantidade de informações disponíveis é de extrema importância. Neste aspecto, constatou-se nesta pesquisa que, ao se comparar a aplicação dos modelos SWAT e a EUPS, esta última apresenta menor restrição dos dados utilizados e menor tempo de preparação destes. Facilitando pesquisas em bacias que possuem poucos dados, ou que não sejam instrumentadas.

Considerando ainda que os resultados de perda de solo apresentados neste trabalho na EUPS e no SWAT apresentaram, no modelo estatístico, grandes semelhanças, permite-se concluir que o uso da EUPS, quando objetiva apenas a produção de sedimentos, se apresenta como melhor alternativa quando comparado ao SWAT.

Em contrapartida, o SWAT é um modelo mais completo, com número maior de variáveis de saída, como o escoamento superficial (SURQ) e informações sobre a

qualidade da água. Quando da necessidade de estudos mais complexo, a sua utilização é mais indicada.

Ressalta-se ainda que o SWAT produz resultados mais homogêneos, devido ao seu processamento em HRU's e sub-bacia, que são delineadas a partir de características semelhantes das áreas considerando diretamente a física do processo, fazendo a propagação do escoamento e da geração de sedimentos ao longo de todo o tempo simulado. Por outro lado, a EUPS apresenta um melhor nível de detalhamento da área devido ao tamanho dos pixels da imagem (30m x 30m) trabalhada, no entanto o seu cálculo é feito por um equacionamento empírico que dá resultados instantâneos, não levando em conta o efeito direto do escoamento e de transporte de sedimentos na bacia.

É importante destacar que os valores de perda de solo apresentados neste trabalho são estimativas que favorecem a comparação entre as bacias hidrográficas estudadas com relação a quantidade de perda de solo, possibilitando a classificação de qualidade entre elas. Para obtenção de resultados mais realistas demandaria o uso de metodologia de calibração. No entanto, estes resultados podem proporcionar subsídios para ações voltadas à modelagem ambiental e planejamento de bacias não instrumentadas de modo a favorecer o controle de processos erosivos e o monitoramento das alterações do ambiente.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) por conceder uma bolsa de estudo para o primeiro autor.

REFERÊNCIAS

AMORIM, R. S. S. **Avaliação dos modelos de predição de erosão hídrica USLE, RUSLE e WEPP para condições edafoclimáticas brasileiras**. fl. 120. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 2004.

ANTUNES, I. M. H. R.; ALBUQUERQUE, M. T. D.; SECO, M. F. M.; OLIVEIRA, S. F.; SANZ, G. Uranium and arsenic spatial distribution in the Águeda watershed groundwater. **Procedia Earth and Planetary Science**, v. 8, p. 13–17, 2014.

ARNOLD, J. G.; SRINIVASAN, R.; MUTTIAH, R. S.; WILLIAMNS, J. R. Large-area hydrologic modeling and assessment: Part I. Model development J. **American Water Resource Association**, v. 34, Issue. 1, p. 73-89, Feb. 1998.

AYER, J. E. B.; OLIVETTI, D.; MINCATO, R. L.; SILVA, M. L. N. Erosão hídrica em Latossolos Vermelhos distróficos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 45, n. 2, p. 180-191, abr./jun. 2015.

BALDISSERA, G. C. **Aplicabilidade do modelo de simulação hidrológica SWAT (Soil and Water Assessment Tool), para a bacia hidrográfica do Rio Cuiabá/MT**. fl. 144. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Mato Grosso, 2005.

BAPTISTA, G. M. M. **Diagnóstico ambiental de erosão laminar: Modelo Geotecnológico e aplicação**. Editora Universa. Brasília, DF. 2003, 140p.

BRAGAGNOLO, N & PAN, W. A experiência de programas de manejo e conservação dos recursos naturais em microbacias hidrográficas. **In...** MUNOZ, H.R (Org.) Interfaces da gestão de recursos hídricos: desafio da lei das águas de 1997. Brasília, DF: Secretaria de Recursos Hídricos, 2000, p. 176-198.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. 2.ed. Rio de Janeiro: Interciência, 599p, 2008.

COLLISCHONN, B.; ALLASIA, D.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. Desempenho do satélite TRMM na estimativa de precipitação sobre a bacia do Paraguai superior. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 59, v. 1, 2007.

ELÇI, S & SELÇUK, P. Effects of basin activities and land use on water quality trends in Tahtali Basin, Turkey. **Environmental Earth Science**, n. 68, Issue. 6, p.1591-1598, Mar. 2013.

EMBRAPA. **Manual de classificação dos solos**. Brasília, CNPS, 1999.

FERRAZ, S. F. B.; PEREIRA, M. F.; PAULA, F. R.; VETTORAZZI, C. A.; ALVARES, C. A. Simulação de perdas de solo em função de cenários de adequação ambiental em microbacias agrícolas. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 98, p. 271-282, jun. 2013.

GALHARTE, C. A.; VILLELA, J. M.; CRESTANA, S. Estimativa da produção de sedimentos em função da mudança de uso e cobertura do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 2, p. 188-193, fev. 2014.

GOIÁS. Secretaria de Indústria e Comércio. Superintendência de Geologia e Mineração. **Caracterização Climática do Estado de Goiás**. Goiânia, 2006.

_____. **Macrozoneamento, Agroecológico e Econômico do Estado de Goiás: Um Novo Olhar sobre o Território Goiano**. 2011. Disponível em: <http://www.sieg.go.gov.br/RGG/MacroZAE/Relat%C3%B3rio_-_PRODUTO_V_-_TERMO_DE_REFER%C3%8ANCIA_DO_ZONEAMENTO_AGROECOL%C3%93GICO_E_EC%C3%94NOMICO_DO_ESTADO_DE_GOI%C3%81S.pdf>. Acesso em: 03 fev. 2015.

GUEDES, H. A. S.; SILVA, D. D.; ELESBON, A. A. A.; RIBEIRO, C. B. M.; MATOS, A. T.; SOARES, J. H. P. Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água do Rio Pomba, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 5, p. 558-563, May. 2012.

HERMUCHE, P. M.; GUIMARÃES, G. M. A.; CASTRO, S. S. Análise dos compartimentos morfopedológicos como subsídio ao planejamento do uso do solo em Jataí – GO. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, São Paulo, n. 26, p. 113-131, 2009.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico**. Rio de Janeiro: IBGE, 2014.

JACOB, C. M.; TOLU, J.; BIGLER, C.; YANG, H.; BINDLER, R. Early land use and centennial scale changes in lake-water organic carbon prior to contemporary monitoring. **Environmental Sciences, Sustainability Science**, USA, v. 112, n. 21, p. 6579-6584, 2015.

KINELL, P. I. A. Slope lenght factor for applying the USLE-M to erosion in grid cells. **Soil and Tillage Research**, USA, v. 58, Issue. 1-2, p. 11-17, Feb. 2001.

LAIJIAO, C.; A-XING, Z.; CHENGZHI, Q. Identification of critical source areas of soil erosion on moderate fine spatial scale in Loess Plateau in China. **African Journal of Agricultural Research**, Africa, v. 7, n. 19, p. 2962-2970, 2012.

LAM, Q. D.; SCHMALZ, B.; FOHRER, N. Modelling point and diffuse source pollution of nitrate in a rural lowland catchment using the SWAT model. **Agricultural Water Manage**, USA, v. 97, Issue. 2, p. 317-325, Feb. 2010.

LAMBRAKIS, N.; ANTONAKOS, A.; PANAGOPOULOS, G. The use of multicomponent statistical analysis in hydrogeological environmental research. **Water Research**, USA, v.38, Issue. 7, p. 1862-1872, Ap. 2004.

LELIS, T. A. **Modelagem do escoamento superficial e perda de solo na bacia do Ribeirão São Bartolomeu, Zona da Mata de Minas Gerais, utilizando o simulador SWAT**. fl. 178. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, 2011.

LIU, C. W., LIN, K. H., KUO, Y. M. Application of factor analysis in the assessment of groundwater quality in a blackfoot disease area in Taiwan. **Science of The Total Environment**, v. 313, Issues 1-3, p. 77-89, Sep. 2003.

MANNIGEL, A. R.; CARVALHO, M. P.; MORETI, D.; MEDEIROS, L. R. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1335-1340, 2002.

MOORE, I. D & BURCH, G. J. **Modelling erosion and deposition: topographic effects**. Transactions of the ASAE, 1986.

NEVES, S.M.A.S.; MOTINHO, M.C.; NEVES, R.J.; SOARES, E.R.C. Estimativa da perda de solo por erosão hídrica na bacia hidrográfica do rio Jauru/MT / Estimation of soil loss for rainfall erosion in the catchment area of Jauru, Mato Grosso State, Brazil. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, n. 3, p. 423-434, set/dez, 2011.

NOBREGA, R.S.; SOUZA, E. P.; GALVÍNCIO, J. D. Análise da Estimativa de Precipitação do TRMM em uma Sub-bacia da Amazônia Ocidental. **Revista de Geografia**, Recife, v. 25, n. 1, jan/abr. 2008.

PANAGOS, P.; BALLABIO, C.; BORRELLI, P.; MEUSBURGER, K. Spatio-temporal analysis of rainfall erosivity and erosivity density in Greece. **Catena**, USA, v. 137, p. 161-172, 2016.

PEROVIC, V.; ZIVOTIC, L.; KADOVIC, R.; DORDEVIC, A.; JARAMAZ, D.; MRVIC, V.; MRVIC, V.; TODOROVIC, M. Spatial modelling of soil erosion potential in an untainous watershed of South-eastern Serbia. **Environmental Earth Sciences**, USA, v. 68, Issue. 1, p.115–128, 2013.

SANTOS, M. G.; LOBON, G. S.; FERREIRA, N. C.; SCALIZE, P. S. Análise evolutiva de processo erosivo acelerado em uma área urbana da cidade de Goiânia. **Revista Monografias Ambientais**, v.14, n.2, p. 38-48, 2015.

SILVA, A.M & ALVARES, C. A. Levantamento de informações e estruturação de um banco dados sobre a erodibilidade de classes de solos no estado de São Paulo. **Geociências**, São Paulo, v. 24, n. 1, p. 33-41, 2005.

SILVA, A. M.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; AVANZI, J. C.; FERREIRA, M. M. Erosividade da chuva e erodibilidade de cambissolo e latossolo na região de Lavras, sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1811-1820, Nov./Dec. 2009.

SILVA, S. de A.; LIMA, J.S. de S.; XAVIER, A.C.; TEIXEIRA, M.M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo húmico cultivado com café. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.1, p.15-22, Jan./Feb. 2010.

SILVA, R. M.; MONTENEGRO, S. M. G.; SANTOS, C. A. G. Integration of GIS and remote sensing for estimation of soil loss and prioritization of critical sub-catchments: a case study of Tapacurá catchment. **Natural Hazards**, USA, v. 62, Issue. 3, p. 953-970, Mar. 2012.

SILVA, C. L. **Estudo dos impactos das atividades aeroportuárias utilizando dados de sensoriamento remoto**. fl. 98. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, 2014.

SANTHI C.; ARNOLD J. G.; WILLIAMS J. R.; DUGAS W. A.; SRINIVASAN R.; HAUCK, L. M. Validation of the SWAT model on a large river basin with point and nonpoint sources. **Journal of the American water resources association**, USA, v. 37, Issue. 5, p. 1169-1188, Oct. 2001.

SINGH, K.P.; MALIK, A.; MOHAN, D.; SINHA, S. Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India)—a case study. **Water Research**, USA, v. 38, Issue. 8, p. 3980-3992, Nov. 2004.

TESFAHUNE, G. B.; TAMENE, L.; VLEK, P. L. G. Modeling soil erosion by water using SWAT in northern Ethiopia. **East African Journal of Science and Technology**, Africa, v. 2, p. 1-28, 2012.

TRIPATHI, M. P.; PANDA, R. K.; RAGHUWANSHI, N. S. Identification and Prioritisation of Critical Sub-watersheds for Soil Conservation Management using the SWAT Model. **Biosystems Engineering**, USA, v. 85, Issue. 3, p. 365-379, Jul. 2003.

UZEIKA, T.; MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. G.; MORO, M. Use of the Swat Model for Hydro-Sedimentologic Simulation in a Small Rural Watershed. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 2, p. 557-565, Mar./Apr. 2012.

VANZELA, L. S.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO R. A. M. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campo Grande, v. 14, n. 1, p. 55-64, 2010.

WISCHMEIER, W. H & SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses - A guide to conservation planning**. U. S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook, n. 537, Washington, 1978.

XAVIER, F. V. **Contribuições metodológicas para o estudo da produção e distribuição espacial de sedimentos na bacia hidrográfica do Rio Mano utilizando o modelo SWAT**. fl. 166. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Universidade Federal do Mato Grosso, 2009.

CAPÍTULO III

APLICAÇÃO DE MODELO HIDROLÓGICO SWAT NA SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS DE PERDA DE SOLO EM BACIAS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO

**Application of hydrological model swat to simulate soil loss scenarios in public water
supply basins**

APLICAÇÃO DE MODELO HIDROLÓGICO SWAT NA SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS DE PERDA DE SOLO EM BACIAS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO

Application of hydrological model swat to simulate soil loss scenarios in public water supply basins

RESUMO

É cada vez mais comum o uso de modelos hidrológicos na simulação de cenários relacionados as questões ambientais, sendo que esses facilitam a visualização de informações coletadas sobre os diferentes aspectos ambientais inseridos em bacias hidrográficas, além de também realizar previsões hidrológicas, simulação de escoamentos superficiais e o monitoramento de aspectos quantitativos e qualitativos de um corpo hídrico. O presente trabalho teve como objetivo principal analisar a produção de sedimentos para diferentes cenários de cobertura vegetal de bacias hidrográficas de mananciais de captação de três municípios do Estado de Goiás, Brasil (a capital Goiânia, Cidade de Goiás e Rio Verde). Foi utilizado o *The Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) para realizar as simulações. O Ribeirão das Lajes foi a bacia com menor percentual de redução na perda de solo, sendo que a do Córrego Pedro Ludovico apresentou a maior redução (44%) de produção de sedimentos. Dessa forma, confirma-se a hipótese de que com a cobertura vegetal, reduz a quantidade de sedimentos carregados para o corpo hídrico.

Palavras-chave: erosão hídrica, SWAT, EUPS, cobertura do solo

ABSTRACT

It is increasingly common to use hydrologic models to simulate scenarios related with environmental issues, and these make simple to view information collected about the different environmental aspects entered into watersheds, and carry out hydrological forecasts, simulation runoff and monitoring of quantitative and qualitative aspects of a water body. This study aimed to analyze the sediment yield for different land cover scenarios basin watershed catchment of three municipalities in Goias State, Brazil (the capital Goiania, Goias and Rio Verde). It was used The Soil and Water Assessment Tool (SWAT) to perform simulations. The Lajes was the basin with lower percentage reduction in soil loss, and the river Pedro Ludovico had the highest reduction (44%) of sediment yield. Thus, with the hypothesis that the vegetation is confirmed, it reduces the amount of carried sediments into the water body.

Keywords: hydric erosion, SWAT, USLE, soil cover.

INTRODUÇÃO

O carreamento de solo para os corpos hídricos é um dos resultados da falta de manejo adequado do solo em bacias hidrográficas. Junto aos sedimentos, são transportados nutrientes e fertilizantes para os sistemas aquáticos, requerendo controle e minimização das perdas de solo para proteção da água superficial (NERANTZAKI et al., 2015). No conhecimento da dinâmica / evolução de um rio e gestão de bacias hidrográficas, é essencial quantificar a interação entre o transporte de sedimentos e a vazão pertencente ao corpo hídrico, sendo o escoamento superficial afetado pela declividade do terreno, tipo de cobertura do solo, capacidade de infiltração de água no solo e intensidade da chuva (SOUZA et al., 2015).

Quando o objetivo é quantificar as interações existentes no fluxo hídrico, torna-se necessária a utilização de modelos matemáticos (KOZYRAKIS et al., 2014). Para a simulação emprega-se os modelos sedimentológicos, onde é possível gerir melhor os recursos hídricos conhecendo por meio da elaboração de cenários, qual o comportamento hidrológico de bacias hidrográficas (LEÃO et al., 2013).

Modelos matemáticos são uteis na análise e interpretação de informações referentes aos diversos usos do solo e suas consequências para o processo erosivo e o meio ambiente. A análise das interações entre as variáveis condicionantes da erosão dificilmente pode ser feita experimentalmente. Em razão disso, a simulação computacional torna-se uma forma prática de investigar os impactos provenientes da adoção de diferentes práticas agrícolas (LELIS et al., 2012).

Em mananciais de abastecimento público, as alterações ocasionadas pelo aumento da turbidez e também da cor (algo resultante do transporte de sedimentos), pode aumentar os custos do tratamento da água, onde passará a ser necessário maior uso de coagulantes, por exemplo. A mitigação e minimização de impactos ambientais são alguns dos componentes da boa gestão de bacias, em que interferências negativas no uso do solo afetam seu papel como regulador do ciclo hidrológico (KUWANO et al., 2014). Os sedimentos presentes no fundo desempenham uma importante função no processo de caracterização da poluição dos rios e lagos, sendo a qualidade da água superficial afetada pela qualidade do sedimento sobre o qual ela atravessa devido aos processos de equilíbrio que se estabelece entre água e sedimento (POSSAVATZ et al., 2014).

Em áreas antropizadas e com a presença de agricultura extensiva, pode-se observar alteração nos ciclos hidrológicos, seja com a redução da evapotranspiração e com a diminuição da frequência nas precipitações, além do já citado transporte de sedimentos,

mudança no escoamento superficial, na vazão máxima de cheia, nos fluxos de base, na recarga dos fluxos subterrâneos, na umidade do solo e no volume de erosão e sedimentação (PERAZZOLI et al., 2013).

As mudanças causadas pela ação humana sobre a cobertura vegetal de determinado solo também estão relacionadas a atributos tais como compactação e permeabilidade (LIMA et al., 2013). Panachuki et al., (2011) afirma que: “a presença da cobertura do solo por resíduos vegetais é o fator mais importante na dissipação da energia de impacto das gotas da chuva na superfície do solo, visto que ela pode evitar a desagregação de suas partículas”.

O monitoramento de aspectos ambientais pertencentes a bacias hidrográficas procura analisar fatores relevantes que permitam caracterizar as mudanças que ocorrem no uso e ocupação do solo, tornando assim possível avaliar os efeitos das atividades humanas sobre os sistemas naturais (BERTOSI et al., 2013).

Neste sentido, o uso dos modelos matemáticos apresenta a grande vantagem de possibilitar a elaboração de cenários, modificando as configurações dos parâmetros de entrada do modelo no intuito de gerar novos conjuntos de condições virtuais, as quais permitem a visualização das consequências geradas por determinado grupo de fatores hipotéticos.

Os modelos de predição de perda de solo, como o SWAT, são ferramentas matemáticas usadas para avaliar e estudar condições atuais e futuras de conservação de solo, e assim estimar as vulnerabilidades das bacias em sofrer degradações. Este modelo tem sido utilizado em vários estudos no mundo e no Brasil (SANTOS, 2010; NETO et al., 2011). Autores como Kuwajima, (2012); Ezz-Aldeen et al., (2013) tem apontado a simulação com o modelo SWAT como oportunidade de oferecer resultados coerentes nos processos de escoamento superficial e aporte de sedimentos, assegurando a sua eficiência e enaltecendo a importância do estudo de cenários nos processos decisórios.

A partir do uso do *software* SWAT, o presente trabalho buscou analisar a produção de sedimentos para dois diferentes cenários de cobertura vegetal de bacias de mananciais de captação de três municípios do Estado de Goiás, Brasil (a capital Goiânia, Cidade de Goiás e Rio Verde).

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido utilizando dados de cinco bacias hidrográficas, em que estão inseridos mananciais de abastecimento da população do Estado de Goiás (a capital Goiânia, Cidade de Goiás e também Rio Verde), com as localizações destacadas na **Figura 1**. O estado

está localizado na região Centro-Oeste do Brasil, com população estimada 6.610.681 habitantes (IBGE, 2015) distribuídas em 246 municípios, que estão agrupados em cinco grandes mesorregiões, Centro, Sul, Noroeste, Norte e Leste.

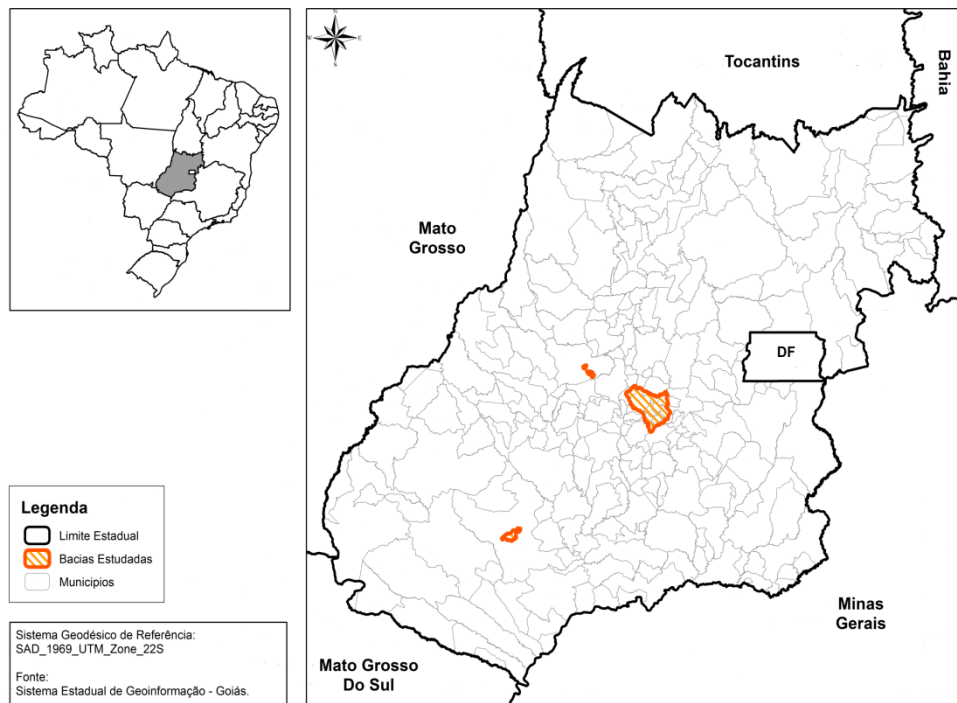


Figura 1. Localização das bacias hidrográficas estudadas em Goiás.

O município de Rio Verde está na região sudoeste do Estado e abrange uma área de 8.388 km², com população estimada de 207.296 habitantes (IBGE, 2015). Foram pesquisadas as duas bacias de mananciais de abastecimento deste município, Ribeirão das Lajes, bacia com uma área de 17,12 km² e Ribeirão da Abóbora, bacia de 135,39 Km². A média pluviométrica dos últimos 10 anos no município foi 1.685 mm. A bacia do Ribeirão das Lajes possui apenas uma classe de uso do solo, agricultura, com também um tipo de solo, Latossolo (Figura 2). Enquanto que na bacia do Ribeirão Abóbora: o solo é constituído principalmente por Latossolo em mais de 90% da área e de Argissolo em 4,79%, que são solos de moderadamente a bem drenados, inseridos no grupo hidrológico B de mínima saturação hidráulica, com uma condutividade hidráulica saturada (SOL_K) de 90 mm/h, considerados com erodibilidade alta para os argissolos e erodibilidade média para o latossolo (CARVALHO, 1994; BALDISSERA, 2005); o uso do solo desta bacia é composto por cinco classes diferentes, com predominância da agricultura, presente em mais de 70% da área.

A população estimada do município de Goiás é igual a 24.439 hab (IBGE 2015), estando inserida na Região de Planejamento Noroeste Goiano do estado de Goiás. O município possui dois mananciais de abastecimento superficial, o Córrego Bacalhau (31,91

km² de bacia hidrográfica) e o Córrego Pedro Ludovico (11,67 km² de bacia hidrográfica). A média anual de precipitação nos 10 anos estudados foi de 1.704 mm, com maiores índices de chuva nos meses de dezembro e janeiro. O Córrego Bacalhau possui o uso e ocupação misto, com presença de cerrado (60%), pastagem (32%) e área urbana (8%). Enquanto que a bacia do Córrego Pedro Ludovico é toda ocupada por pastagem. O solo encontrado nas duas bacias é o Cambissolo, considerado como solo raso ou pouco profundo, com valores médio de erodibilidade em torno de 0,0508 t.ha⁻¹. MJ⁻¹.mm⁻¹, considerada erodibilidade Alta, favorecendo valores elevados de perda de solo (CARVALHO, 1994; BALDISSERA, 2005; HERMUCHE et al., 2009; SILVA & ALVARES, 2010).

A bacia do Rio Meia Ponte, um dos principais mananciais de abastecimento da capital do Estado, possui uma área de 1.637,78 km². O rio nasce na Serra dos Brandões, entre os limites de Itauçu e Taquaral de Goiás, a 60 km de Goiânia e passa por 17 municípios (Itauçu, Taquaral, Goianira, Inhumas, Santo Antônio de Goiás, Caturai, Nerópolis, Brazabrantes, Nova Veneza, Campo Limpo de Goiás, Damolândia, Ouro Verde de Goiás, Anápolis, Petrolina, Santa Rosa, Trindade e Goiânia) até chegar a captação de uma das Estações de Tratamento de Água (ETA) em Goiânia. Para os últimos 10 anos, a média pluviométrica foi igual a 1.802 mm. Em todos os municípios estudados o clima predominante na região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, característico dos climas úmidos tropicais, com duas estações bem definidas (seca no inverno e úmida no verão). A bacia do Rio Meia Ponte é a maior bacia estudada neste trabalho e apresenta seis diferentes classes de uso e ocupação do solo, sendo elas: Agricultura (43,71%), pastagem (39,98%), Floresta (11,90%), Urbano (3,35%), cerrado (0,9%) e água (0,14%) e cinco classes de solo.

Foram elaborados mapas de uso e ocupação do solo e de solos (**Figura 2**), além do Modelo de Elevação Digital (MDE) para as bacias estudadas. Inicialmente foram realizados os delineamentos das bacias hidrográficas utilizando-se MDE no programa computacional ArcGIS 10.1 e adotando as coordenadas dos pontos de captação de água como exutório das bacias. Os dados de relevo utilizados possuem resolução espacial de 30 metros, produzidos no âmbito do Projeto TOPODATA, que realizou uma série de processamento de dados *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM).

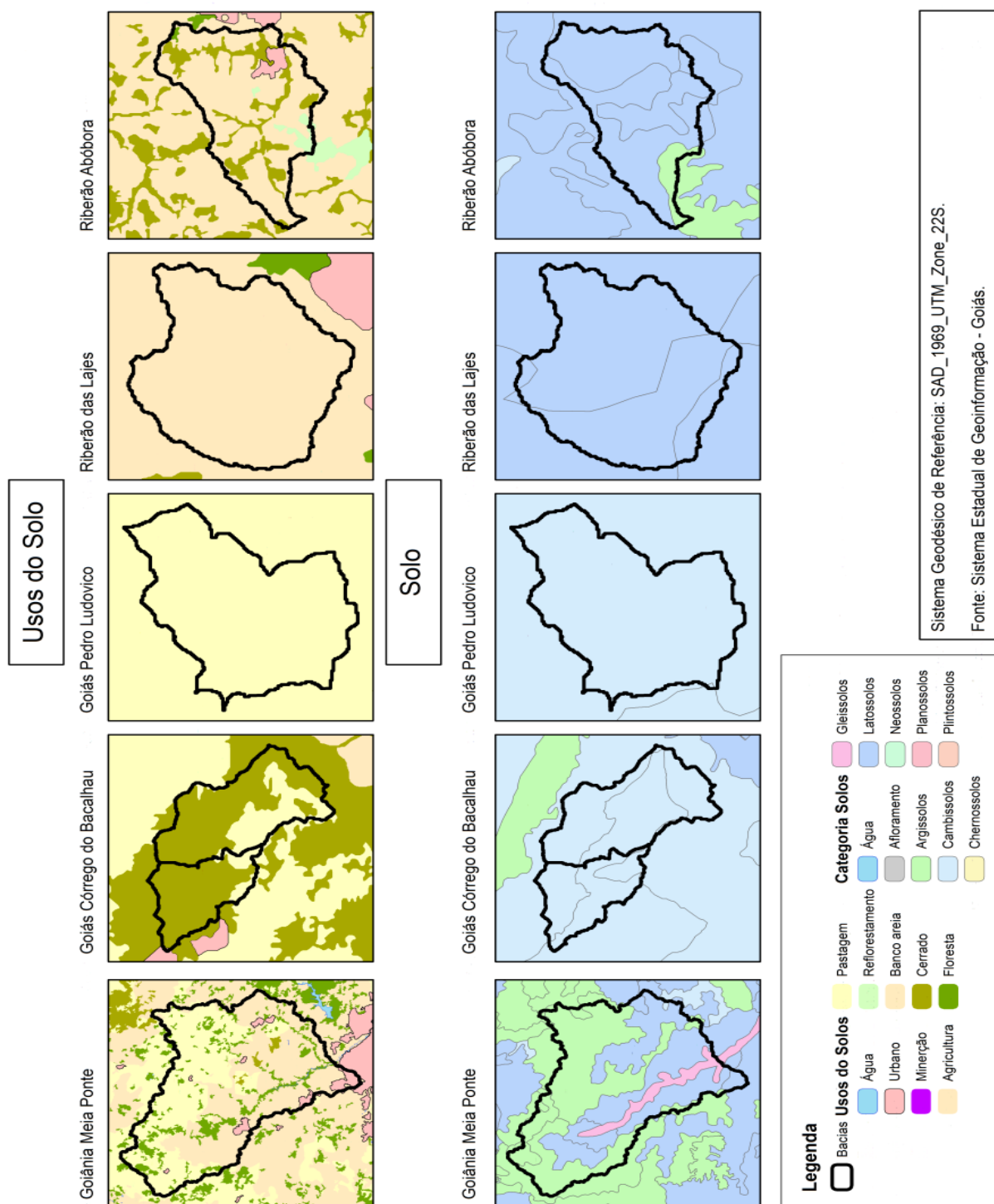
Para a determinação do uso e ocupação do solo nas bacias, utilizou-se o mapa de uso e cobertura vegetal em Goiás, elaborados no âmbito do projeto “Macrozoneamento, Agroecológico e Econômico do Estado de Goiás”, a partir do processamento de imagens Landsat / TM-5 de 2011 (Goiás, 2011). A escala utilizada foi 1:100.000, produzido a partir da

base do Projeto RADAM-BRASIL, onde foram determinadas as áreas prioritárias para unidades de preservação. O mapa de solos foi obtido a partir da página virtual do Sistema Estadual de Estatísticas e de Informações Geográficas de Goiás - SIEG.

Devido à ausência de características físicas da área de estudo no banco de dados do SWAT, foram introduzidos parâmetros exigidos pelo modelo, seguindo método proposto por Baldissera (2005). Para a utilização do modelo hidrológico SWAT é necessário uma série de dados climáticos em escala temporal, podendo o período de tempo variar de acordo com o estudo que se deseja realizar.

Neste estudo, foram utilizados dados de medições diárias de precipitação (mm), temperatura mínima / máxima (C°) e umidade (%), entre o período de 01 de janeiro de 2003 e 31 de dezembro de 2013. As três estações climáticas operadas pelo INMET localizadas nos municípios estudados, são: estação climática (83470) do município de Rio Verde, sob as coordenadas geográficas -17.6S, -50.91° e altitude de 774m; Estação Climática (83374) do município de Goiás Velho, -15.91S, -50.13 e altitude de 512m; Estação Climática (83423) do município de Goiânia, -16.66S, -49.25 e altitude de 741m. A radiação solar e velocidade do vento foram simuladas pelo SWAT, utilizando o gerador climático WXGEM, baseados nos dados da série histórica introduzida ao banco de dados do modelo.

Os dados tabulares (precipitação, umidade relativa, direção dos ventos e temperatura), utilizados para a caracterização climática da bacia para iniciar os processos de transformação chuva-vazão-erosão, foram digitados diretamente no banco de dados do modelo, existindo conexão de informações dos dados tabulares com os mapas de entrada e a localização da estação climática informada.



As simulações dos dois cenários distintos visaram a identificação do comportamento no carreamento de partículas frente a forma de uso e ocupação do solo nas bacias. Buscou-se no Cenário 1 a simulação das bacias com o atual uso e ocupação do solo e no Cenário 2, o cumprimento da permanência da Reserva Legal em 20% da bacia, conforme estabelecido no Código Florestal Brasileiro, Lei de nº 12.651, de 25 de maio de 2012. O estabelecimento desta vegetação nas bacias foi realizado de forma aleatória. Ressalta-se que a bacia hidrográfica do ribeirão Abóbora e do córrego Bacalhau já possuíam mais de 20% de vegetação nativa, portanto o Cenário 2 foi simulado com a supressão desta vegetação e ocupação por agricultura na bacia do Ribeirão Abóbora e com pastagem na bacia do Córrego Bacalhau (Quadro 1).

Quadro 1. Dados utilizados como *input* no SWAT para a simulação dos dois cenários de carreamento de material particulado do solo.

Usos do Solo	Bacias Hidrográficas									
	Ribeirão das Lajes		Ribeirão Abóbora		Córrego Bacalhau		Córrego Pedro Ludovico		Rio Meia Ponte	
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 1	Cenário 2
Cerrado (%)	0	0	20	0	60,39	20			0,95	0,95
Floresta (%)	0	0	0	0					12,27	12,27
Agricultura (%)	100	80	73,53	93,53					42,43	35,65
Pastagem (%)	0	0	0	0	31,8	72,19	100	80	0,15	0,15
Área urbana (%)	0	0	3,53	3,53	7,82	7,82			44	44
Reflorestamento (%)	0	20	2,94	2,94				20	0	6,78
Água (%)	0	0	0	0					0,19	0,19

Os valores obtidos de perda de solo do Cenário 1 e 2 de cada uma das cinco bacias estudadas foram classificados de acordo com os níveis de susceptibilidade a erosão proposta por Perovic et al, (2013), podendo ser observado na Quadro 2, no qual possibilitou também avaliar os resultados obtidos de perda de solo com susceptibilidade à erosão.

Quadro 2. Susceptibilidade Erosiva a partir da EUPS

Susceptibilidade Erosiva	ton.ha ⁻¹ .ano ⁻¹
Fraca	0 – 5
Moderada	5 – 10
Alta	10 – 20
Muito Alta	20 – 40
Severa	40 – 80
Muito Severa	>80

Fonte: Perovic et al. (2013)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após as simulações realizadas, utilizando-se os diferentes *inputs*, foi possível observar qual o percentual de alteração no valor perda de solo em cada bacia hidrográfica estudada (Quadro 3), comparando as perdas de solo nos cenários atuais (Figura 3) e nos cenários hipotéticos simulados (Figura 4), o que possibilitou visualizar os diferentes comportamentos e características das bacias estudadas. Das cinco bacias hidrográficas estudadas, a maior redução na perda de solo foi no Córrego Pedro Ludovico e a menor redução observada foi no Ribeirão das Lajes. A média do coeficiente de variação dos valores mínimos e máximos das perdas de solos das bacias estudadas foi de aproximadamente 71% no Cenário 1 e 89% no Cenário 2.

Quadro 3. Resultados das perdas de solo para os diferentes cenários nas cinco bacias estudadas

Bacia	Perda de solo $t\ ha^{-1}ano^{-1}$	Perda de solo (uso alterado) $t\ ha^{-1}ano^{-1}$	%
Ribeirão das Lajes	7.19	6.08	- 15
Ribeirão Abóbora	6.79	7,9	+ 16
Córrego Bacalhau	23.53	32,5	+ 38
Córrego Pedro Ludovico	39.71	22.39	- 44
Rio Meia Ponte	15.52	12.11	- 22

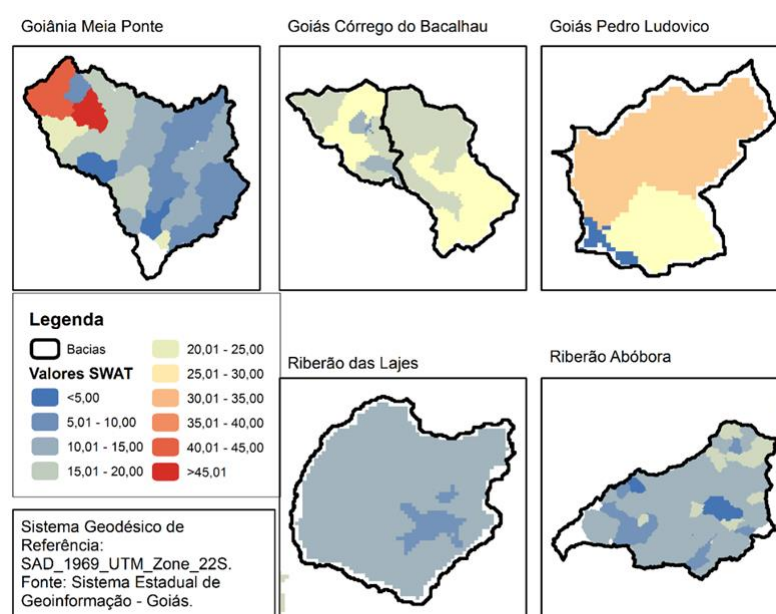


Figura 3. Resultado das perdas de solo das bacias no Cenário 1

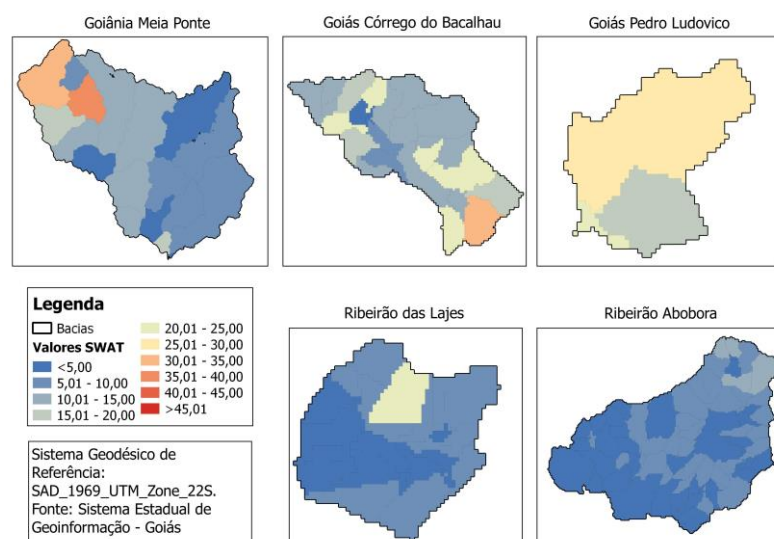


Figura 4. Resultado das perdas de solo das bacias no Cenário 2

O resultado da simulação para a bacia do Pedro Ludovico apresentou valor médio de perda do solo no cenário atual de $39,71 \text{ t ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$, mesmo quando alterado o uso e ocupação do solo na bacia com aumento de vegetação, o valor de perda de solo continuou elevado, $22,39 \text{ t ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$, indicando que variáveis como o tipo de solo e declividade interferem nestes resultados, já que a bacia possui declividade média de 14%, mas possuem áreas com declividade mínima de 2% e máxima de 33%. O solo predominante é o Cambissolo, considerado por Hermuche et al. (2009) e Silva & Alvares (2005), solos com alta erodibilidade. Correa & Aliaga (2010) ressaltam a importância do fator topográfico relacionado a cobertura vegetal na produção de sedimentos afirmando que encostas íngremes sem cobertura vegetal são altamente vulneráveis à degradação (Correa & Aliaga, 2010). Eurich et al. (2014) destacam que as áreas de pastagem apresentam menores carreamentos de solo quando não existe o revolvimento, podendo se assemelhar a estrutura de um ambiente natural, comprovando que o manejo da área pode reduzir os danos causados por seu uso, pois ainda que exista o pisoteio de animais, esses são ainda menos degradantes do que se comparados com o trânsito de maquinários.

A bacia do ribeirão das Lajes não possui vegetação nativa, ocupada totalmente por agricultura. A simulação com o atual cenário apresentou uma perda de solo de $7,19 \text{ t.ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$, bem menor que o valor de $22,43 \text{ t.ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ identificada por Neves et al., (2011) através da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) para área de culturas anuais. Na alteração do cenário, com incremento de vegetação nativa, notou-se uma diferença de menos 15% no valor

da perda de solo. Esta bacia apresentou a menor redução nos valores de perdas de solos entre as cinco estudadas. Possivelmente por ser uma bacia com baixa declividade média (4,5%) e solo com características de erodibilidade média. Troeh et al. (1991) destacam uma problemática nas áreas de cultivo relacionada ao ciclo produtivo de culturas anuais, já que o solo pode ficar descoberto em alguns períodos do ano, reduzindo desta forma a proteção e acelerando a erosão em 10, 20, 50 e em até 100 vezes.

Tanto na bacia do Ribeirão das Lajes quanto na do Pedro Ludovico, observa-se que o fator relevante no atual cenário de uso e ocupação do solo é a ausência total de cobertura vegetal, o que podem aumentar a suscetibilidade de carreamento de partículas. De acordo com Correa & Aliaga (2010), alta e muito alta erosão estão associadas com superfícies destituídas de vegetação, onde o solo não tem proteção contra a ação erosiva das chuvas. A susceptibilidades de erosão leve a moderada são associados a florestas, terras agrícolas e pastagens.

Outro aspecto relevante da ausência de vegetação nas bacias hidrográficas foi discutida por Marmontel & Rodrigues (2015), ao avaliar e comparar a qualidade da água de quatro nascentes em diferentes coberturas de solo (mata ciliar preservada, mata ciliar perturbada, pastagem, bambuzal, mata ciliar degradada e nascente degradada com *Brachiaria* sp.) e conservação da vegetação no Córrego Pimenta no Estado de São Paulo. Os autores observaram que as áreas onde a cobertura vegetal é a pastagem e bambuzal, os níveis de condutividade elétrica, salinidade, turbidez, cor, nitrato, nitrito e ferro, foram maiores que nas outras áreas com diferentes coberturas. Enquanto que a cobertura da mata ciliar nos estados preservada e perturbada, contribuiu para uma melhor qualidade da água nos parâmetros de temperatura, turbidez, cor, pH, nitrato, nitrito e ferro. Evidenciando que o tipo de uso do solo tem interferência direta na qualidade da água no manancial, sendo que a preservação das matas ciliares promovem a manutenção da melhor qualidade da água.

Com relação às bacias do ribeirão Abóbora e do córrego Bacalhau a mudança para o cenário 2 ocorreu de forma inversa as demais, já que estas possuem atualmente 20% de vegetação nativa. Desta forma, simulou-se a supressão total desta vegetação e a sua substituição por agricultura e pastagem respectivamente, resultando em um aumento de perda de solo, 16% maior na bacia do ribeirão Abóbora e 38% na do córrego Bacalhau. Ferraz et al. (2013), encontraram o valor de 9,5% de redução de perda de solo na condição de permanência da mata ciliar e de 18,6% no estabelecimento da reserva legal de forma aleatória. No entanto, quando selecionadas áreas consideradas críticas na bacia para inserção da reserva legal, as

simulações passaram a apresentar redução de 70,8% nos valores de perda de solo. Indicando que a escolha adequada para permanência da reserva legal afetaria fortemente a produção de sedimentos. Segundo estes mesmos autores, o uso do solo foi o fator que mais influenciou nos resultados. O que permite avaliar que o uso do solo possui interferência na produção de sedimentos das bacias, mas deve ser avaliado em conjunto com outras variáveis. Corroborando com as conclusões de Uzeika e Xavier (2009), que afirmam que a avaliação destas variáveis no contexto da perda de solo devem ser analisadas em conjunto e não isoladas.

É importante destacar que as duas bacias do município de Goiás Velho apresentaram comportamentos muito semelhantes entre elas diante das mudanças de cenário, justificada pelo uso das mesmas variáveis climáticas e o tipo de solo semelhante. Da mesma forma ocorreu com bacias do município de Rio Verde.

Ao comparar os mapas de perda de solo da bacia do Rio Meia Ponte, percebe-se que o aumento da vegetação nativa, Cenário 2, refletiu na redução das perdas de solo em praticamente toda a área da bacia, mas principalmente na parte mais à montante, onde apresentava as áreas mais críticas de perdas de solo no Cenário 1. Neste local a declividade média é baixa, o solo é argissolos, que são solos com erodibilidade alta e o uso do solo é agricultura no cenário atual. Nota-se desta forma que a alteração do uso do solo para vegetação nativa, apresentou resultado positivo em áreas de solo favoráveis a erosão, evidenciando a importância do planejamento destas áreas.

Destaca-se que a urbanização sem planejamento e agricultura extensiva, ainda causam carreamento de solo em diversas partes do mundo. Em áreas de maior afinidade agrícola, as perdas podem ser mais recorrentes. A perda gradual da capacidade produtiva do solo e a degradação dos recursos hídricos por sedimentos e poluentes, é investigada e apontada por autores como consequência do uso inadequado dos solos agrícolas (Perazzoli et al., 2013). Sistemas de produção agrícola, tal como o uso do plantio direto, fazem com que as perdas sejam ainda menores, no entanto, o melhor a ser feito é evitar a supressão da cobertura vegetal originalmente estabelecida na área.

Quando submetidas as bacias estudadas à classificação quanto a susceptibilidade erosiva apresentada por Perovic et al. (2013), observa-se que nenhuma das bacias tiveram mudança de classe devido à influência da quantidade de vegetação nativa na bacia. Permanecendo as bacias do Ribeirão das Lajes e o Ribeirão Abóbora na classe de

susceptibilidade erosiva moderada; as bacias dos Córregos Bacalhau e Pedro Ludovico com susceptibilidade erosiva muito alta; Rio Meia Ponte em susceptibilidade erosiva alta.

CONCLUSÕES

Os modelos matemáticos que permitem a simulação de cenários ambientais, são a cada dia mais utilizados na compreensão de processos ambientais intensificados pela ação antrópica. Estudos similares ao que foi realizado são importantes na visualização de como o meio seria sem (ou com menor) a ação humana. Além disso, auxiliam na tomada de decisão por parte de governantes que são responsáveis também pela realização de políticas públicas que afetam diretamente aspectos essenciais para o cidadão comum e para as indústrias, tal como o abastecimento de água para consumo humano e a irrigação de áreas agrícolas.

Após a simulação dos dois cenários estudados, para os diferentes usos do solo (Cerrado, floresta, agricultura, pastagem, área urbana e reflorestamento) o Córrego Pedro Ludovico foi o corpo hídrico com maior redução na carga de material transportado. Práticas conservacionistas edáficas, mecânicas e vegetativas são alternativas utilizadas em todo o mundo no controle e barramento de sedimentos provenientes do carreamento de solo após precipitações em áreas com ausência de cobertura vegetal. Curvas de níveis e construção de terraços, ainda que exijam investimento inicial, manutenção adequada e mudança das rotas dos maquinários, são eficientes ao se tratar da retenção de sedimentos em áreas agrícolas, considerando que municípios tal como Rio Verde estão entre os responsáveis pela produção agrícola em Goiás.

Ferraz et al. (2013), afirmam que a diferença pouca significativa nos valores de perda de solo quando na mudança dos cenários pode ser justificada pelo estabelecimento aleatório da Reserva Legal. Desta forma, o autor complementa afirmando que a combinação das áreas legalmente protegidas como Reserva Legal e Área de Preservação Permanente (APP) em um planejamento estratégico de localização desta primeira, poderia proporcionar benefícios ainda maiores na redução de processos erosivos. Indicando que a diferença na quantidade de vegetação nativa pode não ser o fator principal, mas a sua localização.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) por conceder uma bolsa de estudo para o primeiro autor.

REFERÊNCIAS

BARROS, C. A. P.; MINELLA, J. P. G.; TASSI, R.; DALBIANCO, L.; OTTONELLI, A. S. Estimativa da infiltração de água no solo na escala de bacia hidrográfica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 2, p. 557-564, mar./abr. 2014.

BERTOSSI, A. A. A.; CECÍLIO, R. A.; NEVES, M. A.; GARCIA, G. O. Qualidade da água em microbacias hidrográficas com diferentes coberturas do solo no sul do Espírito Santo. **Revista Árvore**, v. 37, n. 1, Jan/fev, 2013.

BRASIL. Lei de Nº 12.651, de 25 de maio de 2012. **Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm>. Acesso em: 15 jan. 2016.

CARVALHO, N.O. Hidrossedimentologia prática. Rio de Janeiro: **Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais (CPRM)**, 1994, 372 p.

CARVALHO NETO, J. G.; SRINIVASAN, V. S.; RUFINO, I. A. A. Aplicação do modelo SWAT para estudo de cenários hipotéticos na bacia hidrográfica do Riacho dos Namorados no Cariri Paraibano. **Revista Geográfica Acadêmica**, Roraima, v. 5, n. 2, p. 30-40, 2011.

COSTA, C. F. G.; FIGUEIREDO, R. O.; OLIVEIRA, F. A.; SANTOS, I. P. O. Escoamento superficial em Latossolo Amarelo distrófico típico sob diferentes agroecossistemas no nordeste paraense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 2, p. 162-169, fev. 2013.

CORREA, C. P. C.; ALIAGA, C. valuación de la pérdida de suelo, asociada al proceso de expansión urbana y reconversión productiva. Caso: comunas de Los Andes, Quillota y Concón, valle del Aconcagua., **Revista de Geografía Norte Grande**, v. 45, p. 41-49, 2010.

EURICH, J.; WEIRICH NETO, P. H.; ROCHA, C. H.; EURICH, Z. R. S. Avaliação visual da qualidade da estrutura do solo em sistemas de uso das terras. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, n. 6, p. 1006-1011, nov./dez. 2014.

EZZ-ALDEEN, M.; AL-ANSARI, N.; KNUTSSON, S. Application of Swat Model to Estimate the Sediment Load From the Left Bank of Mosul Dam. **Journal of Advanced Science and Engineering Research**, v. 3, n. 1, p. 47-61, March 2013.

FERRAZ, S.F.B.; PEREIRA, M.F.; PAULA, F.R.; VETTORAZZI, C.A.; ALVARES, C.A. Simulação de perdas de solo em função de cenários de adequação ambiental em microbacias agrícolas. **Scientia Forestalis**, v. 41, n. 98, p. 271-282, Piracicaba, jun. 2013

FIORIO, P. R.; DUARTE, S. N.; RODRIGUES, G. O.; MIRANDA, J. H.; COOKE, R. A. Comparação de equações de chuvas intensas para localidades do estado de São Paulo. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 6, p. 1080-1088, nov./dez. 2012.

GALHARTE, C. A.; VILLELA, J. M.; CRESTANA, S. Estimativa da produção de sedimentos em função da mudança de uso e cobertura do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 2, p. 194-201, 2014.

GAMVROUDIS, C.; NIKOLAIDIS, N. P.; TZORAKI, O.; PAPADOULAKIS, V.; KARALEMAS, N. Water and sediment transport modeling of a large temporary river basin in Greece. **Science of the Total Environment**, USA, v. 508, p. 354-365, Mar. 2015.

HERMUCHE, P.M.; GUIMARÃES, G. M. A.; CASTRO, S. S. *Análise dos compartimentos morfopedológicos como subsídio ao planejamento do uso do solo em Jataí – GO*. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, n. 26, p. 113-131, 2009.

KOZYRAKIS, G. V.; DELIS, A. I.; ALEXANDRAKIS, G.; KAMPANIS, N. A. Numerical modeling of sediment transport applied to coastal morphodynamics. **Applied Numerical Mathematics**, USA, v. s / n, p. 1-17, Oct. 2014.

KUWAJIMA, J.I. **Análise do modelo SWAT como ferramenta de prevenção e de estimativa de assoreamento no reservatório Lobo (Itirapina/Brotas/SP)**. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, 156p, 2012.

KUWANO, B. H.; KNOB, A.; FAGOTTI, D. S. L.; MELÉM JÚNIOR, N. J.; GODOY, L.; DIEHL, R. C.; KRAWULSKI, C. C.; ANDRADE FILHO, G.; ZANGARO FILHO, W.; TAVARES-FILHO, J.; NOGUEIRA, M. A. Soil quality indicators in a rhodic kandudult under different uses in northern Parana, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, vol. 38, n. 1, p. 50-59, jan./fev. 2014.

LEÃO, R. A. O.; SOARES, A. A.; TEIXEIRA, A. S.; SILVA, D. D. Georeferenced database generation with the purpose of hydrologic molding in reservoirs of the hydrographic basin of Jaguaribe river in the state of Ceará, Brazil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 33, n. 2, p. 388-401, mar./abr. 2013.

LELIS, T. A. **Modelagem do escoamento superficial e perda de solo na bacia do ribeirão São Bartolomeu, Zona da Mata de Minas Gerais, utilizando o simulador SWAT**. fl. 164. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, 2011.

_____.; CALIJURI, M. L.; SANTIAGO, A. F.; LIMA, D. C.; ROCHA, E. O. Análise de sensibilidade e calibração do modelo SWAT aplicado em bacia hidrográfica da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 2, p. 623-634, mar./abr. 2012.

LIMA, J. S. S.; SOUZA, G. S.; SILVA, S. A. Distribuição espacial da matéria orgânica, grau de floculação e argila dispersa em água em área de vegetação natural em regeneração e pastagem. **Revista Árvore**, Viçosa, vol. 37, n. 3, p. 539-546, maio/jun. 2013.

LOBERA, G.; BATALLA, R. J.; VERICAT, D.; LÓPEZ-TARAZÓN, J. A.; TENA, A. Sediment transport in two mediterranean regulated rivers. **Science of the Total Environment**, USA, v. 540, p. 101-113, Jan. 2016.

MARMONTEL, C. V. F & RODRIGUES, V. A. Parâmetros Indicativos para Qualidade da Água em Nascentes com Diferentes Coberturas de Terra e Conservação da Vegetação Ciliar. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 22, n. 2, p. 171-181, abr./jun. 2015 Epub 12-Maio-2015.

MINOTE, R.T. **Abordagens Qualitativa e Quantitativa de Micro-bacias Hidrográficas e áreas alagáveis de um compartimento do Médio Mogi Superior/SP**. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, 231p, 2006.

NEVES, S.M.A.S.; MOTINHO, M.C.; NEVES, R.J.; SOARES, E.R.C. Estimativa da perda de solo por erosão hídrica na bacia hidrográfica do rio Jauru/MT / Estimation of soil loss for rainfall erosion in the catchment area of Jauru, Mato Grosso State, Brazil. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, n. 3, p. 423-434, set/dez, 2011.

NERANTZAKI, S. D.; GIANNAKIS, G. V.; EFSTATHIOU, D.; NIKOLAIDIS, N. P.; SIBETHEROS, I. A.; KARATZAS, G. P.; ZACHARIAS, I. Modeling suspended sediment transport and assessing the impacts of climate change in a karstic Mediterranean watershed. **Science of the Total Environment**, USA, v. 538, p. 288–297, Dec. 2015.

PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; ALVES SOBRINHO, T. A.; OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B. Perdas de solo e de água e infiltração de água em latossolo vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 35, n. 5, p. 1777-1786, set./out. 2011.

PERAZZOLI, M.; PINHEIRO, A.; KAUFMANN, V. Efeitos de cenários de uso do solo sobre o regime hídrico e produção de sedimentos na bacia do Ribeirão Concórdia – SC. **Revista Árvore**, v. 37, n. 5, p. 859-869, set./out. 2013.

PEROVIC, V.; ZIVOTIC, L.; KADOVIC, R.; DORDEVIC, A.; JARAMAZ, D.; MRVIC, V.; MRVIC, V.; TODOROVIC, M. *Spatial modelling of soil erosion potential in an untained watershed of South-eastern Serbia*. **Environ Earth Sci**. n.68, p.115–128, 2013.

PINHEIRO, A.; KAUFMANN, V.; SCHNEIDERS, D.; GOTARDO, R. Transporte de sedimentos e espécies químicas em áreas de reflorestamentos e pastagem com base em chuva simulada. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 8, n. 2, p. 109-123, maio/ago. 2013.

POSSAVATZ, J.; ZEILHOFER, P.; PINTO, A. A.; TIVES, A. L.; DORES, E. F. G. C. Resíduos de pesticidas em sedimento de fundo de rio na Bacia Hidrográfica do Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 9, n. 1, p. 83-96, jan./mar. 2014.

SANTOS, R.O. **Avaliação da produção de sedimentos na bacia hidrográfica do rio Potengi através do modelo SWAT**. Dissertação (Mestre em Engenharia Sanitária) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Sanitária, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 186p, 2010

SILVA, A.M; ALVARES, C.A. Levantamento de informações e estruturação de um banco dados sobre a erodibilidade de classes de solos no Estado de São Paulo. **Geociências**, v. 24, n. 1, p. 33-41, São Paulo, 2005.

SILVA, A. M.; SANTOS, A. R.; FERNANDES, R. A.; URBAN, R. C.; CARVALHO, R. M.; MANFRÉ, L. A.; DURRANT, S. F. Hydrosedimentological disequilibrium in a small, urbanized watershed. **Acta Limnologica Brasiliensia**, Rio Claro, v. 25, n. 2, p. 140-149, abr./jun. 2013.

SOUZA, R. M. S.; SOUZA, E. S.; ANTONINO, A. C. D.; LIMA, J. R. S. Balanço hídrico em área de pastagem no semiárido pernambucano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 5, p. 449-455, maio. 2015.

TROEH, F.R.; HOBBS, J.A.; DONAHUE, R.L. Soil and Water Conservation. Englewood Cliffs. **Prentice-Hall**, 1991, 530p.

WRUBBLACK, S. C.; MERCANTE, E.; BOAS, M. A. V. Mapping of use and occupation of the soil and irrigation water quality in the city of Salto do Lontra-Paraná, Brazil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 33, n. 5, p. 1024-1037, Sept./Oct. 2013.

CAPÍTULO IV

ÍNDICE DE QUALIDADE AMBIENTAL DE BACIAS HIDROGRÁFICAS DE MANANCIAIS DE ABASTECIMENTO DO ESTADO DE GOIÁS

Water quality index to river basin in Goiás state supply sources

ÍNDICE DE QUALIDADE AMBIENTAL DE BACIAS HIDROGRÁFICAS DE MANANCIAIS DE ABASTECIMENTO DO ESTADO DE GOIÁS

Water quality index to river basin in Goiás state supply sources

RESUMO

As bacias hidrográficas de mananciais de abastecimento tem sofrido intensa pressão antrópica, ocasionando alterações significativas em sua qualidade ambiental e refletindo diretamente na qualidade da água do manancial. O nível da degradação nestes sistemas decorre da ausência de comprometimento e inadequação das políticas públicas, gerando vulnerabilidade ambientais e danos sociais e econômicos. Desta forma, buscou-se neste trabalho a identificação da qualidade ambiental de 126 bacias hidrográficas de mananciais de abastecimento do estado de Goiás através da construção de um índice, utilizando as variáveis perda de solo, porcentagem de vegetação nativa, Índice de Qualidade da Água (IQA) e Índice de Desempenho dos Municípios (IDM). Os resultados demonstraram que aproximadamente 84% das bacias estudadas apresentaram condição péssima ou ruim.. Desta forma, percebe-se a necessidade urgente de políticas de planejamento para as bacias hidrográficas de mananciais de captação de modo de favorecer a ocupação adequada.

Palavras-chave: indicadores ambientais, perda de solo, IQA,

ABSTRACT

Watersheds supply sources has been intense anthropogenic pressure, causing significant changes in its environmental quality and reflecting directly on source water quality. The level of degradation in these systems is the lack of commitment and inadequate public policies, creating environmental vulnerability and social and economic damage. Thus, we sought in this study to identify the environmental quality of 126 watersheds supply springs of Goiás State by building an index using the variables soil loss, percentage of native vegetation, Water Quality Index (IQA) and Municipal Performance Index (MPI). The results showed that approximately 84% of studied basins showed poor or bad condition. Thus, we see the urgent need for policy planning for river basins in order to capture watershed to promote the proper occupation.

Keywords: environmental indicators, soil loss, IQA.

INTRODUÇÃO

A necessidade de preservação ambiental e o uso consciente de recursos naturais é algo cada vez mais discutido entre a sociedade civil e comunidade científica. O solo, água e ar são alguns dos aspectos ambientais visados com relação a políticas e também por estudos voltados para uma utilização mais sensibilizada com os problemas ambientais, onde a pegada ecológica poderá ser menor e enfim o desenvolvimento considerando os aspectos sociais, econômicos e ambientais poderá acontecer.

A qualidade ambiental de um sistema está diretamente relacionada a forma como o utiliza. Conhecer a atual qualidade dele envolve o conhecimento de todos os componentes ambientais de uma determinada área em diferente escalas (país, estado, município, bacia hidrográfica).

Desta forma, um diagnóstico ambiental de uma bacia hidrográfica exige um trabalho que envolva um planejamento criterioso para equacionar as relações de causa-efeito geradas pelo uso, uma vez que em sua área se manifestam conflitos decorrentes das interações dos aspectos naturais e humanos (ROCHA et al. 2010).

As alterações humanas nestas áreas tem sido alvo de preocupações, sendo crescente os estudos que buscam avaliar os impactos advindos dessas mudanças no sistema (PRADO & NOVO, 2015; MONTOYA et al., 2016; OU et al., 2016). Entende-se que interferências nos diferentes componentes do ambiente podem comprometer a funcionalidade do sistema, alterando o seu estado de equilíbrio dinâmico (ROSA et al., 2014).

É importante salientar que o nível de degradação em que se encontram as bacias hidrográficas, decorre a ausência de comprometimento e inadequação das políticas públicas, gerando vulnerabilidade ambientais e danos ambientais, sociais e econômicos.

Assim, a necessidade do monitoramento ambiental dessas áreas é indiscutível, sendo uma ferramenta importante que favorece o acompanhamento das alterações ambientais antrópicas causadas ao longo do tempo. Que pode ser realizada pela utilização de índice e indicadores que visam acompanhamento da qualidade do meio através de um número menor de variáveis, facilitando assim a análise e interpretação dos resultados (ROCHA & PEREIRA, 2016).

Portanto, este trabalho visou construir um índice capaz de estimar o nível de qualidade de bacias hidrográficas de mananciais de abastecimento por meio de uma abordagem integrada da análise ambiental e socioeconômica.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de Estudo

As bacias estudadas estão localizadas no estado de Goiás, inserido na região centro-oeste do Brasil. O Estado está dividido em 246 municípios, agrupados em cinco grandes mesorregiões e 10 Regiões de Planejamento. Toda essa região está inserida em três grandes bacias hidrográficas, Tocantins-Araguaia, Paraná e São Francisco (ANA, 2007).

O Estado se destaca no Brasil, pelo seu significativo incremento demográfico, Sendo que em 2000 a população era de 4.514.510 habitantes e em 2015 a população estimada foi de 6.610.81 habitantes (IBGE, 2015), ou seja, um aumento populacional de 31,7%. A população goiana está concentrada principalmente na mesorregião Centro Goiana, onde residem 51% dos habitantes. Essa concentração é explicada principalmente pela localização da capital do Estado que forma com mais dezenove municípios a Região Metropolitana de Goiânia.

De maneira geral, o uso do solo nas bacias em estudo é marcado por ampla exploração agropecuária, com extensa ocupação por pastagem e agricultura. Os remanescentes de vegetação nativa nas bacias são representados pela classe de Cerrado e Florestas Nativas e estão mais presentes nas bacias da região Nordeste Goiano do Estado.

O mapeamento do uso do solo, realizado a partir de imagens Landsat/TM-5 obtidas em 2011, demonstra que o território goiano é ocupado em 62,16% por áreas antropizadas, sendo 39,96% por pastagens 22,2% agricultura, a vegetação remanescente ocupa 35,21% do território, as manchas urbanas e os grandes corpos d'água estão em 2,4% do território goiano e os 0,23% restantes são de mineração, estradas, bancos de areia e outros (GOIÁS, 2011). A maior parte dessa vegetação remanescente nativa se encontra no Nordeste Goiano e há grande ocorrência de agricultura e pastagem no Sul Goiano, onde poucas áreas estão cobertas por vegetação remanescente nativa. No Centro Goiano é pouca a presença de vegetação nativa, por outro lado é possível observar grandes áreas urbanizadas, áreas agrícolas e pastagens.

Na **Figura 1**, é possível observar o uso do solo em cada mesorregião do Estado de Goiás.

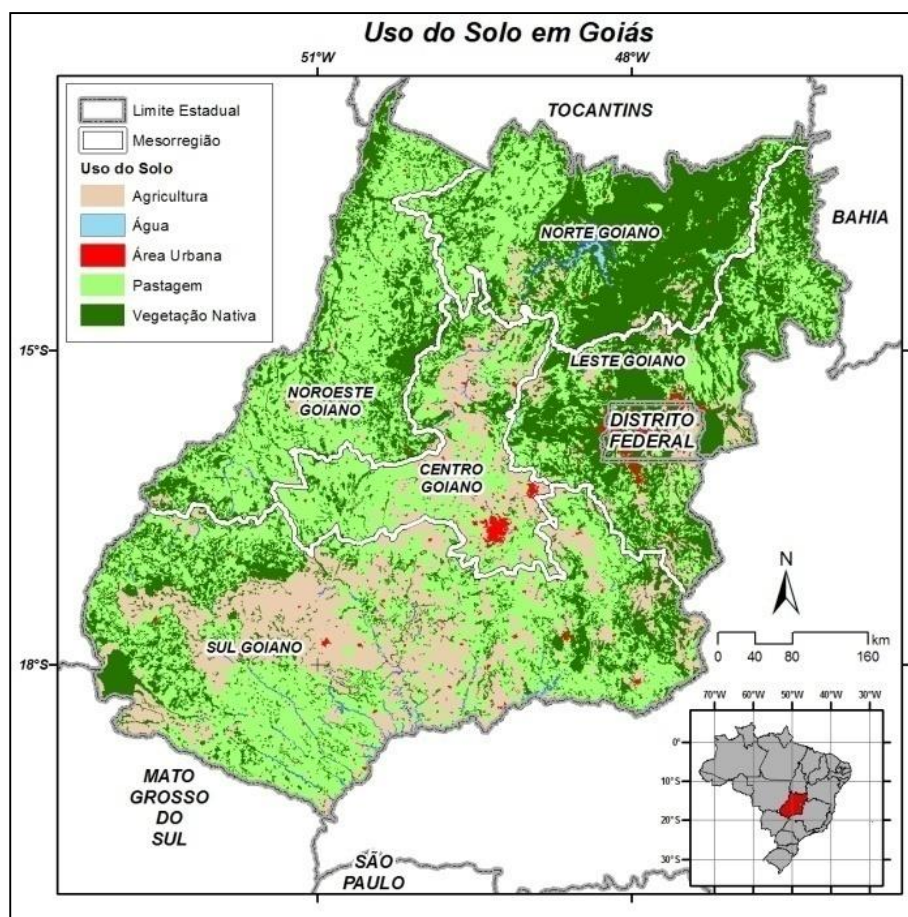


Figura 1: Uso do solo no Estado de Goiás. (SOUZA et al., 2014).

Todas as 126 bacias hidrográficas estudadas neste trabalho são de mananciais de abastecimento público gerenciados pela SANEAGO, que abastecem 122 municípios, distribuídas em todo o estado de Goiás.

Construção do Índice

Procurou-se a escolha de um conjunto de variáveis que estivessem relacionadas à processos que causam interferência na qualidade da bacia hidrográfica e do manancial. Desta forma, construiu-se o Índice de Qualidade Ambiental das Bacias Hidrográficas (IQAB) utilizando as variáveis, perda de solo (PS) e Porcentagem de Vegetação Nativa na bacia (PVN), Índice de Qualidade da Água do manancial (IQA) e Índice de Desempenho dos Municípios (IDM) do município no qual está inserida a bacia.

Na construção do IQAB foi utilizada a técnica estatística da Análise Fatorial (AF), empregada para reduzir um maior número de variáveis a um número menor, com a utilização dos fatores, que incorporam as comunalidades presentes em cada uma das

variáveis originais. Esta é uma técnica de interdependência, na qual todas as variáveis são simultaneamente consideradas, relacionando umas a outras (BEZERRA, 2007).

A AF favorece a determinação de variáveis latentes, que são aquelas que não possuem métodos para determinação de forma direta, que neste trabalho é a qualidade ambiental da bacia hidrográfica. No entanto, é possível determiná-la a partir de um conjunto de variáveis através da construção de um indicador que possibilite o ranqueamento das bacias de acordo com a qualidade ambiental de cada uma.

As variáveis foram submetidas à AF pelo método das análise de componentes principais (ACP) no software estatístico SPSS. Inicialmente elas foram normalizadas, a fim de evitar erros de classificação, devido a diferença de dimensionalidade dos dados (LIU *et al.*, 2003), e posteriormente transformados em uma matriz de correlação. O IQAB foi padronizado para variar de 0 a 10, considerando o pior cenário valores próximos a 0.

Empregou-se o método estatístico Análise de Cluster, pela distância euclidiana (SINGH *et al.*, 2004), na definição de 5 categorias diferentes, Ótimo, Bom, Razoável, Ruim e Péssimo, para classificação das bacias segundo o IQAB.

Os resultados do IQAB encontrado para as bacias foi exposto por regiões de planejamento do Estado de Goiás (SEGPLAN, 2006) por meio de barras, tabelas, mapa e gráficos *boxplot*, produzido no programa Excel® juntamente com o XLSTAT com um intervalo de confiança de 95%.

Cálculo da Perda de Solo (PS)

Para determinação da Perda de solo foi utilizada a Equação Universal de Perda de Solo – EUPS também utilizada por Elçi & Selçuk (2013); Perovic et al. (2013); Silva (2014), que é constituída por fatores naturais e antrópicos multiplicados entre si, que representados em uma equação resultam em perda de solo anual média por unidade de área, **Equação 1.**

$$A = R \times K \times LS \times CP \quad (1)$$

Onde:

A = estimativa da perda média anual de solo ($t \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$);

R= erosividade da precipitação e da enxurrada ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$);

K = fator de erodibilidade do solo ($t \text{ ha MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$);

LS = comprimento de rampa (adimensional);

CP = fator de cobertura e manejo da cultura no local e fator de prática agrícola utilizada (P= 1).

O valor da Erosividade da Precipitação (R) para as bacias hidrográficas estudadas foi calculado utilizando registros contínuos de precipitação pluviométrica (mm.dia⁻¹) disponibilizada por *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM). O uso deste tipo de técnicas de sensoriamento remoto, facilita a disponibilização de series dados em bacias não monitorizadas, permitindo estimar o índice pluviométrico médio anual com um grau de confiabilidade suficiente (NOBREGA et al., 2008), como foi aplicado em outros estudos hidrometeorológicos no Brasil como Collischon et al. (2007); Nobrega et al. (2008). As estimativas de precipitações acumuladas diárias foram obtidas para o ano de 2012 com resolução de 0,25 x 0,25 graus.

Os valores de erodibilidade do solo K foram obtidos por meio de dados da literatura proposto por Silva e Alvares (2005) O fator topográfico (LS) foi calculado empregando-se o Modelo de Elevação Digital (MDE) e os registros coletados do banco de dados do projeto Topodata. Posteriormente, trabalhou-se com o modelo proposto Moore e Burch (1986) e utilizado por Shiferaw (2011), Silva (2014) e Santos et al. (2015), **Equação (2)**.

$$LS = \left(\frac{\text{fluxo acumulado} \times \text{tamanho da celula}}{22,13} \right)^{0,4} \times \left(\frac{\text{seno declividade}}{0,0896} \right)^{1,3} \quad (2)$$

Para a determinação do uso e ocupação do solo nas bacias, utilizou-se o mapa de uso e cobertura vegetal da terra do estado de Goiás (GOIÁS, 2011) e em seguida foi aplicada a metodologia proposta por Baptista (2003), na qual são correlacionadas as classes de uso e ocupação de solo com os fatores C e P integradas, tornando-se CP.

Índice de Qualidade da Água (IQA)

Para a determinação do IQA foi utilizado a **Equação 3**, adaptada do método de Souza (2014). Foram utilizadas para o cálculo os resultados das análises da água bruta realizadas pela SANEAGO nos anos de 2012 e 2013, empregando os parâmetros turbidez (T), cor aparente (CA), pH, alcalinidade total (AT), dureza (D), oxigênio consumido (OC), coliformes totais (CT) e *Escherichia coli* (EC).

A seleção dos parâmetros utilizados seguiu o critério de importância, já que os adotados são relevantes como paradigmas da qualidade da água e são sensíveis às

alterações e modificações das bacias hidrográficas (LIMA et al., 2000; HUNTER & WALTON, 2008; RABELO et al., 2009), além de terem sido monitoradas nos 126 mananciais nos dois anos estudados.

Os dados foram padronizados a fim de evitar erros de classificação e posteriormente submetidos à técnica de análise multifatorial, mais precisamente a Análise Fatorial/Análise dos Componentes Principais (AF/ACP).

Este IQA trabalha com valores que variam de 0 a 1, considerando o pior cenário com IQAs próximos a 0.

$$IQA = 0,19T + 0,221CA + 0,179pH + 0,201AT + 0,192D + 0,185OC + 0,189CT + 0,163EC \quad (3)$$

Índice de Desempenho dos Municípios (IDM)

O uso de variáveis sociais e econômicas nas investigações realizadas em bacias hidrográficas tem sido justificado pela correlação existente entre o nível de qualidade socioeconômica da população residente e a qualidade ambiental geral da bacia (BOLLMANN, 2001). Desta forma, empregou-se neste trabalho o uso do Índice de Desempenho dos Municípios (IDM), um indicador socioeconômico dos municípios Goianos, que varia de 0 a 10, desenvolvido pelo Instituto Mauro Borges de Estatística e Estudos Socioeconômicos, que apresenta uma medida sintética de parte do contexto socioeconômico dos municípios em seis áreas de atuação: Economia, Educação, Infraestrutura, Saúde, Segurança e Trabalho. Utilizou-se neste trabalho o valor do IDM Geral do ano de 2012, o mais recente disponível, para todos os 122 municípios abordados nesta pesquisa (SEGPLAN, 2012).

Porcentagem de Vegetação Nativa nas Bacias (PVN)

Considerando a importância da cobertura vegetal na conservação da quantidade e qualidade da água de mananciais, uma vez que a retirada de vegetação nativa impacta significativamente na quantidade de material carreado para o manancial, bem como na alteração da sua qualidade. Foi realizada a identificação da porcentagem de vegetação nativa existente na bacia como forma de mensurar parcialmente o nível de conservação da área (PANACHUKI et al., 2011; MARMONTEL & RODRIGUES, 2015).

Esta variável foi determinada utilizando o mapa de uso e cobertura vegetal da terra do estado de Goiás (GOIÁS, 2011). Realizou-se a delimitação das bacias e a identificação das áreas de vegetação nativa em cada bacia no software ARCGIS. Desta forma, a

porcentagem da vegetação nativa para cada bacia estudada foi calculada empregando a **Equação 4**.

$$PVN = \frac{AVG (m^2)}{AT (m^2)} \quad (4)$$

PVN = Vegetação Nativa (faixa de variação entre 0 e 1)

AVG = Área com vegetação nativa presente na bacia (m²)

AT = Área total da bacia (m²)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo da AF empregando a ACP mostrou-se adequado para uma matriz de correlação composta pelas quatro variáveis, uma vez que se mostraram significativas na explicação da variância total.

Na matriz de correlação observa-se que todas as variáveis estudadas apresentaram correlação superior a 0,4 com pelo menos outra variável. Pode-se, também, observar, uma forte correlação de 0,63, entre perda de solo e vegetação nativa. Liu et al. (2003) classifica os fatores de correlação em forte, moderado e fraco, correspondendo à carga absoluta dos fatores >0,75, 0,75–0,50 e 0,50–0,30, respectivamente.

Apenas a variável IDM teve correlação negativa com todas as outras três variáveis e na composição do índice final obterá um coeficiente negativo.

O teste de adequacidade aplicado ao modelo, Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), indicou um valor de 0,61 (regular). Como o MSA > 0,5, a análise fatorial é adequada para a amostra utilizada.

Os pesos fatoriais atribuídos a cada componente na AF/ACP, bem como a percentagem da variância total explicada por cada componente, podem ser observados na **Tabela 1**. Verifica-se que os dois primeiros componentes explicaram respectivamente 44,33% e 24,18% da variância total dos dados, totalizando nas duas dimensões 68,51% das informações antes representadas pelas quatro variáveis. Podem ser observados os valores dos pesos fatoriais para as duas componentes (F1, F2). Essas componentes numéricas expressam a relação entre fatores e variáveis, e permitem a identificação das variáveis com maiores inter-relações em cada componente. Os valores elevados dos pesos fatoriais sugerem quais são as variáveis mais significativas em cada fator. No primeiro fator, nota-se que as variáveis vegetação nativa e perda de solo apresentam valores mais

altos, seguido do IQA. Isto indica que estas variáveis são mais significativas na definição da qualidade das bacias estudadas.

Tabela 1: Comunalidades, matriz de cargas fatoriais e variância explicada pelos fatores obtidos na Análise Fatorial/Análise da Componentes Principais (AF/ACP) das variáveis que compõem o IQAB.

Variável	Matriz de carga fatorial		Comunalidade esperada	
	F1	F2	Fator F1	Fatores F1 e F2
Vegetação Nativa	0,804	0,013	64,6	64,7
Perda de solo	0,856	0,025	73,3	73,3
IDM	-0,397	0,791	15,8	78,4
IQA	0,486	0,583	23,6	57,6
Variância (%)	44,33	24,18		
Variância acumulada (%)	44,33	68,51		

Ainda na **Tabela 1**, verifica-se que nas comunalidades, 73,3% da variância da perda de solo e 64,6% da vegetação nativa é explicada pelo primeiro fator, enquanto somente 15,8% da variância do IDM. Desta forma, nota-se que o Fator 1 explica muito bem a variância da vegetação nativa e de perda de solo.

Realizados os procedimentos de análise fatorial, obtiveram-se os fatores e os coeficientes (cargas fatoriais) que foram utilizados para estimar os escores fatoriais a partir dos quais calculou-se o IQAB utilizando a **Equação 5**.

$$\text{IQAB} = (0,453 \cdot \text{VN}) + (0,483 \cdot \text{PS}) - (0,227 \cdot \text{IDM}) + (0,272 \cdot \text{IQA}) \quad (5)$$

VG = Porcentagem de Vegetação Nativa;

PS = Perda de Solo

IDM = Índice de Desempenho dos Municípios

IQA = Índice de Qualidade da Água

A partir da análise de Cluster chegou-se às faixas de cada categoria do IQAB de forma que os cinco agrupamentos apresentassem um alto grau de homogeneidade entre as bacias estudadas (**Tabela 2**).

Tabela 2: Faixa de classificação do IQAB obtidas a partir da Análise de Cluster

Categoria	Valor de IQAB
Ótima	8,41 – 10,0
Boa	5,59 – 8,40
Razoável	3,46 – 5,58
Ruim	2,51 – 3,45
Péssima	0 – 2,50

A **Figura 2** apresenta os Gráfico *boxplot* elaborado a partir dos valores de IQAB de todas as bacias. Nele é possível observar os valores médios do IQAB para as 10 Regiões de Planejamento do Estado de Goiás. Nota-se que as piores médias, ocorrem nas regiões do Centro Goiano, Sudoeste Goiano e região Metropolitana. No Centro Goiano está inserido os grandes centros urbanos, com muita alteração do uso do solo e com bacias degradadas, o que implicou em uma pior qualidade de água, condição identificada no trabalho de Souza (2014).

Enquanto que a melhor média de IQAB é na região do Nordeste Goiano (**Figura 2**), o qual também possui maior porcentagem de vegetação nativa e IQA médio entre os melhores das regiões de planejamento, conforme apresentado na Figura 3, no qual está apresentado os valores médios parametrizados de cada variável do IQAB por região de planejamento do estado de Goiás.

Percebe-se que as qualidades das bacias apresentam comportamento inverso ao IDM, ou seja, quanto maior o valor desta variável para o município menor a qualidade ambiental da bacia. O que pode ser justificado pela pressão econômica sofrida na bacia. Já que muitas vezes o ganho econômico e social é obtidos às custas de forte pressão sobre o ambiente local/regional, conforme discutido por Braga et al. (2003).

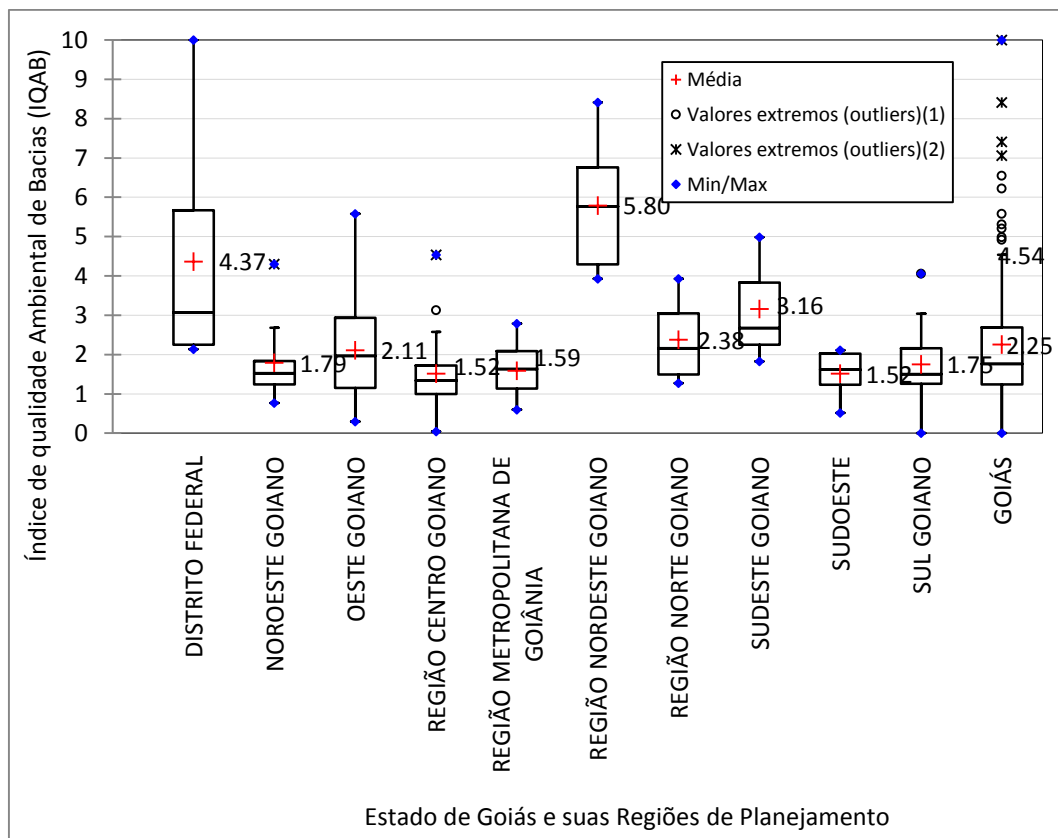


Figura 2: Valores do IQAB das 126 bacias do estado de Goiás e divididas pelas suas Regiões de Planejamento, contendo os valores mínimos, médios, mediana e máximos, bem como os valores atípicos.

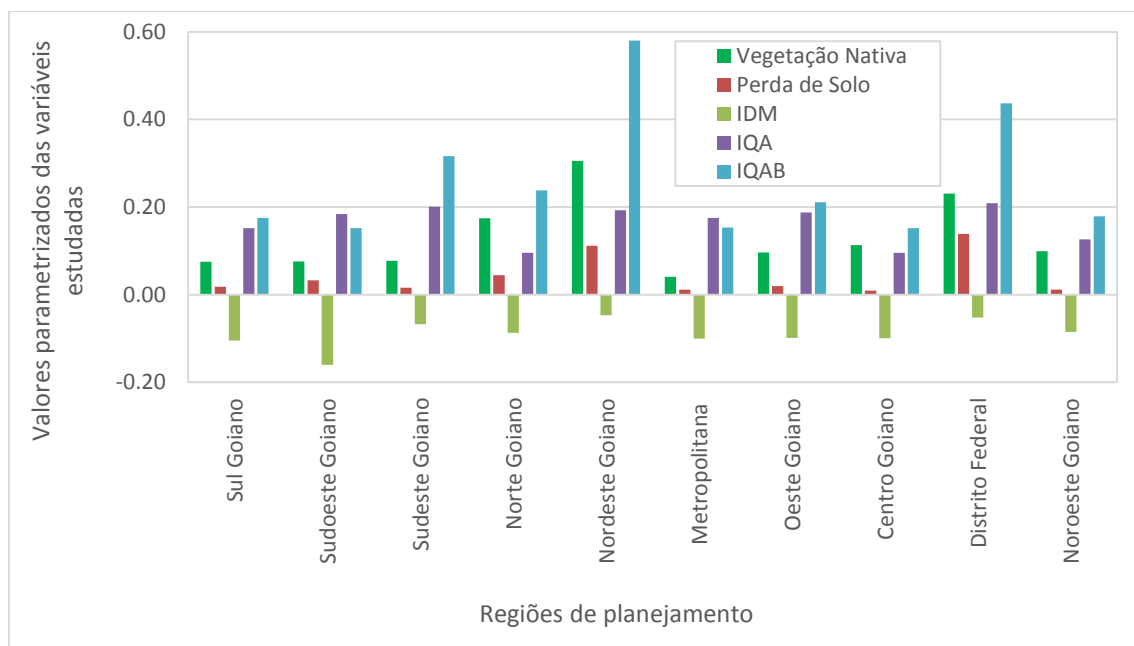


Figura 3: Valores parametrizados da média de cada variável que compõe o IQAB para cada região de Planejamento do Estado

Na **Figura 4** está distribuída a classificação relativa às 126 bacias hidrográficas estudadas, onde 70,6% estão classificadas com IQAB péssimo, a maior parte na região do Oeste Goiano com 16,67%, seguida do Sul Goiano com 12,70% e região Metropolitana com 11,9%, os 29,33% restantes estão presentes nas outras regiões, com exceção da região Nordeste Goiano que não possui nenhuma bacia nestas condições. Nas outras classes do IQAB estão, 13,49% com qualidade Ruim, 11,11% com IQAB Razoável, 3,17% Boa, 1,59% Ótima. As duas bacias que apresentaram IQAB ótimo, estão localizadas nos municípios de Pirenópolis e Teresina. Pirenópolis, a bacia do Córrego Laranjal, que possui vegetação nativa em toda a bacia, baixa perda de solo ($0,061 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$), IQA do manancial entre os melhores (0,71). Já Teresina, bacia do Córrego Tereza, também possui vegetação nativa em toda a bacia, baixa perda de solo ($0,38 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$) e IQA de 0,61. Nos dois casos observa-se que o IDM apresentou pouca influência no resultado, já que os municípios possuem baixo IDM, 5,61 e 5,17, respectivamente.

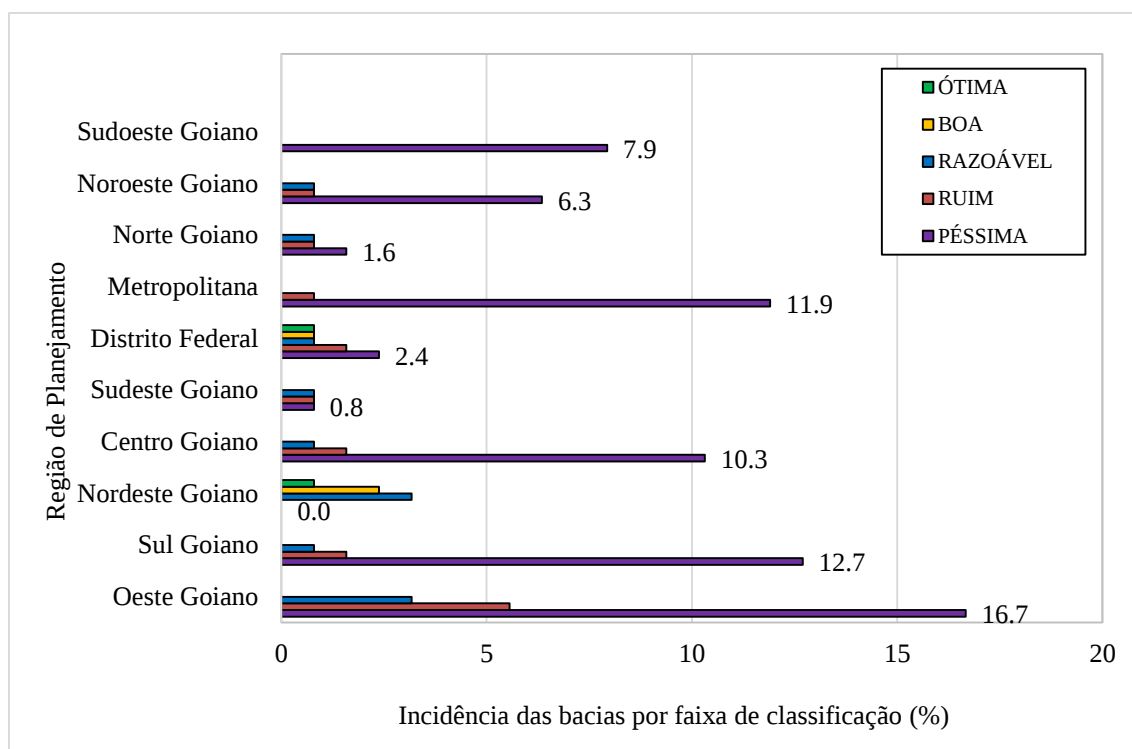


Figura 4: Distribuição por região de planejamento do estado de Goiás conforme a incidência das bacias por faixa de classificação a partir da Análise Cluster.

O Nordeste Goiano possui 8% das bacias estudadas neste trabalho e 50% com IQAB razoável, 37,5% bom e 12,5% ótimo. Nesta região nenhuma apresentou condição ruim ou péssima.

A região Metropolitana de Goiânia possui bacias apenas na categoria péssima e ruim. Nesta região existe uma grande ocupação urbana, explicada principalmente pela localização da capital do Estado que forma com mais dezenove municípios a Região Metropolitana de Goiânia. Os mananciais apresentam IQA variando entre 0,21 a 0,73, com média de 0,53. As perdas de solo em grande parte das bacias está entre moderadas a altas susceptibilidade erosiva, segundo classificação de Perovic et al. (2013).

As regiões Sudoeste, Oeste, Noroeste e Sul, apresentam grande parte das bacias com IQA péssimo e nenhuma classificada em boa (CETESB, 2012). Isto porque estas regiões apresentam municípios com intenso uso do solo, seja na agricultura, pecuária ou aglomerações urbanas, bacias com elevadas perdas de solo, como a bacia do manancial que abastece a Cidade de Goiás, Córrego Pedro Ludovico ($56,87 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), localizado na região Noroeste, que apresenta a maior perda de solo entre as bacias estudadas.

Dos dez piores IQAB, quatro estão no Oeste Goiano, três no Centro Goiano e um no Sul, sendo o pior localizado nesta região, no município de Edéia. Um ainda no Sudoeste e um na Região Metropolitana. Já dos dez melhores valores, cinco estão no Nordeste, três no Distrito Federal, Sudeste e Oeste Goiano com uma bacia cada.

No Quadro 1 estão dispostas as bacias agrupadas quanto ao IQAB a partir da Análise de Cluster, gerando 5 categorias, sendo que estão apresentados os municípios a qual a bacia pertence.

Pode ser observado que 89 bacias tiveram IQAB péssimo, 17 bacias com IQAB ruim, 14 razoável, 4 boa e apenas 2 ótima. Considerando as bacias de captação na condição de péssimo e ruim, tem-se 106 bacias, das 126 estudadas, com situação que merece maiores cuidados.

Na **Figura 5** é possível visualizar a localização de cada bacia no estado de Goiás bem com sua respectiva classificação no IQAB. Os resultados obtidos neste estudo demonstraram que a maioria das bacias de captação apresentaram IQAB péssimo, o que está bastante relacionado com ausência de vegetação nativa, consequentemente alta perda de solo e IQA ruim. O IDM apresentou pouco influência no resultado final deste índice e demonstra comportamento inverso à qualidade ambiental da bacia. É o exemplo das três bacias que abastecem a cidade de Goiânia (Samambia, Meia Ponte e João Leite), o IDM do município é de 7,26, considerado elevado (PNUD, 2014), mas a porcentagem de vegetação nativa nas bacias é pequena, com perda de solo entre moderada e alta (PEROVIC et al., 2013) e IQA razoável (CETESB, 2012). Resultando em um IQAB de 1,17, 1,03 e 1,68 respectivamente, classificado como péssimo.

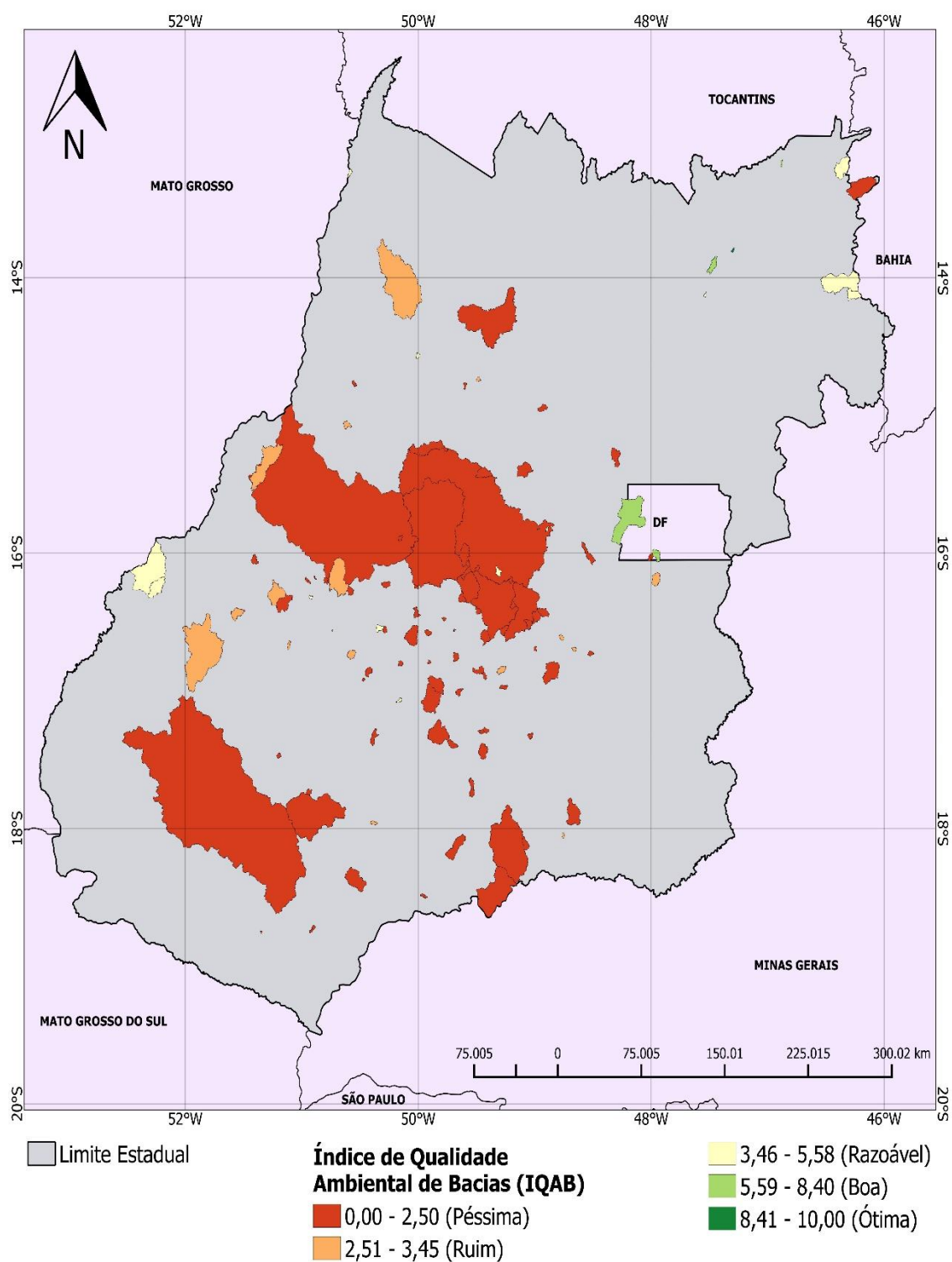


Figura 4: Localização das bacias de captação estudadas no estado de Goiás e suas classificações de acordo com o IQAB

Quadro 1: Municípios divididos quanto a classificação do IQAB.

Bacias de captação com IQAB Péssimo (na ordem do pior para o melhor)
Edeia, Ceres e Rialma, Damolândia, Sanclerlândia, Santa Rosa, Anicuns, Avelinópolis, Quirinópolis, São Luís dos Montes Belos, Inhumas, Santa Helena, Córrego do Ouro, Palmeiras, Caturai, Cidade de Goiás, Bela Vista, Indiará, Palminópolis, Itaberaí, Rubiataba, Carmo do Rio Verde, Goiânia (Rio Meia Ponte), Bom Jesus, Rio Verde (Ribeirão das Lajes), Americano do Brasil, Edealina, Turvânia, Goiânia (Samambaia), Itaguari, Ouro Verde, Campestre, Cezarina, Uruana, Piracanjuba, Trindade, Mozarlândia, Taquaral, Itumbiara, Barro Alto, Cachoeira Dourada, Terezópolis, São João da Paraúna, Itauçu, Pontalina, Firminópolis, Goianésia, Mairipotaba, Caçu, Aruanã, Itaguaru, Anápolis, Acreúna, Campo Verde, Moiriporá, Nerópolis, Araçu, Inaciolandia, Itaruma, Goiânia (Ribeirão Joao Leite), Petrolina, Jussara, Buriti Alegre, Brazabrantes, Rianópolis, Vianópolis, Aragoiânia, Nazário, Varjão, Montes Claros, Heitorai, Marilândia, Professor Jamil, Iporá, Rio Verde (Ribeirão Abóbora), Goianópolis, Cachoeira Alta, Montividiu, Novo Gama, Alexânia, Fazenda Nova, Jaupaci, Caldazinha, Paraúna, Guapó, Padre Bernardo, Santa Bárbara, Cromínia, Aloândia, Hidrolândia.
Bacias de captação com IQAB Ruim (na ordem do pior para o melhor)
Novo Brasil, Campo Limpo, Aurilândia, Leopoldo de Bulhões, Araguapaz, Santo Antônio do Descoberto, Mundo Novo, Aparecida de Goiânia, Piranhas, Amarinópolis, Água Limpa, Marzagão, Hidrolina, Diorama, Britânia, Arenópolis, Luziânia.
Bacias de captação com IQAB Razoável (na ordem do pior para o melhor)
Jandaia, Alto Paraíso, Crixás, Joviânia, Israelândia, Iaciara, Itapuranga, Divinópolis, Pilar de Goiás, Aragarças, Silvânia, Pirenópolis (Córrego Frota), Posse, Bom Jardim.
Bacias de captação com IQAB Boa (na ordem do pior para o melhor)
Cavalcante, São Domingos, Cidade Ocidental, Monte Alegre
Bacias de captação com IQAB Ótima (na ordem do pior para o melhor)
Teresina, Pirenópolis (Córrego Laranjal)

CONCLUSÕES

O objetivo principal deste trabalho foi elaborar um Índice de Qualidade Ambiental de Bacias Hidrográficas (IQAB) que fosse capaz de aferir o atual estágio de qualidade ambiental de 126 bacias hidrográficas de mananciais de captação do estado de Goiás.

Os resultados indicam que as bacias possuem um IQAB médio de 2,25. No que diz respeito às regiões, observou-se que as regiões do Centro Goiano e Região Metropolitana de Goiânia apresentaram as menores médias de IQAB, em contrapartida, a região de Nordeste Goiano e Distrito Federal apresentaram as médias mais altas, possuindo como destaque os municípios de Teresina e Pirenópolis.

Nota que a presença de vegetação nativa nas bacias é um fator relevante na qualidade ambiental dela, visto que a região Nordeste Goiano possui maior extensão de

remanescente vegetal, e apresentou, melhores valores de IQAB. Já o Centro Goiano, apresentou valores piores, além de possuir pouco remanescente vegetal, agrega grandes centros urbanos, com grande alteração do uso do solo e com bacias degradadas.

A utilização de indicadores para avaliar a qualidade ambiental de bacias hidrográficas contribui de forma significativa para outros estudos, possibilitando o monitorado dessas áreas ao longo do tempo.

Conclusivamente, pode-se dizer que a grande parcela das bacias estudadas estão enquadradas em condição péssima, o que fica evidente a degradação devido ao processo de ocupação dessas áreas e a ausência de planejamento. Desta forma, percebe-se a necessidade urgente de políticas de planejamento para as bacias hidrográficas de mananciais de captação de modo de favorecer a ocupação adequada.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) por conceder uma bolsa de estudo para o primeiro autor.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Panorama do enquadramento dos corpos d'água do Brasil, e Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil.** / coordenação geral, João G. L. Conejo; coordenação executiva, Marcelo P. da Costa, José Luiz Gomes Zoby. Brasília: ANA, 2007.

BAPTISTA, G.M.M. **Diagnóstico ambiental de erosão laminar: Modelo Geotecnológico e aplicação.** Editora Universa. Brasília, DF. 2003, 140p.

BEZERRA, F.A. análise fatorial. In CORRAR, Luiz J.; PAULO, Edílson; DIAS, José Maria. **Análise Multivariada.** Editora Atlas. São Paulo – 2007.

BOLLAMNN, H.A., et al. **Indicadores ambientais: conceitos e aplicações.** São Paulo: EDUC/COMPED/INEP, 2001;

BRAGA, T.M.; FREITAS, A.P.G.; DUARTE, G.S.; SOUSA, J.C. **Índices de sustentabilidade municipal: o desafio de mensurar.** Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional (Cedeplar), Belo Horizonte, 2003.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Índices de qualidade das águas**. São Paulo: CETESB, 2012. Disponível em: <<http://aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/32/2013/11/02.pdf>> Acesso em: 18 Jun. 2012.

COLLISCHONN, B.; ALLASIA, D.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C.E.M. Desempenho do satélite TRMM na estimativa de precipitação sobre a bacia do Paraguai superior. **Revista Brasileira de Cartografia**, nº 59/01, 2007.

ELÇI, S.; SELÇUK, P. Effects of basin activities and land use on water quality trends in Tahtali Basin, Turkey. **Environ Earth Sci**, n.68, p.1591-1598, 2013.

GOIÁS (Estado). **Macrozoneamento, Agroecológico e Econômico do Estado de Goiás: Um Novo Olhar sobre o Território Goiano**, Goiânia, 2011.

HUNTER, H. M.; WALTON, R. S. Land-use effects on fluxes of suspended sediment, nitrogen and phosphorus from a river catchment of the Great Barrier Reef, Australia. **Journal of Hydrology**, n.356, p.131–146, 2008.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. **Censo Demográfico**. Rio de Janeiro, 2015.

LIMA, C.L.S., BRAZ, V.N., RIVERA, I.G. Pesquisa de coliformes e estreptococcus fecais em um ambiente protegido. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v.4, p 127-132, 2000.

LIU, C.W., LIN, K.H., KUO, Y.M. Application of factor analysis in the assessment of ngroundwater quality in a blackfoot disease area in Taiwan. **Sci. Tot. Environ.** v.313, 77-89, 2003.

MARMONTEL, C. V. F & RODRIGUES, V. A. Parâmetros Indicativos para Qualidade da Água em Nascentes com Diferentes Coberturas de Terra e Conservação da Vegetação Ciliar. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 22, n. 2, p. 171-181, abr./jun. 2015 Epub 12-Maio-2015.

MONTOYA, F. G.; BAÑOS, R.; MEROÑO, J. E.; MANZANO-AGUGLIARO, F. The research of water use in Spain. (Report). **Journal of Cleaner Production**, USA, v. 112, p. 4719-4732, Jan. 2016.

MOORE, I.D.; BURCH, G. L. Modeling erosion and depositon: topographic effects. **Transactionof the ASAE**. v. 20, n. 6, p. 1624 –1630, 1986.

NOBREGA, R.S.; SOUZA, E. P.; GALVÍNCIO, J. D. Análise da Estimativa de Precipitação do TRMM em uma Sub-bacia da Amazônia Ocidental. **Revista de Geografia**, Recife, v. 25, n. 1, jan/abr. 2008.

OU, Y.; WANG, X.; WANG, L.; ROUSSEAU, A. N. Landscape influences on water quality in riparian buffer zone of drinking water source area, Northern China. **Environmental Earth Science**, USA, v. 75, Issue. 2, p. 1-13, 2016.

PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; ALVES SOBRINHO, T. A.; OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B. Perdas de solo e de água e infiltração de água em latossolo vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 35, n. 5, p. 1777-1786, set./out. 2011.

PEROVIC, V.; ZIVOTIC, L.; KADOVIC, R.; DORDEVIC, A.; JARAMAZ, D.; MRVIC, V.; MRVIC, V.; TODOROVIC, M. Spatial modelling of soil erosion potential in an unmountainous watershed of South-eastern Serbia. **Environ Earth Sci**, n.68, p.115–128, 2013.

PRADO, R. B. & NOVO, E. M. L. M. Modeling pollution potential input from the drainage basin into Barra Bonita reservoir, São Paulo – Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 75, n. 2, p. 314-323, maio. 2015.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS (PNUD). **Relatórios de Desenvolvimento Humano Globais**. 2014. Disponível em: < http://www.pnud.org.br/HDR/Relatorios-Desenvolvimento-Humano-Globais.aspx?indiceAccordion=2&li=li_RDHGlobais > Acesso em: 16 fev. 2016.

RABELO, C. G.; FERREIRA, M. E.; ARAÚJO, J. V. G. DE; STONE, L. F.; SILVA, S. C. DA; GOMES, M. P. Influência do uso do solo na qualidade da água no bioma Cerrado: um estudo comparativo entre bacias hidrográficas no Estado de Goiás, Brasil. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v.4, n.2, 172-187, 2009.

ROCHA, J.L.S.; REGO, N.A.C.; SANTOS, J.W.B.; OLIVEIRA, R.M.; MENEZES, M. Indicador integrado de qualidade ambiental, aplicado à gestão da bacia hidrográfica do rio Jiquiriçá, BA, Brasil. **Ambi-Água**, Taubaté, v. 5, n.1, p.89-101, 2010.

ROCHA, C. H. B. & PEREIRA, A. M. Análise multivariada para seleção de parâmetros de monitoramento em manancial de Juiz de Fora, Minas Gerais. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Taubaté, v. 11, n. 1, p. 176-187, mar. 2016.

ROSA, F. S.; TONELLO, K. C.; OLIVEIRA, R.; VALENTE, A.; LOURENÇO, R. W. Estrutura da paisagem, relevo e hidrografia de uma microbacia como suporte a um programa de pagamento por serviços ambientais relacionados à água. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 9, n. 3, p. 526-539, jul./set. 2014.

SANTOS, M. G.; LOBON, G. S.; FERREIRA, N. C.; SCALIZE, P. S. Análise evolutiva de processo erosivo acelerado em uma área urbana da cidade de Goiânia. **Revista Monografias Ambientais**, v.14, n.2, p. 38-48, 2015.

SEGPLAN: Secretaria de Estado de Gestão e Planejamento. IMB – Instituto Mauro Borges de Estatísticas e Estudos Socioeconômicos. **Índice de Desempenho dos Municípios**, 2012. Disponível em: <http://www.imb.go.gov.br/perfilweb/idm_bde.asp>, acesso em: 10 nov 2015.

SEGPLAN: Secretaria de Estado de Gestão e Planejamento. IMB – Instituto Mauro Borges de Estatísticas e Estudos Socioeconômicos. **Regiões do Planejamento do Estado de Goiás**, 2006. Disponível em:<http://www.imb.go.gov.br/viewcad.asp?id_cad=5100>, acesso em: 24 fev 2016.

SHIFERAW, A. Estimating soil loss rates for soil conservation planning in the BorenaWoreda of South Wollo Highlands, Ethiopia. **Journal of Sustainable Development in Africa**. v.13, n.3, 2011.

SILVA, C.L. **Estudo dos impactos das atividades aeroportuárias utilizando dados de sensoriamento remoto**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais), Universidade de Brasília, 2014.

SINGH, K. P.; MALIK, A.; MOHAN, D.; SINHA, S. Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India)—a case study. **Water Research**, v.38, p.3980-3992, 2004.

SOUZA S.B. **Variabilidade da qualidade de água bruta e seus efeitos sobre a saúde ambiental e o saneamento em Goiás**. fls.109. Tese (Doutorado de Ciências Ambientais), Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados obtidos na pesquisa como essencialmente expostos nos quatro artigos que constituem a presente tese pode-se concluir que muitas das bacias hidrográficas dos mananciais de abastecimento de Goiás estão com a qualidade ambiental em condições preocupantes, classificadas no IQAB péssimo. As bacias inseridas nestas classes necessitam de atenção imediata do ponto de vista da conservação do solo por parte dos municípios na gestão de suas bacias de mananciais de abastecimento. Um grupo pequeno apresentou IQAB bom ou ótimo, o que está bastante relacionado a presença de vegetação nativa, conseqüentemente, pequena perda de solo, e ainda atributos naturais da área.

Ao estudar as perdas de solo nas bacias observou-se que a maioria das bacias de captação do estado de Goiás apresenta fraca e moderada susceptibilidade erosiva, estando relacionado com o relevo e baixa declividade nessas áreas. Um grupo pequeno apresentou susceptibilidade erosiva muito alta e severa, assim como a bacia do rio Meia Ponte, um dos principais mananciais de abastecimento de Goiânia, a capital do Estado, que está inserida na classe de alta susceptibilidade erosiva. Neste caso, nota-se que a perda de solo possui influência de fatores antrópicos, mas também de aspectos naturais da área. Ao se compreender este comportamento da perda de solo, percebe-se a necessidade de avaliação de potencialidades e limitações de ocupação destas áreas, além de contribuir para elaboração de um plano de manejo do solo das bacias.

Os fatores econômico e social, também proporcionam interferências na qualidade das bacias. Notou-se neste trabalho que as bacias inseridas em municípios com maior IDM, índice que mede o desenvolvimento econômico e social do município, possuía uma maior pressão sobre os recursos naturais das bacias. Provavelmente proporcionado pela necessidade de ocupação destas áreas para atividades econômicas e sua conseqüente alteração do uso do solo de forma pouca planejada.

Observa-se que o processo de tomada de decisão eficiente sobre o planejamento das bacias requer não apenas bases eficientes de ciência ambiental, mas também um melhor entendimento da interação homem-ambiente. Neste sentido, o presente estudo favorece uma base de conhecimento importante para tomada de decisão em bacias hidrográficas. Estas metodologias podem auxiliar os tomadores de decisão a compreender

as consequências ambientais das suas escolhas e as consequências humanas dos processos e políticas ambientais de forma mais acertada e democrática.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, A.R. Bacia Hidrográfica: Unidade de Planejamento Ambiental. Revista Geonorte, Edição Especial, v.4, n.4, p.201–209, 2012.

ANDRIETTI, G.; FREIRE, R.; AMARAL, A. G.; ALMEIDA, F. T.; BONGIOVANI, M. C.; SHNEIDER, R. M. Índices de qualidade da água e de estado trófico do rio Caiabi, MT. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 11, n. 1, p. 162-175, jan./mar. 2016.

ALCÂNTARA, E.H; SOUZA, A. Produção de sedimentos na zona costeira da Bahia – Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**. Rio de Janeiro, v. 62 n.2. p.199 – 205, 2010.

ALMEIDA, J.R (Coord.) **Planejamento Ambiental: caminha para participação popular e gestão ambiental para o nosso futuro comum: uma necessidade, um desafio**. Rio de Janeiro: Thex Ed. Biblioteca Estácio de Sá, 1993.

ALMEIDA, C; [GONZÁLEZ, S.](#); [MALLEA, M.](#); [GONZÁLEZ, P.](#) Recreational water quality index using chemical, physical and microbiological parameters. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 19, n. 8, p.3400-3411, 2012.

ARAVÉCHIA JÚNIOR, J.C. **Indicador de Salubridade Ambiental (ISA) para a Região Centro-Oeste: Um estudo de caso no Estado de Goiás**. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Gestão Ambiental), Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2010.

ARCOVA, F.C.S.; CICCIO, V. Qualidade da água de microbacias com diferentes usos do solo na região de Cunha, Estado de São Paulo. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.56, p.125-134, 1999.

BAHIA, J.A. **A aplicação do Indicador de Salubridade Ambiental (ISA) na determinação da vulnerabilidade dos recursos hídricos superficiais da bacia hidrográfica do Rio Cachoeira – Sul da Bahia**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente), Universidade Estadual de Santa Cruz, Bahia, 2006.

BARTH, E.T.; POMPEU, C.T. **Fundamentos para gestão de recursos hídricos. In: Modelos para gerenciamento de recursos hídricos**. São Paulo. Nobel: ABRH, 1987. (Coleção ABRH de recursos hídricos).

BRASIL, **Lei N ° 9.433 de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

BAYRAMIN, I.O.; DENGIZ, O.; BASKAN, M.; PARLAK, M. Soil erosion risk assessment with ICONA Model; Case Study: Beypazari Area. **Turk Journal of Agriculture and Forestry**. v.27. p.105 – 116, 2003.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 6ª ed. São Paulo, Ícone. 355p, 2008.

BOLLAMNN, H.A., et al. **Indicadores ambientais: conceitos e aplicações**. São Paulo: EDUC/COMPED/INEP, 2001;

BONNET, B. R. P.; FERREIRA, L.G.F.; LOBO, F.C. Relações entre qualidade da água e uso do solo em Goiás: Uma análise à escala da bacia hidrográfica. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.32, n.2, p.311-322, 2008.

CAMPOS, N.; SOUSA R.O. **Planos de Bacias Hidrográficas**. In: Campos, N.; STUART, T. Gestão das Águas: princípios e práticas. Porto Alegre, ABRH, 2003.

CARDOSO, F.S.; PEREIRA, G.; PADRÓN, A.I.A.; NASCIMENTO, C.; ABDALLA, A. Análise do uso e ocupação da terra na bacia da lagoa do Peri, Florianópolis (SC). **Caminhos de Geografia** Uberlândia v. 9, n. 27 setembro, p. 201 – 213, 2008.

CARVALHO, D. F.; CRUZ, E. S.; PINTO, F. M.; SILVA, L. D. B.; GUERRA, J.G.M. Características da chuva e perdas por erosão sob diferentes práticas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.3-9, 2009.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Proposta de índices de qualidade das águas**. Coletânea de Textos da CETESB. 2013. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/agua/aguas-superficiais/aguas-interiores/documentos/indices/02.pdf>>. Acesso em: 05 de julho de 2014.

CORREA, C.P.; ALIAGA, C. Evaluación de la pérdida de suelo, asociada al proceso de expansión urbana y reconversión productiva. Caso: comunas de Los Andes, Quillota y Concón, Valle del Aconcagua. **Revista de Geografía Norte Grande**, Pontificia Universidad Católica do Chile, Santiago-Chile, 2009.

COSTA, S.G.F.; SILVA, R.M. Potencial natural e antrópico de erosão na bacia experimental do Riacho Guaraíra. **Cadernos do Logepa**, v.7, n.1, p.72-91, jan./jun. 2012.

COSTA, K.V.M.; BARRETO, A.C.; FONTENELE, S.B.; MENDONÇA, L.A.R. Estimativa de perda de solo distribuída em uma bacia hidrográfica de pequeno porte

através de técnicas de geoprocessamento. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto** - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013.

CUDE, C. G. Oregon water quality index a tool for evaluating water quality management effectiveness. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, v. 37, n.1, p.125-137, 2001.

CURREY-GREGORY, W. CROSBY, S. Role of GIS in watershed protection. **In: Annual Conference on Integrated Water Resources Planning for the 21st**. p.340-343, 1995.

CRUZ, S. P.; TAVARES, A. B.; LOLLO, J. A. Avaliação da degradação por passivos ambientais de áreas de empréstimo com base em geoindicadores. **INFOGEO**. v.56, p.1-12, 2009.

DEBELS, P.; FIGUEROA, R.; URRUTIA, R.; BARRA, R.; NIELL, X. Evaluation of water quality in the Chillán River (Central Chile) using physicochemical parameters and a modified water quality index. **Environmental Monitoring and Assessment**, v.110, n.1-3, p.301-322, 2005.

DIAS, A.S.; SILVA, J.R.C. A erosividade das chuvas em fortaleza (CE). I – Distribuição, Probabilidade de ocorrência e período de retorno – 1ª aproximação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27.p.335-345, 2003.

DIAS, M.C.; BORJA, P.C.; MORAES, L.R.S. Índice de salubridade ambiental em áreas de ocupação espontâneas: um estudo em Salvador-Bahia. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.9, n.1, p.82-92, 2004.

DIAS, F.A.; GOMES, L.A.; ALKIM, J.K. Avaliação da qualidade ambiental urbana da bacia do ribeirão do Lipa Através de Indicadores, Cuiabá/MT. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v.23, n.1, p. 127-147, 2011,

DUMANSKI, J. Changing Course: Soil Conservation in a Changing World. Proceedings of the International ESSC Conference **Internacional ESSC Conference on “Soil and Water Conservation under Changing Land Use”** Lleida (Catalonia, Spain), September 12-15, 2006.

EPA - Environmental Protection Agency. **A conceptual framework to support development and use of environmental information in decision-making**. Environmental Statistics and Information Division, 1995.

ELÇI, S.; SELÇUK, P. Effects of basin activities and land use on water quality trends in Tahtali Basin, Turkey. **Environ Earth Sci**, n.68, p.1591-1598, 2013.

FAO. **La erosión del suelo por el agua. Algunas medidas para combatirla em las tierras de cultivo.** Cuadernos de fomento agropecuário da Org. de Las Naciones Unidas-FAO, Roma, n. 81, 1967.

FIDALGO, E.C.C. **Critérios para a análise de métodos e indicadores ambientais usados na etapa de diagnóstico de planejamentos ambientais.** Tese (doutorado), Universidade Estadual de Campinas, Campinas- SP, 2003.

FROTA, P.V. **Potencial de erosão na bacia de drenagem do Açude Orós – CE.** Brasília, 179 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Universidade de Brasília. Brasília, 2012.

FROTA, P.V., NAPPO, M.E. Processo erosivo e a retirada de vegetação na Bacia Hidrográfica de Açude Orós – CE. **Revista Geonorte**, Edição Especial, v.4, n.4, p.1472–1481, 2012.

GALVÍNCIO.J. D. SÁ, I.I.S.; MOURA, M.S.B.; RIBEIRO, J.G. Determinação das Características Físicas, Climáticas e da Paisagem da Bacia Hidrográfica do Rio Brígida com o Auxílio de Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto. **Revista de Geografia.**, v.24, n.2, mai/ago, 2007.

GAMVROUDIS, C.; NIKOLAIDIS, N. P.; TZORAKI, O.; PAPADOULAKIS, V.; KARALEMAS, N. Water and sediment transport modeling of a large temporary river basin in Greece. **Science of the Total Environment – Elsevier**, USA, vol. 508, p. 354-365, Mar. 2015.

GIRI, N., SINGH, O.P. Urban Growth and Water Quality in Thimphu, Bhutan. **Journal of Urban and Environmental Engineering**, v.7, n.1, p.82-95, 2013.

GRILO, R. C.; ENAMI, L. Gestão de bacias hidrográficas com o uso de modelo preditivo de erosão dos solos e sistemas de informação geográfica. **UNAR**, Araras, SP, v.2, n.1, p. 21-33, 2008.

HABERLAND, N.T.; SILVA, F.C.B.; FILHO, P.C.O.; VIDAL, C.M.S.; CAVALLIN, G.S. Análise da influência antrópica na qualidade da água do trecho urbano do Rio das Antas na cidade de Irati, Paraná. **Revista Tecnológica**, Maringá, v. 21, p. 53-67, 2012.

HAMMOND, A.; ADRIAANSE, A.; RODENBURG, E.; BRYANT, D.; WOODWARD, R. **Environmental Indicators: a systematic approach to measuring and reporting onevironmental policy performance in the context of sustainable development.** Washington, D.C.: World Resources Institute, 199.

HARUM, T.; SACCON, P.; REGO, N.A.C.; DEPAULA, F.; SANTOS, J.W.B. Modelos de vulnerabilidade hidrológica para a bacia hidrográfica do rio Cachoeira (Bahia) utilizando sistemas de informações geográficas. **Gaia Scientia**, v.1, p.89-95, 2008.

JONI, D. 1998. **Surface water potential susceptibility analysis risk ranking matrix final susceptibility analysis**. Disponível em: www.dep.state.lo.us/evaluation/apps.pdf. Acesso em: 13 de maio de 2014.

KHARE Y.P. CHRISTOPHER J.M.; GURPAL S.T. Water quality and land use changes in the Alafia and Hillsborough river watersheds, Florida, USA. **Journal of the American Water Resources Association, (JAWRA)**, v.48, n.6, p.1276-1293, December, 2012.

KHAWLIE, M., AWAD, A.; SHABAN, A; BOU KHEIR, R.; ABDALLAH, C. Remote sensing for environmental protection of the eastern Mediterranean rugged mountainous areas, Lebanon. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, v. 57, p.3-23, 2002.

KHWAKARAM, A. I.; MAJID, S. N.; HAMA, N. Y. Determination of water quality index (WQI) for Qalyasan stream in Sulaimani City/Kurdistan region of Iraq. **International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences**, v. 2, n. 4, p. 148-157, 2012.

LEAL, A.C. e SILVA, P.A.R. **Desenvolvimento dos procedimentos de criação da Área de Proteção e Recuperação de Mananciais (APRM) do alto curso da bacia do Rio Santo Anastácio**. Termo de referência. UNESP, CBH-PP, 2009.

LOBERA, G.; BATALLA, R. J.; VERICAT, D.; LÓPEZ-TARAZÓN, J. A.; TENA, A. Sediment transport in two mediterranean regulated rivers. **Science of the Total Environment - Elsevier**, USA, vol. 540, p. 101-113, Jan. 2016.

LOPES, F.B.; ANDRADE,E.M.; TEIXEIRA,A.S. CAITANO, R.F.; CHAVES, L.C.F. Uso de geoprocessamento na estimativa da perda de solo em microbacia hidrográfica do semiárido Brasileiro. **Revista Agro@mbiente** On-line, v. 5, n. 2, p.88-96, maio-agosto, 2011.

LUBENOW, A.T.; FILHO, P.C.O.; VIDAL, C.M.S.; CAVALLINI, G.S.; CANTERLE, Y.C. Impacto do uso e ocupação da terra na qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Nhapindazal, Irati (PR). **Ambiência**, v.8 n.3 p. 845 – 858, Set./Dez. 2012.

LUMB, A.; SHARMA, T.C.; BIBEALULT, J.F.; KLAUWUNN, P.A. Comparative study of USA and Canadian water quality index models. **Water Quality, Exposure and Health**, v. 3, n. 3-4, p. 203-216, 2011.

MACEDO, M.J.B. **A influência do uso, da ocupação e da conservação do solo na qualidade da água de abastecimento: o Caso da Bacia Hidrográfica do Lago do Descoberto**. Dissertação (Programa Stricto Sensu em Planejamento e Gestão Ambiental), Universidade Federal de Brasil. Brasília, 2004.

MARQUES, M. N.; DAUDE, L. F.; SOUZA, R. M. G. L.; COTRIM, M. E. B.; PIRES, M. A. F. Avaliação de um índice dinâmico de qualidade de água para abastecimento: um estudo de caso. **Exacta**, v. 5, n. 1, p.47-55, 2007.

NASCIMENTO, C. A.; STAGGEMEIR, R.; BIANCHI, E.; RODRIGUES, M. T.; FABRES, R.; SOLIMAN, M. C.; BORTOLUZZI, M.; LUZ, R. B.; HEINZELMANN, L. S.; SANTOS, E. L.; FLECK, J. D.; SPILKI, F. R. Monitoring of metals, organic compounds and coliforms in water catchment points from the Sinos River basin. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 75, n. 2, p. 50-56, maio. 2015.

MATA, C. L.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; CARVALHO, A. P. F.; GOMES, R. A. T.; MARTINS, E. S.; GUIMARÃES, R. F. Avaliação multitemporal da suscetibilidade erosiva na bacia do rio Urucuia (MG) por meio da equação universal de perdas de solos. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.8, p.5569, 2007.

MELLO, L.T.A.; TRINDADE, M.C.; MARCUZZO, F.F.N. Caracterização da qualidade das águas do principal rio da Região Metropolitana de Goiânia. **XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Maceió - AL, 2011.

MILLÉO, J.C. **A utilização de indicadores sociais pela geografia: uma análise crítica**. Tese (Doutorado em Geografia) Universidade Federal Fluminense, Niterói-RJ, 2005.

MOURA, AC.M. **Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano**. 2. ed., Belo Horizonte, 294p. 2005.

NERANTZAKI, S. D.; GIANNAKIS, G. V.; EFSTATHIOU, D.; NIKOLAIDIS, N. P.; SIBETHEROS, I. A.; KARATZAS, G. P.; ZACHARIAS, I. Modeling suspended sediment transport and assessing the impacts of climate change in a karstic Mediterranean watershed. **Science of the Total Environment – Elsevier**, USA, v. 538, p. 288–297, Dec. 2015.

NUNES, A. N.; ALMEIDA, A. C.; COELHO, C. O. A. Impacts of land use and cover type on runoff and soil erosion in a marginal area of Portugal. **Applied Geography**, v.31. p.687-699, 2011.

OAS - ORGANIZATION OF AMERICAN STATES. **Environmental Quality and River Basin Development: A Model for Integrated Analysis and Planning**. Government of Argentina Organization of American States United Nations Environment Programme. Washington, DC, 1978.

OECD – ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT. **Environmental indicators: development, measurement and use.** Paris: OECD, 2003.

OLIVEIRA, P.C.A.; RODRIGUES, S.C. Utilização de cenários ambientais como alternativa para o zoneamento de bacias hidrográficas: estudo da bacia hidrográfica do Córrego Guaribas, Uberlândia – MG. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v.21, n.3, p.305-314, dez. 2009.

OLIVEIRA, L.F.C.; CALIL, P.M.; RODRIGUES, C.; KLIEMANN, H.J.; OLIVEIRA, V.A. Potencial do uso dos solos da bacia hidrográfica do alto rio Meia Ponte, Goiás. **Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**: v.8, n.1, 2013.

OLIVEIRA, W.N. **Avaliação da qualidade ambiental da paisagem da bacia hidrográfica e do reservatório do Ribeirão João Leite.** Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente - PPGEMA) – Universidade Federal de Goiás. Escola de Engenharia Civil, Goiânia-GO, 2013.

OLSZEWSKI, N.; FERNANDES FILHO, E. I.; COSTA, L. M.; SCHAEFER, C. E. G. R.; SOUZA, E.; COSTA, O. D. V. Morfologia e aspectos hidrológicos da bacia hidrográfica do rio Preto, divisa dos estados do Rio de Janeiro e de Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 35, n. 3, p.485-492, 2011.

OU, Y.; WANG, X.; WANG, L.; ROUSSEAU, A. N. Landscape influences on water quality in riparian buffer zone of drinking water source area, Northern China. **Environmental Earth Science**, USA, v. 75, Issue. 2, p. 1-13, 2016.

PEROVIC, V.; ZIVOTIC, L.; KADOVIC, R.; DORDEVIC, A.; JARAMAZ, D.; MRVIC, V.; MRVIC, V.; TODOROVIC, M. Spatial modelling of soil erosion potential in a mountainous watershed of South-eastern Serbia. **Environ Earth Sci. Environ Earth Sci**, n.68, p.115–128, 2013.

PEREIRA, M.T.; GIMENES, M.G.; SILVA, F.F.; ZANATTA, O.A. Indicador de Qualidade Ambiental do Solo e Aplicação em Cidades Paranaenses. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v.5, n.3, p.533-550, set./dez. 2012.

PINHEIRO, P.F.V.; ROCHA, G.M. O Geoprocessamento como instrumento de ordenamento territorial em Unidades de Conservação: O Caso da Floresta Nacional do Jamanxim - PA. In: **XI Encontro Nacional da Associação Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos - XI ENABER, Foz do Iguaçu**. Anais do 11º Encontro Nacional da Associação Brasileira de Estudos Regionais, 2011,

PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **Atlas de Desenvolvimento Humano**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Fundação João Pinheiro, 2013.

POFF, N. L.; BLEDSOE, B. P.; CUHACIYAN, C. O. Hydrologic variation with land use across the contiguous United States: Geomorphic and ecological consequences for stream ecosystems. **Geomorphology**, v.79, n.2, p.264-285, 2006.

PRADO, R. B. **Geotecnologias aplicadas à análise espaço temporal do uso e cobertura da terra e qualidade da água do reservatório de Barra Bonita, SP, como suporte à gestão de recursos hídricos**. Tese (Doutorado) - Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

PRADO, R. B & NOVO, E. M. L. M. Modeling pollution potential input from the drainage basin into Barra Bonita reservoir, São Paulo – Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 75, n. 2, p. 314-323, maio. 2015.

PRUSKI, F. F.; BRANDAO, V.S.; SILVA, D. D. **Escoamento superficial**. 2a ed. Vicosa: UFV, 2008.

QUEIROZ, M.M.F. IOST, C.; GOMES, S.D.; VILAS BOAS, M.A. Influência do uso do solo na qualidade da água de uma micro bacia hidrográfica rural. **Revista Verde**, Mossoró, v.5, n.4, p.200-210, Out/Dez, 2010.

RETZLAF, J. G. **Análise de processos erosivos em parques estaduais dos Campos Gerais**. Dissertação (Mestrado em Geografia, Meio Ambiente e Desenvolvimento) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008.

RIBOLZI, O.; CUNY, J.; SENGSOULICHANH, P.; MOUSQUE, C.; SOULILEUTH, B.; PIERRET, A.; HUON, S.; SENGTAHEUANGHOUNG, O. Land use and water quality along a Mekong tributary in Northern Lao P.D.R. **Environmental Management**, v. 47, p.291–302, 2011.

ROCHA, J.L.S.; REGO, N.A.C.; SANTOS, J.W.B.; OLIVEIRA, R.M.; MENEZES, M. Indicador integrado de qualidade ambiental, aplicado à gestão da bacia hidrográfica do rio Jiquiriçá, BA, Brasil. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 5, n.1, p.89-101, 2010.

ROMÃO, A. C. B. C.; SOUZA, M. L. Análise do uso e ocupação do solo na bacia do ribeirão São Tomé, noroeste do Paraná –PR (1985 e 2008). **RAEGA**, v.21, p.337-364, 2011.

RUFINO, R. C. **Avaliação da Qualidade Ambiental do Município de Tubarão (SC) através do uso de Indicadores Ambientais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Florianópolis, 2002.

SANTI, G.M.; FURTADO, C.M.; MENEZES, R.S.; KEPPELER, E.C. Variabilidad espacial de parámetros e indicadores de calidad del agua en Subcuenca Hidrográfica del Igarapé São Francisco, Rio Branco, Acre, Brasil . **Ecología Aplicada**, Universidad Nacional Agraria La Molina Lima, Perú, v. 11, n. 1, p. 23-31, enero-agosto, 2012.

SANTOS, E.H.M.; GRIEBELER, N.P.; OLIVEIRA, L.F.C. Relação entre uso do solo e comportamento hidrológico na Bacia Hidrográfica do ribeirão João Leite. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.8, p.826–834, 2010.

SCALIZE, P.S.; LEITE, W.C.A.; FORNAZZARI, J.A Minimização da produção de lodos gerados em uma ETA através de sua automação. In: **XIV SILUBESA (Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental)**, Porto - Portugal. **XIV SILUBESA (Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental)**, p.1-15, 2010.

SCHNEIDER , R.M.; FREIRE, R.; COSSICH, E.S.; COSSICH, P.F.; FREITAS, F.H.; TAVARES, C.R.G. Estudo da influência do uso e ocupação de solo na qualidade da água de dois córregos da Bacia hidrográfica do Rio Pirapó. **Maringá**, v.33, n.3, p.295-303, 2011.

SERIO, J.; COSTA, C.A.G.; TEIXEIRA, A.S.; ORTEGA, E. Aplicação da USLE e SIG na caracterização de três micro bacias hidrográficas no Brasil. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**. v.6, n.2, p. 213-221, 2008.

SHIFERAW, A. Estimating soil loss rates for soil conservation planning in the Borena Woreda of South Wollo Highlands, Ethiopia. **Journal of Sustainable Development in Africa**. v.13. n.3, 2011.

SILVA, M. L. G. **Análise da Qualidade Ambiental Urbana da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 2002.

SILVA, A.M., ALVARES, C.A. Erodibilidade dos solos paulistas: levantamento de informações e estruturação de um banco de dados. **Geociências**, v.2, 2005.

SILVA, M. T. G.; LACERDA, M. P. C.; CHAVES, A. A. A. **Geotecnologia aplicada na avaliação do uso das terras da microbacia do Ribeirão João Leite, Goiás**. Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 39, n. 4, p. 330-337, 2009.

SILVA, V.A.; AMORIN, R.R.; SANTOS, M.C.F.; FILHO, A.P.; MOREAU, M.S. A utilização de técnicas de geoprocessamento para modelagem de cenários de uso e perda de solo na bacia hidrográfica do rio Colônia no litoral sul da Bahia (Brasil). **VI Seminário Latino Americano de Geografia Física, II Seminário Ibero Americano de Geografia Física Universidade de Coimbra**, Maio de 2010.

SILVA, M. C. R.; ALBUQUERQUE, M. T. D.; RIBEIRO, L. **Use of water quality index to evaluate the influence of anthropogenic contamination on groundwater chemistry of a shallow aquifer, Loures valley, Lisbon, Portugal**. *Global Ground Water Resources and Management*, cap. 21, p.347-362, 2010a.

SILVA, L.; LIMA, E. R. V.; ALMEIDA, H. A.; COSTA FILHO, J. F. Caracterização edomorfométrica e mapeamento dos conflitos de uso na bacia de drenagem do açude Soledade. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 3, p. 112-122, 2010b.

SILVA, C. L. **Estudo dos impactos das atividades aeroportuárias utilizando dados de sensoriamento remoto**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais), Universidade de Brasília, 2014.

SIRINIVASAN, R.; ARNOLD, J. G. Integration of the basin-scale water quality model with GIS. **Water Resources Bulletin**, v. 30, n.03, p. 453-462, 1994.

SOUZA S.B.S.; FERREIRA, N.C.; FORMIGA, K.T.M., **Índice de Qualidade da Água pela técnica de estatística multivariada para estimar a deterioração temporal dos mananciais do Estado de Goiás**. Tese (Doutorado de Ciências Ambientais), Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

SNYDER, M. N.; GOETZ, S. J.; WRIGHT, R. K. Stream health rankings predicted by satellite derived land cover metrics: Impervious area, forest buffers and landscape configuration. **Journal of the American Resources Association**, v.41, n.3, p.659-677, 2005.

TESFAHUNEGB, G.B.; TAMENE, L.; VLEK, P.L.G. Modeling soil erosion by water using SWAT in northern Ethiopia. **East African Journal of Science and Technology**,; v. 2, n.1, p. 1 – 28, 2012

[TRIPATHI](#), M. P.; [PANDA](#), R. K.; [RAGHUWANSHI](#), N. S. Identification and Prioritisation of Critical Sub-watersheds for Soil Conservation Management using the SWAT Model. **Biosystems Engineering**, USA, v. 85, Issue. 3, p. 365-379, Jul. 2003.

TOLEDO, L. G.; NICOLELLA, G. Índice de qualidade de água em micro bacia sob uso agrícola e urbano. **Scientia Agrícola**, v.59, n.1, p.181-186, 2002.

UZEIKA, T.; MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. G.; MORO, M. Use of the Swat Model for Hydro-Sedimentologic Simulation in a Small Rural Watershed. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 2, p. 557-565, Mar./Apr. 2012.

VALLADARES, G. S.; GOMES, A. S.; TORRESAN, F.E.; RODRIGUES, C. A. G.; GREGO, C. R. **Modelo multicritério aditivo na geração de mapas de suscetibilidade à erosão em área rural**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.47, n.9, p.1376-1383, 2012.

VALLE JUNIOR, R.F. **Diagnóstico de áreas de risco de erosão e conflito de uso dos solos na bacia do Rio Uberaba**. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2008.

VEIGA, A.M. **Calibração do Modelo Hidrossedimentológico SWAT na bacia hidrográfica do Córrego Samambaia, Goiânia-GO**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente – PPGEMA). Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia-GO, 2014.

VETTORAZI, C.A. **Avaliação multicritérios, em ambiente SIG, na definição de áreas prioritárias à restauração florestal visando à conservação de recursos hídricos**. (Tese) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2006.

VLAHOS, N., HERBEST, J. Prioritizing Watershed land for Conservation : a case study in the Hammonasset Watershed, Connecticut. **Journal of the New England Water Works Association**, Boston, v.114, n.1, p.10-25, 2000.

WESTPHALEN, L. A. Mapeamento da Instabilidade Geomorfológica da Bacia Hidrográfica do Rio Pequeno/PR. **VI Simpósio Nacional de Geomorfologia/Regional Conference on Geomorphology**. Goiânia, 2006.

WILCOCK R.J.; MONAGHAN, R.M.; QUINN, J.M.; CAMPBELL, A.M.; THORROLD, B.S.; DUNCAN, M.J.; MCGOWAN A.W.; BETTERIDGE, K. Land-use impacts and water quality targets in the intensive dairying catchment of the Toenepi Stream, New Zealand. **New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research**, v. 40, n.1, p.123-140, 2006.

WISCHMEIER, W.H; SMITH, D.D. **“Predicting rainfall erosion losses - A guide to conservation planning”**. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook N° 537, Washington, 1978.

