

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA DE
AMBIENTES AQUÁTICOS CONTINENTAIS

JOSÉ HILÁRIO DELCONTE FERREIRA

Relação entre a qualidade da água e a transformação do uso do solo da bacia
hidrográfica do Tibagi

Maringá

2009

JOSÉ HILÁRIO DELCONTE FERREIRA

Relação entre a qualidade da água e a transformação do uso do solo da bacia
hidrográfica do Tibagi

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Ecologia de Ambientes Aquáticos
Continentais do Departamento de Biologia,
Centro de Ciências Biológicas, da Universidade
Estadual de Maringá, como requisito parcial para
obtenção do título de Doutor em Ciências
Ambientais

Área de concentração: Ciências Ambientais

Orientador: Prof. Dr. Edvard Elias de Souza Filho

Maringá

2009

"Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)"
(Biblioteca Setorial - UEM. Nupélia, Maringá, PR, Brasil)

F383r

Ferreira, José Hilário Delconte, 1969-

Relação entre a qualidade da água e a transformação do uso do solo da bacia hidrográfica do Tibagi / José Hilário Delconte Ferreira. -- Maringá, 2009. 87 f. : il. (algumas color.).

Tese (doutorado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais)-- Universidade Estadual de Maringá, Dep. de Biologia, 2009.

Orientador: Prof. Dr. José Edvard Elias de Souza Filho.

1. Ecologia de paisagens - Sensoriamento remoto - Tibagi, Rio, Bacia. 2. Ecologia de paisagens - Índice da qualidade da água e do solo - Tibagi, Rio, Bacia. I. Universidade Estadual de Maringá. Departamento de Biologia. Programa de Pós-Graduação em "Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais".

CDD 22. ed. -577.6427098162
NBR/CIP - 12899 AACR/2

JOSÉ HILÁRIO DELCONTE FERREIRA

Relação entre a qualidade da água e a transformação do uso do solo da bacia
hidrográfica do Tibagi

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais do Departamento de Biologia, Centro de Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ciências Ambientais pela Comissão Julgadora composta pelos membros:

COMISSÃO JULGADORA

Prof. Dr. Edvard Elias de Souza Filho
GEMA / Universidade Estadual de Maringá

Profª Drª Dilce de Fátima Rossetti
DSR / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Profª Drª Karina Querne de Carvalho
COAMB / Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Luiz Carlos Gomes
Nupélia / Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Messias Modesto dos Passos
Universidade Estadual de Maringá

Aprovada em: 16 de fevereiro de 2009.

Local de defesa: Anfiteatro do Nupélia, Bloco G-90, campus da Universidade Estadual de Maringá.

DEDICATÓRIA

À minha esposa Claudete, que muito me auxiliou neste período, não só com atitudes, mas também com compreensão e amor. A meus filhos, Giovanna Carolina e Pietro Giuseppe, que dividiram o pai com este projeto, mas mesmo assim, souberam ajudar.

Aos meus pais, José (*in memoriam*) e Rosa, que além de tudo me ensinaram a amar o estudo. A meus irmãos Rita, Rosa, Raquel, Jorge, Rúbia, Raíssa e Rebeca que sempre acreditaram em mim. Aos meus sogros, Adelírio e Altair, que me receberam como a um filho em sua casa durante parte do período do doutorado. Aos meus cunhados, sobrinhos, enfim, toda a família, esta é uma conquista nossa, obrigado a todos vocês.

AGRADECIMENTOS

Nenhuma tese é um projeto solitário, e este trabalho não é exceção, envolveu direta e indiretamente várias pessoas e sou imensamente grato a todas. Desse modo agradeço a...

Meu orientador, Dr. Edvard, que indicou a direção e esteve sempre pronto a auxiliar quando necessitei.

Ao PEA, Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais, e a todos os participantes do programa, alunos, professores, funcionários, que de um jeito ou de outro me ajudaram.

Ao pessoal do GEMA, funcionários, alunos e professores, aprendi muito com vocês.

À COPEL Geração e Transmissão S.A. pelo financiamento do projeto “Relação entre a qualidade da água e a evolução do uso do solo da bacia hidrográfica do rio Tibagi”.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná, especialmente aos servidores professor Celso, Claudete, Gava e Silvio, pelo apoio administrativo e de infra-estrutura para a realização do projeto.

Aos meus companheiros no projeto - Márcia, Rebeca, Paulo, Paulo Sérgio e Guilherme - sem eles este projeto não teria terminado.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais, por tudo que me ensinaram.

Aos meus colegas professores na UTFPR, especialmente aos amigos, Cristiane, Darlene, Débora, Eudes, Fernando, J. Hilton, Karina, M. Cleide, Marcelo, Paulo, Radames, Sonia e Vanessa.

A Aldenir e Jocemara, da secretaria do PEA, sempre dispostas a nos ajudar.

Enfim, muito obrigado a todos que me ajudaram. E, quanto aos inevitáveis esquecimentos, espero que me perdoem.

Relação entre a qualidade da água e a transformação do uso do solo da bacia hidrográfica do Tibagi

RESUMO

Este estudo foi desenvolvido em um projeto de pesquisa e desenvolvimento (P&D) aprovado pela ANEEL, financiado pela COPEL Geração SA. O estudo desenvolveu-se na bacia hidrográfica do Tibagi (BHT), nos anos base de 1987, 1991, 1997, 2001 e 2007. A hipótese norteadora do trabalho foi: diferentes usos do solo resultam em diferentes qualidades da água. Nesse contexto o objetivo central foi caracterizar a transformação do uso do solo ao longo do período. Caracterizar, também para todo o período de estudo, o índice de qualidade da água (IQA) e comparar a transformação do uso do solo com a variação do IQA. A caracterização do uso do solo foi feita com base em imagens orbitais LANDSAT, utilizando os aplicativos ENVI, ARCGIS e SPRING. O IQA foi calculado utilizando dados da ANA e da SUDERHSA, para onze estações, sete no rio Tibagi e 4 em afluentes do Tibagi. Foi proposto um índice da qualidade da ocupação do solo (IQOS), gerado a partir de dados de uso do solo, pedológicos e de declividade, que varia de 10 a 100 (sendo 100 a melhor qualidade possível) para correlacionar o uso do solo com o IQA na BHT. O trabalho foi dividido em quatro capítulos, sendo o primeiro intitulado “Diferenciação da silvicultura de eucalipto e pinus, na região da bacia hidrográfica do Tibagi”. No qual foi verificada a eficácia da ferramenta de supressão de vegetação, do ENVI, na identificação de silvicultura, aplicada ao ano de 2007. No segundo capítulo, “A evolução do uso do solo da bacia hidrográfica do Tibagi com base em análise multi temporal por sensoriamento remoto”, tratou-se da transformação do uso do solo ao longo do período (1987-2007) para toda a bacia comparando a ocupação da bacia com o código florestal. O terceiro capítulo, intitulado “Índice de qualidade da água (IQA) na bacia hidrográfica do Tibagi (BHT) – estado do Paraná”, tratou da caracterização do IQA, na bacia, para todos os anos de estudo. No quarto capítulo, “Correlação entre qualidade da água e uso do solo, aplicado à bacia hidrográfica do Tibagi – PR” foi correlacionado o uso do solo com o IQA, sendo proposto um índice da qualidade da ocupação do solo (IQOS) que apresentou alta correlação com o IQA.

Palavras-chave: Bacia hidrográfica do Tibagi. Imagens de satélite. Índice de qualidade da água (IQA). Índice da qualidade da ocupação do solo (IQOS). Uso do solo.

Relation between the quality of water and the transformation of the land use in Tibagi river basin

ABSTRACT

This study was developed in a project of research and development (R&D) approved by ANEEL and financed by COPEL Geração SA. The study was developed in Tibagi river basin (TRB) in the base years of 1987, 1991, 1997, 2001 and 2007. The north hypothesis of the work was: different uses of land result in different qualities of water. Thus, the main goal of this study was to characterize the transformation of the land use during the period. Characterize the water quality index (WQI) during the entire studied period and compare the transformation of the land use with the WQI variation. The characterization of the land use was carried out based on Landsat orbital images, using ENVI, ARCGIS and SPRING softwares. WQI was calculated using WNA and SUDERHSA data to eleven stations, being seven stations in Tibagi river and 4 stations in tributaries of Tibagi river. It was suggested a land occupation quality index (LOQI), generated from data of land use, pedologic and slope, that varies from 10 to 100 (being LOQI value of 100 - the best possible quality) to correlate the land use with WQI in TRB. The work was divided in four chapters, being the first one labelled “Differentiation of forestry of eucalyptus and pinus in the region of Tibagi river basin”. In this chapter, it was verified the efficiency of the vegetation suppression tool of ENVI, applied to the year of 2007, of ENVI in the identification of forestry. In the second chapter, “The evolution of the land in Tibagi river basin based on a multi-temporal analysis by remote sensing”, it was reported about the transformation of the land use during the period (1987-2007) to the entire basin comparing its occupation with the forestry code. The third chapter, titled “Water quality index (WQI) in Tibagi river basin (TRB) – state of Paraná”, stated about the characterization of WQI in the basin to all the years of study. In the fourth chapter, “Correlation between water quality and land use applied to Tibagi river basin – PR”, it was correlated the land use with the WQI and indicated a land occupation quality index (LOQI) that presented high correlation with WQI.

Keywords: Tibagi river basin. Satellite images. Water quality Index (WQI). Land occupation quality index (LOQI). Land use.

Tese elaborada e formatada conforme as normas das publicações científicas Revista Brasileira de Cartografia, revista OLAM e Environmental Management. Disponíveis em: <<http://www.rbc.ufrj.br/>>, <<http://www.olam.com.br/normas.htm>> e <<http://www.springerlink.com/content/0364-152X>>

SUMÁRIO

Capítulo 1: DIFERENCIAÇÃO DA SILVICULTURA DE EUCALIPTO E PINUS, NA REGIÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO TIBAGI	9
Capítulo 2: A EVOLUÇÃO DO USO DO SOLO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO TIBAGI COM BASE EM ANÁLISE MULTITEMPORAL POR SENSORIAMENTO REMOTO	25
Capítulo 3: ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA (IQA) NA BACIA HIDROGRÁFICA DO TIBAGI (BHT) – ESTADO DO PARANÁ	40
Capítulo 4: CORRELAÇÃO ENTRE QUALIDADE DA ÁGUA E USO DO SOLO, APLICADO À BACIA HIDROGRÁFICA DO TIBAGI – PR.	55

Capítulo 1: DIFERENCIAÇÃO DA SILVICULTURA DE EUCALIPTO E PINUS, NA REGIÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO TIBAGI

Differentiating forestry of eucalyptus and pinus in region of Tibagi river basin

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi analisar a eficácia da ferramenta *Vegetation Suppressing Tool*, presente no aplicativo ENVI 4.4, aplicada a imagens orbitais Landsat TM, para identificar diferentes agrupamentos arbóreos homogêneos, associados à silvicultura. A ferramenta foi aplicada a quatro agrupamentos de imagens Landsat TM, que cobrem a região da Bacia Hidrográfica do Tibagi (órbita/ponto 221/77, 221/78, 222/76, 222/77), todas de 2007. As imagens foram classificadas utilizando o método de máxima verossimilhança (MAXVER). Os diferentes agrupamentos identificados na imagem foram aferidos em atividade de campo, em 20 pontos na região de Telêmaco Borba, predeterminados em laboratório. A atividade de campo foi realizada com auxílio de GPS de precisão, máquina fotográfica e computador portátil. Todos os pontos pré-determinados foram percorridos, validando o posicionamento pelo GPS e pela visualização da imagem no computador portátil. Foram tiradas fotografias dos agrupamentos arbóreos encontrados, tanto os homogêneos (silvicultura) quanto os heterogêneos (com características de formação natural) e, após, a identificação de todos os agrupamentos vegetais foi comprovada. Esse resultado demonstra que imagens pós aplicação da rotina de supressão de vegetação mostraram-se eficazes na identificação de florestamento, apresentando realce de alvos silviculturais, viabilizando também a diferenciação entre os dois gêneros *Pinus* sp. e *Eucalyptus* sp. Outro resultado importante da aplicação da ferramenta *Vegetation Suppressing*, foi a facilidade de identificação de pequenos talhões de silvicultura em meio a áreas com florestas nativas.

Palavras chaves: Supressão de vegetação. Landsat. Silvicultura.

ABSTRACT

The main objective of this work was to analyze the efficiency of *Vegetation Suppressing Tool*, present in ENVI 4.4 software. *Vegetation Suppressing* was applied to Landsat TM orbital images in order to identify different homogeneous arboreal groups associated to forestry. This tool was applied to four groups of Landsat TM images of 2007 that cover the region of Tibagi river basin (orbit/point 221/77, 221/78, 222/76, 222/77). Images were classified using the method of maximum verisimilitude (MAXVER). The different groups identified in the image were verified in field survey, in 20 points of Telêmaco Borba region that were predetermined in laboratory. The field survey was carried out using a GPS (of precision), a camera and a laptop. All the predetermined points were checked, validating the positioning of GPS and by the visualization the image in the laptop. Photos of the observed arboreal groups homogeneous (forestry) and heterogeneous (with characteristics of natural formation) were taken, and then, the identification of all the vegetal groups was corroborated. This result indicates that the images resulting from the application of *Vegetation Suppressing Tool* were efficient in the identification of forestry, presenting enhancement of forestry targets and making possible the differentiation between the two genera *Pinus* sp. and *Eucalyptus* sp. Another important result of the application of *Vegetation Suppressing Tool* was the facility in identification of small stands of forestry in areas with native forests.

Keywords: *Vegetation Suppressing*. Landsat. Forestry.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a forte expansão econômica brasileira aliada à aplicabilidade da legislação ambiental torna a retirada de madeira nativa, normalmente ilegal. Esta prática é pouco compensatória e com tendência de ser extinta. Isto porque a existência de inúmeros plantios comerciais. Os plantios comerciais geralmente são formados por essências exóticas ofertam de forma rápida e menos agressiva ao meio ambiente matérias primas como celulose, carvão, madeira, auxiliando na redução da retirada de essências nativas.

Hoje, no Brasil, existem apenas estimativas das áreas cobertas por silvicultura. Instituições estaduais, federais, ambientais e as indústrias de base florestal normalmente estimam os dados. Estes podem ser sub ou superestimados, ocasionando excessos ou déficits de matéria prima no mercado, que reflete na demanda e custo final dos produtos.

Segundo Cunha e Brito (2007), o reflorestamento pode ser entendido como a implantação de essências nativas em áreas devastadas com intenção de recuperação ou de plantio comercial, com implantação de essências normalmente exóticas e de uma única espécie, chamados de silvicultura, que ocorrem em áreas previamente destinadas a futura extração de madeira e derivados. As áreas de silvicultura consistem em formações florestais artificiais, disciplinadas e homogêneas, destinadas principalmente à produção de madeira, carvão e celulose. Normalmente, constituídas de espécies exóticas gênero *Pinus* e *Eucalyptus*. Essas áreas são ordenadas em grandes talhões, influenciando o microclima, o regime hídrico e também a fauna.

Segundo Carvalho *et al.*, (2003), a utilização de um SIG pode fornecer orientações para o Comitê de Gestão de Bacia, auxiliando na definição de prioridades de investimento para recuperação e manutenção dos recursos hídricos. A utilização de sensoriamento remoto possibilita realizar levantamentos das áreas ocupadas pela vegetação natural, atividades agropecuárias e áreas urbanas, e conseqüentemente obter a caracterização dos tipos e categorias de vegetação que revestem determinado espaço (CUNHA e BRITO, 2007).

O conhecimento atualizado e o histórico das formas de uso e ocupação do solo são preponderantes ao estudo das atividades que se desenvolvem em determinada região. Um estudo de caso pode ser viabilizado por uma série histórica de imagens de sensoriamento remoto, não somente em áreas onde há deterioração do ambiente causada pelo mau uso dos recursos naturais, mas também para acompanhar locais onde haja regeneração do mesmo (ROSA, 1990). Segundo Sérgio *et al.*, (2005), o levantamento do uso e ocupação do solo consiste em um detalhado mapeamento das condições edafoclimáticas, avaliação da cobertura

vegetal e outros elementos presentes na região.

Com relação à cobertura vegetal, observa-se que uma área de vegetação nativa é mais heterogênea sendo representada em uma fotografia aérea e em imagens de satélite por uma textura mais rugosa do que uma área de silvicultura, que é mais homogênea ou uniforme, e esta é mais rugosa em relação a uma área de cultura (FLORENZANO, 2002). O trabalho de campo é praticamente indispensável ao estudo e mapeamento do ambiente por meio de imagens de sensores remotos. O trabalho de campo faz parte do processo de interpretação de imagens, pois é por meio dele que o resultado torna-se mais confiável.

Florenzano (2002) cita que imagens com resolução espacial de 30 metros, quando utilizadas na classificação de uso do solo, mostram-se às vezes confusas no que tange a diferenciação visual entre florestas nativas e de silvicultura. Durante a identificação, por mais que florestas nativas diferenciem-se pela sua textura rugosa e outras particularidades, pequenos talhões de silvicultura podem não ser identificados.

Diversos estudos de vegetação foram realizados utilizando o sensoriamento remoto e imagens orbitais Landsat TM, nos mais variados países, Nova Zelândia (MARR e BACON, 1996), Brasil (XAVIER e VEITORAZZI, 1998), Polônia (HEJMANOWSKA e MULARZ, 2000), Filipinas (TOKUNAGA e VU, 2002), Malásia (SULONG *et al.*, 2002), República do Congo (LAPORTE e LIN, 2003), EUA (GARONO *et al.*, 2003; COKE *et al.*, 2005), Argentina (GEA-IZQUIERDO *et al.*, 2004), Austrália (BAYNES, 2004), Grécia (SARRIS, *et al.*, 2005), Irã (LATIFI e OLADI, 2006), Coreia do Sul (LEE *et al.*, 2008). Como as bandas Landsat TM apresentam uma grande quantidade de informações, muitas das quais não são úteis para o levantamento da silvicultura e acabam dificultando a fotointerpretação. Por isso, são realizadas operações entre as bandas das imagens criando visualizações diferentes. O valor resultante de uma operação entre imagens geralmente é chamado de índice. Um índice bastante conhecido e utilizado é o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) que é calculado utilizando-se as bandas correspondentes às faixas do vermelho visível e do infravermelho próximo.

No Canadá, foi realizado um estudo para investigar a aplicabilidade do IVDN como um indicador da biodiversidade. Esse estudo foi desenvolvido a sudeste de Ontário, onde foi encontrada correlação positiva entre os valores de IVDN e a diversidade da vegetação (ADSAVAKULCHAI *et al.*, 2004). Epting *et al.*, (2005) avaliaram 13 índices de sensoriamento remoto que utilizam as bandas TM do Landsat. Os autores aplicaram os índices em áreas no interior do Alasca, onde ocorreram queimadas naturais, e os correlacionaram com dados de campo. Também Tokunaga e Vu (2002), Joy *et al.*, (2003), Xavier *et al.*, (2004),

Healey *et al.*, (2006), entre outros, realizaram estudos utilizando índices compostos a partir das diversas bandas do Landsat TM.

Foi proposto por Crippen e Blom (2001) um método com o objetivo de reduzir a expressão de vegetação e de reforçar a expressão da litologia subjacente em imagens de sensoriamento remoto. Essa metodologia foi proposta para estudos cujo objeto fosse o solo ou a geologia. Provavelmente por essa razão não foi encontrado, na literatura técnica disponível, estudo de vegetação natural ou cultivada que utilizasse tal metodologia.

Nesse contexto, o objetivo desse trabalho é utilizar a rotina *Vegetation Suppressing Tool* disponível no aplicativo ENVI 4.4 aplicada sobre imagens do sensor TM (*Thematic Mapper*) do satélite Landsat-5 a fim de identificar áreas de silvicultura na bacia do Rio Tibagi, no estado do Paraná.

2. MATERIAL E MÉTODO

2.1 Área de estudo

A área de estudo é a Bacia Hidrográfica do Tibagi – BHT, localizada na porção leste do estado do Paraná (Fig. 1), que ocupa principalmente áreas do Segundo Planalto Paranaense. O rio Tibagi, principal afluente do rio Paranapanema, nasce no sul do estado do Paraná, na Região Sul do Brasil, a cerca de 1060 m de altitude, na região dos Campos Gerais, e tem sua foz na usina hidrelétrica de Capivara, no rio Paranapanema a 298 metros de altitude (MEDRI *et al.*, 2002; MAACK, 2002).

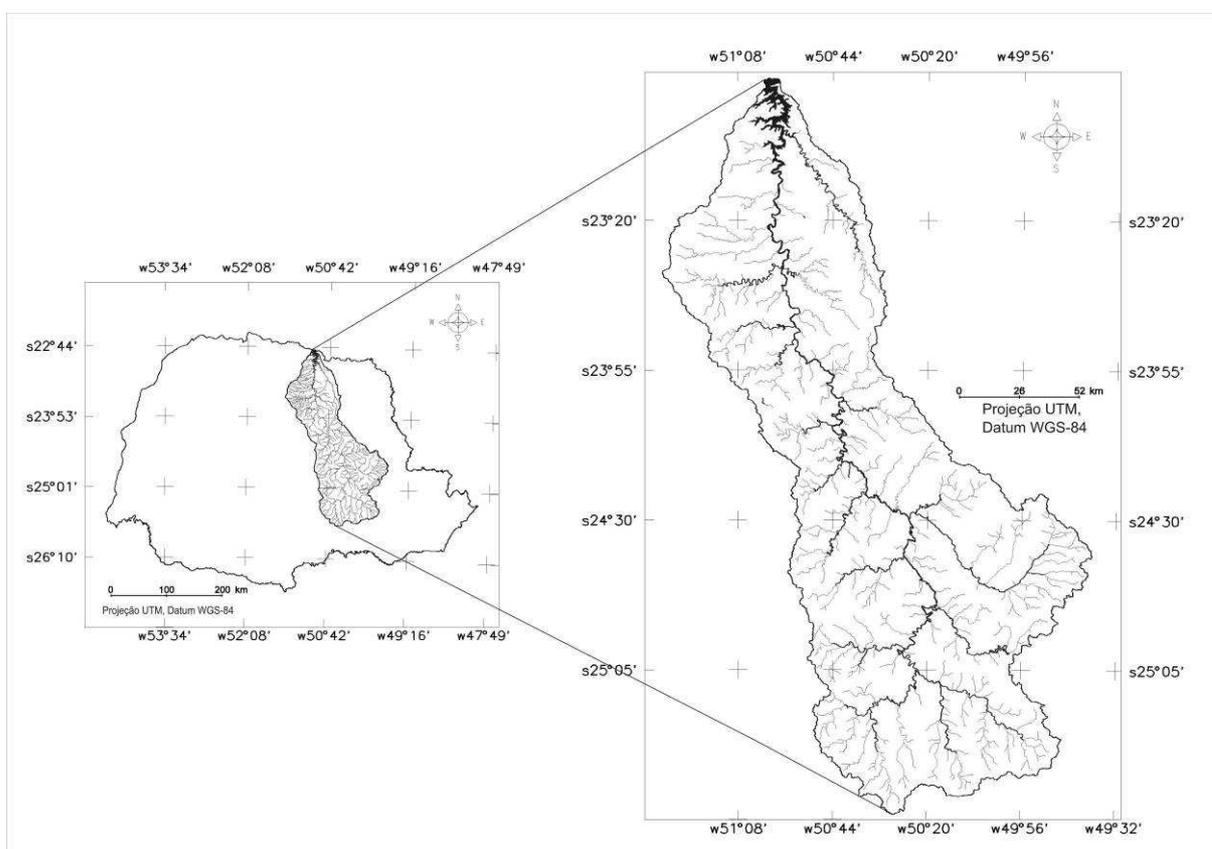


Figura 1 - Localização da bacia do Tibagi no estado do Paraná

A BHT corta o estado do Paraná no sentido sudeste-norte, está compreendida entre os paralelos 22°46' a 25°40' S e 49°38' a 51°28' W, limitando-se ao sul com a bacia do rio Iguaçu, ao norte com a bacia do rio Paranapanema, a oeste com a bacia do rio Ivaí e a leste com as bacias dos rios Ribeira, Jaguariaíva e Cinzas (MEDRI *et al.*, 2002).

2.2 Material

2.2.1 Dados Orbitais e Cartográficos

Os dados de sensoriamento remoto (SR) utilizados foram as cenas Landsat 5 TM 221-76, 221-77, 222-77 e 222-78, adquiridas pela FUNTEF (Fundação de Apoio à Educação, Pesquisa e Desenvolvimento Científico e Tecnológico da UTFPR) através de convênio de Pesquisa e Desenvolvimento com a COPEL Geração LTDA.

2.2.2 Aplicativos e equipamentos

Foi utilizado o aplicativo ENVI versão 4.4. Também foram utilizados um GPS de precisão, da marca Trimble, modelo GeoExplorer XM 2005, uma máquina fotográfica semi-profissional Sony H7 e um computador portátil.

2.3 Método

2.3.1 Georeferenciamento das Imagens de Satélite

As cenas Landsat foram georeferenciadas no aplicativo ENVI utilizando-se *o mosaico ortorretificado de imagens TM Landsat (Orthorectified Landsat Enhanced Thematic Mapper - Compressed Mosaics 2000)* como base (NASA, 2008)..

2.3.2 *Vegetation Suppressing Tool* for ENVI 4.4

Após o georeferenciamento das imagens, foi utilizada, no ENVI, a ferramenta de supressão de vegetação (*Vegetation Suppressing Tool*). O aplicativo ENVI versão 4.4 apresenta um algoritmo de supressão de vegetação, que consiste na utilização das bandas 3 e 4 do sensor TM, vermelho e infravermelho próximo, respectivamente. Na aplicação de IVDN, o aplicativo suprime a assinatura espectral correspondente à vegetação nativa na imagem, recompondo a imagem com suas feições originais, ausente de florestas nativas. Essa ferramenta é a implementação do método desenvolvido por Crippen e Blom (2001).

2.3.3 Classificação das imagens de satélite

Após a supressão de vegetação no aplicativo ENVI, foi realizada a classificação supervisionada de Máxima Verossimilhança (Maxver). Regiões de interesse

foram criadas a partir da extração de um conjunto de pixels, que, juntos, formaram a base para o algoritmo de classificação, derivando em 3 diferentes classes, nomeadas como *Pinus*, Eucalipto e Outros.

A classificação automatizada, via de regra, gera pequenos erros, sendo alguns possíveis de serem reparados com filtração. Esse método esse que consiste na retirada dos pixels indesejados, desde que esparsos. Porém, quando ocorrem erros maiores, com maior número de pixels agrupados, é necessária a realização de correção manual, utilizando a pós classificação do ENVI 4.4.

2.3.4 Identificação a campo

A partir da fotointerpretação e da classificação das imagens tratadas com a ferramenta de supressão de vegetação, em laboratório, um trabalho de campo foi realizado em 20 pontos pré-estabelecidos nas imagens. Assim esses pontos foram visitados *in loco*. O critério para determinação da localização desses pontos foi baseado em áreas onde houvesse ocorrência de floresta nativa e dos dois tons de coloração verde: o verde escuro e o verde claro, representando as duas espécies de florestamento ocorridas na região: gênero *Pinus* e *Eucalyptus*.

Os pontos pré-determinados, juntamente com o mapa de classificação e as imagens em formato Jpeg, foram inseridos no GPS de precisão, Trimble GeoExplorer XM 2005,. Um computador portátil contendo as imagens e a classificação também orientou na identificação.

Em campo, uma máquina fotográfica semi-profissional Sony H-7, com lente grande-ocular, foi utilizada para o registro das imagens, considerando a orientação da qual foi capturada a fotografia. Todos os pontos pré determinados foram visitados, fotografando-os de forma panorâmica e, em alguns casos, fotos direcionais, visando retratar o que fora observado nas imagens de satélite.

2.3.5 Chave de interpretação

Para facilitar a interpretação das imagens, foi elaborada uma chave de fotointerpretação (Quadro 1) para as cenas Landsat 5/TM composição (5-R, 4-G, 3-B) após aplicar a ferramenta de supressão de vegetação. Com base nas informações coletadas em campo e comparando as fotografias obtidas *in loco* e as imagens de satélite.

Assim foi possível definir duas classes de silvicultura, sendo eucalipto - representado pela cor verde claro e pinus - representado pela cor verde escura.

Classes de uso	Cor	Textura	Formato
<i>Eucalyptus</i>	Verde claro	Lisa	Regular
<i>Araucária</i>	Verde escuro	Lisa	Regular
<i>Pinus</i>	Verde escuro	Lisa	Regular
Florestas	Marrom	Rugosa	Irregular
Agropecuárias	Marrom	Lisa	Irregular
	Vermelho		Regular
	Bordô		
Área urbana	-	Rugosa	Irregular
			Regular

Quadro 1: Chave de Fotointerpretação da imagem LANDSAT 5/TM (5-R, 4-G, 3-B) pós supressão, órbita/ponto 221/077 e 221/078 de 07/03/07 e imagens 222/77 e 222/76

A chave de fotointerpretação considerou as áreas com ocorrência de florestas nativas e áreas de silvicultura, desde que essas áreas fossem homogêneas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A metodologia de supressão de vegetação, descrita por Crippen e Blom (2001) indica que todas as áreas com vegetação sejam suprimidas, ao contrário disso, foi observado que somente áreas com florestas nativas são identificadas e suprimidas, permanecendo na imagem as feições de silvicultura.

Os resultados obtidos a partir das imagens Landsat TM, após o tratamento da supressão de vegetação, foram analisados a fim extrair as informações sobre a silvicultura. A figura 2 (A) representa uma imagem Landsat TM R5, G4, B3, com ajuste de contraste linear. A figura 2(B) representa a mesma imagem com composição idêntica, na qual foi realizada a supressão da vegetação e também ajuste de contraste.

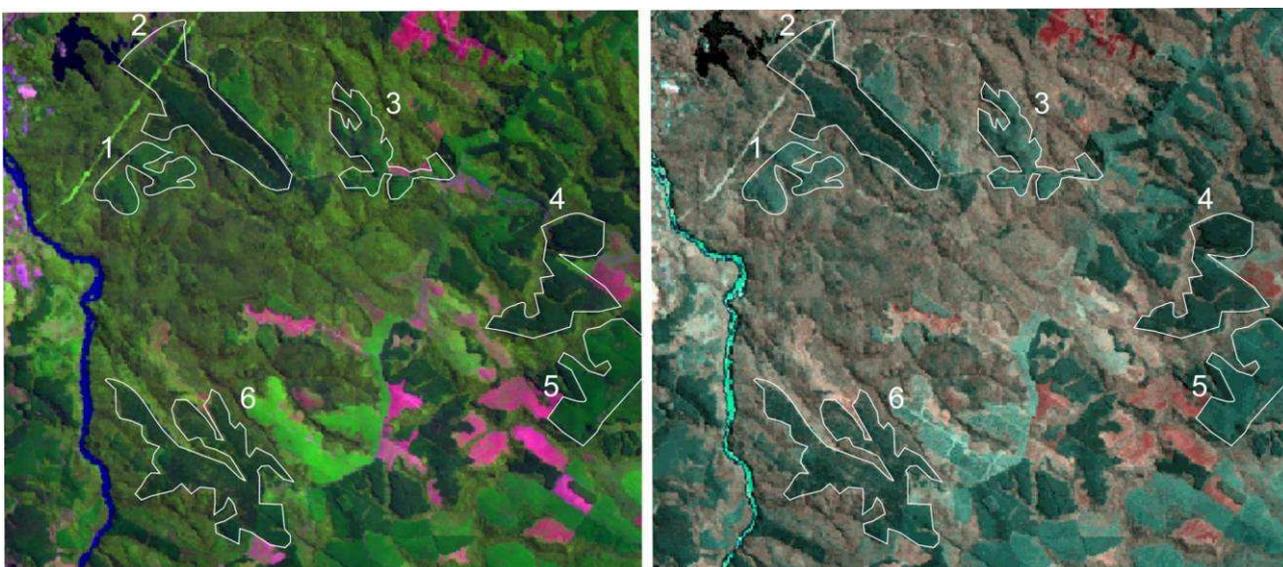


Figura 2 - Recorte de cena Landsat TM (5R, 4G, 3B) com ajuste de contraste linear: A) Cena sem tratamento de supressão de vegetação. B) Cena após o tratamento de supressão de vegetação. Polígonos 1,3 e 5: eucalipto. Polígonos 2,4 e 6: Pinus ou Araucária.

Pode ser percebido na figura 2(B), após a supressão de vegetação, a presença clara de duas tonalidades de verde. Para facilitar a identificação, neste artigo, foram destacadas, por linhas de cor branca, nas duas cenas, algumas áreas de silvicultura. Nos polígonos 1, 3 e 5, com coloração verde claro e textura lisa, foram identificadas áreas de plantio do gênero *Eucalyptus* e nos polígonos 2, 4 e 6, com um verde mais acentuado, as áreas do gênero *Pinus* ou *Araucária*. Mesmo as variações de tonalidades de verde claro, puderam ser comprovadas como eucalipto, variando apenas a idade da planta (plantas mais jovens, tonalidade mais clara).

Observando a imagem resultante do tratamento de supressão de vegetação (Fig. 2B), pode ser percebido que as áreas de florestas naturais ficaram indistintas, quase confundidas com a agricultura. Já as manchas de silvicultura sofreram um grande realce em relação aos outros alvos. O destaque foi principalmente em relação à cor, ficando as manchas de silvicultura bastante evidentes em dois tons, verde claro e verde escuro. Também a textura, lisa, ao contrário da vegetação natural que é rugosa, serviu para corroborar a identificação das manchas de silvicultura.

As áreas de silvicultura, quando distribuídas juntamente com florestas heterogêneas (normalmente nativas), são de identificação mais confusa, e quando trata-se de pequenos talhões a dificuldade é ainda maior. Pode ser percebido claramente que os polígonos 1 e 3 (Fig. 2B) na imagem pós tratamento são muito mais distintos, em relação à área do entorno, que os mesmos polígonos na imagem sem o tratamento (Fig. 2A).

O trabalho realizado em campo objetivou a validação da identificação das diferentes tonalidades de cor apresentadas nas imagens, principalmente no que se refere à distinção entre os alvos que apresentassem as duas tonalidades de verde, grandes talhões e textura lisa.

A figura 3, corresponde a fotografia de 09 de outubro de 2008, posicionada em S 24°23'26.42" W 50°37'24.66" rumo W 270° apresenta dois tipos de formações.



Figura 3 - Fotografia tirada em 09/10/2008 localizada em S 24°23'26.42" W 50°37'24.66" rumo W 270°, apresentando o gênero *Pinus* a esquerda e *Eucalyptus* a direita

É possível observar, ao lado esquerdo da foto, a presença de agrupamento arbóreo homogêneo de pinus e do lado direito a presença de agrupamentos de eucalipto. Nesse ponto, quando observado na imagem de pós supressão de vegetação (Fig 2B 5), percebe-se que no rumo indicado pela foto os dois tons de verde são observados, verde claro (*Eucalyptus* sp.) e outro verde mais escuro (*Pinus* sp.).

A figura 4, corresponde a fotografia de 09 de outubro de 2008, localizada em S

24°19'2.50" W 50°33'48.03", apresentando a espécie *Araucária angustifolia*.



Fig.4 - Fotografia tirada em 09/10/2008 localizada em S 24°19'2.50" W 50°33'48.03", apresentando a espécie *Araucária angustifolia*. A- rumo W 230°. B - rumo E 70°

Dos pontos visitados, pode se constatar, em alguns, (Fig. 2B 2) a presença de florestamento com *araucária angustifolia* (Fig 2), árvore proibida de corte no estado do Paraná. Os talhões contendo essas formações foram confundidos nas cenas com o gênero *Pinus* sp. No entanto, por ser uma espécie protegida por lei, essas áreas são proibidas de corte, não havendo o estabelecimento de novos florestamentos contendo essa espécie, a não ser os já implantados.

Nesse mesmo ponto, onde foi constatada a presença de Araucárias, ao lado oposto (figura 4b), fora constatado a presença do gênero *Eucalyptus*, onde na imagem era representado por uma tonalidade de verde claro, o eucalipto de todos os pontos visitados coincidiu a tonalidade exibida na imagem com as formações identificadas em campo.

Na execução do trabalho de campo, observou-se que as evidências apresentadas nas imagens foram comprovadas, pois áreas que apresentaram tonalidade verde escura, na composição e tratamento utilizado, apresentam geralmente uma única composição florestal, formada pelo gênero *Pinus*, exceto em locais onde há ocorrência de formação com a espécie *Araucaria angustifolia*. Já nas áreas da imagem onde havia a tonalidade verde clara constatou-se plantios silviculturais, do gênero *Eucalyptus*.

5. CONCLUSÕES

No presente trabalho, as características observadas nas imagens pós supressão de vegetação mostrou que a ferramenta de supressão de vegetação é eficaz na identificação de alvos silviculturais, alvos esses encontrados em todo território nacional, onde dois gêneros, o *Pinus* e *Eucalyptus*, são comumente implantados. Sendo assim, possibilitam uma classificação em grandes áreas como regiões, estados e mesmo países, viabilizando a diferenciação entre os dois gêneros citados.

Um fator importante observado na classificação e comparação entre as imagens Landsat TM, com e sem aplicação da ferramenta de remoção de vegetação, foi o reconhecimento de pequenos talhões de silvicultura em meio de florestas nativas nas imagens pós supressão, tornando possível a identificação de pequenas áreas muitas vezes ignoradas na fotointerpretação (classificação).

Áreas silviculturais de *Pinus* sp., comumente cultivadas na bacia hidrográfica do Tibagi, em alguns casos foram identificadas e confundidas com áreas onde há presença de *Araucaria angustifolia*. No entanto, amparado pela legislação federal, estadual, e, em alguns casos, municipal, áreas com presença dessa espécie, mesmo que silvicultural, estão proibidas de corte.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à COPEL Geração e Transmissão S.A. (Companhia Paranaense de Energia), através do projeto de Pesquisa, do programa de P&D ANEEL, código 6491-036/2007, pelo apoio financeiro, e à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) pelo apoio administrativo e de infra-estrutura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADSAVAKULCHAI, S; MINNS, D; CHAN, A. **Assessing the Interaction of Vegetation Diversity and Landuse using remote sensing: An Example in Southeastern Ontario, Canada.** Environmental Informatics Archives, Volume 2, 499-508, 2004.

BAYNES, J. **Assessing forest canopy density in a highly variable landscape using Landsat data and FCD Mapper aplicativo.** Australian Forestry, v 67, n 4 p. 247-253, Austrália, 2004.

CARVALHO, R.J. ; GONÇALVES, M.L; ZANOTELLI, C.T; Voltz, R.R. . **The use of geoprocessing technologies for the management of water resources.** In: Conferência Internacional Usos Múltiplos del Agua: Para la Vida y el Desarrollo Sostenible, 2003, Cartagena de Indias. Conferência Internacional Usos Múltiplos del Agua: Para la Vida y el Desarrollo Sostenible. Cartagena de Indias : Universidad del Valle/Instituto Cinara, 2003. p. 191-196.

COCKE, A.E; FULE, P.Z; CROUSE, J.E. **Comparison of burn severity assessments using Differenced Normalized Burn Ratio and ground data.** International Journal of Wildland Fire v 14, n 2, pp. 189-198, 2005.

CRIPPEN, R.E, BLOM, R.G. **Unveiling the Lithology of Vegetated Terrains in Remotely Sensed Imagery.** Photogrammetric Engineering e Remote Sensing 67(8) 2001.

CUNHA, D.J.A.I.; BRITO, Jorge Luís Silva . **Mapeamento das áreas de silvicultura do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, utilizando imagens de satélite CCD/CBERS2.** Horizonte Científico, v. 1, n 7, p. 1-24, 2007.

EPTING, J; VERBYLA, D; SORBEL, B. **Evaluation of remotely sensed indices for assessing burn severity in interior Alaska using Landsat TM and ETM+.** Remote Sensing of Environment v 96, n 3-4 p. 328 – 339, Junho de 2005.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de Satélite para Estudos Ambientais.** São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 97 p.

GARONO, R; ANDERSON, B.D; ROBINSON, R. SIMENSTAD, C. **Change in Land Cover along the Lower Columbia River Estuary as Determined from Landsat Thematic**

Mapper (TM) Imagery. Project No. 2002-01200, 42 electronic pages, (BPA Report DOE/BP-00008768-4), Novembro de 2003.

GEA-IZQUIERDO, G; PASTUR, G.M; CELLINI, J.M; ENCINAS, M.C. **Forty years of silvicultural management in southern *Nothofagus pumilio* primary forests.** Forest Ecology and Management v201, n 2-3, p. 335–347, novembro de 2004.

HEALEY, S.P; YANG, Z; COHEN, W.B; PIERCE, D.J. **Application of two regression-based methods to estimate the effects of partial harvest on forest structure using Landsat data.** Remote Sensing of Environment, v 101 n 1, pp. 115-126, Março de 2006.

HEJMANOWSKA, B. MULARZ, S. **Integration of multitemporal ers SAR and landsat tm data for soil moisture assessment.** IAPRS, v 33, Amsterdan, 2000.

JOY, S.M; REICH, R.M; REYNOLDS, R.T. **A non-parametric, supervised classification of vegetation types on the Kaibab National Forest using decision trees.** International Journal of Remote Sensing, v 24, n 9, p. 1835 – 1852, May 2003.

LAPORTE, N.T; LIN, T.S. **Monitoring Logging in the Tropical Forest of Republic of Congo with Landsat Imagery.** Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2003. IGARSS '03. Proceedings. 2003 IEEE International. v 4, p 2565- 2567, Julho de 2003.

LATIFI, H., OLADI, D. **Evaluating Landsat ETM+ Data Capability to Produce Forest Cover Type Maps in the Timberline of Northern Forests of Iran.** Taiwan Journal of Forest Science v 21 n 3 p 363-75, 2006.

LEE, B; KIM, S.Y; CHNG, J; PARK, P.S. **Estimation of fire severity by use of Landsat TM images and its relevance to vegetation and topography in the 2000 Samcheok forest fire.** Journal of Forest Research v13, n 4, p 197–204, 2008.

MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná.** Livraria José Olympio Editora, 2^a ed., Rio de Janeiro-RJ, 2002.

MARR, A. J.; BACON, C.J. **Remote sensing and GIS for Forestry Assessment in the Otago Region.** 8th Colloquium of the Spatial Information Research Centre. University of Otago, p 195-199. New Zealand, 1996.

MEDRI, M. E.; BIANCHINI, E.; SHIBATTA, O. A. ; PIMENTA, J. A. **A bacia do rio Tibagi.** Londrina, Pr: M. E. Medri, 2002.

NASA. **GEOCOVER-Circa 2000: Mosaico de imagens Landsat Georeferenciadas** .

Disponível em <<https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/>>. Acesso em 2008.

ROSA, R. . **A utilização de imagens TM/Landsat em Levantamentos de uso do solo**. In:

VI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 1990, Manaus. Anais do VI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 1990. v. 2. p. 419-425.

SARRIS, A; MANIADAKIS, M; LAZARIDOU, O; KALOGRIAS, V; BARIOTAKIS, M; PIRINTSOS, S.A. **Studying Land Use Patterns in Crete Island, Greece, Through a Time Sequence of Landsat Images and Mapping Vegetation Patterns**. 2005 WSEAS International Conference on ENVIRONMENT, ECOSYSTEMS and DEVELOPMENT, Venice, Italy, November 2005 (pp112-119).

SILVA, J.C. **Eucalipto – A Madeira do Futuro**. Revista da Madeira 114p.il. Curitiba, set. 2001.

SULONG, I; MOHD-LOKMAN, H; MOHD-TARMIZI , K; ISMAIL, A. **Mangrove Mapping Using Landsat Imagery and Aerial Photographs: Kemaman District, Terengganu, Malaysia**. Environment, Development and Sustainability, v 4, n 2 p. 135 – 152, junho de 2002.

TOKUNAGA, M; VU, T.T. **Finding the relationship between vegetation index and coherence signature to utilize the product of radar interferometry in land cover application**. Asian Conference on Remote Sensing, 2002.

XAVIER, A.C; SOARES, J.V; ALMEIDA, A.C; FREITAS, C.C. **Estimativa de IAF em plantações de eucaliptos a partir de dados TM/Landsat**. In: IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 1998, Santos. São José dos Campos : INPE, 1998.

XAVIER, A.C; VETTORAZZI, C.A. **Monitoring leaf area index at watershed level through NDVI from Landsat-7/ETM+ data**. Scientia Agricola, v. 61, n. 3, p. 243-252, 2004.

Capítulo 2: A EVOLUÇÃO DO USO DO SOLO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO TIBAGI COM BASE EM ANÁLISE MULTITEMPORAL POR SENSORIAMENTO REMOTO

*Evaluation of temporal evolution of the land use in Tibagi river basin – PR by
orbital satellite images of moderate spatial-resolution*

RESUMO

O objetivo deste estudo foi caracterizar a evolução do uso do solo no período de 1987 a 2007 e analisar o uso do solo nas áreas de preservação permanentes (APP's) em relação à legislação ambiental, na bacia hidrográfica do Tibagi (BHT). Foram utilizadas cartas topográficas para delimitar a drenagem, grade da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) para calcular a declividade, imagens orbitais Landsat 5 sensor TM para determinar o uso do solo e levantamento de campo, para validar a classificação das imagens. As imagens foram georeferenciadas e classificadas no software ENVI 4.4 e, posteriormente, todos os dados foram manipulados em um banco de dados geográficos (BDG) por meio do programa SPRING. O BDG foi composto por mapas temáticos da rede de drenagem, declividade, uso do solo, áreas de preservação permanente e de uso conflitante. Dos cerca de 25.000 km² da BHT, cerca de 1.200 km² são APP. A classe de uso de maior área na BHT foi a Agropecuária com cerca de 73% em 1991 (maior área) e cerca de 65% em 2007 (menor área). A classe floresta ocupava cerca de 20% da bacia em 2001 e 27% em 2007. Para todos os anos estudados, mais da metade da área que deveria ser APP apresentou outros usos. O ano de 1991 foi o que apresentou maior área em conflito com a legislação, com aproximadamente 72,5%; nos anos seguintes (1997 e 2001) esse valor diminuiu até atingir em cerca de 59% , no ano de 2007.

Palavras chaves: Landsat. Uso do solo. Área de preservação permanente (APP).

ABSTRACT

The main objectives of this study were to evaluate the dynamics of the evolution of the land use in the period from 1987 to 2007 and analyze the land use in areas of permanent preservation (APPs) in relation to the environmental legislation in Tibagi river basin (TRB). Topographic maps were used to delimitate the drainage; Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) grade was applied to calculate the slope; Landsat 5 orbital images with TM sensor were used to determine the land use and field surveys were carried out to validate the classification of the images. Images were geo-referred and classified using ENVI 4.4 software. After that, the data were manipulated in geo-referred data bank (GDB) using SPRING software. GDB was composed by thematic maps of the drainage network, slope, land use, areas of permanent preservation and of conflicting land use. It was observed that approximately 1.200 km² of TRB are APPs of a total of 25.000 km². Moreover, agriculture was the predominant land use with 73% in 1991 (the largest area) and 65% in 2007 (the smallest area); forest occupied approximately 20% of the basin in 2001 and 27% in 2007. More than a half of the area that must have been the PPA had another uses in all the studied years. The year of 1991 presented the largest conflicting area with approximately 72,5%; this value was being reduced in the following years until 59% in 2007.

Keywords: Landsat, land use, Area of Permanent Preservation (APP).

1. INTRODUÇÃO

Estudos temporais relacionados às formas de utilização do solo são relevantes no sentido de identificar e mitigar formas de uso inadequadas, as quais resultam em degradações ambientais e desequilíbrio ecológico, como também fornecer subsídios ao planejamento de uso e desenvolvimento sustentável e extração de recursos naturais, melhorando a qualidade de vida da população (SILVA e VIEIRA, 2007).

No Brasil, diversos estudos temporais tem sido realizados, utilizando imagens de sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica (SIG), buscando-se identificar o uso e ocupação de áreas de preservação permanente (APP), em particular com o auxílio do aplicativo SPRING (CATELANI e BATISTA, 2003, FRANÇA *et al.*, 2005, BRONAUT e PARANHOS FILHO, 2007, ALVES e ROSSETE, 2007, SOARES *et al.*, 2007; SILVA e VIEIRA, 2007; PRADO *et al.*, 2007).

Esse tipo de ferramenta facilita a identificação e fiscalização de APP's que não atendem ao Código Florestal, com base neste tipo de informação é possível, inclusive, estabelecer medidas mitigadoras e propor soluções para recuperar as áreas que deveriam estar preservadas (SANTOS *et al.*, 2007). Apesar da utilização do sensoriamento remoto ser um importante recurso para o estudo de paisagens, é necessário conhecer a área a ser analisada, de modo a poder identificar com mais segurança os diferentes tipos de uso no terreno (FRANÇA *et al.*, 2005).

O levantamento adequado do uso das APP's, por meio de imagens de sensoriamento remoto, minimizam a necessidade de visitar todas as propriedades rurais, concentrando as vistorias em campo somente nas propriedades em que o levantamento remoto lançar dúvidas sobre a sua adequação à lei ambiental, diminuindo os custos e tornando os processos mais ágeis (PRADO *et al.*, 2007).

Neste contexto, o objetivo deste estudo é caracterizar a dinâmica da evolução do uso do solo, e analisar o uso e ocupação do solo nas áreas de preservação permanentes (APP's), no período de 1987 a 2007 em relação à legislação ambiental, da bacia hidrográfica do Tibagi (BHT).

2. MATERIAL E MÉTODO

2.1 Área de estudo

A área de estudo é a Bacia Hidrográfica do Tibagi – BHT, localizada na porção leste do Estado do Paraná (Fig. 1), onde ocupa principalmente áreas do Segundo Planalto Paranaense. O rio Tibagi, principal afluente do rio Paranapanema, nasce no sul do Estado do Paraná, na região Sul do Brasil, a cerca de 1060 m de altitude, na região dos Campos Gerais, e tem sua foz na usina hidrelétrica de Capivara, no rio Paranapanema, a 298 metros de altitude (MEDRI *et al.*, 2002; MAACK, 2002).

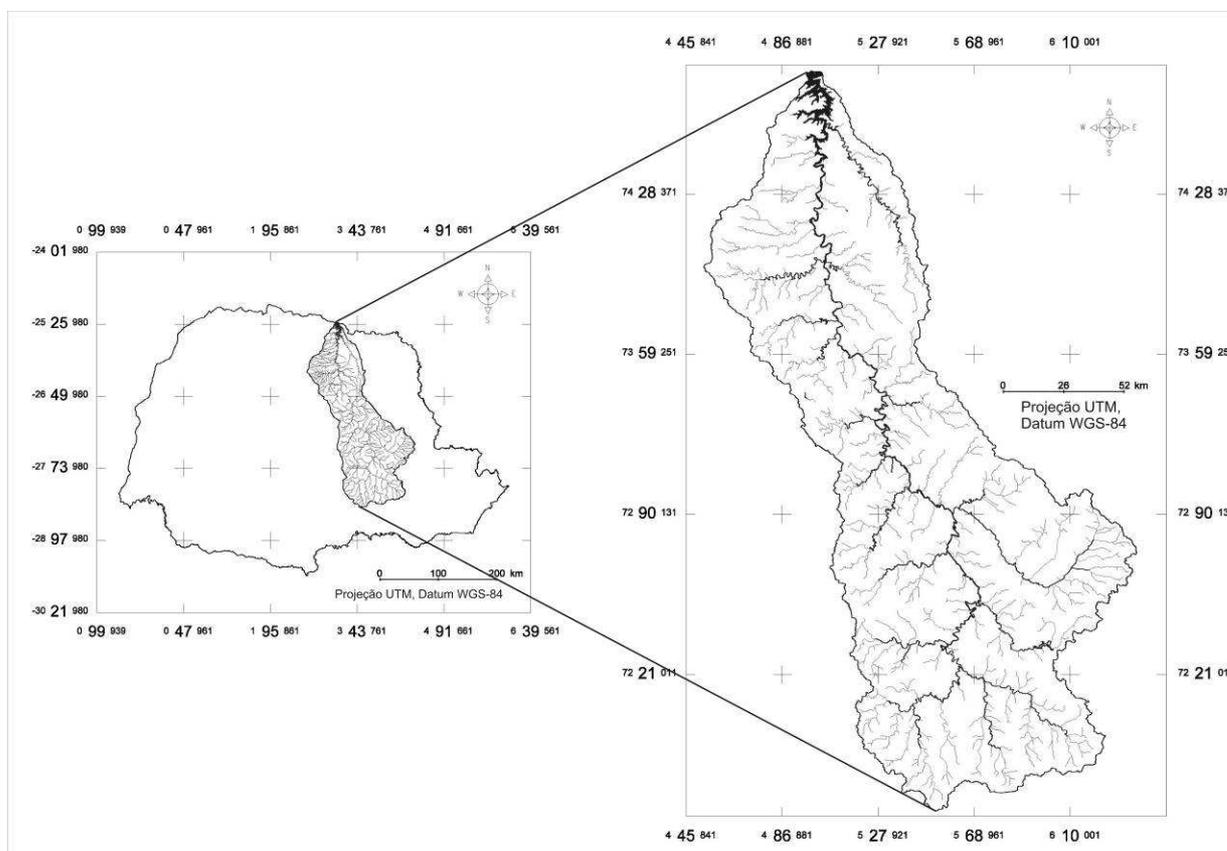


Fig.1 - Localização da bacia do Tibagi no Estado do Paraná

A BHT corta o Estado do Paraná no sentido sudeste-norte, está compreendida entre os paralelos 22°46' a 25°40' S e 49°38' a 51°28' W, limitando-se ao sul com a bacia do rio Iguaçu, ao norte com a bacia do rio Paranapanema, a oeste com a bacia do rio Ivaí e a leste com as bacias dos rios Ribeira, Jaguariaíva e Cinzas (MEDRI *et al.*, 2002).

2.2 Material

2.2.1 Dados Orbitais e Cartográficos

Os dados de sensores orbitais incluíram as cenas do satélite Landsat 221-76, 221-77, 222-77 e 222-78. A base cartográfica foi digitalizada das cartas topográficas na escala de 1:250.000 SF-22-Y-B, SF-22-Y-D, SF-22-V-B, SF-22-Z-A, SF-22-Z-C, SF-22-X-A e SF-22-X-C. Ambos foram adquiridos pela FUNTEF (Fundação de Apoio à Educação, Pesquisa e Desenvolvimento Científico e Tecnológico da UTFPR), através de convênio de Pesquisa & Desenvolvimento com a COPEL Geração LTDA.

O mapeamento de declividade foi elaborado a partir da grade SRTM, adaptada para o sistema de referência oficial brasileiro por Weber *et al.*, (2004).

2.2.2 Aplicativos

Os aplicativos utilizados para o georreferenciamento, processamento e análise dos dados, foram o ENVI versão 4.4 e o SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas) versão 5.

2.3 Método

2.3.1 Georreferenciamento das Imagens de Satélite

As cenas Landsat foram georeferenciadas utilizando-se como base o *Orthorectified Landsat Enhanced Thematic Mapper (ETM+) Compressed Mosaics 2000* (NASA, 2008). O georreferenciamento foi realizado no software ENVI, através da obtenção de pontos de controle no terreno (*Ground Control Points Selection*), utilizando a ferramenta de registro, com a seleção de pontos de controle imagem para imagem.

2.3.2 Classificação e pós-classificação das imagens de satélite

Para realizar a classificação do uso do solo das imagens, foi utilizado o método de Distância Mínima (ENVI), que calcula a distância Euclidiana de cada pixel desconhecido ao vetor médio de cada classe. Todos os pixels são classificados à classe mais próxima.

SPRING Para executar a pós-classificação das imagens, foram utilizadas as rotinas Class Edit e Class Change, que permitem corrigir áreas erroneamente classificadas, seja devido à sua semelhança espectral ou por limitações técnicas, bem como eliminar classes já

existentes ou inserir novas classes.

2.3.3 Álgebra de Mapas

A linguagem LEGAL, no SPRING (CAMARA, 1996), foi utilizada para realizar cruzamentos de informações nos mapas de uso do solo a fim de identificar a cobertura das APP's, de forma rápida e prática.

3. DESENVOLVIMENTO

Por meio da classificação das cenas georeferenciadas foram identificadas as diferentes formas de uso e ocupação do solo, classificadas como água, floresta (incluindo áreas de silvicultura), agricultura e solo nu. Como a assinatura espectral das áreas urbanas é muito semelhante à das áreas agropecuárias em geral, essas não foram consideradas inicialmente. As classes de silvicultura e floresta foram individualizadas através de classificação semi-automática, após as imagens terem sido tratadas pela ferramenta *Vegetation Suppression*, que elimina a assinatura espectral da vegetação natural e permite identificar as áreas de agrupamentos arbóreos homogêneos, comumente associados à silvicultura.

A imagem classificada passou por uma pós-classificação, manual, tendo uma composição colorida da imagem landsat original de fundo, com intuito de eliminar e corrigir os equívocos, bem como delimitar as áreas urbanas. Sendo, também dessa forma, identificado e classificado a ocupação urbana. Essas áreas foram identificadas visualmente, acrescentadas manualmente através da rotina *Class Edit*.

O processo de pós-classificação para as imagens de 2007 foi realizado em conjunto com ida a campo, em pontos pré-determinados, que foram localizados com o auxílio de GPS e computador portátil. A classificação dos agrupamentos de pixels da imagem (considerando cor/tonalidade, textura, sombra, forma e padrão) foi comparada com os diversos usos do solo observados no local. Essa validação da classificação feita para a imagem mais recente serviu de base para o fotointerpretador e foi extrapolada para a correção das imagens dos anos anteriores.

Após corrigir as imagens, as mesmas foram filtradas através dos filtros de convolução, pela ferramenta *Convolutions and Morphology*. O método de convolução média suaviza a imagem, atenuando o serrilhado da área de contato entre uma classe e outra e eliminando os pixels isolados.

Após todo o processo de análise, identificação do uso do solo e tratamento das imagens classificadas (quatro cenas para cada ano de estudo), essas foram importadas para um Banco de Dados Geográficos (BDG) do SPRING, cada cena em um plano de informação (PI) diferente.

No SPRING, a rede de drenagem foi digitalizada a partir das cartas topográficas de escala 1:250.000 e utilizada para delimitar as áreas de preservação permanente previstas no código florestal. Sobre os vetores da drenagem foi aplicada a ferramenta Mapa de Distâncias no SPRING. Com esta ferramenta foi calculado a distância com relação à rede de drenagem e

criado vetores com a distância de acordo com o previsto no código florestal (30m, 50m e 100m). O cruzamento entre os PI's de uso de solo e de APP permitiu criar novos PI's onde pode-se determinar a situação legal das áreas de preservação permanente.

Para delimitar a área exata da BHT, foi utilizada a grade altimétrica gerada a partir da imagem SRTM, sendo que o limite da bacia foi delineado, manualmente, considerando os pontos máximos da cota na área de limite entre bacias.

Para facilitar os estudos foi utilizado o macrozoneamento ambiental desenvolvido por Stipp (2000) para a BHT, dividindo-a em baixo, médio e alto Tibagi. Os limites do macrozoneamento foram adaptados utilizando como referencial as subbacias dos afluentes. Só então todos os PI's foram recortadas de acordo com o limite determinado da bacia, e das três macrozonas.

4. RESULTADOS

Para poder quantificar a evolução do uso do solo, foi utilizada a ferramenta medidas de classes, do SPRING, na qual pode ser mensurada a quantidade correspondente a cada classe dentro de um mapa temático, na unidade desejada (hectares, metros quadrados ou quilômetros quadrados). As áreas ocupadas pelos diversos uso foi computada, para cada uma das zonas da BHT (baixo, médio e alto Tibagi) e calculado a ocupação percentual da classe na zona (tab 1).

O baixo Tibagi é a zona com menor percentual de cobertura de vegetação natural ao longo do período, sendo que, de 1987 a 2007 a proporção passou de 9,88 % para 10,61 %. Enquanto que o percentual da área urbana nessa zona teve um grande aumento, passando de 1,43 em 1987 para 3,46 em 2007, com destaque para a região de Londrina, a maior mancha urbana que pode ser percebida na região do baixo Tibagi, que sofreu um aumento perceptível no período. A silvicultura ocupa um percentual muito pequeno no baixo Tibagi, passando de 0,07 % em 1987 para 0,13 em 2007. A maior parte da bacia é ocupada por atividades agropastoris, sendo que essa atividade, responsável pela ocupação de mais de 88 % em 1987, teve uma redução de ocupação em 2007, com 85,8 % da área da bacia hidrográfica do baixo Tibagi (tab1). Essa situação da ocupação humana do baixo Tibagi é facilmente percebida no mapa de uso do solo (fig 2).

Tabela 1: Percentual de cada uma das classes de uso do solo no baixo, médio e alto Tibagi para os anos de 1987, 1991, 1997, 2001 e 2007

Zona	Uso	1987	1991	1997	2001	2007
Baixo	floresta	9,88	8,65	8,15	11,06	10,61
	urbano	1,43	1,72	2,09	2,78	3,46
Tibagi	agropecuaria	88,62	89,52	89,69	86,1	85,8
	silvicultura	0,07	0,11	0,07	0,06	0,13
Médio	floresta	35,16	28,01	34,76	33,6	36,28
	urbano	0,45	0,47	0,44	0,63	0,6
Tibagi	agropecuaria	52,08	58,94	52,03	52,39	44,69
	silvicultura	12,31	12,58	12,77	13,38	18,43
Alto	floresta	26,54	23,31	24,98	23,07	32,99
	urbano	0,93	0,93	1,17	1,31	1,31
Tibagi	agropecuaria	70,29	73,12	70,98	71,63	61,77
	silvicultura	2,24	2,64	2,87	3,99	3,93

O médio Tibagi destaca-se durante os anos de estudo como a zona com maior percentual de cobertura vegetal natural, passando de pouco mais de 35 % em 1987 para 36,28 % em 2007. O solo com uso para a agropecuária nesta zona, em 1987, ocupava 52,08 %, reduzindo para 44,69 % em 2007 e as áreas urbanas tiveram pouca variação no período, passando de 0,45% em 1987 para 0,6% em 2007. O Médio Tibagi é a zona que apresenta o maior percentual de silvicultura, com um crescimento de aproximadamente 50% no período, passando de 12,32% em 1987 para 18,43% em 2007. Essa concentração de silvicultura é mais perceptível na região de Telêmaco Borba, que é nacionalmente conhecida por abrigar uma importante indústria de papéis e celulose. O que pode explicar a substituição, percebida quando comparado o ano de 1987 com o de 2007 (fig. 2A e 2B), de áreas de vegetação nativa por silvicultura. Com a matéria-prima próxima à indústria, reduzem-se custos com transportes, além de valorizar e favorecer a economia local. Mas mesmo ocorrendo a substituição de floresta nativa por silvicultura em alguns locais, a vegetação natural teve um aumento no percentual de ocupação do médio Tibagi. Esse aumento, em grande parte, se deve à reocupação, entre 1987 e 2007, de áreas agrícolas por florestas.

No alto Tibagi, o destaque também são as atividades agropastoris, mas não tanto quanto no baixo Tibagi, e como nas outras zonas, nesta também ocorreu a diminuição dessas áreas, de 70,29% em 1987 para 61,77% em 2007. Esta é a zona onde ocorreu o maior crescimento das florestas, passando de 26,54% em 1987, para 32,99% em 2007, as áreas com silvicultura também aumentaram, de 2,24% em 1987 para 3,93% em 2007 e a mancha urbana também aumentou, de 0,93% para 1,31.

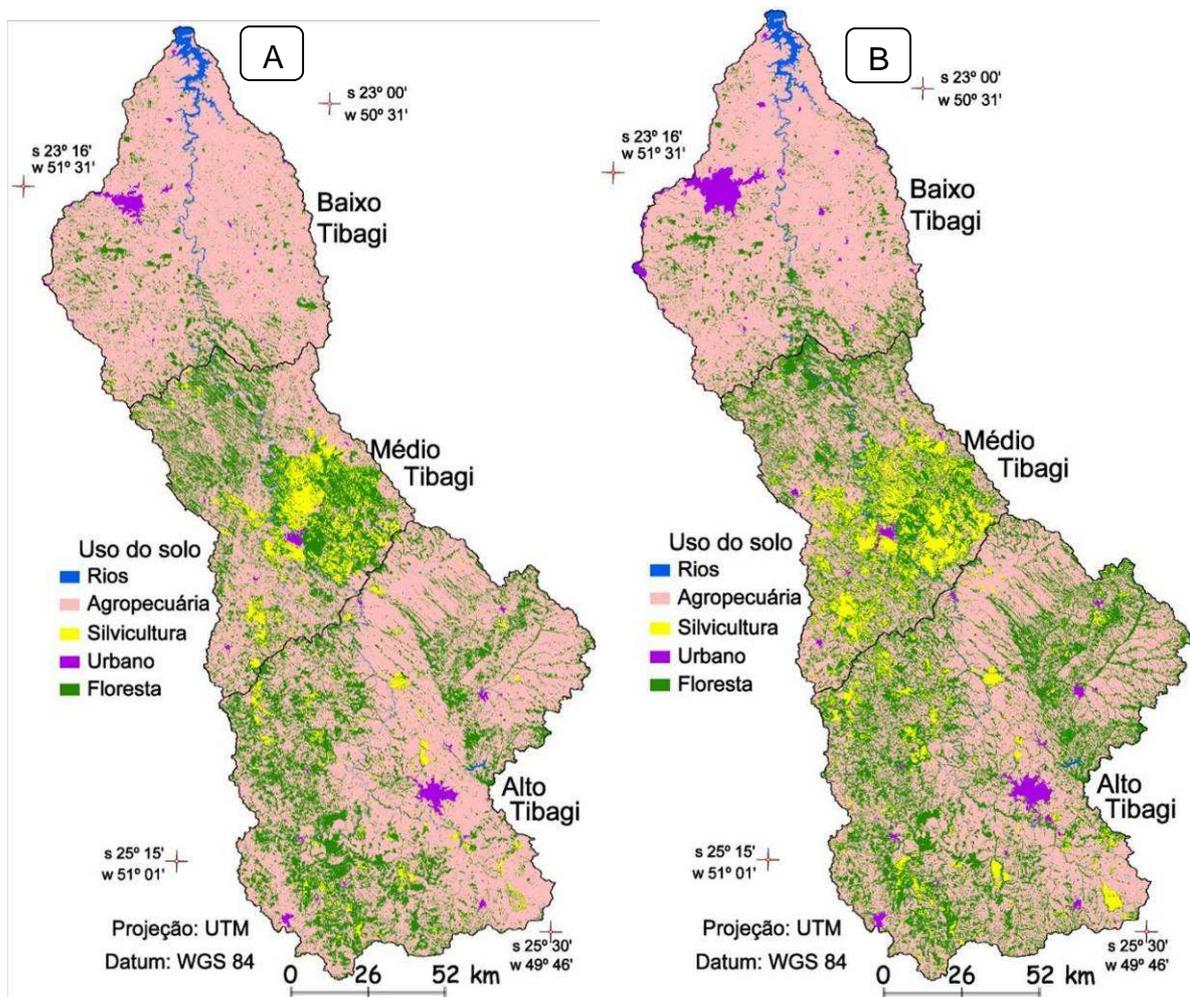


Fig.2 - Imagem classificada do uso do solo da BHT, para os anos de 1987 (A) e 2007 (B) onde a cor azul, aos corpos hídricos de maior extensão; magenta, área urbana; rosa, agropecuário; amarelo, silvicultura; verde, vegetação natural.

De maneira geral, para a BHT identificou-se aumento nas áreas de silvicultura, que passaram de cerca de 4% da área da bacia em 1987 para 6,2% em 2007. A classe de uso associada à agropecuária, ocupava 71,2% da área da bacia em 1987, teve um aumento de mais de 3% para 1991 e começou a diminuir atingindo 64,6% em 2007. As áreas de florestas, que em 1987 ocupavam quase um quarto da bacia, 23,9%, perderam mais de 3% até o ano de 1991, ficando praticamente estabilizada nos anos de 1997 e 2001 (entre 22 e 23%) chegando no final do estudo com mais de 27% da área da BHT. De todas as classes, a mancha urbana é a que sofreu aumento maior, em percentual. Teve um aumento de cerca de 70%, passando de 1% para 1,8% da área da bacia (Tab 2).

Tabela 2: Percentual de cada uma das classes de uso do solo na BHT para os anos de 1987, 1991, 1997, 2001 e 2007

Classes	1987	1991	1997	2001	2007
floresta	23,9	20,3	22,5	22,1	27,4
urbano	1,0	1,0	1,3	1,6	1,8
agropecuária	71,2	74,4	71,8	71,2	64,6
silvicultura	4,0	4,2	4,4	5,1	6,2

Da área da BHT, quase 25.000 km², cerca de 1.200 km² foram classificados como Área de Preservação Permanente (APP). Com relação às APP's, o ano de 1991 é o mais crítico, sendo que 27,5% da área das APP foram identificadas com vegetação natural. O restante da área de APP estava ocupado principalmente com agropecuária (69,1%). De maneira geral, a tendência foi de melhora, tendo em 2007 53,6% da área com agropecuária. O preocupante são as áreas com silvicultura e urbanas, que quase dobraram no período de estudo. De 2,9% para mais de 5,08% e de 0.5 para 0.9, respectivamente (Tab. 3).

Em relação à agropecuária, para o ano de 2007, verifica-se que as áreas que deveriam ser de preservação ao longo do Tibagi, estão, em grande parte, ocupadas por agropecuária, especialmente a partir de Londrina até chegar à foz do Tibagi.

Tabela3: Percentual de cada uma das classes de uso do solo nas Áreas de Preservação Permanente e somatório dos usos em conflito com a legislação, para os anos de 1987, 1991, 1997, 2001 e 2007

Classes	1987	1991	1997	2001	2007
Agropecuária	64,1	69,1	63,7	62,4	53,6
Silvicultura	2,9	2,9	3,2	3,6	5,1
Urbano	0,5	0,5	0,6	0,8	0,9
Soma	67,5	72,5	67,5	66,8	59,6
Floresta	32,5	27,5	32,5	33,2	40,5

As APP na BHT com floresta, sofreu um aumento significativo dentro do período, passando de 32,5 em 1987, com decréscimo em 1991, para 27,5, tendo aumento contínuo nos anos seguintes, 32,5 em 1997, 33,2 em 2001 e 40,5 em 2007, o que apesar de ser uma

melhoria em relação à situação inicial, ainda não é o ideal que seria ocupação de 100% da APP com floresta nativa.

Contudo é importante ressaltar que as imagens LANDSAT possuem resolução espacial de 30 m, ou seja, objetos menores de 900 m² de área são imperceptíveis. No mesmo patamar encontra-se a base cartográfica, de escala 1:250000, devido à generalização cartográfica, inerente à escala. Entretanto, trabalhos como este servem como base para outros estudos mais detalhados, que envolvam áreas menores, talvez apenas um município da bacia. Esses estudos permitiriam realizar visitas de campo mais específicas, trabalhos com imagens de satélite de maior resolução, o que não seria muito oneroso e forneceria subsídios para resultados mais precisos.

5. CONCLUSÕES

Podemos concluir, por meio deste estudo que, é perceptível uma melhoria geral das condições ambientais da BHT, pois com a evolução do uso ocorreu diminuição da agropecuária, aumento da vegetação natural apesar do aumento da mancha urbana, e aumento da silvicultura. Apesar disso a situação geral da BHT ainda apresenta alguns problemas ambientais, principalmente quando se considera a adequação do código florestal na bacia.

A análise da evolução do uso do solo de uma região com utilização imagens LANDSAT permite acompanhar o crescimento das cidades, verificar a expansão ou retração das áreas agropecuárias em detrimento da vegetação natural, bem como o avanço de áreas silviculturais.

Estudos como este, que utilizam Sistemas de Informações Geográficas, tornam mais viáveis estudos temporais em áreas significativas, como uma bacia hidrográfica, pois os dados são mais rapidamente processados e as áreas são mais facilmente calculadas. Assim pode-se avaliar e mensurar as mais diversas alterações antrópicas no ambiente, e conseqüentemente mais fácil propor medidas mitigadoras.

Imagens de satélite de média resolução, como as utilizadas neste estudo, permitem resultados abrangentes grandes áreas territoriais (como uma Bacia Hidrográfica), os quais servem de subsídios para estudos de Planejamento Ambiental. Ressalta-se que para obter resultados mais precisos, deve-se trabalhar com áreas de menor extensão (um município, por exemplo), que permitirá realizar mais pesquisas de campo, utilizar imagens de satélite de melhor resolução espacial, analisar o contexto histórico local, dentre outros fatores determinantes, conferindo assim mais acurácia ao estudo realizado.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à COPEL Geração e Transmissão S.A. (Companhia Paranaense de Energia), através do projeto de Pesquisa, do programa de P&D ANEEL, código 6491-036/2007, pelo apoio financeiro, e à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) pelo apoio administrativo e de infra-estrutura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, H.Q; ROSSETE, A.N. **Áreas de uso e de conflito em APP na microbacia hidrográfica do Córrego Murtinho, Nova Xavantina - MT.** In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007, Florianópolis - SC. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007. p. 3701-3708.
- BRONAUT, R.P.M. ; PARANHOS FILHO, A. C. . **Avaliação do uso de imagens CBERS-2/CCD na identificação e monitoramento das áreas de preservação permanente ao longo dos corpos hídricos.** In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2007, Florianópolis. Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. São José dos Campos, SP. : INPE, 2007. v. DVD. p. 799-806.
- CAMARA, G.SOUZA, R.C.M.. FREITAS, U.M. GARRIDO, J. **SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling.** Computers & Graphics, 20: (3) 395-403, May-Jun 1996.
- CATELANI, C. S; BATISTA, G.T. **Adequação do uso da terra em função da legislação ambiental.** In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11, 2003, Belo Horizonte - MG. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11 2003. p. 559-566.
- DE BIASI M. **A carta clinográfica: os métodos de representação e sua confecção.** Revista do Departamento de Geografia da USP, 06:45-61, 1977.
- FRANÇA, D.A; IBANEZ, D.M; FERREIRA, N.J. **Deteção de mudanças e elaboração de cartas de unidades de paisagem e de uso do solo a partir de imagens TM-LANDSAT: o exemplo de São José dos Campos - SP.** In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005, Goiânia. XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005. p. 3755-3761.
- MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná.** Livraria José Olympio Editora, 2^a ed., Rio de Janeiro-RJ, 2002.
- MEDRI, M. E.; BIANCHINI, E.; SHIBATTA, O. A. ; PIMENTA, J. A. **A bacia do rio Tibagi.** Londrina, Pr: M. E. Medri, 2002.
- NASA, **Orthorectified Landsat Enhanced Thematic Mapper (ETM+) Compressed Mosaics 2000.** Disponível em <<https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/>>. Acesso aos 20/08/2008.

SILVA, R.M ; BATISTA, M.C.C. ; OLEIVEIRA, R. I. C. ; BRITO, J. L. S. . **Mapeamento do uso do da Terra e cobertura vegetal natural da APP do médio curso do córrego Lagoinha em Uberlândia**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento remoto, 13 (SBSR), 2007, Florianópolis. Anais. São José dos Campos : INPE. v. 1. p. 4249-4255, 2007.

SOARES, A.M.L; FREITAS FILHO, M.R; SOARES, Z.M.L; CARVALHO,M.S.B.S. **Aplicação de Geotecnologias na Identificação de Conflitos entre o Uso da Terra e a Legislação Ambiental**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007, Florianópolis-SC. XIII SBSR, 2007.

STIPP, N. A. F. (Org.) ; MENDONCA, F. A. (Org.) ; OLIVEIRA, J. de (Org.) ; CARVALHO, M. S. (Org.) ; BARROS, M. V. F. (Org.) ; FERREIRA, Y. N. (Org.) . **Macrozoneamento Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi (Pr)**. 1. ed. Londrina: Editora UEL, 2000.

WEBER, E.; HASENACK, H.; FERREIRA, C.J.S. **Adaptação do modelo digital de elevação do SRTM para o sistema de referência oficial brasileiro e recorte por unidade da federação**. Porto Alegre, UFRGS Centro de Ecologia, 2004..

Capítulo 3: ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA (IQA) NA BACIA HIDROGRÁFICA DO TIBAGI (BHT) – ESTADO DO PARANÁ

*Water quality index (WQI) in the Tibagi river basin (TRB) – State of
Paraná*

RESUMO

Este estudo, desenvolvido na bacia hidrográfica do Tibagi – BHT, no estado do Paraná, visou a determinação do índice de qualidade da água (IQA) com base em dados de 11 estações fluviométricas, cadastradas no sistema de informações hidrológicas (HIDRO) da Agência Nacional de Águas, para os anos de 1987, 1991, 1997, 2001 e 2007. A bacia foi subdividida em 11 áreas de drenagem, todas tendo uma das estações fluviométricas como ponto mais baixo da drenagem. Nos dados das estações foi aplicada a metodologia utilizada pelo IGAM e CETESB, adaptada da metodologia desenvolvida pela *National Sanitation Foundation* (NSF) em 1970, para a determinação do IQA. A estação Captação SAMAE (A3), ribeirão Jacutinga, no município de Ibiporã, com acentuada concentração industrial no ano de 1987, foi a que apresentou menor IQA (47), sendo, segundo a metodologia utilizada, considerado qualitativamente como ruim. O IQA de maior valor (88.96) foi registrado na estação Bom Jardim (a1), classificado como bom, sendo que, em nenhum período, esta sub-área apresentou classificação inferior. Os resultados obtidos sugeriram, no geral, estabilidade do IQA na BHT.

Palavras chaves: Índice de qualidade da água; Bacia hidrográfica do Tibagi,.

ABSTRACT

This study was developed in Tibagi river basin – TRB in the state of Paraná. It was used data of 11 fluviometric stations, based on the Hydrologic Information System (HIDRO) of National Water Agency (NWA), to the years of 1987, 1991, 1997, 2001 and 2007. The basin was divided into 11 areas of drainage, each one with a fluviometric station as the lowest point of the drainage. The methodology used by IGAM and CETESB, adapted from the methodology developed by National Sanitation Foundation in 1970, was applied to the data of the stations in order to determine the Water Quality Index (WQI). From the WQI results, Captação SAMAE (a3) station in Jacutinga stream (Paraná state) presented lowest WQI (46,83), probably due to its significant industrial activity in 1987. According to the used methodology, this station was considered qualitatively as bad. The highest WQI (89) was obtained in Bom Jardim (a1) station classified as good. This sub-area did not present inferior classification in any period. In general, the obtained results suggested stability of WQI in TRB.

Palavras chaves: Quality of water, Data bank, Monitoring.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil, mesmo possuindo grande capacidade hídrica, enfrenta problemas relacionados à escassez de água decorrentes dos processos de urbanização, industrialização e expansão agrícola desordenados. A qualidade da água está relacionada diretamente à qualidade ambiental, que resulta de ações antrópicas ou transformações naturais. O monitoramento pode ser a alternativa que fornece conhecimento sobre a qualidade ambiental e da água. Para a realização do monitoramento é preciso utilizar um indicador, ou índice da qualidade da água. IQA é um conjunto de valores numéricos que indicam a concentração dos constituintes químicos presentes nas águas fluviais (BATE *et al.*, 2004). Uma bacia hidrográfica possibilita uma visualização da combinação dos elementos físicos e biológicos presentes na área da bacia, permitindo a representação cartográfica da mesma, com observações da diversificação da paisagem, que a torna uma unidade de estudo funcional.

Para caracterização do IQA, alguns parâmetros que representam as características físico-químicas e biológicas, consideradas mais significativas para a qualidade da água, foram estabelecidos pela *National Sanitation Foundation* – NSF. Estes incluem oxigênio dissolvido (OD), coliformes fecais, pH, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrogênio total, fosfato total, temperatura da água, turbidez e sólidos totais (FERREIRA e ALMEIDA, 2005). Os parâmetros utilizados para compor o IQA visam, principalmente, verificar o impacto das fontes de poluição e avaliar se a qualidade da água é adequada ao uso que se faz dela ou ao uso pretendido. O IQA é um indicador de contaminação por esgotos domésticos e efluentes industriais. Este índice é útil para determinação de níveis de qualidade visando-se sua utilização pela população humana. Ele não contempla outros usos como proteção das comunidades aquáticas, da manutenção da biodiversidade e da integridade do corpo hídrico (PINHEIRO *et al.*, 2008).

Este trabalho objetivou a determinação do –IQA, da bacia hidrográfica do Tibagi, através da criação de um banco de dados georreferenciados para monitoramento da variação da qualidade da água entre os anos de 1987 e 2007..

2. MATERIAL E MÉTODO

2.1 Área de estudo

A área de estudo é a bacia hidrográfica do Tibagi – BHT, localizada na porção leste do estado do Paraná (Fig. 1), no segundo planalto paranaense. O rio Tibagi, principal afluente do Paranapanema, nasce no sul do estado do Paraná, na Região Sul do Brasil, a cerca de 1060 m de altitude, na região dos Campos Gerais. Tem sua foz na usina hidrelétrica de Capivara a 298 metros de altitude (MEDRI *et al.*, 2002; MAACK, 2002).

A BHT corta o estado do Paraná no sentido sudeste-norte, está compreendida entre os paralelos 22°46' a 25°40' S e 49°38' a 51°28' W, limitando-se ao sul com a bacia do rio Iguaçu, ao norte com a bacia do rio Paranapanema, a oeste com a bacia do rio Ivaí e a leste com as bacias dos rios Ribeira, Jaguariaíva e Cinzas (MEDRI *et al.*, 2002).

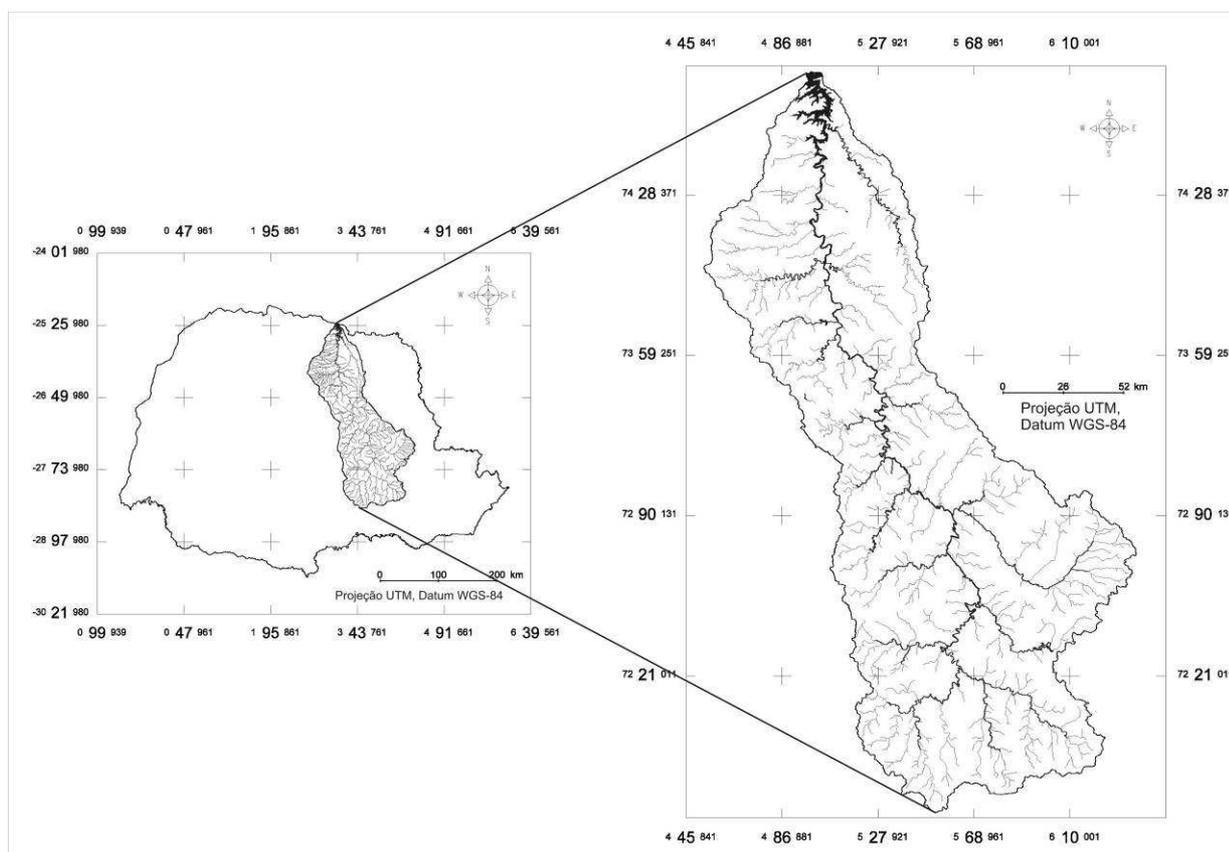


Figura.1 - Localização da bacia do Tibagi no estado do Paraná

2.2 Material

2.2.1 Dados Cartográficos

Os dados cartográficos utilizados foram as cartas topográficas na SF-22-Y-B, SF-22-Y-D, SF-22-V-B, SF-22-Z-A, SF-22-Z-C, SF-22-X-A e SF-22-X-C, escala de 1:250.000 adquiridas pela FUNTEF (Fundação de Apoio à Educação, Pesquisa e Desenvolvimento Científico e Tecnológico da UTFPR), através de convênio de Pesquisa e Desenvolvimento com a COPEL Geração LTDA.

2.2.2 Dados Hidrológicos

Para a elaboração do IQA foram utilizados dados provenientes do Sistema de Informações Hidrológicas – HidroWeb, da agência nacional de águas – ANA (ANA, 2008) e dados disponibilizados pela superintendência de desenvolvimento de recursos hídricos e saneamento ambiental do estado do Paraná (SUDERHSA), num total de 11 estações com dados de qualidade da água. As estações receberam um código (AD) a ser utilizado neste artigo referindo-se ao rio principal. As localizadas no rio Tibagi foram denominadas, seqüencialmente de montante para jusante, de t1 a t7. As estações localizadas nos afluentes do rio Tibagi foram denominadas, seqüencialmente de a1 a a4 (Quadro 1).

AD	Código	Nome	Altitude	Município	Rio
a1	64460000	Bom Jardim	750	Tibagi	Capivari
a2	64477600	Chácara Cachoeira	970	Castro	Iapó
a3	64507100	Captação SAMAE	395	Ibiporã	Rib.Jacutinga
a4	64508500	Ponte Preta	370	Uraí	Congonhas
t1	64444000	Uvaia	975	Ponta Grossa	Tibagi
t2	64447000	Eng. Rosaldo Leitão	780	Ponta Grossa	Tibagi
t3	64465000	Tibagi	750	Tibagi	Tibagi
t4	64482000	Telêmaco Borba	637	Telêmaco Borba	Tibagi
t5	64491000	Barra Ribeirão das Antas	512	Curiúva	Tibagi
t6	64501000	Porto Londrina	400	Londrina	Tibagi
t7	64507000	Jataizinho ANA/CESP	336	Jataizinho	Tibagi

Quadro1: Estações fluviométricas utilizadas para a elaboração do IQA

Fonte: Adaptado de HidroWeb (ANA, 2008)

2.2.3 Aplicativos

Foram utilizados os aplicativos SPRING - sistema de processamento de informações georreferenciadas (CAMARA *et al.*, 1996) versão 5 e MS Access.

2.3 Método

2.3.1 Aquisição de dados cartográficos

Após a digitalização das cartas foram criados elementos temáticos de drenagem e delimitada a bacia hidrográfica, de acordo com a metodologia proposta por Granel Del Pèrez (2001). A delimitação da bacia foi realizada considerando as linhas e pontos cumeados, com base no plano de informação grade altimétrica SRTM, adaptada para o sistema de referência oficial brasileiro por Weber *et al.*, (2004) da base cartográfica digital. Posteriormente, foram delimitadas as áreas de drenagem (AD) das estações fluviométricas, considerando, para as estações dos afluentes, toda a bacia de drenagem, tendo como ponto coletor final a localização da estação fluviométrica. Para as estações do rio Tibagi, foi considerada toda a área de drenagem desde a estação anterior.

2.3.2 Cálculo do Índice de Qualidade da Água

Utilizou-se para classificação da qualidade da água a metodologia do cálculo de IQA – Índice de Qualidade da Água, desenvolvido pela National Sanitation Foundation – NSF dos Estados Unidos. Os dados de todos os parâmetros, para cada estação, dentro do período de estudo, foram reunidos em um banco de dados do MS Access, onde foram montadas as equações para calcular o IQA, conforme proposto por IGAM (FERREIRA E ALMEIDA, 2005) e CETESB (2001).

Existem duas variantes da metodologia para o cálculo do IQA, uma, aditiva, considerando a soma dos parâmetros multiplicados pelo peso e a outra, multiplicativa, considerando o produto ponderado da qualidade de cada parâmetro (Equação 1). Tanto o IGAM quanto a CETESB adotam o IQA multiplicativo. É considerada a curva média de variação de cada um dos parâmetros definidos (Fig 2), sendo atribuído um peso, de acordo com a sua importância relativa no cálculo do IQA (Tabela 1).

$$IQA = \prod_{i=1}^9 q_i^{w_i} \quad (1)$$

Em que:

IQA = Índice de Qualidade de Água, variável de 0 a 100;

q_i = qualidade do parâmetro i obtido através da curva média específica de qualidade;

w_i = peso atribuído ao parâmetro, em função de sua importância na qualidade, de 0 e 1.

Tabela 1 : Pesos atribuídos às variáveis do IQA

<i>Parâmetro</i>	<i>Peso – w_i</i>
OD (%ODSat)	0,17
Coliformes fecais (NMP/100mL)	0,15
pH	0,12
DBO (mg/L)	0,10
Nitrogênio (mg/L)	0,10
Fosfatos (mg/L PO ₄)	0,10
Variação na temperatura (°C)	0,10
Turbidez (UNT)	0,08
Resíduos totais (mg/L)	0,08

Fonte: CETESB (2001).

No cálculo original do IQA pela *National Sanitation Foundation* dos Estados Unidos, considerava-se o nitrogênio na forma de nitrato. No entanto, a CETESB (2001) realizou uma adaptação desse índice para nitrogênio, pois os rios se mostram comprometidos por esgotos domésticos, que são ricos em outras formas de nitrogênio, tais como nitrogênio orgânico e amoniacal. A equiparação qualitativa dos valores é representada por cores (Quadro 2) pelo IGAM, que manteve a classificação sugerida pelo *National Sanitation Foundation* – NFS, e a –CETESB, que adaptou o IQA, utiliza outra forma de classificação por cores.

No MS Access, os dados foram organizados em uma tabela nomeada Dados. Foi montada uma consulta, que, através de algoritmo, calculou o q_i de cada parâmetro armazenando em um campo nomeado da consulta. Foram testadas as metodologias utilizadas pela CETESB e pelo IGAM, optando-se pelo algoritmo de cada metodologia que melhor representasse a curva de qualidade do parâmetro. Para os parâmetros turbidez e OD foi utilizado o algoritmo proposto pela CETESB (2001); para os parâmetros coliformes, pH, DBO, nitrogênio, fosfato e sólidos totais foi utilizado o algoritmo proposto pelo IGAM (FERREIRA E ALMEIDA, 2005). A temperatura é considerada, por ambas as aplicações,

como estável, tendo o valor do q_i definido em 93. Por fim, foi utilizado o valor calculado do q_i , armazenado nos campos nomeados para determinar o IQA, por sua vez armazenado no campo nomeado IQA (Quadro 3).

<i>Nível de Qualidade</i>	<i>Faixa</i>
Excelente	$90 < IQA \leq 100$
Bom	$70 < IQA \leq 90$
Médio	$50 < IQA \leq 70$
Ruim	$25 < IQA \leq 50$
Muito Ruim	$0 \leq IQA \leq 25$

Quadro 2. Cores e valores a serem utilizados na representação da qualidade da água

Fonte: Ferreira e Almeida (2005)

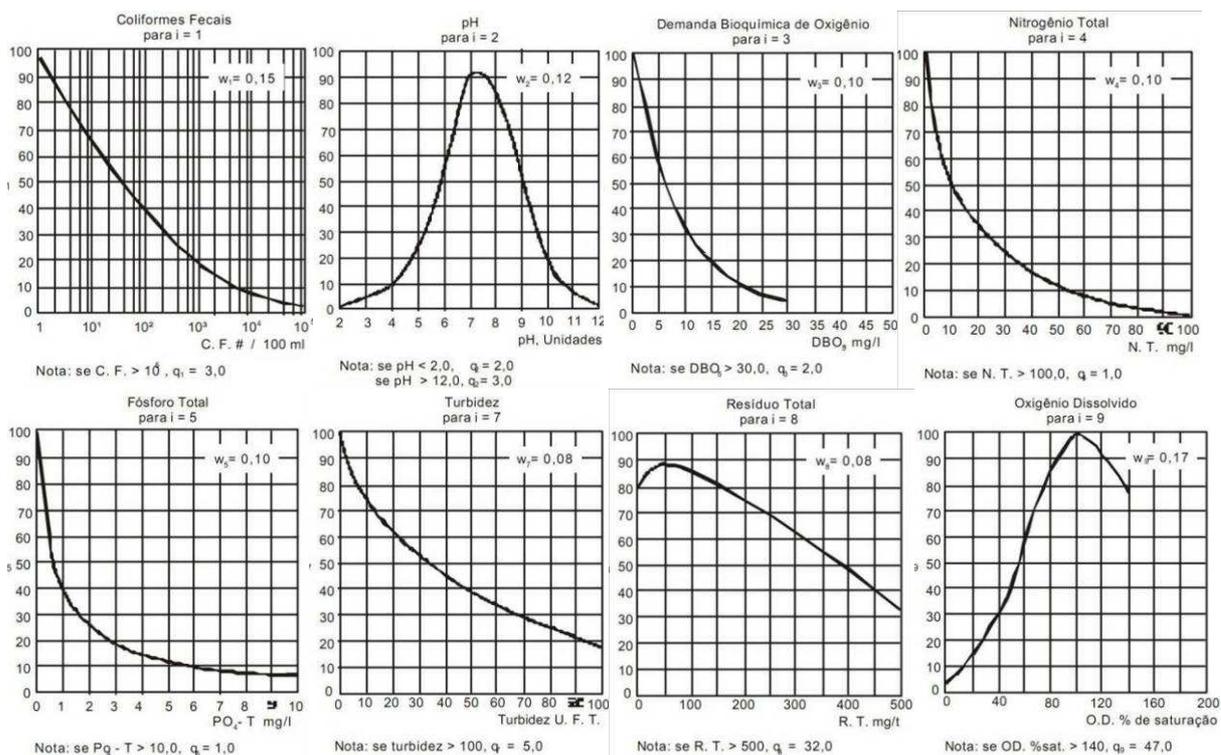


Figura 2 -. Gráficos das curvas de valoração

Fonte: CETESB (2001)

CS: Seimed ([Dados]![TEMP AGUA] É nulo; "nulo"; Seimed ([Dados]![OD] É nulo; "nulo"; 14,62-0,3898*[Dados]![TEMP AGUA]+0,006969*[Dados]![TEMP AGUA]^2-0,00005896*[Dados]![TEMP AGUA]^3*(1-0,0000228675*[Est_Tbg_SB]![altitude])^5,167))

OD%: ([Dados]![OD]*100)/[CS]

OD: Seimed ([OD%] É nulo; "nulo"; Seimed ([OD%]>140; 50; Seimed ([OD%]>100; 3+2,9*[OD%] - 0,02496 * [OD%]^2+5,60919*0,00001*[OD%]^3; Seimed ([OD%]>85; 3+3,7745*[OD%]^0,704889; Seimed ([OD%]>50; 3-1,166*[OD%]+0,058*[OD%]^2-3,803435*0,0001*[OD%]^3; 3+0,34*[OD%]+0,008095*[OD%]^2+1,35252*0,00001 * [OD%]^3))))

CF: Seimed ([Dados]![colif fecais]É nulo; "nulo"; Seimed ([Dados]![colif fecais]<1; 100; Seimed ([Dados]![colif fecais]<=(10^5); 98,24034-34,7145*(LOG([Dados]![colif fecais])/log(10))+2,614267*(LOG([Dados]![colif fecais]) /log(10))^2+0,107821 *(LOG([Dados]![colif fecais])/log(10))^3; 3)))

pH: Seimed ([Dados]![PH]É nulo; "nulo"; Seimed ([Dados]![PH]>12; 2; Seimed ([Dados]![PH]>7,1; -7698,19 +3262,031*[Dados]![PH]-499,494*[Dados]![PH]^2+33,1551*[Dados]![PH]^3-0,810613*[Dados]![PH]^4; Seimed ([Dados]![PH]>6,8; -4,69365-21,4593*[Dados]![PH]-68,4561*[Dados]![PH]^2+21,638886*[Dados]![PH]^3-1,59165*[Dados]![PH]^4; Seimed ([Dados]![PH]>2; -37,1085+41,91277*[Dados]![PH]-15,7043 * [Dados]![PH]^2+2,417486 * [Dados]![PH]^3-0,091252*[Dados]![PH]^4; 2))))

DBO5: Seimed ([Dados]![DBO]É nulo; "nulo"; Seimed ([Dados]![DBO]>30; 2; 100,9571-10,7121 * [Dados]![DBO] +0,49544 * [Dados]![DBO]^2-0,011167*[Dados]![DBO]^3+0,0001*[Dados]![DBO]^4))

NT: SEIMED ([Dados]![NitrogenioTotal]É nulo; "nulo"; SEIMED ([Dados]![NitrogenioTotal]>90; 1; Seimed ([Dados]![NitrogenioTotal]>60; 10000000000*([Dados]![NitrogenioTotal])^-5,1161; Seimed ([Dados]![NitrogenioTotal]>10; -22,853*(Log([Dados]![NitrogenioTotal]))+101,18; -5,1*[Dados]![NitrogenioTotal]+100,17))))

PO: Seimed ([Dados]![FosfatoTotal]É Nulo; 100; Seimed ([Dados]![FosfatoTotal]>=10; 5; 79,7 *([Dados]![FosfatoTotal] +0,821)^-1,15))

TU: Seimed ([Dados]![TURBIDEZ]É nulo; "nulo"; Seimed ([Dados]![TURBIDEZ]>100; 5; Seimed ([Dados]![TURBIDEZ]>25; 84,76*(EXP(-0,016206*[Dados]![TURBIDEZ])); 100,17-(2,67 * [Dados]![TURBIDEZ] +0,03775 * ([Dados]![TURBIDEZ]^2))))

ST: Seimed ([Dados]![SolTotais]É nulo; "nulo"; Seimed ([Dados]![SolTotais]>500; 30; 133,17 * (2,71828182845904)^(-0,0027 * [Dados]![SolTotais])-53,17*(2,71828182845904)^(-0,0141 * [Dados]![SolTotais]) + ((-6,2*(2,71828182845904)^(-0,00462*[Dados]![SolTotais]))*Sin(0,0146*[Dados]![SolTotais]))))

IQA:
 ([OD]^0,17)*(93^0,10)*([CF]^0,15)*([pH]^0,12)*([DBO5]^0,10)*([NT]^0,10)*([PO]^0,10)*([TU]^0,08)*([ST]^0,08)

Quadro 3. Fórmula em *Visual Basic* para cálculo do qi e IQA no programa Access

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os IQA's são úteis quando existe a necessidade de sintetizar a informação sobre vários parâmetros físico-químicos, servindo de orientação às ações de gestão da qualidade da água. Ao desenvolver o trabalho, foi verificado que algumas das estações não apresentavam dados para todo o período. Como tinham dados para alguns dos anos, e a intenção era atingir o máximo da área da BHT, optou-se por não descartar essas estações e utilizar os dados mesmo com essa restrição (Tabela 2).

Os valores do IQA, na sua expressão qualitativa (Quadro 2), podem ser espacializados na forma de mapas (Figura 3) e confrontados com quaisquer aspectos físicos, biológicos, sociais e econômicos disponíveis, orientando na elaboração de um diagnóstico das áreas de drenagem (AD), a ser utilizado para planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos da BHT.

Tabela 2. IQA médio das áreas de drenagem (AD) por período

AD	1987	1991	1997	2001	2007
a1	82	-	89	86	89
a2	70	70	72	72	75
a3	47	71	-	75	69
a4	61	69	74	74	62
t1	73	72	64	66	75
t2	74	76	75	80	73
t3	75	81	70	78,	79
t4	84	80	74	87	86
t5	76	79	73	-	-
t6	79	81	78	62	51
t7	72	73	73	83	68

Nível de Qualidade: **Bom** **Médio** **Ruim** - Sem dados

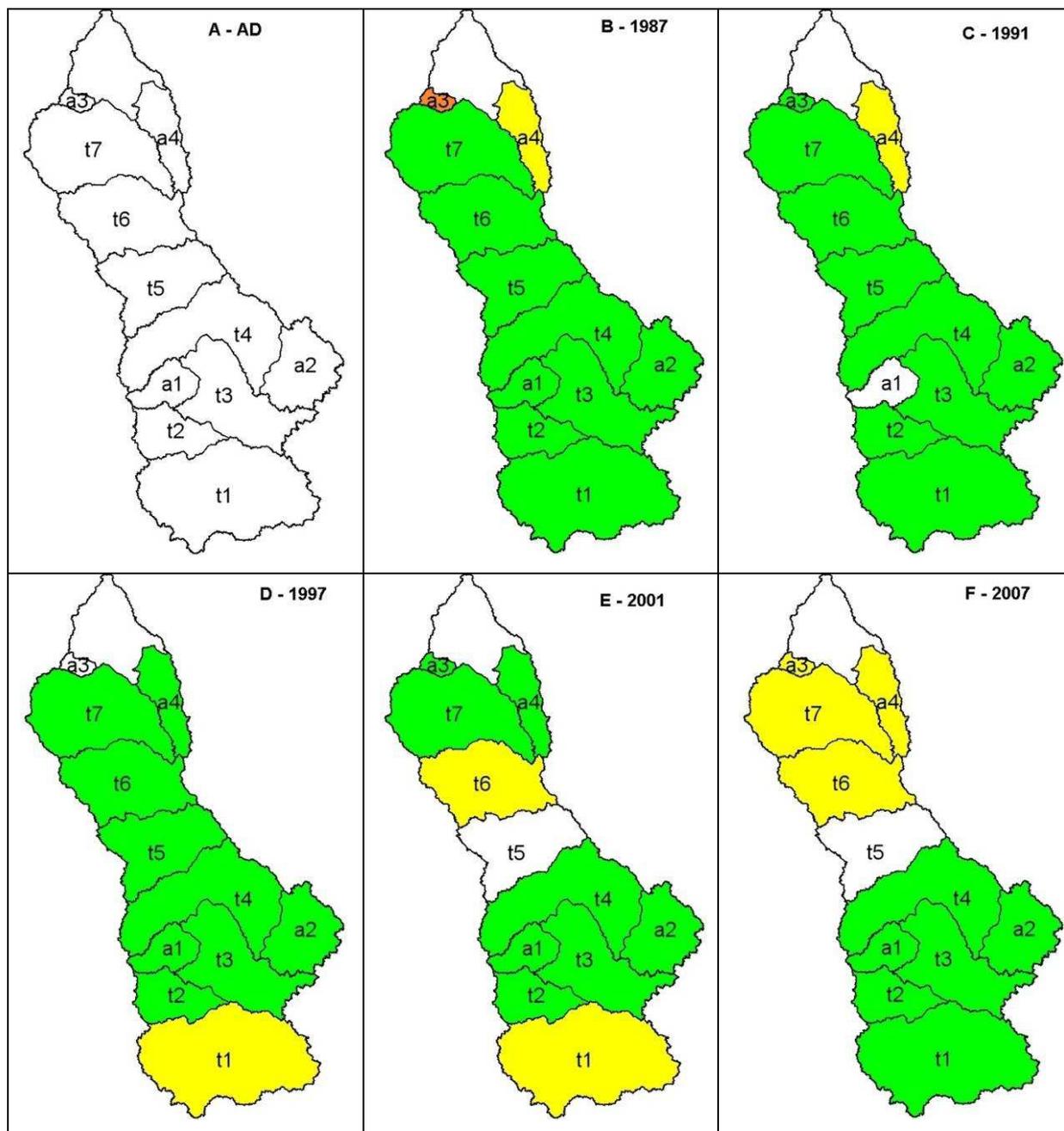


Figura 3 - Representação qualitativa das áreas de drenagem (AD) da BHT por período. A) Divisão das AD B) IQA de 1987, C) IQA de 1991, D) IQA de 1997, D) IQA de 2001 e F) IQA de 2007

Nível de Qualidade: **Bom** **Médio** **Ruim** Sem dados

A estação Bom Jardim (64460000), localizada no rio Capivari, município Tibagi, a 750 m de altitude, receptora da área de drenagem a1, apresenta, em uma avaliação inicial, pouca variação no valor do IQA, sendo o menor valor para o ano de 1987 (82) e o maior em 1997 (89). É uma das estações que não tem dados para o ano de 1991. Mesmo com variações quantitativas do IQA, a classificação qualitativa manteve-se, em todo o período, no nível de

qualidade Bom (Fig 3).

Na área de drenagem a2, estação Chácara Cachoeira (644776000), no rio Iapó, município de Castro, a 970 metros de altitude é possível verificar que os valores do IQA são progressivos e estáveis. Houve aumento contínuo dos valores de IQA ao longo dos cinco anos de estudo (70; 70; 72; 72 e 75), mas mantendo-se na mesma faixa qualitativa: Bom (Fig 3). Esta estabilidade pode ser associada às atividades econômicas desta área de drenagem (AD), agropecuária, que se manteve a mesma ao longo do período.

A estação Captação SAMAE, a3, no ribeirão Jacutinga, município de Ibiporã, a 295 metros de altitude, recebe drenagem também do município de Cambé. Apresenta no ano de 1987 o pior valor de IQA de todo o período para todas as estações (47 - Ruim), com o IQA do período seguinte apresentando aumento de mais de 20 pontos (71 - Bom). Para o ano de 1997 o IQA não pode ser calculado, o 2001 apresenta valor um pouco mais alto (74 - Bom). O ano de 2007 apresenta um decréscimo, no indicador quantitativo e no qualitativo (69 - Médio) (Fig 3).

Tendo sua área de drenagem sob a influência dos municípios de Uraí, Cornélio Procópio, Nova América da Colina, Nova Fátima, Sebastião da Amoreira, Santo Antonio do Paraíso e Congonhas, a estação Ponte Preta, a4, em Uraí, no rio Congonhas, com altitude de 370 metros, obteve IQA Médio para 3 dos 5 anos de estudo, 1987 (61), 1991 (69) e 2007 (62). Os anos de 1997 e 2001 apresentaram valor Bom e estável (74 e 74).

As estações a3 e a4, posicionadas nos afluentes do Tibagi, foram as que apresentaram os piores valores quantitativos de IQA, enquanto que as estações a1 e a2 apresentaram melhores valores (Fig 3). Se fosse considerado o IQA médio para o período, as estações a1 (87) e a2 (72) teriam IQA Bom e as estações a3 (66) e a4 (68) teriam IQA Médio. Considerando a localização espacial pode-se dizer que as estações localizadas em afluentes mais próximos à foz do rio Tibagi apresentaram pior resultado de IQA do que as estações da cabeceira da BHT. Se for considerado o uso e ocupação do solo nessas regiões, cabeceira e foz, verifica-se que na foz encontra-se a maior mancha urbana (região de Londrina) com ampla ocupação humana. Fora da região urbana, a atividade preponderante é a agricultura. Na região da cabeceira do rio Tibagi a concentração urbana é bem menor e a agricultura divide o espaço com a silvicultura.

Das outras sete estações, localizadas no rio Tibagi, as estações t1 (975 m), t2 (780 m), t3 (750 m) e t4 (637 m) estão localizadas no alto Tibagi. Dessas, apenas a t1, Uvaia, no município de Ponta Grossa, apresentou IQA qualitativo que não fosse Bom para todos os anos. Nessa estação, nos anos de 1997 (64) e 2001 (66) o IQA foi Médio (Fig 3). O que a área

de drenagem desta estação apresenta de diferente das outras três, é estar sob a influência da segunda maior mancha urbana da bacia, Ponta Grossa. Provavelmente, a causa dessa variação no IQA seja o atraso na implantação de redes coletoras de esgoto sanitário ou de estações de tratamento de esgoto em relação ao crescimento demográfico, pois, se a variação no IQA fosse devido apenas ao crescimento urbano/industrial, o valor para 2007 ainda estaria em queda.

Da estação t5, Barra Ribeirão das Antas, em Curiúva, com 512 metros de altitude, na porção média do Tibagi, existe disponibilidade de dados para calcular o IQA apenas para os três anos iniciais, 1987 (76), 1991 (79) e 1997 (73), que tem o índice Bom. Devido à falta de dados, é complicado definir um padrão para esta estação, mas ela pode, nos anos faltantes, tanto seguir a tendência da t4 (Bom) quanto da t6 (Médio) (Fig 3).

As estações t6, Jataizinho ANA/CESP com 400 metros de altitude e t7, Porto Londrina, com 336 metros de altitude, tem sua área de drenagem sob a influência das maiores manchas urbanas da BHT. Talvez essa influência explique o IQA ter passado de Bom para Médio em 2001 (61,67) e 2007 (50,77) para t6 e 2007 (67,72) para t7 (Fig 3).

As variações qualitativas das áreas de drenagem ao longo do estudo podem ser verificadas na figura 3, onde pode ser percebido que, de maneira geral, existe uma degradação do IQA da BHT ao longo do tempo. Ao considerar os valores médios de IQA para toda a bacia, o IQA seria 72 para 1987, 75 para 1991, 74 para 1997, 76 para 2001 e 73 para 2007. Sendo o pior resultado o do ano de 1987, mas não muito menor que o valor de 2007. Mas, quando é considerado o valor qualitativo, o resultado é Bom.

Ao considerar apenas o último ano, 2007, as estações que apresentam valores inferiores a 70, com IQA qualitativo Médio, verifica-se que são as estações posicionadas no baixo Tibagi (a3, a4, t6 e t7) o que pode estar relacionado, tanto à urbanização do baixo Tibagi, quanto ao uso intensivo do solo. Já no médio e alto Tibagi, com menor urbanização e maior diversificação

4 CONCLUSÕES

Com a metodologia utilizada neste trabalho foi possível verificar a qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Tibagi (BHT). Esse índice pode ser utilizado em outros estudos, tendo por objeto a BHT.

A divisão da BHT em áreas de drenagem (AD) permitiu delimitar as áreas de contribuição para o resultado do IQA. Os resultados do Índice de Qualidade da Água – IQA, para as diversas AD, apresentaram acentuadas variações tanto no âmbito espacial quanto temporal. Para três dos 5 anos estudados, 1987, 1991 e 2007, existe uma tendência de distribuição espacial do IQA qualificado: melhor qualidade para a região superior da bacia e pior para a região inferior. Esse padrão tem um destaque, muito claro, no último ano de estudo, quando a BHT fica dividida, claramente, em duas áreas distintas definidas pelo IQA. Esse padrão não ocorre nos anos de 1997 e 2001, quando a AD t1 teve destaque negativo, apresentando IQA inferior aos outros anos.

Os resultados encontrados sugerem a existência de algum fator, ou fatores, interferindo no IQA da BHT, que não foram identificados neste trabalho devido ao seu escopo. Recomendamos então, que sejam realizados outros estudos na área da BHT, relacionando o IQA, por exemplo, ao uso do solo, à urbanização e à transformação sócio-econômica da bacia.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à COPEL Geração e Transmissão S.A. (Companhia Paranaense de Energia), através do projeto de Pesquisa, do programa de PeD ANEEL, código 6491-036/2007, pelo apoio financeiro, e à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) pelo apoio administrativo e de infra-estrutura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BATE G; SMAILES, P; ADAMS, J. **A water quality index for use with diatoms in the assessment of rivers**. Water SA v30, n 4 p 493-499 outubro de 2004.

BRASIL. (2005). Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA **Resolução nº357, de 17 de março de 2005**.

CAMARA, G.; SOUZA, R.C.M.; FREITAS, U.M.; GARRIDO, J. **SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling**. Computers e Graphics, 20: (3) 395-403, May-Jun 1996.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL.
Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo 2001. .Estado de São Paulo. Série Relatórios. São Paulo-SP, 2001. >

FERREIRA, E. C. F.; ALMEIDA, M. C. **Sistema de Cálculo de Qualidade da Água (SCQA) - Estabelecimento das equações do índice de qualidade das águas (IQA)**. Relatório 1. PNMA II. . Minas Gerais, SEMAD, 2005.

GRANEL DEL PÈREZ, M. del C. **Trabalhar geografia com as cartas topográficas**. Ijuí: Ed. Unijuí, 2ª ed., 2001.

MAACK, Reinhard. **Geografia Física do Estado do Paraná**. Livraria José Olympio Editora, 2ª ed., Rio de Janeiro-RJ, 2002.

MEDRI, M. E.; BIANCHINI, E.; SHIBATTA, O. A. ; PIMENTA, J. A. **A bacia do rio Tibagi**. Londrina, Pr: M. E. Medri, 2002.

PINHEIRO, M.R.C; SILVA, F.E; PRIOSTE, M.O; FERREIRA, M.I.P.**Avaliação da Qualidade da Água na Bacia Hidrográfica do Rio Macaé e Aplicação do Índice de Qualidade de Água**. In: II Simpósio Regional de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste, 2008, Rio de Janeiro. Anais. São Paulo : ABRH, p. 51-63 2008.

Capítulo 4: CORRELAÇÃO ENTRE QUALIDADE DA ÁGUA E USO DO SOLO, APLICADO À BACIA HIDROGRÁFICA DO TIBAGI – PR.

Correlation between water quality and land use applied to the Tibagi river basin – PR.

RESUMO

Este trabalho propõe um índice da qualidade da ocupação do solo (IQOS), gerado a partir de dados de uso do solo, pedológicos e de declividade, e avalia sua correlação com o índice da qualidade das águas (IQA) na bacia hidrográfica do Tibagi (BHT) no estado do Paraná, para os anos de 1987, 1991, 1997, 2001 e 2007. O uso do solo foi identificado utilizando-se imagens Landsat. A declividade foi gerada a partir de imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). Foi utilizado o mapa de solos do estado do Paraná disponibilizado pelo Instituto de Terras, Cartografia e Geociências (ITCG). O IQA foi calculado com base em dados de qualidade da água disponibilizados pela ANA e pela SUDERHSA, sendo utilizados dados referentes a onze estações pluviométricas. O IQOS foi calculado para a área de drenagem de cada estação e correlacionado com os dados de IQA médios daquela estação para o mesmo ano das imagens orbitais utilizadas para o levantamento do uso do solo. O IQOS proposto varia de 10 a 100 (sendo 100 a melhor qualidade possível) e permite associar o uso do solo a variáveis numéricas. A análise de correlação, usando o coeficiente de Pearson, aponta alta correlação entre o IQOS e o IQA, sendo que os índices para todas as áreas de drenagem das 11 estações para os anos de estudo foram superiores a 0,8, em três das onze estações, este índice foi superior a 0,9.

Palavras chaves: Índice da Qualidade da Ocupação do Solo – IQOS, IQA, Bacia Hidrográfica do Tibagi

ABSTRACT

This study proposes an index of land occupation quality (LOQI) from data of land use, pedologic and slope and also evaluates its correlation with the water quality index (WQI) in Tibagi river basin (TRB) in Paraná state to the years of 1987, 1991, 1997, 2001 and 2007. The land use was identified using Landsat images; the slope was generated from Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) images; and the map of Paraná state, obtained from Institute of Land, Cartography and Geosciences (LCGI), was used. The WQI was calculated using data from 11 pluviometric stations obtained from ANEEL and SUDERSHA. The LOQI was calculated to the drainage area of each station and correlated with the average WQI data of that station to the same year of the orbital images used to the survey of the land use. The suggested LOQI varies from 10 to 100 (being 100 the best possible quality) and allows associating the land use to numerical variables, being used the WQI in this study. The correlation analysis, using the coefficient of Pearson, indicates high correlation between the LOQI and WQI. The obtained indexes to all the drainage areas of 11 stations to the years of study were higher than 0.8, being higher than 0.9 in three stations.

Keywords: Urban Land Occupation Quality Index – LOQI, Water Quality Index - WQI, Tibagi River Basin.

1. INTRODUÇÃO

Indicadores de qualidade de água, são baseados em um grupo de variáveis que são monitoradas para indicar a variação das condições de determinado corpo hídrico. Um dos índices mais utilizados no Brasil é o Índice de Qualidade das Águas – IQA, que é o resultado do produto ponderado dos seguintes parâmetros: temperatura da amostra, pH, oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio - 5 dias, 20°C DBO)), coliformes termotolerantes, nitrogênio total, fósforo total, sólidos totais e turbidez. O IQA facilita a interpretação geral da condição de qualidade dos corpos hídricos, pois indica o grau de contaminação das águas devido a presença de material orgânico, fecal, nutrientes e sólidos, apresentado como um único valor. Diversos estudos foram realizados sobre a qualidade das águas dos rios brasileiros, com a utilização do IQA (GARCIA e TUCCI, 2000; TOLEDO e NICOLELLA, 2002; CARVALHO *et al.*, 2004; WHATELY e CUNHA, 2007)..

A qualidade da água depende de uma série de fatores, como a vazão (quanto maior a vazão, maior é a capacidade de diluição), o escoamento superficial, pode carrear material de arrasto, dissolvido ou em suspensão. Esse material de aluvião auxilia na diminuição da qualidade da água, pois há aumento da quantidade de sedimentos, de sólidos e se houver matéria orgânica presente, a sua decomposição utiliza grande quantidade de oxigênio. Devido à ligação entre a qualidade da água e a vazão, de maneira geral, as condições críticas ocorrem durante as estiagens. Pois, com a diminuição da vazão nos rios, há redução da capacidade de diluição das cargas urbanas e rurais nesses corpos. Mas, nas áreas urbanas, a carga pluvial do início das inundações também pode gerar condições críticas de qualidade da água (TUCCI, 2002).

Segundo Prado e Novo (2006), a degradação da qualidade da água é resultado das alterações do uso do solo e do aumento da densidade demográfica da bacia hidrográfica, já que as bacias hidrográficas (BH) são vulneráveis às alterações da cobertura vegetal, que interferem nas propriedades do solo, refletindo nas propriedades da água dos corpos hídricos. Assim são necessários estudos voltados ao monitoramento e a análise das diversas etapas do ciclo hidrológico na BH, a fim de determinar como as alterações inerentes à ocupação humana atingem o uso sustentável desses recursos (BALBINOT *et al.*, 2008).

Em um estudo desenvolvido no Rio das Velhas (Minas Gerais), onde se buscou relacionar o uso e cobertura dos solos com a qualidade da água deste rio, considerando os nove parâmetros do IQA separadamente, Maillard e Santos (2008) notaram que cada parâmetro pode ter um padrão distinto relacionado com a distância do córrego. Os autores

sugeriram, ainda, mais estudos para isolar de maneira mais eficaz os efeitos do uso/cobertura do solo sobre a qualidade da água.

Buck *et al.*, (2004) afirmam que a influência do uso do solo sobre a qualidade da água depende da escala. Dados locais sobre o uso do solo, densidade e movimentação populacional são importantes para pequenos afluentes e nascentes, enquanto que o total da influência de um certo uso do solo em toda a bacia fornece uma melhor indicação da qualidade da água dos grandes rios.

Na região dos Grandes Lagos (EUA), Morrice *et al.*, (2008) coletaram dados químicos da água de zonas costeiras úmidas. Esses dados foram comparados, através de SIG, com dados relacionados à ocupação humana da bacia de drenagem: práticas agrícolas, deposição atmosférica, distribuição da população humana e fontes pontuais de poluição. De maneira geral, com poucas exceções relacionadas a fatores biogeográficos e geomorfológicos, os modelos utilizados foram suficientes para determinar uma relação entre as características químicas da água e os fatores antrópicos analisados. Desse modo, sugere-se que sejam considerados as várias fontes de perturbação possíveis, na escala trabalhada, ao diagnosticar áreas úmidas.

Então, de maneira geral é possível dizer que os diversos elementos da paisagem e uso do solo, indicadores das alterações antrópicas, podem ser relacionados aos indicadores de qualidade da água, de modo a poderem refletir a intensidade dessas alterações sobre os corpos hídricos (GERGEL *et al.*, 2002; HOULAHAN e FINDLAY, 2004)

Os diversos elementos da paisagem, quando considerado o uso do solo, podem ser agrupados em quatro grandes classes: vegetação natural, silvicultura, uso agropastoril e uso urbano. O uso agropastoril tem um grande potencial de degradação dos recursos hídricos, especialmente quando praticada em áreas ecologicamente frágeis de forma intensiva e sem manejo adequado (MERTEN e MINELLA, 2002). Existe uma necessidade de compreender melhor as interações entre a urbanização e as variações da qualidade ambiental. A comparação entre as taxas de crescimento demográfico e a qualidade da água e do ar sugere que vários fatores afetam a qualidade ambiental. Além disso analisar a relação das taxas demográficas com a qualidade ambiental, sob a ótica da resiliência ambiental, pode ser um conceito norteador para estudar a capacidade de resposta ambiental ao crescimento das zonas urbanas (DUH *et al.*, 2008).

Apesar de diversos estudos caracterizarem a ocupação do solo marginal de córregos, rios, lagos e nascentes brasileiros como uso conflitante com o Código Florestal, instituído pela Lei Federal nº 4.771 de 1965 (FIDALGO *et al.*, 2003; BORGES *et al.*, 2005; PINTO *et*

al., 2005; WHATELY e CUNHA, 2007; DELALIBERA *et al.*, 2008), são raros estudos que tratam da hidrologia florestal, no Brasil, e, quando existentes, são resultados de trabalhos pontuais e de curta duração, sem conexão entre si. Deve-se então, utilizar as extrapolações de dados obtidos em regiões temperadas, para as bacias brasileiras, com muito critério e cuidado. (BACELLAR, 2006).

Sobre as áreas de preservação permanente (APP) ao longo dos corpos hídricos, Gergel *et al.*, (2002) relacionaram a diversidade de espécies em um ambiente fluvial com a largura da área de vegetação ciliar e afirmaram que é importante para os estudos de paisagem determinar o grau de influência, dessa vegetação, sobre os diversos parâmetros do ambiente aquático.

Segundo Timbó Elmiro *et al.*, (2005), a diminuição do IQA pode ser relacionada à inadequação do uso da terra em relação às APP's, redução da cobertura vegetal permanente e consequente aumento da antropização a curto prazo, ao elevado crescimento de manchas urbanas e a inadequação do uso e manejo do solo em relação aos fatores do relevo, pedologia e geologia.

Mas, não são só os diversos usos do solo que são analisados ao buscar os fatores que influenciam a qualidade da água dos corpos hídricos. Um estudo realizado no reservatório de Barra Bonita – SP cruzou informações de pedologia, geomorfologia, geologia, drenagem e precipitação com as informações de uso do solo determinadas a partir de imagens Landsat, relacionando com a qualidade da água (PRADO e NOVO, 2005).

O principal problema enfrentado pela maioria dos estudos que buscam relacionar o uso do solo com a qualidade da água é a quantidade de variáveis a eles associadas. Em relação à qualidade da água, existem diversos indicadores, sendo o IQA o mais utilizado no Brasil. Já para o uso do solo existem menos opções, principalmente se considerarmos índices aplicáveis a regiões tropicais e subtropicais.

Uma das opções disponíveis para correlacionar o IQA com o uso do solo é o mapeamento da fragilidade ambiental que permite avaliar as potencialidades e restrições do meio de modo a facilitar a tomada de decisões. Diversos estudos foram desenvolvidos aplicando o mapeamento de fragilidade ambiental, utilizando várias metodologias, mas em sua grande maioria trabalhando com declividade, uso do solo, textura e unidades morfológicas do solo (ROSS, 1994; SPÖRL e ROSS, 2004; KAWAKUBO *et al.*, 2005; SILVEIRA *et al.*, 2005; FIGUEIREDO *et al.*, 2006; SANTOS *et al.*, 2007; VASHCHENKO *et al.*, 2007). Outra opção encontrada na bibliografia foi um índice de uso do solo desenvolvido e aplicado no Brasil (Rio Piracicaba) - o LUI (Land Use Index), que é formado pela soma ponderada das áreas percentuais ocupadas pelas formas de uso do solo de cada sub-bacia (OMETTO *et al.*,

2000).

Também desenvolvido e aplicado no Brasil, o índice normalizado de vegetação remanescente (*Normalized Remaining Vegetation Index*, NRVI), foi proposto por Bonnet *et al.*, (2006), proporcional ao percentual de cobertura vegetal remanescente da bacia hidrográfica, com valores entre -1 e 1. Um NRVI igual a +1 indica uma bacia totalmente ocupada por cobertura vegetal nativa, enquanto um NRVI igual a -1 indica que toda a bacia se encontra sob uso antrópico. Sobre o valor final do NRVI, Bonnet *et al.*, (2008) afirmaram que, por ser adimensional, o índice diminui a importância da área entre as bacias, facilitando a verificação de correlações do uso do solo com variáveis de outros índices ligados à bacia hidrográfica, como o IQA.

Já Song e Kim (2008) propuseram um índice de qualidade da água chamado “*QUAL2E Water Quality Loading Index (QWQLI)*”, que é um IQA específico para simular a qualidade da água utilizando o modelo QUAL2E. Esse índice foi aplicado no rio Sapgyo, na Coreia, com o objetivo de identificar cargas poluentes. Entretanto, os autores consideraram que há necessidade de mais estudos para determinar os parâmetros ideais de entrada.

Outra opção existente na literatura é a correlação da qualidade da água com índices ecológicos. Nesse sentido, um estudo desenvolvido na região da zona úmida da baía Frenchman's, localizada no lago Ontário (Toronto, Canadá), comparou a composição das assembleias de peixes com a qualidade da água utilizando o *Wetland Fish Index – WFI* (índice de peixes de zonas úmidas). Na área de estudo puderam ser distinguidas duas zonas com qualidades da água opostas. E os escores do WFI corresponderam claramente a essa realidade (SEILHEIMER *et al.*, 2007).

Em outro estudo, desenvolvido em 32 zonas úmidas dos Grandes Lagos Laurencianos (Canadá), o IQA foi comparado com três índices ecológicos: o WFI, , WZI - *Wetland Zooplankton Index* (índice de zooplânctos de zonas úmidas) e WMI *Wetland Macrophyte Index* (índice de macrófitas de zonas úmidas). O objetivo do estudo era utilizar os índices ecológicos em substituição ao IQA. Tanto o WMI quanto o WFI foram considerados com correlação significativa com o IQA (SEILHEIMER *et al.*, 2009). Apesar da aplicação de tais índices ter mostrado correlação com o IQA, não indicaram correlação com a bacia de drenagem, por serem índices ligados diretamente ao meio aquático.

Como já demonstrado anteriormente, a água dos rios tem relação direta com o uso do solo e o desmatamento para o uso agrícola ou urbano tem sido associado à diminuição da sua qualidade (TUCCI, 2001; TUCCI, 2002). Em grandes bacias hidrográficas, o conhecimento dos parâmetros que relacionam a variação das condições do uso e ocupação do solo com a

qualidade desejável das águas pode embasar instrumentos de planejamento e padrões de uso, ocupação e manejo do solo (KUHNLE *et al.*, 1996; RIPA *et al.*, 2006). O processo de tomada de decisões rápidas e precisas para o planejamento ou replanejamento das formas de uso do solo, que é um problema que envolve grande volume de dados, é facilitado pela utilização da representação digital dos diversos fenômenos e variáveis relacionados (SCOTTON *et al.*, 2004)

Nesse sentido, o uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) em análises de bacias hidrográficas, possibilita formar uma base de dados tanto sobre o meio natural quanto do meio transformado pelo homem, permitindo atualizar os dados periodicamente, reforçando a dimensão temporal necessária à gestão dos recursos hídricos (WEBER *et al.*, 1998; AVELLAR *et al.*, 2008).

Para contribuir com instrumentos para a gestão dos recursos hídricos e replanejamento do uso do solo da bacia hidrográfica do Tibagi (BHT), no estado do Paraná, é objetivo deste trabalho propor um indicador de paisagem que relacione o uso do solo ao IQA.

2. MATERIAL E MÉTODO

2.1 Área de estudo

A área de estudo é a Bacia Hidrográfica do Tibagi – BHT, localizada na porção leste do estado do Paraná (Fig. 1), onde ocupa principalmente áreas do Segundo Planalto Paranaense. O rio Tibagi, principal afluente do rio Paranapanema, nasce no sul do estado do Paraná, na Região Sul do Brasil, a cerca de 1060 m de altitude, na região dos Campos Gerais, e tem sua foz na usina hidrelétrica de Capivara, no rio Paranapanema a 298 metros de altitude (MEDRI *et al.*, 2002; MAACK, 2002).

A BHT corta o estado do Paraná no sentido sudeste-norte, está compreendida entre os paralelos 22°46' a 25°40' S e 49°38' a 51°28' W, limitando-se ao sul com a bacia do rio Iguaçu, ao norte com a bacia do rio Paranapanema, a oeste com a bacia do rio Ivaí e a leste com as bacias dos rios Ribeira, Jaguariaíva e Cinzas (MEDRI *et al.*, 2002).

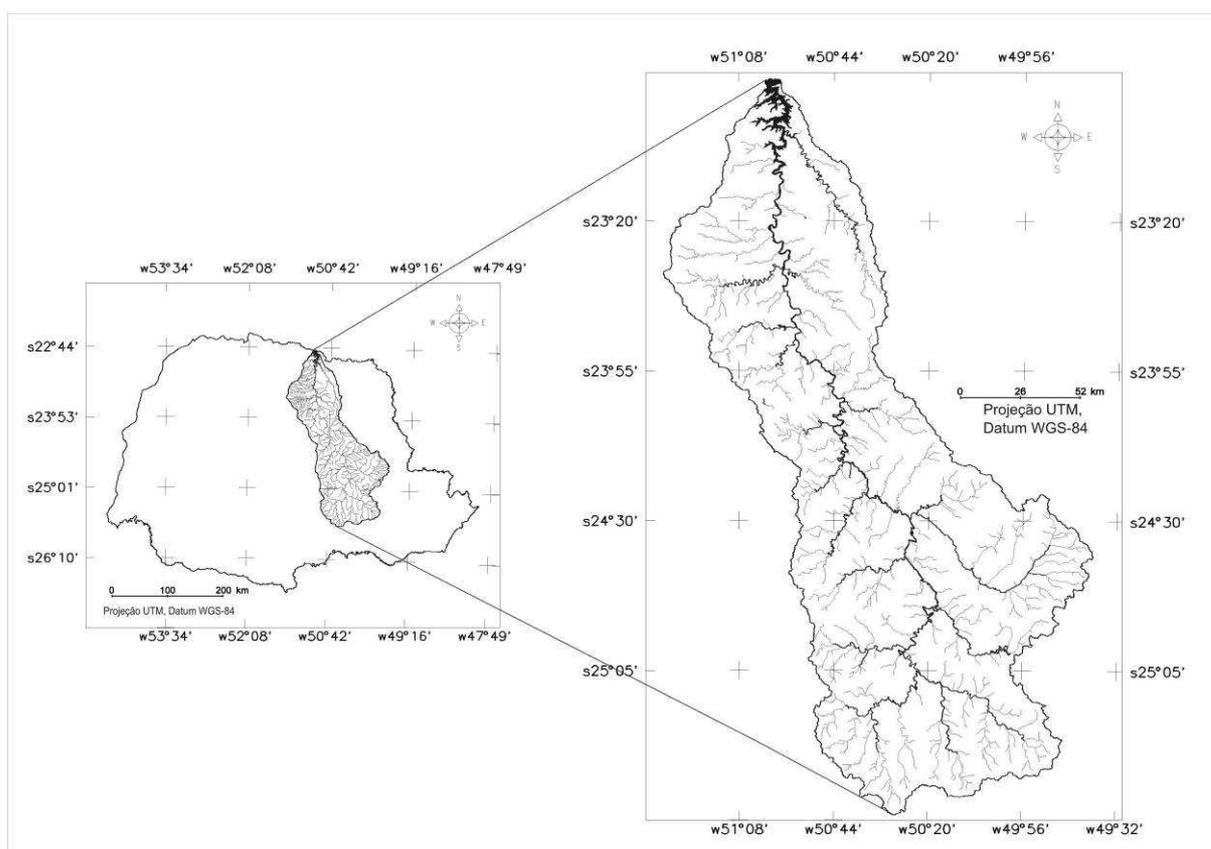


Figura.1 - Localização da bacia do Tibagi no estado do Paraná

2.2 Material

2.2.1 Dados Orbitais e Cartográficos

Os dados de sensores remotos (SR) utilizados foram as cenas Landsat 221-76, 221-77, 222-77 e 222-78. Os dados cartográficos foram as cartas topográficas na escala de 1:250.000 SF-22-Y-B, SF-22-Y-D, SF-22-V-B, SF-22-Z-A, SF-22-Z-C, SF-22-X-A e SF-22-X-C. Os materiais orbital e cartográfico foram adquiridos pela FUNTEF (Fundação de Apoio à Educação, Pesquisa e Desenvolvimento Científico e Tecnológico da UTFPR) através de convênio de Pesquisa & Desenvolvimento com a COPEL Geração LTDA.

Os dados de Solo foram extraídos do mapa de solos do estado do Paraná, no formato shapefile, disponível no site do Instituto de Terras, Cartografia e Geociências (ITCG, 2008). O mapeamento de declividade foi elaborado a partir da grade SRTM adaptada para o sistema de referência oficial brasileiro por Weber *et al.*,(2004)..

2.2.2 Aplicativos

Foram utilizados os aplicativos ENVI versão 4.4, o SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas) na versão 5 e o aplicativo Statistica na versão 7.1.

2.2.3 Dados Demográficos

Os dados demográficos foram obtidos junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2008a). Os dados dos anos de 1991 e 2000 correspondem a censos demográficos, enquanto que para os anos de 1996 e 2007, são resultados de contagem da população e para o ano de 1986 é resultado de estimativa, do IBGE, através de metodologia própria.

2.2.4 Dados Hidrológicos

Para a elaboração do IQA foram utilizados dados provenientes do Sistema de Informações Hidrológicas – HydroWeb, da Agencia Nacional de Águas – ANA (ANA, 2008) e dados disponibilizados pela Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do estado do Paraná (SUDERHSA), num total de 11 estações

fluviométricas com dados de qualidade da água. As estações receberam um código (AD) a ser utilizado neste artigo referindo-se ao rio principal. As estações localizadas no rio Tibagi foram denominadas, seqüencialmente de montante para jusante, de t1 a t7. As estações localizadas nos afluentes do rio Tibagi foram denominadas, seqüencialmente de a1 a a4 (Quadro 1).

AD	Código	Nome	Latitude	Longitude	Município	Rio
a1	64460000	Bom Jardim	-50.48	-24.70	Tibagi	Capivari
a2	64477600	Chácara Cachoeira	-50.09	-24.75	Castro	Iapó
a3	64507100	Captação SAMAE	-51.07	-23.25	Ibiporã	Rib.Jacutinga
a4	64508500	Ponte Preta	-50.78	-23.17	Uraí	Congonhas
t1	64444000	Uvaia	-50.39	-25.08	Ponta Grossa	Tibagi
t2	64447000	Eng. Rosaldo Leitão	-50.39	-24.97	Ponta Grossa	Tibagi
t3	64465000	Tibagi	-50.41	-24.51	Tibagi	Tibagi
t4	64482000	Telêmaco Borba	-50.59	-24.36	Telêmaco Borba	Tibagi
t5	64491000	Barra Ribeirão das Antas	-50.69	-24.03	Curiúva	Tibagi
t6	64501000	Porto Londrina	-50.88	-23.65	Londrina	Tibagi
t7	64507000	Jataizinho ANA/CESP	-50.98	-23.26	Jataizinho	Tibagi

Quadro1: Estações fluviométricas utilizadas para a elaboração do IQA

Fonte: Adaptado de HidroWeb (ANA, 2008)

2.3 Método

2.3.1 Georreferenciamento e classificação das Imagens de Satélite

As cenas Landsat foram georreferenciados no software ENVI utilizando-se como base o *Orthorectified Landsat Enhanced Thematic Mapper (ETM+) Compressed Mosaics 2000* (NASA, 2008). Para a classificação foi utilizado o método de Máxima Verossimilhança (Maxver) com trabalho de pós-classificação manual, no ENVI. As classes de uso do solo foram adaptadas da metodologia CORINE, (2000), que definiu uma classificação hierárquica de acordo com o nível de detalhamento necessário para o estudo.

2.3.2 Álgebra de Mapas

A linguagem LEGAL, no SPRING, foi utilizada para a álgebra de mapas, que é a utilização de operações aritméticas e booleanas, similares às utilizadas na matemática, a fim de realizar, com maior rapidez, cruzamentos de informações em planos de informação

diferentes (CAMARA *et al.*, 1996).

2.3.4. Análise Comparativa dos dados de sensoriamento remoto (SR) e IQA

Para comparar os dados de uso do solo ponderados e do IQA foi utilizado, por meio do software Statistica 7.1, o coeficiente de correlação de Pearson, que mostra a intensidade da associação entre duas variáveis quantitativas (CALLEGARI-JACQUES, 2003)

3. DESENVOLVIMENTO

3.1 Organização do Banco de Dados Geográficos

O estudo foi realizado na bacia do Tibagi para os anos de 1987, 1991, 1997, 2001 e 2007. As imagens foram classificadas, no software ENVI, por meio da Classificação Supervisionada, método de Máxima Verossimilhança (MAXVER), visando classificar os diferentes usos do solo. Após a classificação inicial, foi realizado o tratamento Pós Classificação, por meio da rotina *ClassEdit*, utilizando a interpretação visual. Para o método utilizado para a classificação, as classes geradas foram 1-Áreas_Antropizadas, 2-Agropecuária, 3-Formações_Arbóreas e 5-Corpos_de_Água. Posteriormente, a classe 3-Formações_Arbóreas foi subdividida em 3.1-Floresta, para os adensamentos arbóreos com características de formação natural, principalmente a heterogeneidade de espécies, e 3.2-Silvicultura para os adensamentos arbóreos monoespecíficos.

Após a classificação, as cenas foram exportadas no formato *geotiff* e, posteriormente, importadas para um Banco de Dados Geográficos (BDG) no SPRING. As cenas foram importadas para Planos de Informação (PI's) inseridos em categorias temáticas (uma para cada ano de estudo).

Os dados de IQA, utilizados para o período de 1987 a 2007, abrangiam 11 estações. Destas 11 estações, 8 estações abrangem todo o perímetro (a2, a4, t1, t2, t3, t4, t6 e t7), duas estações não atendem 1 dos 5 anos base (a1-1991 e a3-1997) e 1 não atende 2 dos 5 anos base (t5-2001 e 2007).

Considerando as estações fluviométricas como o ponto mais baixo de uma bacia de drenagem (foz), foram criadas áreas de drenagem (AD) para cada uma das estações selecionadas. Para as estações no rio Tibagi (em seqüência), foi considerada apenas a área de drenagem entre uma estação e outra (Fig 2).

Todas as comparações que foram feitas entre o IQA e o uso do solo consideraram essa divisão em bacias de drenagem.

O mapa de solo (ITCG, 2008) no formato *shapefile*, foi convertido para o formato ASCII SPRING, dando origem a duas novas categorias: Solos_Textura, com a área classificada de acordo com a proporção areia-silte-argila do solo e Solos_Unidade com o 1º nível da classificação dos solos. Para a BHT, as classes da categoria Solos_Textura foram Argilosa, Media-Argilosa, Media, Siltosa, Arenosa-Media, Arenosa e Rocha (para os afloramentos rochosos). Para a categoria Solos_Unidade, as classes resultantes foram Afloramento (para os afloramentos rochosos), Cambissolo, Gleissolo, Latossolo, Neossolo,

Nitossolo e Organossolo.

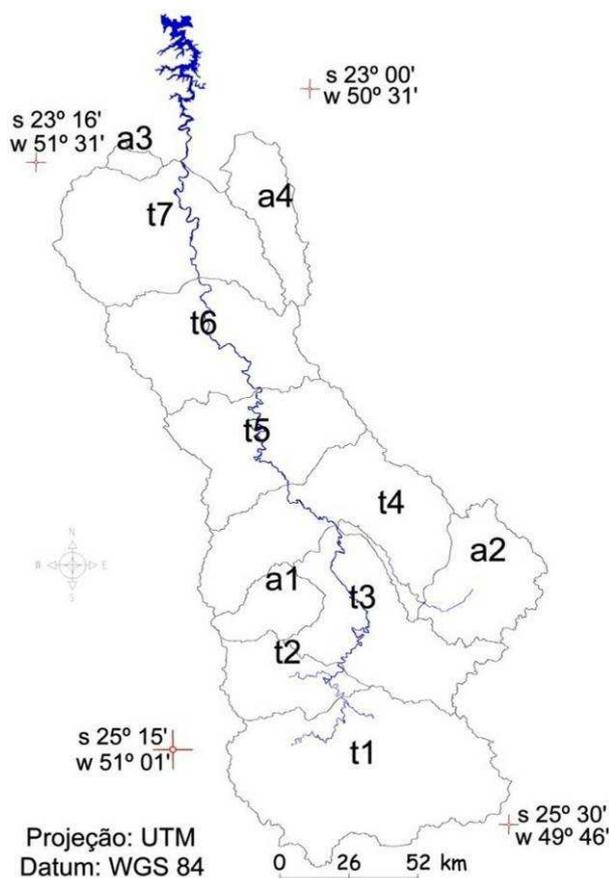


Figura 2 - Definição das AD com a Bacia de drenagem de cada uma das estações selecionadas

Para elaborar o mapeamento de declividade da BHT foram utilizados os dados SRTM para o Paraná (Weber *et al.*, 2004). A grade de resolução de 90 metros foi reamostrada, com interpolação bicúbica, para uma resolução espacial de x 28.5 e 28.5 metros por pixel (VALERIANO, 2004). As classes de declividade utilizadas foram as propostas por De Biasi (1977), sendo <5%, 5-12%, 12-30%, 30-47% e >47%, e utilizadas no trabalho de Santos *et al.*,(2007).

A rede de drenagem, foi digitalizada a partir das cartas topográficas de escala 1:250.000 e utilizada para delimitar as Áreas de Preservação Permanente previstas no Código Florestal, instituído pela Lei Federal nº 4.771 de 1965. O cruzamento entre os PI's de uso de solo e de APP permite criar novos PI's nos quais pode-se determinar as características de ocupação das áreas de preservação permanente. Assim foi possível obter novas classes de uso: 3.3-APP-Silvicultura, 3.4-APP-Floresta e 2.2APP-Agro, sendo que, destas, apenas a Flor_app apresenta o uso do solo de acordo com a legislação vigente.

Os dados demográficos foram cruzados com a dimensão (área) da mancha urbana, resultando em dados de densidade demográfica urbana. Considerando a correlação que Campana & Tucci (1994) e Tucci (2000), fizeram entre a densidade habitacional e o escoamento superficial, subdividiu-se a classe 1-Areas_Antropizadas, em 5 subclasses relacionadas à densidade habitacional. Com densidade demográfica urbana até 4090 hab/km² foi classificada como 1.1-Dens-Urb-Esparsa, de 4090 hab/km² até 8180 hab/km² como 1.2-Dens-Urb-Esparsa-media, de 8180 hab/km² a 12270 hab/km² como 1.3-Dens-Urb-media, de 12270 hab/km² a 16360 hab/km² como 1.4Dens-Urb-media-alta e de 16360 hab/km² até 20450 hab/km² como 1.5-Dens-Urb-alta (classe não existente na BHT).

3.2 Índice de Vulnerabilidade Geoambiental (IVG)

O Índice de Vulnerabilidade Geoambiental (IVG) aplicado por Santos *et al.*,(2007) para o estado do Paraná, é baseado no estudo da Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados que foi proposto por Ross (1994). Esse índice cria uma hierarquia de fragilidade representada por valores ou pesos, sendo os elementos utilizados: Unidades do solo - 1º nível de classificação (Tab. 1), textura do solo (Tab. 2), declividade (Tab. 3) e uso do solo (Tab. 4).

Tabela 1 - Hierarquização da vulnerabilidade por horizontes diagnósticos de subsuperfície.

Unidades de Solo	Vulnerabilidade	Peso
Afloramento	Alta	4
Argissolo	Intermediária	3
Cambissolo	Intermediária	3
Chernossolo	Intermediária	3
Espodossolo	Muito Alta	5
Gleissolo	Muito Alta	5
Latossolo	Muito Baixa	1
Neossolo	Muito Alta	5
Nitossolo	Baixa	2
Organossolo	Muito Alta	5

Fonte: Adaptado de Santos *et al.*,(2007)

Tabela 2 - Hierarquização da vulnerabilidade pela textura do solo

Textura dos Solos	Vulnerabilidade	Peso
Argilosa	Muito Baixa	1
Argilosa-Media	Baixa	2
Media-Argilosa	Baixa	2
Siltosa	Intermediária	3
Media	Intermediária	3
Arenosa-Media	Alta	4
Arenosa	Muito Alta	5

Fonte: Adaptado de Santos *et al.*,(2007)

Tabela 3 - Hierarquização da vulnerabilidade por classe de declividade

Classe de declividade	Vulnerabilidade	Peso
Inferior a 5%	Muito Baixa	1
5 a 12%	Baixa	2
12 a 30%	Intermediária	3
30 a 47%	Alta	4
Superior a 47%	Muito Alta	5

Fonte: Adaptado de Santos *et al.*,(2007)

Tabela 4 - Hierarquização da vulnerabilidade por classe de uso do solo

Classe de uso do solo	Vulnerabilidade	Peso
Floresta	Muito Baixa	1
Silvicultura	Baixa	2
Agropecuária	Alta	4
Urbana	Muito Alta	5

Utilizando a linguagem LEGAL no SPRING, foi realizada a hierarquização da BHT, considerando a somatória de cada item ponderado (valor máximo de 20). O resultado médio zonal da área de drenagem (AD) de cada estação foi comparado com os valores de IQA, utilizando o coeficiente de correlação de Pearson (Tab. 5).

Tabela 5 – Coeficiente de correlação de Pearson entre o IQA e IVG para a área de drenagem de cada estação

AD	IQA/IVG
a1	-0,56
a2	-0,74
a3	0,67
a4	0,04
t1	-0,36
t2	0,89
t3	-0,24
t4	-0,18
t5	0,75
t6	0,69
t7	-0,41

De maneira geral, apesar de a AD t2 apresentar correlação estatisticamente significativa (0,89), o índice de vulnerabilidade geoambiental não se mostrou eficaz para correlacionar o uso do solo com o Índice de Qualidade da Água (IQA) da Bacia Hidrográfica do Tibagi (BHT).

3.2 Índice de Uso do Solo - IUS (Land Use Index - LUI)

Como o resultado com o IVG não foi favorável, buscou-se, na literatura, outra forma de avaliar a correlação do uso do solo com o IQA. Optou-se pelo *Land Use Index* (LUI), ou Índice de Uso do Solo (IUS), que foi desenvolvido e aplicado no Brasil, e é formado pela soma ponderada das áreas percentuais ocupadas pelas formas de uso do solo de cada sub-bacia (OMETTO *et al.*, 2000).

O IUS utiliza as seguintes classes: floresta, zonas úmidas, cultura perene, cítricos, pastagens, culturas anuais, silvicultura, cana de açúcar e urbano. Em função do tamanho da área de estudo, das imagens disponíveis para todo o período e da escala da base cartográfica (1:250000), a agropecuária não está tão detalhada, por isso a tabela de IUS foi adaptada (Tab. 6). O IUS foi calculado multiplicando-se o percentual da área de cada uma das quatro classes em relação à AD com o peso específico da classe e somando o resultado (OMETTO *et al.*, 2000).

Tabela 6 – Pesos para cada uma das classes de uso do solo para o IUS

Classes de Uso	Peso
Floresta	0,1
Agropecuária	0,5
Silvicultura	0,3
Urbano	5,0

Fonte: Adaptado de Ometto *et al.*, (2000)

Tabela 7 – Coeficiente de correlação de Pearson entre o IQA e IUS para a área de drenagem de cada estação

AD	IQA/IUS
a1	-0,49
a2	-0,62
a3	0,55
a4	0,15
t1	-0,61
t2	0,98
t3	-0,18
t4	-0,07
t5	0,34
t6	0,75
t7	-0,16

Ao correlacionar o valor do IUS com o IQA (Tab 7), verificou-se correlação de Pearson superior a 0,5 para a3 (0.55), t2 (0.98) e t6 (0.75), mas apenas para t2 é estatisticamente significativa. Como não foi encontrada correlação significativa, experimentou-se comparar a correlação entre o percentual, em relação à área de drenagem, de cada uma das classes primárias de uso (classes 1, 2, 3.1 e 3.2) e o IQA. A análise da correlação de Pearson para essa técnica não se mostrou favorável, pois apesar de mostrar uma correlação entre o percentual de Agropecuária e de Floresta para a AD t2, e de Silvicultura para a2, não foi possível correlacionar, diretamente, classes de uso com o IQA em outras AD (Tab 8).

Tabela 8 - Correlação de Pearson entre classes de uso do solo e o IQA para as Areas de Drenagens de estações pluviométricas da BHT

AD	Floresta	Urbano	Agropecuaria	Silvicultura
a1	0,25		-0,33	0,23
a2	0,54	0,42	-0,59	0,89
a3	-0,38	0,41	-0,38	0,03
a4	0,00	0,02	0,00	0,03
t1	0,19	0,06	0,01	-0,14
t2	-0,91	0,26	0,90	0,14
t3	0,05	0,04	0,07	0,10
t4	0,02	0,86	-0,07	0,11
t5	-0,64	-0,64	0,64	-0,64
t7	0,13	-0,01	0,05	-0,23

Com a dificuldade em encontrar correlação significativa, experimentou-se subdivisões na classificação do uso, mas ainda assim mantendo uma correlação estatisticamente não significativa. Optou-se então utilizar um índice de ocupação do solo (IOS) onde foram distribuídos pesos entre 10 e 100 (similar ao IQA) para cada uma das diversas classes de uso e calculado um valor médio da área de drenagem da estação. Os pesos foram definidos considerando a contribuição de cada classe de uso para a qualidade da água, segundo a literatura consultada.

Desse modo, o IOS resultaria em um peso maior às Formações Árboreas (menor alteração) e um peso menor às Áreas Antropisadas (maior alteração). Testou-se as 4 classes originais (1, 2, 3.1 e 3.2) e as possíveis subdivisões de classes (1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 3.3, 3.4, 2.2). Foram experimentadas algumas variações dos pesos (com análise da correlação) e a que apresentou melhor resultado pode ser verificado na tabela 9, sendo que, após determinar peso para cada classe de uso do solo, utilizou-se a linguagem LEGAL para realizar a ponderação das classes e calcular o valor médio zonal do índice de ocupação do solo (IOS) para cada AD. Os valores calculados de IOS foram comparados com os valores de IQA, utilizando-se a correlação de Pearson (Tab. 10).

Tabela 9 - Definição de pesos das classes de uso do solo para o LUI.

Classes de uso do solo Categorizado	Peso
1.1-Dens-Urb-Esparsa	50
1.2-Dens-Urb-Esparsa-media	40
1.3-Dens-Urb-media	30
1.4-Dens-Urb-media-alta	20
1.5-Dens-Urb_alta	10
2.1 Agropecuária	40
2.2-APP-Agro	20
3.1-Floresta	90
3.2-Silvicultura	60
3.3-APP-Silvicultura	80
3.4-APP-Floresta	100

Tabela 10 – Coeficiente de correlação de Pearson entre o IQA e IOS para a área de drenagem de cada estação

AD	IQA/IOS
a1	0,47
a2	0,65
a3	0,34
a4	0,22
t1	0,18
t2	0,91
t3	0,14
t4	0,11
t5	0,63
t6	0,68
t7	0,24

Com o uso do LUI, a relação entre IQA e uso do solo ficou mais perceptível. Das 11 áreas, 4 apresentaram correlação superior a 0.6 e todas superior a 0.11. Mesmo assim, ainda não são valores que possam ser utilizados para explicar o IQA da BHT como um todo.

3.3 Índice Normalizado de Vegetação Remanescente (Normalized Remaining Vegetation Index-NRVI)

Foi utilizado também o índice normalizado de vegetação remanescente (Normalized Remaining Vegetation Index, NRVI), proposto por Bonnet *et al.* (2006), que considera a área

ocupada pela vegetação natural remanescente e a área ocupada pelas atividades agropastoris (Equação 1). O NRVI foi calculado utilizando-se a soma das áreas (em Km²) de floresta (classe 3.1) como área remanescente e as áreas da classe agropecuária (classe 2) como área de uso (BONNET *et al.*, 2006).

$$NRVI = \frac{\text{área}_{\text{remanescente}} - \text{área}_{\text{uso}}}{\text{área}_{\text{remanescente}} + \text{área}_{\text{uso}}} \quad (1)$$

O NRVI de cada AD foi correlacionado com o IQA, através da correlação de Pearson (Tab 11), mas os resultados ainda não mostraram correlação estatisticamente significativa para todas as AD. Vale destacar que a t2 apresentou valores de correlação altamente significativos, apesar de essa correlação ser negativa (-0,97), o que indica uma correlação inversa.

Tabela 11 – Coeficiente de correlação de Pearson entre o IQA e NRVI para a área de drenagem de cada estação

AD	IQA/NRVI
a1	0.49
a2	0.74
a3	-0.47
a4	-0.02
t1	0.32
t2	-0.97
t3	0.23
t4	0.19
t5	0.02
t6	-0.79
t7	0.35

3.4 Índice da Qualidade da Ocupação do Solo (IQOS)

As experimentações não retornaram resultados que fossem estatisticamente significativos, mas, demonstraram que, tanto as características físicas do solo (presentes no IVG) quanto o uso do solo são correlacionáveis com o IQA.

Optou-se, então, em utilizar um índice que correlacionasse as características físicas do solo com o IQA, denominado de Índice da Qualidade da Ocupação do Solo (IQOS). O IQOS foi estruturado utilizando a Linguagem Espacial para o Geoprocessamento Algébrico

(LEGAL), onde foram testados vários valores, tanto para as classes de cada um dos parâmetros considerados, quanto para o peso das características na ponderação final. Os parâmetros utilizados foram a declividade (Tabela 12), a textura do solo (Tabela 13), as unidades dos solos (Tabela 14) e as classes de uso do solo (Tabela 15). Em relação às classes de uso do solo, foram experimentadas várias combinações. A que mostrou melhor correlação com o IQA foi a que inclui a classe 5-Água, com peso 10, subdivide a classe urbana de acordo com a densidade demográfica e discrimina se o uso Floresta, Silvicultura e Agropecuária estão ou não em uma APP.

O IQOS é a média zonal na AD do resultado da soma ponderada dos valores das classes dos 4 parâmetros utilizados (Quadro 2). Em função da resolução espacial das imagens Landsat, trabalhou-se com uma resolução de 28,5 metros por pixel de cada um dos parâmetros trabalhados. Desse modo, em cada pixel tem-se 4 valores de 0 a 10, que são somados de acordo com o peso determinado: unidades do solo – 0,5; declividade – 0,75; textura do solo – 0,75 e uso do solo – 8,0. De forma que o uso do solo é responsável por 80% do valor do IQOS, as características físicas do solo por 12,5 % e a declividade por 7,5 %.

Tabela 12 – Definição de pesos das classes de declividade para o IQOS

Classe de declividade	Peso
Inferior a 5%	10
5 a 12%	8
12 a 30%	6
30 a 47%	4
Superior a 47%	2

Tabela 13 - Definição de pesos das classes de textura dos solos para o IQOS

Textura dos Solos	Peso
Argilosa	10
Argilosa-Media	7
Media-Argilosa	7
Siltosa	5
Media	5
Arenosa-Media	4
Arenosa	2
Rocha	4

Tabela 14 – Definição de pesos das classes das unidades do solo.

Unidades de Solo	Peso
Afloramento	4
Argissolo	6
Cambissolo	6
Chernossolo	6
Espodossolo	2
Gleissolo	2
Latossolo	10
Neossolo	2
Nitossolo	8
Organossolo	2

Tabela 15 - Definição de pesos das classes de uso do solo para o IQOS

Classes de uso do solo Categorizado	Peso
1.1-Dens-Urb-Esparsa	5
1.2-Dens-Urb-Esparsa-media	4
1.3-Dens-Urb-media	3
1.4-Dens-Urb-media-alta	2
1.5-Dens-Urb-alta	1
2.1 Agropecuária	4
2.2-APP-Agro	2
3.1-Floresta	9
3.2-Silvicultura	6
3.3-APP-Silvicultura	8
3.4-APP-Floresta	10
5- Agua	10

Após a aplicação do IQOS para toda a área da BHT, foi utilizado outro programa em LEGAL para fazer a média zonal de cada AD de modo que o resultado fosse um valor único para cada área de drenagem das estações com dados de IQA disponível (Tabela 16). Como três das estações tinham dados inconsistentes para 1 ou 2 anos, não foi considerado o IQOS nesses anos de modo a permitir o cálculo de correlação entre o IQA e o IQOS (Tabela 17).

```

{
Tematico Dec ("Declividade");
Tematico ST ("Solos_Textura");
Tematico SU ("Solos_Unidade");
Tematico UC87, UC91, UC97, UC01, UC07 ("Uso_Categ");
Tabela TDec (Ponderacao);
TDec = Novo (CategoriaIni = "Decvidade" , "00-05":10, "05-12":8, "12-30":6, "30-47":4,
"> 47":2);
Tabela TsT (Ponderacao);
TsT = Novo (CategoriaIni = "Solos_Textura" , "Argilosa":10, "Media-Argilosa":7, "Media":5,
"Siltosa":5, "Arenosa-Media":4, "Arenosa":2, "Rocha":4);
Tabela TsU (Ponderacao);
TsU = Novo (CategoriaIni = "Solos_Unidade" , "Afloramento":4, "Argissolo":6,
"Cambissolo":6, "Gleissolo":2, "Latossolo":10, "Neossolo":2, "Nitossolo":8,
"Organossolo":2);
Tabela TUC (Ponderacao);
TUC = Novo (CategoriaIni = "Uso_Categ" ,
"APP-Floresta":10,"Agua":10, "APP-Silvicultura":8,"APP-Agro":2, "Floresta":9,
"Silvicultura":7,"Agropecuaria":5, "Dens-Urb-media-alta":2,"Dens-Urb-media":3,"Dens-Urb-Esparsa-
media":4,"Dens-Urb-Esparsa":5);
Numerico IQ87, IQ91, IQ97, IQ01, IQ07 ("TBG-MNT");
Dec = Recupere (Nome="Dec_Tbg");
ST = Recupere (Nome="solos_t");
SU = Recupere (Nome="solos_u");
UC87 = Recupere (Nome="a1987");
UC91 = Recupere (Nome="a1991");
UC97 = Recupere (Nome="a1997");
UC01 = Recupere (Nome="a2001");
UC07 = Recupere (Nome="a2007");
IQ87 = Novo (Nome="IQOS-1987", ResX=28.5, ResY=28.5, Escala=50000, Min=0, Max=100);
IQ91 = Novo (Nome="IQOS-1991", ResX=28.5, ResY=28.5, Escala=50000, Min=0, Max=100);
IQ97 = Novo (Nome="IQOS-1997", ResX=28.5, ResY=28.5, Escala=50000, Min=0, Max=100);
IQ01 = Novo (Nome="IQOS-2001", ResX=28.5, ResY=28.5, Escala=50000, Min=0, Max=100);
IQ07 = Novo (Nome="IQOS-2007", ResX=28.5, ResY=28.5, Escala=50000, Min=0, Max=100);
IQ87 = 0.75*(Pondere(Dec, TDec)) + 0.75*(Pondere(ST, TsT))+ 0.5*(Pondere(SU, TsU))+
8*(Pondere(UC87, TUC));
IQ91 = 0.75*(Pondere(Dec, TDec)) + 0.75*(Pondere(ST, TsT))+ 0.5*(Pondere(SU, TsU))+
8*(Pondere(UC91, TUC));
IQ97 = 0.75*(Pondere(Dec, TDec)) + 0.75*(Pondere(ST, TsT))+ 0.5*(Pondere(SU, TsU))+
8*(Pondere(UC97, TUC));
IQ01 = 0.75*(Pondere(Dec, TDec)) + 0.75*(Pondere(ST, TsT))+ 0.5*(Pondere(SU, TsU))+
8*(Pondere(UC01, TUC));
IQ07 = 0.75*(Pondere(Dec, TDec)) + 0.75*(Pondere(ST, TsT))+ 0.5*(Pondere(SU, TsU))+
8*(Pondere(UC07, TUC));
}

```

Quadro 2: Programa em LEGAL para determinar o IQOS

Tabela 16 - Valor médio do IQA para cada estação no período de estudo.

Est.	1987	1991	1997	2001	2007
a1	82	-	89	86	89
a2	70	70	72	72	75
a3	47	71	--	74	69
a4	61	69	74	74	62
t1	73	72	64	66	75
t2	74	76	75	80	73
t3	75	81	70	78	79
t4	84	80	74	87	86
t5	76	79	73	-	-
t6	79	81	78	62	51
t7	72	73	73	83	68

Tabela 17 - Valor médio do IQOS para cada AD no período de estudo

AD	1987	1991	1997	2001	2007
a1	75	-	77	76	79
a2	70	69	70	70	75
a3	65	66	-	68	67
a4	66	67	68	68	67
t1	72	72	70	71	74
t2	74	75	75	75	74
t3	71	72	69	72	74
t4	75	73	73	76	77
t5	77	76	75	-	-
t6	71	70	70	68	68
t7	68	68	67	69	68

Os índices de correlação de Pearson entre o IQOS e o IQA resultaram superiores a de 0,8, sendo que 5 podem ser considerados estatisticamente significativos: a2 (0,87), a4 (0,93), t1 (0,86), t2 (0,97) e t6 (0,88) (Tabela 18). Os índices de correlação nesse nível indicam que deve haver uma forte correlação entre as quatro variáveis do IQOS (Uso do solo, declividade, unidades e textura do solo).

Tabela 18 – Coeficiente de correlação de Pearson entre o IQA e IQOS para a área de drenagem de cada estação

AD	IQA/IQOS
a1	0,86
a2	0,87
a3	0,81
a4	0,93
t1	0,95
t2	0,97
t3	0,84
t4	0,85
t5	0,81
t6	0,88
t7	0,83

4. CONCLUSÕES

A aplicação do IVG, IUS e NRVI não mostrou correlação significativa com o IQA, para a bacia hidrográfica do Tibagi, que pode estar relacionado às diferenças em relação ao bioma para o qual foi desenvolvido (NRVI), à escala de trabalho (IUS) ou mesmo à funcionalidade do índice (IVG).

O índice de qualidade da ocupação do solo (IQOS) apresentou correlação estatisticamente significativa com a qualidade da água em 5 das 11 estações e, mesmo nas estações onde não pode ser considerado significativo, o índice de Pearson pode ser considerado alto, já que o menor valor apresentado foi de 0,81 para t5.

O uso do solo é responsável por 80% do valor do IQOS, o que pode indicar a importância da APP para a qualidade da água. Mas, também áreas mais distantes do corpo hídrico são importantes.

O IQOS mostrou-se um índice de fácil aplicação, considerando-se a atual disponibilidade de imagens orbitais e a alta correlação com o IQA.

Algumas considerações devem ser feitas de modo a orientar futuros trabalhos:

A generalização cartográfica (escala 1:250.000 e resolução das imagens 28,5 m) não é ideal para a delimitação das APP's, pois os rios de menor porte não são representados pela cartografia e o levantamento dos agrupamentos florestais com largura igual ou inferior à resolução da imagem (28,5 m) é impreciso.

O IQA foi calculado com dados levantados pela rede de estações fluviométricas, com intervalo de coleta variando de mensal até quadrimestral. O valor do IQA do ano é a média do valor de cada um desses valores. Para as estações com menor quantidade de coletas anuais, algum evento hidrológico pontual ou lançamento inadequado de efluente pode mascarar os resultados.

A área da BHT, por ter mais de 24.000 km², demanda uma considerável alocação de recursos, tanto de material humano, quanto de tempo despendido e de material utilizado.

Considerando o exposto, propõe-se que sejam realizados mais estudos com o IQOS considerando uma bacia experimental com menor área, escala mais adequada, utilização de imagens de alta resolução, e realização de amostragens periódicas das variáveis do IQA. Sugere-se que a escala seja pelo menos 1:50.000, imagens do satélite CBERS, sensor HRC (resolução de 2,5 m), e intervalo semanal entre as coletas para estudos anuais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à COPEL Geração e Transmissão S.A. (Companhia Paranaense de Energia), através do projeto de Pesquisa, do programa de P&D ANEEL, código 6491-036/2007, pelo apoio financeiro, e à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) pelo apoio administrativo e de infra-estrutura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA, Agência Nacional de Águas. **HidroWeb – Sistema de informações Hidrológicas**, disponível em <<http://hidroweb.ana.gov.br/>> acesso aos 15/12/2008

AVELLAR, G.; CASTRO, J.F.M; HADAD, R.M. **Análise Geoecossistêmica da bacia do ribeirão São João com uso de GIS**. Revista Climep - Climatologia e Estudos da Paisagem, v. 3, p. 1-20, 2008.

BACELLAR, L.A.P . **O papel das florestas no regime hidrológico de bacias hidrográficas**. Geo.br, Ouro Preto - MG, v. 1, p. 1-43, 2006.

BALBINOT, R; OLIVEIRA, N.K; VANZETTO, S.C; PEDROSO, K; VALÉRIO, A.F. **O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias**. Ambiência (UNICENTRO), v. 4, p. 131-149, 2008.

BONNET, B. R. P.; FERREIRA, L. G.; LOBO, F. C. **Sistema de Reserva Legal Extra-Propriedade no Bioma Cerrado: uma análise preliminar no contexto da bacia hidrográfica**. Revista Brasileira de Cartografia, v.58, n.2, p 129-137, 2006.

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

BORGES, M. J. ; PISSARRA, T. C. T. ; VALERI, S. V. ; OKUMURA, E. M. . **Reflorestamento compensatório com vistas à retenção de água no solo da bacia hidrográfica do Córrego Palmital, Jaboticabal, SP**. Scientia Forestalis (IPEF), v. 69, p. 93-103, 2005.

BUCK, O. NIYOGI, D.K. TOWNSEND, C.R. **Scale-dependence of land use effects on water quality of streams in agricultural catchments**. Environmental Pollution 130:287–299, julho de 2004.

CALLEGARI-JACQUES, S.M. **Bioestatística: Princípios e Aplicações**. Porto Alegre: Artmed, 2003.

CAMARA, G.;SOUZA, R.C.M.; FREITAS, U.M.; GARRIDO, J. **SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling**. Computers & Graphics, 20: (3) 395-403, May-Jun 1996.

CAMPANA, N. e TUCCI, C.E.M. **Estimativa de área impermeável de macrobacias urbanas**. RBE – Caderno de Recursos Hídricos v. 12 n.2 : 19-94, 1994.

CARVALHO, C. F; FERREIRA, A.L; STAPELFELDT, F. **Qualidade das águas do ribeirão Ubá - MG**. Revista da Escola de Minas, Ouro Preto - MG, v. 57, n. 3, p. 165-167, 2004.

CORINE – Land Cover Project. **CORINE land cover technical guide – Addendum 2000**. European Environment Agency. May 2000.

DE BIASI M. **A carta clinográfica: os métodos de representação e sua confecção**. Revista do Departamento de Geografia da USP, 06:45-61, 1977.

DELALIBERA, H.C., WEIRICH NETO, P.H., LOPES, A.R.C., ROCHA, C.H. **Alocação de reserva legal em propriedades rurais: Do cartesiano ao holístico**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, PB. v.12, n.3, p.286–292, 2008.

DUH, J.D; SHANDAS, V; CHANG, H; GEORGE, L.A; **Rates of urbanisation and the resiliency of air and water quality**. Science of The Total Environment, Volume 400, Issues 1-3, 1 August 2008, Pages 238-256.

FIDALGO, E.C.C; CREPANI, E; DUARTE, V; SHIMABUKURO, Y.E; PINTO, R.M.S; DOUSSEAU, S.L. **Mapeamento do uso e cobertura atual da terra para indicação de áreas disponíveis para reservas legais: estudo em nove municípios da Região Amazônica**. Revista Árvore, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 871-877, 2003.

FIGUEIREDO, G.C; BRAGA, A.L; ELOI, F.H; CARVALHO, A.S; CALIJURI, M.L. **Caracterização da fragilidade ambiental utilizando sistema de informações geográficas**. In: 7º Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, 2006, Florianópolis SC, 2006.

GARCIA, R.L; TUCCI, C. E. M. **Simulação da qualidade da água em rios em regime não permanente: rio dos Sinos**. Recursos Hídricos, Lisboa, v. 21, n. 2, p. 17-26, 2000.

GERGEL, S.E. *TURNER, M.G; MILLER, J.R; MELACK, J.M; STANLEY, E.H.* **Landscape indicators of human impacts to riverine systems.** *Aquatic Science*, v.64, p.118-128, 2002.

HOULAHAN, J. E.; FINDLAY, C. S. **Estimating the ‘critical’ distance at which adjacent land-use degrades wetland water and sediment quality.** *Landscape Ecology*, v.19, p.677-690, 2004.

ITCG, Instituto de Terras, Cartografia e Geociências. **Solos – Estado do Paraná.** Disponível em <<http://www.itcg.pr.gov.br/>> Acesso aos 15/08/2008.

KAWAKUBO, F.S; MORATO, R.G; CAMPOS, K.C; LUCHIARI, A; ROSS, J.L.S. **Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento.** In: XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005, Goiânia. Anais. São José dos Campos: INPE, 2005.

KUHNLE, R.A.; BINGER, R.L.; FOSTER, G.R.; GRISSINGER, E.H. **The effect of land use changes on sediment transport in Goodwin Creek.** *Water Resour. Res.*, v.32, No. 10 p.3189-3196, 1996.

MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná.** Livraria José Olympio Editora, 2a ed., Rio de Janeiro-RJ, 2002.

MAILLARD, P. ; SANTOS, N. A. P. **A spatial-statistical approach for modeling the effect of non-point source pollution on different water quality parameters in the Velhas river watershed Brazil.** *Journal of Environmental Management*, p. 158 - 170, 01 jan. 2008.

MORRICE, J.A; DANZ, N.P; REGAL, R.R; KELLY, J.R; NIEMI, G.J; REAVIE, E.D; HOLLENHORST, T; AXLER, R.P; TREBITZ, A.S; COTTER, A.M; PETERSON, C.S. **Human Influences on Water Quality in Great Lakes Coastal Wetlands.** *Journal of Environmental Management*, p. 345 - 357, v41, n3, março, 2008.

NASA, **Orthorectified Landsat Enhanced Thematic Mapper (ETM+) Compressed Mosaics 2000.** Disponível em <<https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/>>. Acesso aos 20/08/2008.

OMETTO, J.P.H.B. ; MARTINELLI, L.A. ; BALLESTER, M.V.R.; GESSNER, A.; KRUSCHE, A.V. ; VICTORIA, RL; WILLIAMS, M. **Effects of land use on water**

chemistry and macroinvertebrates in two streams of Piracicaba river basin, southeast Brazil. *Freshwater Biology*, v. 44, p. 327-337, 2000.

PINTO, L. V. A. ; FERREIRA, E.; BOTELHO, S. A.; DAVIDE, A.C. **Caracterização física da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Cruz, Lavras, MG e propostas de recuperação de suas áreas de preservação permanente.** *Revista CERNE*, Lavras, MG., v. 11, n. 1, p. 49-60, 2005.

PRADO, R. B. ; NOVO, E.M.L.M. **Aplicação de geotecnologias na modelagem do potencial poluidor das sub-bacias de contribuição para o reservatório de Barra Bonita-SP relacionado à qualidade da água.** In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005, Goiânia - GO. Anais. São Paulo : monferrer, 2005.

PRADO, R. B.; NOVO, E. M. L. M. **Análise espaço-temporal da relação entre o estado trófico do reservatório de barra bonita (sp) e o potencial poluidor da bacia hidrográfica.** São José dos Campos: INPE, 28-03-2006.

RIPA, M.N; LEONE, A; GARNIER, M; PORTO, A.L. **Agricultural land use and best management practices to control nonpoint water pollution.** *Environmental Management*, 2006. v 38 n 2 p 235-266: Junho de 2006.

ROSS, J.L.S. **Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados.** *Revista do Departamento de Geografia*, São Paulo, 08:63-74. 1994.

SANTOS, J.C., OKA-FIORI, C., CANALLI, N.E., FIORI, A.P., SILVEIRA, C.T. da, SILVA, J.M.F. da. **Mapeamento da vulnerabilidade geoambiental do estado do Paraná.** *Revista Brasileira de Geociências*, 37(4):812-820, dezembro de 2007.

SCOTTON, G.C; SANTO, M.A.D; OLIVEIRA, F. H. **Cartografia digital aplicada a análise ambiental da bacia hidrográfica do Rio Biguaçu - SC.** In: 6º Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, 4º Encontro de Cadastro Técnico Multifinalitário para os Países do Mercosul, 1º Encontro de Cadastro Técnico Multifinalitário para os Países na América Latina, 2004, Florianópolis. COBRAC, 2004.

SEILHEIMER, T.S; MAHONEY, T.P; CHOW-FRASER, P. **Comparative study of ecological indices for assessing human-induced disturbance in coastal wetlands of the Laurentian Great Lakes.** *Ecological Indicators* v9, Issue 1, January 2009, Pages 81-91.

SEILHEIMER, T; WE, A; CHOW-FRASER, P; EYLES. N. **Impact of urbanization on the water quality, fish habitat, and fish community of a Lake Ontario marsh, Frenchman's Bay.**Journal Urban Ecosystems, p 299-319 v 10 n 3 setembro 2007.

SILVEIRA, C.T; FIORI, A.P; OKA-FIORI, C. **Estudo das Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Potencial na APA de Guaratuba: Subsídios para o Planejamento Ambiental.** Boletim Paranaense de Geociências, Curitiba, v. 57, p. 9-23, 2005.

SONG, T. KIM, K. **Development of a water quality loading index based on water quality modeling.** Journal of Environmental Management, v 90 n 3 p 1534-1543.

SPÖRL, C. & ROSS, J.L.S. **Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos.** GEOUSP Espaço e Tempo, São Paulo, Nº 15, pp.39-49, 2004.

TIMBÓ ELMIRO, M. A; DUTRA, L. V. ; FREITAS, C. R. ; ROSA, G. . **Análise da Redução do Índice de Qualidade da Água (IQA) Utilizando Ambientes de Geoprocessamento.** In: XXII Congresso Brasileiro de Cartografia, 2005, Macaé - RJ. Anais do XXII Congresso Brasileiro de Cartografia, 2005.

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

TUCCI, C.E.M. **Impactos da Variabilidade Climática e do uso do Solo nos Recursos hídricos.** 150 p., Câmara Temática de Recursos Hídricos, Agência Nacional de Águas (ANA), Brasil, 2002.

TUCCI, C.E.M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação.** 2.ed.; 2. Reimpr. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2001.

TUCCI, C.E.M. **Coefficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas.** RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos. V. 5 n 1:61-68. Jan/Mar de 2000.

VALERIANO, M.M. **Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul.**São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2004.

VASHCHENKO, Y ; FAVARETTO, N. ; BIONDI, D. **Fragilidade ambiental nos picos Camacã, Camapuã e Tucum - Campina Grande do Sul - PR.** Floresta (UFPR), v. 37, p. 201-215, 2007.

WEBER, E.; HASENACK, H.; FERREIRA, C.J.S. **Adaptação do modelo digital de elevação do SRTM para o sistema de referência oficial brasileiro e recorte por unidade da federação**. Porto Alegre, UFRGS Centro de Ecologia, 2004.

WEBER, E.J; DUARTE, G.F; FRANK, M; HOFF, R; ZOMER, S; BASSANI, E; JUNQUEIRA, I. **Estruturação de sistemas de informação ambiental em bacias hidrográficas: o caso da bacia hidrográfica do rio Caí - RS**. In: GIS Brasil 98 IV Congresso e feira para usuários de geoprocessamento, 1998, Curitiba/PR, 1998.

WHATELY, M., CUNHA, P. **Cantareira 2006: um olhar sobre o maior manancial de água da Região Metropolitana de São Paulo**. São Paulo: Instituto Socioambiental - ISA, 2007.