

Análise das alterações do mosaico de uso e ocupação da área do entorno da Represa do Lobo (Itirapina/SP) entre 2004 e 2009 e do assoreamento da represa.

J.P.F.A.Pereira¹, J.I.Kuwajima^{1*}, A.A.B.Camargo¹, F.F. Mauad¹

¹Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

*Email de contato: julio.kuwajima@usp.br

Abstract

Urbanization and sprawl and inadequate soil as a consequence bring impacts to water bodies, such as changes in quality, sedimentation, soil erosion, compaction, floods, loss of "habitat" natural, destruction of flora and fauna and resource depletion water. The region of the area surrounding the dam's reservoir of Broa in the Lobo River in the municipality of Itirapina-SP, has recently undergone increased urbanization and expansion of the crop of cane sugar. This work aims to analyze the development, through GIS techniques to change the use and occupancy of the mosaic of this region, using images from CBERS and between 2003 and 2009 and letters from the IBGE of 1969, to investigate the major changes mosaic of the use and occupation of the region especially in relation to sedimentation and consequent loss of useful volume of the dam.

Key Words: Siltation, land use, urbanization, Lobo reservoir

Resumo

A urbanização e a ocupação desordenada e inadequada do solo trazem como conseqüências impactos aos corpos de água, como alteração da qualidade, assoreamento, erosão do solo, compactação, inundações, perda do "habitat" natural, destruição da flora e da fauna e esgotamento dos recursos hídricos. A região da área de entorno do reservatório da represa do Broa no Rio do Lobo localizada no município de Itirapina-SP, tem sofrido recentemente crescente urbanização e expansão das culturas de cana-de-açúcar. Este trabalho tem como objetivo analisar o desenvolvimento, através de técnicas de geoprocessamento a mudança do mosaico do uso e ocupação desta região, usando imagens de satélites CBERS entre e 2003 e 2009 e cartas do IBGE de 1969, a fim de investigar os principais mudanças do mosaico do uso e ocupação da região principalmente em relação ao assoreamento e conseguinte perda de volume útil da represa.

Palavras-Chave: Assoreamento, uso e ocupação, urbanização, represa do Lobo

1. Introdução

A degradação dos recursos naturais, principalmente do solo e da água, vem crescendo de forma alarmante, atingindo níveis críticos refletindo na deterioração do meio ambiente, no assoreamento dos cursos e dos espelhos d'água (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990).

Nas últimas décadas, o desenvolvimento econômico agrícola do Brasil tem sido caracterizado pelo uso intensivo dos recursos naturais sem o devido planejamento promovendo grandes perdas de solo pela erosão, juntamente com fatores pedológicos e climáticos. No Estado de São Paulo registrou-se que 83% dos municípios são considerados de média a alta criticidade à erosão (SÃO PAULO, 2006). Sendo a principal causa da degradação das terras agrícolas ela consiste nos processos de desprendimento e arraste de suas partículas, causados pela ação da água e do vento. Causada pela chuva e escoamento superficial, a erosão hídrica é, segundo ZACHAR (1982), a mais importante forma de erosão.

Os processos físicos que ocorrem em uma bacia hidrográfica, como erosões, inundações e assoreamentos dos corpos hídricos, podem ser deflagrados ou mesmo acentuados devido aos padrões de uso e ocupação do solo. Estes processos geram conseqüências diretas ou indiretas na qualidade da água, que tem influência na biota aquática. As alterações, na qualidade alteram a atividade metabólica dos microorganismos, podendo provocar alterações físicas, químicas e biológicas no meio aquático.

Os sedimentos são, provavelmente, o mais significativo de todos os poluentes em termos de sua concentração na água, seus impactos no uso da água e seus efeitos no transporte de outros poluentes como já observado por BROOKS et al. (1991).

A ocorrência de eventos erosivos são acentuados por modificações rápidas na cobertura vegetal bem como pelo tipo de manejo das culturas. A sua dinâmica tem sido associada fundamentalmente às atividades antrópicas. Dela oriunda o carreamento de grandes quantidades de solo, matéria orgânica e insumos agrícolas para o leito dos cursos d'água no período chuvoso, contribuindo significativamente com o aumento da concentração de sólidos e nutrientes na água dos mananciais.

As alterações referentes aos usos e ocupações do solo, as modificações hidrológicas, somadas às influências localizadas como, o desenvolvimento humano na costa, geraram significativos impactos nas jusantes dos rios. As erosões bem como o aporte de sedimento que chega à costa aumentaram, como por exemplo, disso as cargas de sólidos suspenso no Rio Huang He (Rio Amarelo) aumentaram cerca de 2 a 10 vezes nos últimos 2000 anos (JIOGXIN, 2003). Em contraste, o repesamento e canalização reduziram muito o aporte de sedimento para a região costeira em outros rios pela retenção deste nas barragens (SYVISTKI et al.,2005).

A vegetação é, portanto uma peça-chave para o suprimento hídrico, qualitativo e quantitativo tanto em países desenvolvidos, quanto em países em desenvolvimento. Segundo (LINIGER & WEINGARTNER, 1998), a importância da vegetação nas bacias hidrográficas poderá aumentar substancialmente, uma vez que os recursos hídricos se tornem escassos, particularmente em países em desenvolvimento.

Segundo relatório da ONU, (WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME, 2009), os locais que tiveram programas de conservação de solos implementados apresentaram redução de erosão durante o século 20. Nos EUA, medidas promovidas pelo ato de segurança alimentar de 1985, conseguiram reduzir a erosão total anual de uma cultura em aproximadamente 40%, de 3,4 Gt/ano para 2,0 Gt/ano (URI N.D & J.A.LEWIS, 1999). Na China medidas de controle em 1978 na região da Bacia do Médio Rio Amarelo reduziram o aporte de 1,6 Gt para 0,7 Gt (HU et al, 2008).

1.1. Assoreamento de barragens

A construção de uma barragem e a formação de seu reservatório implica em modificações nas condições naturais do curso d'água a partir da redução na velocidade da corrente e, conseqüentemente, na capacidade de transporte de sedimentos pelo rio, favorecendo sua deposição nos reservatórios que, aos poucos, vão perdendo sua capacidade de armazenar água. Portanto, seja o reservatório para fins de geração de energia, de irrigação, de abastecimento ou de outros usos, o conhecimento da vida útil desse empreendimento dependerá diretamente do fluxo de sedimentos no curso d'água (LIMA *et. al*, 2003).

Segundo CARVALHO (1994), o assoreamento gradual do reservatório, pode vir a impedir a operação do aproveitamento. No caso de usinas hidrelétricas, isso ocorre quando o sedimento depositado alcança a cota da tomada d'água. Essa retenção de sedimentos no reservatório é de certa forma benéfica, pois promove a limpeza da água para seus diversos usos, embora a sedimentação contínua possa resultar em assoreamento indesejável.

CARVALHO (1994) cita ainda que o assoreamento dos reservatórios possa causar os seguintes efeitos:

- Redução do volume d'água acumulado até inviabilizar o empreendimento;
- Efeitos sobre as estruturas; aumento de pressão na barragem, corrosão dos canais de adução e fuga, pás das turbinas e obstrução do sistema de refrigeração;
- Afogamento de locais de desova, alimentação e abrigo dos peixes;
- Formação de barras (bancos de areia) alterando e dificultando as rotas de navegação;
- Dificuldade ou impedimento da entrada da água nas tomadas d'água de sistemas de captação para fins agrícolas, pecuários, de saneamento urbano, industriais, etc;
- Alteração ou destruição da vida aquática;
- Degradação do uso consuntivo da água.

1.2. Disponibilidade hídrica

Diante da escassez mundial de água doce, o Brasil encontra-se em situação confortável, pois detém aproximadamente 14% do total disponível para atender às demandas da humanidade e manutenção da vida no planeta. Entretanto, a distribuição da água no país não é homogênea, tanto naturalmente (a região Norte possui abundância de água enquanto a região Nordeste sofre com as secas) como socialmente (muitas pessoas não têm acesso à água doce existente, principalmente, tratada). Além disso, em regiões onde o contingente populacional é maior, grande parte dos rios enfrenta problemas de qualidade da água e estes já não podem ser usados para abastecimento doméstico (PRADO, 2004).

Nos tempos atuais, tem sido dada maior importância à qualidade da água superficial e à identificação de locais susceptíveis de erosão e, conseqüentemente, bem como têm ocorrido avanços na pesquisa direcionada à busca da sustentabilidade agrícola e ambiental, utilizando geotécnicas e modelagem, associadas com sistemas de informação geográfica.

1.3. Alterações climáticas

Ciclos hidrológicos mais vigorosos implicam em condições hídricas mais extremas, o que pode afetar as relações entre hidrologia e geomorfologia. As alterações nos regimes de chuva podem alterar a vegetação e por sua vez contribuir para a erosão. Processos de desertificação são causados devido à erosão e degradação do solo e mudanças na vegetação. A erosão hídrica vem aumentando e muitas regiões do mundo, em sua maior parte como consequência de ações antropogênicas como modificação e ocupação da terra. Devido à falta de informações, não existem evidências a favor ou contra alterações climáticas passadas relacionadas à erosão e transporte de sedimentos. (IPCC, 2007) Precipitações de chuvas mais intensas vão ocasionar um aumento nos sólidos suspensos (turbidez) em lagos e reservatórios devido à erosão fluvial do solo. (LEEMANS & KLEIDON, 2002)
De acordo com BATES, B.C et al (2008, p.43)

“Todos os estudos sobre erosão dos solos mostram que é esperado um aumento nas intensidades das precipitações que poderão levar a maiores taxas de erosão (IPCC,2007). Em adição, a mudança de precipitação no inverno para menos neve erosiva, para mais chuva erosiva, devido ao aumento das temperaturas no inverno, há um aumento na erosão. Isto pode resultar, por exemplo, para impactos negativos na qualidade da água em áreas rurais. O derretimento do “permafrost” expõe partes do solo e induz estados de erosão de solo que antes eram de não erosão Outros impactos indiretos das mudanças climáticas na erosão de solos, estão relacionadas ao solo e as mudanças de vegetação associadas à ações de adaptação Os poucos estudos sobre os impactos da mudança climática no transporte de sedimentos, sugerem um aumento deste transporte devido ao aumento da erosão, particularmente em regiões com processos de fluxo de água (runoff) aumentados. “

2. METODOLOGIA

Descrição do local de estudo

Estudada desde o início da década de 70, sendo provavelmente um dos corpos de água mais bem estudados no Brasil, a Represa do Broa teve sua bacia como local desse presente estudo. Reservatório de tamanha importância também por ser um dos mais antigos do país, tendo uma quantidade de informações disponíveis sobre este sistema muito grande, uma vez que estudos sobre o mesmo são continuamente desenvolvidos até hoje. Sendo assim de grande importância dar continuidade aos estudos e monitoramentos tanto na barragem, quanto na bacia e seu entorno, como foi realizado nesse trabalho.

Apesar da bacia hidrográfica da represa Lobo estar contida em uma área de proteção ambiental (APA), CAMARGO (1991) afirma que ao longo dos anos o processo de degradação e simplificação biológica da área está aumentando, principalmente devido ao uso e ocupação do solo e à falta de medidas de conservação da qualidade ambiental (ARGENTON. A.C, 2004). Aumentando ainda mais a necessidade de maior investigação da área.

Originada pela captação dos Ribeirões do Lobo e Itaqueri e pelos córregos do Geraldo e das Perdizes, a Bacia da represa do Broa tem suas águas percolando uma vasta área de sedimentos holocênicos, apresentando em alguns pontos intrusão de basalto. A vegetação é de grande parte constituída de cerrado, com manchas de mata galeria nos solos mais úmidos. Mas também há regiões encontra-se reflorestamento com *Pinus sp* e áreas de agricultura, em sua maioria laranja e cana-de-açúcar (MEDIONDO et. al., 2003).

A Represa do Lobo, como também é conhecida, foi construída em 1936 entre os municípios de Brotas e Itirapina, (22°15'S e 47°40'W), para fins de produção de energia elétrica pela antiga Central Elétrica de Rio Claro S.A (SACERC), hoje parte integrante da Elektro/Centrals Elétricas de São Paulo (CESP). A Bacia da Represa do Broa tem uma área de 21149,375 ha, incluindo a área urbana de Itirapina que é de 117,5 ha e a área da Represa do Broa que é de 460,0 ha. A Bacia Hidrográfica do Rio Itaqueri abrange parte dos municípios de Brotas e Itirapina, estando a Represa do Lobo (Broa) no limite de ambos. Limita-se ao Sul as Bacias dos Rios Jacaré Pepira e Passa-Cinco. A área de drenagem da Bacia é de aproximadamente 227 Km², tendo como principal curso d'água o Rio Itaqueri, o Ribeirão do Lobo, Córrego da Água Branca e Córrego do Geraldo, seus principais afluentes. Entretanto resolveu-se, nesse estudo, desconsiderar uma área de 30km² da bacia por ser uma bacia de onde temos outro represamento bem próxima a cidade, no córrego do Água Branca, então considerou-se a partir da jusante deste.

Base Cartográfica

A tecnologia dos SIG integra operações comuns em bancos de dados, tais como consultas e análises estatísticas com vantagens de visualização e análise geográfica oferecidas pelos mapas (PAREDES, 1994). Neste contexto, é possível operar com os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) constituídos por um conjunto de funções computacionais estabelecidas com a finalidade de mapear e analisar dados e informações na superfície da Terra.

Um passo inicial de suma importância, para a criação de um SIG, é a elaboração da base cartográfica da área de estudo. A principal função desta base cartográfica é auxiliar o referenciamento para os mapas temáticos (mapas complementares para representação de informações em múltiplas categorias), tornando-se assim de vital importância o uso de ferramentas computacionais para facilitar a entrada, manipulação e saída de dados. A elaboração da base cartográfica consiste na cartografia automatizada, seguida por uma modelagem cartográfica com utilização de Banco de Dados (BD). A utilização deste Banco de Dados deve permitir a modelagem interna e externa ao sistema.

Utilizou-se cartas em Meio Digital do Estado de São Paulo em escala 1:50.000 obtidas junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE (Tabela 1).

Tabela 1 – Cartas obtidas junto ao IBGE

| Carta IBGE | Articulação |
|------------|---------------|
| São Carlos | SF-23-Y-A-I-1 |
| Itirapina | SF-23-M-I-3 |

Imagens de Satélite CBERS

O levantamento do uso atual da terra, necessário para fins de planejamento, pode ser obtido a partir da utilização de dados multiespectrais, fornecidos por satélites de Sensoriamento Remoto, associados às técnicas de interpretação (PEREIRA et al., 1989). As vantagens de utilizar dados de sensoriamento remoto no levantamento do uso atual das terras são: atingir grandes áreas de difícil acesso e fazer o imageamento à altas altitudes, possibilitando uma visão sinóptica da superfície terrestre, com repetitividade, viabilizando as ações de monitoramento (FREITAS FILHO, 1993).

Um sistema completo de sensoriamento remoto inserido no Brasil possibilitou um grande avanço tecnológico, refletidos no fomento da ciência, indústria e serviços relacionados à área espacial. A missão CBERS mantém três satélites de observação terrestre em órbita: o CBERS-1 (lançado em 1999 e inativo desde 2003), o CBERS-2 (lançado em 2003) e CBERS-2B (lançado em 2007). O programa previa o desenvolvimento e a construção de apenas dois satélites de sensoriamento remoto, porém com sucesso obtido na missão, foi assinado um acordo para continuidade do programa em 2002, que ainda prevendo o lançamento de mais dois satélites a partir o CBERS-3 e o CBERS-4.

Para a caracterização dos diferentes usos de solo, foram utilizadas imagens orbitais da órbita 156 e ponto 125, nas bandas 1, 2, 3, 4 e 5, oriundas do satélite CBERS2, cena 1, e do satélite CBERS2B, cena 2, ambas provenientes do sensor CCD, uma câmera de alta resolução que cobre uma área de 113km² com resolução espacial de 20m. As cenas utilizadas nestes estudo foram obtidas gratuitamente no sítio do INPE na internet. Na Tabela 2 segue a relação das cenas.

Tabela 2 – Cenas utilizadas

| Cenas | Datas |
|-------|------------|
| 1 | 04/11/2003 |
| 2 | 29/06/2009 |

Digitalização

Softwares: *AutoCAD MAP* (Licença concedida a estudantes), *ArcGIS 9.1* (Licença adquirida pelo CRHEA-USP).

Primeiramente inseriu-se as cartas do IBGE no *AutoCAD MAP* para seu devido georreferenciamento utilizando o comando *Rubber Sheet*, utilizando 9 pontos de coordenadas conhecidas.

A partir das cartas topográficas, já georreferenciadas, são identificados e transcritos, no próprio *AutoCAD MAP*, os seguintes elementos gráficos: hidrografia (rios, espelhos d'água e áreas inundáveis), topografia (curvas de nível e pontos de cume) e uso e ocupação (culturas, vegetação e mancha urbana). Após esse processo são transferidas para o *ArcMAP* (do pacote *ArcGIS*) para acrescentar a carga de informações ou BD (Banco de Dados) na tabela de atributos, tais como cotas das curvas de nível e altitudes dos pontos de cume. Dela criou-se os demais mapas e depois foi utilizada a ferramenta de recorte, *Extraction by Mask*, para a análise do local desejado, bacia e sub-bacias.

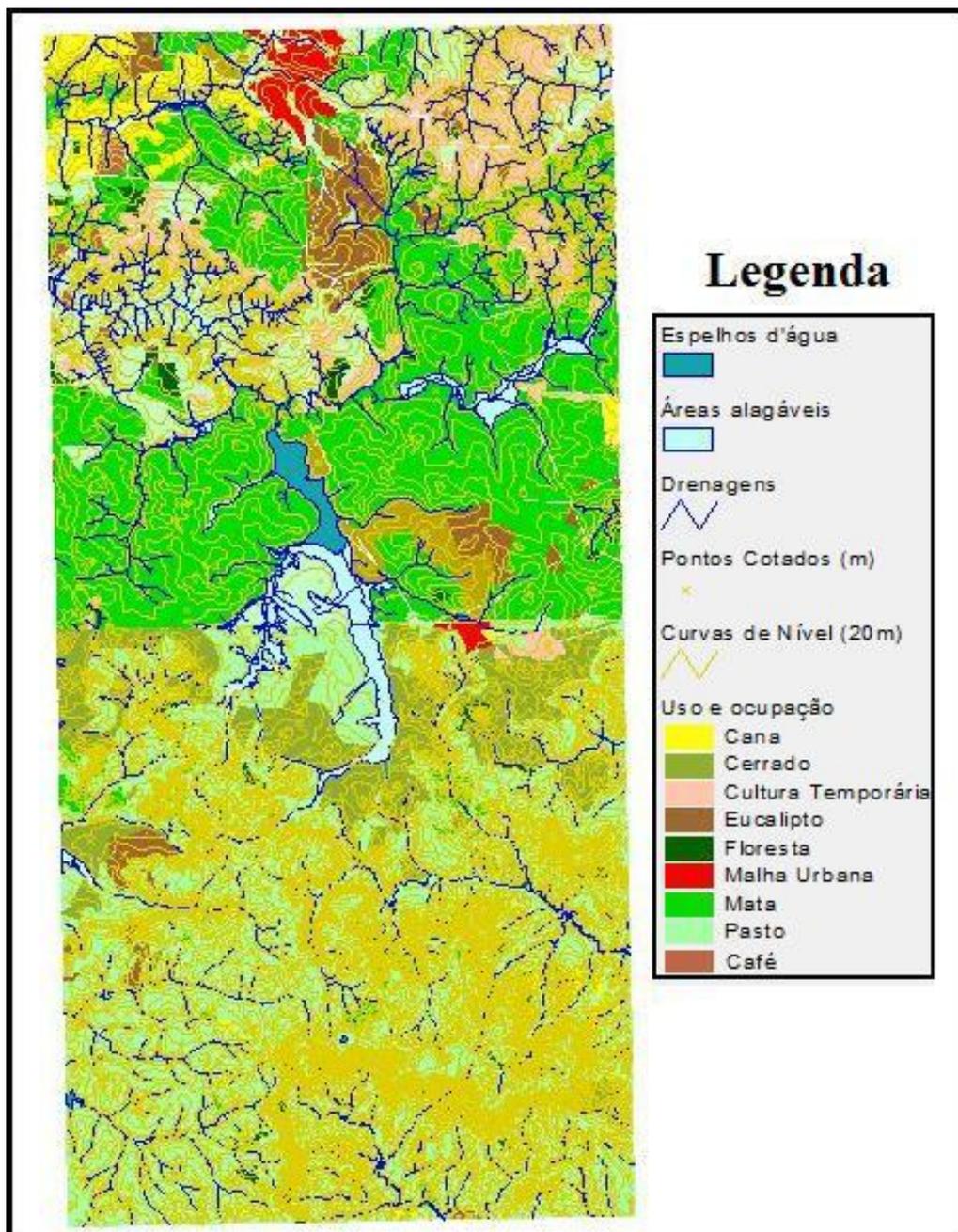


Figura 1 – Base Cartográfica oriunda das cartas do IBGE 1:50000

Geração do MDT (Modelo Digital do Terreno)

Com a base cartográfica, criou-se o MDT (Modelo Digital do Terreno) em formato raster, a partir da ferramenta *Topo to Raster*, é um método de interpolação especialmente desenvolvido para a criação de MDT da forma mais precisa quanto a hidrologia. É baseado no programa ANUDEM desenvolvido por Michael Hutchinson (1988, 1989). Bastou inserir os *shapes* das curvas de nível, pontos de cume, drenagens e espechos d'água e escolher seus respectivos campos da tabela de atributos onde encontram-se os valores de cotas. O MDT é muito importante para geração de cartas de declividade e *cartas* Hipsométrica (Altitude), ambas características do relevo da bacia que serão analisadas a seguir.

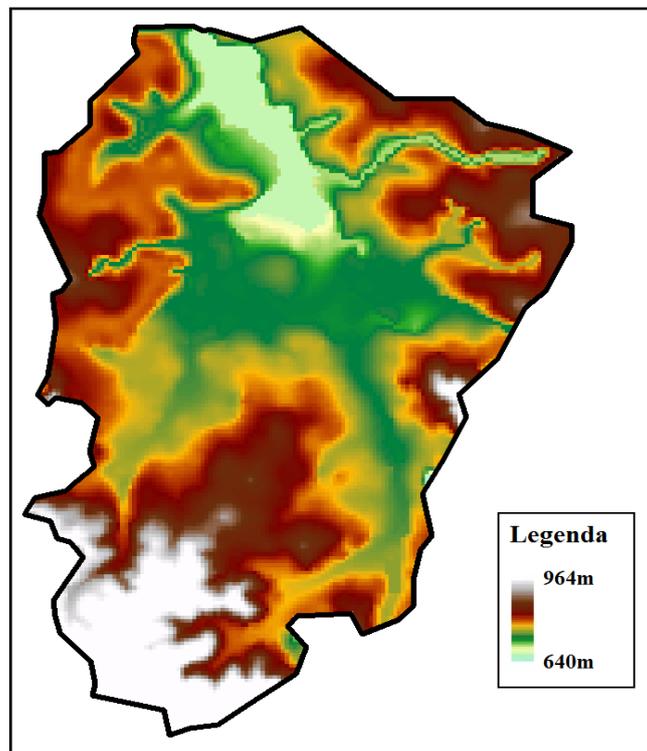


Figura 2 – Modelo Digital do Terreno (MDT)

Para a elaboração da carta Hipsométrica, simplesmente modificou-se o modo de apresentação do MDT no *Layer Properties (Symbology)* que era *Stretched* para *Classified* e ajustando os intervalos desejados em *Classify*. Para a carta de declividade utilizou-se da ferramenta *Slope* da extensão *3D Analyst Tools, Raster Surface* escolhendo a opção em porcentagem. Para cada célula ele calcula a taxa máxima de mudança de valor a partir dessa célula para os seus vizinhos.

Classificação supervisionada de imagens CBERS

No trabalho com as imagens do CBERS utilizou-se a classificação supervisionada. Essa técnica consiste na extração de amostras de pixel (Valor *ND*) para ajudar o software a interpretar a imagem de forma automática, proporcionando uma classificação mais aferida.

Primeiramente há necessidade do georreferenciamento das imagens, o passo iniciar determinado pelo estabelecimento do sistema de coordenadas com o qual se irá trabalhar, no caso Sistema de Coordenadas Planas (UTM), Córrego Alegre - UTM - Zone 23S, no sistema geodésico SAD69. Inseriu-se da imagem e iniciou-se o processo de georreferenciamento com 9 pontos de coordenadas conhecidas, utilizando a barra de ferramentas *Georeferencing*.

Após o devido georreferenciamento, iniciou-se a classificação supervisionada. Inicialmente criou-se um vetor de polígono para edição das amostras, cada amostra é um polígono distinto representando uma classe. Conforme identificou-se possíveis classes nela inseriu-se na tabela de atributos um novo *ID* e uma Classe para cada conjunto de amostras. Como a identificação das classes é ocular é importante ter bom conhecimento e acesso a área de estudo. Posteriormente às coletas e à estruturação da tabela de atributos, abriu-se a ferramenta *Create Signatures* para transformar o vetor em estatística para a classificação.

O arquivo de assinatura gerado pela ferramenta é uma descrição estatística das classes derivadas a partir das amostras identificadas no *raster*, a imagem gerada do satélite. Ele consiste em duas seções:

- As informações gerais para todas as classes, tais como o número de camadas, nomes de varredura de entrada, número de classes, e assim por diante.
- Assinaturas estatísticas para cada classe, que consistem em o número de amostras e os meios e matrizes de covariância.

Posteriormente abriu-se a *Maximum Likelihood*, classificação por máxima verossimilhança. Ela considera tanto as variâncias e covariâncias das assinaturas para atribuir cada célula uma das classes representadas no arquivo de assinatura. Então, entrou-se com a imagem a ser classificada e o arquivo de assinatura criado anteriormente. Em seguida o software automaticamente realiza a classificação da imagem. Esse processo deixa um pouco de resíduo nas bordas, ajustados com um procedimento de filtragem.

Existem outros modos de classificação supervisionada, como a *Minimum Distance*. Segundo RICHARDS (1995), quando as amostras são bem conhecidas, o procedimento *Maximum Likelihood* é utilizado, no entanto caso há preocupações sobre a qualidade na identificação das classes, o procedimento *Minimum*

Distance com distâncias padronizadas devem ser utilizado. Contudo para fins de comparação também foi realizado o esse procedimento. Através da extensão *Image Analysis*, os passos são semelhantes à classificação por máxima semelhança.

Características Morfométricas da Bacia

As bacias hidrográficas, como um sistema individualizado, podem ser consideradas como fontes de dados relevantes para a obtenção de informações sobre a evolução do modelado da superfície da Terra. A combinação dos diversos dados morfométricos permite a diferenciação de áreas homogêneas. Estes parâmetros podem revelar indicadores físicos específicos para um determinado local, de forma a qualificarem as alterações ambientais como observado por ANTONELLI e THOMAZ (2007).

Tabela 3 – Características Geométricas da Bacia

| CARACTERÍSTICA GEOMÉTRICA | DESCRIÇÃO | FÓRMULA |
|-----------------------------|--|---|
| Área | Toda área drenada pelo sistema pluvial inclusa entre seus divisores topográficos, projetada em plano horizontal, sendo elemento básico para o cálculo de diversos índices morfométricos (TONELLO, 2005). | |
| Perímetro | Comprimento da linha imaginária ao longo do divisor de águas (TONELLO, 2005). | |
| Fator de forma | Relaciona a forma da bacia com a de um retângulo, correspondendo a razão entre a largura média e o comprimento axial da bacia (da foz ao ponto mais longínquo do espigão), podendo ser influenciada por algumas características, principalmente pela geologia. Podem atuar também sobre alguns processos hidrológicos ou sobre o comportamento hidrológico da bacia. | $F = \frac{A}{L^2}$ <p>Sendo: F – Fator de Forma A – Área de drenagem L – Comprimento do eixo da Bacia (VILLELA; MATTOS 1975)</p> |
| Coefficiente de compacidade | Relaciona a forma da bacia com um círculo. Constitui a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual ao da bacia (CARDOSO et al., 2006). Esse coeficiente é um número adimensional que varia com a forma da bacia, independentemente de seu tamanho. Quanto mais irregular for a bacia, maior será o coeficiente de compacidade. Um coeficiente mínimo igual a uma unidade corresponderia a uma bacia circular e, para uma bacia alongada, seu valor é significativamente superior a um. | $Kc = 0,28 \times \frac{P}{\sqrt{A}}$ <p>Sendo: Kc – coeficiente de compacidade P – Perímetro A – Área de drenagem (VILLELA; MATTOS 1975)</p> |
| Índice de circularidade | Simultaneamente ao coeficiente de compacidade, o índice de circularidade tende para unidade à medida que a bacia aproxima-se a forma circular e diminui a medida que a forma torna alongada | $Ic = \frac{12,57 \times A}{P^2}$ <p>Sendo: Ic – Índice de Circularidade A – Área de drenagem P – Perímetro (CARDOSO et al., 2006)</p> |
| Densidade hidrográfica | Relação existente entre o número de rios ou cursos d'água e a área da bacia hidrográfica com finalidade ,segundo CRHISTOFOLETTI (1969), de comparar a frequência ou a quantidade de cursos d'água existentes em um área de tamanho padrão, como por exemplo o quilômetro quadrado. | $Dh = \frac{N}{A}$ <p>Sendo: Dh – Densidade hidrográfica N – Número de canais A – Área de drenagem (CRHISTOFOLETTI, 1969)</p> |

Tabela 4 – Características do Relevo da Bacia

| CARACTERÍSTICA DO RELEVO | DESCRIÇÃO |
|------------------------------|---|
| Altitude | A variação de altitude associa-se com a evaporação e transpiração, além precipitação, sendo assim sobre o deflúvio médio. Altas variações de altitude numa bacia causam diferenças significativas na temperatura média, que por sua vez, causa variações na evapotranspiração. No entanto as mais significativas são as possíveis variações de precipitação anual com a elevação. |
| Declividade | A declividade relaciona-se com a velocidade em que se dá o escoamento superficial, afetando, portanto, o tempo que leva a água da chuva para concentrar-se nos leitos fluviais que constituem a rede de drenagem das bacias, sendo que os picos de enchente, infiltração e susceptibilidade para erosão dos solos dependem da rapidez com que ocorre o escoamento sobre os terrenos da bacia (VILLELA; MATTOS, 1975). |
| Amplitude altimétrica | A variação entre a altitude máxima e altitude mínima. |

Tabela 5 – Características da rede de drenagem da Bacia

| CARACTERÍSTICAS DA REDE DE DRENAGEM | DESCRIÇÃO | FÓRMULA |
|-------------------------------------|---|---|
| Ordem dos cursos d'água | Consiste no processo de se estabelecer a classificação de determinado curso d'água (ou da área drenada que lhe pertence) no conjunto total da bacia hidrográfica na qual se encontra. Robert E. Horton, em 1945, foi quem propôs de modo mais preciso, os critérios para ordenação dos cursos d'água. Sendo os canais de primeira ordem aqueles que não possuem tributários; os canais de segunda ordem só recebem tributários de primeira ordem; os de terceira ordem podem receber um ou mais tributários de segunda ordem, mas também receber de primeira ordem; os de quarta ordem recebem tributários de terceira ordem e também de ordem inferior e assim sucessivamente (CARDOSO et al. 2006). | |
| Densidade de drenagem | Correlaciona o comprimento total dos canais ou rios com a área da bacia hidrográfica. Para calcular o comprimento devem ser medidos tanto os rios perenes como os temporários, definida por HORTON (1945) (CRHISTOFOLETTI, 1969). | $Dd = \frac{\sum L}{A}$ <p>Sendo: Dd – Densidade de drenagem $\sum L$ – Somatório dos comprimentos do canais A – Área de drenagem (CRHISTOFOLETTI, 1969)</p> |
| Índice de sinuosidade | É a relação entre o comprimento do canal principal e a distância vetorial entre os extremos do canal (ALVES; CASTRO, 2003), ou seja, relaciona a projeção ortogonal com o comprimento em linha reta entre os dois extremos do canal principal. Ele mostra a influência da carga de sedimentos, pela compartimentação litológica, estruturação geológica e pela declividade dos canais. | $Is = \frac{L}{Dv}$ <p>Sendo: L – Comprimento do canal principal Dv – Distância vetorial do canal principal (ALVES; CASTRO, 2003).</p> |

As fórmulas para obtenção dos parâmetros morfométricos da bacia, mostrados nas Tabelas 3 e 5 são encontradas em ANTONELI e THOMAZ (2007), (ALVES; CASTRO, 2003), CARDOSO (2006), CHRISTOFOLETTI (1969), TONELLO (2005) e VILLELA e MATTOS (1975).

Segundo EMBRAPA (1979), relevo plano tem declividade entre 0% e 3%, relevo suave ondulado entre 3% e 8%, relevo ondulado entre 8% e 20%, relevo forte ondulado, 20% e 45%, relevo montanhoso, 45% e 75%, e maiores que 75% são relevos fortemente montanhosos. Essa foi a classificação adotada para a questão da declividade.

Para melhor detalhamento a bacia foi dividida em 6 sub-bacias, como mostra a Figura 3 a seguir. A sub-bacia 1, 2, 5 e 6 e são as bacias do rio Itaqueri, córrego do Geraldo, ribeirão do Lobo e córrego das Perdizes, respectivamente.

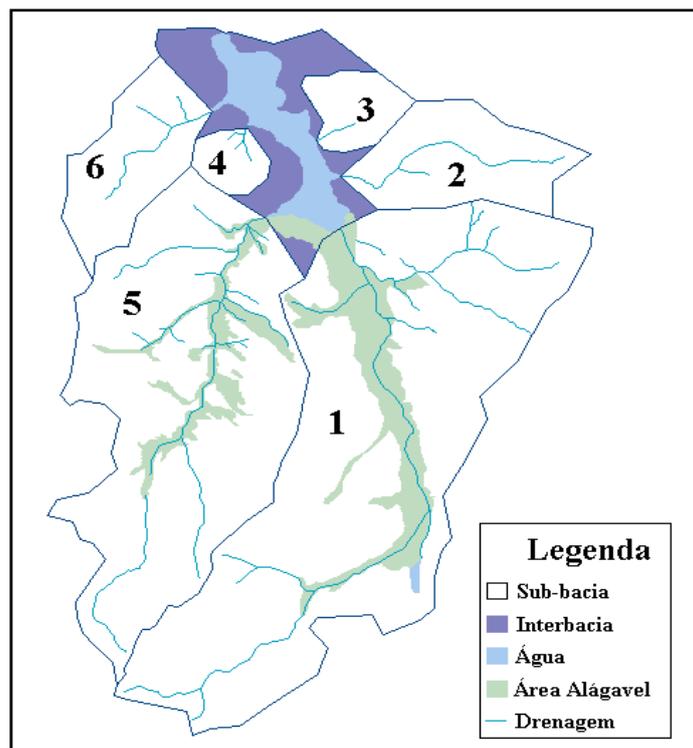


Figura 3 – Divisão da bacia em sub-bacias.

RESULTADOS

Uso e Ocupação

Calculou-se a partir dos mapas gerados as áreas de cada classe de uso e ocupação em cada cenário. Observa-se na imagem de 1971, Figura 4, que foi o uma classificação denominada “Área Alagável”, está presente nas cartas do IBGE, porém nas classificações supervisionadas feitas ela não aparece, portanto considerou-se nos cálculos como áreas de pastos, “Agropecuária”.

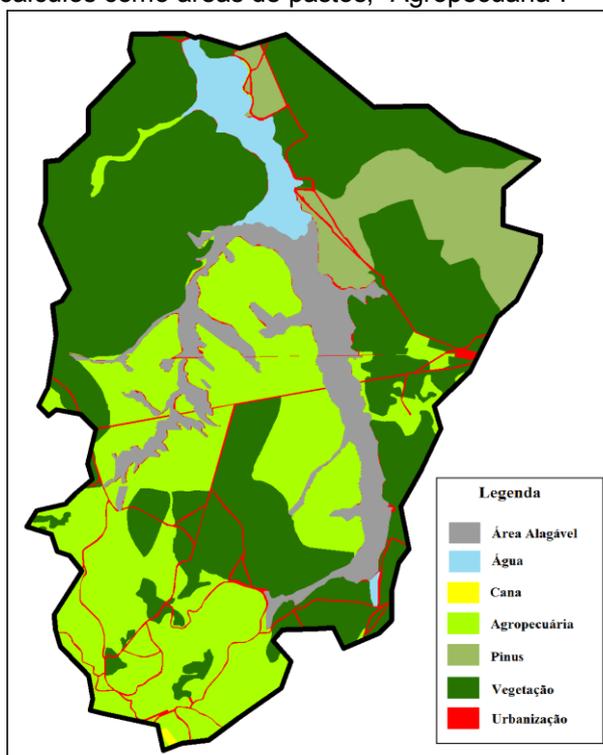


Figura 4 – Mapa de Uso e Ocupação em 1971

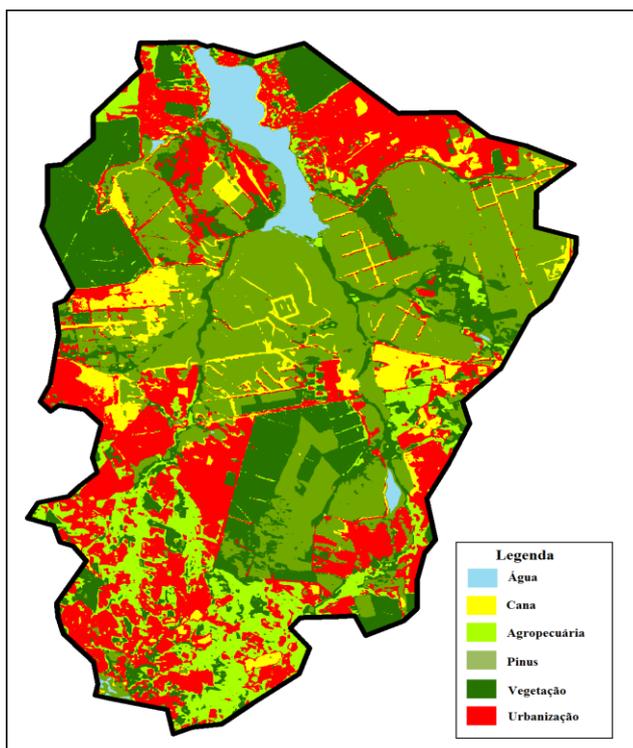


Figura 5 - Mapa de Uso e Ocupação em 2003 – Mínima Distância

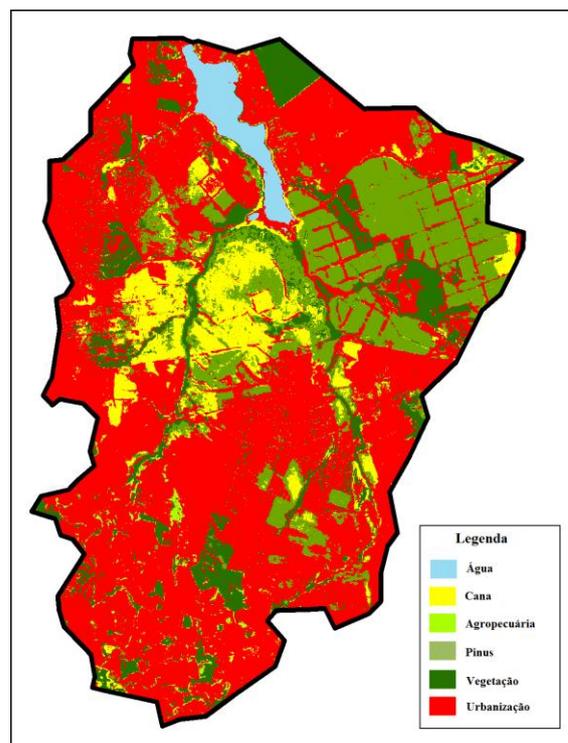


Figura 6 - Mapa de Uso e Ocupação em 2003 – Máxima Semelhança

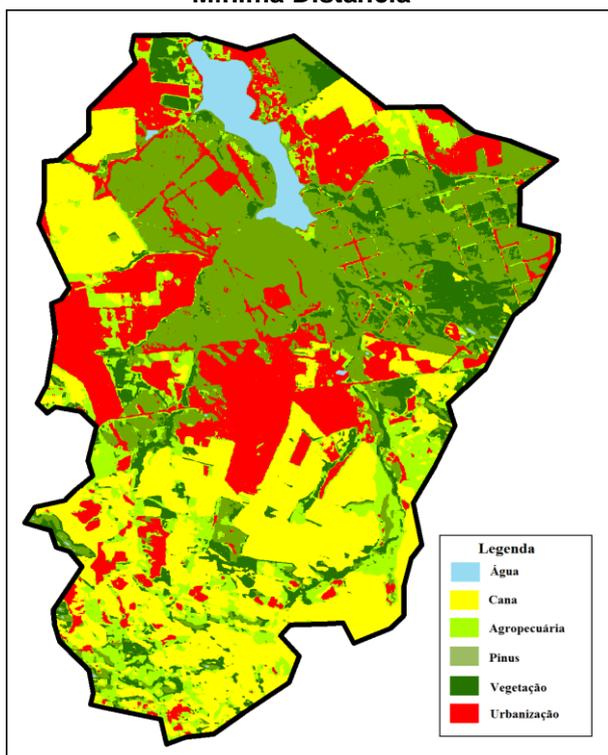


Figura 7 – Mapa de Uso e Ocupação em 2009 – Mínima Distância

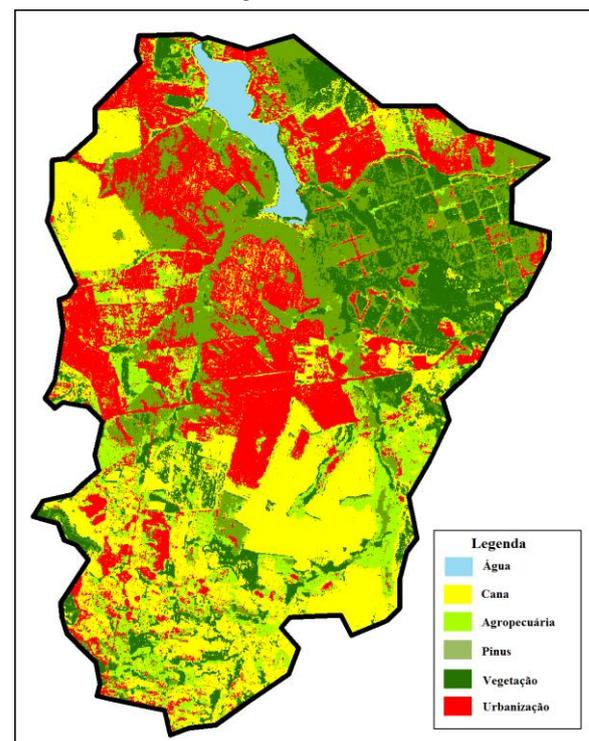


Figura 8 - Mapa de Uso e Ocupação em 2009 – Máxima Semelhança

Tabela 6 – Área dos tipo de uso e ocupação de cada cenário estudado

| Uso e Ocupação | Área em km ² | | | | |
|-----------------|-------------------------|----------|----------|----------|----------|
| | 1971 | 2003 min | 2003 max | 2009 min | 2009 max |
| Agropecuária | 79,1045 | 22,4470 | 2,8430 | 26,5225 | 29,3329 |
| Água | 6,7491 | 6,2027 | 4,5998 | 5,4697 | 4,2534 |
| Cana-de-açúcar | 0,1365 | 14,0651 | 17,1201 | 50,9884 | 47,9496 |
| Pinus <i>sp</i> | 16,3973 | 62,8473 | 32,8913 | 50,8754 | 33,4911 |
| Urbanização | 5,0925 | 50,6028 | 117,5150 | 42,1981 | 51,3614 |
| Vegetação | 89,3767 | 40,6918 | 21,8873 | 20,8025 | 30,4582 |
| Total | 196,8566 | 196,8566 | 196,8566 | 196,8566 | 196,8466 |

Posteriormente calculou-se a representatividade de cada classe em cada cena, em porcentagem de área.

Tabela 7 – Área em porcentagem dos tipos de uso e ocupação em cada cenário

| Uso e Ocupação | % | | | | |
|----------------|-------|----------|----------|----------|----------|
| | 1971 | 2003 min | 2003 max | 2009 min | 2009 max |
| Agropecuária | 40,18 | 11,40 | 1,44 | 13,47 | 14,90 |
| Água | 3,43 | 3,15 | 2,34 | 2,78 | 2,16 |
| Cana-de-açúcar | 0,07 | 7,14 | 8,70 | 25,90 | 24,36 |
| Pinus sp | 8,33 | 31,93 | 16,71 | 25,84 | 17,01 |
| Urbanização | 2,59 | 25,71 | 59,70 | 21,44 | 26,09 |
| Vegetação | 45,40 | 20,67 | 11,12 | 10,57 | 15,47 |

Morfometria da Bacia e Sub-bacias

Depois de todos os mapas necessários gerados, calculou-se os parâmetros da morfometria da bacia já descritos. Assim como também a distribuição das declividades na área da bacia.

Tabela 8 – Características Morfométricas da bacia e sub-bacias

| Características Morfométricas | | | | | | | |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | Bacia | Sub-bacia1 | Sub-bacia2 | Sub-bacia3 | Sub-bacia4 | Sub-bacia5 | Sub-bacia6 |
| Área de Drenagem (km ²) | 196,857 | 83,850 | 14,077 | 4,844 | 3,073 | 59,703 | 13,205 |
| Perímetro (km) | 66,104 | 48,412 | 16,606 | 8,801 | 6,461 | 39,632 | 15,998 |
| Comprimento do eixo da Bacia (km) | 20,654 | 18,120 | 6,721 | 2,568 | 1,901 | 14,700 | 6,422 |
| Comprimento do canal principal (km) | 20,136 | 20,136 | 7,046 | 1,185 | 1,118 | 15,257 | 4,185 |
| Distância vetorial do canal principal (km) | 14,636 | 14,636 | 6,089 | 1,171 | 1,026 | 13,057 | 3,875 |
| Somatório dos comprimentos dos canais (km) | 99,362 | 44,586 | 7,942 | 1,158 | 2,000 | 37,529 | 6,147 |
| Nº de canais | 72,000 | 28,000 | 3,000 | 1,000 | 5,000 | 30,000 | 5,000 |
| Fator de forma | 0,461 | 0,255 | 0,312 | 0,734 | 0,851 | 0,276 | 0,320 |
| Coefficiente de compacidade | 1,319 | 1,480 | 1,239 | 1,120 | 1,032 | 1,436 | 1,233 |
| Índice de circularidade | 0,566 | 0,450 | 0,642 | 0,786 | 0,925 | 0,478 | 0,649 |
| Densidade hidrográfica (canais/km ²) | 0,366 | 0,334 | 0,213 | 0,206 | 1,627 | 0,502 | 0,379 |
| Densidade de drenagem (km/km ²) | 0,505 | 0,532 | 0,564 | 0,239 | 0,651 | 0,629 | 0,465 |
| Índice de sinuosidade | 1,376 | 1,376 | 1,157 | 1,012 | 1,090 | 1,169 | 1,080 |
| Altitude mínima (m) | 640 | 640 | 700 | 680 | 700 | 680 | 700 |
| Altitude média (m) | 763 | 772 | 761 | 753 | 735 | 772 | 758 |
| Altitude máxima (m) | 964 | 960 | 825 | 806 | 766 | 964 | 819 |
| Amplitude altimétrica (m) | 324 | 320 | 125 | 127 | 66 | 284 | 119 |
| Declividade mínima (%) | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,0 |
| Declividade média (%) | 5,5 | 5,9 | 8,4 | 5,2 | 4,1 | 4,8 | 4,2 |
| Declividade máxima (%) | 62,8 | 47,9 | 36,1 | 19,6 | 11,9 | 62,8 | 21,1 |
| Ordem dos canais | 4 ^a | 4 ^a | 1 ^a | 1 ^a | 2 ^a | 3 ^a | 1 ^a |

Tabela 9 – Distribuição das classes de declividade na bacia

| Declividade | Classificação | Área em km ² | % |
|-------------|------------------|-------------------------|-------|
| 0 – 3 | Plano | 78,122 | 39,67 |
| 3 – 8 | Suave-Ondulado | 74,647 | 37,91 |
| 8 – 20 | Ondulado | 38,417 | 19,51 |
| 20 – 45 | Forte-Ondulado | 5,674 | 2,88 |
| 45 – 75 | Montanhoso | 0,058 | 0,03 |
| >75 | Forte-Montanhoso | 0,000 | 0,00 |

3. ANÁLISES

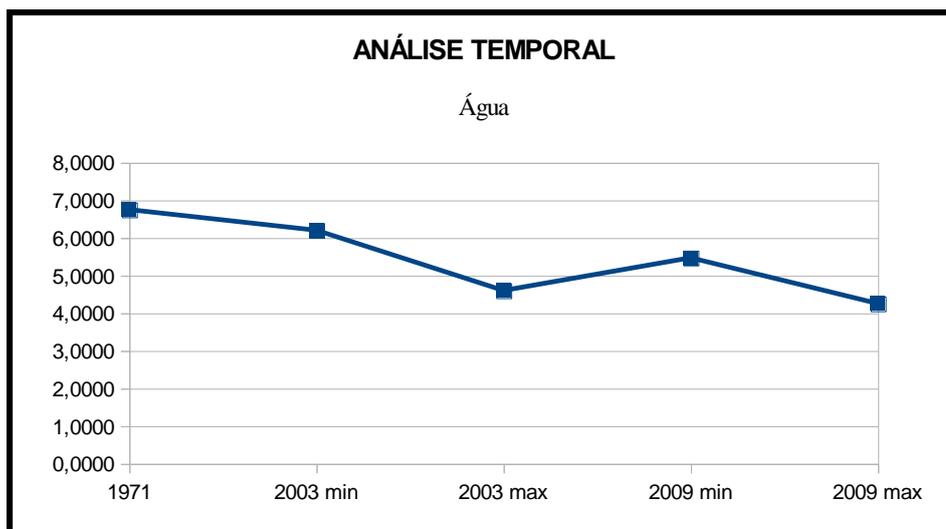


Gráfico 1 – Gráfico da evolução das áreas com água entre os anos de 1971, 2003 e 2009

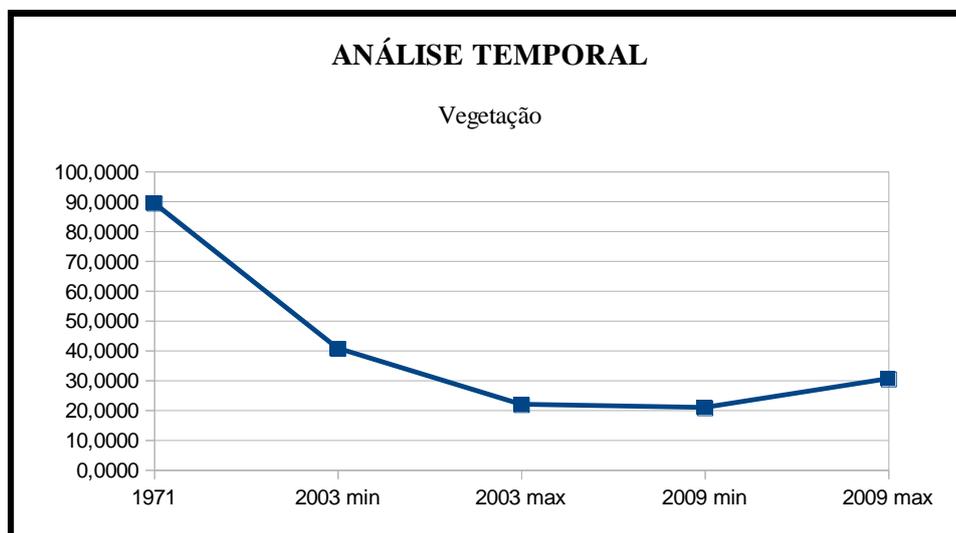


Gráfico 2 – Gráfico da evolução das área de vegetação entre os anos de 1971, 2003 e 2009

Primeiramente observa-se nitidamente a transformação da área de pastos, agropecuária, e de vegetação em áreas urbanizadas e de cana-de-açúcar. Perda de aproximadamente 60km² de vegetação e de 50km² de áreas de pasto. O caso da urbanização é explicado pelo fato da crescente expansão da malha urbana, mas também pelo fato da mudança do uso da barragem, que de acordo com o tempo perdeu-se sua importância energética para se tornar uma área mais de lazer, portanto supressão das matas e campos para dar espaço a condomínios e clubes. Uma questão a ser relevada também sobre a urbanização é a instalação de indústrias na região.

Percebe-se na evolução da urbanização, uma discrepância em 2003 no método de máxima semelhança. Isso deve-se ao fato de áreas sem cobertura terem foram considerados como urbanização, e portanto em caso de pós-colheita, no caso da cana-de-açúcar, apresentarem solo exposto.

A cana-de-açúcar, já tem uma história mais contextualizada ao Brasil. Entre 1971 e 2003 teve o lançamento do programa pró-álcool, em 1975, depois das crise do petróleo em 1973. Portanto áreas de vegetação e pasto foram substituídas por plantações de cana-de-açúcar para a fabricação do combustível, cerca de 50km².

Nota-se uma pequena variação da área de água com o decorrer do tempo, fato não só observado na região mas como na maioria dos reservatórios do planeta, fato conseqüente pelo aquecimento global que, segundo MENDONÇA (2007), independente das dificuldades conceituais, fica claro que é validado pelo IPCC3 como um fato consolidado. Mas também no Brasil tem-se um agravante pela indiscutível

negligência no gerenciamento de mananciais, bacias e reservatórios, comprovada também pela crise energética, enfrentada ao longo de 2001 pelo país.

No estudo agrupou-se no momento da classificação a cultura de pinheiro, para obtenção de matéria-prima de produtos de limpeza, e eucalipto, para fabricação de papel, mostrado apenas como Pinus, apesar de não terem nenhum grau de parentesco em imagens eles apresentam características semelhante. Ambas culturas foram crescentes na região desde 1971, tendo um aumento em área de aproximadamente 20km².

Morfometria da Bacia

Classificou-se como média a bacia, pois possui 197 km² e 66 km de área e perímetro respectivamente. O índice de circularidade, fator de forma e índice de compacidade mostram são definidores da forma da bacia, e por conseguinte fornece informações sobre o potencial de escoamento da bacia. Ela possui baixo fator de forma (0,461) e 1,319 como índice de compacidade, indicando ter maior tempo de concentração que seria, a partir uma precipitação, o tempo utilizado para que a bacia inteira contribua para a saída, ou seja. Além desses fatores o ter o índice de circularidade baixo, 0,566, indica que sua forma é mais alongada.

Por ter essa forma mais alongada ela apresenta menor risco de enchentes em condições normais de precipitação, fato comprovado por VILLELA e MATTOS (1975), que mencionam que esse tipo de bacia tem menor concentração de deflúvio.

Há uma divergência na questão da densidade de drenagem, CHRISTOFOLETTI (1969) baixa são valores menores que 7,5 km/km², entre 7,5 e 10,0 km/km² média e 10,0 km/km², alta densidade hidrográfica. Entretanto VILLELA e MATTOS (1975) diz que a escala seria entre 0,5 km/km² (drenagem pobre) e a 3,5 km/km² a mais (bem drenadas). No caso do estudo percebe-se que a bacia em ambos está na classe de pouca drenagem com 0,495, porém devemos lembrar que a escala trabalhada foi 1:50000, muitos canais acabaram não sendo computados.

De acordo com CHRISTOFOLETTI (1974), a densidade hidrográfica é importante, pois representa o comportamento hidrográfico de determinada área, em um de seus aspectos fundamentais. A bacia apresentou baixa densidade hidrográfica, 0,366 canais/km², ou seja, menos de meio canal por km², outro fato explicável também pela pequena escala de trabalho.

A sinuosidade dos canais é influenciada pela carga de sedimentos, pela característica litológica, estrutura geológica e pela declividade dos mesmos, portanto podemos analisar estes fatores que a influenciam pelo valor do índice. Valores próximos a 1,0 indicam que o canal tende a ser retilíneo, já os valores superiores a 2,0, indicam que os canais tendem a ser tortuosos e os valores intermediários indicam formas transicionais, regulares e irregulares (SCHUMM,1963). Portanto, com 1,376 de índice, o rio Itaqueri possui um canal mais retilíneo e de acordo com ANTONELI e THOMAZ (2007), esse tipo de canal favorece um maior transporte de sedimento.

4. CONCLUSÕES

A partir cartas do IBGE e dos softwares *AutoCad Map* e *ArcGIS*, conseguiu-se obter uma boa base cartográfica digital para esse e futuros estudos na região. A o georreferenciamento e digitalização foram bastante facilitadas pelas ferramentas do *AutoCad Map*.

Os satélites CBERS2 e CBERS2B forneceram imagens que permitiram o mapeamento do uso da terra da bacia de maneira rápida. O *ArcGIS* permitiu o georreferenciamento das imagens e suas classificações digitais do uso da terra por meio de seus diferentes métodos, máxima semelhança e mínima distância, além de , a partir do estudo, fornecer um banco de dados para a classificação supervisionada e para futuros planejamentos nessa área.

A alteração do uso da terra na região da bacia da Represa do Lobo, estão influenciando negativamente as microbacias, pois a área de vegetação representa menos de 20% da área total, mínimo exigido por lei é 20%, isso com mata nativa. Porém existe a justificativa de ter reflorestamento com pinheiro e eucalipto, o que pode ajudar, no entanto não é o ideal, e as áreas de pasto, que por sua vez são degradadas pelo gado, compactando seu solo e dificultando a drenagem do solo e aumentando o escoamento superficial e conseguinte transporte de sedimento. Não se pode deixar de considerar que o aumento da área de cultivo de cana-de-açúcar, aumenta atividades de manejo do solo e por conseguinte maior aporte de sedimento.

Com todas essas alterações do uso do solo com o tempo podendo alterar significativamente a qualidade ambiental da região, conclui-se que há a necessidade de ter um maior cuidado e preocupação com o planejamento, além de mais estudos de quantificação desses efeitos, assim como maior monitoramento.

A morfometria da bacia apresentou-se de forma esperada, sendo uma bacia média de forma mais alongada, com poucos canais de drenagem, que apesar de apresentar baixa probabilidade de inundações deve ser bastante monitorada quanto ao transporte de sedimento por ter canais bem retilíneos. Transportes esse muito importante no gerenciamento de reservatórios, principalmente quanto ao aporte de sedimentos e conseguinte diminuição do volume útil.

REFERÊNCIAS

ALVES, J.M.P.; CASTRO, P.T.A. Influência de feições geológicas na morfologia da bacia do rio Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análise de padrões de lineamentos. Revista Brasileira de Geociências, 2003.

ANTONELI, V; THOMAZ, E. L. Caracterização do meio físico da bacia do Arroio Boa Vista, Guamiranga-PR. Rev. Caminhos da Geografia, Uberlândia, 2007.

ARGENTON, E.C. (2004). Limnologia, balneabilidade e impactos ambientais: uma análise temporal e espacial da represa do Lobo (Broa), Itirapina/Brotas – SP. 146p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2004.

BATES, B.C., Z.W. KUNDZEWICZ, S. WU and J.P. PALUTIKOF, Eds., 2008: Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva, 210 pp.

BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. São Paulo, Ícone, 1990.

BROOKS, K.N.; FFOLLIOTT, P.F.; GREGERSEN, H.M. & THAMES, J.L. Hydrology and the management of watersheds. Ames, Iowa State University Press, 1991.

CAMARGO, R.S.N. (1991). Regulamentação da APA Corumbataí – SP. In: TAUK, S.M. (ed.) Análise Ambiental: uma visão multidisciplinária. São Paulo: EdUNESP.

CARDOSO, C.A. et al. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo-RJ. Árvore, Viçosa, 2006.

CARVALHO, N. O. (1994), “Hidrossedimentologia Prática”, CPRM – Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais. Rio de Janeiro-RJ.

CARVALHO, N. O. Hidrossedimentologia Prática, CPRM – Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais. Rio de Janeiro-RJ, 1994.

CARVALHO, N.O. et al. (2000) Guia de Avaliação de Assoreamento em Reservatórios. Brasília:ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica – Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas , 2000. 132p.

CHAVES, H.M.L. Análise global de sensibilidade dos parâmetros da Equação Universal de Perda de Solo Modificada (MUSLE). R. Bras. Ci. Solo, 1991.

- CHRISTOFOLETTI, A. A morfologia de bacias de drenagem. Notícias Geomorfológicas, Campinas, 1978.
- CHRISTOFOLETTI, A. Análise morfométrica de bacias hidrográficas. Notícia Geomorfológica, n. 18, 1969.
- CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. Ed. Edgard Blucher Ltda e EDUSP, 1974.
- COCHRANE, T.A. & FLANAGAN, D.C. Assessing water erosion in small watersheds using WEPP with GIS and digital elevation models. Soil Water Conser., 1999.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). In: REUNIÃO TÉCNICA DE LEVANTAMENTO DE SOLOS, 10., 1979, Rio de Janeiro. Súmula... Rio de Janeiro, 1979. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea, 1).
- FREITAS FILHO, M. R.; MEDEIROS, J. S. Análise multitemporal da cobertura vegetal em parte da Chapada do Araripe-CE, utilizando técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento, 2005.
- GONÇALVES, C. S.; Rheinheimer, D. dos S.; Pellegrini, J. B. R.; Kirst, S. L. Qualidade da água numa microbacia hidrográfica de cabeceira situada em região produtora de fumo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2005.
- HU C., LIU C., ZHOU Z., and R. JAYAKUMAR. (2008). *Changes in Water and Sediment Loads of Rivers in China*. Working Paper prepared as a contribution to UNESCO's World Water Development Report 3. International Research and Training Center on Erosion and Sedimentation, Beijing.
- INPE, Imagens do satélite CBERS2. In Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2011. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br>>. Acesso em: 13/01/2011
- INPE, Imagens do satélite CBERS2B. In Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2011. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br>>. Acesso em: 13/01/2011
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2007). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, ed.
- JIONGXIN, X., (2003): Sediment flux to the sea as influenced by changing human activities and precipitation: example of the Yellow River, Environ. Manage, China. 31, 328–341.

LANE, L.J.; RENARD, K.G.; FOSTER, G.R. & LAFLEN, J.M. Development and application of modern soil erosion prediction technology. *Austr. Soil Res.*, 1992.

LEEMANS, R. and A. KLEIDON, 2002: Regional and global assessment of the dimensions of desertification. *Global Desertification: Do Humans Cause Deserts?* J.F. Reynold and D.S. Smith, Eds., Dahlem University Press, Berlin, 215-232.

LIMA, J. E. F. W.; SANTOS, P. M. C.; CARVALHO, N. O.; SILVA, E. M., *Fluxo De Sedimentos Em Suspensão Na Bacia Araguaia-Tocantins*, XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Curitiba – PR., 2003

LINIGER, H. & R. WEINGARTNER, (1998). *Mountains and freshwater supply*. *Unasyuva*, 195(49), 39-46.

MENDONÇA, F. de A.; DANNI-OLIVEIRA, I.M. *Climatologia: noções básicas e climas do Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

PAREDES, E. A. - "SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA – PRINCÍPIOS E APLICAÇÕES". São Paulo - SP, Ed. Érica, 1994

PEREIRA, M. N.; KURKDJIAN, L. M. N. O DE; FORESTI, C. *Cobertura e uso da terra através de sensoriamento remoto*. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1989.

PETERSON, J.R. & HAMLETT, J.M. Hydrologic calibration of the SWAT model in a watershed containing fragipan soils. *Am. Water Res. Assoc.*, 1998.

PRADO, R.B. *Geotecnologias aplicadas à análise espaço-temporal do uso e cobertura da terra e qualidade da água do reservatório de Barra Bonita, SP, como suporte à gestão de recursos hídricos*. 172 p. Tese (Doutorado). Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2004.

RICHARDS, J.A. *Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction*, Springer-Verlag, 1995.

SÃO PAULO. Secretaria do Meio Ambiente. *Relatório de qualidade ambiental do Estado de São Paulo 2006*. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, 2006.

SCHUMM, S.A. Sinuosity of alluvial rivers on the great plains. *Bulletin of Geological Society of America.*, 1963.

SRINIVASAN, R. & ARNOLD, J.G. Integration of a basin-scale water quality model with GIS. *Water Res. B.*, 1994.

SYVISTKI, J.P.M., C.J. VOROSMARTY, A.J. KETTNER e P. GREEN. (2005). *Impact of humans on the flux of terrestrial sediment to the global coastal ocean*. *Science*, 308, 376–380.

TONELLO, K.C. Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhães, MG. 2005. Tese (Doutorado em Ciências Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

URI, N. D., and J. A. LEWIS. (1999). *Agriculture and the Dynamics of Soil Erosion in the United States*. *Journal of Sustainable Agriculture* 14 (2-3): 63-82.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. Hidrologia aplicada. São Paulo: McGRAWHill do Brasil, 1975.

WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME. (2009). *The United Nations World Water Development Report 3: Water in a Changing World*. Paris: UNESCO Publishing, and London:Earthscan.

ZACHAR, D. Soil erosion: developments in soil science. New York, Elsevier Scientific, 1982.