

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, LETRAS E ARTES**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA - CURSO DE MESTRADO**

**RAFAEL MARQUES DOS SANTOS**

**ANÁLISE DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DOS  
BAIXOTES – SP**

**MARINGÁ - PR**  
**2016**

**RAFAEL MARQUES DOS SANTOS**

**ANÁLISE DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DOS  
BAIXOTES – SP**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Maringá como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Geografia, área de concentração: Análise Regional e Ambiental.

**Orientadora:** Profa. Dra. Marta Luzia de Souza.

**MARINGÁ - PR  
2016**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(Biblioteca Central - UEM, Maringá, PR, Brasil)

S237a Santos, Rafael Marques dos  
Análise da vulnerabilidade ambiental na bacia hidrográfica dos Baixotes - SP / Rafael Marques dos Santos. -- Maringá, 2016.  
104 f. : il. color., figs., tabs.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Marta Lúcia de Souza.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2016.

1. Crepani, Edison - Metodologia. 2. Vulnerabilidade ambiental - Bacia dos Baixotes - Birigui (SP). 3. Vulnerabilidade ambiental - Bacia dos Baixotes - Braúna (SP). 4. Vulnerabilidade ambiental - Bacia dos Baixotes - Brejo Alegre (SP). 5. Vulnerabilidade ambiental - Bacia dos Baixotes - Coroados (SP). 6. Vulnerabilidade ambiental - Sistemas de Informação Geográfica (SIG) - Bacia dos Baixotes (SP). I. Souza, Marta Lúcia de, orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes. Programa de Pós-Graduação em Geografia. III. Título.

CDD 21.ed. 918.161

AMMA-003381

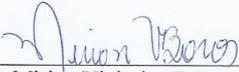
ANÁLISE DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DOS  
BAIXOTES - SP

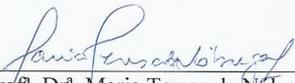
Dissertação de Mestrado apresentada a Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Geografia, área de concentração: Análise Regional e Ambiental, linha de pesquisa: Análise Ambiental

Aprovada em **31 de agosto de 2016.**

BANCA EXAMINADORA

  
Prof.ª. Dr.ª. Marta Luzia de Souza  
Orientador - UEM

  
Prof.ª. Dr.ª. Mirian Vizintim Fernandes Barros  
Membro convidado  
UEL

  
Prof.ª. Dr.ª. Maria Teresa de Nóbrega  
Membro convidado  
UEM

*Dedico aos meus pais que me deram a vida e caráter.*

*Dedico a minha esposa, esteve ao meu lado em todas as etapas.*

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente à Deus, aos meus pais, Sandra Maria Ribeiro dos Santos e Amauri Marques dos Santos, por me educarem, me darem todo suporte nesses anos e me ensinarem a persistir e a lutar nos caminhos da vida e também aos meus antepassados, especialmente a minha avó Alzira Dada sendo uma pessoa mais que especial para mim e meu irmão Anderson Marques dos Santos pela força e incentivo;

A minha esposa Ana Gabriela Bueno Melo de Carvalho, doutora em Geografia e um exemplo de pessoa, que em nenhum momento me abandonou nesta etapa de nossas vidas, obrigado pelos ensinamentos, "puxões nas orelhas" e contribuições para o desenvolvimento da pesquisa.

Aos amigos do tempo de graduação e pós - graduação, que de alguma forma contribuíram com os meus ensinamentos.

Os amigos de infância Wesley Riguetto e Valdir Pavanelo, e muitos outros que por motivos da vida, foram trilhando seu caminho.

Agradeço aos amigos de trabalho, professores, coordenadores dos colégios De Angeles e Sagrado Coração de Jesus, Faculdade de Birigui - Fabi/Uniesp.

Agradeço aos meus amigos de república na época de graduação, que por força do destino, hoje trabalho e moro na mesma cidade, sendo eles Márcio Fernando Gomes e sua esposa Alessandra Montenegro, Diego Frederichi e sua esposa Larissa Kawatani, pelo incentivo, e discussões sobre a área de estudo.

À Miriam de Carlos agradeço por toda prontidão, paciência nas questões relacionadas ao Programa de Pós - Graduação e incentivo no termino desta etapa.

Aos professores Maria Teresa de Nóbrega, Deise Regina Elias Queiroz pela contribuição na banca de qualificação, contribuição estas que ajudaram na finalização da pesquisa.

Agradeço principalmente a minha orientadora Marta Luzia de Souza por ter aceitado me orientar, mesmo sabendo do grande desafio que era. Muito obrigado pelos conselhos, ensinamentos, correções e paciência.

E a todos que de alguma maneira contribuíram e viabilizaram a realização dessa pesquisa.

*“A natureza nunca nos engana;  
somos sempre nós que nos  
enganamos.”*

**Jean Jacques Rousseau**

## RESUMO

A ocupação antrópica em bacias hidrográficas, em geral, acelera as degradações e impactos ambientais diversificados em função da complexidade desse sistema quando desequilibrado. Devido a isso, elas se tornam objeto crescente de investigações de pesquisadores e dos gestores públicos, por meio de análises sistêmicas que podem apontar a vulnerabilidade e ou a fragilidade ambiental dessas bacias hidrográficas. Tendo em vista essa questão, o principal objetivo da presente pesquisa foi mapear e analisar a vulnerabilidade ambiental na bacia do córrego dos Baixotes, que compreende os municípios de Birigui, Braúna, Brejo Alegre e Coroados localizados na Região Oeste do Estado de São Paulo, para três cenários distintos (2001, 2009 e 2016). Os resultados apontaram que o uso das geotecnologias se mostrou de extrema importância na confecção da carta de síntese, por ter a capacidade de processar e relacionar todos os dados. O atributo que teve maior interferência na análise da vulnerabilidade ambiental foi o uso da terra, já os outros atributos que complementam a análise, segundo a metodologia utilizada foi a pedologia (tipo de solo), a geologia (tipo da rocha), a geomorfologia (declividade) e o clima, por apresentarem certa homogeneidade em toda a bacia hidrográfica, esses atributos não interferiram significativamente no resultado final. Neste contexto, embora a pesquisa tenha alcançado os objetivos propostos, estes não foram totalmente satisfatórios, pois não corresponderam à toda a dinâmica da bacia hidrográfica estudada. Notou-se que, a metodologia não respondeu adequadamente em áreas que apresentam grande homogeneidade, o que fez com que atributos como condições climáticas, solos, relevos e substrato rochoso fossem mascarados pelo uso da terra. Fez-se necessário a adaptação do modelo utilizado ou futuramente a formulação de um novo modelo de vulnerabilidade ambiental que responda para bacias hidrográficas de pequeno porte; primeira, segunda e terceira ordem; que contenha homogeneidade nos atributos do meio físico.

**Palavras-chave:** Crepani; Vulnerabilidade; Baixotes; Sistemas de Informação Geográfica.



## ABSTRACT

Anthropogenic occupation in river basins generally accelerates diversification and diversified environmental impacts due to the complexity of this system when unbalanced. Due to this, they become an increasing object of investigations of researchers and public managers, through systemic analyzes that can point out the vulnerability and / or environmental fragility of these watersheds. The main objective of this research was to map and analyze the environmental vulnerability in the Baixotes stream basin, which includes the municipalities of Birigui, Braúna, Brejo Alegre and Coroados located in the Western Region of the State of São Paulo, to Three different scenarios (2001, 2009 and 2016). The results showed that the use of geotechnology was extremely important in the creation of the synthesis chart, because it has the capacity to process and relate all the data. The attribute that had the greatest interference in the analysis of the environmental vulnerability was the land use, and the other attributes that complement the analysis, according to the methodology used was pedology (soil type), geology (rock type), geomorphology (Declivity) and the climate, because they presented a certain homogeneity throughout the watershed, these attributes did not interfere significantly in the final result. In this context, although the research has reached the proposed objectives, these were not totally satisfactory, since they did not correspond to the whole dynamics of the hydrographic basin studied. It was observed that the methodology did not respond adequately in areas that present great homogeneity, which made attributes such as climatic conditions, soils, reliefs and rocky substratum were masked by land use. It was necessary to adapt the model used or in the future to formulate a new model of environmental vulnerability that responds to small hydrographic basins; First, second and third order; That contains homogeneity in the attributes of the physical medium.

**Keywords:** Crepani; Vulnerability; Baixotes; Geographic Information Systems.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 01:</b>	Modelo em 3D da bacia hidrográfica dos Baixotes - SP.....	17
<b>Figura 02:</b>	Escala de vulnerabilidade das unidades territoriais básicas.....	23
<b>Figura 03:</b>	Paris, 1858.....	30
<b>Figura 04:</b>	Localização da bacia hidrográfica dos Baixotes - SP.....	34
<b>Figura 05:</b>	Hipsometria na bacia hidrográfica dos Baixotes - SP.....	39
<b>Figura 06:</b>	Característica das formas do relevo na bacia hidrográfica dos Baixotes - SP.....	40
<b>Figura 07:</b>	Declividade na bacia hidrográfica dos Baixotes - SP.....	41
<b>Figura 08:</b>	Afloramento rochoso do arenito próximo a foz da bacia hidrográfica dos Baixotes - SP com o rio Tietê.....	43
<b>Figura 09:</b>	Mapa do Substrato Rochoso na bacia hidrográfica dos Baixotes - SP.....	44
<b>Figura 10:</b>	Solo predominante da bacia hidrográfica dos Baixotes - SP Latossolo Vermelho distrófico.....	45
<b>Figura 11:</b>	Mapa Pedológico da bacia hidrográfica dos Baixotes - SP.....	46
<b>Figura 12:</b>	Precipitação média mensal dos municípios que formam a bacia hidrográfica dos Baixotes - SP.....	47
<b>Figura 13:</b>	Temperatura média mensal da bacia hidrográfica dos Baixotes - SP.....	48
<b>Figura 14:</b>	Localização da UGRHI 19 no estado de São Paulo.....	49
<b>Figura 15:</b>	Mapa da UGRHI 19 (Baixo Tietê).....	49
<b>Figura 16:</b>	Fluxograma metodológico da pesquisa.....	52
<b>Figura 17:</b>	Posicionamento das bases cartográficas no <i>software Global Mapper</i> .....	60
<b>Figura 18:</b>	Identificação da bacia hidrográfica utilizando a ferramenta de "Texture Map".....	60
<b>Figura 19:</b>	Obtenção do MDE no <i>software Global Mapper 12</i> .....	62
<b>Figura 20:</b>	Evolução da população total da área estudada.....	66
<b>Figura 21:</b>	População urbana e rural - Birigui-SP.....	68
<b>Figura 22:</b>	Produção e área plantada de cana-de-açúcar em Birigui-SP.....	69
<b>Figura 23:</b>	Criação de bovinos em Birigui-SP.....	69
<b>Figura 24:</b>	População urbana e rural - Braúna-SP.....	70
<b>Figura 25:</b>	Produção e área plantada de cana-de-açúcar em Braúna-SP.....	70
<b>Figura 26:</b>	Criação de bovinos em Braúna-SP.....	71
<b>Figura 27:</b>	População urbana e rural Brejo Alegre-SP.....	71
<b>Figura 28:</b>	Produção e área plantada de cana-de-açúcar em Brejo Alegre-SP.....	71
<b>Figura 29:</b>	Criação de bovinos em Brejo Alegre-SP.....	72
<b>Figura 30:</b>	População urbana e rural - Coroados-SP.....	73
<b>Figura 31:</b>	Produção e área plantada de cana-de-açúcar em Coroados-SP.....	74
<b>Figura 32:</b>	Criação de bovinos em Coroados-SP.....	74
<b>Figura 33:</b>	Localização e raio de influência das Usinas Sucroalcooleiras.....	76
<b>Figura 34:</b>	Uso da terra na bacia hidrográfica dos Baixotes (2001).....	77
<b>Figura 35:</b>	Uso da terra na bacia hidrográfica dos Baixotes (2009).....	78
<b>Figura 36:</b>	Uso da terra na bacia hidrográfica dos Baixotes (2016).....	79

<b>Figura 37:</b> Percentual do uso da terra na bacia hidrográfica dos Baixotes-SP (2001).....	80
<b>Figura 38:</b> Percentual do uso da terra na bacia hidrográfica dos Baixotes-SP (2009).....	80
<b>Figura 39:</b> Percentual do uso da terra na bacia hidrográfica dos Baixotes-SP (2016).....	81
<b>Figura 40:</b> Vulnerabilidade ambiental da bacia dos Baixotes - SP (2001, 2009 e 2016).....	83
<b>Figura 41:</b> Percentual da vulnerabilidade ambiental da bacia dos Baixotes-SP (2001).....	84
<b>Figura 42:</b> Percentual da vulnerabilidade ambiental da bacia dos Baixotes-SP (2009).....	84
<b>Figura 43:</b> Percentual da vulnerabilidade ambiental da bacia dos Baixotes-SP (2016).....	85
<b>Figura 44:</b> Evolução do uso e ocupação da terra na bacia dos Baixotes - SP (2001, 2009 e 2016).....	86

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 01:</b>	Escala de vulnerabilidade à denudação das rochas.....	55
<b>Tabela 02:</b>	Classes de declividade com escalas de vulnerabilidade.....	56
<b>Tabela 03:</b>	Valores de Vulnerabilidade dos Solos.....	57
<b>Tabela 04:</b>	Valores de Vulnerabilidade da Vegetação.....	58
<b>Tabela 05:</b>	Distribuição da vulnerabilidade entre os intervalos possíveis de intensidade pluviométrica.....	59
<b>Tabela 06:</b>	Atributos e pesos adaptados de Crepani et al (2001).....	64
<b>Tabela 07:</b>	Classificação - Diagnóstico do Meio Físico.....	65

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 01:</b> Classificações Ecodinâmicas para Tricart (1977).....	20
<b>Quadro 02:</b> Avaliação da estabilidade das categorias morfodinâmicas.....	22
<b>Quadro 03:</b> Variáveis de Fragilidade.....	29
<b>Quadro 04:</b> Qualidade da água no Córrego Baixotes.....	50
<b>Quadro 05:</b> Usinas que influenciam o plantio da cana-de-açúcar na bacia hidrográfica dos Baixotes-SP .....	75

## LISTA DE ANEXOS

<b>Anexo 01:</b> Descrição dos tipos litológicos da bacia estudada.....	96
<b>Anexo 02:</b> Descrição dos tipos de solos da bacia estudada.....	97

## LISTA DE APÊNDICES

<b>Apêndice 01:</b>	Carta da vulnerabilidade ambiental da bacia dos Baixotes - SP (2001).....	99
<b>Apêndice 02:</b>	Carta da vulnerabilidade ambiental da bacia dos Baixotes - SP (2009).....	100
<b>Apêndice 03:</b>	Carta da vulnerabilidade ambiental da bacia dos Baixotes - SP (2016).....	101

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	16
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	18
2.1. O uso de bacias hidrográficas como objeto de gestão ambiental .....	18
2.2. Análises sistêmicas das unidades de paisagem natural e de intervenções antrópicas.....	21
2.2.1 O conceito de Ecodinâmica.....	21
2.2.2. Modelo de Vulnerabilidade ambiental.....	24
2.2.3. Modelos de Fragilidade ambiental.....	28
2.3 Geotecnologias aplicadas à análises sistêmicas.....	32
<b>3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO: Aspectos regionais e locais</b> ....	35
3.1 Breve histórico da ocupação do Oeste Paulista e municípios da bacia estudada .....	37
3.1.1 Ocupação dos municípios da Bacia Hidrográfica dos Baixotes.....	38
3.2 Aspectos físicos e natural da bacia estudada .....	40
<b>4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b> .....	54
4.1 Levantamentos dos parâmetros da vulnerabilidade ambiental na bacia hidrográfica do córrego dos Baixotes - SP .....	56
4.2 Levantamento e obtenção dos produtos cartográficos e softwares.....	61
4.3 Elaboração da carta síntese de vulnerabilidade ambiental .....	65
<b>5. ANÁLISES E RESULTADOS</b> .....	68
5.1 Histórico das características socioeconômicas e da evolução do uso da terra nos municípios que compreendem a bacia analisada.....	68
5.2 Uso da terra na bacia hidrográfica dos Baixotes-SP, nos anos de 2001, 2009 e 2016 .....	76
5.3 Aplicação do modelo proposto de análise da vulnerabilidade ambiental.....	84
<b>6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	89
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	92
<b>ANEXOS</b> .....	98
<b>APÊNDICES</b> .....	101



## INTRODUÇÃO

A preocupação ambiental com as bacias hidrográficas, em relação à degradação dos recursos naturais, só surgiu após as décadas de 1960/70 em alguns países, e teve como premissa o estabelecimento de limites para o desenvolvimento econômico mundial. No Brasil a degradação ambiental em bacias hidrográficas, é objeto crescente de análises de pesquisadores e dos gestores públicos, principalmente a partir da década de 1980.

A ocupação antrópica em bacias hidrográficas, em geral, acelera as degradações e impactos ambientais diversificados em função da complexidade desse sistema quando desequilibrado.

Uma das formas de se identificar e prevenir a ocorrência da degradação ambiental e suas consequências nas bacias hidrográficas é por meio de análises sistêmicas de unidades de paisagens naturais e de intervenções antrópicas que podem apontar a vulnerabilidade e ou a fragilidade ambiental de cada unidade territorial dessas bacias.

Exemplificando, o mapeamento da vulnerabilidade ambiental possibilita a indicação de áreas onde os graus de vulnerabilidades são identificados como baixos, médios e altos. Os graus mais baixos são áreas com maiores opções de uso e ocupação e aquelas de graus mais altos são áreas mais vulneráveis, onde as opções de uso são mais reduzidas, exigindo-se, ainda, a aplicação de técnicas mais adequadas. Eles fornecem deste modo, importantes subsídios para a gestão territorial e para a elaboração do Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) de uma determinada área, assim como para o planejamento ambiental regional ou municipal.

No entanto, são escassas as metodologias relacionadas com o diagnóstico da degradação ambiental com o uso da análise sistêmica em bacias hidrográficas homogêneas. Fazem-se necessários estudos mais detalhados e a proposição ou adaptação, de metodologias aplicáveis para a definição da vulnerabilidade e ou fragilidade ambiental em bacias hidrográficas no Brasil a fim de subsidiar o Poder Público para a tomada de decisões referentes ao manejo e a recuperação das mesmas.

Tendo em vista essa questão, o principal objetivo da presente pesquisa foi mapear e analisar a vulnerabilidade ambiental na área da bacia do córrego dos

Baixotes, que compreende os municípios de Birigui, Braúna, Brejo Alegre e Coroados localizados na Região Oeste do Estado de São Paulo.

Adotou-se a bacia hidrográfica dos Baixotes como área de pesquisa por alguns fatores, primeiro devido à expansão urbana crescente na última década, mas que visou consideravelmente a especulação imobiliária, sem um planejamento urbano adequado com as características naturais.

O segundo fator considerado como importante está relacionado com o uso e a ocupação da terra devido à expressiva quantidade de áreas ocupadas com cana-de-açúcar por influência de diversas usinas sucroalcooleiras na região. Fez se necessários estudos mais detalhados da bacia e o levantamento de metodologias aplicáveis para a definição de áreas vulneráveis ou fragilizadas à degradação ambiental na bacia hidrográfica dos Baixotes - SP, para subsidiar a ocupação destas áreas, além de indicar da recuperação de áreas degradadas e o planejamento de áreas de novas expansões urbanas, tornando os impactos do uso da terra os menores possíveis.

Nesse aspecto, as técnicas de Sensoriamento Remoto junto com o Sistema de Informação Geográfica, que incorporam as geotecnologias, assumem papel importante como suporte à extração, análise e integração de dados geo-relacionais multitemáticos, em um único sistema. Isso permite combinar dados de uma variedade de fontes e naturezas, procedimentos e de outros bancos de dados já disponíveis.

Para atingir o principal objetivo proposto na pesquisa, buscaremos responder algumas questões científicas formuladas, sendo elas:

- Como as características do meio físico e natural (rochas, relevo, clima, solos, águas superficiais e vegetação) podem influenciar na degradação ambiental de uma área?
- Como a aplicação de uma metodologia permite identificar áreas susceptíveis à vulnerabilidade ou fragilidade ambiental?
- Como a utilização das geotecnologias podem auxiliar na elaboração de mapas temáticos para o planejamento ambiental?

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Utilizamos como base teórica autores clássicos e atuais sobre as temáticas abordadas na pesquisa.

### **2.1. O uso de bacias hidrográficas como objeto de gestão ambiental**

O uso da bacia hidrográfica como unidade de gestão ambiental, teve sua consolidação na década de 1970, no Brasil em consequência da necessidade de promover a recuperação ambiental e a manutenção de recursos naturais escassos como a água. No entanto, para Porto; Porto (2008), a gestão dos recursos hídricos baseados na visão das bacias hidrográficas só ganhou força a partir de 1992, com a criação e difusão dos "Princípios de Dublin"<sup>1</sup>.

O Relatório da Conferência de Dublin sugere recomendações de ação em níveis locais, nacionais e internacionais (DOMINGUES, 2012, p.3):

Princípio nº 1 - A água doce é um recurso finito e vulnerável, essencial para sustentar a vida, o desenvolvimento e o meio ambiente.

Princípio nº 2 - Gerenciamento e desenvolvimento da água deverão ser baseados numa abordagem participativa, envolvendo usuários, planejadores legisladores em todos os níveis.

Princípio nº 3 - As mulheres formam papel principal na provisão, gerenciamento e proteção da água.

Princípio nº 4 - A água tem valor econômico em todos os usos competitivos e deve ser reconhecida como um bem econômico.

O documento coloca que para a efetiva gestão dos recursos hídricos deve-se buscar a integração e considerar todos os aspectos, físicos, sociais e econômicos, sugerindo assim uma gestão baseada nas bacias hidrográficas (PORTO; PORTO, 2008).

No Brasil, a Lei Federal número 9.433 de 8 de janeiro de 1997 consagra a bacia hidrográfica como a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de

---

<sup>1</sup> Reunião preparatória à Rio-92 em Dublin, Irlanda, nos dias 26 a 31 de janeiro de 1992. Quinhentos participantes, incluindo especialistas designados pelo governo, de cem países e representantes de oitenta organismos internacionais, intergovernamentais e não-governamentais participaram da Conferência Internacional de Água e Meio Ambiente (ICWE).

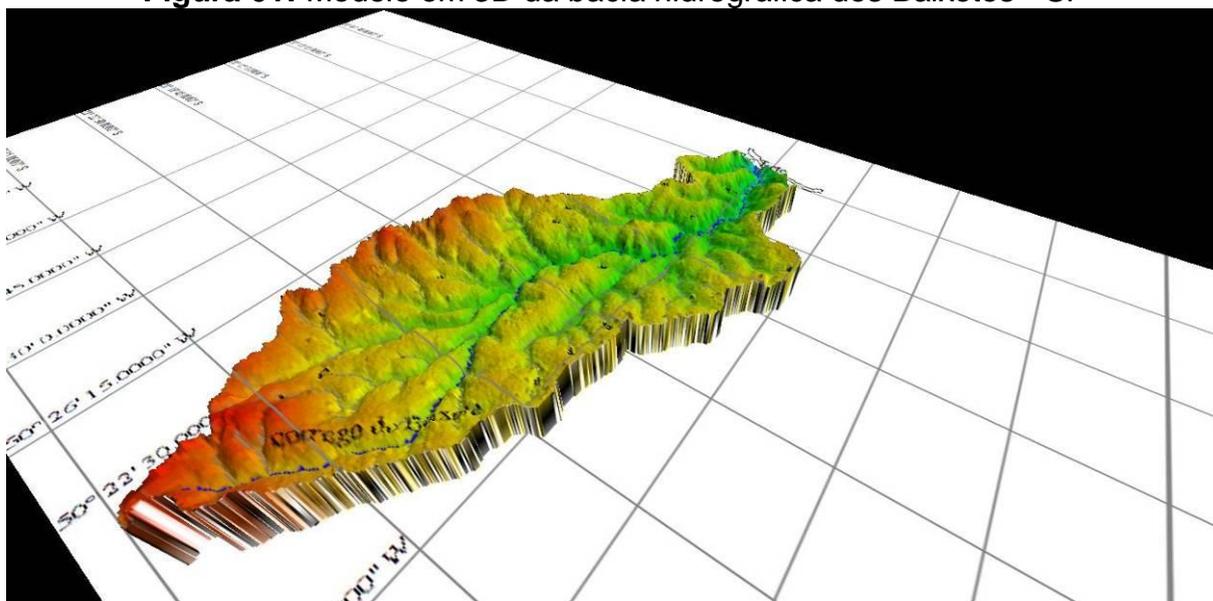
Recursos Hídricos, e prevê a integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental, entre elas as diversidades físicas, bióticas, demográficas, econômicas, sociais, culturais e de uso da terra (BRASIL, 1997).

Neste contexto, a bacia hidrográfica é reconhecida como unidade espacial utilizada em estudos de gestão para o planejamento territorial, permitindo os levantamentos relacionados à rede de drenagem, função relevante para compreensão do espaço geográfico e no desenvolvimento de projetos e ações para a melhoria das condições ambientais (BRIGUENTI, 2005).

Pode-se considerar que as bacias hidrográficas são sistemas complexos caracterizados como escoadouros naturais das áreas de drenagens adjacentes e que a complexidade do estado destes sistemas deve-se às condições naturais (solos, rochas e vegetação existentes), à geometria da bacia de drenagem (dimensões e formas de seus componentes), e ao uso da terra, além das condições climáticas locais (TOLEDO; NICOLELLA, 2002).

Para Tucci (1997), a bacia hidrográfica é composta por um conjunto de superfícies vertentes de uma rede de drenagem que pode ser entendida como uma área de captação natural da água de precipitação, que escoar para um único ponto de saída (o exutório). Para exemplificar um modelo em três dimensões (3D), utilizou-se o da bacia hidrográfica pesquisada (Figura 01).

**Figura 01:** Modelo em 3D da bacia hidrográfica dos Baixotes - SP



Elaboração: Rafael Marques dos Santos

Na área da bacia hidrográfica se desenvolve todas as atividades humanas (urbanas, industriais, agrícolas), sendo que todos esses processos geram consequências diretas e indiretas sobre o meio físico.

Neste contexto, vê-se a questão da gestão das bacias hidrográficas de acordo com a escala, o interesse, a dimensão e a problemática envolvida, como por exemplo:

A questão da escala a ser utilizada depende do problema a ser solucionado. Pode ser delimitada a totalidade da bacia do Rio Amazonas, desde suas cabeceiras mais distantes na cordilheira andina até seu exutório no Oceano Atlântico, assim como podem ser delimitadas suas sub-bacias, maiores ou menores, dependendo da necessidade do problema a ser abordado. Diz-se que o tamanho ideal de bacia hidrográfica é aquele que incorpora toda a problemática de interesse. Pode-se ter interesse em uma pequena bacia de 0,5km<sup>2</sup> numa área urbana, como na bacia do Rio São Francisco, com mais de seus 600.000km<sup>2</sup> de área. Esse conceito sistêmico adapta-se muito bem aos sistemas de gestão de recursos hídricos (PORTO; PORTO, 2008, p. 45).

Apesar do Brasil instituir como dever da União o papel da gestão dos recursos hídricos<sup>2</sup> (BRASIL, 1988), a bacia hidrográfica não é vista como recursos hídricos e sim como unidade territorial, conforme a Lei 9.433/1997(BRASIL, 1997). Sendo assim, a gestão deste território deve ser integrada e atribuída a União, aos Estados e aos Municípios que esta bacia hidrográfica abriga.

Por meio do Comitê de Bacia Hidrográfica, previsto na Lei n. 9.433/1997 (BRASIL, 1997), a decisão e gestão das bacias hidrográficas podem ser trazidas ao nível local, possibilitando uma gestão caso a caso, dando a possibilidade de conformá-las de acordo com a escala e as características da problemática local (PORTO; PORTO, 2008).

No campo da Geografia, as bacias hidrográficas são consideradas unidades de investigação mais antigas, formada por uma rede de drenagem de um rio principal com seus afluentes, sendo composta por subsistemas (sub-bacia) e com diferentes ecossistemas (várzea, terra firme, etc). Nesse sentido é necessário realizar diagnósticos a fim de subsidiar planos de gestão dos recursos hídricos,

---

<sup>2</sup> Art. 20. São bens da União:

[...]

III - os lagos, rios e quaisquer correntes de água em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham, bem como os terrenos marginais e as praias fluviais;

[...]

(BRASIL, 1988)

tendo em vista o desenvolvimento econômico e social em harmonia com a natureza com o mínimo de degradação possível. Portanto, a preocupação de se estudar uma dada bacia e elaborar propostas para melhor atender o desenvolvimento harmônico, sendo este muito difícil de ser administrado, mais com propósitos de mitigar alguns impactos causados pela ação antrópica (CUNHA; COELHO, 2003).

Sendo assim, a utilização da bacia hidrográfica como unidade de estudo permite o planejamento dos recursos hídricos, pois se podem levantar nela dados ambientais relevantes, como aspectos climáticos, relevo, características geológicas, hidrologia, uso e ocupação das terras, qualidade da água, os efeitos antrópicos, possibilitando assim a caracterização, a classificação, os diagnósticos, os prognósticos e o zoneamento ambiental do sistema (MORAES, 2001).

Na bacia hidrográfica podemos perceber particularidades associadas aos diferentes atributos naturais que a formam, podendo apresentar áreas com diversos graus de degradação ambiental já instalados, ou que são vulneráveis para o desenvolvimento acelerado da degradação ambiental.

## **2.2. Análises sistêmicas das unidades de paisagem e de intervenções antrópicas**

A abordagem sistêmica da paisagem permite, entre outros fatores, a análise e a compreensão ambiental de uma determinada unidade de paisagem que está associada com variáveis da intervenção antrópica. Sendo assim, na sequência serão apresentados os aspectos conceituais que fundamentaram a abordagem sistêmica e os modelos que abordam a vulnerabilidade e a fragilidade de uma determinada área no contexto sistêmico.

### **2.2.1 O conceito de Ecodinâmica**

O estudo da dinâmica dos elementos que constituem o meio físico se baseou nos preceitos de Tricart (1977), a proposta foi desenvolvida com base na Ecodinâmica, definidas pelo autor, que visa a realizações de análises integradas de dados, a partir de combinações dos elementos físicos, biológicos e antrópicos, que tornam a paisagem um conjunto único e indissociável, em constante evolução (BERTRAND, 1968).

Para Tricart (1977, p.32), "o conceito de unidades ecodinâmicas é integrado no conceito de ecossistema. Baseia-se no instrumento lógico de sistema, e enfoca as relações mútuas entre os diversos componentes da dinâmica e os fluxos de energia/matéria no meio ambiente [...]". Para o autor o meio é dinâmico e está em constantes modificações à interface atmosfera-litosfera; assim o autor define três grandes tipos de meios morfodinâmicos, que são explicitados na sequência e no Quadro 01.

- **Meios Estáveis:** Tem uma lenta evolução resultante da permanência no tempo de combinações de fatores. Encontram-se em regiões morfodinamicamente estáveis, com cobertura vegetal fechada, dissecação moderada e ausência de manifestações vulcânicas.
- **Meios Intergrades:** São meios de transição entre os meios estáveis e os meios instáveis. Possuem uma interferência permanente de morfogênese e pedogênese no mesmo espaço que variam em função de dois critérios, qualitativo e quantitativo. O qualitativo é quando os processos morfogênicos afetam unicamente a superfície do solo e não alteram os horizontes do perfil, afetando diretamente a cobertura vegetal. O ponto de vista quantitativo está relacionado ao balanço pedogênese/morfogênese e aos movimentos de massa que afetam o solo em toda a sua espessura e causam diferenciação do solo em todos os seus horizontes.
- **Meios Fortemente Instáveis:** Nesses meios a morfogênese é o elemento predominante da dinâmica natural, e fator determinante do sistema natural, ao quais outros elementos estão subordinados: Deformações tectônicas, cobertura vegetal, oscilações climáticas e degradações antrópicas.

**Quadro 01:** Classificações Ecodinâmicas para Tricart (1977)

Unidade	Relação Pedogênese-Morfogênese
Estável	Prevalece a Pedogênese
Intermediária	Equilíbrio entre Pedogênese-Morfogênese
Instável	Prevalece a Morfogênese

**Fonte:** adaptado de Tricart (1977)

Segundo Tricart (1977, p.65): "A organização ou reorganização do território exige um diagnóstico preliminar destinado a esclarecer a escolha [...] e as características físicas constituem elemento importante a ser levado em

consideração[...]". Este diagnóstico é importante tanto para o planejamento urbano, quanto para o rural. No urbano é necessário conhecer as aptidões dos terrenos para construção, principalmente as limitações por eles impostas a fim de se evitar custos desnecessários na construção e manutenção. No rural, o meio natural fornece os recursos essenciais para produção e a economia.

O autor repassa etapas sucessivas para o levantamento dos aspectos do meio natural a fim de deduzir um primeiro diagnóstico:

*A. Definição do quadro regional:*

1. Condições Climáticas: Definir o clima regional
2. Condições Morfoestruturais:
  - I. Pelas características tectônicas (deformações recentes e antigas)
  - II. Pela litologia (substratos geológicos)

*B. Análise Morfodinâmica*

1. Sistemas Morfogenéticos (clima, relevo e litologia)
2. Estudo dos processos atuais:
  - I. Pela natureza dos processos atuais
  - II. Pela intensidade dos processos
  - III. Pela distribuição dos processos
3. Influências Antrópicas
4. Grau de estabilidade Morfodinâmica (Sistemas Morfogenéticos X Degradação Antrópica)

*C. Recursos Ecológicos*

1. Recursos e regimes hídricos
2. Condições ecoclimatológicas
3. Solos
4. Diagnóstico agrológico

*D. Problemas da gestão do território*

1. Apresentação dos manejos possíveis
2. Classificação das regiões em função da gestão



### 2.2.2. Modelo de Vulnerabilidade ambiental

O conceito de vulnerabilidade ambiental tem sido utilizado em diferentes ciências e vem produzindo vários estudos. Hogan (2005) defende a importância da identificação da vulnerabilidade ambiental como auxílio na distinção entre impacto e risco, e a emprega em estudos populacionais, de vulnerabilidade social e sustentabilidade ambiental.

Figueirêdo et al (2010) conceituam a vulnerabilidade ambiental como a sensibilidade de um sistema, tendo em vista o desgaste do meio físico. Os autores classificam em três os aspectos para a análise da vulnerabilidade ambiental, sendo eles a exposição, a sensibilidade do sistema e a capacidade de resposta do meio físico.

A metodologia proposta por Crepani et al (2001) foi desenvolvida a partir do conceito da Ecodinâmica de Tricart (1977), conforme apresentado anteriormente, para a obtenção da vulnerabilidade natural à perda de solo com o intuito de subsidiar o Zoneamento Ecológico-Econômico da Amazônia. Nesta análise quando predomina a morfogênese prevalecem os processos erosivos, modificadores das formas de relevo, e quando predomina a pedogênese prevalecem os processos formadores de solos e da potencialidade para estudos integrados das imagens de satélite que permitem uma visão sinótica, repetitiva e holística da paisagem.

Segundo Crepani et al (2001), os critérios desenvolvidos a partir desses princípios permitiram a criação de um modelo capaz de avaliar, de forma relativa e empírica, o estágio de evolução morfodinâmica das unidades territoriais básicas, atribuindo valores de estabilidade às categorias morfodinâmicas (Quadro 02).

**Quadro 02:** Avaliação da estabilidade das categorias morfodinâmicas

<b>Categoria morfodinâmica</b>	<b>Relação Pedogênese/Morfogênese</b>	<b>Valor</b>
Estável	Prevalece a Pedogênese	1,0
Intermediária	Equilíbrio Pedogênese/Morfogênese	2,0
Instável	Prevalece a Morfogênese	3,0

**Fonte:** Crepani *et al.* (2001)

Para Crepani et al (2001), o modelo procura contemplar maior variedade de categorias morfodinâmicas, de forma a se construir uma escala de vulnerabilidade

para situações que ocorram naturalmente através de um modelo que estabelece 21 classes de vulnerabilidade à perda de solo, distribuídas entre as situações onde há o predomínio dos processos de pedogênese, às quais se atribuem valores próximos de 1,0, passando por situações intermediárias, às quais se atribuem valores ao redor de 2,0 e situações de predomínio dos processos de morfogênese às quais se atribuem valores próximos de 3,0 (Figura 02).

**Figura 02:** Escala de vulnerabilidade das unidades territoriais básicas

UNIDADE DE PAISAGEM	MÉDIA		GRAU DE VULNERAB.	GRAU DE SATURAÇÃO			
				VERM.	VERDE	AZUL	CORES
U1	↑	3,0	VULNERÁVEL	255	0	0	
U2		2,9		255	51	0	
U3		2,8		255	102	0	
U4	V	2,7		255	153	0	
U5	U	2,6	MODERADAM. VULNERÁVEL	255	204	0	
U6	L	2,5		255	255	0	
U7	N	2,4		204	255	0	
U8	E	2,3		153	255	0	
U9	R	2,2	MEDIANAM. ESTÁVEL/ VULNERÁVEL	102	255	0	
U10	A	2,1		51	255	0	
U11	B	2,0		0	255	0	
U12	I	1,9		0	255	51	
U13	L	1,8	MODERADAM. ESTÁVEL	0	255	102	
U14	I	1,7		0	255	153	
U15	D	1,6		0	255	204	
U16	A	1,5		0	255	255	
U17	D	1,4	ESTÁVEL	0	204	255	
U18	E	1,3		0	153	255	
U19		1,2		0	102	255	
U20		1,1		0	51	255	
U21		1,0		0	0	255	

Fonte: Crepani *et al.* (2001)

Como resultado final, esta metodologia apresenta a vulnerabilidade de cada unidade ambiental em função das informações provenientes de cada tema avaliado, ou seja, cada unidade territorial básica recebe um valor final resultante da média aritmética dos valores individuais segundo uma equação empírica, que busca representar a posição desta unidade dentro da escala de vulnerabilidade natural à perda de solo (SPORL; ROSS, 2004). Ou seja,

$$\text{VULNERABILIDADE} = \frac{(G + R + S + V + C)}{5}$$

5

Onde:

G = vulnerabilidade para o tema Geologia

R = vulnerabilidade para o tema Geomorfologia

S = vulnerabilidade para o tema Solos

V = vulnerabilidade para o tema Vegetação

C = vulnerabilidade para o tema Clima

Dentro desta escala de vulnerabilidade as unidades que apresentam maior estabilidade são representadas por valores mais próximos de 1,0, as unidades de estabilidade intermediária são representadas por valores ao redor de 2,0, enquanto que as unidades territoriais básicas mais vulneráveis apresentam valores mais próximos de 3,0 (CREPANI et al, 2001).

Portanto, com este modelo é possível elaborar cartas de vulnerabilidade natural à perda de solo, a partir de um banco de dados contendo as informações básicas do meio físico e de uso da terra de uma determinada região (geologia, geomorfologia, pedologia, de cobertura vegetal e uso da terra). O grau de vulnerabilidade é baseado nos processos de morfogênese e pedogênese, e expresso pela atribuição de valores (de 1 a 3, num total de 21 valores) para cada unidade de paisagem (CREPANI et al, 2001).

Outro fator importante é a escala de trabalho, segundo Fagundes; Queiroz Filho (2014) que constataram em seu artigo que, independentemente da escala, as cartas de vulnerabilidade apresentaram os valores extremos atenuados e valores medianos preponderantes. Acredita-se, conseqüentemente, que a forma de cálculo dessa metodologia, baseada nas médias dos temas, se mostrou mais importante do que o nível de detalhamento das representações cartográficas.

A metodologia proposta por Crepani et al (2001) é um modelo matemático espacial, baseado em uma média aritmética que tem como resultado final um mapa síntese. Neste contexto, o modelo é uma estruturação simplificada da realidade que foi desenvolvido a partir de uma visão específica. Seguindo esta perspectiva, Spörl, Castro e Luchiari (2011) estudaram a construção de sistemas ambientais e apontaram que o modelo desenvolvido por Crepani et al (2001), trabalha com valores médios para o produto final, pressupondo que todas elas têm a mesma importância (peso) para o estabelecimento do grau de fragilidade. Para os autores, as "deficiências apresentadas pelos modelos são resultantes da grande dificuldade em ajustar os modelos propostos de análise da Fragilidade Ambiental de maneira a conciliá-los com os fenômenos complexos da natureza" (SPÖRL, CASTRO e LUCHIARI, 2011, p. 115).

Diante destas constatações surge uma incerteza na questão da confiabilidade destes modelos. Desta forma, verifica-se a necessidade de que todo modelo deve ser testado, validado e, mais importante ainda, ser falseado. Os modelos devem estar num contínuo processo de busca de erros para a sua depuração. Pode-se

dizer que o objetivo mais importante é verificar sob quais condições o modelo não funciona, ou seja, verificar e comprovar quais as suas limitações (SPÖRL, CASTRO e LUCHIARI, 2011, p. 116).

Para Haggett e Chorley (1975) a construção de modelos “implica numa atitude altamente seletiva quanto às informações”, que elimina “detalhes acidentais” e “permitem salientar alguns aspectos fundamentais, importantes ou interessantes do mundo real sob forma generalizada”. Portanto, assim como outros modelos, o modelo de Crepani et al (2001) é uma visão generalizada da realidade considerando atributos seletivos, o que não determina uma situação real de paisagem em toda a sua complexidade, e seguindo esta visão, corre o risco de ser reducionista, se não for testado e validado.

Ainda assim, a modelagem constitui-se importante instrumento para analisar as características e investigar mudanças nos sistemas ambientais (CHRISTOFOLETTI, 1999). Para o autor, um modelo permite a compreensão do funcionamento de um sistema ambiental e deve ser utilizado na análise dos sistemas das organizações espaciais, pois expressa as relações entre os seus diversos componentes, sendo o melhor meio para se atingir a compreensão da realidade. Portanto, um modelo permite a manipulação dos diversos componentes de um sistema ambiental, favorecendo a leitura de uma realidade.

Carvalho (2013) propôs a elaboração de um novo modelo ambiental após testar outros modelos existentes, um deles o desenvolvido por Crepani et al (2001). A autora constatou que os modelos existentes muitas vezes não respondem a realidade encontrada em bacias hidrográficas de pequeno porte, por não ter peso em seus atributos, generaliza ambientes com pouca diferenciação, mascarando áreas com maior fragilidade. A autora aponta que, em situações onde há ambientes mais homogêneos, é necessário que se conheça a área para se testar o modelo e se necessário ajustá-lo com a definição de pesos distintos, aproximando o resultado da realidade encontrada.

Melo (2010) comparou em sua pesquisa de mestrado modelos de fragilidade ambiental (Crepani et al, 1996 e Ross, 1994) mediante a análise integrada do ambiente. Segundo o autor, o modelo de Crepani et al (2001):

[...] sintetiza o resultado numa carta, onde todas as variáveis determinam a maior ou menor fragilidade potencial e emergente da área, isso ocorre durante a interrelação e mediação das mesmas, ou

seja, utilização da média aritmética entre as variáveis. Desta forma assume-se que todas as variáveis teriam a mesma importância, resultando assim numa maior coerência com a realidade, porém, se numa determinada área uma das variáveis estiver influenciando mais significativamente o estado de equilíbrio/desequilíbrio dinâmico, esta não terá um peso maior “encobrindo” assim os resultados (MELO, 2010, p. 81).

Já Paiva (2010) trabalhou em sua pesquisa de mestrado com a compartimentação em unidades de paisagem, a aplicação de modelo de índice de vulnerabilidade ambiental e o levantamento da evolução do uso do solo nas mesorregiões geográficas Norte Central e Noroeste paranaense, por meio, da metodologia de aplicação em Sistemas de Informações Geográficas (SIG) proposta por Crepani et al (2001). Como resultado, o autor concluiu que o nível de vulnerabilidade variou segundo as unidades de paisagem, e que a Geomorfologia e a Geologia foram preponderantes, bem como as áreas com maiores graus de vulnerabilidades que são associadas à declividade e aos solos mais arenosos e de pouca espessura. Segundo o autor, por haver pouca variação da intensidade pluviométrica, o clima pouco influenciou para a equação final. Este resultado apontado por Paiva (2010) é importante quando se trabalha áreas menores, que sofrem poucas mudanças na variação do clima, pois o mesmo não vai interferir significativamente no resultado final.

Os diferentes graus de risco que podem ser identificados na vulnerabilidade ambiental se mostram um importante ponto de diálogo interdisciplinar, apontando para os estudos que contemplam as relações entre o homem e o meio. Neste sentido, pode-se indicar que, num sistema natural relativamente estável, a vulnerabilidade do ambiente modificada pela ação antrópica, pode sofrer modificações, ou seja, alterações no grau de estabilidade que pode passar de grau baixo e médio para grau alto, se mostrando instável e, necessitando de uma gestão ambiental na bacia hidrográfica de maneira diferenciada.

### **2.2.3. Modelos de Fragilidade ambiental**

O mapeamento das fragilidades agrupa os ambientes em relação aos diferentes níveis de vulnerabilidade. Tais informações permitem ao planejador

elaborar ações de intervenção técnica, adequadas a cada condição (KAWAKUBO et al, 2005).

Os estudos relativos à fragilidade dos ambientes são de extrema importância ao Planejamento Ambiental, onde a identificação dos ambientes naturais e suas vulnerabilidades potenciais e emergentes proporcionam uma melhor definição das diretrizes e ações a serem implementadas no espaço físico-territorial, servindo de base para o zoneamento e fornecendo subsídios à gestão do território (SPÖRL, 2001).

Os sistemas de produção agrícola provocam transformações, em maior ou menor grau, nos elementos que constituem a estrutura geocológica da paisagem rural, e, qualquer interferência em um dos seus componentes (relevo, rocha, solos, vegetação, clima e recursos hídricos) se reflete sobre os outros elementos, alterando o seu equilíbrio dinâmico (DEFFONTAINES, 1998). Quando este equilíbrio é alterado, segundo Ross (1990), estados de desequilíbrios temporários ou permanentes são gerados, modificando o funcionamento do sistema natural e, muitas vezes, desencadeando processos de degradação.

Segundo Spörl (2001) o homem mantém relação com a natureza a partir, das suas diferentes formas de ocupação e utilização do ambiente natural. Assim como, a partir das intervenções humanas, os sistemas ambientais apresentam maior ou menor vulnerabilidade em função de suas características “genéticas”. E qualquer alteração nos diferentes componentes da natureza (relevo, rocha, solo, vegetação, clima e recursos hídricos) acarreta o comprometimento da funcionalidade do sistema, quebrando o seu estado de equilíbrio dinâmico.

- *Modelo de Fragilidade com base nos Índices de dissecação do relevo (ROSS, 1990)*

Este modelo propõe uma análise integrada das variáveis do relevo, dos solos, do uso da terra/cobertura vegetal e do clima. Cada uma destas variáveis é hierarquizada em cinco classes de acordo com sua vulnerabilidade. Assim, as variáveis mais estáveis apresentarão valores mais próximos de 1, as intermediárias ao redor de 3 e as mais vulneráveis estarão próximas de 5 (SPÖRL, 2007).

Da combinação desses conjuntos arábicos é possível hierarquizar os graus de fragilidade. Por exemplo, o conjunto numérico 1111 representa uma área com relevo de dissecação muito fraco, solos de muito fraca erodibilidade, recobertos por

mata e com uma situação pluviométrica regular com volumes próximos de 1000 mm/ano. Já o conjunto numérico 5555 apresenta todas as variáveis vulneráveis à erosão. Como por exemplo, uma área com um relevo fortemente dissecado, com solos muito frágeis aos processos erosivos, desprovida de cobertura vegetal, e ainda, com situações pluviométricas com distribuição irregular e volumes superiores a 2500 mm/ano (SPÖRL, 2007).

Ross (1994) sistematizou uma hierarquização da vulnerabilidade representada por códigos: muito fraca (1), fraca (2), média (3), forte (4) e muito forte (5). Estas classes expressam, principalmente, a vulnerabilidade do ambiente em relação aos processos ocasionados pelo escoamento superficial difuso, e concentrado das águas pluviais. Através, desta análise empírica proposta é possível estabelecer quais áreas podem ser consideradas como mais críticas do ponto de vista da fragilidade potencial natural, sendo que a dissecção do relevo (1º dígito) é a variável que determina o grau de fragilidade de cada área analisada, e as demais variáveis irão hierarquizar através de seus coeficientes (SPÖRL; ROSS, 2004).

- *Modelo de Fragilidade Potencial Natural com apoio nas Classes de Declividade (ROSS, 1990)*

Neste modelo, ao invés de utilizar os índices de dissecção do relevo como suporte para a elaboração da carta-síntese de fragilidade, usa-se as classes de declividade. Essas classes de declividade são hierarquizadas em cinco categorias: Muito Fraco – < 6%; Fraco – 6 a 12%; Médio – 12 a 20%; Forte – 20 a 30%; e Muito Forte – > 30% (SPÖRL; ROSS, 2004).

As demais variáveis são classificadas em cinco graus diferenciados de vulnerabilidade (Quadro 03).

**Quadro 03:** Variáveis de Fragilidade

Variáveis	Definição	Graus de Fragilidade
Declividade	Categoria hierárquica	Muito fraca (1) a muito forte (5)
Solos	Classe de fragilidade	Muito baixa (1) a muito forte (5)
Cobertura Vegetal	Grau de proteção	Muito alto (1) a muito baixo/nulo (5)
Pluviosidade	Categoria hierárquica	Muito fraca (1) a muito forte (5)

Fonte: Adaptado de (SPÖRL; ROSS, 2004)

A classificação da fragilidade compõe-se da combinação numérica desses quatro dígitos, que representam as características de cada variável presente numa determinada área (SPÖRL; ROSS, 2004).

Para Bonifácio (2013) que utilizou o modelo proposto por Ross (1994, 1996), e desenvolveu uma forma de avaliação que possibilitasse a elaboração de cartas de fragilidade ambiental sintéticas, que refletisse o essencial da estrutura geoecológica da paisagem e que fosse de fácil compreensão. O estudo considerou o tipo de solo e a declividade como elemento que hierarquiza o grau de fragilidade dentro de cada classe.

Sendo assim, o desenvolvimento de uma nova proposta, partindo da de Rossi (1994, 1996) só foi possível a partir da análise integrada da paisagem, do levantamento da sua estrutura geoecológica e identificação das diversas unidades de paisagem. Para a autora, o resultado final mostrou uma "identidade entre as unidades de paisagem estabelecidas pela análise integrada e a fragilidade determinada" (BONIFÁCIO, 2013, p. 96), reproduzindo as diferenças observadas na estrutura geoecológica e na dinâmica (processos) associada.

Segundo Melo (2010) a análise empírica da fragilidade, modelo proposto por Ross (1994), por sua vez aponta que:

A fragilidade ambiental dos ambientes naturais e antropizados através da combinação de quatro variáveis, relevo, solos, cobertura vegetal/uso do solo e clima (pluviosidade), onde o peso da primeira variável determina a fragilidade, enquanto que as demais seriam um complemento para precisar o estágio de estabilidade/instabilidade. Neste caso, a fragilidade é indicada do ponto de vista natural, devido principalmente às condições de relevo, aqui representado pela declividade. Segundo este modelo, as atividades econômicas básicas perdem importância como agente transformador do ambiente, pois mesmo em área de baixas declividades da bacia há ocorrência de ravinas e voçorocas resultantes da falta de planejamento urbano (MELO, 2010, p. 82).

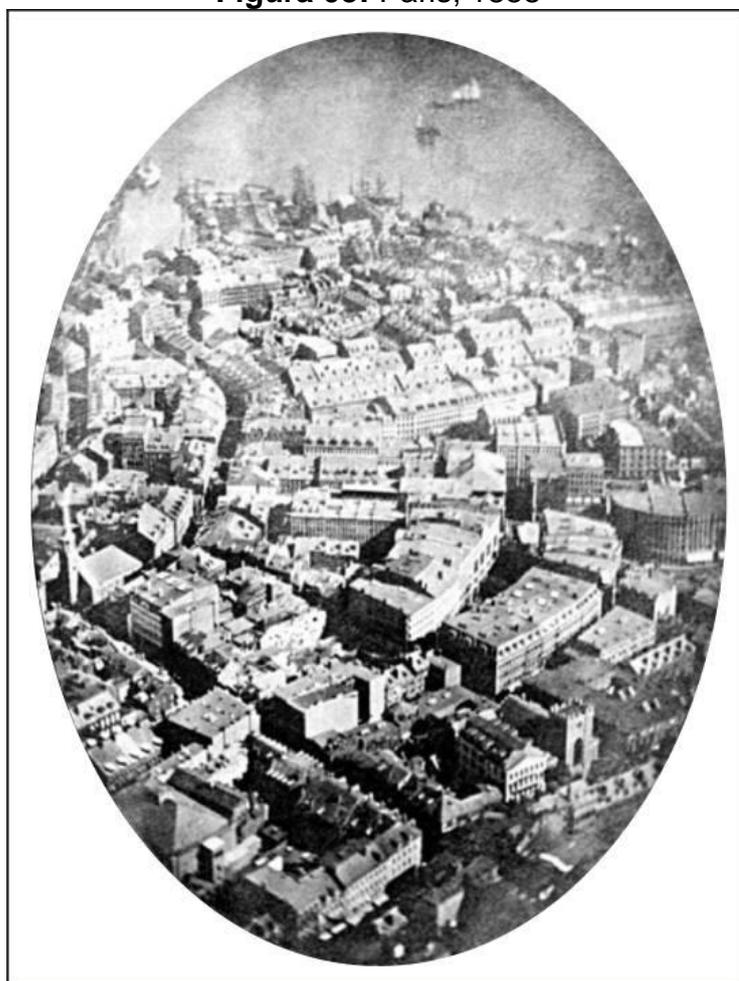
Em trabalho realizado por Santos (2009), a carta de fragilidade potencial obtida pelo confronto das classes de declividades com os tipos de solos mostrou diferentes graus de fragilidade potencial ao longo do território municipal, apresentando fragilidade muito baixa a baixa nos topos e moderada ao longo das vertentes. Entretanto, a fragilidade emergente demonstra que o uso com culturas temporárias eleva a sua vulnerabilidade.



### 2.3 Geotecnologias aplicadas à análises sistêmicas

Desde 1856 o homem faz uso de meios tecnológicos para se conhecer a superfície do planeta. A primeira fotografia aérea data de 1856 e foi tirada de um balão para fins militares (FLORENZANO, 2011). No entanto, a ideia de se tirar fotografias aéreas com o uso de balões para uso topográfico já havia sido patenteada pelo francês Gaspard-Félix Tournachon, conhecido por "Nadar"<sup>3</sup> (Figura 03).

**Figura 03:** Paris, 1858



Fonte: <http://myweb.unomaha.edu/>

---

<sup>3</sup> O fotógrafo e aeronauta francês Gaspard-Félix Tournachon, conhecido por "Nadar", (1820-1910) foi o primeiro a tirar fotografias aéreas sobre Paris, em cima de um balão, em 1858 (em 1855 ele patenteou a ideia de utilizar fotografias aéreas na elaboração de mapas e nos levantamentos topográficos).

Fonte: <http://www.windpassenger.pt/pt/balonismo-tudo-sobra-balonismo/historia/balonismo-de-1790-ate-1861/>

A utilização de fotografias aéreas se intensificou com o surgimento das fotografias aéreas tiradas por aviões (1909), e durante a Primeira e Segunda Guerra Mundial. Na década de 1960 surgem as primeiras fotografias orbitais da superfície terrestre tiradas de satélites tripulados (Mercury, Gemini e Apolo) e em 1972 foi lançado o primeiro satélite de recursos terrestres, ERTS-1, mais tarde denominado Landsat-1 (FLORENZANO, 2011).

Neste contexto, as geotecnologias são compostas por soluções em *hardwares*, *softwares* e *peoplewares*, que promovem a coleta, armazenamento, processamento, análise e disponibilização de dados. Segundo Câmara et al (1996), a estrutura dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) possui os seguintes componentes: interface com o usuário; entrada e integração dos dados; armazenamento e recuperação de dados (sistemizados sob forma de um banco de dados geográficos).

Os Sistemas de Informação Geográfica são ferramentas computacionais para o geoprocessamento que torna possível a automatização da produção de documentos cartográficos (CÂMARA et al, 2001). O desenvolvimento dos SIGs porém deve-se também a outros fatores, como a evolução dos computadores (*hardware*) e dos programas específicos (*software*), segundo Fitz (2008).

Segundo Câmara et al (2000), o termo Sistema de Informações Geográficas (SIG) é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos. Para Fitz (2008), os produtos gerados por um SIG vinculam-se ao espaço físico, mas com interação entre os fenômenos climáticos, humanos, sociais e econômicos, possibilitando assim, informações para subsidiar a gestão e a tomada de decisões. Para o autor: "As aplicações desses sistemas demonstram ser [...] incontáveis. Ações vinculadas ao planejamento, à gestão, ao monitoramento, ao manejo, à caracterização de espaços urbanos ou rurais certamente serão melhor trabalhadas com o auxílio de um SIG [...]" (FITZ, 2008, p. 26).

A capacidade de realizar operações com dados espaciais permite ao SIG o levantamento, a manipulação digital, o mapeamento e a análise de um conjunto de atributos georreferenciados. Com isso, os aplicativos SIGs estão, de forma crescente, contribuindo na produção do conhecimento científico e na tomada de decisão do planejamento urbano, regional e nacional (BRIGUENTI, 2005).

Pode-se dizer que a partir de uma imagem de satélite, analisa-se o conjunto integrado do território e separa-se em diferentes unidades de paisagem para melhor

compreensão dos dados do ambiente em questão. Como as pesquisas desenvolvidas por Kawakubo et al (2005), que os resultados mostraram a eficácia dos sistemas computacionais na análise empírica da fragilidade ambiental. A aplicação correta dos modelos de grade que envolvem a Modelagem Numérica do Terreno e do tipo de álgebra de mapas são importantes para explorar com maior eficiência os dados disponíveis.

Souto e Amaro (2005) destacam a importância de um mapeamento de vulnerabilidade no diagnóstico de possíveis problemas ambientais e enfatizam que as técnicas de geoprocessamento aplicadas a estes estudos podem ser associadas ao conhecimento à exploração de práticas de controle e proteção de áreas fragilizadas.

Para Bacani (2010) a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento amplia-se para aplicações diversas, marcadas notadamente pelos avanços tecnológicos. O uso das geotecnologias como ferramenta de análise das bacias hidrográficas, possibilita a realização de uma efetiva radiografia desses sistemas ambientais, a partir da elaboração de modelos digitais, e cruzamento de diversos aspectos naturais e sociais, implementados em um Sistema de Informação Geográfica (SIG).

Saito (2011) vem ressaltar a relevância do uso de geotecnologias apontando a facilidade de acesso às ferramentas de geoprocessamento. Por meio do uso de SIG's é possível analisar áreas em diferentes datas, simular futuros cenários, avaliar ambientes por multicritérios, manipular dados, entre outras situações. Para a autora “muitos tomadores de decisão, planejadores e administradores também desconhecem a potencialidade das geotecnologias para a gestão, prevenção e mitigação de desastres naturais e eventos extremos”.

As geotecnologias se apresentam como importante instrumento na identificação de áreas vulneráveis. Utilizando-se da união de variáveis do meio físico, Rodrigues e Pereira (2013) mapearam áreas de fragilidade utilizando recursos de SIG e Sensoriamento Remoto, por meio da elaboração de um banco de dados georreferenciado, processamento e geração de uma carta síntese, a fim de orientar a melhor alternativa à gestão integrada de unidades de conservação.

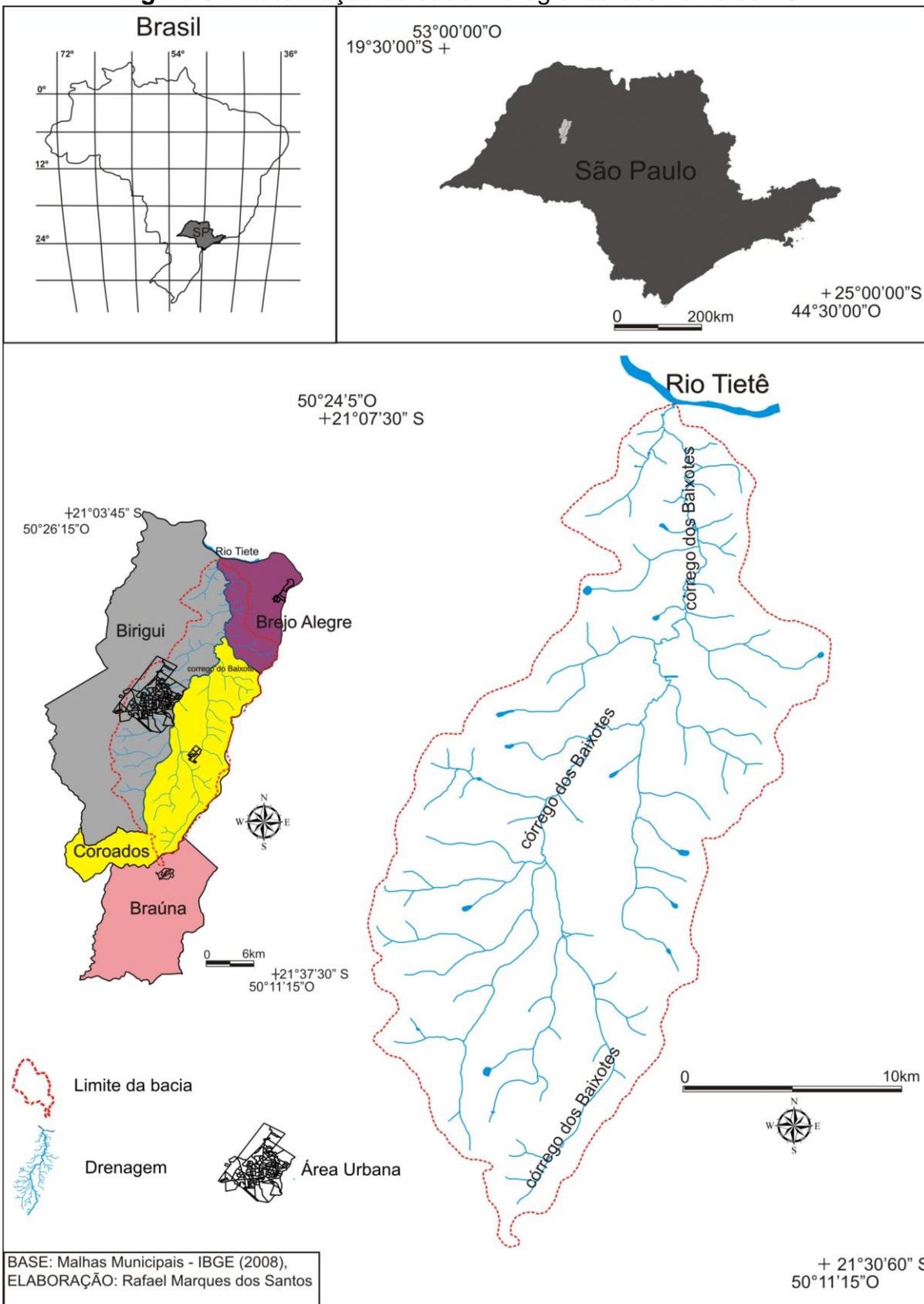
### **3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO: ASPECTOS REGIONAIS E LOCAIS**

A bacia hidrográfica do córrego dos Baixotes (Figura 04) está localizada no Oeste Paulista sob coordenadas geográficas 21°07'30" e 21°30'00" latitudes Sul, 50°24'22,5" e 50°11'15" longitudes Oeste, apresentando uma área com aproximadamente 425km<sup>2</sup>, constituindo-se em uma sub-bacia do rio Tietê. A bacia dos Baixotes apresenta uma grande importância regional, utilizando-se para o abastecimento de água dos municípios de Birigui, Coroados e Brejo Alegre.

Em relação ao abastecimento público de água, realizado pela Prefeitura Municipal de Birigui, sendo o maior município que se situa dentro da área de estudo, segundo dados da Secretaria de Água e Esgoto, são consumidos aproximadamente 24.000 m<sup>3</sup> de água por dia, originados 60% de captação superficial (córrego dos Baixotes) e 40% de águas subterrâneas (GOMES, 2013).

Outro fator, é a intensificação do processo da cultura temporária, ocorrendo em todos os municípios que compreende a bacia hidrográfica, à expansão da cana-de-açúcar, devido o aumento de usinas sucroalcooleiras. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), os municípios (Birigui, Braúna, Brejo Alegre e Coroados) abrangidos pela bacia hidrográfica do córrego dos Baixotes, apresentam aproximadamente uma população de 121.560 habitantes.

**Figura 04:** Localização da bacia hidrográfica dos Baixotes - SP



### 3.1 Breve histórico da ocupação do Oeste Paulista e municípios da bacia estudada

Para o início deste tópico, faz-se necessário definir a localização da região do Oeste Paulista, onde está inserida a área de estudo. Existem na literatura muitas controvérsias a respeito de sua inserção regional, fato este que se explica pelo próprio processo histórico de ocupação do estado de São Paulo. Foi apenas no século XX, com o avanço da ocupação do território, que a classificação atual se fez. Anteriormente, o Oeste Paulista (histórico) englobava todo o Centro-Oeste Paulista, além do Nordeste e Noroeste Paulista.

Segundo Victor et al (2005), o processo de ocupação do território paulista se deu em fases, principalmente ocorridos a partir do ciclo cafeeiro. Até 1856 o café entrava em São Paulo pelo Vale do Paraíba, proveniente do Rio de Janeiro. Os próximos trinta anos são marcados pelo firmamento do café como cultura principal, ocasionando o avanço da ocupação do estado na região Norte e Central. "O Vale do Paraíba, considerado então a "região norte" do Estado, e que em 1854 produzira 77% do total do café do Estado, passa em 1886 a produzir 20% do total, perdendo em termos relativos para as regiões Central, Mogiana e Paulista". Fica evidenciado nesta passagem, que a classificação regional do Estado de São Paulo passou por mudanças segundo a sua ocupação.

Para Ghirardello (2002), muitos documentos históricos situam regiões do estado de São Paulo de maneira genérica:

[...] A falta de precisão por vezes resulta em dificuldades de situar determinado fato ou acontecimento em áreas que podem estar fisicamente distantes: a Oeste, Nordeste ou Noroeste do Estado. Consideramos que só depois do reconhecimento do sistema fluvial do lado ocidental de São Paulo é que as regiões serão designadas conforme os limites dos rios, pois estes guardam algum paralelismo. São eles: Tietê, Aguapeí/Feio, Peixe e Paranapanema, todos tributários do Rio Paraná. Com a chegada das ferrovias e, particularmente, após os anos 1920, quando o sistema ferroviário estiver quase completo, como hoje o conhecemos, é que as diversas áreas do Estado passarão a ser designadas pelos nomes das companhias que as serviam. Denominação, até pela decadência das estradas de ferro, atualmente em desuso. (GHIRARDELLO, 2002, p. 70).

Segundo o mesmo autor, a expansão da linha férrea do estado de São Paulo para a região oeste a partir da criação da Companhia Estrada de Ferro Noroeste do Brasil (CEFNOB) no Estado de São Paulo, favoreceu o desenvolvimento regional e a criação de novos vilarejos, estes formados em sua grande parte, através da comercialização de terras devolutas (GHIRARDELLO, 2002).

### **3.1.1 Ocupação dos municípios da Bacia Hidrográfica dos Baixotes**

- **Birigui**

A cidade de Birigui surgiu e cresceu a partir da Estrada de Ferro Noroeste do Brasil no Estado de São Paulo, construída no início do século. No começo foi uma chave na clareira, situada entre os quilômetros 259 e 261 que em 1908 passou a ser um ponto de parada de locomotivas. O povoado foi fundado em 7 de dezembro de 1911 pelo Senhor Nicolau da Silva Nunes que conheceu a região atraído por um artigo de jornal, adquirindo assim, 400 alqueires para si e seus representados, Antonio Gonçalves Torres e Afonso Garcia Franco, e quando voltou para Sales de Oliveira, a cidade onde morava, colocou os lotes à venda (IBGE, 2015).

O fundador manteve o nome Birigüy, denominação dada pelos trabalhadores da ferrovia, de origem Tupi-Guarani, que significa "mosca que sempre vem", devido a presença de um minúsculo mosquito hematófago que incomodava a todos e era bastante frequente na região (IBGE, 2015).

De acordo com IBGE (2015), a única dificuldade no seu empreendimento foram os seus vizinhos, os índios Coroados, que tinham a fama de serem violentos. Para evitar que assustassem seus clientes ele pediu que apagassem o rastro dos índios e para demonstrar segurança, passou a morar no local em dois vagões cedidos pela CEFNOB (Companhia Estrada de Ferro Noroeste do Brasil).

A primeira casa foi erguida feita de taipa, na confluência das atuais ruas Silvares e Fundadores. Com o passar do tempo, a lavoura foi ocupando o que era vegetação original, dando lugar ao ciclo do café. Com este progresso, Birigui alcança sua emancipação no dia 8 de Dezembro de 1921, dez anos após a sua fundação (IBGE, 2015).

De acordo com o último censo realizado pelo IBGE em 2010, o município de Birigui tem uma população absoluta de 108.728 habitantes, sendo que 105.488

residem na área urbana e 3.240 na área rural. Ainda segundo o IBGE a população estimada de 2015 foi de 118.352, apresentando um aumento de 8,1% em relação à contagem de 2010. O município de Birigui está com 34% de seu território inserido na bacia hidrográfica dos Baixotes, sendo que sua sede encontra-se localizada a oeste da bacia.

- **Braúna**

Braúna surgiu do desbravamento da vegetação original entre os ribeirões Promissão e Grande e o rio Aguapeí, cortado ao norte pela Estrada de Ferro Noroeste do Brasil no Estado de São Paulo. O início do povoamento se deu a partir da demarcação das terras e dos traçados das ruas, no fim da década de 1920, pelo agrimensor Adolfo Hecht. O topônimo Braúna é de origem tupi, ybyrá-una, que significa "madeira-preta", uma grande árvore da família das leguminosas, de madeira escura e muito dura. As terras férteis propiciaram o desenvolvimento das lavouras e o progresso da povoação que passou a Distrito de Paz do Município de Glicério, 1928. Em 1953 Braúna ganhou foros de Município (IBGE, 2015).

O município de Braúna segundo o censo de 2010, realizado pelo IBGE, tendo uma população absoluta de 5.021, sendo que 4.389 vivem na área urbana e 632 habitantes na área rural. Sua sede esta fora da bacia hidrográfica dos Baixotes, sendo que apenas 0,42% do município se insere na bacia.

- **Brejo Alegre**

O município de Brejo Alegre foi criado recentemente, em 30 de dezembro de 1993. Pertencia ao município de Coroados na condição de distrito desde 30 de novembro de 1944. Durante um longo período, sofreu influências de uma região que, inicialmente, havia se desenvolvido graças ao cultivo do café, mas que, já no final da década de 1920, estava voltada para a pecuária (IBGE, 2015).

A base do município é agrária, se destacando atualmente o cultivo da cana-de-açúcar, pois é sede de uma usina sucroalcooleira da Região Oeste do Estado de São Paulo. Sua população absoluta segundo o Censo de 2010, realizado pelo IBGE, é de 2.573 habitantes, sendo que 2.110 residem na área urbana e 463 na área rural.



O município de Brejo Alegre esta com 43,44% de seu território dentro da bacia hidrográfica dos Baixotes, influenciando e sendo influenciada diretamente.

- **Coroados**

Na região entre os rios Tietê e Aguapeí, onde passam os trilhos da Estrada de Ferro Noroeste do Brasil no Estado de São Paulo, os primeiros povoadores foram se instalando e desbravando as matas para implantação da cafeicultura. Foi um desses povoadores, Roberto Clark, que em 1921 fundou o povoado de Coroados, cujo o nome decorre dos primitivos habitantes, os índios coroados, que com os caingangues, ocupavam todo território centro-oeste e noroeste do Estado. Pertencente ao Município de Birigui, o Distrito de Paz de Coroados foi criado em dezembro de 1925. Foi elevado à categoria de município com a denominação de Coroados, pela Lei Estadual nº 2339, de 28 de dezembro de 1928, desmembrado de Birigui. Sua instalação verificou-se no dia 18 de abril de 1929 (IBGE, 2015).

De acordo com o levantamento realizado pelo IBGE no último censo em 2010, a população absoluta do município é de 5.238, sendo que 4.232 moram na área urbana e 997 moradores na área rural, mais de 50% do seu território municipal encontra-se inserido dentro da bacia hidrográfica dos Baixotes.

### **3.2 Aspectos físicos da bacia estudada**

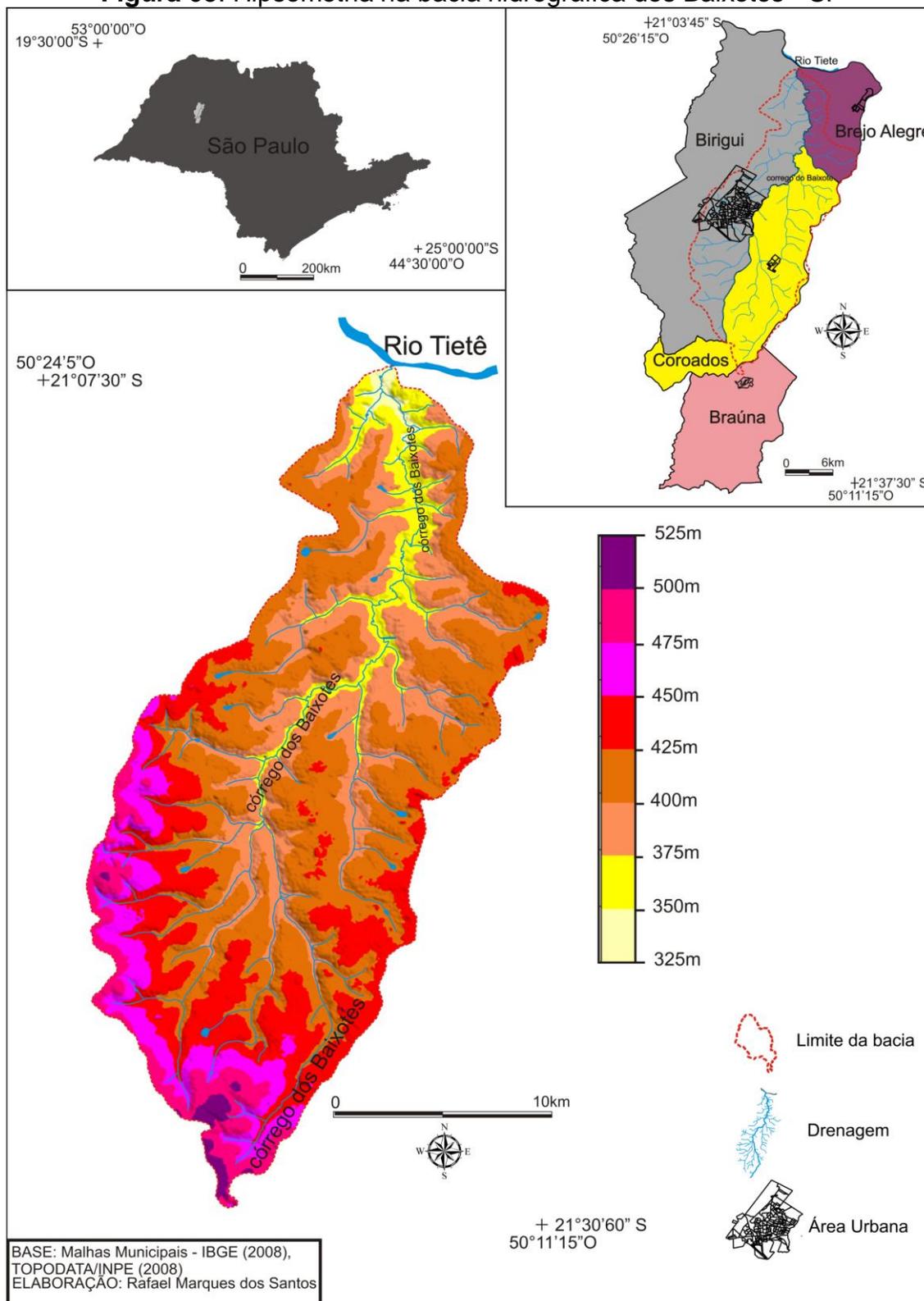
- **Características do Relevo**

Segundo Gomes (2011) a área de estudo ocupa um setor do Planalto Ocidental que abrange a região oeste do estado de São Paulo. O relevo é caracterizado por terreno suavemente ondulado, com predomínio de colinas com topos aplainados e vertentes convexas.

Na área de estudo a altimetria variou entre 325m na planície de alagamento do Tietê, próximo à foz do córrego dos Baixotes e apresentou uma altitude máxima no valor de 520 metros localizado no divisor de águas entre as bacias do córrego dos Baixotes e Baguaçu, configurando um desnível entre as cotas mais altas, localizadas a sul-sudoeste (SSO) da bacia de 195 metros (Figura 05).

Para Gomes (2011) que realizou estudos no município de Birigui, a declividade média encontra-se em torno de 0% a 6 % e ocorrem por todo município, já os maiores declives, em torno de 20%, ocorrem na região sudoeste.

**Figura 05: Hipsometria na bacia hidrográfica dos Baixotes - SP**



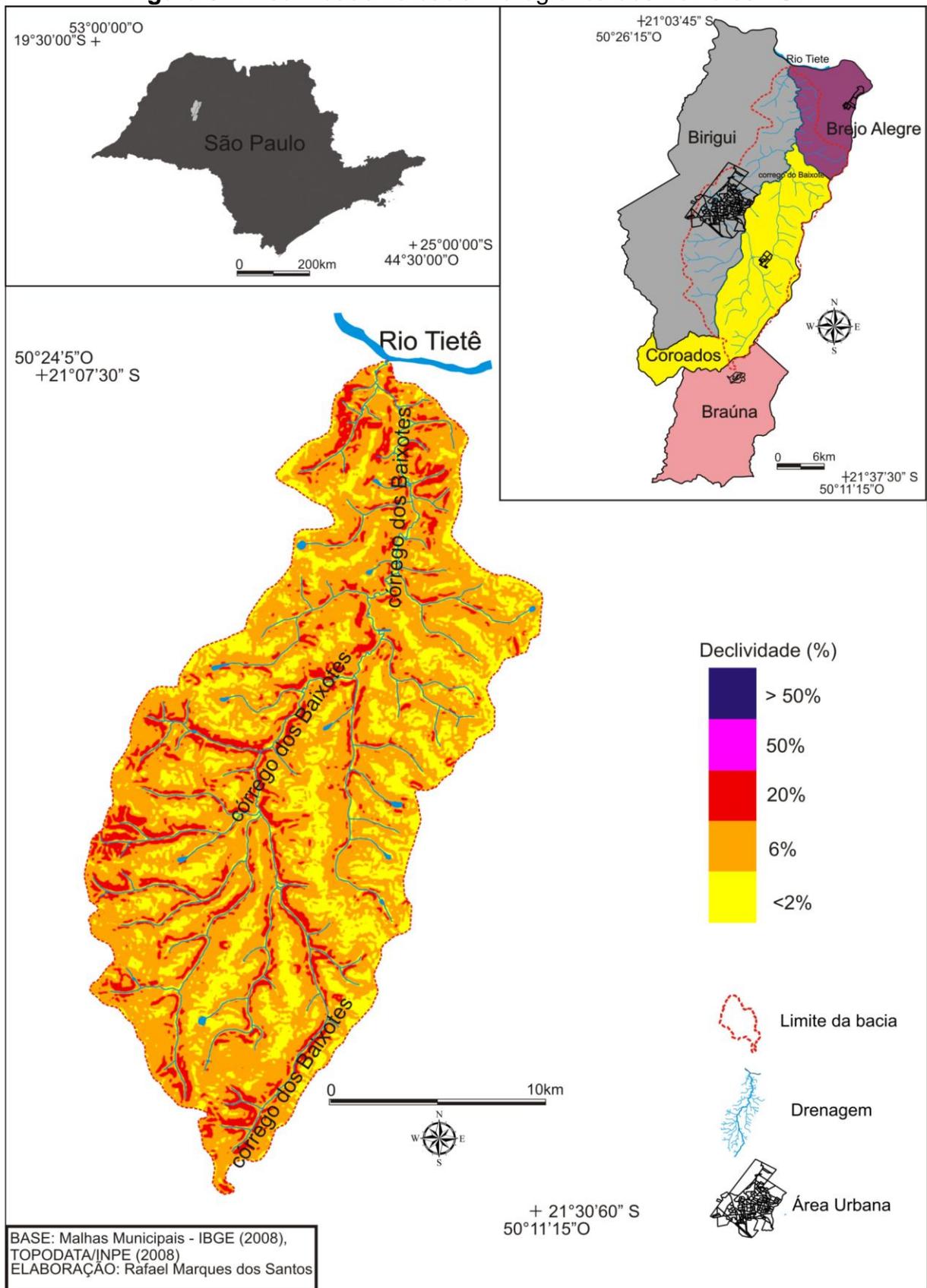
Sugimoto (2011) afirma que o relevo da área de estudo é caracterizado pela forma levemente ondulada, com longas encostas e baixas declividades, com altitudes que variam entre 264m a 500m de altitude.

Os resultados obtidos pelo mapeamento realizado mostrou que há predominância de declividade entre 2 e 6%, seguido por menor de 2%, ocorrendo de forma homogênea pela bacia. Terrenos com maiores declividades, até 20%, encontram-se nos segmentos das vertentes próximas aos canais de drenagem (Figuras 06 e 07). Nos setores oeste e sudoeste da bacia hidrográfica dos Baixotes, foram onde apareceram as maiores declividades, variando de 6% á 20%. Na média bacia foi onde ocorrem os menores valores, por volta de 2 a 6%.

**Figura 06:** Característica das formas do relevo na bacia hidrográfica dos Baixotes - SP



**Figura 07: Declividade na bacia hidrográfica dos Baixotes - SP**



- **Características dos aspectos geológicos**

As características geológicas da região, segundo o Centro Tecnológico da Fundação Paulista de Tecnologia e Educação - CETEC (1999), estão inseridas na Bacia do Baixo Tietê e refletem, fundamentalmente, a evolução histórica da Bacia Sedimentar do Paraná. As rochas basálticas formaram-se por um intenso vulcanismo que ocorreu no início do período Cretáceo, quando ainda prevaleciam condições desérticas na Bacia do Paraná, acompanhadas de perturbações tectônicas que geraram arqueamentos e soerguimentos nas bordas, associados a grande número de falhamentos, responsáveis pela estrutura atual da bacia. Durante o Cretáceo Superior, já em um clima semiárido, depositaram-se sobre a sequência dos derrames basálticos, em ambiente flúvio-lacustre, as sequências areníticas do Grupo Bauru.

Na bacia hidrográfica córrego dos Baixotes - SP, ocorrem a presença de arenitos da Formação Araçatuba que é constituído por siltitos arenosos e arenitos muito finos, lamíticos, com coloração cinza - esverdeada. Essa unidade é registro da sedimentação lacustre que imperou nos primeiros estágios de evolução da Bacia Bauru (BATEZELLI, 2003).

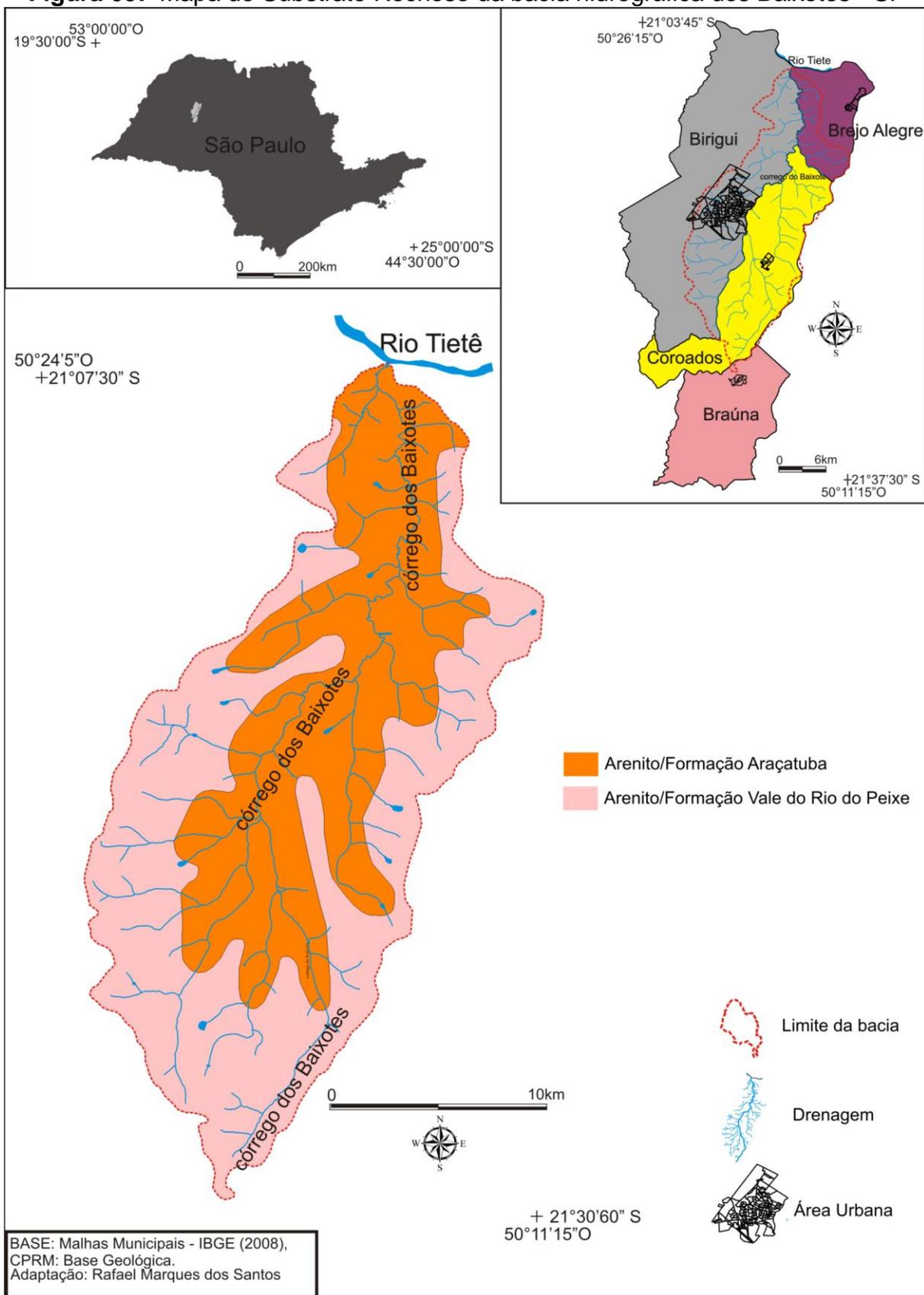
A Formação Vale do Rio do Peixe é composta por arenitos muito finos a finos intercalados com siltitos ou lamitos arenosos (Figura 08). Provavelmente os lamitos foram fixados em depressões, em corpos aquosos rasos e efêmeros, criados em períodos de elevação do lençol freático (FERNANDES; COIMBRA, 2000).

**Figura 08:** Afloramento rochoso de arenito próximo à foz do córrego dos Baixotes - SP com o rio Tietê



Os arenitos da Formação Araçatuba e Vale do Rio do Peixe dominam os topos dos interflúvios e as altas e médias vertentes, enquanto que os basaltos da Formação Serra Geral afloram no fundo dos vales, principalmente próximo a foz do ribeirão dos Baixotes com o rio Tietê. Podemos verificar essas características descritas no Anexo 1 e as formações rochosas delimitadas na figura 09.

**Figura 09:** Mapa do Substrato Rochoso da bacia hidrográfica dos Baixotes - SP



- **Características dos solos**

Na bacia em estudo foram encontrados solos associados em duas grandes classes Latossolos e Argissolos, conforme podemos verificar nas figuras 10 e 11 e no Anexo 2.

Os Latossolos e Argissolos são de textura média, herdando as características dos arenitos da Formação Araçatuba e da Formação Vale do Rio do Peixe. Observando o mapa pedológico podemos perceber a predominância do Latossolo Vermelho distrófico, seguido pela associação de Argissolos Vermelho distrófico e eutrófico e por último uma mancha próxima à foz com Latossolos Vermelho eutróférico e distroférico.

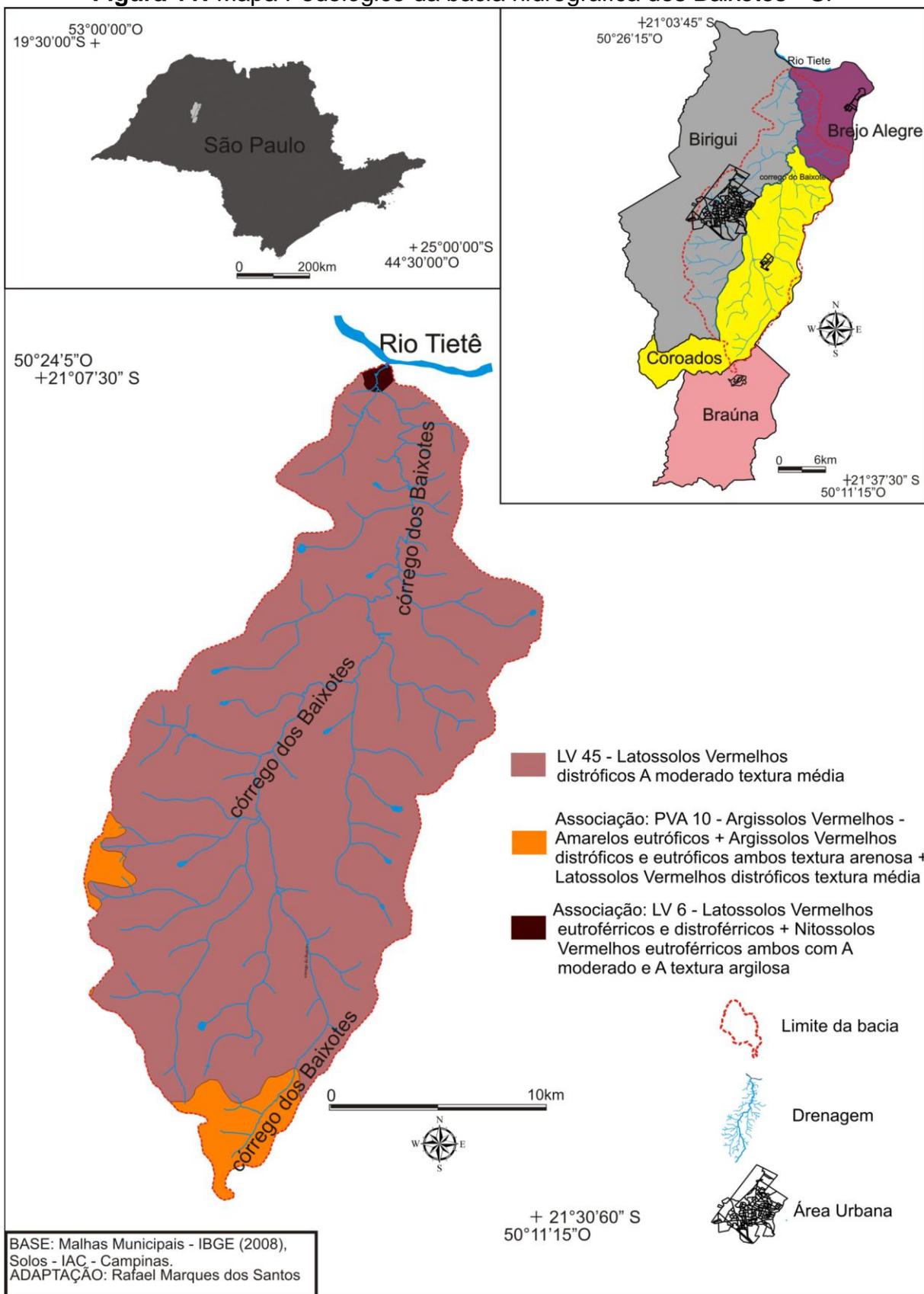
**Figura 10:** Solo predominante da bacia hidrográfica dos Baixotes - SP  
Latossolo Vermelho distrófico



**Fonte:** Rafael Marques dos Santos



**Figura 11: Mapa Pedológico da bacia hidrográfica dos Baixotes - SP**



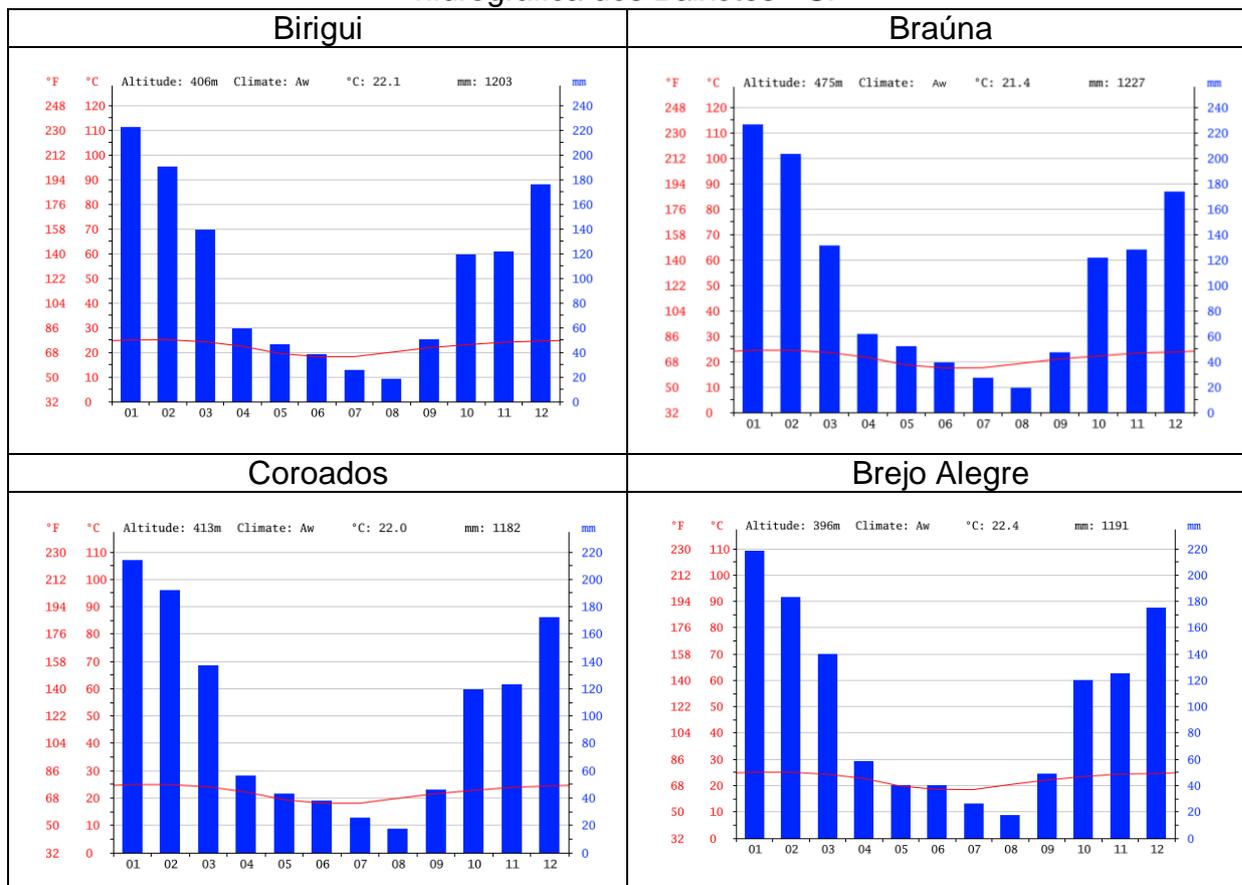
- **Características climáticas**

O clima é um fator natural que, direta ou indiretamente, influencia na degradação dos recursos naturais, principalmente na degradação do solo quando a chuva intensa exerce influencia bastante expressiva (BELTRAME, 1994).

Segundo a classificação de Koeppen, o clima da área de estudo é do tipo Aw, ou seja, tropical úmido, com invernos secos e chuvas máximas no verão. A temperatura média do mês mais frio é superior a 18°C e a precipitação média do mês mais seco inferior a 60mm.

As médias pluviométricas da área de estudo estão compreendidas entre 1100 e 1250mm, podendo ocorrer anos anômalos com precipitações médias acima de 1250mm ou abaixo de 1100mm. O clima é tropical, ocorrendo as maiores pluviosidades no verão (figura 12).

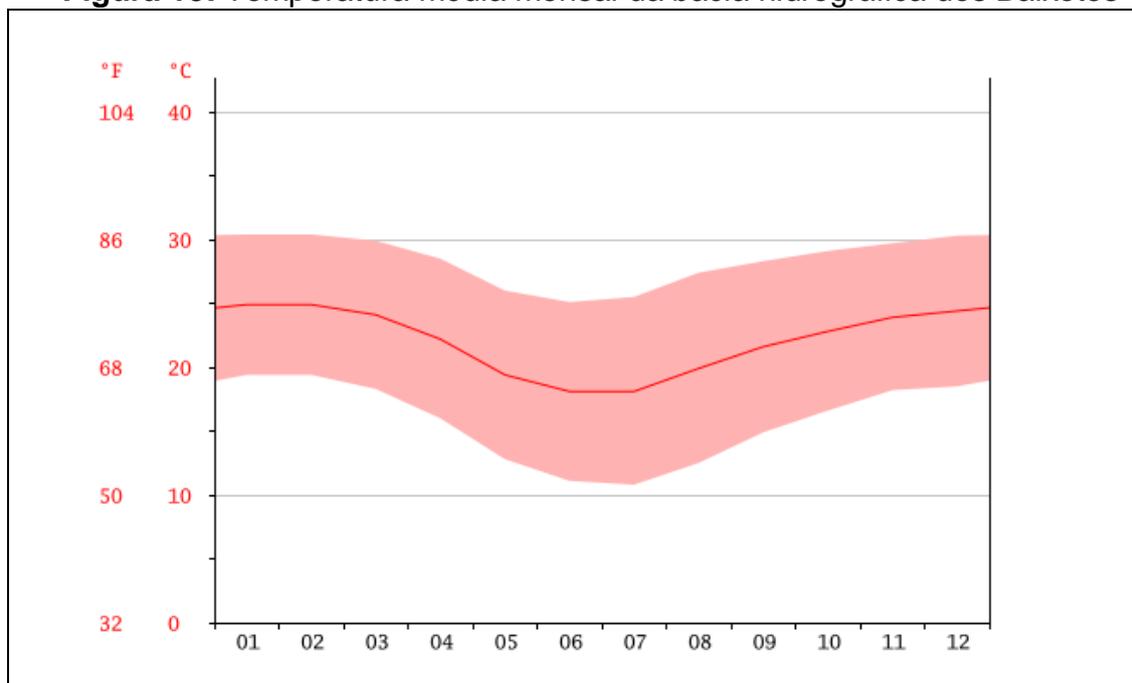
**Figura 12:** Precipitação média mensal dos municípios que formam a bacia hidrográfica dos Baixotes - SP



Fonte: UDOP, CIIAGRO, CEPAGRI e CLIMATE – DATA (2015)

Em relação à temperatura da área de estudo, elas variam entre 18,3°C e 26°C, sendo que a maior parte do ano apresenta temperaturas mais elevadas e apenas nos meses de junho e julho que ocorre às temperaturas mais baixas (figura 13).

**Figura 13:** Temperatura média mensal da bacia hidrográfica dos Baixotes - SP.



Fonte: UDOP, CIIAGRO, CEPAGRI e CLIMATE - DATA, 2015

- **Características das águas superficiais**

A bacia hidrográfica dos Baixotes pertence à Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 19 (UGRHI 19), ou unidade do Baixo Tietê, localizada na região oeste do Estado de São Paulo, que é composta por 42 municípios (figuras 14 e 15) e abriga cerca de 2% da população do estado de São Paulo, sendo que 95% da população vive em áreas urbanas (Centro Tecnológico da Fundação Paulista de Tecnologia e Educação, 1999).



o Ribeirão Lajeado, o Ribeirão Azul ou Aracanguá, o Ribeirão Macaúbas e o Ribeirão Santa Bárbara. O Córrego dos Baixotes é um afluente do Rio Tietê, que drena uma área de 425km<sup>2</sup>, correspondendo a 2,76% da área de drenagem da unidade do Baixo Tietê que abrange, os municípios de Braúna, Brejo Alegre, Birigui e Coroados (Centro Tecnológico da Fundação Paulista de Tecnologia e Educação, 1999).

O relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo de 2003, apontou a qualidade da água superficial do Córrego Baixote, tendo como ponto de coleta da água a ser analisada, a captação de Birigui na estrada municipal que liga Birigui a Coroados nas coordenadas geográficas 21°18'37"S e 50°18'38"O (CETESB, 2004). O relatório analisou o IAP (Índice de qualidade das águas para fins de Abastecimento Público), o IQA (Índice de Qualidade das Águas), o IVA (Índice de qualidade das águas para proteção da Vida Aquática) e, também, o IET (Índice de Estado Trófico), que são demonstrados no quadro 04.

**Quadro 04:** Qualidade da água no Córrego Baixotes - SP

	IAP	IQA	IVA	IET
<b>Valor</b>	51	62	3,8	54,75
<b>Qualidade/estado</b>	regular	boa	regular	eutrófico

**LEGENDA:** IAP - QUALIDADE: PÉSSIMA (roxo), RUIM (laranja), REGULAR (amarelo), BOA (verde), ÓTIMA (azul)  
 IQA - QUALIDADE: PÉSSIMA (roxo), RUIM (laranja), ACEITÁVEL (amarelo), BOA (verde), ÓTIMA (azul)  
 IVA - QUALIDADE: PÉSSIMA (roxo), RUIM (laranja), REGULAR (amarelo), BOA (verde), ÓTIMA (azul)  
 IET - ESTADO: HIPEREUTRÓFICO (roxo), EUTRÓFICO (laranja), MESOTRÓFICO (amarelo), OLIGOTRÓFICO (azul)

Fonte: CETESB (2004)

Segundo o relatório:

O manancial do Baixote acusou uma má condição de qualidade para o abastecimento público, mostrando comprometimento dos níveis de oxigênio dissolvido e um elevado potencial de formação de THMs (trihalometanos), principalmente, no período chuvoso. Recomenda-se às empresas de saneamento atenção especial no processo de tratamento de água bruta, bem como adotar medidas de proteção dos mananciais (CETESB, 2004, p. 219).

De acordo com o relatório do comitê de bacia hidrográfica do Baixo Tietê, o córrego dos Baixotes, a jusante da captação de água para Birigui até a confluência com o rio Tietê, é enquadrado como corpo d'água de classe três, que tem suas águas destinadas ao abastecimento doméstico após tratamento convencional, à irrigação e culturas e dessedentação de animais, e por recomendação, não

deveriam receber qualquer tipo de efluentes (COMITE DA BACIA HIDROGRÁFICA DO BAIXO TIETÊ, 2000).

Um dos maiores responsáveis pela qualidade regular do córrego dos Baixotes é a ligação com a estação de tratamento de esgoto de Birigui, bem como as possíveis ligações de esgoto clandestino e o recebimento de contaminantes provenientes do escoamento superficial dos centros urbanos e plantações na sua área de drenagem. O maior problema ao se falar em qualidade de água superficial no córrego dos Baixotes é pensar que o mesmo é responsável por boa parte do abastecimento urbano de Birigui e tem importância econômica para produtores rurais de Braúna, Brejo Alegre e Coroados, por ser a única fonte de captação de água para irrigação das lavouras.

- **Características da vegetação original**

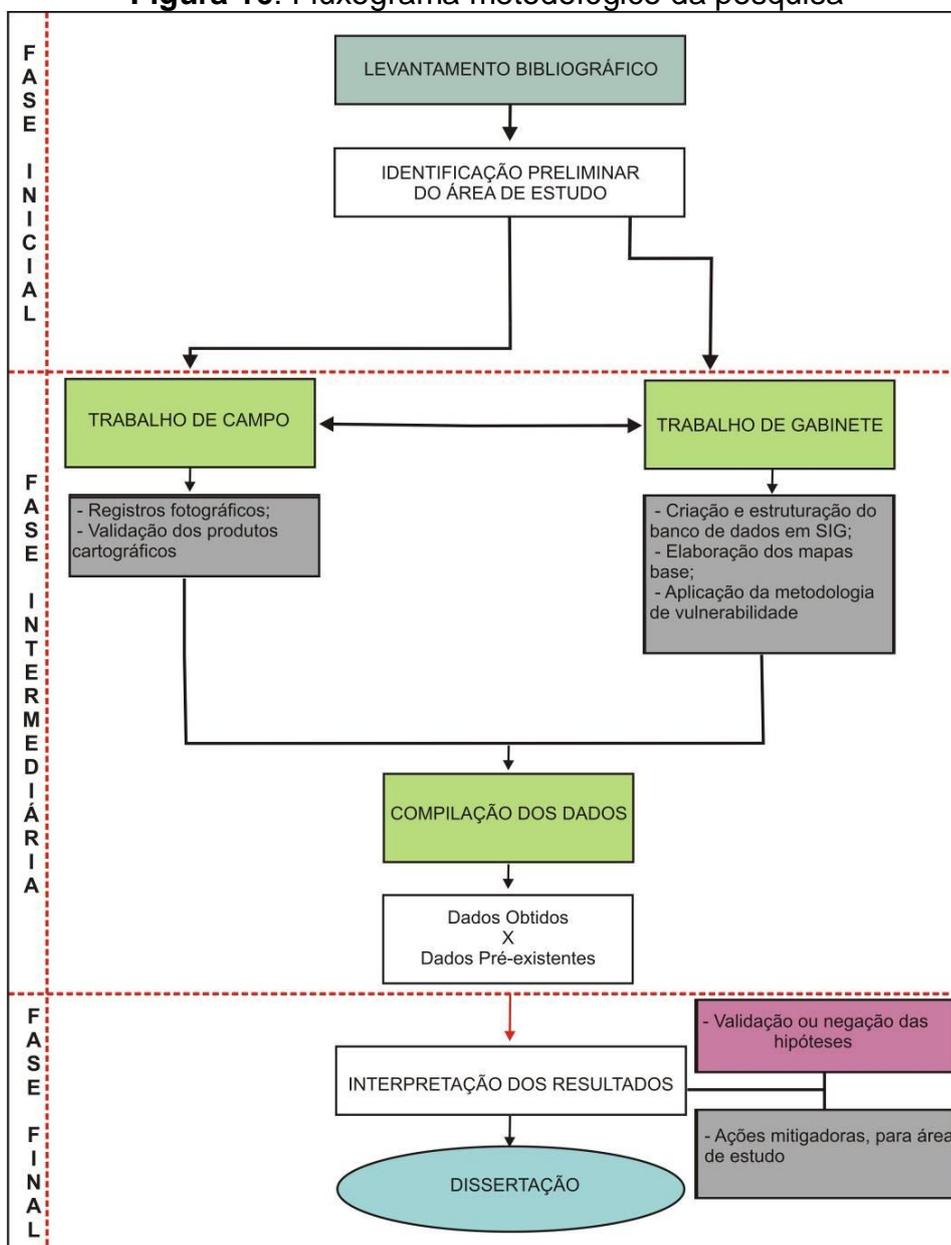
Segundo o relatório de situação da bacia hidrográfica do Baixo Tietê de 2010, a mesma apresenta 874km<sup>2</sup> de vegetação natural remanescente que ocupa, aproximadamente, 5,5% da área da UGRHI, sendo que as principais formações são a Floresta Estacional Semidecidual e a Formação Arbórea/Arbustiva em Regiões de Várzea, sendo que mais especificamente na bacia hidrográfica dos Baixotes encontramos como vegetação remanescente a vegetação secundária da floresta estacional semidecidual e a vegetação secundária da Floresta Estacional em contato Savana/Floresta Estacional (COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO BAIXO TIETÊ, 2010).

As formações florestais de mata são do tipo Floresta Estacional Semidecidual, que é uma variação do Bioma Mata Atlântica, presente em áreas que apresentam duas estações, uma seca e outra chuvosa, no interior do estado de São Paulo, porém, na região do Baixo Tietê foi quase que na sua totalidade devastada e substituída pela agropecuária, sendo que seus remanescentes se distribuem de forma relativamente homogênea, porém muito fragmentada. As formações de cerrado são formadas de gramíneas, arbustos e árvores que se distribuem com maior e menor densidade, dependendo do grau de degradação da área. Já a vegetação de várzea aparece junto aos córregos e ribeirões (COMITE DA BACIA HIDROGRÁFICA DO BAIXO TIETÊ, 2000).

#### 4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos foram aplicados para atender o objetivo geral e os específicos e, nos resultados obtidos procuraram responder aos questionamentos iniciais da presente pesquisa. Portanto, esta parte contém além do fluxograma metodológico da pesquisa (Figura 16), a descrição dos objetivos específicos e da metodologia adotada e assim como, dos demais produtos cartográficos que foram obtidos com o uso de geotecnologias.

**Figura 16:** Fluxograma metodológico da pesquisa



**Elaboração:** Rafael Marques dos Santos.

O objetivo principal da pesquisa, conforme descrito anteriormente, foi identificar e aplicar a metodologia proposta por CREPANI (2001), que utilize a análise sistêmica nas unidades da paisagem e que identifique a vulnerabilidade da área da bacia do córrego dos Baixotes/SP. Para que o objetivo geral seja alcançado os objetivos específicos foram:

- a. Levantar as variáveis ambientais junto à SMA - (Secretária do Meio Ambiente), Coordenadoria de Biodiversidade e Recursos Naturais (CBRN), localizada em Araçatuba – SP;
- b. Elaborar e adaptar os produtos cartográficos dos atributos geológicos, pedológicos, climáticos, uso da terra, vegetação e declividade. Posteriormente, analisar e interpretar os produtos cartográficos obtidos pela metodologia.

Nesta pesquisa, adotou-se a proposta metodológica de Crepani *et al.* (2001), que se fundamentou nos preceitos apresentados por Tricart (1977), empregando também o uso de geotecnologias para elaboração dos mapas e cartas temáticas que subsidiaram a carta síntese de Vulnerabilidade Ambiental.

Esta proposta foi selecionada após consultas bibliográficas no tema e a análise feita em Santos (2009) que também elegeu Crepani *et al.* (2001), por apresentar melhor detalhamento no resultado em relação às metodologias apresentadas por Ross (1994), que foram testadas pelo autor.

Segundo Santos (2009), a metodologia que se apresentou de forma mais eficiente foi aquela que se apoiava na proposta de Crepani *et al.* (2001), pois com seu grau de detalhe nas atribuições de pesos de forma graduada, de acordo com cada variável dentro de uma temática e, posteriormente, com a aplicação da equação, resultando em uma média aritmética, conseguiu reproduzir o papel que o substrato geológico e os solos dele derivados desempenham na geração da vulnerabilidade. A verificação em campo ratificou o que foi obtido pelo mapeamento digital.

O detalhamento de cada parâmetro obtido e adaptado na aplicação da metodologia de Crepani *et al.* (2001) para a área pesquisada é descrito na sequência, assim como os produtos cartográficos que foram obtidos, em gabinete e checados em campo, com as etapas de processamento com o uso de geotecnologias.



#### **4.1 Levantamentos dos parâmetros da vulnerabilidade ambiental na bacia hidrográfica do córrego dos Baixotes - SP**

A metodologia adotada e adaptada de Crepani et al (2001), resultou na elaboração da carta de vulnerabilidade ambiental, escala de 1:50.000, a partir de um banco de dados contendo as informações básicas do meio físico, tais como: geologia, pedologia, clima, cobertura vegetal e uso da terra da área em estudo.

O grau de vulnerabilidade ambiental é baseado nos processos de morfogênese e pedogênese, e expresso pela atribuição de valores (de 1 a 3, num total de 21 valores) para cada unidade de paisagem (CREPANI et al, 2001), já descritos anteriormente.

Para a atribuição de valores na escala de vulnerabilidade procurou-se destacar, em cada um dos temas, os parâmetros que se apresentam como indicadores de categoria morfodinâmica (como a espessura e maturidade do solo), ou aqueles capazes de influir decisivamente no desenvolvimento dos processos morfodinâmicos como o grau de coesão das rochas, a densidade de cobertura vegetal, os índices morfométricos do terreno e a intensidade pluviométrica (CREPANI et al, 2001).

Os critérios para atribuição de valores na escala de vulnerabilidade para cada parâmetro são os seguintes:

##### **a. Parâmetro Geologia:**

O parâmetro Geologia (G) é estabelecido em função da resistência das rochas à denudação, ou seja, resistência aos processos de erosão e intemperismo com relação ao grau de coesão das rochas ígneas, metamórficas e sedimentares (tabela 01).

**Tabela 01:** Escala de vulnerabilidade à denudação das rochas

<b>Escala de vulnerabilidade à denudação das rochas mais comuns</b>					
Quartzitos ou Metaquartzitos	1,0	Hornblenda, Tremolita, Actinolita Xisto	1,7	Folhelhos	2,4
Milonitos, Quartzo muscovita, Biotita, Clorita xisto	1,1	Grauvacas, Arcózios	1,8	Andesito, Diorito, Basalto	2,5
Arenitos quartzosos ou ortoquartzitos	1,2	Migmatitos, Gnaisses	1,9	Ardósia, Metargilito	2,6
Riólito, Granito, Dacito	1,3	Estaurolita xisto, Xistos granatíferos	2,0	Calcários, Dolomitos, Margas, Evaporitos	2,7
Piroxenito, Anfibolito Kimberlito, Dunito	1,4	Siltitos, Argilitos	2,1	Anortosito, Gabro, Peridotito	2,8
Conglomerados, Subgrauvacas	1,5	Fonólito, Nefelina Sienito, Traquito, Sienito	2,2	Mármore	2,9
Granodiorito, Quartzo Diorito, Granulitos	1,6	Filito, Metassiltito	2,3	Sedimentos Inconsolidados: Aluviões, Colúvios etc.	3,0

**Fonte:** Crepani et al (2001)

O grau de coesão das rochas é a informação básica da Geologia a ser integrada a partir da Ecodinâmica, uma vez que em rochas pouco coesas podem prevalecer os processos erosivos, modificadores das formas de relevo (morfogênese), enquanto que nas rochas bastante coesas devem prevalecer os processos de intemperismo e formação de solos - pedogênese (CREPANI et al, 2001).

A contribuição da Geologia para a análise e definição da categoria morfodinâmica da unidade de paisagem natural compreende as informações relativas à história da evolução geológica do ambiente onde a unidade se encontra e as informações relativas ao grau de coesão das rochas que a compõem. Por grau de coesão das rochas entende-se a intensidade da ligação entre os minerais ou partículas que as constituem (CREPANI et al, 2001. p. 32).

## **b. Parâmetro Geomorfologia**

Para estabelecer os valores da escala de vulnerabilidade para as unidades de paisagem natural com relação à Geomorfologia (R), são analisados os índices morfométricos correspondente à declividade (adaptado de CREPANI et al, 2001).

A declividade entre dois pontos do terreno é medida pela inclinação da reta que os une em relação ao plano horizontal e ela pode ser obtida, em termos de porcentagem, diretamente sobre as cartas topográficas pela relação entre a distância vertical e a distância horizontal entre os dois pontos (tangente = cateto oposto/cateto adjacente) [...] (CREPANI et al, 2001. p. 76)

Os valores próximos de 1,0 da escala de vulnerabilidade estão associados a pequenos ângulos de inclinação das encostas, situação em que prevalecem os processos formadores de solo da pedogênese e os valores mais próximos de 3,0 estão associados a situações de maior declividade, onde prevalecem os processos erosivos da morfogênese conforme podemos constatar na tabela 02, (CREPANI et al 2001).

**Tabela 02:** Classes de declividade com escalas de vulnerabilidade

CLASSES MORFOMÉTRICAS	DECLIVIDADE (%)	VALORES DE VULNERABILIDADE
Muito Baixa	< 2	1,0
Baixa	2 – 6	1,5
Média	6 –20	2,0
Alta	20 - 50	2,5
Muito Alta	> 50	3,0

Fonte: Crepani et al (2001)

### c. Parâmetro Pedologia

O parâmetro Pedologia (S) é determinado pela estabilidade do solo em relação à erodibilidade. A causa fundamental da erosão hídrica, seja ela laminar, em sulcos ou ravinas é a ação da chuva sobre o solo (CREPANI et al, 2001). A chuva é o agente ativo da erosão e o solo é o agente passivo. O termo erodibilidade se refere à capacidade de um determinado solo resistir à erosão.

Nas unidades de paisagem consideradas estáveis o valor atribuído aos solos na escala de vulnerabilidade é 1 e são representados pela classe de solos do tipo Latossolos, que são solos bem desenvolvidos, velhos ou maduros, com grande profundidade e porosidade sendo, portanto, considerados os solos cujos materiais são os mais decompostos.

Já nas unidades de paisagem consideradas intermediárias o valor atribuído aos solos na escala de vulnerabilidade é 2, e são representados pela classe de

solos do tipo Argissólicos, que apresentam profundidade menor que os Latossolos, menos estáveis e menos intemperizados.

Os autores consideram que nas unidades de paisagem consideradas vulneráveis ocorrem solos aos quais é atribuído o valor 3, e estes solos são jovens e pouco desenvolvidos, isto é, sua característica principal é a pequena evolução dos perfis de solo (tabela 03).

**Tabela 03:** Valores de Vulnerabilidade dos Solos

<b>Classificação de solos (EMBRAPA, 1999)</b>	<b>Índices de Vulnerabilidade</b>
Latossolos Amarelos Latossolos Vermelho-Amarelos Latossolos Vermelhos Latossolos Vermelhos Latossolos Brunos Latossolos Húmicos Latossolos Bruno-Húmicos	<b>1,0</b>
Argissolos Argissolos Luvissolos Alissolos Nitossolos Argissolos Luvissolos Alissolos Nitossolos Argissolos Nitossolos Luvissolos Chernossolos Chernossolos Chernossolos Planossolos Planossolos Espodossolos	<b>2,0</b>
Cambissolos	<b>2,5</b>
Neossolos Litólicos Neossolos Flúvicos Neossolos Regolíticos Neossolos Quartzarênicos Vertissolos Organossolos Gleissolos Gleissolos Plintossolos Gleissolos Plintossolos Plintossolos Plintossolos Plintossolos Afloramento Rochoso	<b>3,0</b>

**Fonte:** Adaptado de Crepani et al, (2001)

#### d. Parâmetro Vegetação

Crepani et al (2001) consideram a densidade de cobertura vegetal como parâmetro para o tema vegetação (V), que pode ser obtida por meio de documentações existentes e pela interpretação das imagens de satélite.

A densidade de cobertura vegetal da unidade de paisagem natural (cobertura do terreno) é um fator de proteção da unidade contra os processos morfogenéticos que se traduzem na forma de erosão [...] (CREPANI et al, 2001. p. 88)

Sendo assim, para as altas densidades de cobertura os valores atribuídos na escala de vulnerabilidade se aproximam da estabilidade (1,0), para as densidades intermediárias atribuem-se valores intermediários (ao redor de 2,0), e para baixas densidades de cobertura vegetal valores próximos da vulnerabilidade (3,0). Foi adaptado para este parâmetro a utilização de cartas de uso da terra (produto da pesquisa) e os valores apresentados por Santos (2009), conforme a Tabela 04.

**Tabela 04:** Valores de Vulnerabilidade da Vegetação\*

Uso do Solo	Características	Peso
Mata	Cobertura vegetal estável	1,0
Pastagens	Cobertura vegetal vulnerável	2,5
Cultura Permanente	Cobertura vegetal vulnerável	2,7
Cultura Temporária	Cobertura vegetal vulnerável	2,8
Solo Exposto	Cobertura vegetal extremamente vulnerável	3,0
Área urbanizada	Cobertura vegetal extremamente vulnerável	3,0

\*Vegetação encontrada na área de estudo

Fonte: Adaptado de Crepani et al (2001) e Santos (2009)

#### e. Parâmetro Clima

O parâmetro clima (C) é determinado pela intensidade pluviométrica e seu poder erosivo. A causa fundamental da denudação é a ação da chuva agindo inicialmente sobre as rochas provocando o intemperismo, e mais tarde sobre o solo removendo-o pela erosão hídrica, pois o impacto direto das gotas e o escoamento superficial do excesso de água da chuva são os agentes ativos da erosão hídrica, o solo é o agente passivo (CREPANI et al, 2001).

O clima controla o intemperismo diretamente, através da precipitação pluviométrica e da temperatura de uma região, e também indiretamente através dos tipos de vegetação que poderão cobrir a paisagem (CREPANI et al, 2001. p. 94).

Portanto, o processo erosivo é resultante do poder da chuva em causar erosão (erosividade) e da capacidade do solo em resistir à erosão [erodibilidade] (CREPANI et al, 2001). Os autores utilizaram uma escala de erosividade (Tabela 05) levando em consideração a distribuição linear dos valores contidos entre os intervalos possíveis de intensidade pluviométrica para as diversas regiões do país.

**Tabela 05:** Distribuição da vulnerabilidade entre os intervalos possíveis de intensidade pluviométrica

(mm/mês) <sup>1</sup>	C <sup>2</sup>	(mm/mês) <sup>1</sup>	C <sup>2</sup>	(mm/mês) <sup>1</sup>	C <sup>2</sup>
< 50	1,0	200 - 225	1,7	375 - 400	2,4
50 - 75	1,1	225 - 250	1,8	400 - 425	2,5
75 - 100	1,2	250 - 275	1,9	425 - 450	2,6
100 - 125	1,3	275 - 300	2,0	450 - 475	2,7
125 - 150	1,4	300 - 325	2,1	475 - 500	2,8
150 - 175	1,5	325 - 350	2,2	500 - 525	2,9
175 - 200	1,6	350 - 375	2,3	> 525	3,0

1. Intensidade Pluviométrica

2. Vulnerabilidade

Fonte: Crepani et al (2001).

#### 4.2 Levantamento e obtenção dos produtos cartográficos e softwares

A elaboração das cartas e mapas foram obtidos a partir da utilização de geotecnologias, que serão descritos a seguir.

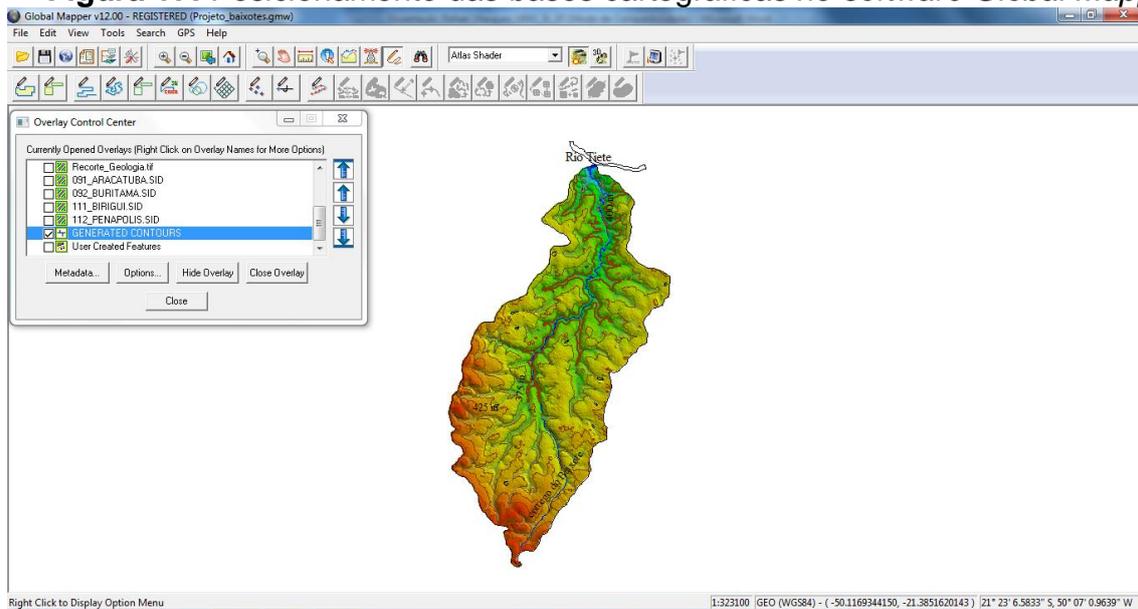
- **Delimitação da bacia hidrográfica dos Baixotes - SP**

Para a extração dos limites da bacia hidrográfica utilizou-se os dados altimétricos TOPODATA (banco de dados geomorfométricos do Brasil) e das cartas topográficas (1970) dos municípios de Birigui, Braúna, Brejo Alegre e Coroados na escala de 1:50.000, fornecidas pelo IBGE .

Em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica), através do *software* Global Mapper 12, e com a utilização das imagens de radar do projeto TOPODATA

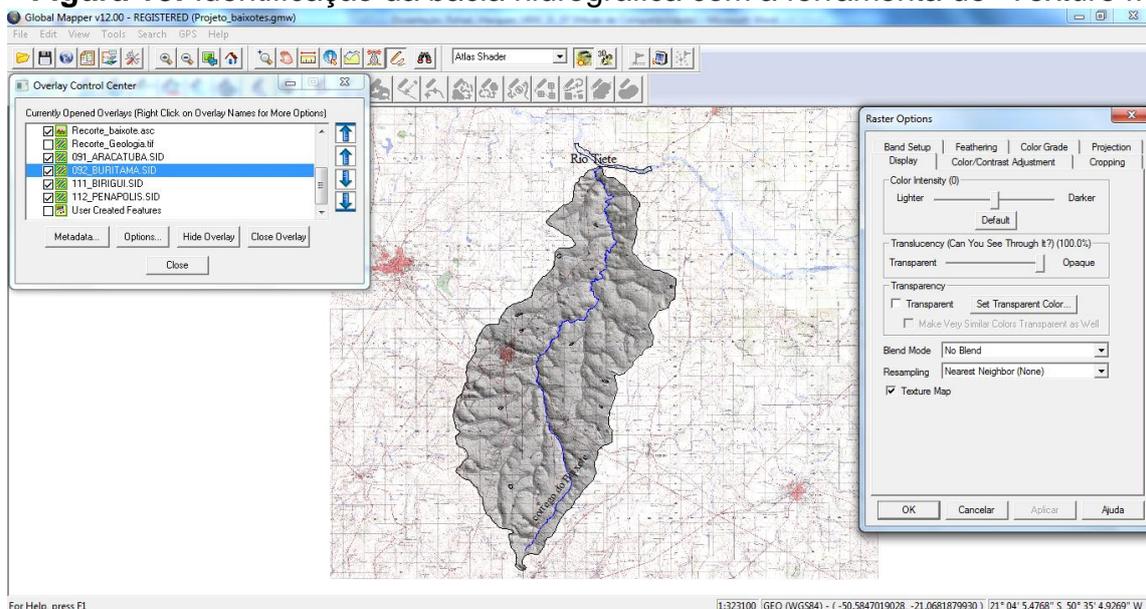
(2008) gerou-se o fatiamento das curvas de nível com equidistância de 25 metros, elaborando assim o mapa hipsométrico, com sombreamento do relevo através da ferramenta "Raster Options - Texture Map". A imagem de satélite serviu como suporte para o ajuste dos traçados dos canais fluviais, bem como para considerar áreas onde as feições antrópicas afetaram a dinâmica natural da bacia hidrográfica (figuras 17 e 18).

**Figura 17:** Posicionamento das bases cartográficas no software *Global Mapper*



**Elaboração:** Rafael Marques dos Santos

**Figura 18:** Identificação da bacia hidrográfica com a ferramenta de "Texture Map"



**Elaboração:** Rafael Marques dos Santos

- **Elaboração da carta de declividade**

A carta de declividade foi gerada a partir de dados de elevação do terreno (TOPODATA, 2008), por processo de modelagem topográfica no *software* ENVI 4.3, com o uso da ferramenta *slope shader*.

As classes de fatiamento foram estabelecidas de acordo com a proposta de Crepani *et al.* (2001): 0 a 2% (Plano), 2 a 6% (Suave ondulado), 6 a 20% (Moderadamente ondulado a Ondulado), 20 a 50% (Forte Ondulado), > 50% (Montanhoso).

- **Elaboração do mapa de geologia**

Os dados georeferenciados de geologia em *shape* (shp.) foram fornecidos pela Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo, seção Araçatuba (SEMA - Araçatuba), e fazem parte da carta geológica do Estado de São Paulo, do Serviço Geológico do Brasil (CPRM).

A base foi inserida no projeto geral no *software Global Mapper 12* e procedeu-se a extração dos *layers* da litologia por bacia de estudo. Os dados finais foram salvos em ".dxf." em uma pasta individual para posteriormente serem utilizados no cruzamento de dados em outros programas.

- **Elaboração do mapa de pedologia**

Os dados georeferenciados de pedologia em *shape* (shp.) foram fornecidos pela Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo, seção Araçatuba (SEMA - Araçatuba), e fazem parte da carta pedológica do Estado de São Paulo, do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC).

A base foi inserida no projeto geral no *software Global Mapper 12* e procedeu-se a extração dos *layers* das associações pedológicas por bacia de estudo. Os dados finais foram salvos em ".dxf." em uma pasta individual para posteriormente serem utilizados no cruzamento de dados em outros programas.

- **Obtenção dos dados de climatologia**

Os dados de clima foram obtidos na plataforma *online* do "Climate-Data.org" (<http://pt.climate-data.org/location/34924/>), "Cepagri - Unicamp" (Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura), "CIIAGRO" (Centro



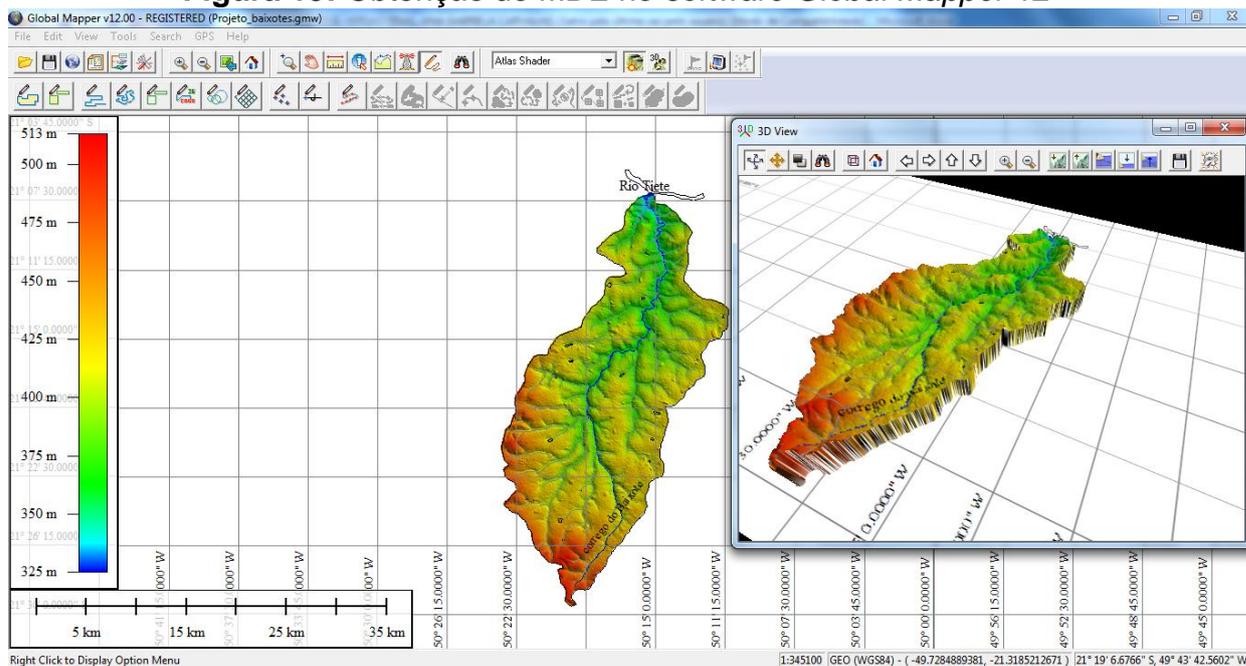
Integrado de Informações Agrometeorológicas - SP) e "UDOP" (União dos Produtores de Bioenergia - SP).

Obteve-se nesta plataforma a série histórica para os municípios que formam a bacia hidrográfica dos Baixotes, que abrangeu os valores mínimos, máximos e médios mensais de temperatura (°C) e de precipitação (mm).

- **Obtenção do modelo tridimensional de elevação do relevo**

O MDE (Modelo Digital de Elevação) fornece o modelo tridimensional do relevo, ou seja, por meio dele é possível ter uma noção visual mais aprimorada das características do relevo. O produto foi gerado com o uso da ferramenta 3D View, a partir da sobreposição de dados de elevação (TOPODATA, 2008), no *software Global Mapper 12* (figura 19).

**Figura 19:** Obtenção do MDE no *software Global Mapper 12*



**Elaboração:** Rafael Marques dos Santos

- **Elaboração das cartas de Uso da Terra**

As cartas de uso da terra foram geradas a partir de métodos de fotoanálise para a fotointerpretação, que consiste na técnica de examinar o objeto através da separação e distinção de suas partes componentes, tendo como objetivo principal identificar as várias unidades do terreno e delinear todas as áreas homogêneas que

indicam diferenças nas condições do uso da terra. Cada área homogênea é metodicamente analisada e comparada às outras (WESTPHALEN, 2009).

Foram utilizados três anos como base para as análises, 21/03/2001, 28/04/2009, 08/03/2016, e as datas dos anos foram escolhidas devido ser um período significativo do aumento da cultura temporária, abrangendo um período de 15 anos de transformação agrícola.

Na elaboração das cartas de uso da terra foram utilizadas as imagens de satélite LANDSAT 7 ETM+ e LANDSAT 8. As imagens foram processadas em um ambiente SIG, pelo *software ArcGis 10.2*, utilizando as suas ferramentas de classificação de imagens.

#### 4.3 Elaboração da carta síntese de vulnerabilidade ambiental

A carta síntese foi gerada a partir do cruzamento de atributos (tabela 06), que foram obtidos em levantamentos cartográficos e adaptados para área em estudo e, também checados em campo. Os atributos e seus respectivos pesos foram adaptados de Crepani et al (2001), pautado nos conceitos de Tricart (1977), e a carta síntese de vulnerabilidade foi elaborada utilizando-se o *software ArcGIS 10.2*, através da função *raster calculation*, disponível em *Spatial analyst tools* no *Arctoolbox*, através da fórmula:

$$\text{DIAGNÓSTICO DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL} = \frac{(G + D + S + UT + C)}{5}$$

Onde:

G = vulnerabilidade para o tema Geologia

D = vulnerabilidade para o tema Geomorfologia

S = vulnerabilidade para o tema Solos

UT = vulnerabilidade para o tema Uso da Terra

C = vulnerabilidade para o tema Clima

**Tabela 06:** Atributos e pesos adaptados de Crepani *et al.* (2001)

<b>GEOLOGIA</b>	<b>PESOS</b>
Arenito - Santo Anastácio	1,2
Arenito - Vale do Rio do Peixe	1,2
<b>PEDOLOGIA</b>	
Latossolo	1
Argissolo	2

<b>USO DA TERRA</b>	
Urbano	3
Pastagem	2,5
Mata	1,0
Cultura Temporária	2,8
Cultura Permanente	2,7
Solo Exposto	3,0
<b>DECLIVIDADE</b>	
<2	1
2-6	1,5
6-20	2,0
20-50	2,5
>50	3,0

Para a escolha dos pesos foram considerados os processos de pedogênese e morfogênese. Os meios estáveis são onde prevalecem a pedogênese, ou seja, a formação dos solos. Para estes os valores atribuídos estão próximos a 1. São meios com aspectos naturais estáveis, dissecação moderada e cobertura vegetal fechada.

Nos meios instáveis prevalece a morfogênese, ou seja, as mudanças relacionadas ao relevo. Para estes os valores atribuídos estão mais próximos ao 3. São meios onde as características naturais são mais instáveis, passíveis de modificações. Nestes estão presentes as deformações tectônicas, modificações na cobertura vegetal, oscilações climáticas e degradações antrópicas.

Os resultados foram obtidos de acordo, com a proposta de classificação que incluí uma legenda de cores para cada classe (tabela 07).

**Tabela 07:** Classificação - Diagnóstico da Vulnerabilidade Ambiental da bacia dos Baixotes - SP

CLASSIFICAÇÃO	VALORES	COR	DESCRIÇÃO
Estável	0 a 1		Tem uma lenta evolução resultante da permanência no tempo de combinações de fatores. Encontra-se em regiões morfodinamicamente estáveis, com cobertura vegetal fechada, dissecação moderada e ausência de vulcanismo.
Quase estável	1,1 a 1,4		
Média	1,5 a 2		São meios de transição entre os meios estáveis e os meios instáveis. Possuem uma interferência permanente de morfogênese e pedogênese no mesmo espaço que variam em função de dois critérios, qualitativo e quantitativo. Qualitativo quando os processos morfogênicos afetam unicamente a superfície do solo e não alteram os horizontes do perfil, afetando diretamente a cobertura vegetal. O ponto de vista quantitativo está relacionado ao balanço pedogênese/morfogênese e aos movimentos de massa que afetam o solo em toda a sua espessura e causam diferenciação do solo em todos os seus horizontes.
Quase instável	2,1 a 2,5		Nesses meios a morfogênese é o elemento predominante da dinâmica natural, e fator determinante do sistema natural, aos quais outros elementos estão subordinados:
Instável	2,6 a 3		Deformações tectônicas, cobertura vegetal, oscilações climáticas e degradações antrópicas.

Baseado em Tricart (1977)

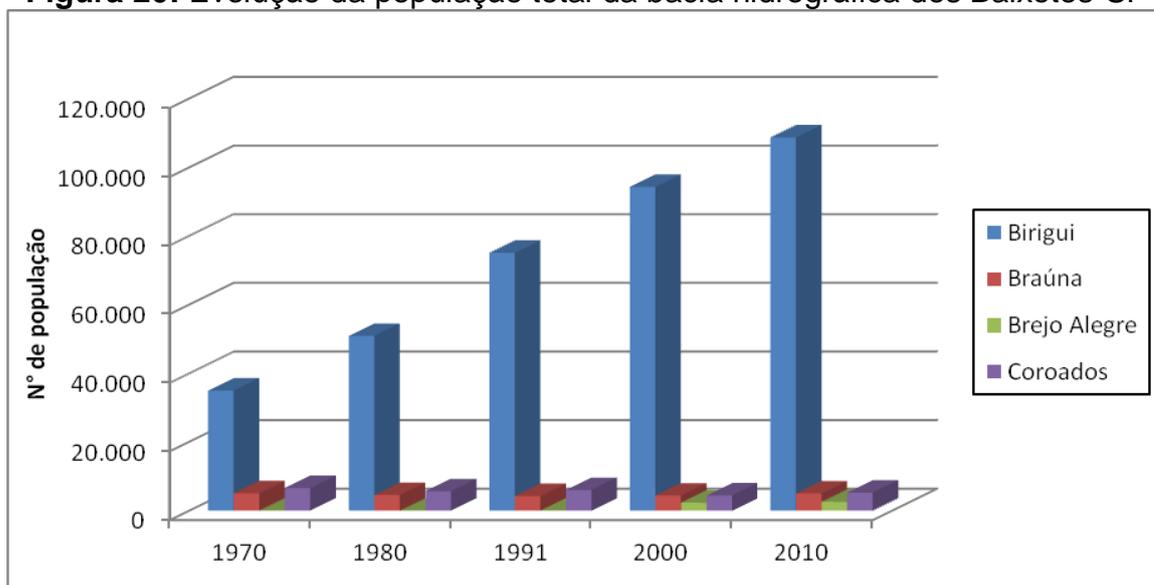
## 5. ANÁLISES E RESULTADOS

Os resultados da pesquisa compreenderam as análises integradas das características dos aspectos físicos, que já foram descritos anteriormente, assim como o histórico das mudanças socioeconômicas da área de estudo de forma abrangente, a partir da década de 1970 até 2010. Esta parte explana também sobre as análises das cartas de uso da terra dos anos de 2001, 2009 e 2016, tanto na forma explicativa em textos, e em bases cartográficas, que serviram de parâmetros para a obtenção da carta síntese da vulnerabilidade ambiental.

### 5.1 Histórico das características socioeconômicas e da evolução do uso da terra nos municípios que compreendem a bacia analisada

Em relação à dinâmica populacional, os municípios que compreendem a bacia estudada, apresentam uma evolução semelhante ao crescimento urbano (figura 20), que foi caracterizada por fatores repulsivos do campo, como utilização de maquinário, que diminuiu a necessidade de mão de obra, bem como a substituição das pequenas lavouras familiares pelo agronegócio. Somado a este fator, a partir da década de 1970, as cidades se tornaram centros atrativos desta população, em busca de empregos e melhores condições de vida.

**Figura 20:** Evolução da população total da bacia hidrográfica dos Baixotes-SP



**Fonte:** Sidra (Sistema IBGE de Recuperação Automática de Dados) - IBGE

**Elaboração:** Rafael Marques dos Santos

Em relação a economia rural dos municípios, observa-se uma dinâmica semelhante em toda área de estudo, que afeta diretamente o uso da terra: a diminuição do número de cabeças de gado, e conseqüentemente da área de pastagem, e o aumento da produção de cana-de-açúcar e de área plantada.

A busca de energias renováveis já faz parte do cenário de discussões políticas nacionais e internacionais considerando duas premissas: o aumento excessivo do preço do petróleo, uma das principais fontes de energia mundial, e a necessidade de diminuição das emissões de CO<sub>2</sub>, discussão central de diversos encontros ambientais, científicos e políticos. A produção de biocombustíveis, que é considerado energia renovável e limpa, vem ao encontro à esta necessidade e vem sendo estimulada em diversos países.

O Brasil, desde a década de 1970, após crise do petróleo, estimulou o desenvolvimento e a ampliação da produção de etanol, um biocombustível proveniente da cana-de-açúcar com o Programa Pró-Álcool. Já na década de 2000, o governo estimulou a ampliação do programa em razão da queda do preço do açúcar no mercado mundial e o desenvolvimento de modelos automotivos com motores flex-fuel, que funcionam tanto com gasolina, quanto com etanol (KOHLHEPP, 2010). Portanto, políticas do governo estimularam a produção de biodiesel e conseqüentemente alteraram o uso da terra de diversas regiões do país, inclusive da região estudada.

A produção de cana-de-açúcar apresentou um pico de produção em 2010 e um decréscimo em 2014. Segundo o relatório de acompanhamento de safra de 2010/2011 da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), três fatores contribuíram para a elevada produção no ano de 2010: a lavoura de cana-de-açúcar continua em expansão no Brasil, o aumento de usinas recentemente instaladas, e o clima.

Em relação aos fatores climáticos, a estiagem prolongada favoreceu a maturação e os trabalhos de colheita na maioria dos canaviais, ou seja, adiantou o processo de colheita, mas prejudicou o terço final do desenvolvimento dos canaviais da safra, que vão refletir na produtividade da próxima safra (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2011).

Já o decréscimo do ano de 2014 pode ser explicado pela baixa pluviosidade vivida pela região sudeste durante o período de desenvolvimento da cana-de-açúcar, que impactou diretamente as produtividades esperadas. A queda no

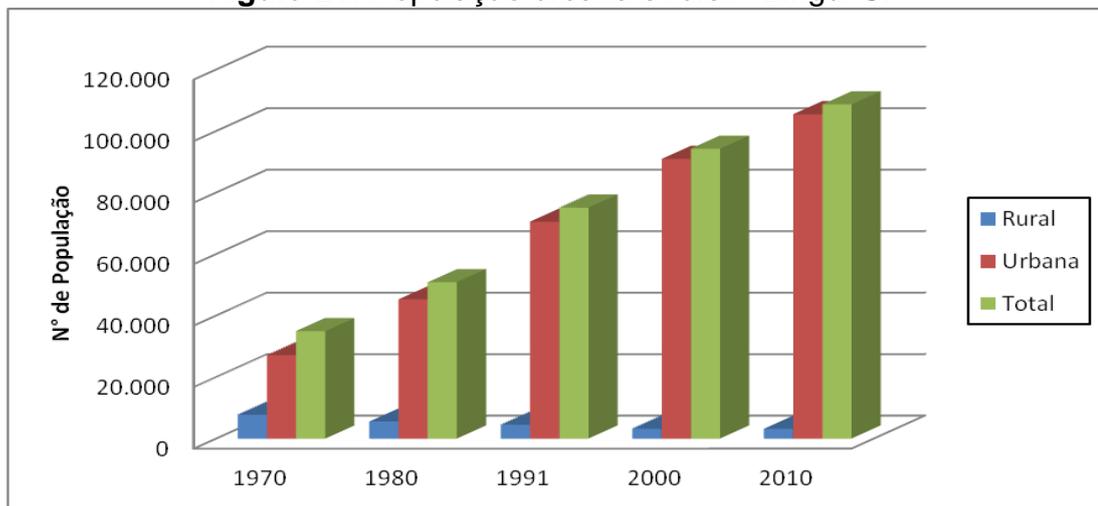
rendimento agrícola foi de 9,6%, chegando a atingir 10,5% no estado de São Paulo (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2014).

Diante do exposto, a análise dos fatores populacionais e econômicos serão discutidos por município.

- **Birigui**

A população de Birigui mais que triplicou em 4 décadas. Em 1970 eram 34.976 habitantes, sendo que desses, 78% residiam na área urbana e 22% na área rural. Na década atual, 2010, consiste em 108.728 habitantes, sendo que desses, 97% residem na zona urbana e 3% na zona rural. Como se observa Birigui seguiu a mesma tendência de alguns municípios do país, que se urbanizou intensamente após a década de 1970. Seguindo esta mesma tendência, os motivos que levaram a urbanização intensa de Birigui também foi à industrialização, no caso específico da cidade, a indústria calçadista, que atraiu pessoas que moravam no campo e migrantes de outras regiões do país em busca de melhores oportunidades de salários e qualidade de vida (figura 21).

**Figura 21:** População urbana e rural - Birigui-SP



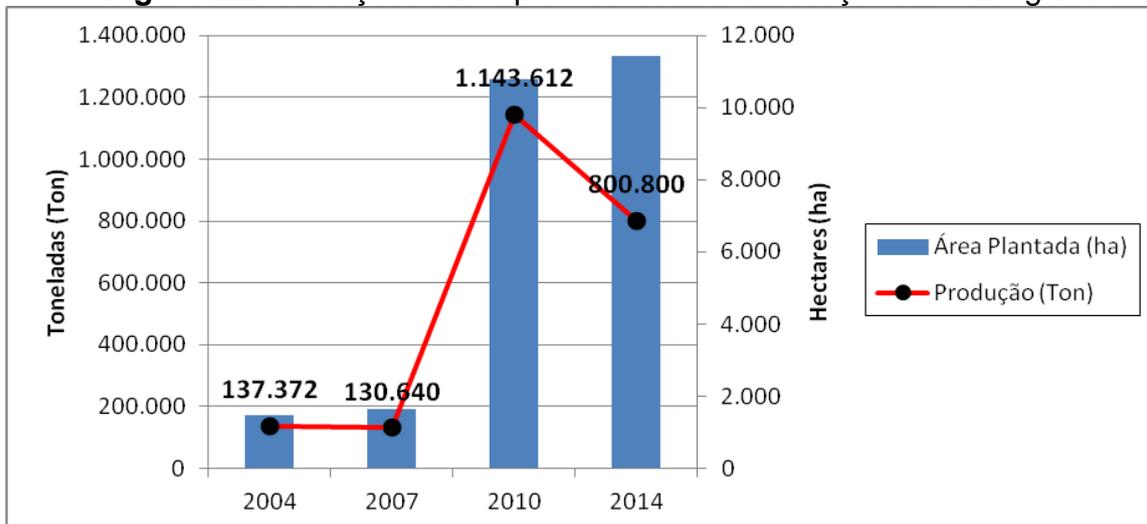
**Fonte:** Sidra (Sistema IBGE de Recuperação Automática de Dados) - IBGE

**Elaboração:** Rafael Marques dos Santos

Em relação a economia advinda das atividades agropecuárias, percebe-se um aumento significativo da área plantada entre 2007 e 2014 (figura 22) e a diminuição na criação de bovinos (figura 23), revelando a substituição da matriz econômica do

campo no município, da pecuária para a agroindústria, principalmente ligado a cultura da cana-de-açúcar.

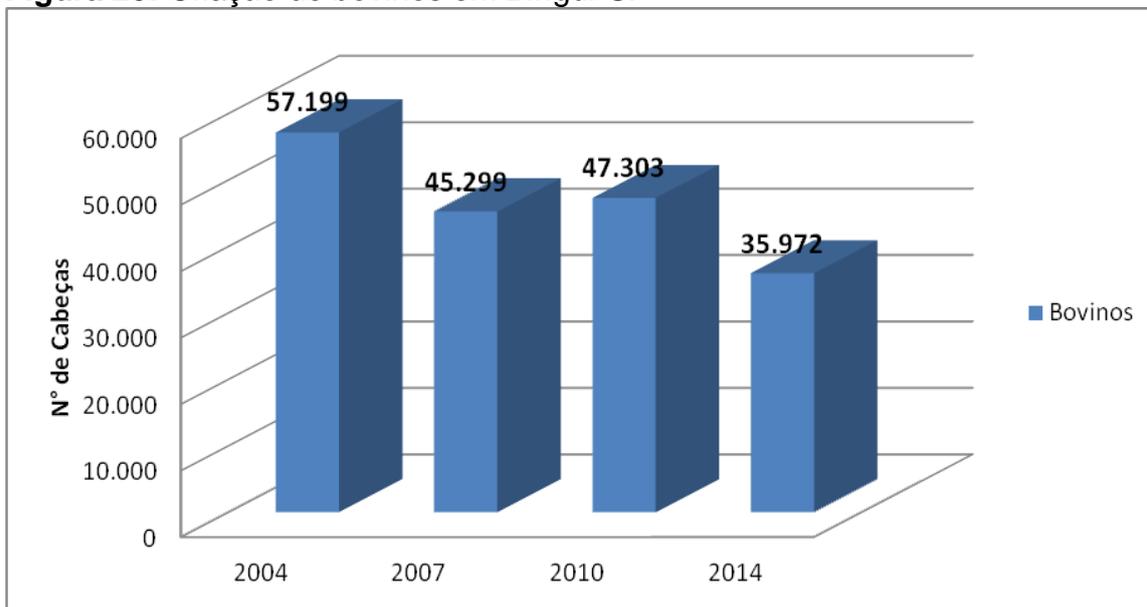
**Figura 22:** Produção e área plantada de cana-de-açúcar em Birigui-SP



Fonte: Sidra (Sistema IBGE de Recuperação Automática de Dados) - IBGE

Elaboração: Rafael Marques dos Santos

**Figura 23:** Criação de bovinos em Birigui-SP



Fonte: Sidra (Sistema IBGE de Recuperação Automática de Dados) - IBGE

Elaboração: Rafael Marques dos Santos

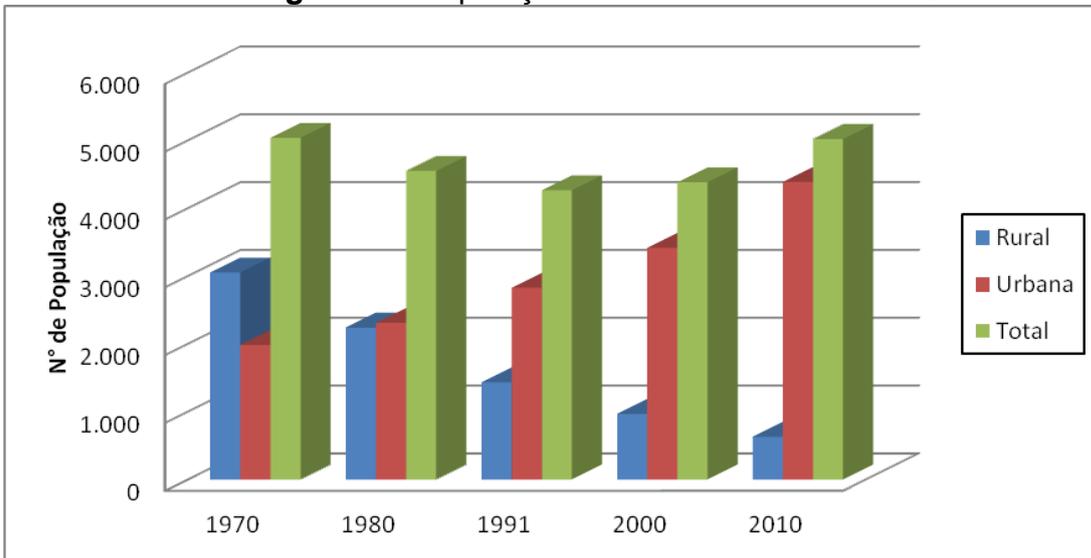
- **Braúna**

A população total de Braúna sofreu uma pequena queda entre as décadas de 1980 e 1990, pois uma parte da sua população migrou para cidades vizinhas, principalmente Birigui, em busca de melhores oportunidades, principalmente nas



indústrias recém instaladas. Em relação à população urbana e rural, observa-se em Braúna a mesma dinâmica observada em outros municípios brasileiros, o êxodo rural e o aumento da população urbana (figura 24).

**Figura 24:** População urbana e rural - Braúna-SP

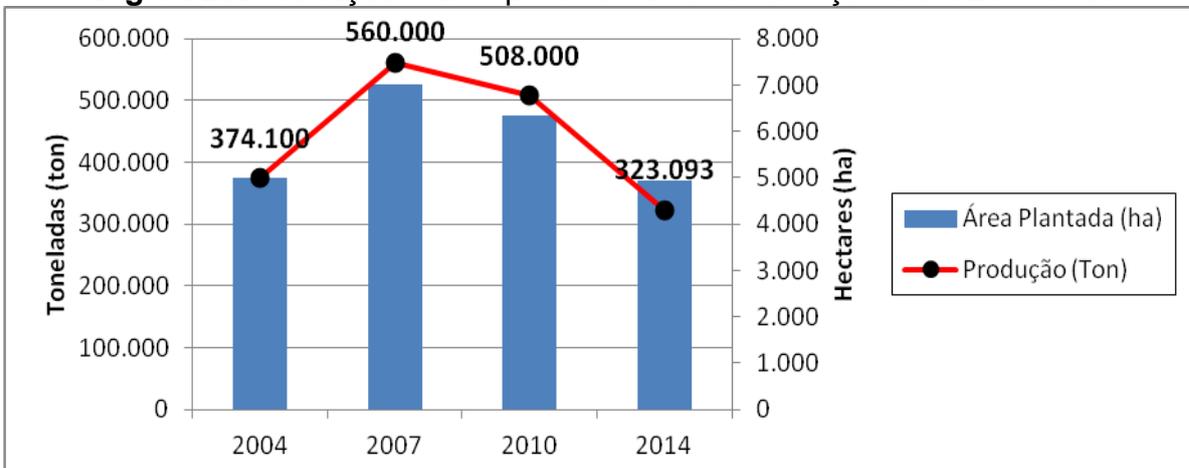


**Fonte:** Sidra (Sistema IBGE de Recuperação Automática de Dados) - IBGE

**Elaboração:** Rafael Marques dos Santos

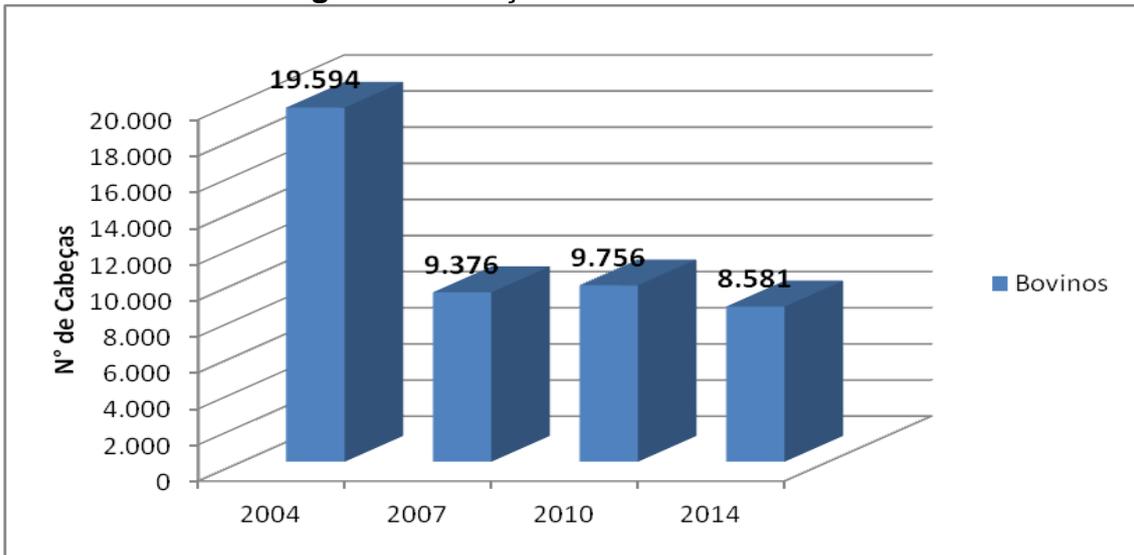
É notório que houve a substituição da matriz econômica rural no município, da pecuária para agroindústria e produção de cana-de-açúcar, pois ocorreu uma diminuição significativa na criação de bovinos e um aumento na área plantada de cana-de-açúcar (figuras 25 e 26). A diminuição na produção de cana-de-açúcar de 2010 e 2014 pode ser explicada pela baixa pluviosidade vivida pela região sudeste durante o período de desenvolvimento da mesma.

**Figura 25:** Produção e área plantada de cana-de-açúcar em Braúna-SP



**Fonte:** Sidra (Sistema IBGE de Recuperação Automática de Dados) - IBGE

**Elaboração:** Rafael Marques dos Santos

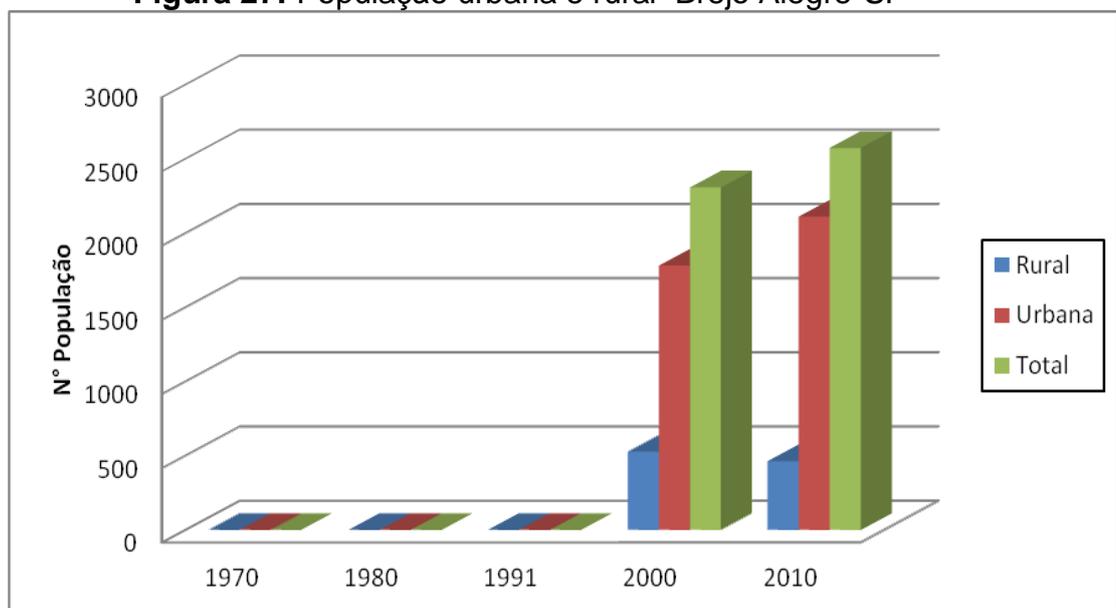
**Figura 26:** Criação de bovinos em Braúna-SP

**Fonte:** Sidra (Sistema IBGE de Recuperação Automática de Dados) - IBGE

**Elaboração:** Rafael Marques dos Santos

- **Brejo Alegre**

O município de Brejo Alegre foi criado recentemente, em 1993, portanto não apresenta dados de população anteriores. De 2000 a 2010, nota-se que o município vem aumentando sua população total e principalmente urbana, sendo que muitas pessoas mudaram para a cidade atraídos por empregos no setor sucroalcooleiro (figura 27).

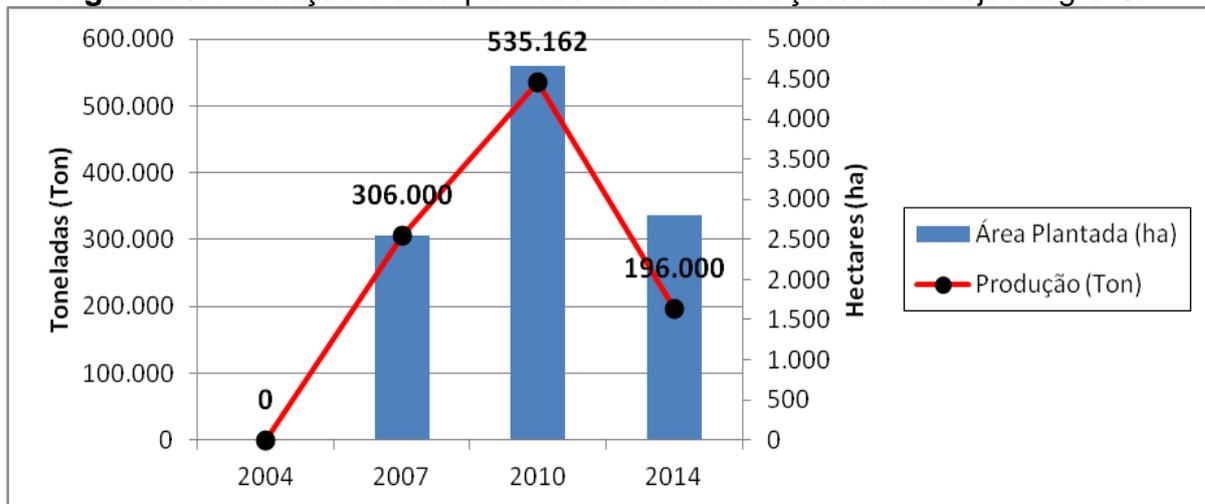
**Figura 27:** População urbana e rural Brejo Alegre-SP

**Fonte:** Sidra (Sistema IBGE de Recuperação Automática de Dados) - IBGE

**Elaboração:** Rafael Marques dos Santos

Em relação à economia, a criação de bovinos vem diminuindo, pois está havendo a substituição da área destinada a pecuária para a de produção de cana-de-açúcar para suprir as necessidades de matéria prima da usina instalada no município (figuras 28 e 29). A diminuição na produção de cana-de-açúcar em 2010 e 2014 pode ser explicada pela baixa pluviosidade vivida pela região sudeste durante o período de desenvolvimento da planta.

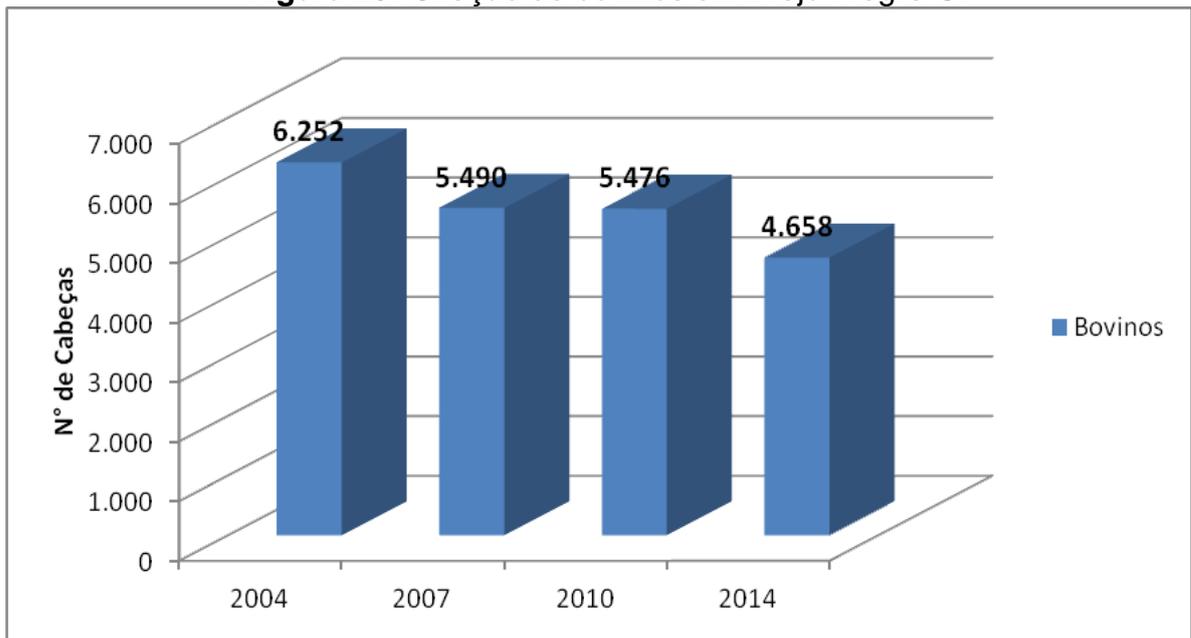
**Figura 28:** Produção e área plantada de cana-de-açúcar em Brejo Alegre-SP



**Fonte:** Sidra (Sistema IBGE de Recuperação Automática de Dados) - IBGE

**Elaboração:** Rafael Marques dos Santos

**Figura 29:** Criação de bovinos em Brejo Alegre-SP



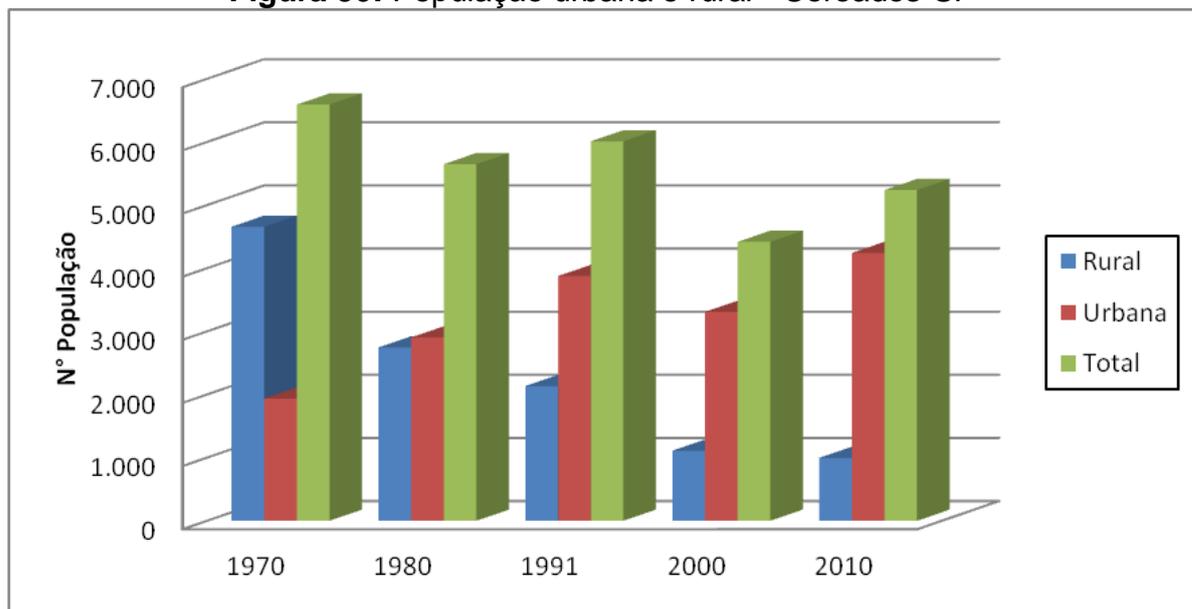
**Fonte:** Sidra (Sistema IBGE de Recuperação Automática de Dados) - IBGE

**Elaboração:** Rafael Marques dos Santos

- **Coroados**

Coroados apresentou oscilações no número total da população (figura 30) que pode ser justificada pela proximidade com Birigui, município que apresenta maiores fatores atrativos urbanos, principalmente relacionados à oportunidades de emprego nas indústrias e comércio.

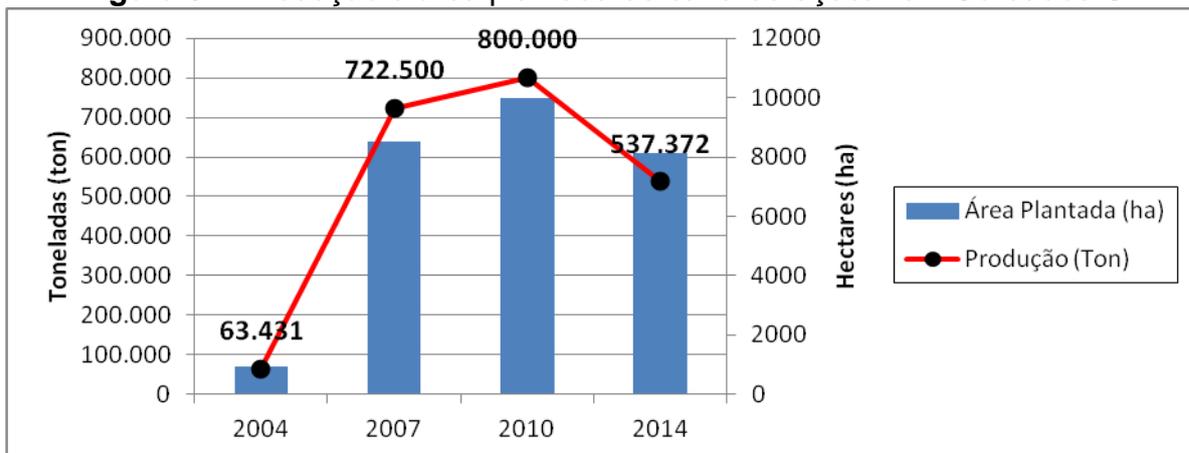
**Figura 30:** População urbana e rural - Coroados-SP



**Fonte:** Sidra (Sistema IBGE de Recuperação Automática de Dados) - IBGE

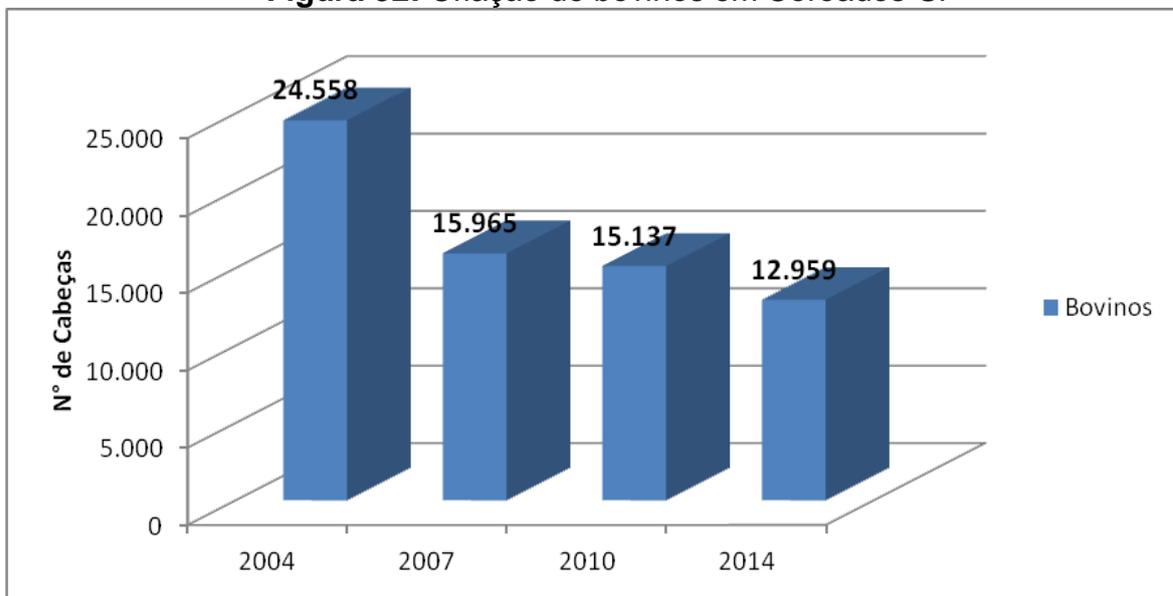
**Elaboração:** Rafael Marques dos Santos

Em relação à economia, Coroados segue a mesma tendência vivida pelos outros municípios estudados, ou seja, a diminuição da área destinada à criação de bovinos, e a conseqüente substituição da área pela produção de cana-de-açúcar (figuras 31 e 32). A diminuição na produção de em 2010 e 2014 pode ser explicada pela baixa pluviosidade vivida pela região sudeste durante o período de desenvolvimento da cana-de-açúcar.

**Figura 31:** Produção e área plantada de cana-de-açúcar em Coroados-SP

Fonte: Sidra (Sistema IBGE de Recuperação Automática de Dados) - IBGE

Elaboração: Rafael Marques dos Santos

**Figura 32:** Criação de bovinos em Coroados-SP

Fonte: Sidra (Sistema IBGE de Recuperação Automática de Dados) - IBGE

Elaboração: Rafael Marques dos Santos

## 5.2 Uso da terra na bacia hidrográfica dos Baixotes-SP, nos anos de 2001, 2009 e 2016

As análises dos mapas de uso da terra nos anos de 2001, 2009 e 2016 (Figuras 34,35 e 36), evidenciaram as classes de pastagem, solo exposto, cultura temporária, mata e cultura permanente, além da infraestrutura urbana.

Percebe-se o avanço do plantio de forma intensa da cultura temporária, expressa na paisagem pela cana-de-açúcar (figuras 34, 35 e 36). A cultura da cana-de-açúcar tem expressividade regional, tendo um aumento significativo no ano de

2009, provocando intensa concentração de usinas e canaviais, configurando uma mudança no cenário produtivo e econômico da região.

Diante da demanda pelo combustível álcool/etanol, proveniente da industrialização da cana-de-açúcar, novas unidades de usinas foram implantadas em todo o estado de São Paulo, incentivadas, por forte aporte governamental, novas áreas foram incorporadas para o plantio da cana-de-açúcar. Sendo assim, as usinas direcionaram-se para o Oeste Paulista (Quadro 05 e Figura 33), atraídas por um relevo suave ondulado que favoreceu o processo de mecanização para a cultura e uma rede de infraestrutura de transporte adequada.

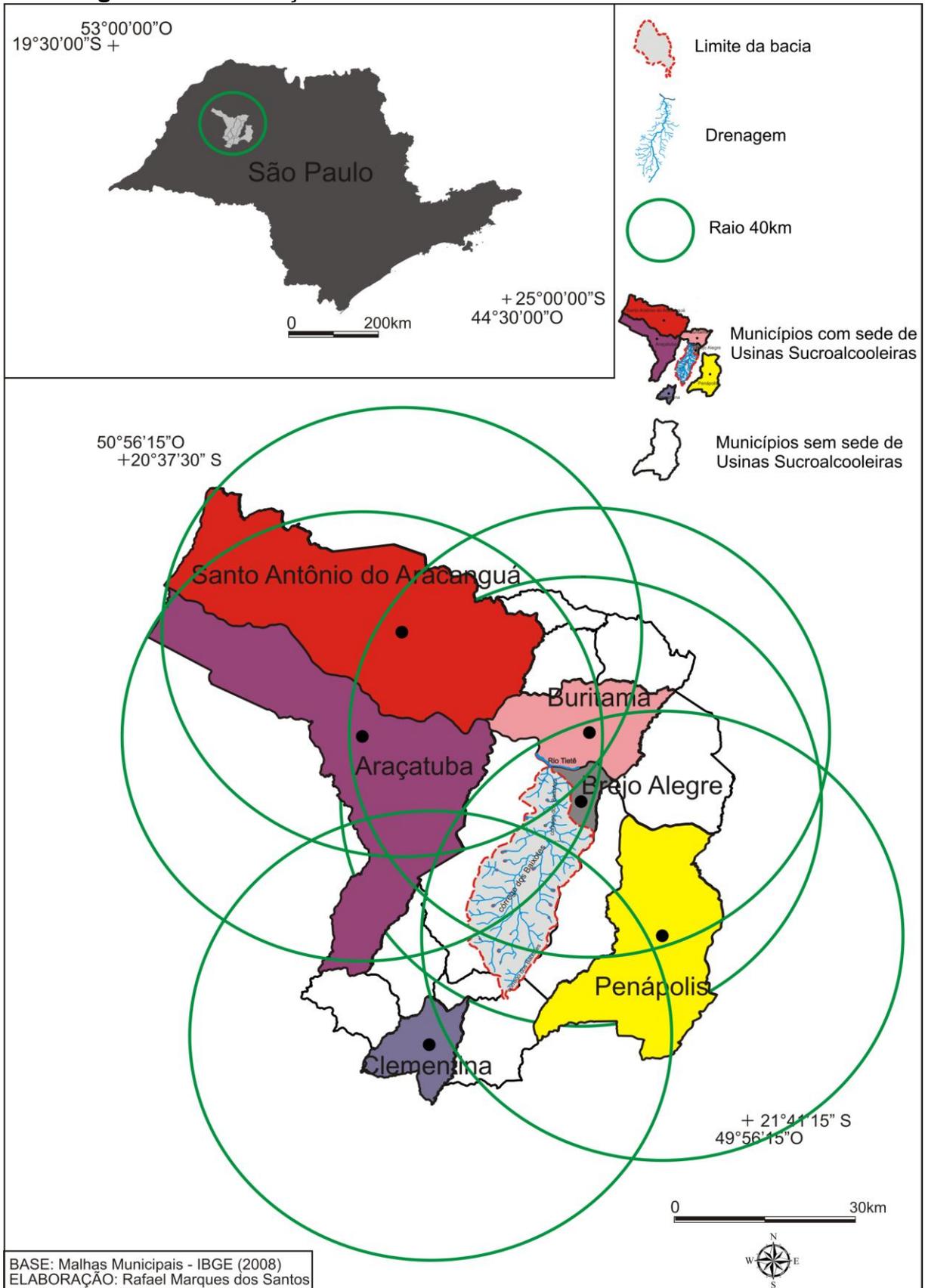
**Quadro 05:** Usinas que influenciam o plantio da cana-de-açúcar na bacia hidrográfica dos Baixotes-SP

<b>Usinas Sucrialcooleira</b>	<b>Município</b>
Renuka - Unidade Revati	Brejo Alegre
Clealco	Clementina
Clealco	Penápolis
Figueira	Buritama
Figueira - Unidade Alcoazul	Araçatuba
Raízen - Unidade Destivale	Araçatuba
Aralco	Santo Antônio do Araganguá

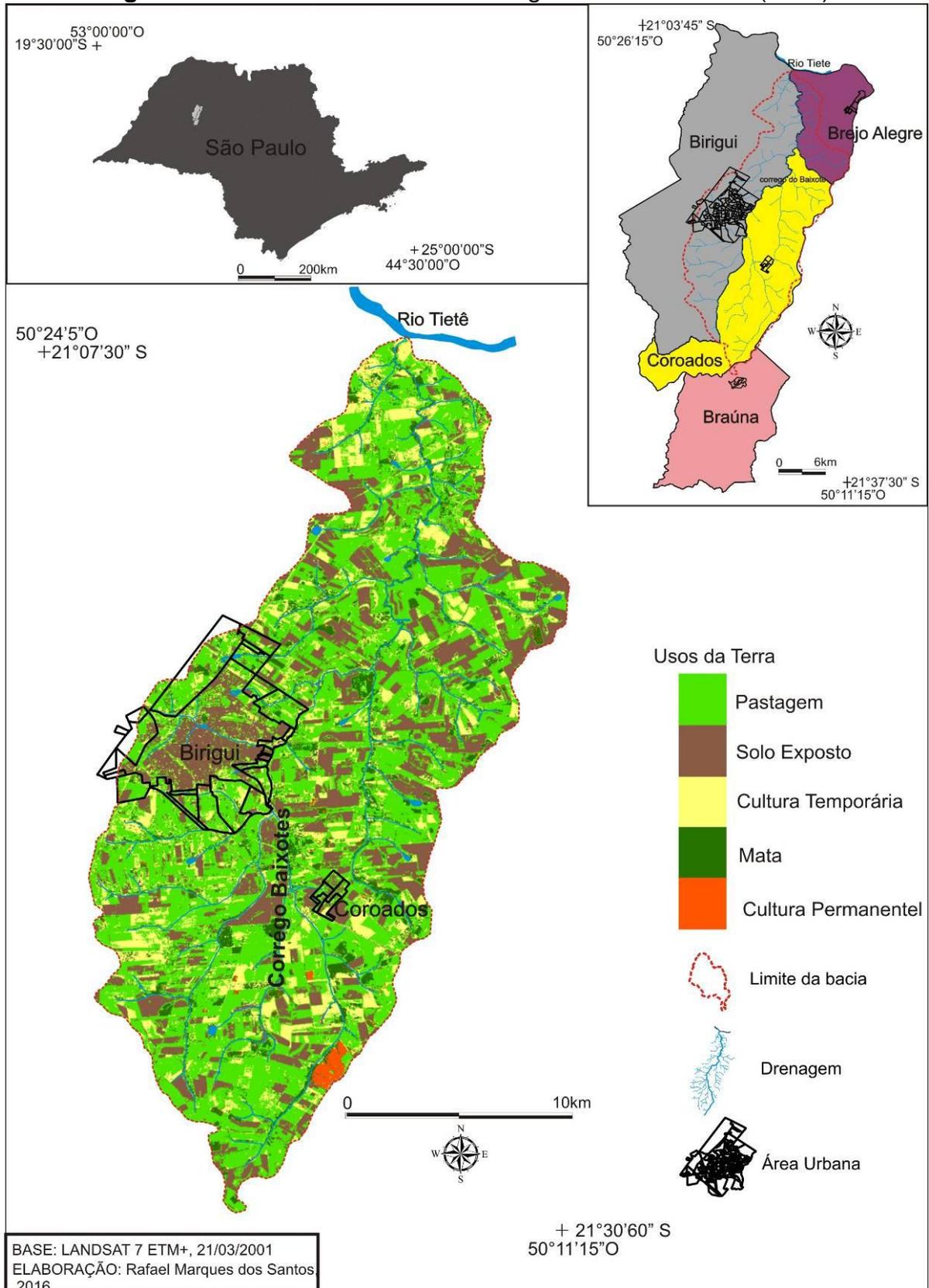
Fonte: UDOP - <http://www.udop.com.br/>

De acordo com Silva; Miziara (2011), para cada uma usina, deve ser associado um polígono, com raio de 40 km, sendo que este valor representa uma tentativa de se dimensionar a área de influência da usina, uma vez que a legislação propõe a diversificação de culturas, em prol da segurança alimentar, conforme a Lei 4.244/08.

**Figura 33: Localização e raio de influência das Usinas Sucroalcooleiras**

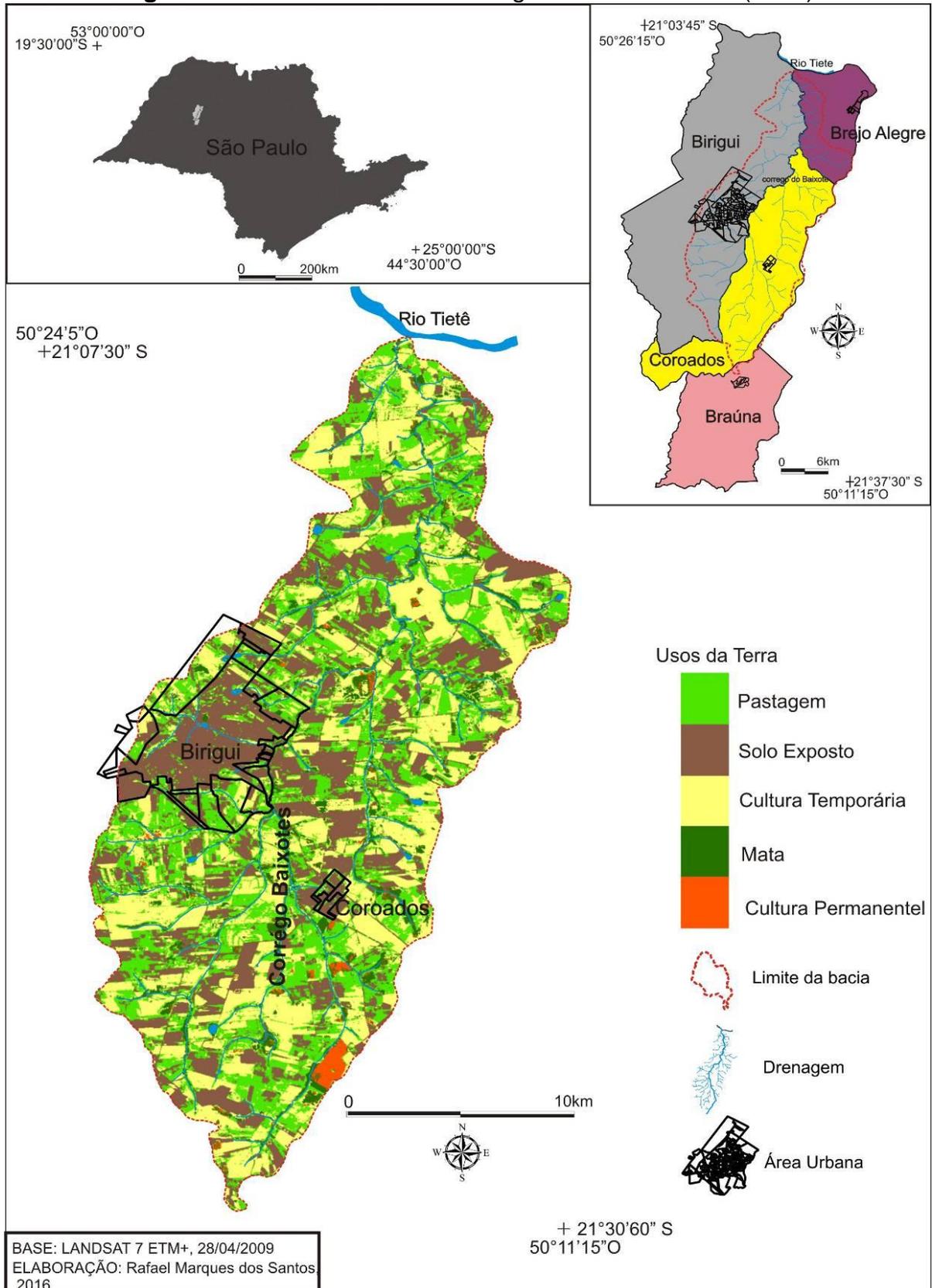


**Figura 34: Uso da terra da bacia hidrográfica dos Baixotes (2001)**

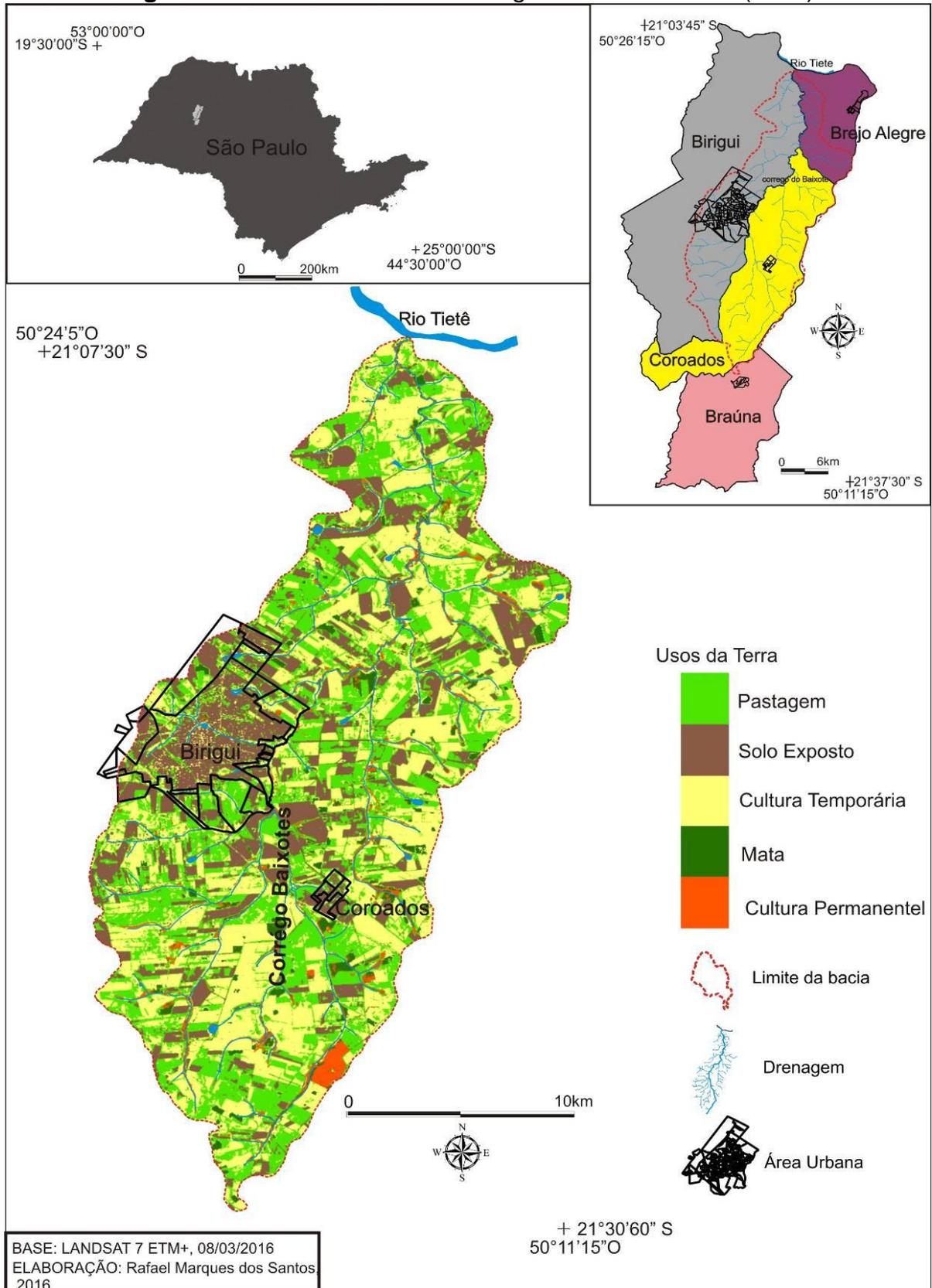




**Figura 35: Uso da terra bacia hidrográfica dos Baixotes (2009)**

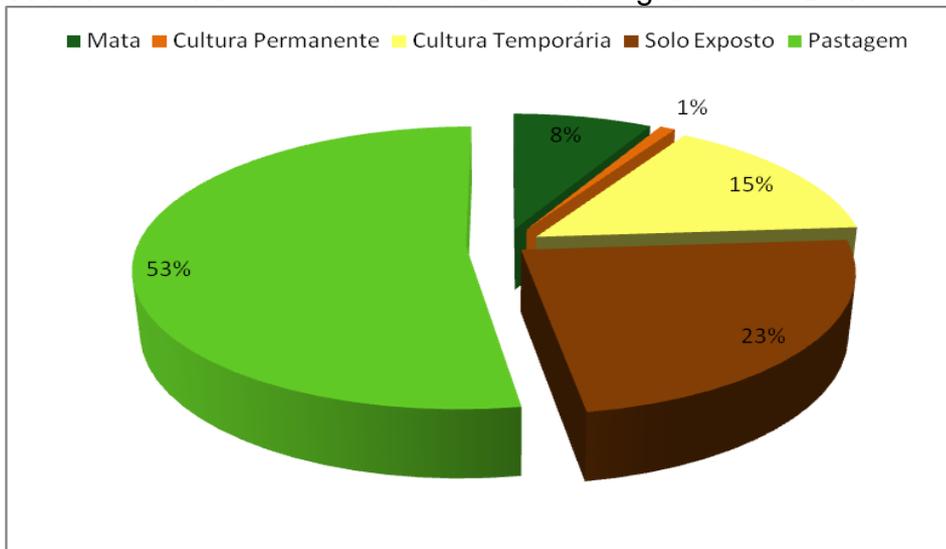


**Figura 36: Uso da terra bacia hidrográfica dos Baixotes (2016)**



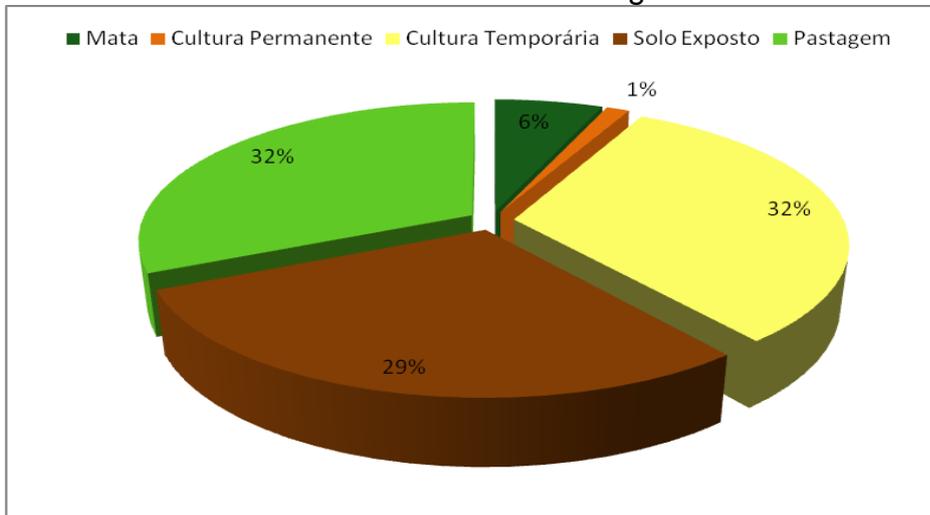
Os municípios de Birigui, Braúna, Coroados e principalmente Brejo Alegre, foram ocupados de forma rápida pela cultura da cana-de-açúcar, em face da grande concentração de usinas e da grande demanda por matéria prima. O plantio da cana-de-açúcar avançou principalmente sobre as áreas de pastagens, causando a redução da pecuária. É visível esta substituição das áreas de cultura permanente e principalmente das áreas de pastagens dos mapas de uso da terra. Os dados de 2001 apontam que 53% da área da bacia era ocupada por pastagem. Este valor foi sendo gradativamente reduzido e substituído pela cultura temporária de cana de açúcar, 32% em 2009 e 36% em 2016 (figuras 37, 38 e 39). Estima-se que a área que cultura temporária seja maior, pois geralmente, o que é apresentado como solo exposto está associado as culturas temporárias.

**Figura 37:** Percentual do uso da terra na bacia hidrográfica dos Baixotes-SP (2001)



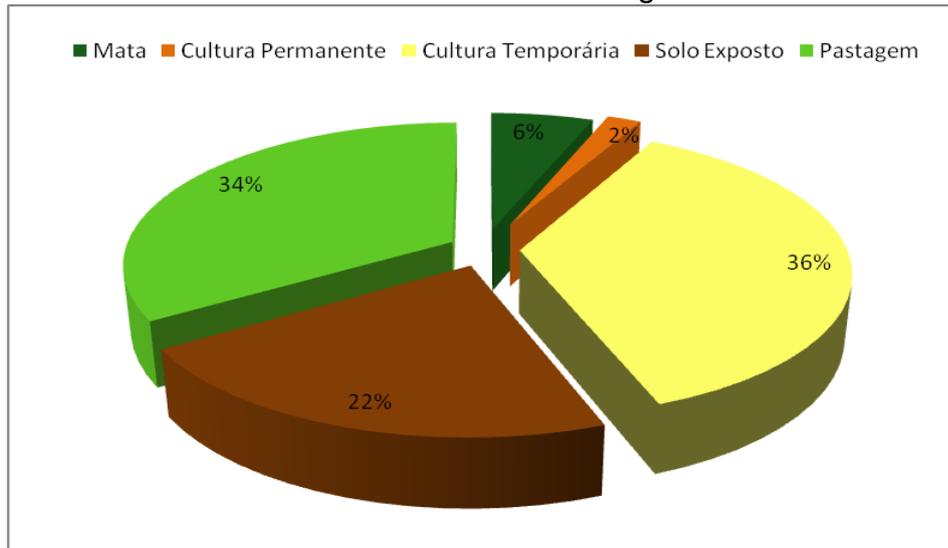
Fonte: Rafael Marques dos Santos

**Figura 38:** Percentual do uso da terra na bacia hidrográfica dos Baixotes-SP (2009)



Fonte: Rafael Marques dos Santos

**Figura 39:** Percentual do uso da terra na bacia hidrográfica dos Baixotes-SP (2016)



**Fonte:** Rafael Marques dos Santos

O principal impacto da cultura de cana-de-açúcar e de outras culturas temporárias é de que as práticas agrícolas associadas principalmente a este tipo de atividade podem ser problemáticas, principalmente em termos ambientais, pois em sua fase jovem as culturas não oferecem cobertura vegetal eficiente ao solo, que fica desprotegido, causando remoção do horizonte superficial pela ação das águas da chuva. Quando há queimada promovida na fase da colheita, esta apresenta efeitos danosos porque não possibilita a recomposição de matéria orgânica nesses solos. Atualmente o tipo de manejo é apresentado de duas maneiras, foram encontradas áreas com queimadas para a colheita da cana-de-açúcar e sem cobertura vegetal no período de preparo do solo, e outros já como um sistema de manejo adequado, utilizando o sistema direto, onde a palha da cana-de-açúcar permanece sobre os solos após a colheita mecanizada, protegendo assim o solo de desgastes superficiais.

Além dos impactos naturais, há os impactos químicos, por aplicação de corretivos de solos, hormônios para controle da produtividade, e também, por pesticidas para controle de pragas e insetos (BÖHM, 1991).

Em áreas onde se instalam usinas de açúcar e álcool, podem ocorrer fortes pressões para que as terras vizinhas cultivem cana-de-açúcar, pois esta possui elevada especificidade locacional, uma vez que sua produção esteja a mais de 40 km das usinas, inviabiliza o seu processamento, devido aos altos custos de transporte. Além desta especificidade locacional, existe a especificidade temporal,

pois a cana queimada precisa ser esmagada rapidamente sob pena de ir perdendo qualidade (WAACK; NEVES, 1998).

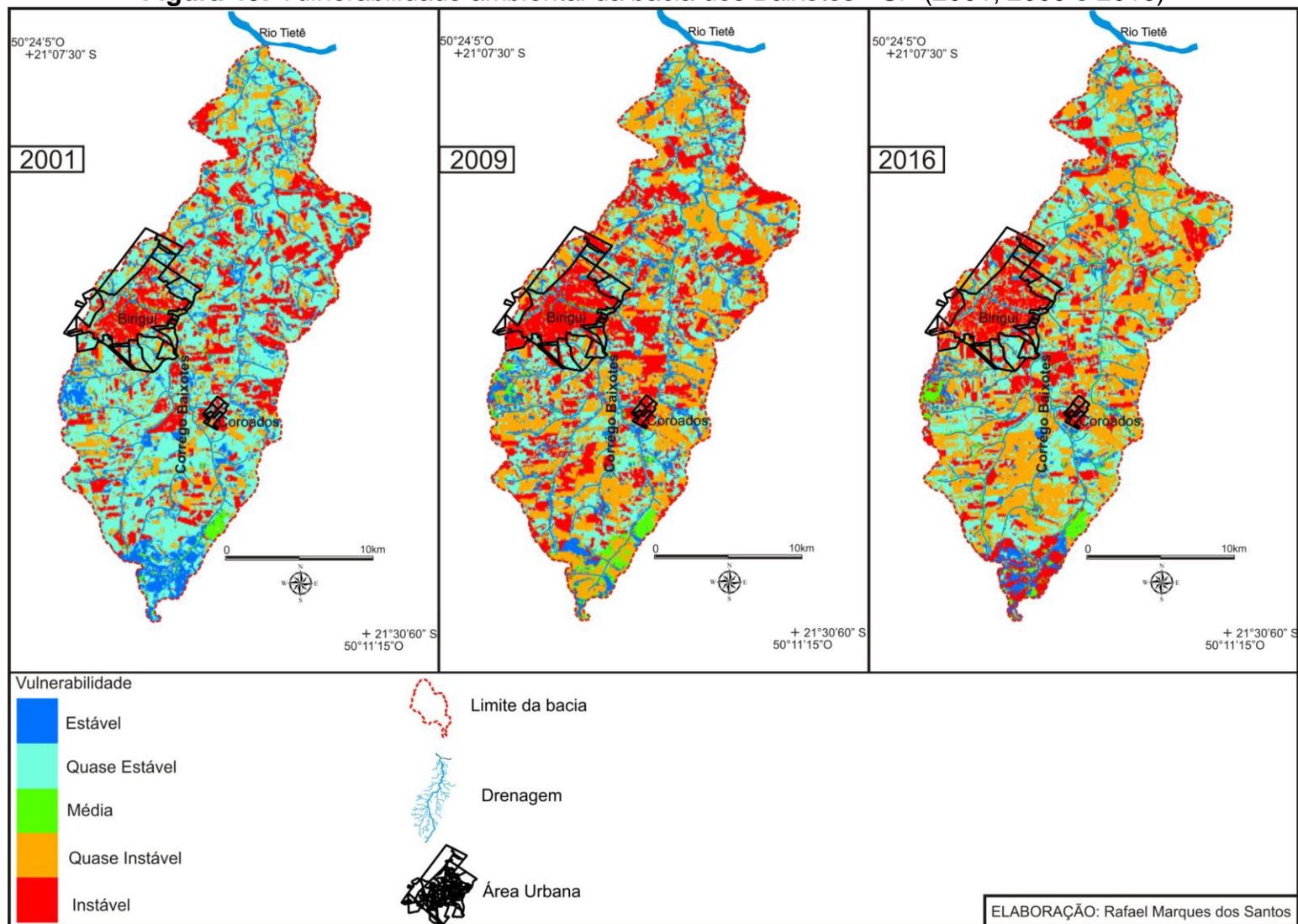
### **5.3 Aplicação do modelo proposto de análise da vulnerabilidade ambiental**

Os valores atribuídos a cada unidade ambiental foram avaliados segundo a relação pedogênese/morfogênese, conforme explanado anteriormente, nos procedimentos metodológicos. Quando esta relação dentro das unidades ambientais, tende para estável o valor aplicado é de 1, para nível intermediário, em que a relação é de equilíbrio entre os dois processos é de 2; e quando prevalece a morfogênese, este valor é de 3.

Percebeu-se que o atributo que modelou as diferenças obtidas nos resultados finais foi o uso da terra, que se modificou no decorrer do curto tempo de análise na bacia hidrográfica em estudo. Por possuir um uso predominante de pastagem, com exceções de pontos de solo expostos e plantio de cultura temporária, nota-se uma menor vulnerabilidade ambiental para o cenário de 2001 (figura 40) e Apêndice 1, se comparado às outras duas cartas de 2009 e 2016 (figura 40) e Apêndices 2 e 3.

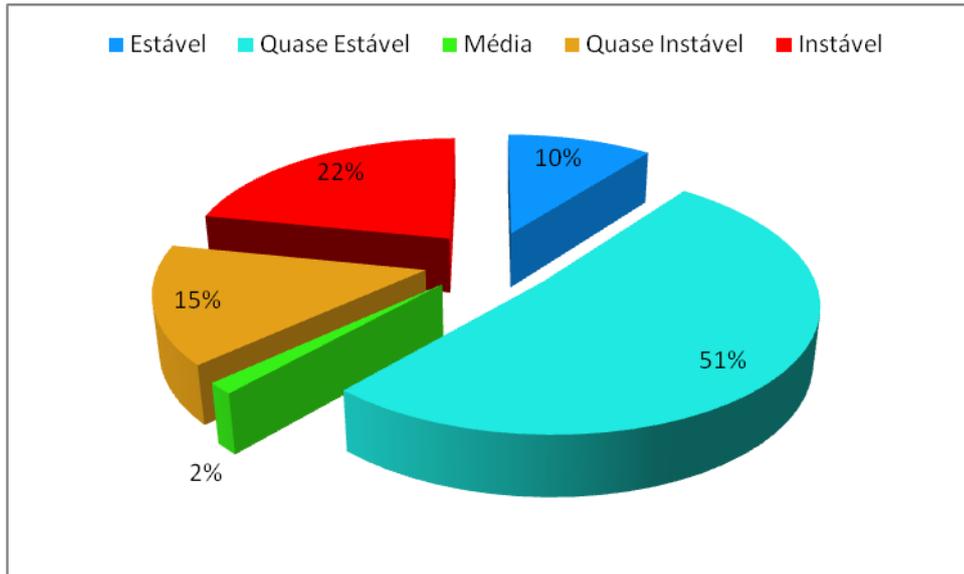
Conforme, foi ocorrendo o processo histórico de transição do uso da terra de pastagem para cana-de-açúcar, também foi aumentando a vulnerabilidade ambiental na bacia hidrográfica, principalmente nas áreas de solos expostos no período de entressafra.

**Figura 40:** Vulnerabilidade ambiental da bacia dos Baixotes - SP (2001, 2009 e 2016)



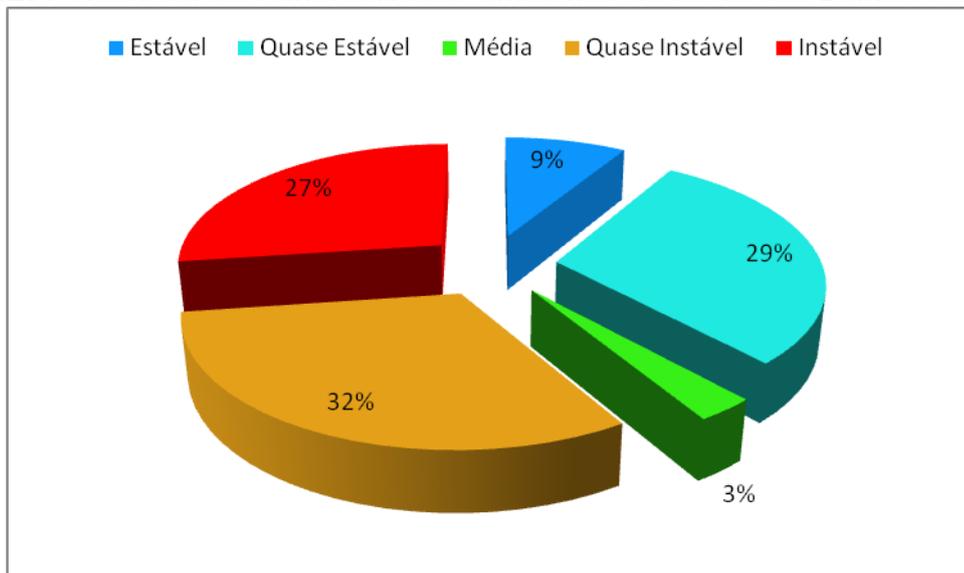
Os dados percentuais revelam que houve uma redução da vulnerabilidade ambiental na bacia hidrográfica dos Baixotes. Em 2001, somava-se as áreas estáveis e quase estáveis o valor de 61%, já em 2009 e 2016 era de 38%, nos dois cenários, apontando uma redução de 23% da estabilidade ambiental (figuras 41, 43 e 43).

**Figura 41:** Percentual da vulnerabilidade ambiental da bacia dos Baixotes-SP (2001)

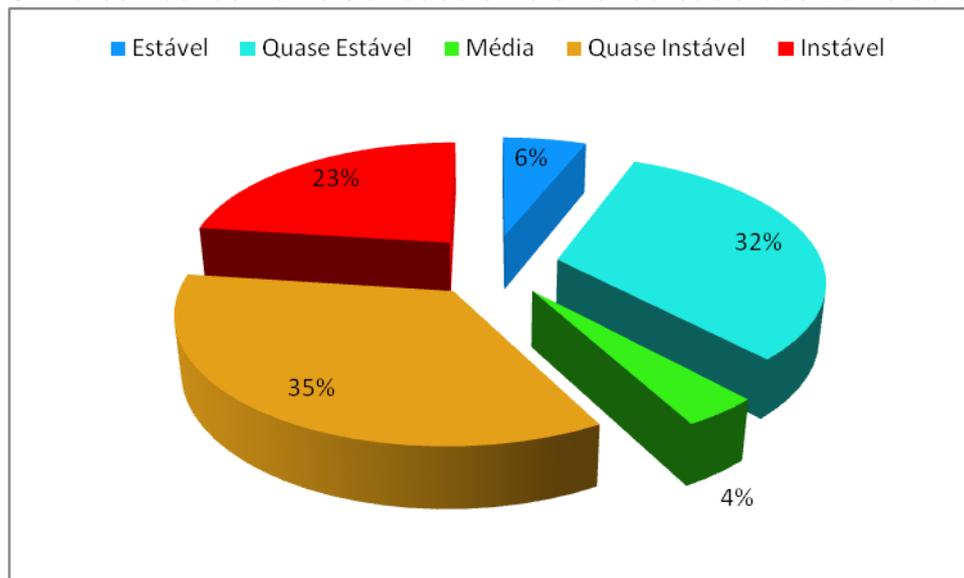


Fonte: Rafael Marques dos Santos

**Figura 42:** Percentual da vulnerabilidade ambiental da bacia dos Baixotes-SP (2009)



Fonte: Rafael Marques dos Santos

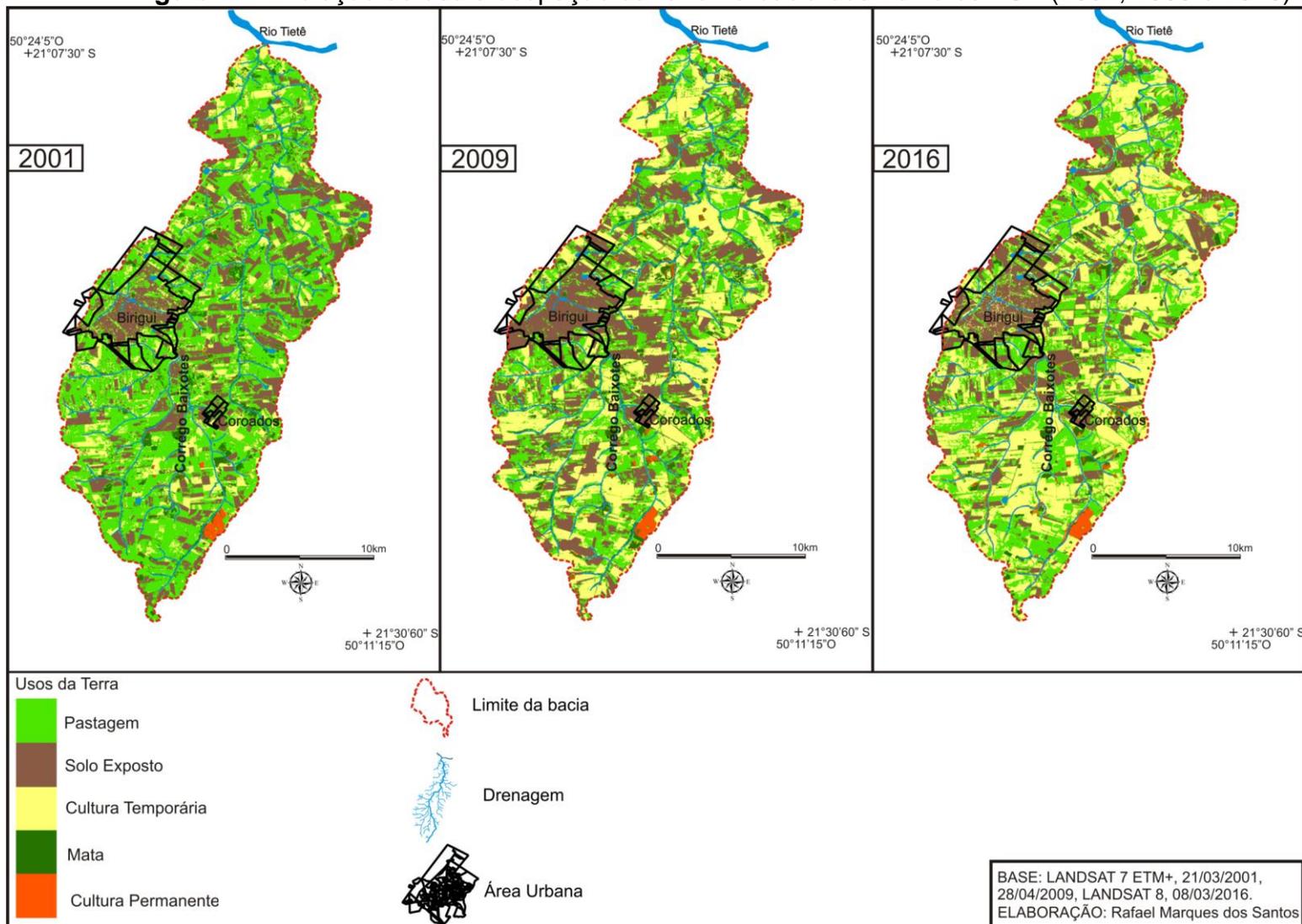
**Figura 43:** Percentual da vulnerabilidade ambiental da bacia dos Baixotes-SP (2016)

**Fonte:** Rafael Marques dos Santos

Ao se comparar as cartas de vulnerabilidade ambiental com as cartas de uso e ocupação da terra, percebe-se que o fator que mais modulou o resultado final foi a ocupação da terra (figura 44), visto que a modificação da cobertura de pastagem para cana-de-açúcar diminui a estabilidade ambiental, principalmente pela existência de ciclos, que expõe o solo em entressafras, o emprego de maquinários e a utilização de forma inadequada do solo promovendo alterações de ordem química e física.



**Figura 44:** Evolução do uso e ocupação da terra na bacia dos Baixotes - SP (2001, 2009 e 2016)



## 6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa teve como principal objetivo mapear e analisar a vulnerabilidade ambiental na área da bacia do córrego dos Baixotes, que compreende os municípios de Birigui, Braúna, Brejo Alegre e Coroados localizados na Região Oeste do Estado de São Paulo. Foi utilizado para se alcançar o objetivo proposto, o modelo desenvolvido por Crepani et al (2001), que apresentou nos resultados variações na área de estudo, principalmente por interferências do uso da terra, entre as classes e nos cenários estudados (2001, 2009 e 2016). Outros atributos que contemplam o mesmo modelo, pedologia, geologia, declividade e clima, mantém certa homogeneidade em toda a bacia hidrográfica, não interferindo significativamente no resultado final.

A carta de vulnerabilidade ambiental de 2001 apresentou o menor valor de vulnerabilidade, por possuir certa uniformidade do uso da terra, tendo como predominante a pastagem. O mesmo não se configurou nas outras duas cartas, de 2009 e 2016, visto a mudança de plantio para a cana-de-açúcar. Esta, por sua vez, apresentou um valor muito mais alto de vulnerabilidade, por ser cultura temporária, associado ao período de solo exposto e por atravessar ciclos sazonais de entressafra. Vale salientar, ainda com base nos resultados, que a carta de 2009 apresenta um maior grau de vulnerabilidade, fato que pode ser explicado pela ampliação da área de cana-de-açúcar promovida pelo aquecimento da economia da venda do álcool combustível, o etanol.

Seguindo o mesmo raciocínio, observa-se uma suave diminuição no grau de vulnerabilidade ambiental na carta de 2016, este ocasionado pela perda de cultivo e de investimentos na produção de cana-de-açúcar devido ao grande período de estiagem que afetou praticamente todo o Estado de São Paulo nos anos de 2014/2015, o que levou muitos agricultores a buscarem novas alternativas, como o retorno de culturas permanentes (silvicultura).

A avaliação do modelo de vulnerabilidade ambiental implica em compreender qualitativa e quantitativamente a relação entre as variáveis ambientais e socioeconômicas e a realidade de campo. Portanto, a metodologia proposta de Crepani et al (2001), se mostrou uma ferramenta importante de análise, pois com seu alto grau de detalhe nas atribuições de pesos de forma graduada, de acordo com cada variável dentro de uma temática e, posteriormente, com a aplicação da

equação, que resultou em uma média aritmética, conseguiu reproduzir o papel que os diversos tipos de usos da terra desempenham na geração da vulnerabilidade ambiental na bacia do Baixotes, ratificando o que foi obtido em campo.

A utilização da geotecnologia se mostrou de grande importância, pois apresenta uma série de facilidades na obtenção, produção de dados e informações para o estudo dos elementos geográficos. Conseguimos gerar e posteriormente analisar uma grande quantidade de dados, de ordem física e humana (solos, relevo, uso da terra, clima e geológico), através do emprego geoprocessamento atrelado ao sensoriamento remoto, gerando também as cartas base, uso da terra e sínteses.

O mapeamento de vulnerabilidade ambiental possibilitou a indicação de áreas onde os graus de vulnerabilidade são mais baixos, com maiores opções de uso e ocupação; e aquelas de graus de vulnerabilidade mais altos, áreas mais vulneráveis, onde as opções de uso são mais reduzidas, exigindo-se, ainda, a aplicação de técnicas mais adequadas. Fornecem deste modo, importantes subsídios para a gestão territorial e o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE).

Vale ressaltar, que o modelo proposto por Crepani et al (2001) foi pensado para a Amazônia, a fim de estabelecer uma proposta de Zoneamento Ecológico-Econômico. A área onde foi aplicado o modelo possui grande variedade nos atributos, o que favoreceu os resultados obtidos. No entanto, esta não é a realidade de todos os ambientes. Se considerarmos a maioria dos municípios brasileiros, observa-se que suas áreas encontram-se localizadas em pequenas bacias hidrográficas, e para que um modelo ambiental sirva de subsídio para a sua gestão ambiental, é importante considerar sua dinâmica local.

Neste contexto, embora a pesquisa tenha alcançado resultados, os objetivos propostos, estes não foram totalmente satisfatórios, pois não corresponderam à toda a dinâmica da bacia hidrográfica estudada.

Notou-se que, a metodologia não respondeu adequadamente em áreas que apresentaram grande homogeneidade, o que fez com que atributos como condições climáticas, solos, relevos e substrato rochoso fossem mascarados pelo uso da terra. Fez-se necessário a adaptação do modelo utilizado ou futuramente a formulação de um novo modelo de vulnerabilidade ambiental que responda para bacias hidrográficas de pequeno porte; primeira, segunda e terceira ordem; que contenha homogeneidade nos atributos do meio físico, especificando em detalhes as

informações, considerando por exemplo, a composição granulométrica dos solos ou fatiando em menores intervalos as classes de declividade.

## REFERÊNCIAS

- BACANI, V. M. **Geotecnologias aplicadas ao ordenamento físico- territorial da bacia do alto rio Coxim - MS**. 222f. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
- BATEZELLI, A. et al. **Análise Estratégica Aplicada à Formação Araçatuba (GRUPO BAURU)** No Centro-Oeste do Estado de São Paulo. Revista Geociências, 22: 05-19,2003.
- BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília: Senado Federal, 1988.
- BRASIL. **LEI Nº 9.433**. Brasília: Presidência da República, 1997.
- BELTRAME, A. V. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1994.
- BRIGUENTI, E.C. **O uso de geoindicadores na avaliação da qualidade ambiental da bacia do Ribeirão Anhumas, Campinas/SP**. Campinas/SP: UNICAMP, 2005. Dissertação de mestrado.
- BONIFÁCIO, C.M. **Avaliação da fragilidade ambiental em bacias hidrográficas do alto vale do rio Pirapó, norte do Paraná: proposta metodológica**. Maringá: UEM, Programa de Pós-graduação em Geografia, 2013. 109 f. Dissertação de mestrado.
- CÂMARA, G.; SOUZA, R.; FREITAS, U.; GARRIDO, J. SPRING: **Integrating Remote Sensing and GIS with Object-Oriented Data Modelling**. Computers and Graphics, v. 15, n.6, p. 13-22, 1996.
- CÂMARA, G. **As Roupas Novas do GIS (Parte II)**. Revista InfoGEO, Ano 3, Nº 13, Maio/Junho, 2000.
- CÂMARA, G. **Conceitos básicos em Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001.
- CARVALHO, A.G.B.M. **Análise em bacias hidrográficas: contribuição metodológica para o diagnóstico ambiental**. Rio Claro: UNESP, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2013. 132 f. Tese de doutorado.
- CEPAGRI. Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura. **Clima dos municípios paulistas**. Disponível em: <[www.cepagri.unicamp.br/](http://www.cepagri.unicamp.br/)>. Acesso em: 22 mar 2015.
- CETEC. **Mapa Geológico**. In: Relatório de situação de recursos hídricos da bacia hidrográfica do Baixo Tietê. Lins (SP): Comitê da Bacia Hidrográfica do Baixo Tietê (CBH-BT), 1999.

CETESB. **Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo 2003**. v.2. São Paulo: CETESB, 2004. 273 p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgar Blucher, 1999.

CIIAGRO. Centro integrado de informações agrometeorológicas. **Valores mensais para o estado de São Paulo: 1961 a 1990**. Disponível em: < <http://www.ciiagro.sp.gov.br/climasp.html>>. Acesso em: 23 mar 2015.

CLIMATE-DATA. **Clima: Brejo Alegre**. Disponível em: < <http://pt.climate-data.org/location/287244/>>. Acesso em: 22 mar 2015.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO BAIXO TIETÊ. **Relatório de situação: Bacia hidrográfica do Baixo Tietê**. Lins-SP: SIGRH, 2010. Disponível em: < <http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/7227/relat-situacao-2010-cbh-bt-19.pdf>>. Acesso em 08 jul. 2016.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO BAIXO TIETÊ. **Situação dos recursos hídricos do Baixo Tietê: Minuta preliminar do relatório técnico**. Lins-SP: CETEC, 2000. Disponível em: < <http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/6504/relbtseg.pdf>>. Acesso em: 08 jul. 2016.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S.; AZEVEDO, L.G.; DUARTE, V.; HERNANDEZ, P.; FLORENZANO, T. **Curso de Sensoriamento Remoto Aplicado ao Zoneamento Ecológico-Econômico**. INPE. São José dos Campos, São Paulo, 1996.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S.; HERNANDEZ-FILHO, P.; FLORENZANO, T.G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C.C.F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CUNHA; L .H.; COELHO, M. C. N. Políticas e gestão ambiental. In.: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (orgs.). **A questão ambiental: diferentes abordagens**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

DEFFONTAINES, Jean-Pierre. **Du paysage comme moyen de connaissance de l'activité agricole, à l'activité agricole comme moyen de production du paysage**. In: DEFFONTAINES, Jean-Pierre. Les sentiers d'un géoagronome. Paris, Ed. Arguments, pp. 209-222, 1998.

DOMINGUES, A.F. **Os instrumentos da política nacional de recursos hídricos**. Brasília: MMA, ANA, 2012. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/acamara/altosestudios/arquivos/CamaradosDeputados22deagostode2012finalssimaSomenteleitura.pdf>>. Acesso em: 16 abr 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA Agropecuária – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, 1999. 412p.

FAGUNDES, M.G.; QUEIROZ FILHO, A.P. A variação de escala nas metodologias de fragilidade e vulnerabilidade na bacia hidrográfica do rio Jundiá/SP. **Boletim Goiano de Geografia (Online)**. Goiânia, v. 34, n. 3, set./dez. 2014. p. 585-605. Disponível em: < <http://www.revistas.ufg.br/index.php/bgg/article/view/33872/17923>>. Acesso em: 10 abr 2015.

FERNANDES, L.A.; COIMBRA, A.M. **Revisão estratigráfica da parte oriental da bacia Bauru (Neocretáceo)**. In: Revista Brasileira de Geociências. Curitiba (PR): UFPR, 2000. v.30. p. 717-728.

FERNANDES, L.A. **Mapa litoestratigráfico da parte oriental da bacia Bauru (PR, SP, MG), escala 1:1.000.000**. In: Boletim Paranaense de Geociências. Curitiba (PR): UFPR, 2004. v. 55. p. 53-66.

FIGUEIRÊDO, et al. **Análise da vulnerabilidade ambiental. Fortaleza**: Embrapa Agroindústria Tropical, 2010. 47p. ISSN 1677-1915, 127

FITZ, P.R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008

FLORENZANO, T.G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. 3.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

GHIRARDELLO, N. **À beira da linha**: formações urbanas da Noroeste Paulista. São Paulo: Editora UNESP, 2002. 235 p.

GOMES, M. F. **Cartografia temática aplicada como instrumento de análise e síntese no estudo da qualidade de vida urbana: o caso da cidade de Birigui-SP**. Maringá - PR: UEM, 2011, Dissertação de mestrado.

HAGGET, Peter; CHORLEY, Richard J. Modelos, Paradigmas e a Nova Geografia. In: CHORLEY, Richard; HAGGETT, Peter (org.). **Modelos físicos e de informação em Geografia**. Rio de Janeiro: Universidade de São Paulo e Livros Técnicos e Científicos Editoras, 1975, p. 2-19.

HOGAN, D. J. **Mobilidade populacional, sustentabilidade ambiental e vulnerabilidade social**. Rev. Bras. estud. popul., Dez 2005, vol.22, n.2, p.323-338. ISSN 0102-3098.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **TOPODATA**: guia para utilização de dados geomorfológicos locais. INPE: São José dos Campos, 2008. Disponível em: <<http://mtc-m18.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/07.11.19.24/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 08 nov. 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Resultados da Amostra do Censo Demográfico 2010** - Malha municipal digital do Brasil: situação em 2010. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Cidades@:** Histórico dos municípios. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 26 mai 2015.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Relatório nº 40.675:** Diagnóstico da situação atual dos Recursos Hídricos e estabelecimento de diretrizes técnicas para a elaboração do Plano da Bacia Hidrográfica do Rio São José dos Dourados (Relatório Final). São Paulo: IPT, 2010.

KAWAKUBO, F.S.; MORATO, R.G.; CAMPOS, K.C.; LUCHIARI, AL; ROSS, J.L.S. **Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento.** In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia ... Anais, INPE, pp. 2203-2210, 2005.

KOHLHEPP, G. **Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil.** Estudos Avançados, São Paulo, v. 24, n. 68, p. 223-253, 2010. KOPPEN, W. P. Clima. In: Enciclopédia Mirador Internacional. São Paulo: Enciclopédia Britânica do Brasil, 1995.

MELO, O.A.G. **Análise comparativa da fragilidade potencial e emergente da bacia hidrográfica do rio Baiano - Assis Chateaubriand - PR.** Maringá: UEM, Programa de pós-graduação em Geografia, 2010. 87 f. Dissertação de mestrado.

MORAES, A.J. **Manual para avaliação da qualidade da água.** São Paulo: RIMA, 2001.

NARDY, A.J.R; OLIVEIRA, M.A.F.; BETANCOURT, R.H.S.; VERDUGO, D.R.H.; MACHADO, F.B. **Geologia e estratigrafia da formação Serra Geral.** In.: Revista Geociências. v.21.n.1/2. Rio Claro (SP): UNESP, 2002. p.15-32.

PAIVA, R. G. **Estudo da paisagem do norte central e noroeste paranaense: compartimentação e vulnerabilidade ambiental.** Maringá: UEM, Programa de pós-graduação em Geografia, 2010. 127 f. Dissertação de mestrado.

PORTO, M. F. A. ; PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados.** [online]. 2008, vol.22, n.63, pp. 43-60. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-40142008000200004](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142008000200004)>. Acesso em: 05 abr 2012.

RODRIGUES, F. S.; PEREIRA, J. G. **Uso da geotecnologia na avaliação ambiental na zona de amortecimento do Parque Nacional da Serra da Bodoquena.** Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu, Brasil, 13-18 abril 2013, INPE, p. 4338-4345.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia:** ambiente e planejamento. São Paulo, Contexto, 1990. 66p.

ROSS, J. L. S. **Análise da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados.** São Paulo, Revista do Departamento de Geografia, 8:63-74, 1994.



SAITO, S. M. **Desastres naturais e geotecnologias: vulnerabilidade**. São José dos Campos: INPE, 2011. 35p.

SANTOS, R.M. **Análise da fragilidade ambiental no município de Tamboara - PR**: Aplicação e estudo comparativo de três metodologias. Maringá (PR): UEM, 2009. Trabalho de conclusão de curso.

SOUTO, M. V. S.; AMARO, V. E. **Aplicação das técnicas de geoprocessamento para o mapeamento da vulnerabilidade natural para a região da Ponta do Tubarão, litoral setentrional do Estado do Rio Grande do Norte, município de Macau**. XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 2773-2778.

SPÖRL, C. **Análise da fragilidade ambiental relevo-solo com aplicação de três modelos alternativos nas altas bacias do rio Jaguari-mirim, ribeirão do Quartel e ribeirão da Prata**. São Paulo. Dissertação de Mestrado, Depto. Geografia, USP, 2001, 159p.

SPÖRL, C. **Metodologia para elaboração de modelos de fragilidade ambiental utilizando redes neurais**. São Paulo: USP, 2007. Tese de doutorado.

SPÖRL, C.; ROSS, J.L.S. **Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos**. In: Revista GEOUSP - Espaço e Tempo. n.15. São Paulo: USP, 2004. p. 39-49.

SPÖRL, C.; CASTRO, E.G.; LUCHIARI, A. **Aplicação de redes neurais artificiais na construção de modelos de fragilidade ambiental**. Revista do Departamento de Geografia – USP, v. 21, 2011. p.113-135.

SILVA, A. A.; MIZIARA, F. **Avanço do setor sucroalcooleiro e expansão da fronteira agrícola em Goiás**. Revista Pesquisa Agropecuária Tropical (UFG). v. 41, n. 3, p. 399 - 407, jul./set. 2011

SOTCHAVA, V. B. **Por uma teoria de classificação de geossistemas da vida terrestre**. São Paulo, Instituto de Geografia USP. 23 p. (Biogeografia, 14), 1978.

SUGUIMOTO, E. I. **A expansão da cana em Birigui e a dinâmica agrária regional**. Três Lagoas - MS: UFMS, 2011. Dissertação de mestrado.

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

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro, IBGE, Diretoria Técnica, SUPREN, 1977, 91p.

TUCCI, C. E. M. 1997. **Hidrologia**: ciência e aplicação. 2.ed. Porto Alegre: ABRH/ Editora da UFRGS, 1997.

UDOP. União dos Produtores de Bioenergia. **Clima de Araçatuba**. Disponível em: <<http://www.udop.com.br/>>. Acesso em: 22 mar 2015.

VICTOR, M.A.M.; CAVALLI, A.C.; GUILLAUMON, J.R.; SERRA FILHO, R. **Cem Anos de Devastação**: Revisitada 30 anos depois. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005. 72 p.

WAACK, R.S; NEVES, M.F. **Competitividade do sistema agroindustrial da cana-de-açúcar**. São Paulo: PENSA/FIA/FEA/USP, 1998. 5 v

WESTPHALEN, F. **Fotogrametria e Fotointerpretação**. Santa Maria/ RS: Disciplina de Introdução à Geomática, UFSM, 2009.

## **ANEXOS**

**Anexo 01: Descrição dos tipos litológicos da bacia estudada**

Litologia	Descrição
<p><b>Formação Araçatuba</b> (Grupo Caiuá)</p> <p>Unidade           Aquífera Bauru Inferior - Arenitos médios a finos, predominantemente finos, com pouca matriz e arenitos maciços de cor vermelho escura (CETEC, 1999)</p>	<p>Ocorre sobretudo nas calhas dos baixos vales dos afluentes do rio Paraná, em São Paulo - de modo restrito, no Paraná e em Minas Gerais -, com espessura máxima preservada de 70 a 100m. Apresenta passagens graduais e recorrentes para as Formações Rio Paraná e Vale do Rio do Peixe. Onde, repousa diretamente sobre basaltos da Formação Serra Geral, pode-se encontrar delgados estratos basais com fragmentos de basalto imersos em arenito imaturo, semelhantes aos da base das Formações Rio Paraná e Goio Erê. A área de ocorrência da Formação Araçatuba contorna a da Formação Rio Paraná, para a qual passa gradualmente. Esta formação se caracteriza por estratos arenosos tabulares, de aspecto maciço típico, com espessura decimétrica (até 1m), e raras intercalações de estratos de lamitos e argilitos. Constitui-se de arenitos quartzosos subarcoseanos, quase sempre maciços, finos a muito finos, pobremente selecionados, com a fração silte subordinada, e pequena quantidade de matriz silto-argilosa. Os grãos são subangulosos a subarredondados, foscos, encobertos por uma película de óxido de ferro. O contexto deposicional consiste de depósitos de lençóis de areia, essencialmente secos, acumulados em extensas e monótonas planícies desérticas, marginais dos grandes complexos de dunas do <i>sand sea</i> (Deserto Caiuá), mais raramente, depósitos de enxurradas de chuvas torrenciais esporádicas “<i>wadis</i>” (FERNANDES; COIMBRA, 2000)</p>
<p><b>Formação Vale do Rio do Peixe</b> (Grupo Bauru)</p>	<p>A Formação Vale do Rio do Peixe é composta por camadas de espessura submétrica – estruturação tabular típica –, de arenitos intercalados com siltitos ou lamitos arenosos. Os arenitos são muito finos a finos, marrom-claro rosado a alaranjado, de seleção moderada a boa. Têm aspecto maciço ou estratificação cruzada tabular e acanalada de médio a pequeno porte. Nos estratos “maciços”, podem ocorrer zonas de estratificação/laminação plano-paralela grosseira, formadas por: a) superfícies onduladas (amplitude e comprimento de onda centimétricos), às vezes com laminação interna (<i>climbings</i> eólicos); b) ondulações de adesão; ou c) planos bem definidos, com lineação de partição. Localmente apresenta cimentação intensa por CaCO<sub>3</sub>. As intercalações de estratos siltosos são mais frequentes na parte ocidental e norte da área. São de cor creme a marrom, com estrutura maciça ou estratificação plano- paralela pouco definida, fendas de ressecção (no topo, raras), ou ainda feições tubulares de diâmetro milimétrico e comprimento centimétrico, em geral verticais, no topo de estratos (preenchimento de perfurações de pequenos organismos e/ou de raízes; pouco comuns). (FERNANDES, 2004)</p>

**Fonte:** FERNANDES (2004); COIMBRA (2000); NARDY *et al.* (2002); CETEC (1999), INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (2010)

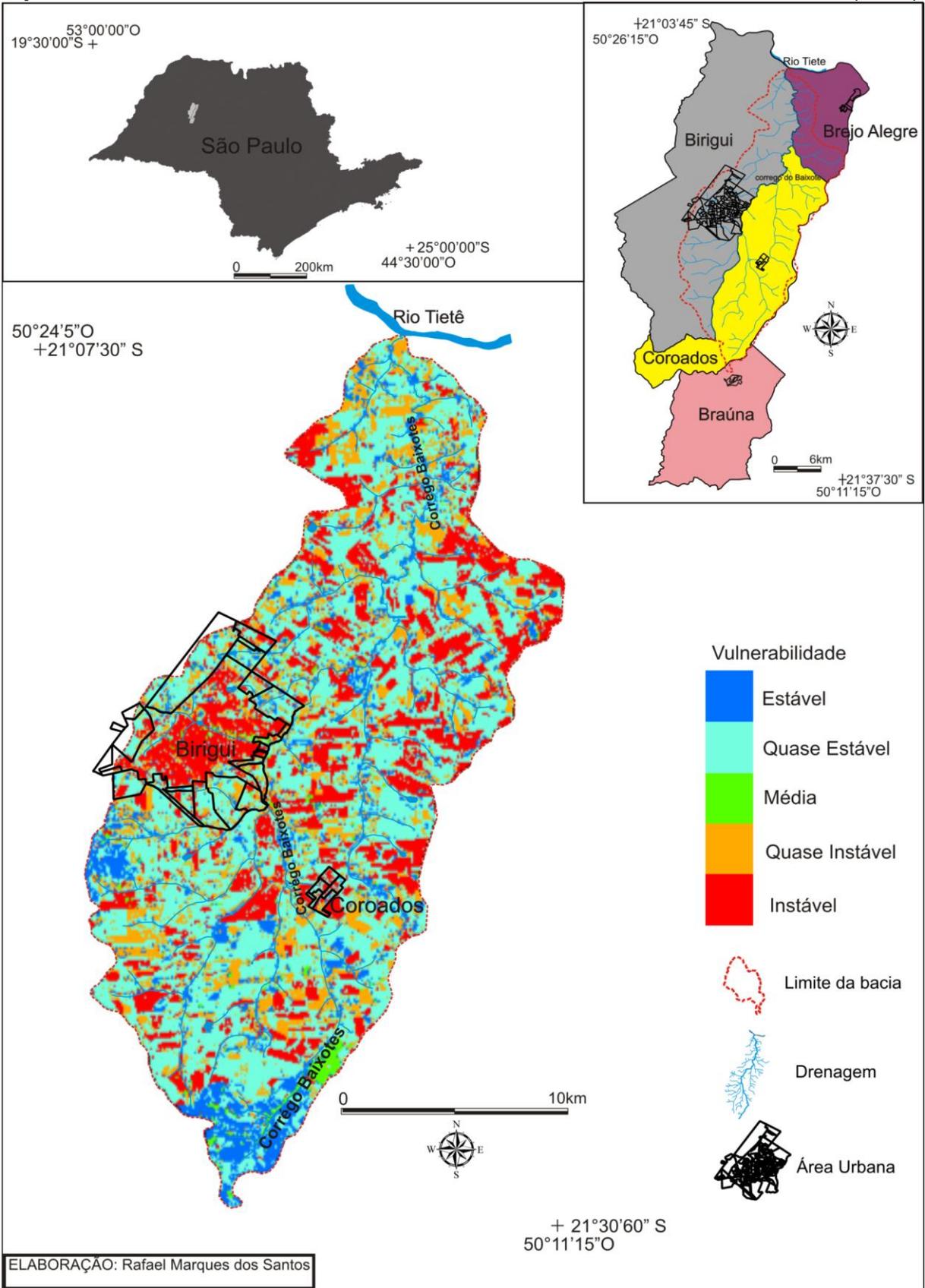
### Anexo 02: Descrição dos tipos de solo da bacia estudada

Tipos de Solo	Características
Latossolos	<p>Os Latossolos são solos bem desenvolvidos, com grande profundidade e porosidade sendo, portanto, considerados solos cujos materiais são os mais decompostos. São considerados solos velhos ou maduros. Devido ao intenso processo de intemperismo e lixiviação que foram submetidos, estes solos apresentam quase que uma ausência total de minerais facilmente intemperizáveis e/ou minerais de argila 2:1, por outro lado neles ocorre uma concentração residual de sesquióxidos (óxido de alumínio, <math>Al_2O_3</math> e óxido de ferro, <math>Fe_2O_3</math>), além de argila do tipo 1:1. São solos que possuem boas propriedades físicas: permeabilidade à água e ao ar, e mesmo com alta porcentagem de argila; são porosos, friáveis, de baixa plasticidade. A principal limitação ao uso agrícola é a baixa fertilidade natural; mesmo os eutróficos contêm baixa soma de bases e não possuem reserva de nutrientes. Apresentam ainda, os horizontes A, B, e C bem desenvolvidos. São em geral, solos pouco suscetíveis aos processos erosivos. Ocorrem geralmente em topografia mais suaves.</p>
Argissolos	<p>Os Argissolos (solos Podzólicos), quando comparados com os Latossolos, apresentam profundidade menor e são solos menos estáveis e menos intemperizados. Ocorrem geralmente em topografias um pouco mais movimentadas. Nos argissolos ocorre também um horizonte B, onde existe acumulação de argila, isto é, durante o processo de formação uma boa parte da argila translocou-se por eluviação do horizonte A para o horizonte B, onde se acumulou. Nestes solos a diferença de textura entre os horizontes A e B (ocasionada pelo acúmulo de argila no horizonte B) dificulta a infiltração de água no perfil, o que favorece os processos erosivos.</p>

Fonte: Adaptado de Crepani *et al.* (2001)

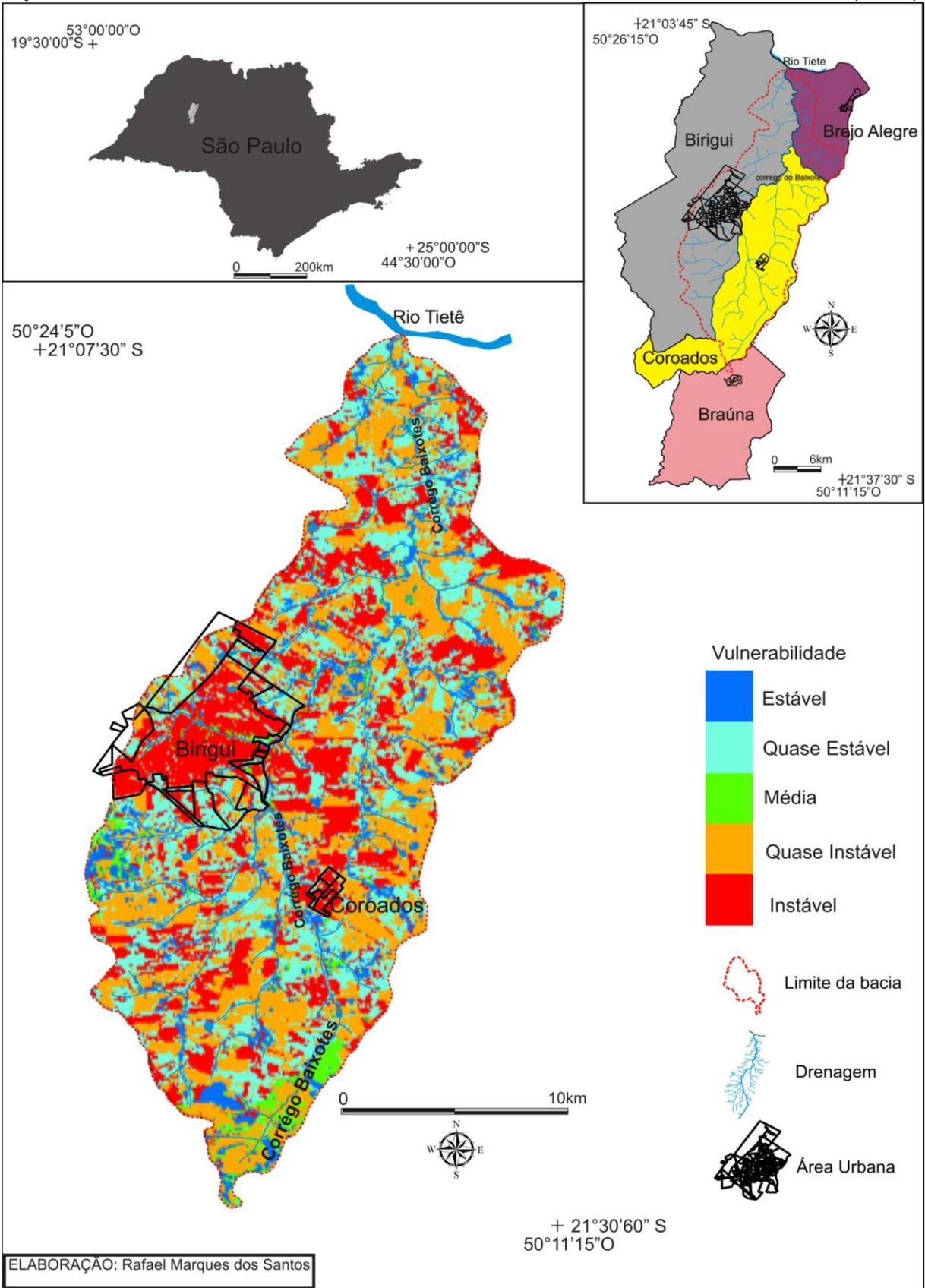
## APÊNDICES

**Apêndice 01: Carta da vulnerabilidade ambiental da bacia dos Baixotes - SP (2001)**



ELABORAÇÃO: Rafael Marques dos Santos

**Apêndice 02: Carta da vulnerabilidade ambiental da bacia dos Baixotes - SP (2009)**





**Apêndice 03: Carta da vulnerabilidade ambiental da bacia dos Baixotes - SP (2016)**

