



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
“JULIO DE MESQUITA FILHO”  
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ**

**RAFAEL BELTRAME BIGNOTTO**

**A APLICAÇÃO DE MODELAGEM HIDROLÓGICA ASSOCIADA À  
ANÁLISE GEOESPACIAL, PARA AVALIAÇÃO DA VAZÃO NA  
MICRO CENTRAL HIDROELÉTRICA ILHA ANCHIETA - SP**

**Guaratinguetá  
2013**

BIGNOTTO, Rafael B.

DM  
2014

RAFAEL BELTRAME BIGNOTTO

APLICAÇÃO DE UM MODELO HIDROLÓGICO ASSOCIADO À ANÁLISE  
GEOESPACIAL, PARA AVALIAÇÃO DA VAZÃO NA MICRO CENTRAL  
HIDROELÉTRICA ILHA ANCHIETA - SP

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica na área de Produção e Transmissão de Energia.

Orientador: Silvio Jorge Coelho Simões

Co-Orientadora: Isabel Trannin

Guaratinguetá  
2013

B593a	<p>Bignotto, Rafael Beltrame</p> <p>Aplicação de modelagem hidrológica associada à análise geoespacial, para caracterização da vazão na micro Central Hidroelétrica Ilha Anchieta / Rafael Beltrame Bignotto – Guaratinguetá, 2014.</p> <p>96 f : il.</p> <p>Bibliografia: f. 86 a 97</p> <p>Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2014.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Silvio Jorge Coelho Simões</p> <p>Coorientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Isabel Cristina de B. Trannin</p> <p>1. Sistemas de Informação Geográfica 2. Usinas Hidrelétricas I. Título</p> <p>CDU 528.9(043)</p>
-------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**RAFAEL BELTRAME BIGNOTTO**

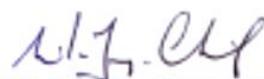
ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
"MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA"

PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA  
ÁREA: TRANSMISSÃO E CONVERSÃO DE ENERGIA

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

  
Prof. Dr. Edson Coechieri Botelho  
Coordenador

**BANCA EXAMINADORA:**

  
Prof. Dr. SILVIO JORGE COELHO SIMÕES  
Orientador / Unesp-Feg

  
Prof. Dr. JOSÉ ANTONIO PERRELLA BALESTIERI  
Unesp-Feg

  
Prof. Dr. HUMBERTO GALLO JUNIOR  
Secretaria de Meio Ambiente do Est. de São Paulo

*Janeiro de 2014*

## **DADOS CURRICULARES**

### **RAFAEL BELTRAME BIGNOTTO**

NASCIMENTO	13.01.1982 – SÃO JOSÉ DO RIO PARDO – SP
FILIAÇÃO	Edneia Beltrame Marcos Benedito Bignotto
2001/2005	Curso de Graduação Ciências Biológicas – UNESP Botucatu
2011/2014	Curso de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, nível de Mestrado, na Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá na Universidade Estadual Paulista

## **DEDICATÓRIA**

Dedico à Edneia Beltrame, pelos sábios conselhos ao longo da vida.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço,

À Deus pela vida;

Ao Mar pelas ondas;

À Família pelo sangue;

Aos Amigos, pela lealdade;

Aos Mestres pelo conhecimento.

## O Sonho

Certo dia estava pensando na vida  
Qual seria minha grande aventura?  
Sou apenas uma gota d'água  
A viver no ribeirão da minha família

Conhecia tudo por ali  
Não tinha do que reclamar  
Mas estava decidida  
Meu sonho é viver no mar

Era um dia quente, quando percebi  
Meus pensamentos me fizeram levitar  
Foi um susto, mas já havia evaporado  
Foi uma emoção e tanto sobre o mundo ter  
voador

Via tudo lá de cima, quanta coisa diferente  
Esse planeta era maior do que eu esperava  
Muitos rios, montanhas e cachoeiras  
Com certeza era com isso que eu sonhava

A aventura estava só começando  
Mas seria linda minha jornada  
Nas nuvens fiz muitos amigos  
Foi uma festança danada

Mas não deu muito tempo  
Logo começou a chuarada  
Foi cada um pra um lado  
Cada gota fez a sua caminhada

Passei por vários cantos  
De norte a sul, de leste a oeste  
Mas só quando desci a serra  
Percebi o que fizeste

Percorri grandes rios  
A correnteza era forte  
Mas como tinha um grande sonho  
Então continuei no meu norte

O caminho não foi fácil  
Muitos meandros eu desenhei  
Já estava exausto  
Mas sonhava em dizer: cheguei!

A aventura tinha rumo certo  
Meu barco estava apumado  
As velas içadas ao sonho  
E coração aberto ao vento

A emoção da primeira onda  
O gosto da água salgada  
O mar já não era um sonho  
Mas uma vitória alcançada

Foi assim que cheguei aqui  
A felicidade de um mestrado  
Mais do que um dever cumprido  
É um sonho realizado

A vida continua  
Flui quase tranquilamente  
Não para nessa remada  
Pois outros sonhos já tenho em mente

Voar ou pegar onda  
Um oceano inteiro pela frente  
Quem tem sonho tem tudo  
Tem motivação permanente

O rumo é o segredo  
É a força pra continuar  
É que a cada nova onda  
Pela vida eu volto a me apaixonar

*Clarissa Mariotti*

**BIGNOTTO, R. B. A aplicação de modelagem hidrológica associada à análise geoespacial, para avaliação da vazão na micro central hidroelétrica Ilha Anchieta – SP.** 2014. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2014.

## **RESUMO**

A crescente demanda de energia orientada para fontes sustentáveis estimula a implantação e desenvolvimento de micro centrais hidroelétricas. Devido à carência de informações hidrológicas, os projetos de implantação ou ampliação, geralmente carregam incertezas sobre a viabilidade técnica, econômica e ambiental dos projetos, trazendo dúvidas sobre o verdadeiro potencial hidroenergético remanescente. A falta de dados observacionais dificulta a tomada de decisões ao analista. Recentemente, avanços em sistemas de informação geográfica - SIG têm criado muitas oportunidades para o melhoramento de modelos hidrológicos capazes de simular essas variáveis em sistemas de bacias hidrográficas. A capacidade de executar análises espaciais para o desenvolvimento de parâmetros hidrológicos concentrados e distribuídos não apenas economiza tempo e esforço, como também melhora a precisão em relação a métodos tradicionais. Neste sentido, o objetivo deste trabalho é a aplicação de um modelo hidrológico associado à análise geoespacial na bacia hidrográfica da micro central hidroelétrica Ilha Anchieta, para avaliação do potencial hidroenergético. Foram utilizados cartas topográficas e dados provenientes de postos pluviométricos para a interpolação, e estimativa de números em locais desprovidos de informação dentro de ambiente SIG. Apesar da deficiência de postos de monitoramento pluviométricos, a interpolação dos dados existentes viabilizou a caracterização do regime de precipitação em locais desprovidos de informação. A utilização do HEC-GeoHMS possibilitou a determinação dos parâmetros físicos da bacia, extraídos das cartas topográficas vetorizadas, para serem utilizados no modelo hidrológico HEC-HMS. Na aplicação do modelo hidrológico de chuva-vazão HEC-HMS, a geração da série sintética de vazão possibilitou conhecer a maior e a menor vazão, e sua sazonalidade, fornecendo subsídios para o gerenciamento e planejamento das ações na micro central hidrelétrica.

**PALAVRAS CHAVE:** Análise Geoespacial. Sistemas de Informação Geográfica. Modelos Hidrológicos. Energia Renovável. Micro Central Hidroelétrica.

BIGNOTTO, R. B. **The application of hydrological modeling associated with the geospatial analysis, for evaluating the flow in micro hydropower plant, Anchieta Island - SP. 2014. 98 f. Dissertation (Masters in Mechanical Engineering)** – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2014.

## **ABSTRACT**

The increasing demand for energy oriented for sustainable resources, stimulates the implementation and development of micro hydropower plants. Because the lack of hydrological information, the implementation or expansion projects, usually carry uncertainties about the technical, economic and environmental feasibility of the project, bringing doubts about the true remaining hydropower potential. The lack of observational data complicates the decision making by the analyst. Recently, advances in geographic information systems - GIS have created many opportunities for improving hydrological models capable of simulating these variables on watershed systems. The ability to perform spatial analyzes for the development of concentrated and distributed hydrological parameters not only saves time and effort, but also improves the accuracy over traditional methods. In this sense, the objective of this work is the application of a hydrological model associated with geospatial analysis in the basin of micro hydropower plant Anchieta Island, for evaluation of hydropower potential. Topographic maps and data from the rain gauge stations were used for interpolation, and estimated numbers in places devoid of information within a GIS environment were used. Although the rainfall monitoring stations disability, interpolation of existing data enabled the characterization the precipitation regime in places devoid of information. The use of HEC- GeoHMS allowed determination of the physical parameters of the basin topographic extracted from the vectorized to be used in the water model HEC-HMS. In the application of hydrological rainfall-runoff model HEC - HMS, the generation of synthetic series of flow allowed to know the highest and lowest flow, and characterize the seasonality, supporting the management and planning of actions in the micro hydropower plant.

**KEYWORDS:** Geospatial Analysis. Geographic Information Systems. Hydrological models. Renewable Energy. Micro Hydropower plants.

## Índice de Figuras

Figura 1: Esquema dos principais processos do ciclo hidrológico em escala na Bacia Hidrográfica .....	17
Figura 2: Fluxo lateral na interface leito rochoso do solo. ....	21
Figura 3: Composição da Matriz Energética Mundial .....	23
Figura 4: Ferramentas de fluxo de dados “pirâmide de informação”. ....	29
Figura 5: Imagens vetoriais de uma região do município de Caraguatatuba – SP. a) pontos de monitoramento de balneabilidade das praias; b) linhas da malha viária do município; c) polígonos do zoneamento ecológico econômico da mesma região. ....	30
Figura 6: Matriz de uma imagem raster contendo coordenadas x e y, e um valor de atributo em cada célula. ....	31
Figura 7: Grade regular retangular (GRID) em um modelo digital de elevação. ....	35
Figura 9: Parâmetros do semivariograma .....	45
Figura 10: Localização geográfica da Ilha Anchieta. ....	48
Figura 11: Mapa Geológico Ilha Anchieta .....	51
Figura 12 - Movimentos de massas de ar nos períodos de verão e inverno na região do Litoral Norte de São Paulo. ....	52
Figura 13: Efeito de chuvas orográficas .....	53
Figura 14: Mapa de Uso e Cobertura do Solo da Ilha Anchieta para o ano de 2008. ....	55
Figura 15: Reservatório da micro central hidrelétrica Ilha Anchieta. ....	56
Figura 16: Usina da micro central hidrelétrica da Ilha Anchieta operando com o sistema BFT e GI. ....	57
Figura 17: Bomba centrífuga funcionando como bomba e como turbina. ....	58
Figura 18: Municípios do Litoral Norte do Estado de São Paulo e distribuição dos postos pluviométricos com séries históricas entre 1970 e 1999 selecionados. ....	60
Figura 19: Detalhe da Carta Planialtimétrica Ponta do Navio - SF-23-Y-D-VI-2-NE-B (IGC, 1977). ....	62
Figura 20: Cartas do Instituto Geológico e Cartográfico do Estado de São Paulo utilizadas para a vetorização das informações planialtimétrica. ....	63
Figura 21: Médias mensais entre os anos de 1970 a 1999 dos postos pluviométricos do Litoral Norte. ....	68
Figura 23: : Distribuição espacial da precipitação nos meses de junho, julho e agosto para o Litoral Norte de São Paulo. ....	70
Figura 24: Distribuição espacial da precipitação nos meses de setembro, outubro e novembro para o Litoral Norte de São Paulo. ....	71
Figura 25: Distribuição espacial da precipitação nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro para o Litoral Norte de São Paulo. ....	72
Figura 26: Distribuição espacial da precipitação nos meses de março, abril e maio para o Litoral Norte de São Paulo. ....	73
Figura 27: Carta planialtimétrica da Ilha Anchieta Vetorizada .....	74
Figura 28: Modelo Digital de Elevação da Ilha Anchieta .....	75
Figura 29: Projeção de ortofotos no Modelo Digital de Elevação – DEM Ilha Anchieta. ....	75
Figura 30: Perfil da declividade do curso d’água da bacia hidrográfica da micro central hidroelétrica da Ilha Anchieta. ....	77
Figura 31: Grade de direção de fluxo da Ilha Anchieta .....	78
Figura 32: Grade de acumulo de fluxo da Ilha Anchieta .....	78
Figura 33: Bacias Hidrográficas e linhas de drenagem da Ilha Anchieta .....	79
Figura 34: Bacia Hidrográfica Ilha Anchieta com elementos hidrológicos elaborada pelo HEC-GeoHMS .....	80
Figura 35: Hidrograma da simulação da vazão produzido pelo HEC-HMS entre os dias 16/03/2013 a 29/04/2013 .....	81

## Índice de Tabelas

Tabela 1: Empreendimentos geradores de energia em operação no Brasil no ano de 2013 .....	25
Tabela 2: Descrição dos componentes principais de hidrelétricas de pequeno porte .....	26
Tabela 3: Descrição dos elementos hidrológicos componentes do HEC-GeoHMS. ....	40
Tabela 3: Descrição dos elementos hidrológicos componentes do HEC-GeoHMS. (Coninuação).....	41
Tabela 4: Componentes dos dados de entrada do modelo HEC-HMS .....	42
Tabela 5: Evolução do uso e cobertura do solo da Ilha Anchieta entre os anos de 1973 a 2008. ....	55
Tabela 7: Simulação da vazão na barragem da usina hidroelétrica Ilha Anchieta entre os dias 16/03/2013 e 29/04/2013 .....	82
Tabela 8: Vazão média sazonal sintética na barragem da micro central hidroelétrica da Ilha Anchieta entre setembro de 2012 a agosto de 2013.....	83

## Índice de Equações

$P_h = \rho. g. H. Q$ (1) .....	27
$P \mu = \rho. g. H. \mu$ (2) .....	27
$2\gamma h = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (h_i)^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (h_i)^2 Z(x_i - z(x_j))^2$ (3) .....	44
$Nh \equiv x_i, x_j: x_i - x_j = h; i, j = 1, \dots, n$ (4) .....	45
$Zu - mu = \alpha = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lambda_i u [Zu\alpha - m(u\alpha)]$ (5) .....	46
$\sigma^2 E^2 u = Var Zu - Zu$ (6) .....	46
$EZu - Zu = 0$ (7) .....	46
$ZOKu = \alpha = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lambda_i OKu Z u \alpha$ (8) .....	47
$\alpha = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lambda_i OK u = 1$ (9) .....	47

## Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1	OBJETIVOS .....	16
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>17</b>
2.1	CICLO HIDROLÓGICO .....	17
2.2	ENERGIA .....	22
2.3	SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA.....	28
<b>2.3.1</b>	<b>Modelo Digital de Terreno – MDT</b> .....	<b>33</b>
2.3.1.1	Grade Regular Retangular (GRID).....	34
2.4	MODELOS HIDROLÓGICOS.....	35
2.4.1	Modelos de Chuva – Vazão .....	37
2.4.2	Modelos Hidrológicos Integrados com Sistemas de Informações Geográficas.....	38
2.4.3	Modelagem hidrológica HEC-HMS .....	39
2.5	GEOESTATÍSTICA .....	43
2.5.1	Krigagem.....	46
<b>3.3.2</b>	<b>Procedimentos Geoestatísticos</b> .....	<b>61</b>
<b>3.4</b>	<b>GERAÇÃO O MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO - MDE</b> .....	<b>62</b>
3.4.1	Base De Dados Topográficos .....	62
3.4.1	Interpolação para geração do Modelo Digital de Elevação .....	64
3.5	APLICAÇÃO DO MODELO HIDROLÓGICO HEC-HMS.....	66
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>68</b>
4.1	ANÁLISE ESPACIAL DA PRECIPITAÇÃO .....	68
4.2	GERAÇÃO DO MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO .....	73
4.3	INTEGRAÇÃO SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA COM O MODELO HIDROLÓGICO HEC-GeoHMS .....	76
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>84</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>85</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A energia é reconhecida como um dos insumos mais importantes para o crescimento econômico e desenvolvimento humano. A melhoria da qualidade de vida de uma sociedade é condicionada ao suprimento adequado de suas necessidades energéticas, considerando todos seus setores tanto sociais como econômicos. Estimativas sobre os recursos energéticos disponíveis provenientes de análise geoespacial, auxiliam no planejamento energético integrado, através de uma adequada correspondência entre a oferta e demanda.

Nos últimos séculos, por conta da utilização indiscriminada de combustíveis fósseis mediante a queima para obtenção de energia, diversos efeitos negativos se manifestaram no ambiente, principalmente na atmosfera. O fato de que os combustíveis fósseis são um recurso energético com disponibilidade limitada, associado à contaminação ambiental, motivaram diversos países no mundo passaram a direcionar esforços na prospecção e exploração de fontes alternativas de energia renováveis, com o interesse de suprir o aumento da demanda de energia de maneira sustentável.

Energia renovável é frequentemente definida como uma fonte de energia que por natureza se renova, e cuja alimentação não é afetada pela taxa de consumo (MALDONADO, 1996; SUBHADRA, 2011). Diversas fontes de energia renováveis incluindo eólica, solar, geotérmica, hidrogênio e hidráulica podem contribuir claramente para o aumento do potencial energético disponível, favorecendo a constituição de um sistema integrado da matriz energética.

Dentre os diversos tipos de fontes de energia disponíveis, a hidráulica destaca-se como a energia renovável mais utilizada em diversos países, incluindo o Brasil. De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2013), o país possui um dos maiores potenciais hidroenergético do mundo, estando a matriz energética brasileira composta predominantemente por esta fonte, com um potencial instalado de 85.729.916 kW, que corresponde à cerca de 60% da produção nacional.

A crescente demanda de consumo energético orientada para fontes sustentáveis estimula o desenvolvimento de micro centrais hidrelétricas e incentiva o investimento em novos estudos de pesquisa. Estudos de levantamento preliminares do potencial hidroenergético geralmente carregam incertezas sobre a viabilidade técnica, econômica e ambiental de

projetos para implantação de centrais geradoras de energia elétrica, e ampliação do potencial não desenvolvido (LARENTIS, 2010).

A carência de informações sobre a viabilidade técnica de aproveitamento do potencial hidroenergético remanescente dificulta a obtenção de estimativas mais precisas para o desenvolvimento da hidroeletricidade. O conhecimento das variáveis do sistema de uma bacia hidrográfica, principalmente sua vazão, é essencial para orientar a gestão dos recursos hídricos. No entanto, a falta de dados observacionais dificulta a tomada de decisões ao analista.

Em geral, apenas o monitoramento da precipitação é realizado, e ocorre o déficit de monitoramento de outros dados necessários. A maior parte das pequenas e médias bacias não possui instrumentação para medições de vazão, e assim seus valores são estipulados a partir de equações empíricas. Neste contexto, os modelos hidrológicos de chuva-vazão surgem como uma alternativa para o cálculo da vazão de bacias hidrográficas com deficiência de informações. (ALMEIDA, 2006).

Tucci (2008) define o modelo hidrológico como uma ferramenta capaz de representar o comportamento da bacia hidrográfica e prever condições diferentes das observadas. A quantificação dos processos no ciclo hidrológico auxilia na gestão e tomada de decisões quanto aos usos múltiplos dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica.

Os modelos chuva-vazão são capazes de estimar a vazão de uma determinada bacia hidrográfica a partir de dados pluviométricos. Partindo de informações oriundas da precipitação, tais modelos são capazes de estimar com detalhamento e complexidade os processos físicos da fase terrestre do ciclo hidrológico, como as perdas por evapotranspiração, interceptação, infiltração e percolação assim como calcular o escoamento superficial e o escoamento de base.

Recentemente, avanços em sistemas de informação geográfica - SIG têm criado muitas oportunidades para o melhoramento de modelos hidrológicos em sistemas de bacias hidrográficas. A capacidade de executar análises espaciais para o desenvolvimento de parâmetros hidrológicos concentrados e distribuídos não apenas economiza tempo e esforço, como também melhora a precisão em relação a métodos tradicionais. Com a abertura do compartilhamento de informações espaciais via internet pelas agências de governo, vendedores comerciais e companhias privadas, juntamente com algoritmos espaciais potentes, a integração do SIG com modelos hidrológicos sustenta a promessa de uma alternativa na relação custo-benefício para estudos de bacias. As avançadas técnicas de modelagem tornam-

se viáveis, pois a manipulação dos dados é mais eficiente quando realizadas em operações espaciais inseridas em Sistemas de Informações Geográficas – SIG (MILLER, 2007).

O presente estudo propõe a aplicação da análise geoespacial associada a modelos hidrológicos na bacia hidrográfica da micro central hidrelétrica do Parque Estadual Ilha Anchieta - PEIA. A manutenção e funcionamento do Parque Estadual Ilha Anchieta exige um aporte de recursos financeiros, humanos e físicos, e entre eles recursos energéticos. O funcionamento da hospedaria de visitantes e pesquisadores, a administração, a cozinha e outros setores de operacionalização da gestão do Parque possuem a eletricidade como uma fonte de energia essencial para a manutenção das atividades.

Devido à sua localização geográfica, isolado do continente, atualmente o Parque conta com uma matriz energética híbrida, composta por um gerador diesel, sistema solar com células fotovoltaicas e a micro central hidrelétrica - MCH. Segundo Ricardo (2009), a produção de energia elétrica pelo gerador diesel, apesar de ser viável, apresenta-se economicamente onerosa se comparada às demais fontes de energia.

O ambiente insular possui carência de informações hidrológicas e apresenta-se como um exemplo de regiões isoladas que necessitam da sustentabilidade energética. Conhecer o verdadeiro potencial de produção da micro central hidrelétrica é essencial para a gestão dos recursos energéticos da ilha, possibilitando a associação com as demais fontes de energia disponíveis. Para tanto, se faz necessário a estimação da vazão sazonal da bacia hidrográfica de contribuição do reservatório da MCH.

## 1.1 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é a aplicação de um modelo hidrológico associado à análise geoespacial na bacia hidrográfica da micro central hidroelétrica Ilha Anchieta, para avaliação do potencial hidroenergético.

Para o completo desenvolvimento do trabalho é necessária à obtenção de informações prévias da área de estudo. Assim foram traçados objetivos específicos com o intuito de organizar os procedimentos adotados. São eles:

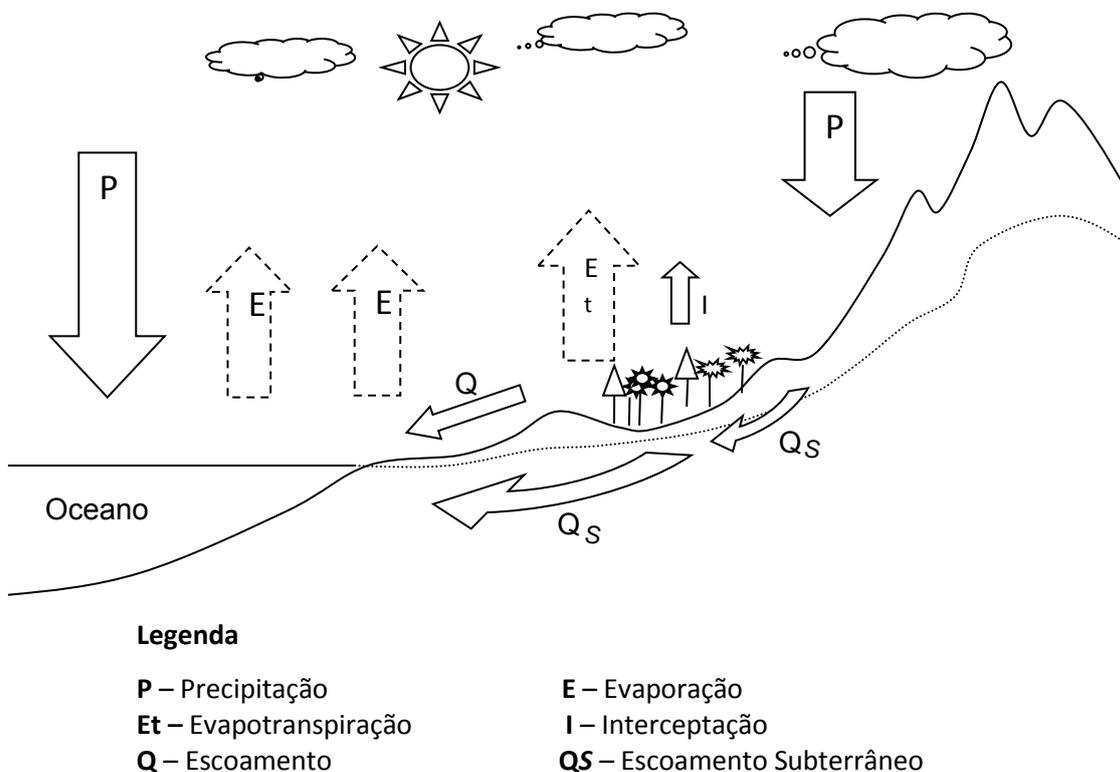
- a) Elaboração do Modelo Digital de Elevação – MDE para a bacia hidrográfica de estudo. Através
- b) Caracterização da influência sazonal da precipitação na bacia hidrográfica
- c) Caracterização da influência da sazonalidade na vazão da Barragem da usina hidrelétrica Ilha Anchieta pela aplicação dos modelos hidrológicos HEC-HMS e seu complemento para sistemas de informações geográficas o HEC-GeoHMS.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 CICLO HIDROLÓGICO

A hidrologia moderna concentra-se na distribuição da água na Terra, no movimento sobre e abaixo da superfície terrestre e através da atmosfera. O ponto inicial para estudar a hidrologia é considerar o ciclo hidrológico. O ciclo hidrológico é um modelo conceitual do movimento da água, definido como o fenômeno global de circulação fechada da água no planeta terra, nos diferentes estados (gasoso, líquido e sólido) em um ciclo contínuo, movido à energia proveniente do sol (DAVIE, 2009; TUCCI e CLARKE, 1997). De acordo com Lima (2008), o sistema de circulação na atmosfera é dinâmico e recorrente, o que prejudica sua previsão quantitativa. Na Figura 1 estão representados, em escala, os processos existentes no ciclo hidrológico.

Figura 1: Esquema dos principais processos do ciclo hidrológico em escala na Bacia Hidrográfica.



Fonte: DAVIE, 2009 (adaptado).

Este ciclo é infinito e seu início ocorre a partir da energia solar que evapora a água dos oceanos e continentes, em seguida a força dos ventos que transportam o vapor d'água, depois a força da gravidade auxilia nos processos de precipitação, infiltração e deslocamento da água (TUNDISI, 2003; TUCCI, 1993). Assim, o ciclo hidrológico também pode ser definido como uma sucessão de processos físicos na natureza, pelos quais a água se movimenta de um estágio inicial até retornar a sua posição primitiva, se reciclando continuamente (DE MIRANDA et al., 2011).

A água, no seu estado líquido e sólido, abrange mais de 2/3 da superfície do planeta terra. Na forma gasosa é um componente variável da atmosfera, representando aproximadamente 4% do seu volume do ar (CAMARGO, 2005). Estima-se que o volume de recursos hídricos totais do planeta sejam aproximadamente  $1,39.10^{21}$  litros. Deste total, cerca de 97,2% é água salgada, principalmente nos oceanos, e apenas 2,8% está disponível como água doce, sendo 2,2% água de superfície e 0,6% água subterrânea. Da quantidade total da água de superfície, 2,15% é água doce em geleiras e calotas polares e apenas 0,01% estão disponíveis em lagos e córregos, o 0,04% remanescente se apresentam em outras formas (RAGHUNATH, 2006; LIMA, 2008).

Na atmosfera, a água esta presente na forma de vapor, na forma líquida (nuvens e gotas de chuva) e na forma sólida (neve e gelo). Na elevação de uma massa de ar, como por exemplo, ao se mover sobre as montanhas, a pressão diminui causando a expansão das moléculas. Ao se expandir, diminui a temperatura, e o vapor d'água existente condensa. Essa condensação resulta na formação de nuvens composta por gotículas (REICHARDT, 1990; LIMA, 2008).

Quando as nuvens se condensam, ocorre o processo de precipitação, que pode ser definido como toda a água, na forma líquida ou sólida, que cai da atmosfera em direção ao solo. Os principais tipos de precipitação são a chuva, a garoa, a neve e o granizo (PINTO et al., 1996). A maior parte da precipitação atinge o solo, porém, uma parte é interceptada pela vegetação existente acima deste. Esse processo é conhecido como interceptação, que compõe uma parte de um subciclo do ciclo hidrológico, onde estão envolvidas a precipitação, interceptação e evaporação, retornando a água à atmosfera. O tipo de cobertura do solo interfere na proporção da água interceptada da precipitação e é a variável que mais interfere neste processo. Outras condições também estão relacionadas, como as características das chuvas, o clima, a densidade da vegetação, a estrutura e arquitetura do dossel, estágios sucessionais das formações florestais, campos naturais, campos antropizados ou áreas

agrícolas e o comportamento fisiológico das plantas (TUCCI e BETRAME, 2000; LIMA, 2008).

O excedente da precipitação que não é interceptado atinge a superfície do solo, sendo que uma parcela penetra profundamente no solo pelo processo de infiltração, abastecendo o lençol d'água subterrâneo, a outra parte que escoar através do solo para os rios, faz parte do escoamento sub superficial (VILLELA e MATTOS, 1975). A taxa pela qual a infiltração ocorre depende, entre outras coisas da permeabilidade do solo ou da rocha. Permeabilidade é a medida da facilidade com a qual a água pode se movimentar através do solo ou rochas. A quantidade de infiltração depende também do tempo disponível que a água tem para penetrar o chão. Chuvas fortes e terrenos declivosos caracterizam um rápido escoamento superficial e diminuem a quantidade total de infiltração (DAVIE, 2009).

Horton (1932) foi um dos primeiros cientistas a conceituar o processo de infiltração. Este pode ser definido como a ação de penetração da água nas camadas de solo próximas à superfície, no sentido de cima para baixo, sob a ação da gravidade, até atingir uma camada suporte que a retém, formando então o teor de umidade de um solo, ou a sua capacidade de campo que é a capacidade máxima de um determinado solo em armazenar água.

Normalmente, a infiltração resultante de precipitações naturais não é capaz de saturar todo o solo, saturando apenas as camadas próximas à superfície, enquanto o teor de água disponível vai decrescendo com a profundidade (LIMA, 2008).

A taxa pela qual a infiltração ocorre depende, entre outras coisas, da permeabilidade do solo que está diretamente relacionado com a sua granulometria, ou seja, quanto mais fino um solo, menor é a sua permeabilidade (HORTON, 1932). A infiltração depende também do tempo em que a água tem para penetrar no solo. Chuvas fortes e terrenos declivosos ocasionam um rápido escoamento superficial e diminuem a quantidade total de infiltração. Os componentes como compactação do solo, cobertura vegetal e teor de umidade do solo também influenciam no processo de infiltração (DAVIE, 2009; DE MIRANDA et al., 2011; POGGIANI, 1996).

O processo de infiltração é responsável pela recarga dos aquíferos e influi diretamente no escoamento superficial e, conseqüentemente a erosão hídrica (TUCCI e BELTRAME, 2000). A água que abastece os rios sem antes abastecer o lençol freático compõe o escoamento superficial. Este pode ser definido como resultado da água precipitada que não foi interceptada pela cobertura vegetal e que também não infiltrou e que, conseqüentemente, acaba escoando (por diferença de declividade) para os rios que compõem o leito principal da

bacia hidrográfica (TUCCI, 1998). O escoamento pode ocorrer quando a intensidade da precipitação é maior que a velocidade de infiltração da água no solo, ou por impedimentos físicos que impermeabilizam o solo, ou depois que a umidade do solo está saturada. Este processo é avaliado como o principal responsável pelo rápido aumento da vazão após a ocorrência de uma precipitação (GRIEBELER et al., 2001).

A evaporação esta diretamente relacionada à temperatura do ar, sendo mais intensa quanto mais quente estiver o ambiente. A umidade do ar interfere de maneira inversa, sendo que quanto maior a umidade menor a evaporação. A velocidade do vento também influencia o processo, pois diminui a umidade local ao deslocar o ar saturado da superfície de contato ar-água, favorecendo a evaporação. No solo, a evaporação depende de sua composição e do grau de saturação. A evaporação e a transpiração (evapotranspiração) representam uma fração significativa do movimento da água através do ciclo hidrológico, cerca de 70% da quantidade de água precipitada sobre a superfície terrestre retorna atmosfera via evaporação e transpiração (DE MIRANDA et al., 2011). A água evaporada anualmente é cerca de  $5,78.10^{14}$  litros, em média, esta água é reciclada 2,7 vezes no sistema superfície -atmosfera através do processo precipitação-evaporação, antes de retornar para os oceanos (IGBP, 1993). Segundo Tucci e Clarke (1997), avalia-se que a água evaporada se mantém na atmosfera, em média apenas 10 dias.

A vegetação também aumenta a quantidade de água que retorna a atmosfera por transpiração. Esse é o processo pelo qual a água é absorvida do solo pelas raízes das plantas e transferida para as folhas. Nas folhas, a água evapora sendo liberada na atmosfera pelas células dos estômatos. Devido à complexidade da quantificação dos processos de evaporação e transpiração em áreas continentais as duas partes são tratadas de maneira conjunta, de maneira a compor um único parâmetro, a evapotranspiração.

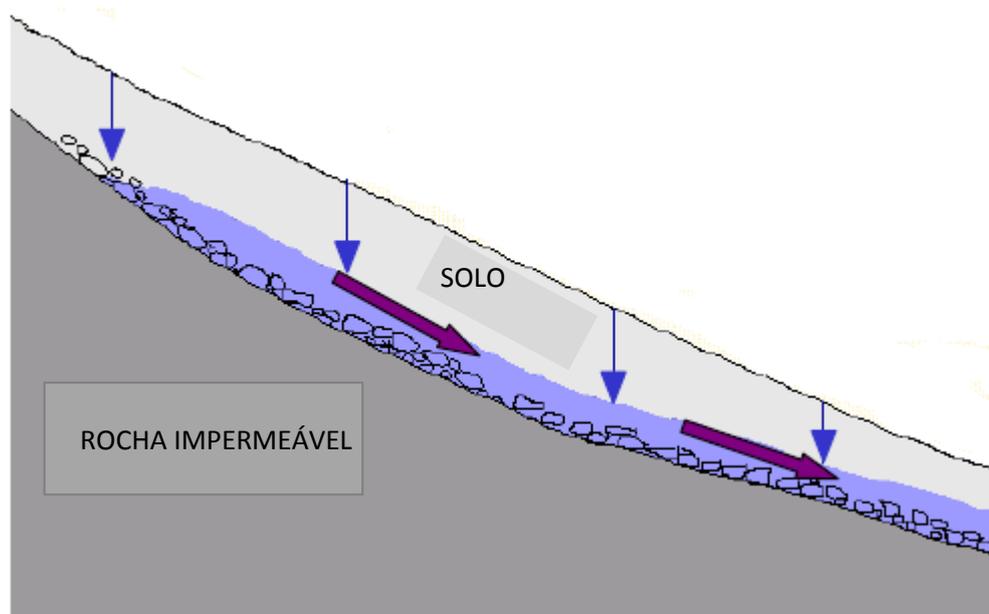
Estes processos estão intrinsecamente correlacionados, por exemplo, à quantidade de água interceptada pelas plantas, afeta a dinâmica do escoamento superficial, e o processo de infiltração. Em áreas com maior cobertura vegetal, ocorre maior interceptação, maior evapotranspiração e maior infiltração, uma vez que as raízes das árvores aumentam a porosidade dos solos. Isso faz com que o escoamento superficial seja menor e que parte da precipitação atinja o lençol freático (PEARCE, 1986; SAHIN e HALL, 1996; TUCCI e CLARKE, 1997).

Ao contrário, áreas muito antropizadas pela agricultura e pecuária, possuem o solo compactado, o que ocasiona menor taxa de infiltração e aumento do escoamento superficial,

causando grandes prejuízos ambientais como erosão, maior compactação e enchentes (POGGIANI, 1996; TUCCI e CLARKE, 1997).

A água que percola até os aquíferos é armazenada e transportada até os rios, abastecendo-os continuamente por longos períodos e principalmente, no período de estiagem. Em bacias com baixa capacidade da água subterrânea, ou com baixa capacidade de infiltração (solos impermeabilizados, rochosos, terrenos declivosos, compactados, etc.) os rios podem apresentar grande sazonalidade no teor na vazão, devido principalmente ao escoamento sub-superficial, ou fluxo lateral, como apresentado na Figura 2, o que implica na dificuldade no monitoramento destas regiões (TUCCI e CLARKE, 1997).

Figura 2: Fluxo lateral na interface leito rochoso do solo.



Fonte: Tarboton, 2003.

A água precipitada que atinge o solo e não infiltra, irá compor o escoamento superficial, que formará os cursos d'água. Além do escoamento superficial, o fluxo subterrâneo pode também fluir em direção aos rios. A água subterrânea que chega até os rios movendo-se na zona de aeração acima do lençol freático é chamada de fluxo direto, e a água subterrânea que descarrega nos rios é denominada de fluxo de base.

O escoamento da água para os rios depende de vários fatores climáticos e da bacia, tais como a declividade, intensidade da chuva, rugosidade, seção de escoamento e obstruções ao

fluxo (PRUSKI, 2003; TUCCI e CLARKE, 1997). Quantificar a descarga fluvial é importante para utilizar seus valores na gestão dos recursos hídricos.

A descarga fluvial é o volume de água de um rio que flui por um determinado ponto durante certo tempo. Quantificar a descarga fluvial é importante para utilizar seus valores na gestão dos recursos hídricos.

Com este breve resumo, pode-se concluir que para manter o afloramento da água do lençol freático, é muito importante que se mantenha a recarga de água dos aquíferos. Para sua efetividade, deve-se reduzir a água carregada através do escoamento superficial e aumentar o processo de infiltração através de práticas de manejo conservacionistas do solo (VILAR, 2007).

De acordo com Tucci e Clarke (1997), nessa breve descrição pode-se observar que a conexão entre solo-vegetação-atmosfera tem uma grande influência no ciclo hidrológico, que integrados aos processos naturais, já complexos e a ação humana, implicam em uma grande heterogeneidade dos ecossistemas envolvidos, gerando dificuldade em representar com exatidão estes processos naturais.

Deste modo, é muito importante o desenvolvimento de estudos e pesquisas relacionados ao monitoramento e análise dos recursos hídricos, utilizando como unidade de estudo a bacia hidrográfica. Esta análise deve integrar todos os fatores que influenciam sobre as características físicas desta bacia, com destaque para o papel da ocupação do solo e de que maneira em esse uso influencia na dinâmica da água nas bacias, através dos processos hidrológicos e como afetam diretamente nas vazões dos leitos dos rios. (BALBINOT et al., 2009).

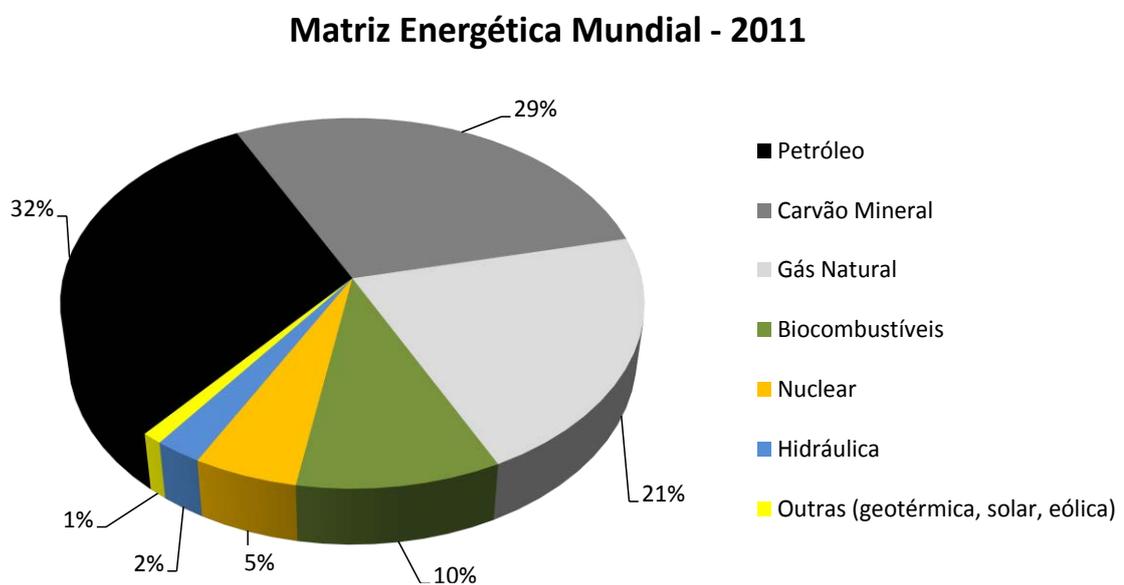
## 2.2 ENERGIA

O desenvolvimento da humanidade está intrinsecamente relacionado à capacidade de produzir, coletar e utilizar energia. A história do crescimento social e econômico da humanidade é definida pelas sucessivas revoluções na matriz energética mundial, causadas pelo surgimento de novas tecnologias de geração de energia com fontes de melhor qualidade e menor custo (SACHS, 2007; FAPESP, 2010).

No período pré-industrial, a biomassa proveniente da lenha e do carvão vegetal, eram praticamente as únicas fontes de energia aproveitadas. Durante o a revolução industrial, de início no século XVIII, o carvão mineral passou a exercer papel relevante no setor econômico, tornando-se a principal fonte de energia. No final século XIX, novas tecnologias permitiram a utilização de derivados do petróleo que passaram a apresentar um papel fundamental no desenvolvimento da sociedade moderna, tornando-se a fonte de energia dominante do século passado em substituição ao carvão mineral (COSTA e PRATES, 2005).

Atualmente a matriz energética mundial possui diversas fontes energéticas, no entanto observa-se nos últimos anos o crescimento acelerado da economia baseada no petróleo, que transformou de maneira radical o estilo de vida e de consumo. Dados da Agência Internacional de Energia – IEA (2013) apresentam que para 2011, a distribuição das fontes energéticas na oferta mundial possui a seguinte configuração: petróleo (31,5%), carvão mineral (28,8%), gás natural (21,3%), biocombustíveis (10%), nuclear (5,1%), hidráulica (2,3%) e outras (geotérmica, solar, eólica, calor) representam 1%, conforme ilustrado na figura 3.

Figura 3: Composição da Matriz Energética Mundial



FONTE: Agencia Internacional de Energia – IEA, 2013.

A matriz energética fundamentada em combustíveis fósseis apresenta como principal desvantagem a contaminação ambiental devido à emissão de gases poluentes provenientes da combustão, que alteram a composição da atmosfera, e provoca o aumento da temperatura

média global. A emissão desses gases, dentre eles o CO<sub>2</sub>, está relacionada ao aumento da temperatura global e intensificação de fenômenos climáticos extremos (IPCC, 2007).

Além da questão ambiental, o petróleo apresenta também fragilidades econômicas e geopolíticas, devido ao fato de que grande parte da reserva mundial está localizada no oriente médio, local de incertezas e ameaças sobre a paz, o mercado do petróleo é ainda vulnerável a grandes oscilações de preços (GARCIA e SOARES, 2004).

Neste cenário, surge a necessidade de se encontrar, a médio e longo prazos, substitutos para a base energética fundamentada em energias não-renováveis, buscando a suficiência em relação à geração de energia, diversificando as fontes de energias que abasteçam a demanda interna dos países, originando maior segurança em relação ao abastecimento, como também maior comprometimento ambiental (PACHECO, 2006).

Este debate foi o ponto central do Protocolo de “Kyoto” – assinado no âmbito da Convenção-Marco sobre mudanças climáticas da Organização das Nações Unidas, adotada por 189 dos 192 países Estados membros das Nações Unidas, em 1997. Neste encontro, como também em outros encontros mundiais posteriores, a discussão sobre a sustentabilidade energética e redução das emissões de CO<sub>2</sub> envolve, principalmente, três dimensões fundamentais: mudança no padrão de consumo atual; maior eficiência energética dos processos produtivos e desenvolvimento e inserção de tecnologias energéticas limpas (DINIZ, 1997).

Entre as energias limpas encontram-se as energias renováveis, também conhecidas como energias verdes, sobre as quais podem ser citados como exemplos a energia proveniente de biomassa, eólica, solar e hidráulica. Estas fontes de energia caracterizam-se por ciclos naturais através do convertimento da radiação solar e são consideradas inesgotáveis, não alteram o balanço térmico do planeta, pois não poluem a atmosfera com gases do efeito estufa, com exceção da biomassa que libera dióxido de enxofre e óxidos de nitrogênio na queima dos resíduos orgânicos (GALDINO et al., 2009). O conjunto de todas as energias renováveis representa apenas 13,3% do total das fontes primárias globais (IEA, 2013).

Atualmente, poucos países com o nível de industrialização, similar ao Brasil, possuem uma matriz energética com um potencial importante de fontes de energia renováveis, aproximadamente 74%, conforme apresentado na Tabela 1, o que o coloca muito acima da média mundial de 14% (ANELL, 2013). O Brasil tem um grande potencial para aumentar esse percentual e investir mais em energias renováveis, apresentando características edafo-

climáticas favoráveis, que possibilitam aumentar o uso de energia eólica, fotovoltaica, biomassa, e hidráulica. (GALDINO et al., 2009).

Tabela 1: Empreendimentos geradores de energia em operação no Brasil no ano de 2013

Empreendimentos em Operação							
Tipo		Capacidade Instalada		%	Total		%
		N.º de Usinas	(kW)		N.º de Usinas	(kW)	
Hidro		1.091	85.729.916	63,83	1.091	85.729.916	63,83
Gás	Natural	113	12.170.186	9,06	152	13.853.849	10,31
	Processo	39	1.683.663	1,25			
Petróleo	Óleo Diesel	1.102	3.511.281	2,61	1.136	7.564.864	5,63
	Óleo Residual	34	4.053.583	3,02			
Biomassa	Bagaço de Cana	378	9.338.666	6,95	475	11.407.712	8,49
	Licor Negro	16	1.530.182	1,14			
	Madeira	50	422.837	0,31			
	Biogás	22	79.594	0,06			
	Casca de Arroz	9	36.433	0,03			
Nuclear		2	1.990.000	1,48	2	1.990.000	1,48
Carvão Mineral	Carvão Mineral	13	3.389.465	2,52	13	3.389.465	2,52
Eólica		108	2.201.769	1,64	108	2.201.769	1,64
Importação	Paraguai		5.650.000	5,46	8.170.000	6,08	
	Argentina		2.250.000	2,17			
	Venezuela		200.000	0,19			
	Uruguai		70.000	0,07			
<b>Total</b>		<b>3.022</b>	<b>134.316.844</b>	<b>100</b>	<b>3.022</b>	<b>134.316.844</b>	<b>100</b>

Fonte: Agencia Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2013).

Além disso, no Brasil há uma necessidade crescente de abastecimento de energia para as áreas rurais e unidades de conservação isoladas geograficamente, tanto para abastecimento de eletricidade como para apoio às atividades produtivas. O atendimento pela expansão da rede elétrica destas unidades apresenta limitações devido principalmente ao custo de implantação e viabilidade técnica para transposição de barreiras naturais como extensos rios, grandes áreas de florestas e mares. A geração de energia descentralizada apresenta-se como uma solução para o atendimento destas áreas, com o uso da energia hídrica em micro e minicentrais hidrelétricas (TIAGO FILHO et. al., 2008; MULLER, 1995). De acordo com Ortiz (2005), no interior do Brasil, pequenos projetos hidrelétricos para geração de energia, cada vez mais estão sendo aplicados sem causar impactos ambientais e sociais.

Estas unidades efetuam uma importante parte da geração de energia no Brasil e sua regulamentação é feita através da resolução nº 394 de 1998 e a distinção entre elas é feito pelo potencial de geração elétrica, sendo denominada como micro central as usinas com capacidade de geração de 1 a 100 kW, mini central de 100 kW a 1000 kW e as pequenas centrais hidrelétricas com potencial de geração de 1000 kW a 30000 kW. A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) também estipula que o tamanho de seu reservatório não pode ultrapassar 3 km<sup>2</sup> (ANEEL, 1998).

Contudo, só o fato das micro ou das pequenas centrais serem pequenos projetos não garante que sejam sustentáveis e que não haja restrições para sua construção. Assim, a

sustentabilidade depende das condições socioambientais que o projeto implica e há cada vez mais que levar em conta o uso dos recursos naturais aliados às realidades sociais e ambientais de cada região. Bermann (2007) destaca entre os problemas que podem ser gerados com projetos mal planejados de usinas hidrelétricas a alteração do regime hidrológico da bacia em questão, comprometimento da qualidade da água, assoreamento dos reservatórios, emissão de gases do efeito estufa.

Uma micro central hidrelétrica possui vários componentes. A barragem e o sistema adutor possuem a função primordial de captar e conduzir a água para o compartimento da turbina e gerador, que são os componentes responsáveis pela transformação da energia hídrica em eletricidade. Para tanto, é preciso que os cursos d'água tenham declividade mínima adequada para seu aproveitamento hidrelétrico. A Tabela 2 mostra resumidamente as principais estruturas das PHC (TIAGO FILHO et al., 2008).

Tabela 2: Descrição dos componentes principais de hidrelétricas de pequeno porte

<b>Estruturas principais</b>	<b>Componentes secundários</b>
Barragem	Formada pelo vertedouro, bacia de dissipação e pelos componentes de controle, segurança e de manutenção.
Sistema Adutor	Formado pela tomada d'água, comportas, por grades, sistema de limpeza, conduto de adução, câmara de carga ou chaminé de equilíbrio, conduto forçados de alta pressão, os blocos de apoio e de ancoragem, tubo de aeração, as válvulas, os acessórios, bueiros, juntas de dilatação e portas de inspeção.
Casa de máquinas	Formada pelo gerador, turbina, regulador de velocidade, sistema de movimentação de carga, pátio de manobra e manutenção, sistema de controle, painéis de comando e controle, pela subestação e a linha de transmissão do sistema, canal de fuga.

Fonte: MME - Eletrobrás, 1985.

A energia que é naturalmente dissipada em um curso d'água quando este escoar através de um desnível topográfico pode ser obtida pela seguinte expressão (NOGUEIRA e TIAGO FILHO, 2007).

$$P_h = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q \quad (1)$$

Onde:

$P_h$  = potência hidráulica W

$\rho$  = massa específica da água kg/m<sup>3</sup>

$g$  = aceleração da gravidade m/s<sup>2</sup>

$H$  = altura da queda d'água m

$Q$  = vazão de água m<sup>3</sup>/s

Durante a conversão de energia ocorrem perdas inevitáveis. Por isso a potência hidráulica é corrigida por um rendimento que leva em consideração todas essas perdas, sendo então a potência útil igual à equação (2).

$$P_\mu = \rho \cdot g \cdot H \cdot \mu \quad (2)$$

Sendo:

$P_\mu$  = potência útil kW

$\mu$  = rendimento global da conversão

O cálculo da vazão de um projeto é uma etapa básica e fundamental para o bom rendimento de uma PCH, interferindo diretamente na potência a ser instalada e a energia a ser gerada. Estes cálculos podem simular os custos, benefícios e a viabilidade econômica da central, para tanto, pode-se utilizar vários métodos, tais como o Método Exedito o Método do Máximo Benefício Líquido (CARDOSO et al., 2011). Apesar do custo de instalação de uma central geradora de energia elétrica não ser baixo e muitas vezes, pode ser superior a de outras opções, ele é compensando por um rápido retorno do investimento inicial, pelo fato de não ser necessário combustível para seu funcionamento e o custo de manutenção ser baixo (TIAGO FILHO et al. 2008; PRADO, 2010).

Para definir os dados de vazão é necessário realizar o estudo hidrológico nas variações sazonais e aleatórias da vazão ao longo do ano. Assim, o estudo hidrológico necessita identificar múltiplos valores de vazão de interesse, e algumas dessas estimativas estão relacionadas com a quantidade de energia que pode ser gerada, enquanto outras estão diretamente ligadas com a segurança, com o meio ambiente e a operação da unidade. Por isso,

um estudo hidrológico com métodos precisos é indispensável para um projeto bem estruturado (TIAGO FILHO et al., 2008).

## 2.3 SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

Um sistema de informações geográficas (SIG) é composto por diversas ferramentas de processamento de dados que permitem a implementação da tecnologia geoespacial associada ao uso de fenômenos geograficamente espacializadas, como por exemplo, informações estatísticas e aplicação de modelos matemáticos (KENNEDY, 2009). O termo geoprocessamento é comumente utilizado para designar o processamento digital de informações espacializadas, e vem a ser a base de um (SIG).

De acordo com Druck (2005), o aspecto principal dos dados utilizados em um SIG é a natureza dual da informação, na qual os dados possuem uma localização geográfica, expressa em coordenadas, e um valor de atributo, que descreve características do local. Para uma análise geoespacial consistente, é essencial considera-se que dados geográficos não existem sozinhos no espaço, e além de analisar sua localização, é fundamental realizar a análise espacial das relações entre os diversos dados existentes. O destaque da análise espacial é mensurar as propriedades e relacionamentos das informações, levando em conta a localização espacial do fenômeno.

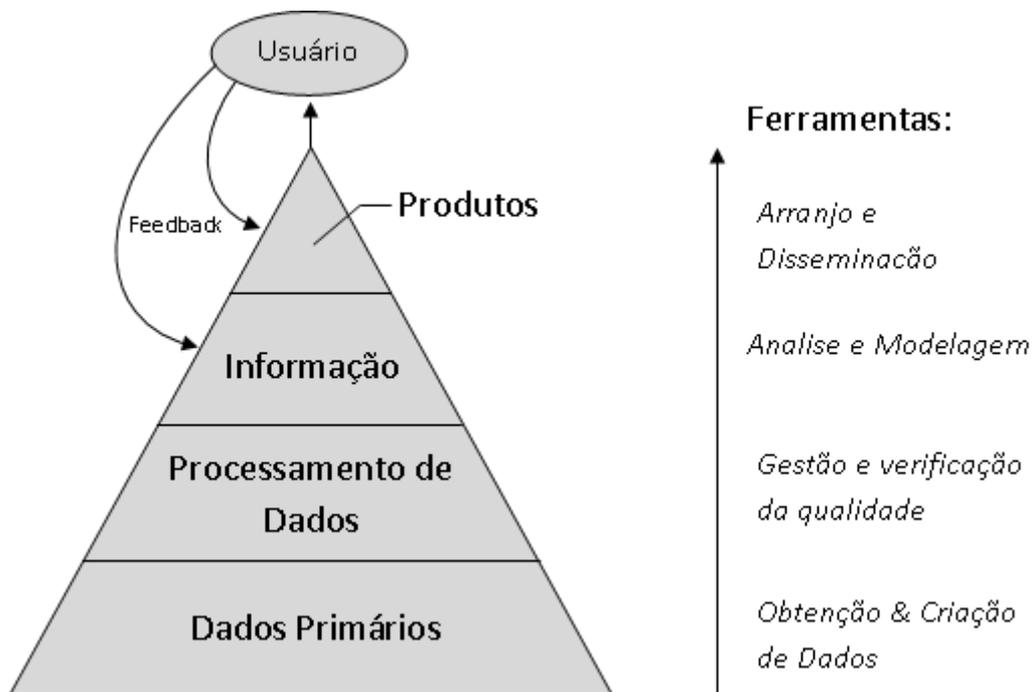
A análise espacial pode ser realizada de uma maneira simples, apenas com a análise visual do padrão de distribuição de um evento em um mapa temático ou através de uma abordagem mais complexa, com base na matemática e estatística, buscando considerações sobre a relação do padrão de distribuição existente que permitem tecer considerações objetivas e mensuráveis (SOUZA-SANTOS, 2005).

A análise das relações de dados espacializados e sua visualização que possibilita a interpretação dos resultados é viabilizada por meio dos sistemas de informação geográfica. De acordo com Câmara (1995), é necessária a organização hierárquica dos elementos componentes que irão compor o sistema. No nível mais próximo ao usuário, na interface homem-máquina, fica definido como o sistema é controlado e operado, e é onde ocorre a visualização dos resultados das operações realizadas. No nível intermediário ocorrem a

entrada, edição, análise e saída das informações trabalhadas. No nível mais basal do sistema, um SIG proporciona a aquisição e recuperação dos dados espaciais e seus atributos, assim como o armazenamento do banco de dados.

O fluxo de dados em um sistema de informações geográficas é representado esquematicamente pela “Pirâmide de Informação” elaborada por Skidmore (2004), apresentada na figura 4. A partir de informações primárias, o processamento de dados permite a aplicação de metodologias de análise e geração de modelos capazes de produzir informações úteis ao analista. Os sistemas permitem ajustes e adequações posteriores à interpretação dos produtos gerados, facilitando ao usuário correções e acréscimo de novas ferramentas.

Figura 4: Ferramentas de fluxo de dados “pirâmide de informação”.



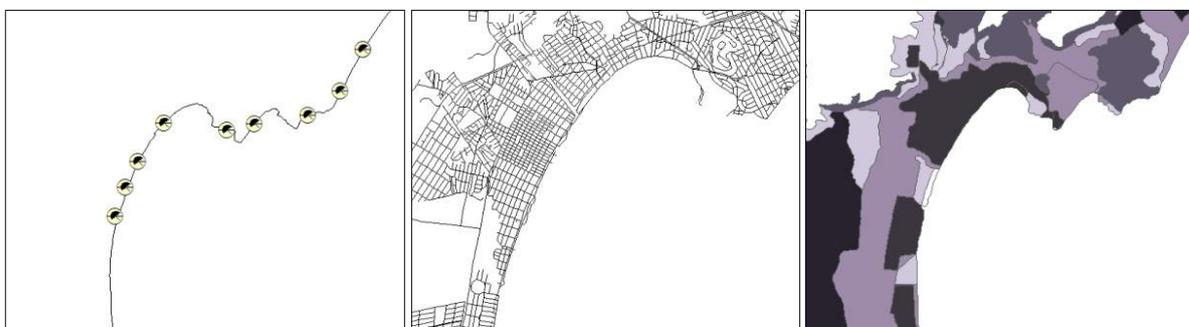
Fonte: SKIDMORE, 2004.

Os dados obtidos do terreno real são apresentados em um sistema de informações geográficas, basicamente, de duas maneiras, ou no formato de vetores, ou de imagens raster, que são convencionalmente utilizados separadamente no geoprocessamento.

Os vetores são informações primárias para mapeamentos digitais, e utilizam como elementos principais pontos, linhas e polígonos, apresentando uma descrição geométrica dos dados. Pontos são empregados como uma referência geográfica de uma característica do mundo real, linhas são utilizadas para representar características contínuas retas ou curvilíneas

como rodovias e cursos d'água, e polígonos normalmente são aplicados para delimitações de áreas com características em comum (KENNEDY, 2009). A Figura 5 apresenta exemplos das três principais imagens vetoriais. A imagem “a” indica os locais de monitoramento da balneabilidade de parte das praias do município de Caraguatatuba – SP, expressos por pontos; a figura “b” representa por meios de linhas a malha viária do mesmo município; e por fim a figura “c” apresenta os polígonos do zoneamento ecológico econômico da mesma região do município.

Figura 5: Imagens vetoriais de uma região do município de Caraguatatuba – SP. a) pontos de monitoramento de balneabilidade das praias; b) linhas da malha viária do município; c) polígonos do zoneamento ecológico econômico da mesma região.



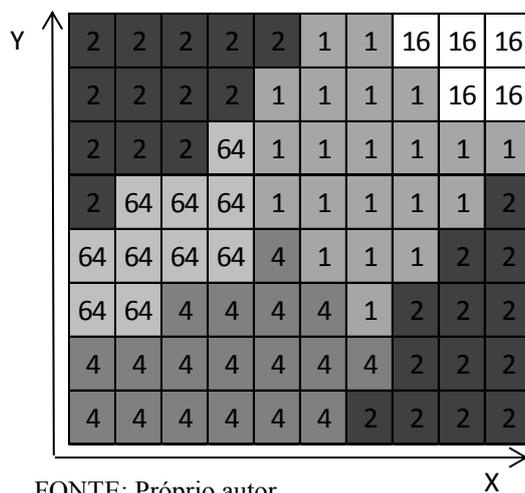
Fonte: Comitê das Bacias Hidrográficas do Litoral Norte.

O formato de apresentação de informações geográficas em raster é representado por uma matriz bidimensional, onde sua localização geográfica está implícita na linha e coluna de acordo com o georreferenciamento do projeto, e cada célula da matriz possui um valor de atributo (GARBRUCHT, 1999). Em um modelo de dados com este formato, as células que representam a matriz do espaço geográfico de interesse possuem dimensões específicas, e o valor de atributo é representado por um código numérico (LO, 2007).

De acordo com sua finalidade um banco de dados geoespacial raster pode conter diversas camadas com características específicas da Terra como vegetação, hidrografia, tipos de solos, e uso do solo em somente um valor de atributo temático. Demers (2009) estabelece que a maior vantagem do uso de raster em geoprocessamento é a representação contínua em superfície, como exemplo a representação espacial do fenômeno da topografia e uso cobertura do solo. Seu uso permite o processamento computacional de muitas informações simultâneas e a manipulação de grandes bancos de dados, viabilizando, principalmente, aplicações de ferramentas inviáveis em dados vetoriais. Este formato vem a ser estruturação de dados mais comumente utilizada em modelos de modelagem hidrológica, como a representação do fluxo

da água pelo terreno. Um exemplo ilustrativo de uma imagem raster está representado na figura 06.

Figura 6: Matriz de uma imagem raster contendo coordenadas x e y, e um valor de atributo em cada célula.



A aplicação do geoprocessamento de dados em um sistema de informações geográficas permeia por diversos campos da Ciência, e vem se apresentando como uma ferramenta eficiente para o planejamento gerencial de ações, permitindo a análise dos fenômenos espacializados e projeções de cenários futuros.

No campo da saúde pública, a aplicação de geoprocessamento em ambiente de sistema de informação geográfica elaborada por Hau *et al.* (2009), permitiu identificar uma maior mortalidade de neonatais em municípios da região central do Vale do Paraíba, interior do Estado de São Paulo, possibilitando definir municípios prioritários de atuação. O uso de ferramentas de SIG apresentou-se eficiente também para a discriminação de áreas de risco de malária no Estado do Espírito Santo, demonstrando a influência de fatores geoclimáticas na distribuição do vetor, e permitiu prever a ocorrência de eventuais focos da doença (MENEGUZZI, *et al.*, 2009).

O monitoramento da expansão urbana, por meio de SIGs, também vem se apresentando eficaz em estudos de regiões que apresentam um expressivo aumento da demanda por terra para construção. O uso de imagens de satélite associadas a uma base de dados homogêneos e consistentes podem oferecer informações importantes para o estudo da variação das áreas urbanas de maneira abrangente, permitindo identificar áreas críticas de expansão (ZHI-QIANG, L. *et al.*, 2011; GASPARINE, *et al.*, 2013).

O uso de ferramentas de sistemas de informações geográficas apresenta-se como fundamental na pesquisa para prospecção de regiões potenciais para geração de energia alternativas e renováveis. A elaboração de mapas temáticos e a aplicação de modelos subsidiam o planejamento e aplicação de recursos em projetos de centrais geradoras de energia.

Com a finalidade de avaliar o potencial das fontes de energia renovável e incrementar o desenvolvimento regional, no Estado de Karnataka, Índia, Ramachandra e Shruthi (2005) realizaram um estudo com o emprego de SIG, na qual foi analisada a variabilidade espacial e temporal dos recursos energéticos solares e eólicos da região, e como resultados obtiveram mapas de locais adequados para implantação de tecnologias para geração de energia eólica e energia solar.

Um estudo aplicando a combinação de dados de estações meteorológicas que fornecem dados de medições diretas pontuais com alta definição temporal, associada a dados meteorológicos provenientes de satélites, que fornecem uma cobertura completa da área porém com menor escala temporal, avaliou-se o potencial de geração de energia eólica off-shore no sul-sudeste do Brasil, que resultou em um potencial teórico de mais de 100 GW, o suficiente para suprir toda a demanda nacional (PIMENTA, 2008).

Dentre as energias renováveis, a geração de energia hidráulica remete aos interesses da hidrologia em estimar a variabilidade espacial da água. Deste ponto de vista, os modelos hidrológicos em nível regional ou em escala global, fornecem informações consistentes sobre a disponibilidade e qualidade hídrica, e subsidiam a tomada de decisões (SCHULZE, 2005). Muitos desses modelos requerem informações topográficas especializadas provenientes de modelos digitais de elevação (MDE) nos dados de entrada. Modelos digitais de elevação têm sido aplicados em estudos de análise da viabilidade de implantação de usinas hidrelétricas em regiões com carência de dados, apresentando bons resultados ao apresentarem a topografia do terreno, direção de escoamento superficial e canais de drenagem (COSKUN, 2010; YI, 2010).

Larentis *et al.* (2010) ao aplicar ferramentas de SIG na prospecção de potenciais para instalação de plantas de usinas hidrelétricas na região sul do Brasil, utilizaram MDE extraídos de imagens de satélite e obtiveram como resultados um maior número de sítios potenciais quando comparado com métodos tradicionais de estudos de prospecção de hidrelétricas.

Diante do tema proposto, faz-se necessário um entendimento mais aprofundado sobre os MDEs, assim a subseção seguinte trata especificamente do assunto.

### 2.3.1 Modelo Digital de Terreno – MDT

Um Modelo Digital de Terreno (MDT) é fundamental na aplicação da análise espacial desenvolvida em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas - SIG, pois permite representar o comportamento de um fenômeno ocorrente em determinada região da superfície terrestre (FELGUEIRAS, 2007). Lo (2007) cita Mille e La Flamme (1958) como uns dos primeiros a descrever um modelo digital de terreno, onde definem ser “*uma representação estatística de uma superfície continua por uma grande numero de pontos selecionados de x e y conhecidos com uma coordenada z em um campo qualquer de coordenadas atribuído*”.

Modelo digital de elevação (MDE) vem a ser um MDT específico onde o termo elevação significa a informação da altura sobre um *datum*, fornecendo dados de altitude dos pontos presentes no MDT. No contexto do geoprocessamento, o MDE representa uma série de múltiplos processos, iniciado no processamento das amostras de informações do fenômeno, no terreno real da região de interesse, para permitir o uso das informações em um SIG. Dentro do ambiente do SIG, são executadas análises algorítmicas e processos que transformam os dados do terreno em informações geográficas aplicáveis, com o objetivo de se criar os modelos digitais capazes de representar a variabilidade do fenômeno geográfico nesta região, possibilitando a visualização do resultado da aplicação dos algoritmos (FELGUEIRAS, 2007; KENNEDY, 2009). Os processos para a produção de um modelo digital de elevação estão esquematizados na figura 6.

Figura 6: Obtenção, armazenamento e processamento, e visualização dos resultados de dados de elevação da superfície de um terreno.



FONTE: Próprio autor

---

\* LO, Chor Pang; YEUNG, Albert KW. **Concepts and Techniques in Geographic Information Systems: Laboratory Manual**. Pearson Prentice Hall, 2007. Apud MILLER, C. L.; LAFLAMME, R. A. **The digital terrain model: theory and application**, Photogrammetric Engineering, v.24, n.3, p.433, 1958.

Os resultados possibilitam definir características físicas da bacia hidrográfica relacionadas à topografia, pois permitem quantificar elementos como área, comprimento e inclinação. A qualidade das informações topográficas dependerá dos algoritmos de processamento utilizados para gerar tais informações (GARBRECHT, 1999).

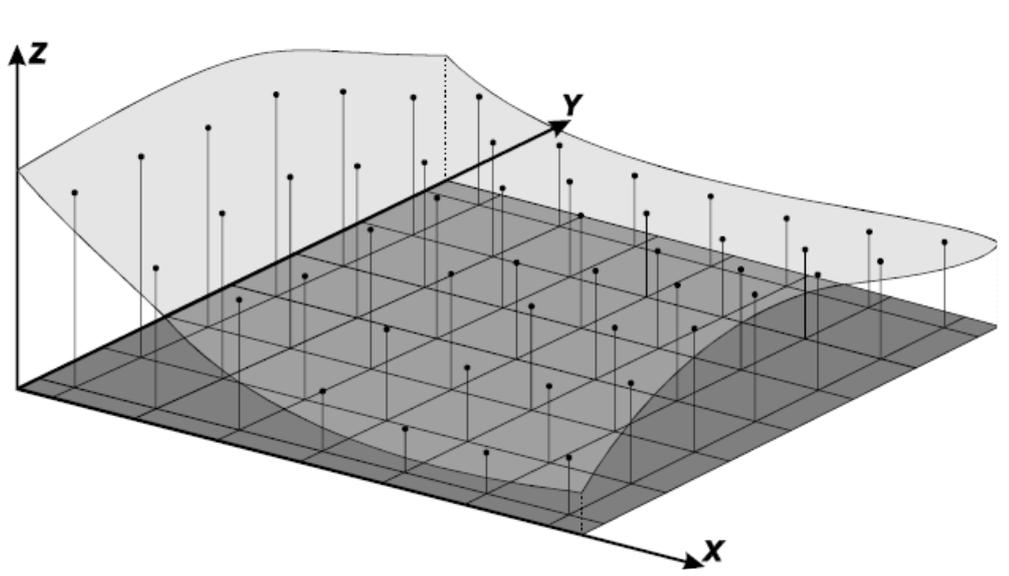
Os modelos digitais de terreno mais utilizados são os modelos de grade regular retangular e os modelos de grade irregular triangular, formados por uma malha, regular ou irregular e suas funções interpolantes definidas para cada elemento básico da malha. Através do ajuste de superfície é estabelecida, para cada elemento de composição da malha, uma função interpolante definida pelos vértices dos elementos básico que compõem a malha, sejam retângulos ou triângulos, podendo se expandir para elementos vizinhos (FELGUEIRAS, 2001). Nas duas seções seguintes será explicada a constituição de ambos os modelos e suas peculiaridades.

#### 2.3.1.1 Grade Regular Retangular (GRID)

O GRID, termo utilizado para definir os modelos de grade regular retangular, interpola uma superfície a partir dos dados de elevação. Posteriormente modifica esta superfície pela imposição da imagem de drenagem, um processo que possibilita a suavização e aumento sensível da precisão do modelo gerado, produzindo uma superfície hidrologicamente consistente (CHAGAS, 2006).

A representação digital do MDE de uma seção da superfície, neste formato, permite a apresentação tridimensional da topografia do terreno, e possibilita a extração de informações úteis à aplicação de geoprocessamento (CÂMARA *et. al*, 2001). Um modelo digital de elevação de grade regular retangular é apresentado esquematicamente na figura 07.

Figura 7: Grade regular retangular (GRID) em um modelo digital de elevação.



FONTE: NAMIKAWA, 1995

## 2.4 MODELOS HIDROLÓGICOS

Devido à escassez ou até mesmo à inexistência de dados fluviométricos, os modelos de chuva-vazão surgem como uma alternativa para o cálculo da vazão de bacias hidrográficas. Tais modelos são capazes de estimar a vazão de uma determinada bacia hidrográfica a partir de dados pluviométricos. Partindo de informações oriundas da precipitação, os modelos de chuva-vazão são capazes de estimar com detalhamento e complexidade os processos físicos da fase terrestre do ciclo hidrológico, como as perdas por evapotranspiração, interceptação, infiltração e percolação, assim como calcular o escoamento superficial e o escoamento de base.

Com objetivo de simular a realidade complexa e pouco conhecida de sistemas físicos, como uma bacia hidrográfica, aplica-se a modelagem com o intuito de conhecer os fenômenos existentes no sistema e prever reações futuras. Os modelos podem ser definidos como uma suposição simplificada da natureza com o propósito de conhecer um fenômeno. São compostos por um conjunto de hipóteses que através de uma teoria científica buscam explicar ou prever as propriedades e características sobre a estrutura ou comportamento de um sistema físico (CAMPOS, 2009; BATCHELOR, 1994).

Pode-se definir o modelo hidrológico como uma ferramenta desenvolvida para simular o comportamento de um sistema, capaz de prever situações distintas das observadas. A modelagem hidrológica pode ser entendida como a representação do comportamento do conjunto dos processos físicos envolvidos no ciclo hidrológico, em uma bacia hidrográfica dentro de um instante ou intervalo de tempo. Conceitualmente, pode-se considerar a bacia hidrográfica como um sistema onde o estímulo de entrada é a precipitação, sendo que as inter-relações existentes nos diversos processos hidrológicos, e as características do meio físico e biótico, resultam como saída a vazão (TUCCI, 1998, 2008).

O sistema de uma bacia hidrográfica apresenta uma complexidade relacionada, principalmente, com a heterogeneidade dos componentes físicos da bacia e à natureza contínua e aleatória dos fenômenos hidrológicos. Essa percepção dos componentes físicos da bacia é limitada pelas técnicas de monitoramento no tempo e no espaço (GONTIJO, 2007).

Tucci (1998) classifica os modelos hidrológicos em físicos, analógicos e matemáticos. Os modelos físicos representam o sistema por um padrão em escala menor, similar à teoria da semelhança utilizada na hidráulica. Os modelos analógicos empregam a analogia das equações de diversos fenômenos com a finalidade de modelar, através do sistema mais apropriado, o processo desejado. A modelagem matemática é a representação através de equações do que acontece na natureza a partir de um modelo conceitual idealizado, baseado nos dados analisados do sistema real. Assim seu objetivo é melhor compreender o sistema para prever situações e reproduzir o passado para decidir sobre as ações de decisão.

Os modelos podem ainda ser divididos em modelos concentrados ou distribuídos. Os modelos são concentrados quando suas variáveis variam com o tempo e a variabilidade espacial é representada por um valor médio que, de certa forma, simplifica a realidade. Os modelos distribuídos dividem a bacia em elementos homogêneos de acordo com algumas propriedades, representando tanto a variabilidade temporal, quanto a variabilidade espacial do sistema físico.

Na prática não existem modelos completamente distribuídos, pois as simulações numéricas utilizadas, de certa maneira, tornam o modelo distribuído concentrado numa pequena subdivisão (TUCCI, 1998). Alguns autores afirmam que os modelos distribuídos podem analisar com mais precisão as modificações das características do sistema se comparados aos modelos concentrados, porém devido principalmente a heterogeneidade temporal e espacial, estes modelos também tem sido questionados (BEVEN, 1985, 1989).

### 2.4.1 Modelos de Chuva – Vazão

Dentre as variáveis do ciclo hidrológico, normalmente somente a precipitação é monitorada, havendo um déficit de informações de outros dados necessário, como vazão, evaporação, evapotranspiração e níveis d'água dos aquíferos, é devido a esta carência de informações é que os modelos hidrológicos encontram aplicação para a simulação das variáveis de uma bacia hidrográfica.

Estes modelos específicos, denominados chuva-vazão, permitem determinar vazões desconhecidas em diferentes pontos da bacia hidrográfica, ou mesmo estimá-las para os novos cenários existentes ou previstos.

Componentes físicos como barragens, postos pluviométricos, fluviométricos, evaporimétricos, captações d'água, tipo de solos influenciam diretamente no processo de transformação da chuva em vazão (ALMEIDA, 2006). Assim, a execução de diversos modelos hidrológicos do tipo chuva-vazão depende da escolha criteriosa do modelo que será utilizado e dos parâmetros inclusos na modelagem (LOU, 2010).

De acordo com Almeida (2006), no Brasil o uso destes modelos consolidou-se por causa da carência de informações hidrológicas e pela facilidade operacional que os mesmos proporcionam. A maioria dos estudos de hidrologia no país são realizados através da análise de dados sintéticos interpolados com os modelos hidrológicos. Estes modelos procuram representar fenômenos ocorridos na bacia hidrográfica de acordo com os componentes físicos e o ciclo hidrológico (MELO, 2010).

Com as crescentes pesquisas relacionadas a metodologias para o levantamento e análise de dados de bacias hidrográficas, a tendência é o aumento da utilização de modelos com embasamento físico, detalhados e com alta resolução (RIGHETO, 1998). Nas últimas décadas os modelos hidrológicos se desenvolveram em dois sentidos (TUCCI, 1998):

- Modelos de grandes bacias, que utilizam de forma empírica a distribuição dos parâmetros em áreas de grande extensão;
- Modelos de pequenas bacias, que representam com maior precisão e de maneira distribuída os processos hidrológicos neste local.

Segundo Machado (2002), a maior restrição na utilização dos modelos é a dificuldade de manipular uma ampla quantidade de dados relacionados com a variabilidade espacial e temporal, que implicará em limitações no seu uso adequado.

## 2.4.2 Modelos Hidrológicos Integrados com Sistemas de Informações Geográficas

A integração entre sistemas de informação geográfica (SIG) e modelos hidrológicos pode ser empregada para geração de um banco de dados que operam como parâmetros de entrada para os modelos hidrológicos, servindo como uma ferramenta de caracterização dos parâmetros físicos. A associação pode ser utilizada para analisar os elementos ambientais, obtendo melhores resultados nos estudos dos componentes espaciais e temporais, determinados dentro da capacidade desses sistemas computacionais. O SIG pode subdividir a bacia hidrográfica em subáreas homogêneas, o que caracteriza mais precisamente os parâmetros do ciclo hidrológico, gerando uma base de dados de informações para gestão eficiente da ocupação do solo e uso recursos hídricos (SANTOS et al., 2006).

Nos SIGs obtêm-se um grande número de informações para aperfeiçoar as metodologias, como calibração, simulação e comparação entre os modelos. A integração é um instrumento adequado para manipular funções que simulam os processos ambientais em diversas regiões, de uma forma simples e eficiente, economizando tempo e recursos (CALIJURI et al., 1998).

Para maior compreensão, os resultados das manipulações podem ser representados através de mapas temáticos de acordo as informações desejadas, contribuindo assim, no conhecimento detalhado de processos que, se analisados conjuntamente, proporcionam uma maior precisão do objeto estudado. Os modelos são apropriados em combinar informações diversas, como imagens topográficas, tipos de solos, uso da terra e dados meteorológicos para pequenas áreas dentro da bacia, assim é possível estimar cenários passados, atuais e simular cenários futuros (GRIGG, 1996; MENDES, 1998;).

A integração com SIG's pode ser classificada em dois grupos (TSOU e WHITTEMORE, 2001):

- Integração através de uma interface de transferência de dados entre o modelo e o SIG. Para tanto, é estabelecida uma interface que transforma e transfere os dados armazenados em categorias do SIG para os arquivos de entradas dos modelos. Então, o modelo é executado novamente e usa-se uma interface para transferência dos arquivos de saída do modelo para as

camadas do SIG, determinando os resultados da simulação. Neste tipo de integração, o SIG assume papel de pré e pós- processador, sendo esta forma de integração a mais utilizada.

- Integração do modelo ao SIG. Nesta forma, as equações do modelo são integradas aos elementos do SIG através de transformações no código fonte do SIG obtida por códigos de macro.

Embora o SIG proporcione vantagens na simulação hidrológica, seu uso necessita de uma análise investigativa com o objetivo de identificar as principais inconsistências ocorridas nessa integração. Algumas metodologias existentes mostram incompatibilidades ocorridas por causa da ausência de uma revisão precisa dos indicadores utilizados na integração, principalmente na avaliação dos três parâmetros base dos modelos hidrológicos: aleatoriedade, espaço e tempo. Essa incompatibilidade restringe a escolha de modelos hidrológicos que podem ser desenvolvidos e/ou integrados ao SIG. Portanto, um passo imprescindível na correção das modelagens é a calibração entre os métodos hidrológicos e o SIG, de acordo com processo analisado. (SUI e MAGGIO, 1999).

### **2.4.3 Modelagem hidrológica HEC-HMS**

A modelagem hidrológica evoluiu para representar as sub-bacias com detalhes superiores aos da abordagem tradicional, na qual os parâmetros hidrológicos são calculados sobre grandes bacias. A disponibilidade de dados de precipitação provenientes de radar de chuvas e dados espaciais, e a utilização de áreas menores de sub-bacias, possibilita uma representação mais detalhada da bacia.

O modelo hidrológico HEC-HMS (Sistema de Modelagem Hidrológica) é um programa computacional desenvolvido pelo Centro de Engenharia Hidrológica (HEC). O software tem a capacidade de estimar matematicamente modelos de precipitação-vazão e processos de difusão, tanto em ambientes naturais quanto em ambientes controlados. Teve seu desenvolvimento aprimorado a partir do HEC-1, com recursos adicionais para modelagem distribuída e simulação contínua. Este modelo foi criado para suprir estudos nas questões ambientais que envolvam recursos hídricos, tais como inundações em centros urbanos,

frequência de inundações, perdas por enchentes e dimensionamento e operação de reservatórios (FELDMAN, 2000).

Para simular a resposta hidrológica de uma bacia hidrográfica este modelo compreende os seguintes componentes: modelos de bacia, modelos meteorológicos, especificações de controle e dados de entrada. Uma dada simulação transforma os dados pluviométricos em um modelo da bacia, utilizando os dados de entrada do modelo meteorológico. Os componentes do controle calculam o período de tempo em que ocorre a simulação. Os dados de entrada são elementos fundamentais para simular as condições de contorno tanto nos modelos da bacia como nos modelos meteorológicos (NANIA, 2007).

O HEC-HMS pode ser auxiliado pelo aplicativo HEC-GeoHMS, que é um pré-processador desenvolvido para produzir dados geoespaciais e criar arquivos de entrada para o modelo. Ele integra uma Interface Gráfica de Usuário - GUI (Graphical User Interface), na qual permite ao operador analisar as características do ambiente físico, delinear sub-bacias e organizar dados hidrológicos de entradas (FLEMING e DOAN, 2010).

O modelo da bacia concebe os componentes físicos da bacia hidrográfica e é desenvolvido através da inclusão e conexão com elementos hidrológicos. Os elementos hidrológicos usam modelos matemáticos para exibir os processos físicos da bacia. Exemplos de elementos hidrológicos da bacia são sub-bacia, junção, fonte, sumidouro, reservatório, derivação, e os métodos de cálculos utilizados são perdas, transformação fluxo de chuva, fluxo de base. A tabela 3 apresenta a descrição dos elementos utilizados.

Tabela 3: Descrição dos elementos hidrológicos componentes do HEC-GeoHMS.

<b>Elemento Hidrológico</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Descrição</b>
Sub-bacia		Utilizado para representar o divisor físico de águas. Fornecida a precipitação, a partir do elemento de saída, a sub-bacia é calculada subtraindo-se as perdas de precipitação, transformando o excesso de precipitação para o fluxo de corrente na saída sub-bacia, e adição do escoamento de base.
Entrada		É utilizado para transmitir a jusante vazão no modelo de bacia. A entrada de fluxo para o elemento de alcance pode vir de um ou vários elementos hidrológicos a montante.
Junção		É utilizada para combinar a vazão a partir de elementos hidrológicos localizados a montante do elemento de junção. O fluxo de entrada pode vir de um ou vários elementos hidrológicos a montante. A saída é simplesmente calculada somando todas as entradas e assumindo que não há armazenamento na junção.
Fonte		É utilizado para introduzir o fluxo para o modelo de bacia. O elemento fonte não tem fluxo de entrada. O fluxo de saída do elemento fonte é definido pelo usuário.

Tabela 4: Descrição dos elementos hidrológicos componentes do HEC-GeoHMS.  
(Coninuação)

Espúria		É usado para representar a saída física da bacia. O fluxo de entrada pode vir de um ou vários elementos hidrológicos a montante. Não há fluxo de saída do elemento espúria.
Reservatório		É utilizado para modelar a detenção e atenuação de um hidrograma causado por uma lagoa ou reservatório de detenção. O fluxo de entrada pode vir de um ou vários elementos hidrológicos a montante. O escoamento pode ser calculado de três maneiras: o usuário pode inserir um dispositivo de armazenamento de saída de caixa, a elevação de armazenamento de-saída, ou relação de elevação da área de saída de caixa; ou o usuário pode entrar em uma relação elevação do armazenamento ou da área de elevação e definir uma ou mais estruturas de saída; ou o usuário pode especificar uma série temporal de saída.
Desvio		É usado para vazão de modelagem partindo do canal principal. O fluxo de entrada pode vir de um ou vários elementos hidrológicos a montante. Fluxo de saída consiste em fluxo desviado e o fluxo não desviado. Fluxo desviado é calculado usando a entrada do usuário. Ambos os fluxos desviados e os não desviados podem ser ligado a elementos hidrológicos a jusante do elemento de desvio.

Fonte: Nânia, 2007. (Traduzido)

As especificações de controle definem o intervalo de tempo de uma corrida de simulação. Informações de especificações de controle incluem uma data de início e hora, data e hora de término e horário de computação definido.

Dados de séries temporais, dados emparelhados e dados por células são muitas vezes necessários como parâmetros ou condições de contorno na bacia e modelos meteorológicos. Uma lista completa dos dados de entrada estão apresentados na Tabela 04. Os dados de entrada podem ser inseridos manualmente ou referenciados a um registro existente em um arquivo de HEC. Os dados de entrada podem ser introduzidos ou referenciam-se a um registro de um ficheiro HEC-DSS (HEC-Data Storage System). Todos os dados por células devem referenciar-se a um registro HEC-DDS.

A interface do usuário é formada pela barra de menu, barra de ferramentas e quatro janelas principais: explorador da bacia, escritório, editor de componentes, registro de mensagens.

Tabela 5: Componentes dos dados de entrada do modelo HEC-HMS

Séries temporais de dados	Pares de dados	Dados por células
		Precipitação
		Temperatura
	Funções de armazenamento de fluxo	Radiação solar
	Funções de cota armazenamento	Coefficiente de cultivo
Pluviômetros	Funções de cota de área	Capacidade de armazenamento
Medidores de células	Funções de cota fluxo	Taxa de percolação
Termômetros	Funções fluxo-derivação	Coefficientes de células
Medidores de radiação solar	Seções transversais	Déficit de umidade
Medidores de coeficientes de cultivo	Hidrogramas unitários	Área de impermeabilidade
	Curvas de porcentagem	Cotas
	Funções de fusão da neve	Equivalente de água de neve
	Padrões de taxa de fusão de neve	Conteúdo de água
		Taxa de fusão de neve

Fonte: Nânia, 2007. (Traduzido)

Para simulação da modelagem de uma bacia, o programa abrange os seguintes componentes (FELDMAN, 2000).

- Opções que caracterizam as precipitações de um evento histórico observado, um evento de precipitação hipotético, ou um evento que representa um limite superior de precipitação possível de um dado local;
- Modelos de perda estimam o volume de escoamento, através dos dados de precipitação e propriedades da bacia;
- Modelos de escoamento direto que levam em conta o fluxo, estoque e perdas de energia da água em uma bacia e nos canais do rio;
- Modelos hidrológicos propagação que levam em conta armazenagem e fluxo energético como a água que se movimenta através de canais de rios;
- Modelos de ocorrência natural e bifurcações;
- Modelos de medidas de controle de água, como desvios e facilidades de armazenagem;
- Um pacote de calibração automática que tem a capacidade de estimar alguns parâmetros de modelos e condições iniciais através das observações das condições hidro meteorológicas.

- Conexão com um sistema de gestão de base de dados que permite: estoque, recuperação e conectividade com outras ferramentas de análise disponíveis a partir do HEC e outras fontes.

Segundo Tavares e Castro (2005), apesar do HEC-HMS ser uma ferramenta computacional que simplifica as simulações hidrológicas, também exige habilidade do profissional operador e experiência em relação aos métodos que serão selecionados. Milde *et al.* (2002) apontam algumas limitações no modelo, como: a) os cálculos tem de simular os eventos isolados de chuva pelo fato de não serem efetuadas previsões para recuperação da umidade do solo nos períodos sem precipitação; b) os resultados do modelo são representados pela descarga; c) a onda de cheia é calculada através de métodos de direcionamento hidrológico.

Deste modo, a integração entre Sistemas de Informação Geográfica e os modelos hidrológicos tem alcançado grandes avanços desde o início da década de 80. Essa combinação têm demonstrado benefícios múltiplos, conduzindo a resultados precisos para um sistema de suporte para obtenção e análise de informações, como também para sistema de suporte à decisão. Contudo, sempre se deve considerar sobre os possíveis desvios dos resultados devido à simplificação da realidade durante qualquer processo de modelagem (MELO, 2010).

## 2.5 GEOESTATÍSTICA

A geoestatística foi desenvolvida inicialmente como uma ferramenta para auxiliar na solução de problemas de mineração. Krige (1951), trabalhando com dados de concentração de ouro, concluiu que somente a informação dada pela estatística clássica, que considera a distribuição de um fenômeno como uma variação aleatória, era insuficiente para explica-lo e seria então necessário considerar a distância entre as observações Surge a partir de então o conceito da geoestatística, que leva em consideração a localização geográfica e a dependência espacial.

Nas análises geoestatísticas, funções numéricas atribuem um valor referente à ocorrência de um fenômeno regional, para cada ponto no espaço, e ao levar em conta o

comportamento espacial do fenômeno, permitem estimar a variável em locais não amostrados. Esses métodos são baseados na teoria das variáveis regionalizadas, que considera a análise dos aspectos probabilísticos e aleatórios dos dados distribuídos espacialmente.

Uma variável regionalizada é uma função numérica com distribuição espacial, que varia de um ponto a outro com continuidade aparente, mas cujas variações não podem ser representadas por uma função matemática simples. Apresentam um aspecto aleatório, combinando variações imprevisíveis, e um aspecto estruturado, que são uma resposta da estruturação interna do processo representado pelo conjunto de dados sob estudo (ANDRIOTTI, 2003).

De acordo com Matheron (1965), as variáveis regionalizadas possuem as mesmas características qualitativas dos fenômenos que apresentam uma continuidade espacial e distribuição dependente de sua localização, e são capazes de representar tais características de maneira que a estatística clássica não é capaz de exprimir.

Por apresentarem um comportamento espacial contínuo, a tendência é de que a variável apresente valores aproximados em pontos vizinhos, e mais distintos à medida que se afastam. Segundo Landim (2003) para esta análise utiliza-se o semivariograma, por ser uma ferramenta capaz de sintetizar a análise de aspectos aleatórios e aspectos espaciais, característicos de variáveis regionalizadas, correlacionando a variabilidade entre dois pontos no espaço. Para a construção do semivariograma são utilizadas as diferenças ao quadrado dos pares de valores dos vetores  $z(x)$ , referente ao ponto amostral e  $z(x+h)$  relativo ao ponto não amostrado onde será estimado o valor.

O semivariograma, em termos práticos, é uma ferramenta matemática que nos permite estudar a dispersão natural das variáveis regionalizadas. Ele indica o grau de continuidade espacial e nos dá um mínimo necessário de informação sobre o fenômeno a ser estudado (LANDIM, 2003).

Para se obter a estimativa dos parâmetros de um modelo de semivariograma baseado na teoria, pode-se formular um estimador para o mesmo, que depende somente da separação do vetor  $h$  conforme apresentado na equação 3 (GOOVAERTS, 1997).

$$2\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{|n(h)|} \sum_{i=1}^{n(h)} [Z(x_i) - z(x_j)]^2 \quad (3)$$

sendo:  $\mathbf{h}$  um vetor,  $|N(\mathbf{h})|$  é o número de elementos distintos de  $N(\mathbf{h})$ , que é dado por:

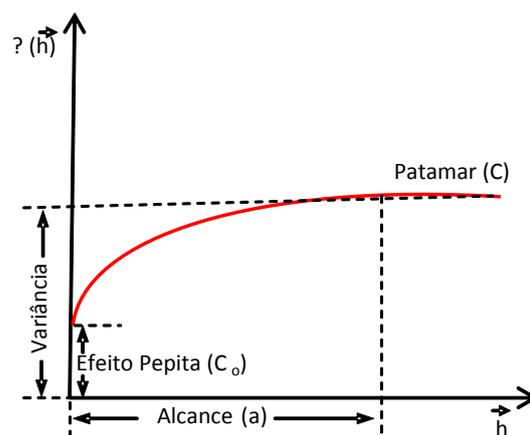
$$N(\mathbf{h}) \equiv \{(x_i, x_j): x_i - x_j = \mathbf{h}; i, j = 1, \dots, n\} \quad (4)$$

Devido à dependência espacial, geralmente, duas medidas mais próximas são mais similares que duas outras que estejam mais afastadas, permitindo que  $\gamma(\mathbf{h})$  aumente à medida que  $\mathbf{h}$  também aumente. No entanto, a partir de uma certa distância não serão encontrados valores correlacionados com  $\gamma(\mathbf{h})$  porque a correlação espacial entre as amostras deixa de existir (GOOVAERTS, 1997; LANDIM & STRURARO, 2002).

Este ponto de semivariograma onde os dados não apresentam mais dependência espacial, ou seja, onde a variância (eixo y) é praticamente a mesma e onde é estabelecida uma linha reta no gráfico, é chamado de "patamar" ou "sill" (C) (Figura 9).

Em determinadas situações um variograma pode, para  $h = 0$ ,  $\gamma(h)$  já apresentar algum valor. Essa situação é conhecida como efeito pepita representada por  $C_0$ , conforme apresentado na figura 9. O efeito pepita pode ser atribuído a erro de medição ou quando a amostra não foi coletada em espaços considerada suficiente pequena para amostrar o comportamento espacial do fenômeno estudado (CAMARGO, 1997).

Figura 8: Parâmetros do semivariograma



FONTE: CAMARGO, 1997(Adaptado).

### 2.5.1 Krigagem

A krigagem de acordo com Landim (2003) é “*um processo de estimação de valores variáveis distribuídas no espaço a partir de valores adjacentes enquanto considerados independentes no semivariograma*”. Vem a ser um procedimento de interpolação exato, que ao considerar todos os valores observados, possibilita a previsão pontual de uma variável regionalizada. O termo *Krigagem* é genérico para a família dos algoritmos de regressão do mínimo quadrado. Todos os estimadores de krigagem são variações do estimador básico de regressão linear  $Z(\mathbf{u})$  conforme a equação 5 (GOOVAERTS, 1997):

$$\mathbf{Z}(\mathbf{u}) - \mathbf{m}(\mathbf{u}) = \sum_{\alpha=1}^{n(\mathbf{u})} \lambda_{\alpha}(\mathbf{u})[\mathbf{Z}(\mathbf{u}_{\alpha}) - \mathbf{m}(\mathbf{u}_{\alpha})] \quad (5)$$

sendo:  $\lambda_{\alpha}(\mathbf{u})$  são os pesos definidos para os dados  $Z(\mathbf{u}_{\alpha})$ , interpretado como realização da variável aleatória  $Z(\mathbf{u}_{\alpha})$ . As quantidades  $m(\mathbf{u})$  e  $m(\mathbf{u}_{\alpha})$  são os valores esperados das variáveis aleatórias  $Z(\mathbf{u})$  e  $Z(\mathbf{u}_{\alpha})$ . O número de amostras necessárias para a estimação bem como seus pesos variam de um local para outro. Na prática, somente os  $n(\mathbf{u})$  pares de observação perto do local  $\mathbf{u}$  a ser estimado são mantidos.

A interpretação de  $Z(\mathbf{u})$  e  $Z(\mathbf{u}_{\alpha})$ , como realizações das variáveis aleatórias  $Z(\mathbf{u})$  e  $Z(\mathbf{u}_{\alpha})$ , permite a definição do erro de estimação como variável aleatória  $Z(\mathbf{u}) - Z(\mathbf{u})$ . A estimação por krigagem baseia-se na minimização da estimativa da variância do erro  $\sigma_E^2(\mathbf{u})$  sobre a suposição da não-tendenciosidade do estimador, ou seja:

$$\sigma_E^2(\mathbf{u}) = \mathbf{Var}\{\mathbf{Z}(\mathbf{u}) - \mathbf{Z}(\mathbf{u})\} \quad (6)$$

Que é minimizada por:

$$\mathbf{E}\{\mathbf{Z}(\mathbf{u}) - \mathbf{Z}(\mathbf{u})\} = \mathbf{0} \quad (7)$$

Na krigagem ordinária são definidos os pesos ótimos específicos associados às amostras, utilizando as informações de distância fornecidos pelo semivariograma entre os locais de amostragem. As flutuações locais da média são consideradas, limitando o domínio

de sua estacionaridade para a vizinhança do local  $W(\mathbf{u})$ , sendo a média constante, mas desconhecida. O estimador linear é definido por (GOOVAERTS, 1997; LANDIM, 2003):

$$\mathbf{Z}_{OK}(\mathbf{u}) = \sum_{\alpha=1}^{n(\mathbf{u})} \lambda_{\alpha}^{OK}(\mathbf{u}) \mathbf{Z}(\mathbf{u}_{\alpha}) \quad (8)$$

para:

$$\sum_{\alpha=1}^{n(\mathbf{u})} \lambda_{\alpha}^{OK}(\mathbf{u}) = \mathbf{1} \quad (9)$$

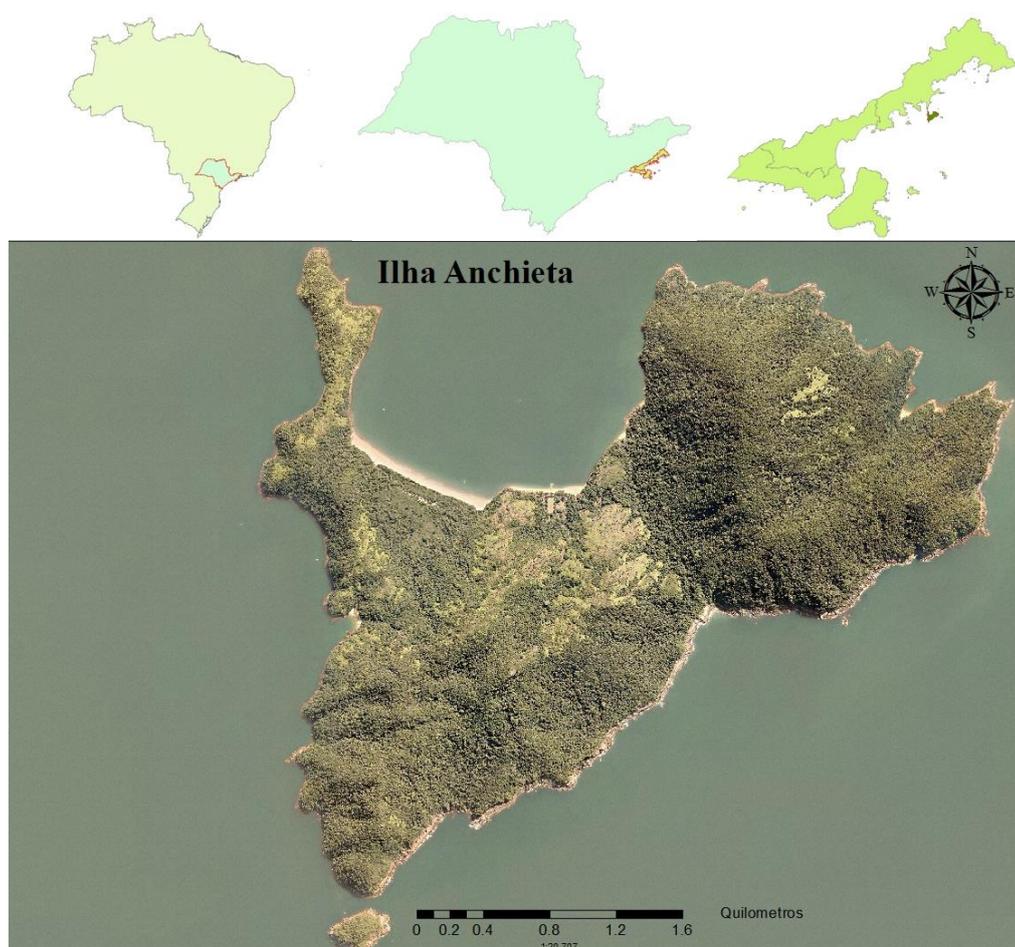
Os  $n(\mathbf{u})$  pesos  $\lambda_{\alpha}^{OK}(\mathbf{u})$  são determinados de tal maneira que a variância do erro seja mínima.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica da usina hidroelétrica Ilha Anchieta, objeto do estudo, está inserida no território do Litoral Norte do estado de Estado de São Paulo, município de Ubatuba, em ambiente insular marinho da Ilha Anchieta, apresentado na figura 10. Trata-se de uma Unidade de Conservação de Proteção Integral denominada Parque Estadual Ilha Anchieta, criado pelo Decreto nº 9.629 de 1977, que abrange todo o território da ilha.

Figura 9: Localização geográfica da Ilha Anchieta.



FONTE: Emplasa, 2011

### 3.1.1 Geomorfologia

O Litoral Norte de São Paulo se estende desde Ubatuba, passando por Caraguatatuba, até o município de São Sebastião, incluindo o arquipélago do município de Ilhabela, sendo acompanhado pelas encostas da Serra do Mar. Sua configuração atual da linha de costa e a fisiografia do terreno apresenta um quadro geológico bastante peculiar, caracterizado basicamente pelas escarpas da Serra do Mar alcançando o oceano. Pontões do embasamento cristalino atingem diretamente as águas oceânicas, alternam-se setores de sedimentação arenosa formadores de enseadas, com setores de abrasão nos costões rochosos (AB'SABER, 2005; PIRES-VANIN *et al.*, 2008). Ainda segundo Ab'Saber (2005), as encostas da Serra do Mar diferenciam a linha de costa do Litoral Norte de São Paulo como a mais recortada e acidentada do Brasil. Este desenho possibilita o surgimento de centenas de praias ricas em mangues e restingas.

A Serra do Mar é um conjunto de escarpas festonadas que se estende por cerca de 1.000 km, do norte de Santa Catarina ao Rio de Janeiro, apresentando uma orientação geral de E-NE. No Estado de São Paulo apresenta-se como borda de planalto, frequentemente nivelada pelo topo, em altitudes que variam de 800 a 1.200 m e com rede de drenagem de orientação predominante de NW-SE, acompanhando estruturas menores e falhas, orientadas sob à influência de corpos rochosos mais resistentes à erosão, fluindo diretamente para o mar (ALMEIDA e CARNEIRO, 1998).

O soerguimento da Serra do Mar acompanharam as linhas de fraqueza estrutural do embasamento à oeste da Bacia de Santos. A formação de fossas, vales de afundamento e muralhas tectônicas decorreu das movimentações das placas tectônicas devido aos eventos de reativação da Plataforma Sul Americana, no final período mesozóico e início do cenozóico estendendo-se até o final do terciário médio. Estes eventos tectônicos estão relacionados à abertura do Oceano Atlântico a partir do jurássico superior (ALMEIDA, 1976).

Processos erosivos regressivos atuaram desde então no embasamento rochoso formado, adaptando-o à diversidade das estruturas geológicas e das distintas resistências das rochas pela erosão. Seu recuo erosivo foi responsável pela formação da plataforma oceânica rasa existente atualmente. Concomitantemente, entre o Cretáceo e o Paleoceno, uma grande atividade de vulcanismo alcalino atingiu boa parte do litoral. Esse vulcanismo é responsável pela estrutura mais resistente aos processos erosivos, o que possibilitou a preservação das ilhas do Litoral Norte, que se comportam como testemunho do retrocesso erosivo da Serra do

Mar, entre elas a Ilha Anchieta (ALMEIDA e CARNEIRO, 1998; PIRES-VANIN *et al.*, 2008).

Posteriormente, eventos transgressivos e regressivos, relacionadas às flutuações do nível do mar a partir do terciário superior, contribuíram para formação, modelagem e evolução das planícies costeiras. As mudanças paleoclimáticas do período quaternário estão associadas como as principais causas da variação do nível do mar, relacionada a eventos glaciais e de degelo do período quaternário (PIRES-VANIN *et al.*, 2008).

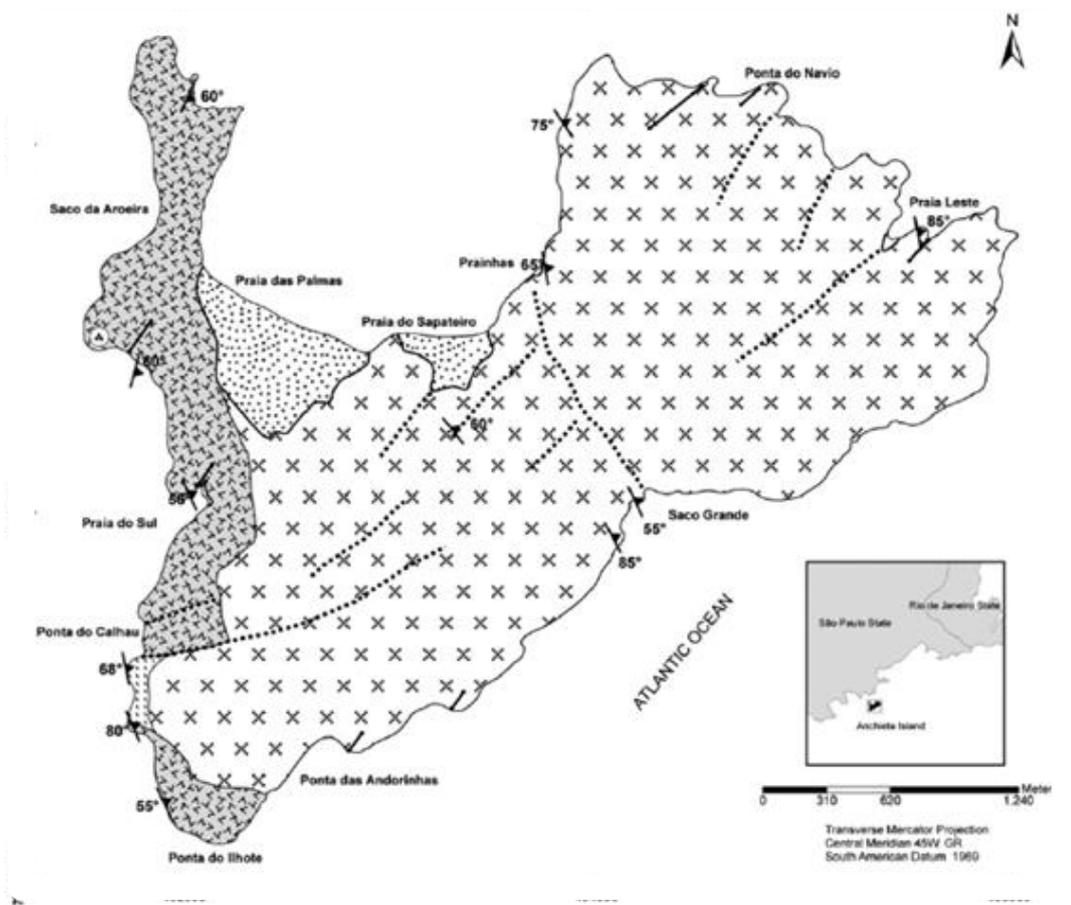
De acordo com o Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo proposto por Ross e Moroz (1997), o Litoral Norte está classificado entre as unidades morfoestruturais como Bacias Sedimentares Cenozoicas, compondo as Planícies Litorâneas, que são formadas por bacias de sedimentação de origem marinha e fluvial.

### 3.1.2 Geologia Local

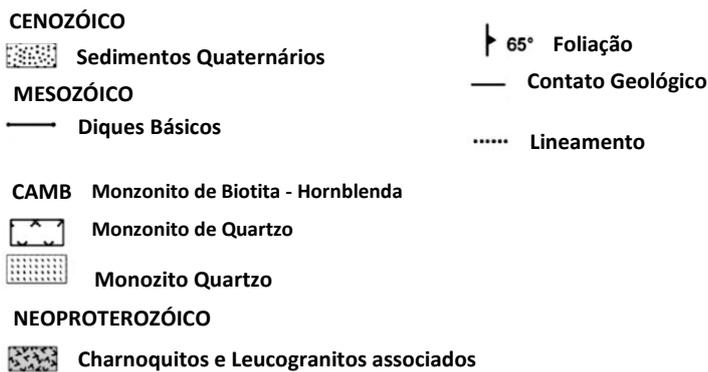
A Ilha Anchieta encontra-se no litoral recortado e escarpado do Complexo Cristalino formado pela Serra do Mar. As projeções do maciço montanhoso que mergulham diretamente no oceano formam pontas, como por exemplo, da Espia e Grossa. A Ilha Anchieta representa, portanto, uma continuação da Ponta da Espia, entre as enseadas das Toninhas e do Flamengo (GIULIAMON, 1984).

O mapa geológico da Ilha Anchieta (figura 11) desenvolvido por Sobrinho *et al.* (2011) destaca a presença de rochas mais antigas em uma faixa na porção ocidental da ilha, com cerca de 2 km, de direção NS (norte - sul) formada por charnoquitos e leucogranitos associados. Os charnoquitos são rochas esverdeadas e em alguns locais podem passar, gradualmente, para granitos rosado, já os leucogranitos são rochas brancas. O restante do território da ilha é ocupado pelo jovem monzonito de quartzo Ilha Anchieta que é composto principalmente por biotita-hornblenda e monzonito de quartzo. Esse monozito apresenta-se como uma rocha única com a menor porção emersa a que compõe a Ilha Anchieta. Ainda no monozito de quartzo da Ilha Anchieta estão presentes alguns diques com espessura entre 1 e 10 m. Depósitos sedimentares do quaternário, originadas das transgressões e regressões, são observadas na Praia das Palmas e Praia do Presídio.

Figura 10: Mapa Geológico Ilha Anchieta



FONTE: SOBRINHO *et al.*, 2011



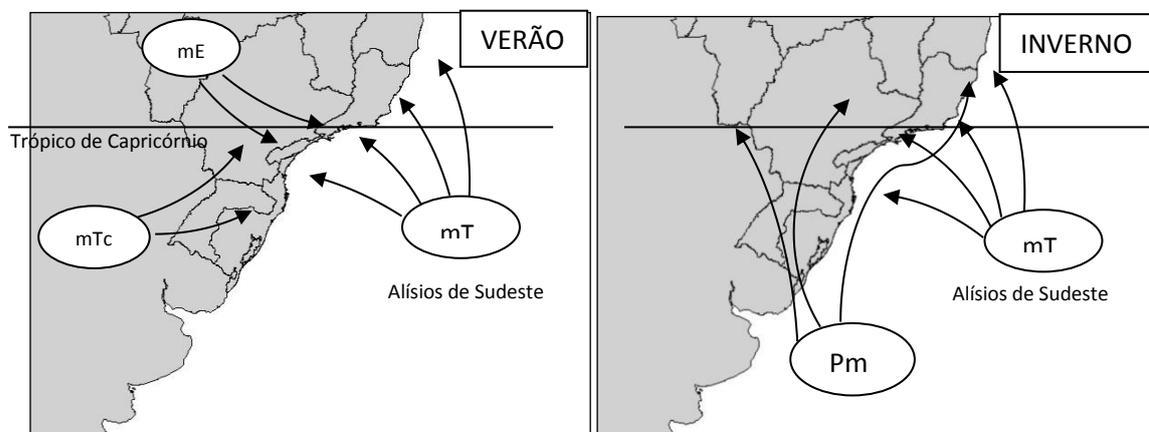
### 3.2 Clima

A precipitação é o evento climático mais relevante de uma região situada nos trópicos. Para a compreensão deste fenômeno atmosférico, devemos considerar além da espacialização regional, a distribuição temporal do fenômeno. No Litoral Norte do Estado de São Paulo, os

principais condicionantes das oscilações anuais das precipitações são as influências do sistema circulatório do Alísio Sul, a localização oriental no continente sul-americano, e a quebra íngreme da costa na Serra do Mar formando uma barreira em oposição aos ventos alísios (SCHRODER, 1956).

Ainda segundo Schroder (1956), a sazonalidade das chuvas ocorre especialmente devido a influência da variação anual da inclinação solar, e à energia de entrada das massas de ar polar. Dentre as massas de ar que influenciam no clima da região, destaca-se a Massa de Ar Polar Atlântica (mPa), de origem no Oceano Atlântico Sul, com a característica de ser fresca e úmida, e sentido de deslocamento em direção ao norte. Duas outras massas de ar originadas ao Norte, confrontam-se com o ar polar fresco e úmido, sendo uma a massa de ar tropical temperada ou úmida (mTa), proveniente da porção ao norte do Oceano Atlântico Sul, e a segunda originada no interior do continente, de característica seca e quente (mTc), conforme ilustrado na Figura 12.

**Figura 11** - Movimentos de massas de ar nos períodos de verão e inverno na região do Litoral Norte de São Paulo.



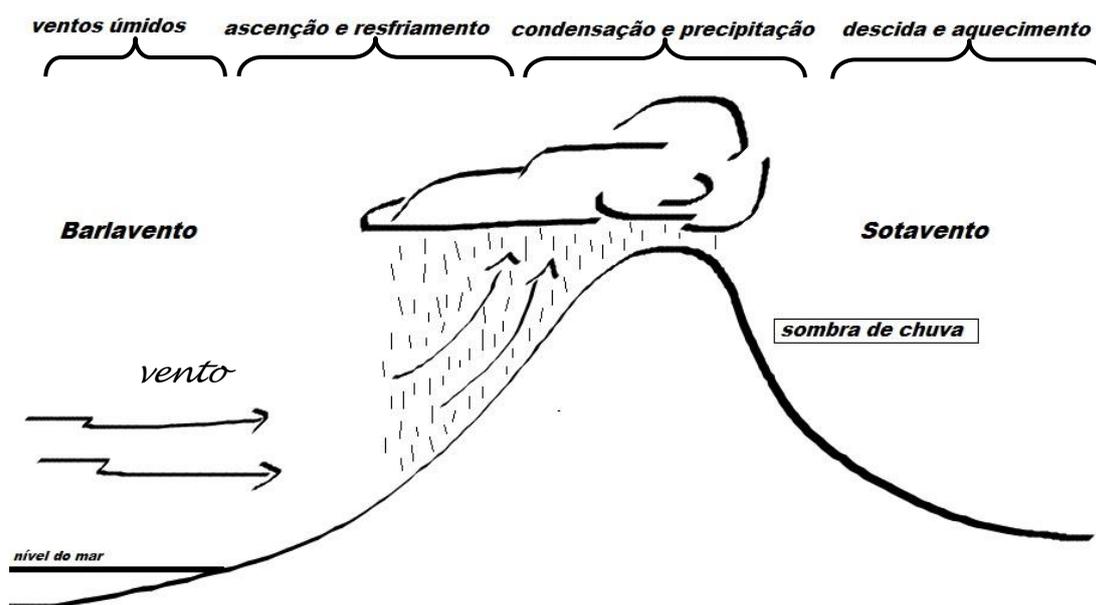
**Legenda:**

- **mEc: Massa Equatorial Continental** – Quente e úmida (Formação sobre a floresta Amazônica), atua sobre todas as regiões do país, motivando as “chuva de verão”
- **mTc: Massa de Tropical Continental** - Quente e seca (origem perto dos trópicos e no continente), origina-se na Depressão do Chaco e influencia o sul da região Centro-Oeste e o interior da região Sul e Sudeste. No inverno tem pouca atuação.
- **mTa: Massa Tropical Atlântica** - Quente e úmida (formação no Oceano Atlântico Sul), atua na faixa litorânea que vai do Nordeste ao Sul do país. Encontra-se com a Massa Polar Atlântica, provocando chuvas frontais e de relevo no encontro com a Serra do Mar. Sua atividade é constante o ano todo.
- **mPa: Massa Polar Atlântica** - Fria e úmida (formação no Atlântico Sul, próximo ao polo sul). Durante o inverno ela tem muita força, atingindo grande parte do território do Brasil.

FONTE: Adaptado de MOREIRA & SENE, 1998

A geomorfologia do Litoral Norte, caracterizada pela singularidade da Serra do Mar, exerce forte influência no padrão de precipitação, devido ao fator do efeito de chuvas orográficas e o bloqueio de frentes frias e quentes (RAO e HADA, 1990). A formação da chuva orográfica é explicada por Ayoade (1988) apud Milanesi & Galvani (2011), como sendo um fluxo de massa de ar úmida, que ao transpor uma rugosidade do relevo, tem sua coluna de ar elevada, ocorrendo perda de temperatura sem troca com o meio. O resfriamento gera uma nebulosidade que, possivelmente se converterá em chuva na encosta a barlavento, ou seja, na face da montanha que recebe o vento. Na encosta a sotavento, face oposta ao vento, a coluna de ar é descendente e se aquece formando uma atmosfera relativamente seca, fenômeno este denominado de sombra de chuva conforme apresentado na Figura 13.

Figura 12: Efeito de chuvas orográficas



FONTE: Próprio Autor

A disposição do posto pluviométrico analisado em relação às encostas das montanhas e às entradas de frente frias, condicionam o padrão de das séries históricas de precipitação. Segundo Tucci (2001), ao analista dos dados de precipitação é fundamental o conhecimento

---

\* MILANESI, M.A.; GALVANI, E. Efeito orográfico na Ilha de São Sebastião (Ilhabela – SP). *Revista Brasileira de Climatologia*, v.9, p.68-79, 2011. Apud AYOADE, J.O. *Introdução à Climatologia para o trópicos*. 2ª ed. São Paulo: Difel, 1988.

empírico do regime climático da área de estudo. A ocorrência de totais pluviométricos diferenciados entre estações adjacentes pode ser explicada pela formação de microclimas, influenciados pela orografia, a altitude de posicionamento da estação, e a disposição da estação em relação à geomorfologia em relação ao movimento das massas de ar, podendo estar a barlavento ou a sotavento. Entretanto, cabe ressaltar que a influencia orográfica da Serra do Mar na região é marcante, mas não exclusiva.

### 3.1.4 Cobertura Vegetal

A vegetação natural existente na Ilha Anchieta é composta, de acordo com o Kronka *et al.* (2007), predominantemente por Floresta Ombrófila Densa, uma formação vegetal da Mata Atlântica característica de regiões tropicais com temperaturas elevadas, cerca de 25°C, e alta precipitação pluviométrica bem distribuída ao longo do ano, sem períodos biologicamente secos. Nota-se também a existência de formações típicas de várzea de cursos d'água arbóreo e arbustiva-herbácea em regiões de várzea de cursos d'água e dunas, característica típica de formações de restinga.

A vegetação da ilha sofreu fortes perturbações antrópicas durante o período de construção e funcionamento do presídio, entre 1905 a 1955, devido principalmente ao uso da madeira para fins energéticos, como fornos da olaria e cocção de alimentos. Após a desativação do presídio em 1955, ainda permaneceu no local um rebanho de caprinos que impediu o processo de regeneração natural da vegetação. Com a criação da unidade de conservação de proteção integral, no ano de 1977, o reestabelecimento da vegetação em áreas degradadas foi favorecido, o que permitiu a evolução e desenvolvimento das formações vegetais existentes na ilha (GIULAMON, 1984).

Aranha (2011) analisou a evolução do uso e cobertura do solo da Ilha Anchieta entre os anos de 1973 e 2008, Tabela 5, onde verificou o avanço dos estágios sucessionais de vegetação. Áreas de estágio inicial de regeneração evoluíram para o estágio médio, assim como estágio médio para estágio avançado, culminando com o predomínio da Floresta de Estágio Avançado. Um quadro com a evolução do uso e cobertura do solo é apresentado na tabela 01. Cabe esclarecer que o aumento considerável da categoria “*áreas degradadas*” deve-se ao fato da criação da Unidade de Conservação de proteção integral, onde a cobertura do solo classificada como “*uso antrópico*” passou a ser considerada como “*área degradada*”, ou seja, em processo de regeneração.

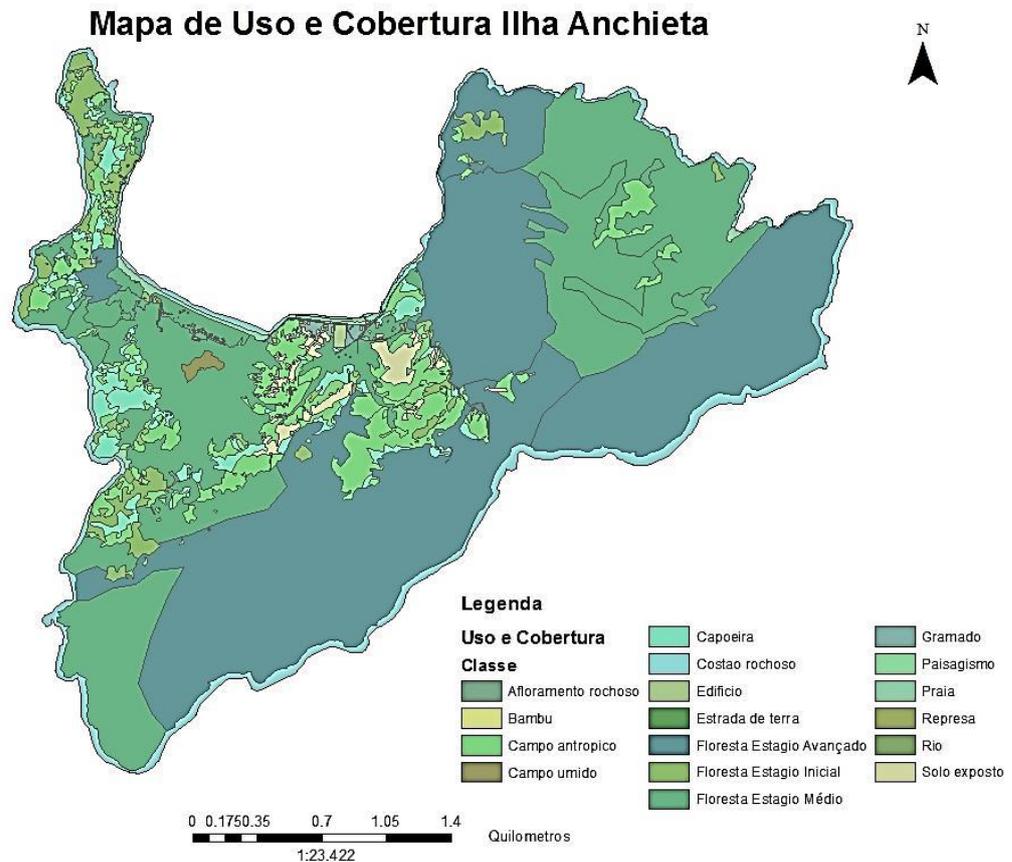
Tabela 6: Evolução do uso e cobertura do solo da Ilha Anchieta entre os anos de 1973 a 2008.

<b>USO E COBERTURA DO SOLO (m<sup>2</sup>)</b>			
<b>Ano</b>	<b>1973</b>	<b>2001</b>	<b>2008</b>
Área Degradada	7,11	99,00	89,22
Floresta Estágio Avançado	51,52	235,64	334,80
Floresta Estágio Inicial	169,40	166,41	116,71
Floresta Estágio Médio	392,24	267,81	228,12
Outros	56,99	56,37	56,37
Uso Antrópico	151,61	3,59	3,59
<b>Total</b>	<b>828,81</b>	<b>828,81</b>	<b>828,81</b>

Fonte: ARANHA (2011).

O mapa apresentado na Figura 13 apresenta o uso e cobertura do solo da Ilha Anchieta elaborado à partir de ortofotos aéreas do ano de 2008. Nele observamos que praticamente todo o território da ilha é coberto por formação vegetal natural ou em processo de regeneração.

Figura 13: Mapa de Uso e Cobertura do Solo da Ilha Anchieta para o ano de 2008.



Fonte: ARANHA, 2011

### 3.1.5 Micro Central Hidroelétrica Ilha Anchieta

A micro central hidrelétrica (MCH) instalada na Ilha Anchieta é alimentada por meio de um conduto forçado alimentado pelo reservatório, apresentando um desnível de 67 metros entre a captação de água e as centrais geradoras de eletricidade. A figura 15 apresenta o reservatório de alimentação da MCH.

Figura 14: Reservatório da micro central hidrelétrica Ilha Anchieta.

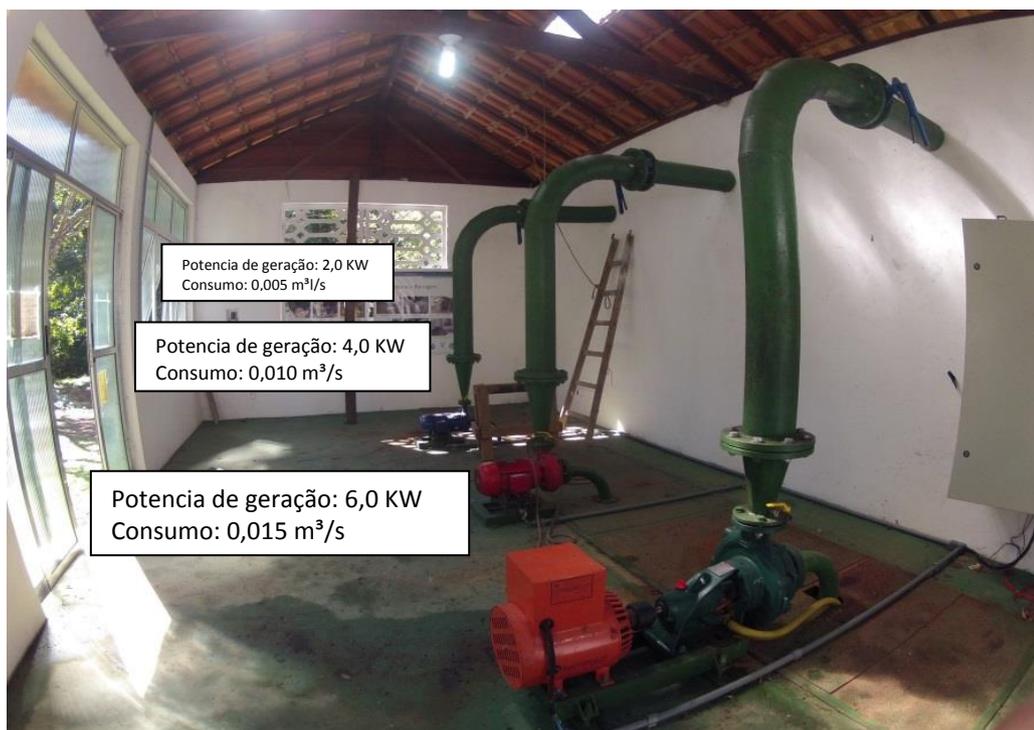


FONTE: O Autor.

Recentemente todo o sistema de geração de energia elétrica sofreu uma reforma, resultado de um convênio de cooperação técnica-financeira firmada entre o Grupo de Energia (GEN) da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) e o Ministério de Minas e Energia (MME). A central foi reprojetaada e atualmente é composta por três grupos geradores, que utilizam a tecnologia de bombas funcionando como turbinas (BFT), associados a motores de indução funcionando como geradores (GI) com capacidade de geração de energia elétrica pelos grupos geradores de 2kW, 4kW e 6kW, com consumo de 0,005 m<sup>3</sup>/s, 0,010 m<sup>3</sup>/s e 0,015m<sup>3</sup>/s respectivamente, conforme apresentado na Figura 16. A barragem também sofreu

reformas, tendo sido eliminados os vazamentos e realizado o desassoreamento da mesma. (RICARDO, 2009).

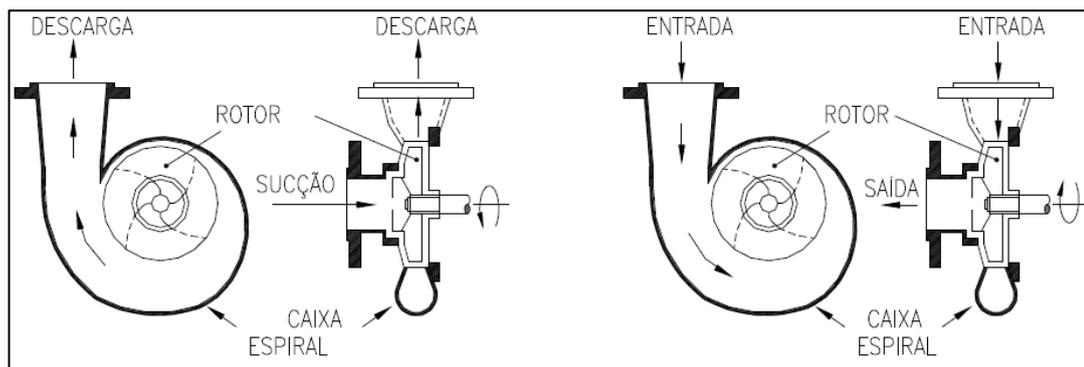
Figura 15: Usina da micro central hidrelétrica da Ilha Anchieta operando com o sistema BFT e GI.



FONTE: O Autor

A tecnologia BFT empregada pelos grupos geradores utiliza de uma bomba centrífuga acoplada a um motor de indução. O funcionamento normal de uma bomba centrífuga é através da transformação da energia de velocidade do rotor em pressão no líquido que entra no sistema pela sucção à baixa pressão e é expelido com pressão pela descarga. Para que a bomba centrífuga funcione como turbina, o sentido do fluxo de escoamento de água é invertido, e o líquido entra com energia de pressão, aciona o rotor em reverso e sai com baixa pressão, ocorrendo a inversão no sentido de rotação (VIANA, 1990). A figura 17 ilustra uma bomba centrífuga funcionando como bomba e como turbina, bem como suas partes principais.

Figura 16: Bomba centrífuga funcionando como bomba e como turbina.



FONTE: Viana (1990)

Nos grupos geradores da MCH Ilha Anchieta é empregado um motor de indução operando como gerador, em substituição ao gerador síncrono. A grande vantagem da utilização do motor de indução como gerador, tal como a BFT, é o seu baixo custo se comparado ao gerador síncrono, e a baixa manutenção devido à robustez e ausência de escovas. Entretanto, apresenta como desvantagem a potência de geração menor se comparado à operação como motor. O gerador de indução possibilita o fornecimento de potência ativa para uma carga, porém a capacidade de produção não possibilita a geração de energia para equipamentos como motores e transformadores (VIANA, 2004).

### 3.2 SOFTWARES APLICADOS

O software utilizado para o tratamento dos dados, elaboração dos modelos digitais de elevação e geração de informações morfométricas das bacias hidrográficas, foi o Sistema de Informações Geográficas ArcInfo, versão 10.1. Para visualizações, análise e impressão dos resultados foi utilizado o software ArcScene.

O Laboratório de Análise GeoEspacial da Unesp Guaratinguetá possui a licença do software ArcInfo e ArcView com suas extensões, utilizados neste trabalho.

Para a consolidação do banco de dados de todos os postos analisados, utilizou-se o programa Hidro 1.2. Este software possui licença livre e foi desenvolvido pela Agência Nacional de Águas – ANA, com o objetivo de auxiliar na gestão e organização dos dados dos postos pluviométricos obtidos do HidroWeb.

A análise de consistência foi realizada com o programa HIDRO-PLU 2010, um software livre desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa em parceria com a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL e a ANA.

Para o fluxo de informação entre o sistema de informações geográficas e o modelo matemático foi utilizado o complemento HECGeoHMS 10.1, que é uma extensão de domínio público para o ArcGIS 10.1. O programa é capaz de utilizar as ferramentas disponíveis no ArcGIS para trabalhar as informações e preparar um banco de dados para ser utilizados no modelo HEC-HMS. O Sistema de Modelagem Hidrológica (HEC-HMS) foi concebido pelo Centro de Engenharia Hidrológica (HEC) dos Estados Unidos para simular os processos hidrológicos completos de sistemas de bacias hidrográficas dendríticas.

### 3.3 GERAÇÃO DE MAPAS DE PRECIPITAÇÃO

#### 3.3.1 Base de Dados Climatológicos

##### 3.3.1.1 Precipitação

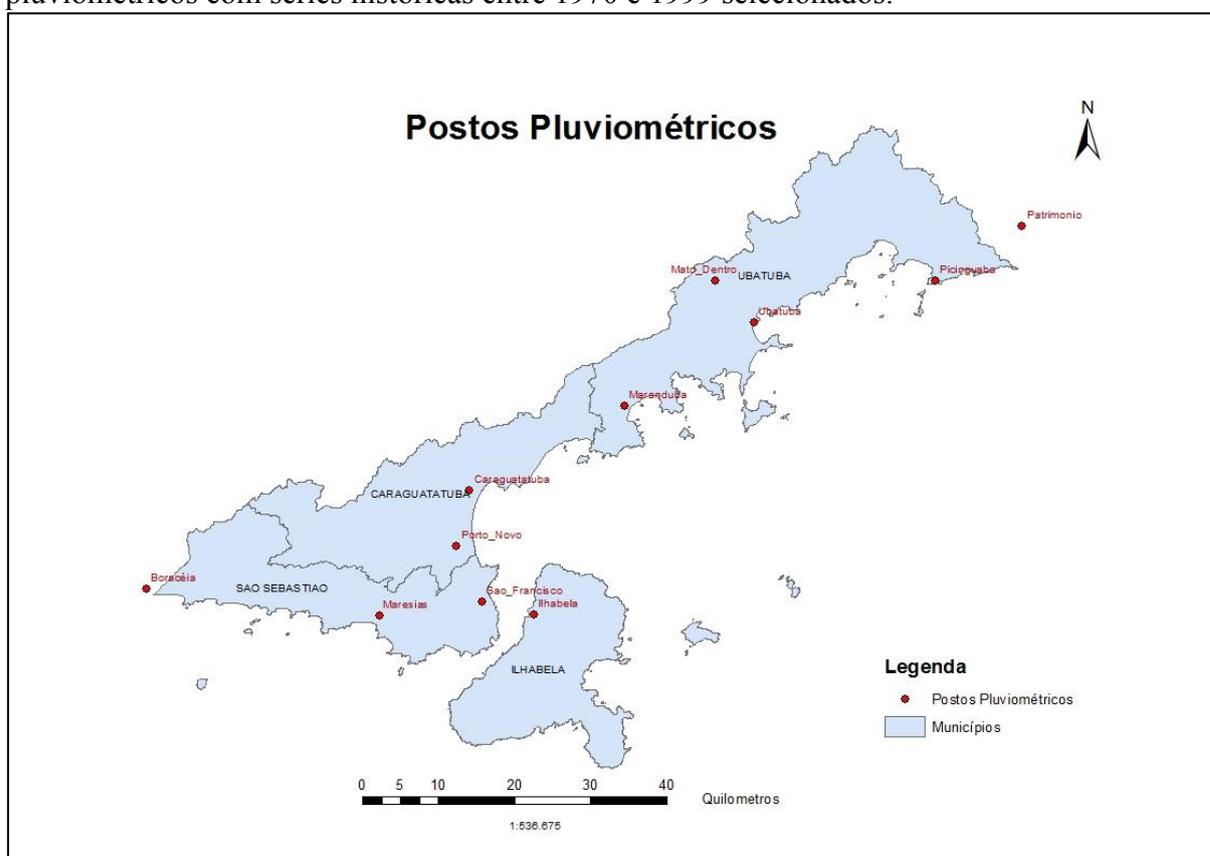
Segundo Berton e Tucci (2001), o “objetivo de um posto de medição de chuvas é o de obter uma série ininterrupta de precipitações ao longo dos anos (ou o estudo da variação das intensidades de chuva ao longo das tormentas)”. As séries históricas, no entanto, podem estar prejudicadas por apresentarem períodos sem informação ou dados inconsistentes causados por erros nos aparelhos de registro e falhas humanas. Devido à esses possíveis erros, os dados devem ser submetidos à uma análise de consistência antes de serem utilizados.

As series históricas de precipitação do Litoral Norte foram obtidas diretamente do portal da internet da Agencia Nacional de Águas – ANA, através do portal Hidro-Web. Neste portal a ANA disponibiliza em tempo real todas as séries históricas dos postos pluviométricos cadastrados, sejam públicos ou particulares.

Foram analisados todos os postos pluviométricos que já operaram ou que ainda estão em operação no Litoral Norte para a análise da precipitação. De acordo com as séries históricas disponíveis, foi definido um período comum de dados pluviométricos para a constituição do banco de dados de precipitação.

Os dados primários de precipitação foram obtidos do portal HidroWeb da Agencia Nacional de Águas – ANA que disponibiliza as séries históricas de precipitação dos postos pluviométricos em formato de banco de dados (.mdb). De um total de 25 postos pluviométricos que operam ou já operaram no Litoral Norte, foram selecionados apenas 9 por apresentarem a série histórica em um período coincidente e, de acordo com estas informações, ficou definido o período de 1970 a 1999 para a análise da precipitação. Com o intuito de reduzir o efeito de borda nos processos de interpolação, foram acrescentados outros dois postos pluviométricos, um ao sul no município de Bertiooga – SP e outro no extremo norte no município de Parati, Estado do Rio de Janeiro. Como critério de seleção das estações foi considerada também a distribuição espacial das estações visando garantir maior confiabilidade nos resultados. Do total das 9 estações, 4 estações estão localizadas em Ubatuba, 2 em Caraguatatuba, 2 em São Sebastião e 1 na Ilhabela. A distribuição espacial dos postos pluviométricos selecionados é apresentada no Mapa dos Postos Pluviométricos Selecionados da Figura 18.

Figura 17: Municípios do Litoral Norte do Estado de São Paulo e distribuição dos postos pluviométricos com séries históricas entre 1970 e 1999 selecionados.



As observações referem-se às precipitações pluviais diárias expressas em altura de lâmina d'água (mm). Para cada estação avaliada no estudo, identificaram-se os valores das coordenadas geográficas (X e Y) e também a altitude, a qual variou de 1 a 220 metros.

A análise da consistência dos dados foi realizada utilizando o Hidro-Plu - Programa de Homogeneização de Dados Pluviométricos da ANA - Agência Nacional de Águas. O programa baseia-se na formulação matemática desenvolvida por Holanda e Oliveira (1979), e auxilia na análise de consistência de dados pluviométricos.

A análise de consistência dos dados pluviométricos teve como objetivo a identificação e correção de erros, bem como o preenchimento de falhas das séries pluviométricas; assim, foi realizado o procedimento com todas as estações selecionadas, comparando seus dados mensais com as estações adjacentes, em um raio de 50 quilômetros e inseridas nas mesmas características topográficas, e permitiu-se uma correção de até 10% nos valores de precipitação original.

#### 3.3.1.2 Vazão

Os dados de vazão foram cedidos pelo Parque Estadual Ilha Anchieta, e são provenientes de um vertedouro implantado acima da barragem pela Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI. A série histórica é composta por leituras diárias feitas manualmente e abrange cerca de 60 dias entre os meses de março, abril e maio, período de transição entre o verão e o inverno, quando se observam uma redução no regime de precipitação. A série histórica de vazão foi utilizada para realizar a calibração do modelo HEC-HMS.

### 3.3.2 Procedimentos Geoestatísticos

Para a definição dos mapas de precipitação adotou-se a interpolação por meio da Krigagem, e a análise do desempenho da aplicação do interpolador foi realizada pelo método da validação cruzada, utilizando para verificação o critério do quadrado médio do erro. Esse método envolve a estimativa de cada ponto medido, excluindo o ponto a ser analisado para obter a estimativa dada pela interpolação.

### 3.4 GERAÇÃO O MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO - MDE

#### 3.4.1 Base De Dados Topográficos

Para a produção do modelo digital de elevação, foram utilizados os dados primários de altimetria, hidrografia e pontos cotados extraídos de quatro folhas da Carta Base do levantamento planialtimétrico do Instituto Geológico e Cartográfico do Estado de São Paulo (IGC), de 1977/78 que cobrem a Ilha Anchieta conforme a figura 20. As cartas fornecem curvas de nível, equidistantes 5 metros e os pontos cotados, na escala de 1:10.000, em sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), datum horizontal Córrego Alegre, Zona 23S. A figura 19 apresenta um detalhe da praia do Leste na carta planialtimétrica Ponta do Navia.

Figura 18: Detalhe da Carta Planialtimétrica Ponta do Navio - SF-23-Y-D-VI-2-NE-B (IGC, 1977).



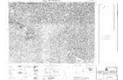
Fonte: IGC

A base de dados principal foi produzida por Esteves, 2010, que realizou, quase que totalmente, a vetorização dos dados planialtimétricos existentes nas cartas do IGC. As informações foram gentilmente cedidas pela autora. No entanto, algumas falhas foram detectadas, como elevação de curva de nível e de pontos cotadas. Para a verificação e

correção dos erros foi necessário realizar o processo de georreferenciamento e vetorização das cartas planialtimétricas.

Os mapas digitais em formato TIFF foram importados e georeferenciados, utilizando-se as bases planialtimétricas, escala 1:10.000, do IGC (datum Córrego Alegre – Zona 23S, projeção UTM). Foram utilizadas ao todo quatro cartas conforme apresentado na figura 20.

Figura 19: Cartas do Instituto Geológico e Cartográfico do Estado de São Paulo utilizadas para a vetorização das informações planialtimétrica

CARTA	DENOMINAÇÃO	Nº	REFERÊNCIA
	ILHA ANCHIETA	92/130	SF-23-Y-D-VI-2-NE-C
	LAJE DO FORNO	92/131	SF-23-Y-D-VI-2-NE-D
	PONTA DO NAVIO	91/131	SF-23-Y-D-VI-2-NE-B
	PRAIA DO FLAMENGO	91/130	SF-23-Y-D-VI-2-NE-A

O georreferenciamento dos raster das cartas topográficas foi realizado em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas), utilizando ferramenta de processamento digital de imagens. Inicialmente foram feitas as correções das variações de tonalidade das cartas digitalizadas (raster), convertendo-as para valores binários de tons de branco e preto. Após esse procedimento, para cada uma das cartas do projeto, foi gerada uma grade de coordenadas no sistema de projeção e datum originais da carta. Os pontos de controle foram coletados nas intersecções desta grade utilizando em média 20 pontos de controle para cada carta, num total de 80 pontos.

Os vetores das curvas de nível, hidrografia que faltavam na base de dados foram extraídos dos mapas digitais empregando-se o módulo de vetorização semiautomática utilizando a ferramenta Arc-Scan, do Sistema de Informações Geo-referenciadas Arc-Info.

A ferramenta Arc-Scan possibilita a criação de um layer vetorial à partir de imagens raster em ambiente GIS. Essa ferramenta do ArcGis realiza o processo de vetorização seguindo uma isolinha em uma imagem raster, e a transforma em uma sequencia de coordenadas XY de mesmo valor em Z, facilitando o processo de vetorização (ArcGis, 2002).

Para a exploração de todo o potencial dos modelos, os dados de entrada devem estar consistido e com um nível de qualidade mínimo aceitável. Para isso cada elemento foi trabalhado individualmente para compor o banco de dados de entrada no modelo. Foi gerado um arquivo contendo o polígono com os limites da área de estudo, sendo este determinado como toda a porção emersa da ilha. A hidrografia digitalizada foi conectada, simplificada e orientada no sentido do escoamento superficial. Foram verificadas as informações de elevação e posição das curvas de nível e pontos cotados. Por fim definiu-se a altimetria do contorno do lago formado pela barragem existente na Ilha Anchieta. Os procedimentos adotados visaram a organização dos arquivos digitais para a constituição do banco de dados.

Observou-se que durante o processo de digitalização das feições são criados um numero excessivo de pontos. Felgueiras, 2007 recomenda como espaçamento entre os pontos dos vetores a distancia média das isolinhas, ou seja, de 5 metros para o presente trabalho. Este distanciamento permite a formação de triângulos mais próximos aos equiláteros. Assim a simplificação das linhas foi realizada com a ferramenta “*simplify line*”.

O procedimento de simplificação utilizado foi o algoritmo de Douglas-Peucker. Este algoritmo elimina todos os pontos que estão à uma distância menor que uma dada tolerância, assim a linha será representada apenas pelos primeiro e último ponto. Se algum ponto está à uma distância maior, o ponto mais distante da reta é considerado o último e o algoritmo reinicia calculando as distâncias.

O conjunto planialtimétrico mais a hidrografia foram projetados sobre as ortofotos aéreas para possibilitar a análise visual a fim de verificar a existência de erros grosseiros perceptíveis na drenagem ou incoerência nos dados altimétricos. Após a vetorização, e atribuição dos valores de cotas obtidos dos mapas analógicos aos vetores, as camadas foram exportadas no formato \*.shp. para compor a base de dados digitais.

### **3.4.1 Interpolação para geração do Modelo Digital de Elevação**

Na geração do MDE, utilizou-se a base cartográfica digitalizada na escala 1:10.000, contendo as curvas de nível com equidistância de 5 metros, pontos cotados, hidrografia e costa, extraída das cartas do IGC em processo descrito anteriormente.

Existem numerosos métodos disponíveis para produção de MDEs a partir de curvas de nível, os quais podem ser distinguidos pela maneira que combinam diferentes malhas ou modelos de grade além da utilização de diferentes algoritmos de interpolação para a construção do modelo na tentativa de modelar a superfície, usando a informação das curvas (WISE, 2000). Os dados foram interpolados pelo módulo TOPOGRID para elaboração da grade regular retangular, em ambiente do programa ArcInfo (ESRI, 2012).

O TOPOGRID utiliza o método desenvolvido por Hutchinson (1989), que tem por finalidade a criação de MDE para estudos hidrológicos. Este método utiliza um processo de interpolação por diferença finita, e foi concebido para otimização dos dados normalmente disponíveis, e as características de superfície de elevação, e busca a eficiência computacional dos métodos de interpolação locais, como o IDW, sem perder a continuidade de superfície dos métodos globais, como krigagem e spline.

Os parâmetros técnicos utilizados para a configuração do TOPOGRID foram os seguintes:

*Resolução pixel:* 5 metros

*Tipos de dados de entrada:* Definição dos tipos de dados de entrada para a geração do modelo digital de elevação. Foram utilizados os seguintes dados primários:

- linhas das curvas de nível;
- linhas da hidrografia;
- pontos originados dos pontos cotados;
- polígonos de limite do MDE;
- polígonos de limite do reservatório;

*Imposição da drenagem:* A opção de imposição da drenagem pode ser configurada para “ENFORCE” que remove todas as pias ou depressões, para “SINK” para não promover as remoções ou “ENFORCE\_WITH\_SINK” que elimina todas as espúrias do modelo, porem não altera aqueles que são especificados nos dados de entrada. Para a aplicação do modelo foi utilizada a opção “EFORCE\_WITH\_SINK”

*Tipos de dados de elevação:* Como fonte primaria de dados altimétricos confiáveis foram escolhidas as curvas de nível, pois se apresentavam abundantes na cartografia e demonstravam consistência na análise de sobreposição das imagens aéreas.

*Número de iterações:* Define o número máximo de iterações de interpolação. Um padrão de 20 normalmente é adequado tanto para os dados da linha de contorno, no entanto foi utilizado 45 iterações por interpolação com o objetivo de eliminar o maior número de espúrias. As iterações cessam quando o número máximo de iterações foi atingido.

### 3.5 APLICAÇÃO DO MODELO HIDROLÓGICO HEC-HMS

Para a caracterização da bacia foi utilizada o complemento HEC-GeoHMS, que gera arquivos de mapa-base, modelos de bacias, arquivos modelos meteorológicos e um arquivo de parâmetro em formato de células que podem ser utilizados pelo HEC-HMS para desenvolver o modelo hidrológico em sistema de coordenadas Universal Transverse Mercator (UTM). O arquivo de modelo de bacia contém elementos hidrológicos e sua conectividade hidrológica que incluem áreas da sub-bacia e outros parâmetros hidrológicos que podem ser estimada utilizando dados geoespaciais. Para auxiliar na estimativa de parâmetros hidrológicos, o HEC é capaz de gerar tabelas contendo as características físicas de córregos e bacias hidrográficas.

Após a compilação inicial e a preparação de dados do terreno pela elaboração do modelo digital de elevação – DEM concluída, foi executado o processamento do terreno no método passo-a-passo, examinando os resultados e fazendo as correções para o conjunto de dados, de acordo com a necessidade. Isto é realizado como um processo passo a passo gradual para melhor reproduzir redes de fluxo, limites das bacias hidrográficas e o cálculo de valores iniciais dos parâmetros hidrológicos.

Quando a reunião dos dados é concluída, o HEC-GeoHMS processa as informações sobre o terreno espacial e gera uma série de arquivos de entrada para um modelo HEC-HMS. Esta base de dados contém parâmetros hidrológicos do curso d'água e características da sub-bacia, medição da precipitação e dados de vazão. No modelo HEC-HMS são permitidas modificações dos elementos hidrológicos e sua conectividade para representar com mais precisão as condições de campo.

HEC realiza uma série de tarefas administrativas que auxiliam o gerenciamento de dados derivados do programa ArcGIS. O recurso de gerenciamento de dados localiza as camadas de dados do GIS e os seus nomes oferecendo as entradas de dados apropriados para a operação e ao final realiza a detecção verificação de erros.

HEC produz uma série de entradas hidrológicas que são utilizados diretamente em HEC. Além disso, o programa suporta a estimativa de parâmetros hidrológicos, fornecendo

tabelas de características físicas para cursos d'água e sub-bacias. Ao trabalhar com HEC, o usuário pode usar programas de extensão ArcGis para executar operações espaciais e desenvolver parâmetros adicionais para preencher o modelo hidrológico.

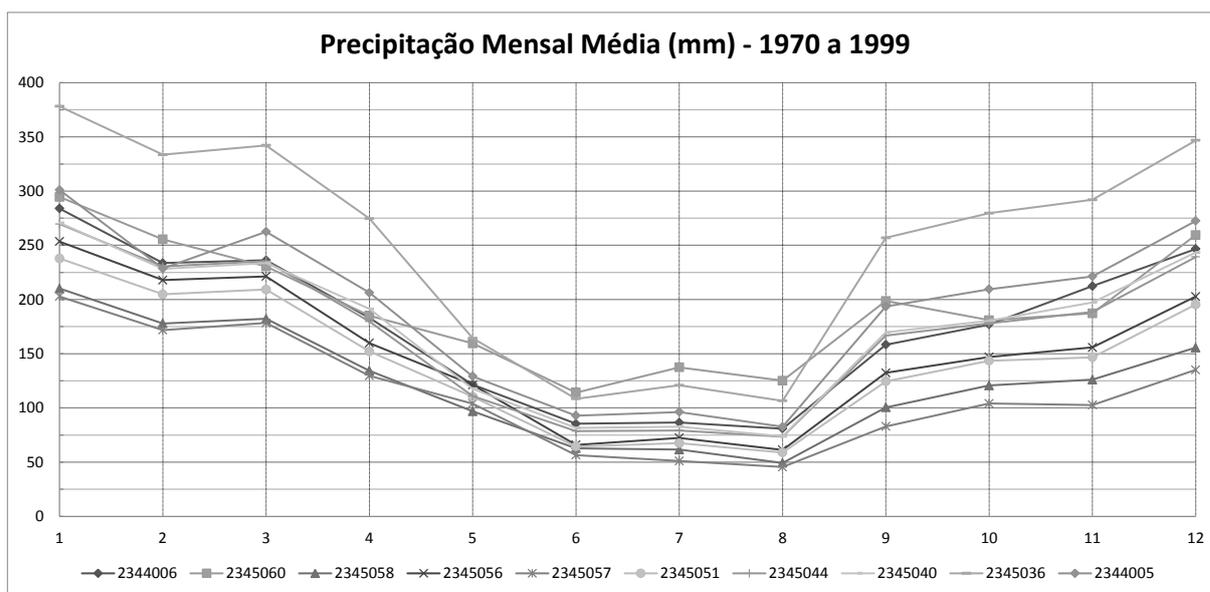
Os principais dados necessários para utilizar o HEC- HMS são as séries históricas de precipitação com informações sobre os totais diários de precipitação. Infelizmente a maioria dos medidores de chuva são manuais perto da nossa área investigada. Devido o fato de não haver nenhuma estação meteorológica em operação na Ilha Anchieta, foi construído um hietograma com base em um medidor de chuva existente no município de Ubatuba, à cerca de 11 km da Ilha Anchieta e que apresenta condições topográficas e climatológicas semelhantes à bacia de estudo. Trata-se de uma estação automática transmissão atrasada, o que caracterizada uma maior precisão dos registros, podendo ser considerado como correto e utilizável.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 ANÁLISE ESPACIAL DA PRECIPITAÇÃO

A análise das séries históricas de precipitação entre os anos de 1970 e 1999 das estações meteorológicas do Litoral norte, apresentada na Tabela 7 possibilitou a caracterização da sazonalidade na área de estudo verificando a influência da sazonalidade no regime de chuvas da região de estudo.

**Figura 20:** Médias mensais entre os anos de 1970 a 1999 dos postos pluviométricos do Litoral Norte.



FONTE: Autor.

O período de estiagem é observado nos meses de junho, julho e agosto, o que corresponde ao inverno. No entanto, não ocorre a interrupção das precipitações, e a média mensal mínima chega a 50 mm de chuva por mês. Um período de transição ocorre entre os meses de setembro, outubro e novembro, onde gradativamente se observam as médias mensais de precipitação em elevação, com uma variação de até 54 mm de chuva mensal na estação pluviométrica do Patrimônio, município de Paraty – RJ.

Os maiores índices de chuva são observados nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, meses coincidentes com o verão, quando todas as estações meteorológicas registram médias mensais de no mínimo 125 mm, chegando a superar os 378 mm mensal na estação meteorológica Mato Dentro, no município de Ubatuba. Logo após, verifica-se um outro momento de transição, reduzindo as precipitações mensais entre os meses de março, abril e maio.

Considerando a influência da sazonalidade no Litoral Norte de São Paulo, foram elaborados mapas de intensidade de precipitação para os quatro municípios, com o intuito de caracterizar a distribuição espacial das chuvas na região. Assim, foi utilizada a divisão temporal do ano entre os seguintes meses:

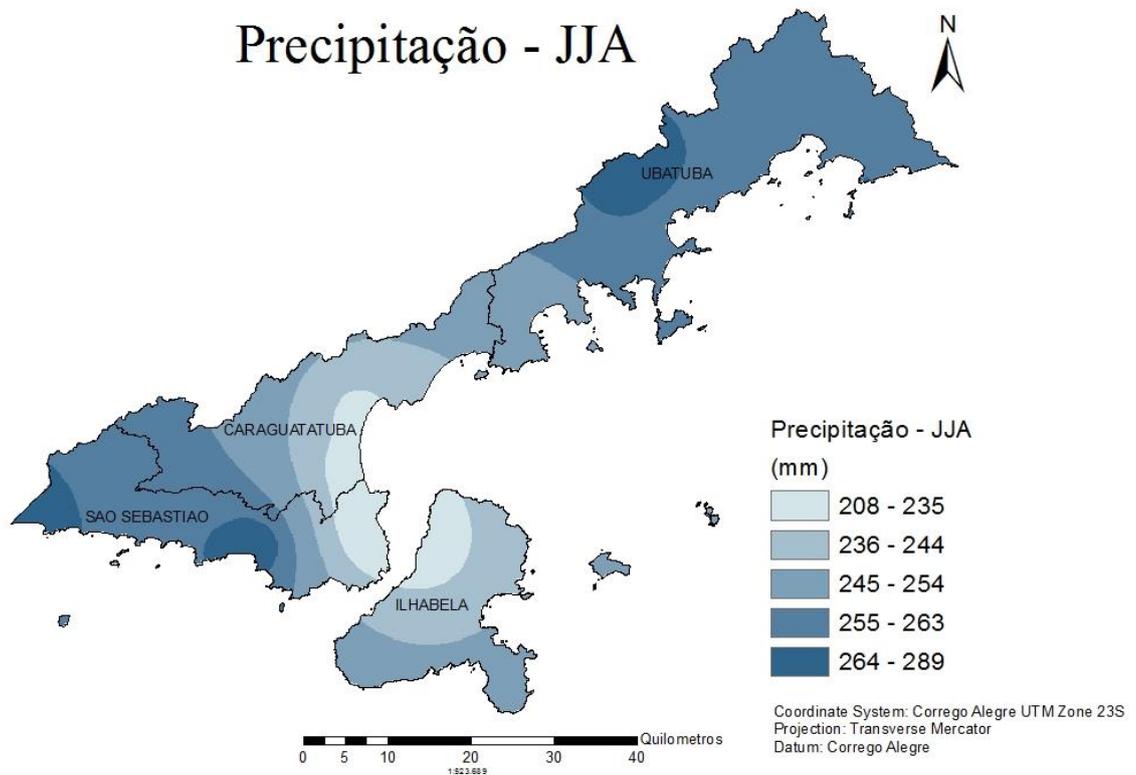
- Junho, Julho e Agosto – JJA;
- Setembro, Outubro e Novembro – SON;
- Dezembro, Janeiro e Fevereiro – DJF;
- Março, Abril e Maio – MAM.

A interpolação foi realizada aplicando o método da Krigagem, que possibilitou visualizar a distribuição espacial da intensidade de chuva nos quatro momentos analisados. Os mapas de precipitação resultantes estão apresentados nas figuras 23 a 26.

Para os meses de Junho, Julho e Agosto, as precipitações apresentaram uma mínima de 208 mm principalmente entre a face noroeste da Ilhabela voltada para o continente e a região central do município de Caraguatubá conforme ilustrado na figura 23. Estas características podem estar correlacionadas ao efeito de “Sombra de Chuva” devido a área situar-se à barlavento das frentes frias provenientes das massas de ar Polar Sul, mais intensas nesta época do ano. Ao mesmo tempo vemos uma concentração da intensidade de chuvas na costa sul de São Sebastião e norte de Ubatuba, onde maiores precipitações chegam a 289 mm de chuva para o período, o que evidencia o efeito orográfico causado pela Serra do Mar, na distribuição da precipitação do Litoral Norte.

A deficiência de postos pluviométricos interfere diretamente nos resultados apresentados, com regiões do entorno das estações meteorológicas destacando-se das demais ao apresentarem maiores ou menores taxas de precipitação, assim como regiões de forte influência orográfica com taxas de precipitação reduzidas.

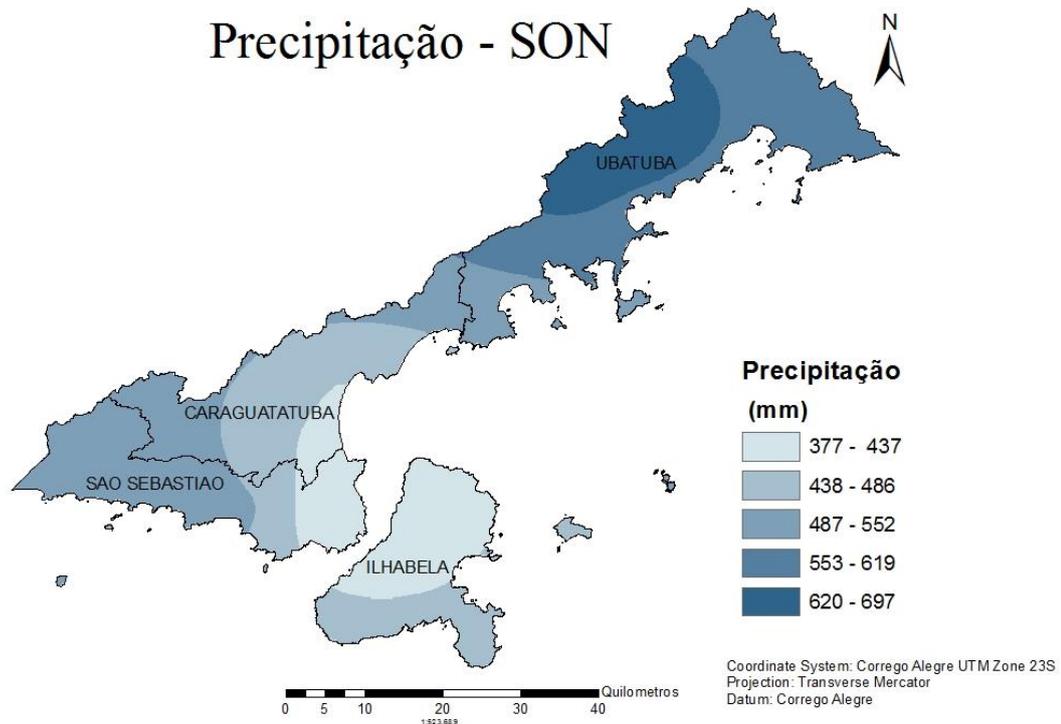
Figura 21: : Distribuição espacial da precipitação nos meses de junho, julho e agosto para o Litoral Norte de São Paulo.



Entre os meses subsequentes, ou seja, Setembro, Outubro e Novembro – SON, as chuvas apresentam maior concentração na região norte do município de Ubatuba com índices que chegam a 697 mm de chuva, enquanto a região norte do canal de São Sebastião possui os menores índices, podendo atingir 377 mm de chuva para o período analisado, conforme apresentado na figura 24.

A análise dos mapas de precipitação evidencia o efeito orográfico decorrente da topografia da Serra do Mar, e do relevo montanhoso da Ilhabela, onde as regiões à barlavento apresentam os menores índices de chuva, causados pelo fenômeno denominado “sombra de chuva”. Nas encostas das montanhas à sotavento, ou seja, na face que recebe os ventos alísios úmidos e as frente frias de sul, a taxa de precipitação apresenta-se acentuada, conforme constatou Milanesi (2011).

Figura 22: Distribuição espacial da precipitação nos meses de setembro, outubro e novembro para o Litoral Norte de São Paulo.

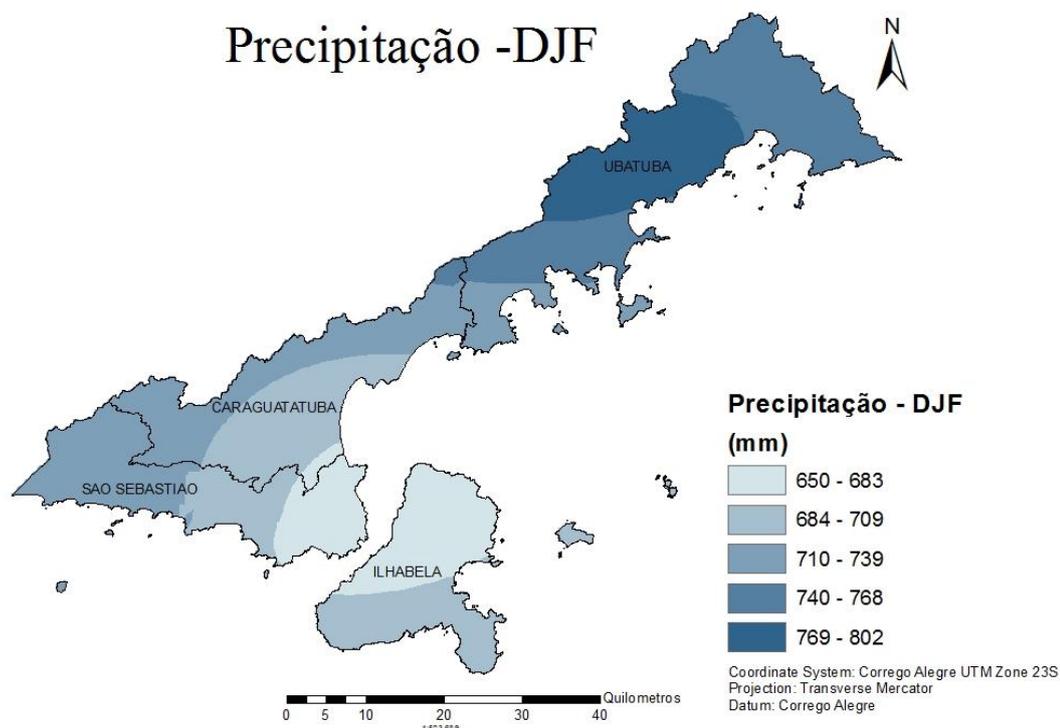


FONTE: Autor.

Os meses de Dezembro, Janeiro e Fevereiro são os que apresentam as maiores médias de precipitação para o período dos três meses analisados em conjunto. As regiões que apresentam as mínimas precipitações são superiores a 650 mm de chuvas concentradas nas áreas ao redor do setor norte do canal de São Sebastião, podendo chegar a até 802 mm em regiões que possuem a topografia mais favorável a formação da chuva orográfica como é o caso do setor norte de Ubatuba valores pluviométricos, conforme apresentado na figura 25.

Barbosa (2006) atribui as chuvas de verão ao Anticiclone do Atlântico Sul sobre o oceano, e as massa de ar tropical atlântica carregada de umidade, que ao confrontar com a barreira das encostas da Serra do Mar ocorre convecção e ascensão da massa de ar que tem sua temperatura reduzida, havendo condensação e posterior precipitação no litoral.

Figura 23: Distribuição espacial da precipitação nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro para o Litoral Norte de São Paulo.

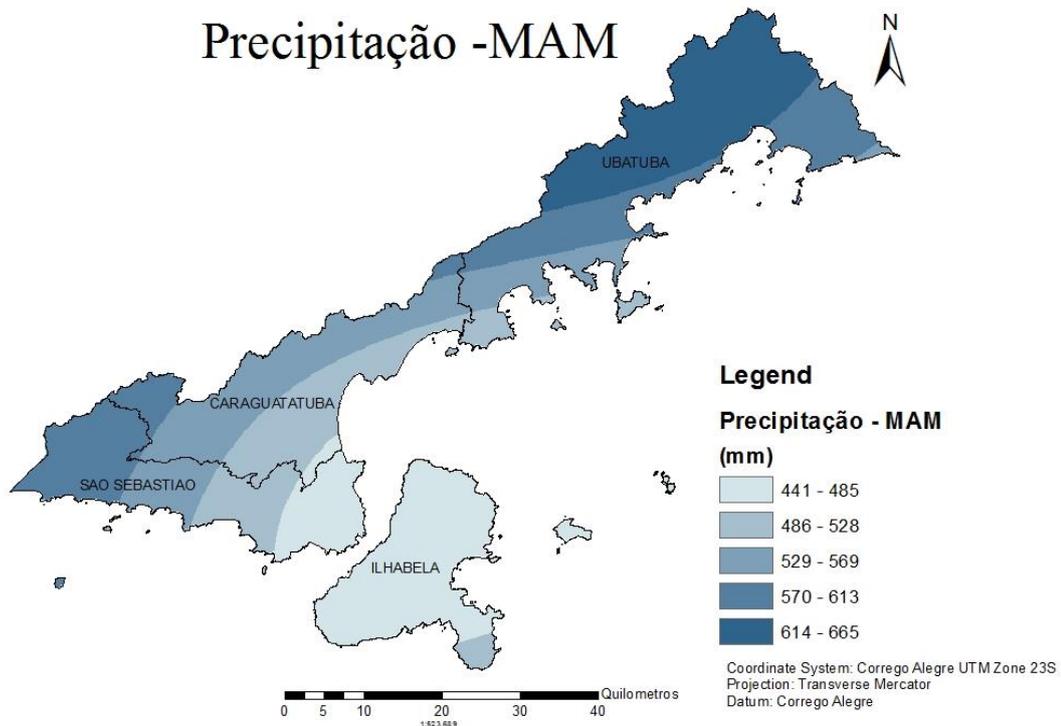


FONTE: Autor.

O regime de chuvas observado durante os meses de Março, Abril e Maio – MAM, são semelhantes aos SON, haja visto que trata-se também de um período de transição, com semelhanças tanto na distribuição espacial com as chuvas se concentrando ao norte da região e um setor mais seco próximo ao canal de São Sebastião, porém agora reduzindo os volumes precipitados até os meses de estiagem correspondente ao JJA de acordo com a figura 23.

Schroder (1956) atribui o regime de precipitação do Litoral Norte à oposição que a Serra do Mar faz às correntes de ar predominantes, e identifica também locais protegidos como no caso a Ilhabela, anteposta ao mar, protegendo certas regiões do efeito das massas de ar úmida.

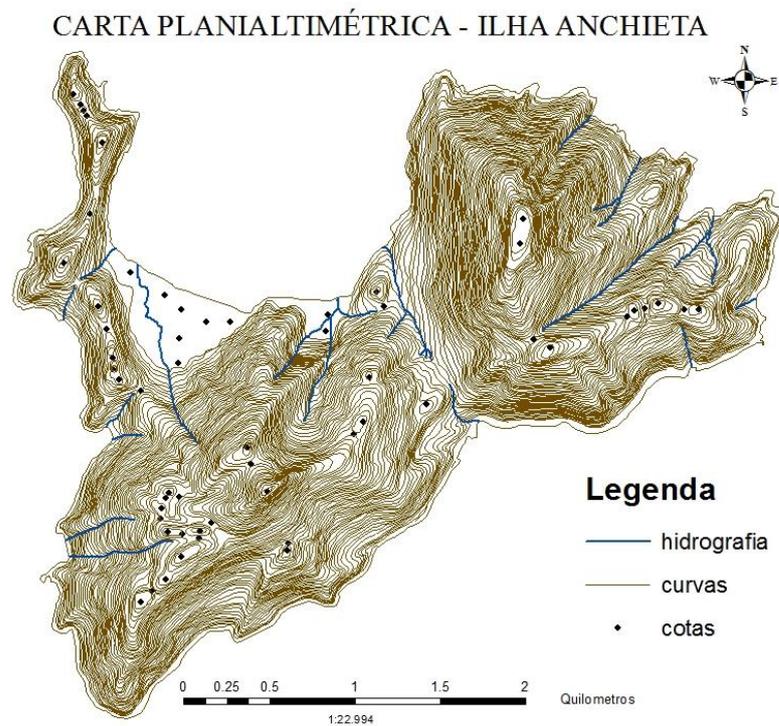
Figura 24: Distribuição espacial da precipitação nos meses de março, abril e maio para o Litoral Norte de São Paulo.



## 4.2 GERAÇÃO DO MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO

O processo de correção e vetorização das imagens das cartas topográficas do Instituto de Geociências do Estado de São Paulo-IGC, viabilizou a obtenção dos dados primários para a elaboração do modelo digital de elevação (DEM). Como a base de dados inicialmente obtida continha alguns erros de altitude das curvas de nível e nos pontos cotados, foi necessária a correção nos vetores. As linhas de curso d'água foram reorientadas para que todos ganhassem o sentido da foz no oceano. A figura 24 ilustra as cartas topográficas vetorizadas.

Figura 25: Carta planialtimétrica da Ilha Anchieta Vetorizada

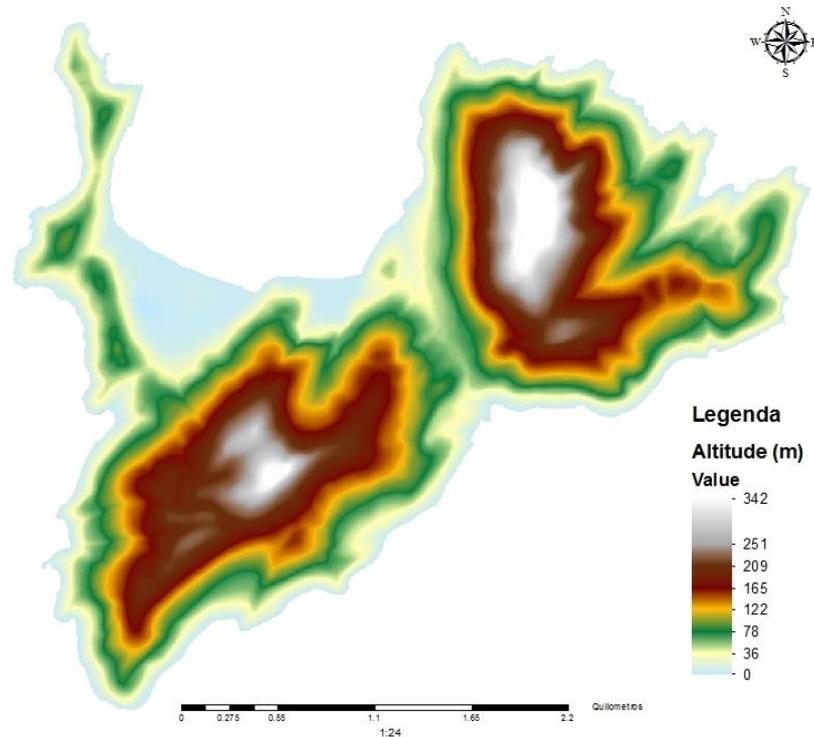


FONTE: Autor.

Partindo dos vetores extraídos das cartas planialtimétricas foi gerado o modelo digital de elevação para toda a Ilha Anchieta com a aplicação do método Topogrid. Observamos no produto gerado dois picos sobressalentes com altitudes chegando a 342 metros, um a sudoeste da ilha e um segundo com maiores altitudes a nordeste. Destaca-se também a existência de duas planícies costeiras voltadas para o norte da ilha, sendo uma delas pertencente à bacia hidrográfica objeto de interesse do estudo. A figura 28 apresenta o DEM obtido com a classificação por altitude.

Figura 26: Modelo Digital de Elevação da Ilha Anchieta

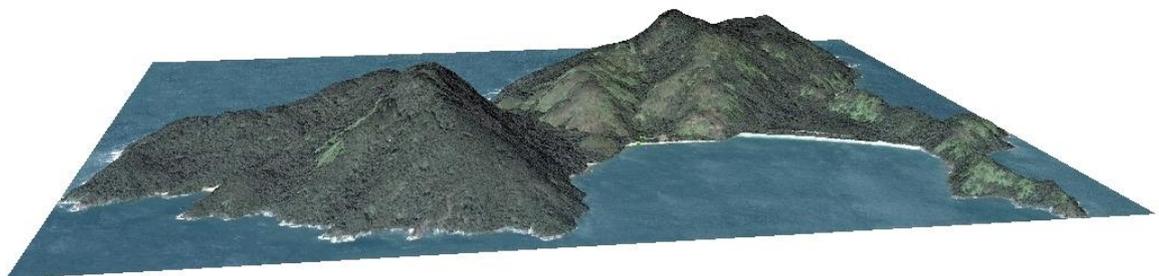
### Modelo Digital de Elevação (DEM) - Ilha Anchieta



FONTE: Autor.

No modelo digital de elevação projetou-se uma ortofoto aérea obtida da Emplasa, 2011, o que possibilitou a visualização em 3 dimensões da Ilha Anchieta, que facilitou a compreensão do terreno e a visualização do relevo da área de estudo, conforme apresentado na Figura 29.

**Figura 27:** Projeção de ortofotos no Modelo Digital de Elevação – DEM Ilha Anchieta



FONTE: Autor.

O modelo digital de elevação extraído das cartas topográficas apresentou resultados satisfatório, permitindo a extração de dados topográficos primários e secundários empregados no mapeamento digital de pequenas bacias hidrográficas, concordando com Chagas et. al (2010) que ao comparar a geração de modelos digitais de elevação (MDE) obtiveram os melhores resultados com os modelos extraídos de cartas topográficas quando comparados com os originados à partir de imagens de satélite. Redivo et. al (2002) e da Silva et. al (2012) ao compararem diversos métodos de interpolação para geração de modelo digital de elevação concluíram que o método Topogrid, aplicado neste estudo, foi mais hidrologicamente consistente em relação à rede triangular irregular (TIN).

#### 4.3 INTEGRAÇÃO SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA COM O MODELO HIDROLÓGICO HEC-GeoHMS

HEC-GeoHMS possibilitou a extração de informações topográficas e hidrológicas de dados espaciais digitais contidos no modelo digital de elevação, e preparou um arquivo do componente da bacia para ser utilizado como entrada no modelo HEC-HMS. Este componente da bacia, quando aberto no modelo hidrológico, automaticamente cria uma rede esquemática topologicamente correta das sub-bacias hidrográficas que compõe o sistema, contendo os atributos e parâmetros de cada elemento com hidrológico selecionado.

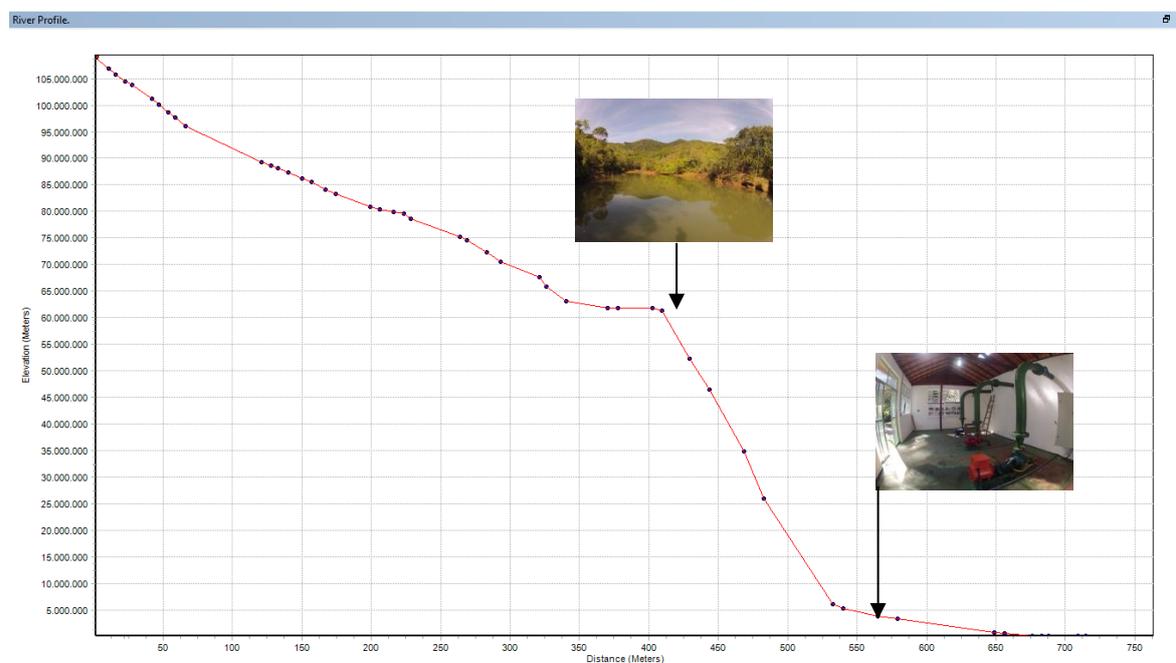
O primeiro passo na criação de um conjunto de dados HEC-GeoHMS é a inserção do modelo digital de elevação – MDE da área de estudo. A aplicação das ferramentas sequenciais orientadas pelo complemento HEC-GeoHMS em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas do ArcGIS viabilizou a elaboração de mapas com as características hidrológicas da bacia de estudo. Partindo do modelo digital de elevação do terreno da Ilha Anchieta obteve-se, primeiramente, a Grade de Direção de Fluxo, com cada célula indicando a direção de escoamento do terreno. Em seguida foi possível determinar a Grade de Acumulação de Fluxo contendo em cada célula o número de células afluentes, o que possibilita determinar a Grade de Fluxo, com os cursos d'água existentes no terreno.

O MDE foi criado através de um método de interpolação com base na altimetria. Os MDT assim construídos apresentam algumas lacunas, entre as quais, o desconhecimento do

local provável de acumulação de água. Uma vez que foram digitalizadas as linhas de água da região de estudo, estas podem ser utilizadas na construção do MDT como linhas de ruptura. De forma a ser possível comparar a qualidade do MDT com e sem linhas de ruptura procedeu-se à delimitação automática das linhas e da bacia hidrográfica, a partir do MDT com e sem linhas de ruptura.

Por meio do HEC-GeoHMS traçou-se um perfil do curso d'água principal da bacia hidrográfica, possibilitando a visualização da declividade existente. A figura 30 apresenta o perfil do curso d'água existente. Visualizamos que o desnível entre o ponto da barragem e a usina hidrelétrica é o maior existente ao longo do rio.

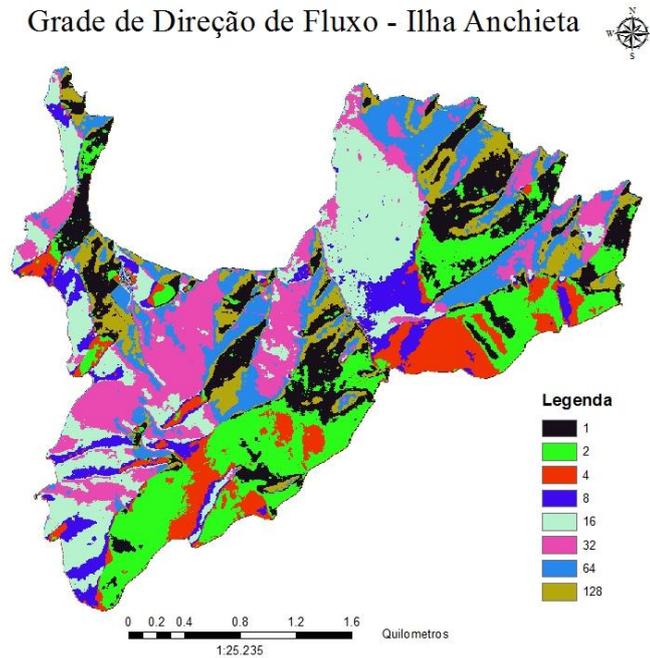
Figura 28: Perfil da declividade do curso d'água da bacia hidrográfica da micro central hidroelétrica da Ilha Anchieta



FONTE: Autor.

A primeira grade importante derivada do modelo digital de elevação – DEM, é a grade de direção de fluxo, composta por valores que indicam para qual célula vizinha a água irá fluir. Os valores de cada célula são a direção de fluxo para uma das oito células vizinhas, apresentado na Figura 31. É necessário um MDE com precisão de elevação suficiente para que o fluxo seja determinado corretamente.

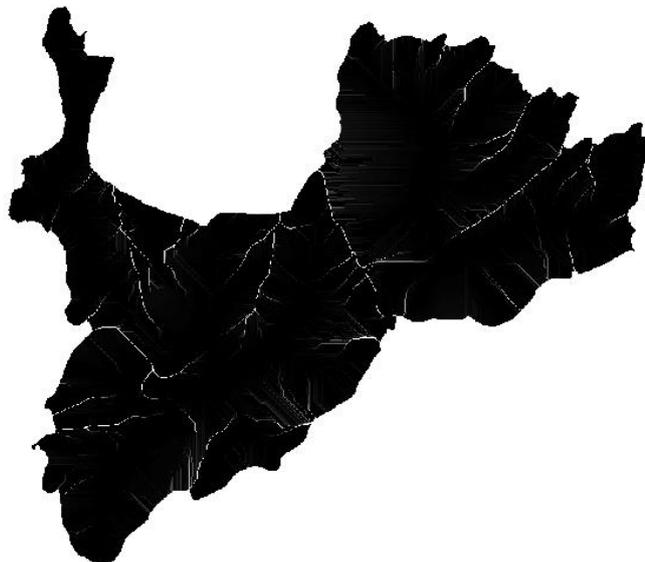
Figura 29: Grade de direção de fluxo da Ilha Anchieta



FONTE: Autor.

A partir da grade de direção de fluxo é calculada o acúmulo de fluxo. A grade de acúmulo de fluxo é a área de escoamento medido em unidades de células que fluem para determinado ponto e indica a quantidade de células localizadas à montante, representando claramente a disposição das áreas de drenagem conforme Figura 32.

Figura 30: Grade de acúmulo de fluxo da Ilha Anchieta

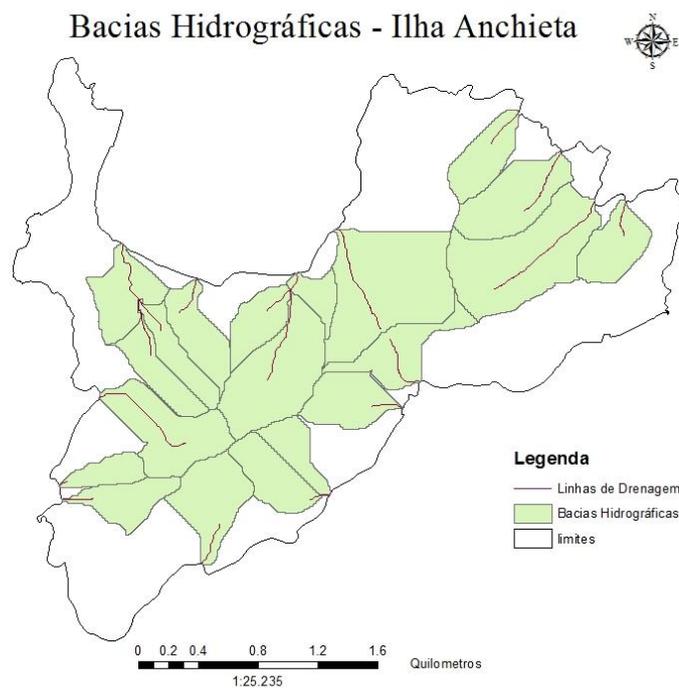


FONTE: Autor.

A definição dos cursos d'água é realizada por meio de um limiar de drenagem, ao determinar a área ou valor de fluxo de acumulação. Os valores das células são designados como 1, onde há um fluxo e NODATA nos demais locais. Portanto, todas as células de fluxo estão marcadas de forma idêntica, com um valor de 1, como mostrado na figura 33 (MAIDMENT, 2002).

Para definir bacias hidrográficas para cada linha de fluxo é utilizado a direção do fluxo que serve para definir a zona de células que fluem para um mesmo fluxo de drenagem. Os resultados do delineamento são armazenados em uma grade de captação. A Figura 33 apresenta a área de captação das bacias hidrográficas da Ilha Anchieta. Esta grade pode ser convertida em um conjunto de captação polígonos útil para descobrir quais as características geográficas estão no cada bacia.

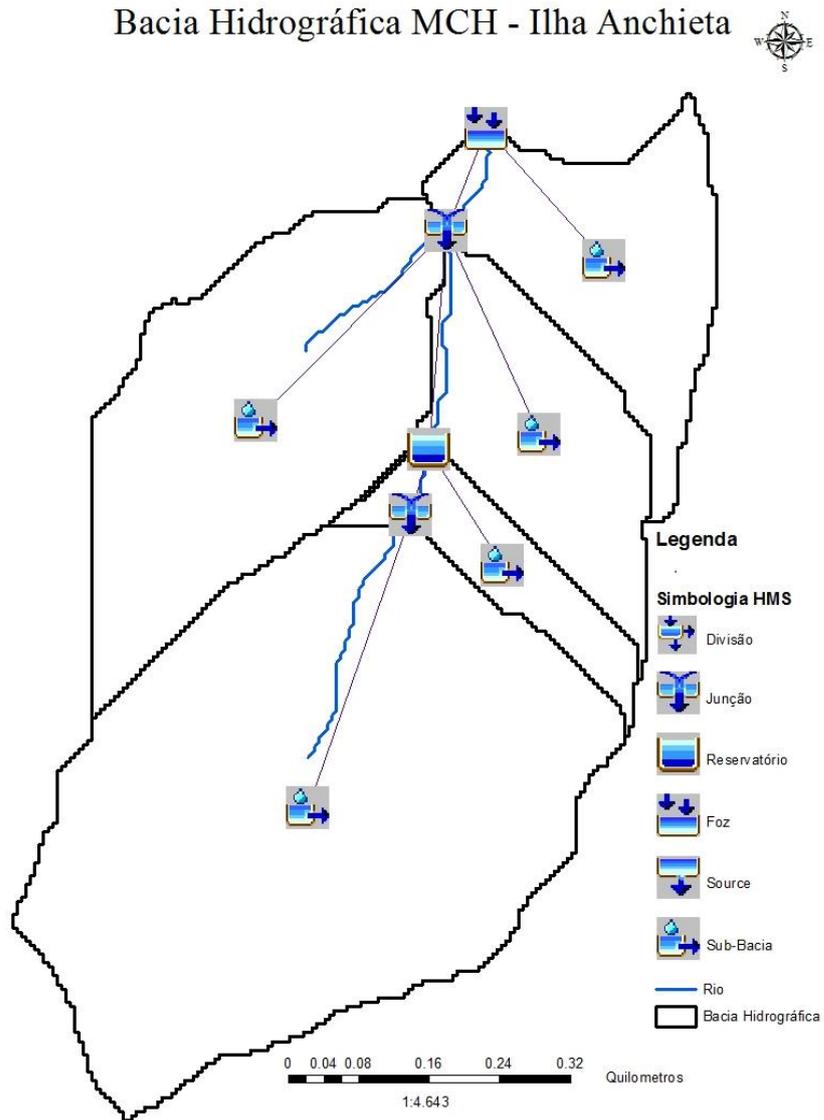
Figura 31: Bacias Hidrográficas e linhas de drenagem da Ilha Anchieta



FONTE: Autor.

Após definido o ponto final de escoamento, no caso a foz do rio no mar, o HEC-GeoHMS delimita a área de contribuição e suas sub-bacias, extraíndo as características físicas do terreno. Esta etapa produziu um arquivo para ser utilizado no modelo HEC-HMS conforme figura 34.

Figura 32: Bacia Hidrográfica Ilha Anchieta com elementos hidrológicos elaborada pelo HEC-GeoHMS



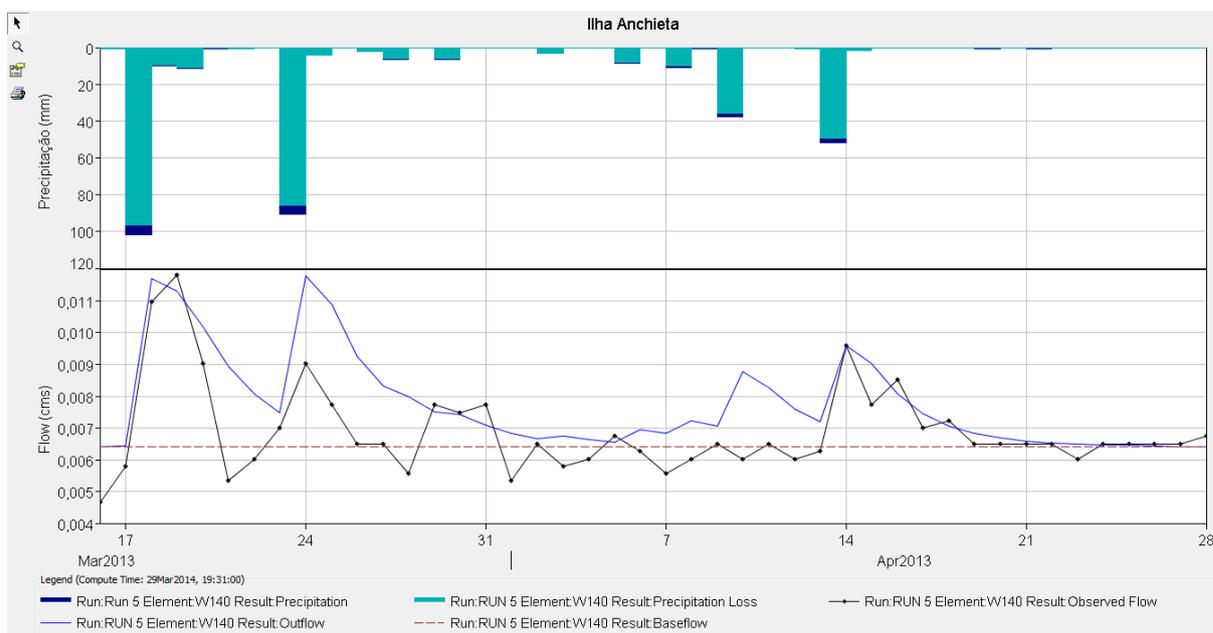
FONTE: Autor.

#### 4.4 GERAÇÃO DA SÉRIE SINTÉTICA SAZONAL DE VAZÃO

A diversidade de métodos de tratamento dos dados de entrada e cálculo dos parâmetros necessários fazem com que o modelo HEC-HMS apresente-se como uma boa ferramenta para a simulação de eventos, na previsão de cenários e na gestão dos recursos hídricos (MILDE, 2002).

Primeiramente utilizaram as bases de dados gerados pelo HEC-GeoHMS como entrada no modelo hidrológico HEC-HMS, utilizando informações físicas e meteorológicas da bacia hidrográfica objeto do estudo. A simulação do período coincidente com a série histórica de vazão foi realizada com o intuito de possibilitar a calibração do modelo. Como resultado, observa-se a Figura 35 na qual existe a comparação entre o simulado e o observado. Foi realizada a simulação entre os dias 16/03/2013 e 29/04/2013, e o resultado obtido está apresentado na Figura 35.

Figura 33: Hidrograma da simulação da vazão produzido pelo HEC-HMS entre os dias 16/03/2013 a 29/04/2013



FONTE: Elaborado com o uso do HEC-HMS pelo autor.

O resultado da simulação para o período compreendendo os dias 16/03/2013 a 28/04/2013 está apresentado na Tabela 7. Observa-se uma semelhança entre os dados gerados pela série sintética com o observado em campo com o uso do vertedouro.

Tabela 7: Simulação da vazão na barragem da usina hidroelétrica Ilha Anchieta entre os dias 16/03/2013 e 29/04/2013

DATA	OBSERVADO (m <sup>3</sup> /s)	SIMULADO (m <sup>3</sup> /s)	DATA	0,00722	0,00602
16/03/2013	0,0064	0,00467	07/04/2013	0,00682	0,00556
17/03/2013	0,00644	0,00579	08/04/2013	0,00705	0,0065
18/03/2013	0,01172	0,01097	09/04/2013	0,00877	0,00602
19/03/2013	0,0113	0,01183	10/04/2013	0,00827	0,0065
20/03/2013	0,01018	0,00904	11/04/2013	0,00758	0,00602
21/03/2013	0,00894	0,00533	12/04/2013	0,00719	0,00626
22/03/2013	0,00807	0,00602	13/04/2013	0,0096	0,00958
23/03/2013	0,00748	0,00699	14/04/2013	0,00903	0,00774
24/03/2013	0,01178	0,00904	15/04/2013	0,00807	0,00851
25/03/2013	0,01088	0,00774	16/04/2013	0,00745	0,00699
26/03/2013	0,00925	0,0065	17/04/2013	0,00706	0,00723
27/03/2013	0,00832	0,0065	18/04/2013	0,00682	0,0065
28/03/2013	0,00798	0,00556	19/04/2013	0,00669	0,0065
29/03/2013	0,00749	0,00774	20/04/2013	0,00658	0,0065
30/03/2013	0,00741	0,00748	21/04/2013	0,00652	0,0065
31/03/2013	0,00709	0,00774	22/04/2013	0,00649	0,00602
01/04/2013	0,00683	0,00533	23/04/2013	0,00646	0,0065
02/04/2013	0,00667	0,0065	24/04/2013	0,00645	0,0065
03/04/2013	0,00674	0,00579	25/04/2013	0,00643	0,0065
04/04/2013	0,00665	0,00602	26/04/2013	0,00642	0,0065
05/04/2013	0,00655	0,00674	27/04/2013	0,00641	0,00674
06/04/2013	0,00693	0,00626	28/04/2013	0,00641	0,00674

Após a calibração foi gerada uma série sintética de vazão para o período de um ano, entre setembro de 2012 a agosto de 2013, com o intuito de analisar o regime sazonal da vazão na bacia hidrográfica de estudo. Os dados de precipitação utilizados foram obtidos da estação meteorológica distante a cerca de 11 km da bacia, situada em local de semelhante topografia e

altitude. A partir da série sintética foram calculadas as médias de vazão para os quatro períodos do ano, de acordo com o regime de chuvas. ]foram calculadas também as porcentagens de das médias de vazão para cada estação do ano. Igualmente com as séries de vazão, a precipitação total foi definida para cada período, e calculadas as porcentagens de precipitação em cada momento analisado. Os resultados das médias de vazão na barragem, da precipitação sazonal e das respectivas porcentagens são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8: Vazão média sazonal sintética na barragem da micro central hidroelétrica da Ilha Anchieta entre setembro de 2012 a agosto de 2013.

<b>Período</b>	<b>SON</b>	<b>DJF</b>	<b>MAM</b>	<b>JJA</b>
Vazão Média (m <sup>3</sup> /s)	0,007273	0,011008	0,00764	0,003064
% Vazão	16,2	46,6	26,6	10,6
Precipitação (mm)	484,3	1152,1	621,8	312
% Precipitação	18,8	44,8	24,9	12,1

Os meses que compreendem o verão, dezembro, janeiro e fevereiro (DJF), possuem a maior média de vazão, com 0,011008 m<sup>3</sup>/s, coincidentes com o período de ocorrência de maior precipitação e com a temporada, onde o Parque Estadual possui a maior demanda de energia devido ao alto índice de visitação turística na ilha. O inverno (JJA), período que apresenta a maior estiagem possui também a menor vazão com apenas 0,003064 m<sup>3</sup>/s.

As porcentagens da precipitação sazonal é coincidente com as porcentagens de vazão, apresentado, no período de maior intensidade de chuva cerca de 45 % da precipitação anual, e quando a vazão representa 46,6% do total. O inverno, período do ano correspondente aos meses de junho, julho e agosto a precipitação equivale a 12% da anual, e a vazão corresponde a 10,6% do total.

Observou-se uma variação de cerca de 36% na vazão anual, diferença apresentada entre os períodos chuvosos do verão e a estiagem do inverno. As maiores taxas de vazão foram coincidentes com os períodos mais chuvosos, caracterizando a forte influencia da sazonalidade no regime de vazão do corpo d'água analisado.

## 5 CONCLUSÕES

A análise geoespacial da bacia hidrográfica a montante da barragem da micro central hidroelétrica da Ilha Anchieta possibilitou definir o regime sazonal da precipitação, principal elemento do ciclo hidrológico que interfere diretamente no processo de geração de hidroenergia. Apesar da deficiência de postos de monitoramento pluviométricos, a interpolação dos dados existentes viabilizou a caracterização do regime de precipitação em locais desprovidos de informação possibilitando definir áreas mais áridas e áreas mais chuvosas, apresentadas pelos mapas de precipitação sazonal. O efeito orográfico da Serra do Mar foi evidenciado, tanto causando o acúmulo de chuvas nas encostas a barlavento das massas de ar como sombras de chuva nas faces das montanhas a sotavento.

O uso das cartas topográficas vetorizadas viabilizou a elaboração do modelo digital de elevação em uma bacia hidrográfica de pequeno porte, possibilitando extrair as características físicas da bacia hidrográfica de estudo. Altitude e declividade, assim como a rede hidrográfica, são informações fundamentais para a geração de um modelo digital de elevação consistente e constitui uma informação básica para ser utilizado como dado de entrada no modelo HEC-GeoHMS.

A utilização do HEC-GeoHMS possibilitou a determinação dos parâmetros físicos da bacia para serem utilizados no HEC-HMS por meio de um processo simples e automático, que acelera a criação do modelo hidrológico.

O complemento de Sistemas de Informações Geográficas, o HEC-GeoHMS apresentou ênfase no delineamento da sub-bacia, e extração das características topográficas como declividade e comprimento dos talwegues. Seu uso facilitou o processamento e manipulação dos dados em ambiente SIG, permitindo maior flexibilidade e interatividade com o usuário. Os ajustes nas bacias hidrográficas são apresentados imediatamente, de maneira interativa, permitindo correções instantâneas de acordo com a necessidade demandada.

Na aplicação do modelo hidrológico de chuva-vazão HEC-HMS, a geração da série sintética de vazão possibilitou conhecer a maior e a menor vazão, e sua sazonalidade, fornecendo subsídios para o gerenciamento e planejamento das ações na micro central hidrelétrica. O planejamento para instalação de micro centrais hidrelétricas em regiões desprovidas de informações hidrológicas pode ser viabilizado pela metodologia apresentada, possibilitando definir o maior potencial de geração de energia, evitando investimentos excessivos, e também o menor potencial, permitindo definir o período do ano com menor produção de energia hidroelétrica.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A.N. **Litoral do Brasil**. 1.ed. São Paulo: Metavideo SP, 2005. 287 p.
- ALMEIDA, C. N. **Modelagem integrada de recursos hídricos com apoio de um sistema de informações geográficas**. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado)–Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2006. 147p.
- ALMEIDA, F.F.M. de. 1976. **The system of continental rifts bordering the Santos Basin, Brazil**. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 48 (supl.), p. 15-26. (Proceedings of the International Symposium on Continental Margins of Atlantic Type, October 1975).
- ALMEIDA, F.F.M.; CARNEIRO, C.D.R. **Origem e evolução da Serra do Mar**. Revista Brasileira de Geociências, 28, n. 2: 135-150, 1998.
- ANDRIOTTI, J. L. S. **Fundamentos de estatística e geoestatística**. Editora UNISINOS, 2003.
- ANEEL (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA). **Atlas da Energia Elétrica no Brasil**. Publicação Avulsa da ANEEL, Brasília, Brasil, 2008.
- ANEEL. **Resolução ANEEL nº 77, DE 18 DE AGOSTO DE 2004**. Centro de Documentação, 2010.
- ARANHA, L. B. **Modelagem da dinâmica da paisagem do Parque Estadual da Ilha Anchieta – PEIA, Ubatuba- SP: Subsídio para o plano de restauração**. 2011. 161 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.
- BALBINOT, R., DE OLIVEIRA, N. K., VANZETTO, S. C., PEDROSO, K., & VALÉRIO, Á. F. . **O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias**. AMBIÊNCIA, v. 4, n. 1, p. 131-149, 2009..
- BARBOSA, J. P. M. **Utilização de método de interpolação para análise e espacialização de dados climáticos: o SIG como ferramenta**. Caminhos da Geografia (UFU), v. 9, n. 17, p. 85-96, 2006.
- BARBOSA, L. M.. **Agroenergia, biodiversidade, segurança alimentar e direitos humanos**. Conjuntura Internacional, Belo Horizonte, ano, v. 4, 2007.
- BATCHELOR, B. **Models as metaphors: the role of modeling in pollution prevention**. Waste Management, v. 14, n. 3, p. 243-251, 1994.

BERMANN, C. **Impasses and controversies of hydroelectricity**. Estudos avançados, v. 21, n. 59, p. 139-153, 2007.

BERTON, J. C.; TUCCI, C.E.M. **Precipitação**. In: TUCCI, C.E.M. Hidrologia: ciência e aplicação, 2º ed., Porto Alegre: Editora da Universidade, 2001. p.177-241.

BEVEN, K. **Changing ideas in hydrology—the case of physically-based models**. Journal of hydrology, v. 105, n. 1. p. 157-172, 1989.

BEVEN, K. **Distributed models**, In: ANADERSON, M. G.; BURT, T. P. Hydrological forecasting. Chichester: John Wiley. Cap. 13. p. 405-435, 1985.

BITTENCOURT, J. L. G. **Relação entre a ocupação do solo e o comportamento hidrológico do Rio Pequeno-São José dos Pinhais-PR**. Curitiba-Paraná, 2000. 197f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná.

BONGIOLO, E. M. **Integração de dados mineralógicos, isótopos estáveis (O, H) e porosidade de rochas (14C-PMMA) no reconhecimento da evolução da alteração no sistema hidrotermal de Lavras do Sul/RS, Brasil**. 2006.

BRASIL. Lei n. 9.273, de 3 de maio de 1996. **Lex**: coletânea de legislação e jurisprudência, São Paulo, v. 60, p. 1260, maio/jun. 1996.

CALIJURI, M. L.; MEIRA, A. D.; PRUSKI, F. F. **Geoprocessamento aplicado aos recursos hídricos**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Lavras. p. 200-225, 1998.

CÂMARA, G. **Modelos, linguagens e arquiteturas para bancos de dados geográficos**. [online]. São José dos Campos. 264 p. Tese (Doutorado em Computação Aplicada <http://www.dpi.inpe.br/teses/gilberto/>) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1995.

CAMARGO, A. P. **A água no solo para agricultura. O Agrônomo**. Campinas. São Paulo. V. 57 (1). p. 10-11, 2005.

CAMPOS, J. N. B. **Lições em modelos e simulação hidrológica**. Fortaleza ASTEF/EXPRESSION GRÁFICA, 2009.

CARDOSO, R. B.; DE ALMEIDA, R. P.; NOGUEIRA, L. A. H. **Uma avaliação do método expedito para determinação da vazão de projeto em pequenas centrais hidrelétricas**. Itajubá: Universidade Federal de Itajubá. Disponível em:< <http://www.cerpch.unifei.edu.br/>>. Acesso em, v. 19, 2011.

CECÍLIO, R. A., COUTINHO, L. M., XAVIER, A. C., MOREIRA, M. C., ZANETTI, S. S., & GARCIA, G. D. O. **Delineation of watershed in a mountainous area using different digital elevation models**. Semina: Ciências Agrárias (Londrina), v. 34, n. 5, p. 2007-2023, 2013.

CHAGAS, C. S., FERNANDES FILHO, E. I., ROCHA, M. F., CARVALHO JÚNIOR, W. D.; SOUZA NETO, N. C. Avaliação de modelos digitais de elevação para aplicação em um mapeamento digital de solos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 2, p. 218-226, 2010. CHILDS, Colin. Interpolating surfaces in ArcGIS spatial analyst. **ArcUser**, July-September, p. 32-35, 2004.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blucher, 1999. 236p.

Coskun, H. G., Alganci, U., Eris, E., Agiralioglu, N., Cigizoglu, H. K., Yilmaz, L., & Toprak, Z. **Remote sensing and GIS innovation with hydrologic modelling for hydroelectric power plant (HPP) in poorly gauged basins**. *Water resources management*, v. 24, n. 14, p. 3757-3772, 2010.

COSTA, R. C. da; PRATES, C. P. T. **O papel das fontes renováveis de energia no desenvolvimento do setor energético e barreiras à sua penetração no mercado**, 2005.

DA SILVA, M. A., SILVA, M. L. N., OLIVEIRA, A. H., NETO, G. K., DE ARAÚJO, E. F., & CURI, N. (2012). **Consistência hidrológica de modelos digitais de elevação (MDE) para definição da rede de drenagem na sub-bacia do horto florestal Terra Dura**, Eldorado do Sul, RS. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36(4), 1259-1267.

DAVIE, Tim. **Fundamentals of hydrology**. Taylor & Francis, 2008.

DE MIRANDA, R. A. C.; DE OLIVEIRA, M. V. S.; DA SILVA, D. F. **Ciclo hidrográfico planetário: abordagens e conceitos**. *Geo UERJ*, v. 1, n. 21, p. 109-119, 2011.

DEMERS, M. N. **Fundamentals of geographic information systems**. New Jersey, J. Wiley, 2009.

DINIZ, E. M. **Protocolo de Quioto**, 1997.

DÖLL, P.; KASPAR, F.; LEHNER, B.. **A global hydrological model for deriving water availability indicators: model tuning and validation**. *Journal of Hydrology*, v. 270, n. 1, p. 105-134, 2003.

DRUCK, S.; CARVALHO, M.S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.V.M. (eds) "**Análise Espacial de Dados Geográficos**". Brasília, EMBRAPA, 2004 (ISBN: 85-7383-260-6).

EEA – European Environment Agency. **Renewable energies: success stories**. Environmental Issue Report, n. 27, 2001.

EIA - Energy Information Administration. **With Projections to 2030**. DOE/EIA, 2003.

UM FUTURO COM ENERGIA SUSTENTÁVEL: iluminando o caminho. São Paulo: **Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp)**; Amsterdam: Inter Academy Council; Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2010.

FELDMAN, A. D. **Hydrologic Modeling System HEC-HMS: Technical Reference Manual**. US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, 2000.

FELGUEIRAS, C. A.; CÂMARA, G. **Modelagem numérica de terreno**. Análise Espacial de Dados Geográficos. Disponível em: < <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/index.html>>. Acesso em 13 out. 2013, v. 8, 2001.

FLEMING M. J.; DOAN, J. H. **Geospatial hydrologic modeling extension HEC-GeoHMS user's manual**. US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center, Davis. v. 5., 2010.

GALDINO, M. A., LIMA, J. H., RIBEIRO, C. M., & EDUARDO, T. S. **O Contexto das Energias Renováveis no Brasil**. Revista da DIRENG–Diretoria de Engenharia Aeronáutica, 2009.

GARBRECHT, J.; MARTZ, L.W. **Digital elevation model issues in water resources modeling**. ESRI, USERS CONFERENCE, 19., 1999, San Diego. **Proceedings...** San Diego: 1999. CD-ROM.

GARCIA, R.; SOARES, H. **Sobre a Terra: Um guia para quem lê e escreve sobre ambiente**. Lisboa: Público, 2004.

Gasparini, K. A. C., Lyra, G. B., Francelino, M. R., Delgado, R. C., Oliveira Junior, J. F. D., & Facco, A. G. **Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicadas na identificação de conflitos do uso da terra em Seropédica-RJ**. Floresta Ambient., Seropédica, v. 20, n. 3, Sept. 2013.

GONTIJO, N. T. **Avaliação das Relações de Frequência entre Precipitações e Enchentes Raras por meio de Séries Sintéticas e Simulação Hidrológica**. Belo Horizonte: UFMG–Tese de Mestrado, 2007.

GOOVAERTS, P. **Geostatistics for natural resources evaluation**. Oxford university press, 1997.

GRIEBELER, N.P.; PRUSKI, F.F.; MARTINS JÚNIOR, D. D. **Avaliação de um modelo para a estimativa da lâmina máxima de escoamento superficial**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa-MG, v.25, n.2, p.411-417, 2001.

GRIGG, N. S. **Water resources management: principles, regulations, and cases**. New York: McGraw- Hill Book, 1996. 540p.

GUILLAUMON, J.R. **Plano de manejo do Parque Estadual da ilha Anchieta**. São Paulo: Revista IF-Série Registros. 1989. n.1.

HASSAN, A. M. E.; SHARIF, H.; LUTZ, T.; ZEITLER, J. **Hydrologic Modeling of an extreme flood in the Guadalupe river in Texas**. In: 2nd Joint Federal Interagency Conference, Las Vegas, NV, Proceedings... 2010. Disponível em: <

[http://acwi.gov/sos/pubs/2ndJFIC/Contents/SP16\\_Hassan\\_Abstract.pdf](http://acwi.gov/sos/pubs/2ndJFIC/Contents/SP16_Hassan_Abstract.pdf)>. Acesso em: outubro de 2013.

HAU, Lin Chen; NASCIMENTO, Luiz Fernando Costa; TOMAZINI, José Elias. **Geoprocessamento para identificar padrões do perfil de nascimentos na região do Vale do Paraíba**. Rev. Bras. Ginecol. Obstet., Rio de Janeiro, v. 31, n. 4, Apr. 2009.

HOLANDA, C.V.M., OLIVEIRA, E. **Programa para Homogeneização de Dados – PROHD**. In: Simpósio de Hidrologia, 3, 1979, Brasília. Anais. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, p. 810-845, 1979.

HORTON, R. E. Drainage-basin characteristics. **Transactions, American geophysical union**, v. 13, p. 350-361, 1932.

HUTCHINSON, M. F. **A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits**. Journal of Hydrology, v. 106, n. 3, p. 211-232, 1989.

HUTCHINSON, Michael F. Calculation of hydrologically sound digital elevation models. In: **Proceedings of the Third International Symposium on Spatial Data Handling**. Sydney, 1988.

HUTCHINSON, MICHAEL F.; XU, TINGBAO; STEIN, JOHN A. **Recent progress in the ANUDEM elevation gridding procedure**. Geomorphometry, 2011.

IEA. **Key World Energy Statistics 2013**. OECD/IEA, 2013.

IGBP, 1993. **Biospheric Aspects of the Hydrological Cycle**. The International Geosphere-Biosphere Programme: A Study of Global Change, Report n.27. Estocolmo, 103p.

KENNEDY, M. **"Introducing Geographic Information Systems with ArcGIS"**. University of Kentucky, 2009

KRIGE, D. G. A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand. **Jnl. C'hem. Met. and Min. Soc. S. Afr**, 1951.

KRONKA, F.J.N. et al. **Inventário florestal da vegetação natural do Estado de São Paulo. São Paulo**: Região Administrativa de São José dos Campos (Litoral), Baixada Santista e Registro. São Paulo: Instituto Florestal, Governo do Estado de São Paulo e Secretaria do Meio Ambiente. 2007. 142p.

LANDIM, P. M. B.; STURARO, J. R. **Krigagem indicativa aplicada à elaboração de mapas probabilísticos de riscos**. Livraria UNESP, 2002.

LANDIM, Paulo Milton Barbosa. **Análise estatística de dados geológicos**., 2003.

LARENTIS, D. G. **Gis-based procedures for hydropower potential spotting**. Energy, v. 35, n. 10, p. 4237-4243, 2010.

LIMA, P. R. A.; LEOPOLDO, P.L. **Quantificação de componentes hidrológica de uma mata ciliar, através do modelo de balanço de massas**. Revista *Árvore*, Viçosa, v.24, n.3, p. 241-252. 2000.

LIMA, W. de P. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**. São Paulo: ESALQ, 2008.

LO, Chor Pang; YEUNG, Albert KW. **Concepts and Techniques in Geographic Information Systems: Laboratory Manual**. Pearson Prentice Hall, 2007

LOPES, E. **Análise de modelo numéricos de terreno para modelos geomorfológicos**. SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, v. 6, p. 1-9, 2006.

LOU, R. F. **MODELAGEM HIDROLÓGICA CHUVA-VAZÃO E HIDRODINÂMICA APLICADA NA BACIA EXPERIMENTAL DO RIO PIABANHA/RJ**. 2010. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

MACHADO, R. E. **Simulação de Escoamento e de Produção de Sedimentos em uma microbacia Hidrográfica Utilizando Técnicas de Modelagem e Geoprocessamento**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo-USP. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. São Paulo, 2002. 166p.

MAIDMENT, David R. (Ed.). **ArcHydro: GIS for water resources**. ESRI, Inc., 2002.

MALDONADO, P.; MÁRQUEZ, M. **Renewable energies: An energy option for sustainable development**. *Renewable energy*, v. 9, n. 1, p. 1072-1075, 1996.

MATHERON, G. 1965. **Les variables régionalisées et leur estimation – Une Application de la Théorie des fonctions aléatoires aux Sciences de la Nature**. Paris, Masson et Cie, Éditeurs. 1965. 302 p.

MELO, H. A. **Integração entre Modelos Hidrológicos e Sistemas de Informações Geográficas: Uma Avaliação Metodológica**. 2010. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental)–Universidade Federal de Campina Grande, UFCG.

MENDES, C. A. B. **Planejamento nacional de recursos hídricos baseado no uso de técnicas de geoprocessamento**. Porto Alegre:[sn]. Disponível em: <<http://www.iica.org.br/AguaTrab/Carlos%20andre%20bulhoes/P1TB08.htm>> acessado em outubro de 2013.

MENDES, C. A. B.; CIRILO, J. A. **Geoprocessamento em recursos hídricos: princípios, integração e aplicação**. 1ª. ed. ABRH. Porto Alegre, 2001.

MENEGUZZI, V. C. **Use of geoprocessing to define malaria risk areas and evaluation of the vectorial importance of anopheline mosquitoes (Diptera: Culicidae) in Espírito Santo, Brazil**. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz*, Rio de Janeiro, v. 104, n. 4, July 2009.

- MILDE, L. C. E. **Modelo Espaço-temporal HEC-HMS: avaliação na Bacia de Drenagem de Analândia**. Revista de Ciência & Tecnologia, v. 10, n. 19, p. 61-69, 2002.
- MILLER, C. L.; LAFLAMME, R. A. **The digital terrain model: theory and application**, Photogrammetric Engineering, v.24, n.3, p.433, 1958.
- MILLER, S. N. **The automated geospatial watershed assessment tool**. Environmental Modelling & Software, v. 22, n. 3, p. 365-377, 2007.
- MIRANDA, R. A. C. **A interceptação das chuvas por ecossistemas**. Agronline. 2006. Disponível em: <<http://www.agronline.com.br/artigos/artigo.php?id+336>>Acessado em: novembro de 2013.
- MME, DNAEE, ELETROBRÁS. **Manual de Microcentrais Hidrelétricas**, 1985.
- MOREIRA, J. C.; DE SENE, E. **Geografia Geral e do Brasil—espaço geográfico e globalização**. São Paulo: Scipione, 2007.
- MULLER, A. C. **Hidrelétricas, meio ambiente e desenvolvimento**. 1.ed. São Paulo: Makron, 1995. 412 p
- NANÍA, L. S. **Manual Básico de HEC-HMS 3.0. 0 y HEC-GeoHMS 1.1**, 76pp. Universidad de Granada, Curso de especialización: Cálculo de Avenida con HEC-HMS y SIG. LS, Granada, España, 2007.
- NOGUEIRA, F. J. H.; TIAGO FILHO, G. L. **Microcentrais hidrelétricas**. Itajubá, Minas Gerais: FAPEPE, 32p, 2007.
- NOGUEIRA, J. D. de L.; AMARAL, R. F. **Comparação entre os métodos de interpolação (Krigagem e Topo to Raster) na elaboração da batimetria na área da folha Touros-RN**. XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, p. 4117-4123, 2009.
- ORTIZ, L. S. **Energias renováveis sustentáveis: uso e gestão participativa no meio rural**. Porto Alegre: Núcleo Amigos da Terra/Brasil, 2005.
- PACHECO, F. **Energias Renováveis: breves conceitos**. Conjuntura e Planejamento. Recuperado aos, v. 3, 2006.
- PEARCE, A. J.; STEWART, M. K.; SKLASH, M. G. **Storm runoff generation in humid headwater catchments: 1. Where does the water come from?.** Water Resources Research, v. 22, n. 8, p. 1263-1272, 1986.
- PIMENTA, F.; KEMPTON, W.; GARVINE, R. **Combining meteorological stations and satellite data to evaluate the offshore wind power resource of Southeastern Brazil**. Renewable Energy, v. 33, n. 11, p. 2375-2387, 2008.

- PINTO, F. A. et al. **Equações de chuvas intensas para algumas localidades do Estado de Minas Gerais**. Engenharia Agrícola, v. 16, n. 1, p. 91-104, 1996.
- PINTO, L. de S. N.; HOLTZ, A. C. T. e MARTINS, J. A. **Hidrologia de Superfície**. Editora: Edgard Blücher. 2º Edição. São Paulo. 1973. 179p
- PIRES-VANIN, A.M.S. **Oceanografia de um Ecossistema Subtropical**: Plataforma de São Sebastião. 1.ed. São Paulo: Edusp – Editora da Universidade de São Paulo, 2008. 464 p.
- PISTOCCHI, A.; MAZZOLI, P. **Use of HEC-RAS and HEC-HMS models with ArcView for hydrologic risk management**. In: Proc. Conference IEMSS. p. 24-27, 2002.
- POGGIANI, F. **Monitoramento ambiental de plantações florestais e áreas naturais adjacentes**. Série Técnica IPEF, v. 10, n. 29, p. 22-35, 1996.
- PRADO, F. M. R. F. **HIDRELÉTRICAS E PCHS SOBRAL 2010**. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/t2-hidreletricas-e-pchs-doc-a72401.html>>. Acesso em 28 out.2013.
- PRUSKI, F.F.; BRANDÃO, V.S.; SILVA, D.D. **Escoamento Superficial**. Viçosa-MG, Editora UFV, 2003. 88p.
- RAGHUNATH, H. M. **Hydrology: principles, analysis and design**. New Age International, 2006.
- RAMACHANDRA, T. V.; SHRUTHI, B. V. **Spatial mapping of renewable energy potential**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 11, n. 7, p. 1460-1480, 2007.
- RAMACHANDRA, T. V.; SHRUTHI, B. V. **Wind energy potential mapping in Karnataka, India, using GIS**. Energy Conversion and Management, v. 46, n. 9, p. 1561-1578, 2005.
- RAO, V.B., HADA, K., 1990: **Characteristics of Rainfall over Brazil: Annual Variations and Connections with the Southern Oscillations**. Theor. Appl.Climatol. 42, 81-91.
- REDIVO, A. L., GUIMARÃES, R., RAMOS, V., DE CARVALHO JÚNIOR, O. A.; MARTINS, E. D. S.. **Comparação entre diferentes interpoladores na delimitação de bacias hidrográficas**. Embrapa Cerrados. Documentos, v. 71, 2002.
- REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. Editora Manole Ltda. São Paulo. 1990.188p. removal of spurious pits. *Journal of Hydrology*, 106: 211-232.
- RICARDO, M. ; VIANA, A. N. C. **Planejamento de campanhas com GPS aplicado a levantamentos hidroenergéticos: estudo de caso na MCH Parque Estadual da Ilha Anchieta**. PCH Notícias & SHP News, v. 43, p. 31-34, 2009.
- RIGHETTO, A. M. 1998. **Hidrologia e Recursos Hídricos**. 1ª ed. São Carlos: EESC/USP. 840 p.

- RIGHETTO, A.M. **Hidrologia e recursos hídricos**. São Carlos: EESC/USP, 1998. 840 p.
- ROSA, L. P. **Emissões de gases de efeito estufa derivados de reservatórios hidrelétricos**. Agência Nacional de Energia Elétrica, ANEEL, 2002.
- ROSS, J.L.S.; MOROZ, I.C. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo, SP: FFLCH/USP e IPT/FAPESP, 1997. Mapas e Relatório.
- RUBEL, F.; KOTTEK, M. **Observed and projected climate shifts 1901-2100 depicted by world maps of the Koppen-Geiger climate classification**. Meteorologische Zeitschrift, v. 19, n. 2, p. 135-141, 2010.
- SACHS, I. **A revolução energética do século XXI**. Estudos Avançados, v. 21, n. 59, p. 21-38, 2007.
- SAHIN, V.; HALL, M. J. **The effects of afforestation and deforestation on water yields**. Journal of hydrology, v. 178, n. 1, p. 293-309, 1996.
- SALGADO, M. P. G.; FORMAGGIO, A. R.; RUDORFF, B. F. T. **Comparação entre métodos para geração de modelos digitais de elevação a partir de dados cartográficos**. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15 (SBSR), p. 8880-8887, 2011.
- SANTOS, F. D. **Que futuro? ciência, tecnologia, desenvolvimento e ambiente**. Lisboa: Gradiva, 2007.
- SANTOS, K. A. **Modelagem do Acompanhamento de Cheias em Bacias Hidrográficas de Grande Variação de Altitude**. Estudo de caso: Bacia do Rio Mundaú. Tese de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. Pernambuco, 2013. 126p.
- SANTOS, S., MONTEIRO, A., MOURATO, S., FERNANDEZ, P. **Os sistemas de informação geográfica na modelagem hidrológica**. In: XII Congresso Nacional de Tecnologias de la Información Geográfica. Granada. El acceso a la información espacial y las nuevas tecnologías geográficas. p.465-479, 2006.
- SÃO PAULO (Estado). **Decreto n. 42.822, de 20 de janeiro de 1988**. Lex: coletânea de legislação e jurisprudência, São Paulo, v. 62, n. 3, p. 217-220, 1998.
- SCHRÖDER, RUDOLF. **Distribuição e curso anual das precipitações no Estado de São Paulo**. Bragantia, v. 15, n. 18, p. 193-249, 1956.
- VERZANO, K., BÄRLUND, I., FLÖRKE, M., LEHNER, B., KYNAST, E., VOß, F., & ALCAMO, J. . **Simulating river flow velocity on global scale**. Advances in Geosciences, v. 5, p. 133-136, 2005.
- SILVEIRA, A. L. L. da. **Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica**. Hidrologia: ciência e aplicação. São Paulo: Ed. UFRGS, p. 35-51, 2001

SKIDMORE, Andrew (Ed.). **Environmental modelling with GIS and remote sensing**. CRC Press, 2004.

SOBRINHO, J. M. A., JANAS, V. A., SIMONETTI, A., HEAMAN, L. M., & DINIZ, H. N. . **The Ilha Anchieta Quartz Monzonite: the southernmost expression of ca. 500 Ma post-collisional magmatism in the Ribeira Belt**. An. Acad. Bras. Ciênc., Rio de Janeiro , v. 83, n. 3, Sept. 2011 .

SOUZA-SANTOS, R. **Análise espacial de dados geográficos**. Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro , v. 21, n. 4, Aug. 2005 .

SUBHADRA, B. G. **Macro-level integrated renewable energy production schemes for sustainable development**. Energy Policy, v. 39, n. 4, p. 2193-2196, 2011.

SUI, D. Z.; MAGGIO, R. C. **Integrating GIS with hydrological modeling: practices, problems, and prospects**. Computers, environment and urban systems, v. 23, n. 1, p. 33-51, 1999. SUSAN, S. **Climate change 2007-the physical science basis: Working group I contribution to the fourth assessment report of the IPCC**. Cambridge University Press, 2007.

TARBOTON, D. G. **Rainfall-runoff processes**. Utah State University, 2003.

TAVARES, P. R. L.; CASTRO, M. A. H. de. **Simulação de Perfis D'água e Planícies de Inundação Relacionados a Diferentes Cenários de Urbanização**. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. João Pessoa, 2005.

TIAGO FILHO, G. L. **Pequenos Aproveitamento Hidroelétricos: Soluções Energéticas para a Amazônia**. MME, 1 ed., Brasília, 2008.

TOLMASQUIM, M. T.; SZKLO, A. S. **A matriz energética brasileira na virada do milênio**. Rio de Janeiro, Brazil: COPPE/UFRJ, 2000.

TSOU, M. S.; WHITTEMORE, D. O. **User interface for ground-water modeling: ArcView Extension**. Journal of Hydrologic Engineering, v. 6, n. 3, p. 251-257, 2001.

TUCCI, C. E. M.. **Modelos Hidrológicos**. Porto Alegre: Ed. Universidade UFRGS; Associação Brasileira de Recursos Hídricos- ABRH, 1998. 669p.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e aplicação**. Porto Alegre: Ed. Universidade UFRGS; Edups; Associação Brasileira de Recursos Hídricos- ABRH, 1993. 943p.

TUCCI, C. E. M.; BELTRAME, L. F. **Infiltração e armazenamento no solo**: In: Tucci, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**, 2ª Ed., Porto Alegre. Rio Grande do Sul (RS). Editora Universidade, p.335-372, 2000.

TUCCI, C.E.M.; CLARKE, R.T. **Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.2, n.1, p.135-152, 1997.

TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Ufrgs, 2009. 943 p.

TUCCI, C. E. M.. **Modelos Hidrológicos**. 2. ed. Porto Alegre, Rs: Editora da Ufrgs, 2005. 678 p.

TUNDISI, J. G. Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado. **Ciência e Cultura**, v. 55, n. 4, p. 31-33, 2003.

UCZAI, P. R.; TAVARES, W. M.; QUEIROZ FILHO, A. P. de. **Energias renováveis: riqueza sustentável ao alcance da sociedade**. 2012.

VARANDAS, C. et al. As energias do presente e do futuro. **Gazeta de Física**, v. 28, p. 1-2-6-8, 2006.

VETTORAZZI, C. A. Sensoriamento remoto orbital. **Piracicaba: ESALQ, Depto. Engenharia Rural (Série didática do Departamento de Engenharia Rural)**, 1992.

VIANA, A. N. C.; NOGUEIRA, F. J. H.. **Bombas de fluxo operando como turbinas: procedimento de seleção**. Proceedings of the 4th Encontro de Energia no Meio Rural, 2002.

VIANA, A. N. C. et Al (1990); **Bombas de Fluxo Operando como Turbinas - Procedimento de Seleção**; Universidade Federal de Itajubá; Itajubá; 1990.

VIANA, A. N. C., REZEK, Â. J. J. ; MEDEIROS, D. de M. **A utilização de geradores de indução acionados por BFTs na geração de energia elétrica..** In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 5., 2004, Campinas. Disponível em: <[http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=MSC000000002200400100004&lng=en&nrm=abn](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000002200400100004&lng=en&nrm=abn)>. Acesso em: 16 Oct. 2013.

VIANA, A. N. C.; NOGUEIRA, F. J. H.; **Bombas de fluxo operando como turbinas: procedimento de seleção..** In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4., 2002, Campinas. Disponível em: [http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=MSC0000000022002000100033&lng=en&nrm=abn](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022002000100033&lng=en&nrm=abn)>. Acesso em: 15 Oct. 2013.

VIANNA, A. P. P. **Utilização de Modelagens Hidrológica e Hidráulica Associadas a um Sistema de Informações Geográficas para Mapeamento de Áreas Inundáveis. Estudo de Caso: Município de Itajubá-MG**. Belo Horizonte, 2000.

VILAR, M.B. **Escoamento superficial de água de chuva em área de contribuição de nascentes**. Viçosa-MG, 2007. 46f. Monografia Engenharia Florestal. Universidade Federal de Viçosa.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: Mc Graw Hill, 1975,

**YANG, X.; RYSTEDT, B. Predicting flood inundation and risk using GIS and hydrodynamic model: a case study at Eskilstuna, Sweden. Indian Cartographer. p.183-191, 2002.**

**YI, C. S; LEE, J.; SHIM, MYUNG-PIL. Site location analysis for small hydropower using geo-spatial information system. Renewable Energy, v. 35, n. 4, p. 852-861, 2010.**

**ZHI-QIANG, L. et al. Monitoring of the urban sprawl using geoprocessing tools in the Shenzhen Municipality, China. Environmental Earth Science, v.62, n. 6, june 2011.**