

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**

**Andréa Sanae Horikoshi**

**“BALANÇO HÍDRICO ATUAL E SIMULAÇÕES DE  
CENÁRIOS CLIMÁTICOS FUTUROS PARA O  
MUNICÍPIO DE TAUBATÉ”**

**Taubaté – SP**

**2007**

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**

**Andréa Sanae Horikoshi**

**“BALANÇO HÍDRICO ATUAL E SIMULAÇÕES DE  
CENÁRIOS CLIMÁTICOS FUTUROS PARA O  
MUNICÍPIO DE TAUBATÉ”**

Dissertação apresentada para  
obtenção do diploma de Mestre  
em Ciências Ambientais, pelo  
Programa de Mestrado em  
Ciências Ambientais da  
Universidade de Taubaté.

Orientador: Prof. Dr. GILBERTO  
FERNANDO FISCH

**Taubaté – SP**

**2007**

**Andréa Sanae Horikoshi**

**“BALANÇO HÍDRICO ATUAL E SIMULAÇÕES DE CENÁRIOS  
CLIMÁTICOS FUTUROS PARA O MUNICÍPIO DE TAUBATÉ”**

Dissertação apresentada para  
obtenção do diploma de Mestre  
em Ciências Ambientais, pelo  
Programa de Mestrado em  
Ciências Ambientais da  
Universidade de Taubaté.

Data: 16/03/2007

Resultado: APROVADA

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Dr. GILBERTO FERNANDO FISCH

Assinatura \_\_\_\_\_

Programa de Pós-graduação  
em Ciências Ambientais -  
UNITAU

Prof. Dr. JOSÉ ANTONIO MARENGO ORSINI

Assinatura \_\_\_\_\_

CPTEC/INPE

Prof. Dr. MARCELO DOS SANTOS TARGA

Assinatura \_\_\_\_\_

Programa de Pós-graduação  
em Ciências Ambientais -  
UNITAU

Dedico este trabalho em memória

De meu irmão

**ELY YUKIO HORIKOSHI**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus e aos meus pais Shori Horikoshi e Maria Yutiko Horikoshi por tudo que fizeram por mim e fazem.

E especialmente ao meu marido Nivaldo Sérgio Horikoshi, que com paciência e tolerância esteve presente nos momentos mais difíceis.

Muito obrigada, ao meu orientador professor Dr. Gilberto Fernando Fisch pela paciência, dedicação e habilidade com que orientou nosso trabalho.

Muito obrigada à professora Dr<sup>a</sup>. Maria Júlia Ferreira Xavier Ribeiro que contribuiu de maneira relevante na elaboração do trabalho, pois transformou completamente a minha visão de pesquisa científica.

Ao Dr. José Antônio Marengo Orsini muito obrigada pelos dados de precipitação e temperatura até o ano 2099, que foram de vital importância para a realização do deste trabalho e pelas correções sugeridas na banca examinadora.

Ao professor Dr. Marcelo dos Santos Targa por acompanhar este trabalho durante todo o trajeto e pelas correções sugeridas na banca examinadora.

Muito obrigada ao Dr. Cleber Correa de Souza por prestigiar a apresentação de defesa e pelas correções sugeridas.

Muito obrigada ao professor Dr. Silvio Jorge Coelho Simões pelas sugestões apresentadas na banca de qualificação.

Agradeço também ao Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE, pelos dados e informações essenciais para o desenvolvimento desta pesquisa, especialmente a engenheira Marli Aparecida Maciel Leite, pelo incentivo e apoio.

Obrigada ao engenheiro João Francisco Grisolia, por não me deixar desistir e pela importante colaboração quanto à possibilidade de transposição das águas do Rio Paraíba do Sul para a região metropolitana de São Paulo.

## RESUMO

A variação climática afeta o ecossistema natural, os animais e principalmente as atividades humanas. A produção agrícola apresenta maior risco devido às secas, geadas e principalmente escassez hídrica. O objetivo do trabalho é fazer: o balanço hídrico para o município de Taubaté (1992-2005), simulações de cenários climáticos futuros (2010 até 2099) e análise destes cenários climáticos futuros na disponibilidade hídrica da região. Utilizou-se o método de Thornthwaite-Mather (1955) no cálculo do balanço hídrico climatológico, tanto para o período atual (1982-2005), quanto para os cenários A2 e B2 do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC). Comparando o período (1992-2005) com (2070-2099), conclui-se que para o cenário A2: a temperatura aumentará em 3,7 °C e a precipitação aumentará em 150 mm; no cenário B2 a temperatura aumentará em 2,4 °C e a precipitação aumentará em 88 mm; com o aumento de temperatura e precipitação, a evapotranspiração potencial aumentará em 429 mm no cenário A2 e 251 mm no cenário B2, causando um aumento no déficit de 77 mm no cenário A2 e 54 mm no cenário B2, e diminuindo o excedente hídrico em 202 mm no cenário A2 e 109 mm no cenário B2. Se as captações superficiais aumentarem 50%, o município de Taubaté terá problemas de disponibilidade hídrica a partir de 2016 no cenário A2 e 2017 no cenário B2.

Palavras-chave: precipitação. disponibilidade hídrica. simulação de cenários futuros.

## ABSTRACT

Variance affects the entire natural ecosystem such as the agriculture production, animals and, mainly, the anthropogenic activities. Agriculture shows the highest risks due to the dry seasons and the frost events and, mainly, water scarcity. The aim of this present paper is to make a water balance to the Taubaté town (1992-2005), and make a study of future simulations climate scenarios (2010 -2099) with some analysis of how these future climate scenarios will affect the water availableness. We have used the Thornthwaite-Mather method (1995) to estimate the climatologically water balance to Taubaté town. We have used precipitation and temperature data from the year of 1950 until 2099 and that data were adjusted by straight line equation of line regress obtained by graphic of period between 1992 and 2005, and with corrected data, we estimated the potential evapotranspiration rates by Thornthwaite method (1948), and from these future water balances in the scenarios. Comparing the period (1992-2005) with (2070-2099),one concludes that for the A2 scenario: the temperature will increase in 3,7 °C and the precipitation will increase in 150 mm; in the B2 scenario the temperature will increase in 2,4 °C and the precipitation will increase in 88 mm; with the increase of temperature and precipitation, the potential evapotranspiration will increase in 429 mm in the scenario A2 and 251 mm in the B2 scenario, causing an increase in the deficit of 77 mm in the scenario A2 and 54 mm in the B2 scenario, and diminishing the water excess in 202 mm in the scenario A2 and 109 mm in the B2 scenario. If the superficial caption increases in 50%, the Taubaté town will have water availableness problems from the 2016 in the A2 scenario and from the 2017 in the B2 scenario.

Key words: precipitation. water availableness. future simulate scenarios.

## LISTA DE SIGLAS

a = variável que apresenta o valor térmico regional

AC – ascensão capilar (mm)

ALT = alteração (mm/mês)

ANA = Agência Nacional de Águas

AOGCMs = *Atmosphere-Ocean General Circulation Models* (Modelos Globais Acoplados Oceano-Atmosfera)

ARM = armazenamento (mm)

ARM<sub>n-1</sub> = armazenamento anterior

CAD = capacidade de água disponível (mm)

CBH-PS = Comitê das Bacias Hidrográficas do Rio Paraíba do Sul

CEIVAP = Comitê para Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul

CNRH = Conselho Nacional de Recursos Hídricos

COPPE = Coordenação dos Programas de Pós-graduação em Engenharia

Cor = correção da evapotranspiração potencial não corrigida

CPTEC = Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos

DAEE = Departamento de Águas e Energia Elétrica

DEF = déficit (mm/mês)

DP – drenagem profunda (mm)

ECA = evaporação medida no Tanque Classe A

ET<sub>c</sub> = evapotranspiração de cultura (mm/dia)

ET<sub>0</sub> = evapotranspiração de referência (mm)

ETP = evapotranspiração potencial (mm/mês)

ET<sub>p</sub> – evapotranspiração potencial não corrigida (mm/mês)

ETR = evapotranspiração real (mm/mês)

EXC = excedente (mm/mês)

FAO = Food and Agriculture Organization

GCMs = *General Circulation Models* (Modelos Globais Atmosféricos)

h = hora



hab = habitante

I = índice que expressa o nível de calor disponível na região

IBGE = Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

In – interceptação (mm)

INMET = Instituto Nacional de Meteorologia

INPE = Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPCC = *Intergovernmental Panel on Climate Change* (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas)

Kc = coeficiente de cultura

Kp = coeficiente de tanque

MMA = Ministério do Meio Ambiente

N = fotoperíodo médio do mês correspondente

ND = número de dias do mês em questão

NEGACUM = negativa acumulada

ONS = Operador Nacional do Sistema Elétrico

OMM = Organização Mundial de Meteorologia

P – precipitação (mm)

Pop = população projetada

P<sub>f</sub> = população final

P<sub>0</sub> = população inicial

r = razão de crescimento no intervalo (t-t<sub>0</sub>)

SABESP = Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

SRES = *Special Report Emission Scenarios-IPCC*

t = ano projetado

T = temperatura média mensal (°C)

t<sub>f</sub> = ano final

t<sub>0</sub> = ano inicial

T<sub>n</sub> = temperatura média do mês n (°C)

TSM = temperatura da superfície do mar

UFRJ = Universidade Federal do Rio de Janeiro

UNITAU = Universidade de Taubaté

±ΔARM = variação de armazenamento (mm)

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Bacia hidrográfica .....	19
Figura 2: Ciclo hidrológico .....	20
Figura 3: Chuva frontal .....	22
Figura 4: Chuva orográfica .....	23
Figura 5: Chuva convectiva .....	23
Figura 6: Alimentação dos rios pelo escoamento subterrâneo .....	25
Figura 7: Nível freático e o relevo da superfície .....	27
Figura 8: Movimento da água no sistema solo-planta-atmosfera, em condições ótimas de desenvolvimento .....	30
Figura 9: Posto meteorológico da Universidade de Taubaté .....	49
Figura 10: Comparação de evapotranspiração potencial, entre os dados observacionais do Tanque Classe A do posto UNITAU e os dados estimados pelo método de Thornthwaite, para o Município de Taubaté, período de 1992-2005 .....	52
Figura 11: número de outorgas expedidas no Estado de São Paulo .....	57
Figura 12: Comparação de precipitação entre os dados observacionais UNITAU e as simulações do Hadley Center (cenário A2) .....	59
Figura 13: Comparação de precipitação entre os dados observacionais UNITAU e as simulações do Hadley Center (cenário B2) .....	60
Figura 14: Comparação de temperatura entre os dados observacionais (UNITAU) e as simulações do Hadley Center (cenário A2) .....	60
Figura 15: Comparação de temperatura entre os dados observacionais UNITAU e as simulações do Hadley Center (cenário B2) .....	61
Figura 16: Consistência espacial – dupla massa do posto E2-022 .....	62
Figura 17: Precipitação total anual (mm) para o município de Taubaté, período 1964-2005 .....	63
Figura 18: Precipitação do trimestre verão (mm) para o município de Taubaté, período 1964-2005 .....	64
Figura 19: Precipitação do trimestre outono (mm) para o município de Taubaté, período 1964-2005 .....	65
Figura 20: Precipitação do trimestre inverno (mm) para o município de Taubaté, período 1964-2005 .....	66

Figura 21: Precipitação do trimestre primavera (mm) para o município de Taubaté, período 1964-2005.....	67
Figura 22: Temperatura média para Taubaté (1992-2005).....	69
Figura 23: Déficit para Taubaté (1992-2005).....	69
Figura 24: Excedente hídrico para Taubaté (1992-2005).....	70

## LISTA DE TABELAS

Tabela-1: preenchimento das colunas T, ETp, Cor, ETP, P e P-ETP, com identificação do início do cálculo de armazenamento.....	54
Tabela-2: Dados populacionais do município de Taubaté e demanda hídrica.....	58
Tabela-3: Balanço Hídrico – I: município de Taubaté (1992-2005).....	68
Tabela-4: Balanço Hídrico – II: Município de Taubaté (2010-2039) para o cenário A2 .....	71
Tabela-5: Balanço Hídrico – III: Município de Taubaté (2010-2039) para o cenário B2.....	71
Tabela-6: Balanço Hídrico – IV: Município de Taubaté (2040-2069) para o cenário A2.....	72
Tabela-7: Balanço Hídrico – V: Município de Taubaté (2040-2069) para o cenário B2.....	72
Tabela-8: Balanço Hídrico – VI: Município de Taubaté (2070-2099) para o cenário A2.....	73
Tabela-9: Balanço Hídrico – VII: Município de Taubaté (2070-2099) para o cenário B2.....	73
Tabela-10: Resumo geral dos resultados.....	75
Tabela 11: População X Demandas.....	77

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	18
2.1 CICLO DA ÁGUA .....	19
2.2 FORMAÇÃO DE NUVENS.....	21
2.3 PRECIPITAÇÃO.....	22
2.4 ESCOAMENTO .....	24
2.5 INFILTRAÇÃO.....	26
2.6 EVAPOTRANSPIRAÇÃO.....	28
2.7 BALANÇO HÍDRICO .....	35
2.8 CAPACIDADE DE ÁGUA DISPONÍVEL .....	37
2.9 SIMULAÇÕES DE CENÁRIOS FUTUROS.....	38
2.10 DISPONIBILIDADE HÍDRICA.....	43
3.1 ÁREA DE TRABALHO .....	48
3.2 DADOS UTILIZADOS.....	48
3.3 COLETA DE DADOS .....	49
3.4 PREENCHIMENTO DE FALHAS .....	50
3.5 CÁLCULO DO BALANÇO HÍDRICO.....	51
3.6 DISPONIBILIDADE HÍDRICA.....	56
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	59
5 CONCLUSÕES .....	80
6 RECOMENDAÇÕES.....	82
7 BIBLIOGRAFIA .....	84
8 APÊNDICE .....	93
Apêndice-A: Série histórica de precipitação do posto E2-022 preenchida pelo método da Ponderação Regional.....	93

# **“BALANÇO HÍDRICO ATUAL E SIMULAÇÕES DE CENÁRIOS CLIMÁTICOS FUTUROS PARA O MUNICÍPIO DE TAUBATÉ”**

## **1 INTRODUÇÃO**

Segundo a FAO (1995), um em cada cinco países em desenvolvimento estará sofrendo de escassez de água até o ano de 2030, comprometendo a produção mundial de alimentos, que depende fortemente da disponibilidade de água.

As ações antrópicas têm interferido na utilização dos recursos hídricos e, no uso e preservação do solo da região, através da agropecuária, desmatamentos, aterros sanitários e poluição atmosférica e, somadas às variações naturais, fazem com que as condições meteorológicas, no decorrer dos anos, mudem progressivamente, interferindo no clima local.

Para avaliar o efeito que qualquer perturbação humana possa causar ao ecossistema natural é necessário conhecer as características hidrológicas de antemão, fazendo-se uma comparação com uma bacia hidrográfica em que houve intervenções antrópicas (CARDOSO et al., 2006).

O ambiente exerce uma importância significativa na exploração dos animais domésticos. Os resultados do estudo realizado por Corrêa e Lima (2003) mostraram que existe uma forte relação entre a quantidade de precipitação e o volume da produção de leite. A falta de água prejudica a quantidade e a qualidade nutritiva dos pastos e uma perda de peso generalizada por parte dos animais. A água para a dessedentação dos animais é de vital importância, principalmente em período de lactação, pois a água é o elemento de maior percentagem na constituição do leite.

De toda água do planeta Terra, aproximadamente 97,3% é água salgada e apenas 2,7% água doce. Da água doce disponível, 77,2% se encontra em forma de gelo nas calotas polares, 22,4% se trata de água subterrânea, 0,35% se encontra nos lagos e pântanos, 0,04% se encontra na atmosfera e apenas 0,01% da água doce está nos rios (ROMERA E SILVA, 2003).

Dentre todas as atividades econômicas, a agricultura apresenta a maior dependência das condições do tempo e do clima, e também de maior impacto, devido às condições adversas e imprevisíveis (médio e longo prazo) tais como secas prolongadas, chuvas intensas e eventos de geadas.

Rossato et al. (2004) analisaram a variabilidade espaço-temporal da umidade do solo no Brasil por meio dos resultados obtidos pela média mensal das condições durante o período de 1971-1990. De acordo com estes autores, as regiões Norte e Sul apresentaram elevada umidade no solo, mesmo durante o período de estiagem. Na região Nordeste, o percentual de água no solo varia de acordo com a estação chuvosa em determinada sub-região, nas regiões Centro-Oeste e Sudeste o percentual de armazenamento de água no solo é baixo entre os meses de julho e setembro, o qual está associado ao período em que ocorre a diminuição da precipitação e aumento da evapotranspiração potencial em quase todo o país.

A grande variabilidade temporal e espacial da distribuição das chuvas, principalmente em regiões áridas e semi-áridas, determina altos níveis de risco às atividades agrícolas, sendo a irrigação uma alternativa para viabilizar e aumentar a produção agrícola nesses locais de baixos índices pluviométricos (FARIA et al., 2000).

Segundo Camargo (1971) para saber se uma região há deficiência ou excesso de água durante o ano, é indispensável comparar dois elementos opostos do balanço hídrico: a precipitação que fornece a água para o solo, e a evapotranspiração que significa o consumo da água do solo ou as necessidades de chuvas para manter verde a vegetação.

Wutke et al. (2000) citado por Lopes et al. (2004), afirmam que é de fundamental importância para a sustentabilidade, a adoção de técnicas racionais de manejo conservacionista do solo e da água, para que, ao longo do tempo, esses recursos naturais tenham quantidade e qualidade suficientes para a manutenção de níveis satisfatórios de produtividade.

Lopes et al. (2004) concluíram que a adoção de técnicas conjugadas de plantio direto e de irrigação tem-se mostrado promissora, sob o ponto de vista de melhor explorar a terra e também sob o aspecto conservacionista, em regiões como o norte, nordeste e noroeste do Estado de São Paulo, onde uma parte do ano, as condições de temperatura e de radiação solar são suficientes para a produção agrícola, mas existe um déficit hídrico importante.

Segundo Nobre et al., (1991) as mudanças no padrão de uso do solo, como o desmatamento, por exemplo, têm efeitos sobre a hidrologia regional, o ciclo de carbono, a taxa de evapotranspiração e uma possível redução na quantidade de chuva.

A disponibilidade da água depende tanto das condições físicas da superfície da terra, quanto também das condições e variabilidade do clima, e afeta diretamente a vida animal e vegetal, sendo que um dos seus mais conhecidos efeitos é a escassez de água.

Os diferentes climas na Terra são resultados da combinação de fatores climáticos, tais como altitude, latitude, continentalidade e dinâmica de massas de ar. As variações do clima podem ocasionar graves consequências à Sociedade, pois eventos extremos tais como tornados, por exemplo, podem interferir nas várias atividades humanas, principalmente para as atividades agrícolas (SOUSA e NERY, 2002).

Segundo Nobre e Assad (2005), o aumento de temperatura induz a uma maior evapotranspiração, reduzindo a quantidade de água no solo, mesmo que as chuvas não diminuam significativamente. Este fato pode causar a substituição dos biomas existentes hoje, por outros mais adaptados a climas com menor disponibilidade hídrica para as plantas, tais como savanas substituindo florestas, caatinga substituindo savanas, semideserto



substituindo caatinga. Em todos estes casos ocorre uma diminuição do porte da vegetação

O Vale do Paraíba está inserido entre os dois maiores pólos urbanos do país, São Paulo e Rio de Janeiro; nele se localiza o município de Taubaté, área de trabalho desta pesquisa, que sofreu uma grande degradação ambiental, desde o seu povoamento, passando pelo ciclo da cana-de-açúcar e pelo ciclo do café que posteriormente foi substituído pela agropecuária.

O Rio Paraíba do Sul percorre todo o Vale Paraíba, abastecendo vários municípios e, também é responsável pelo abastecimento da população do Rio de Janeiro com o conjunto de reservatórios Paraibuna/Paraitinga, Santa Branca e o Jaguari, que vem sendo operado desde fevereiro de 1980, objetivando regularizar a vazão afluente à Usina Elevatória de Santa Cecília de 250 m<sup>3</sup>/s estabelecida pela Portaria DNAEE nº 022 de 14 de fevereiro de 1977 (ONS, 2004).

Durante o ciclo do café no Vale do Paraíba, Taubaté destacou-se como o município de maior produção em café na zona paulista, após superar graves períodos de crise econômica e social. A cidade de Taubaté projeta-se hoje como centro industrial, pecuarista e rizicultor, além de ter significativa função cultural como cidade universitária no Vale do Paraíba.

O município de Taubaté está localizado no médio vale paraibano a 6 km do Rio Paraíba do Sul; a cidade é cortada pela rodovia Presidente Dutra e Carvalho Pinto, como tradicional cidade paulista desempenhou papel relevante na evolução histórica e econômica do país.

A degradação ambiental no município e na região aumentou muito após uma série de ciclos de exploração agrícola, tais como a cana de açúcar e o café, logo depois substituído pela agropecuária, comprometendo o uso do solo, a cobertura vegetal e a disponibilidade hídrica.

De acordo com Marengo e Alves (2005), a influência humana na forma de gerenciamento dos recursos hídricos, geração de energia, lançamento de esgotos nos rios, irrigação e crescimento populacional, pode estar impactando de forma negativa as vazões do Rio Paraíba do Sul, pois

as variações de chuvas não parecem estar associadas à tendência negativa das vazões durante as observações dos postos fluviométricos dos últimos 50 anos.

Assim, o objetivo do presente trabalho é realizar o balanço hídrico para o município de Taubaté (1992-2005) e simulações de cenários climáticos futuros até o ano de 2099, e fazer uma análise de como estes cenários climáticos futuros afetarão a disponibilidade hídrica do município de Taubaté, tendo em vista a importância deste bem que é finito e limitado.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os usos da água são divididos em três categorias principais: agrícola, industrial e doméstico, e de acordo com a sua disponibilidade e padrões de qualidade, seus usos podem se tornar competitivos entre si e ocorrer conflitos entre seus usuários.

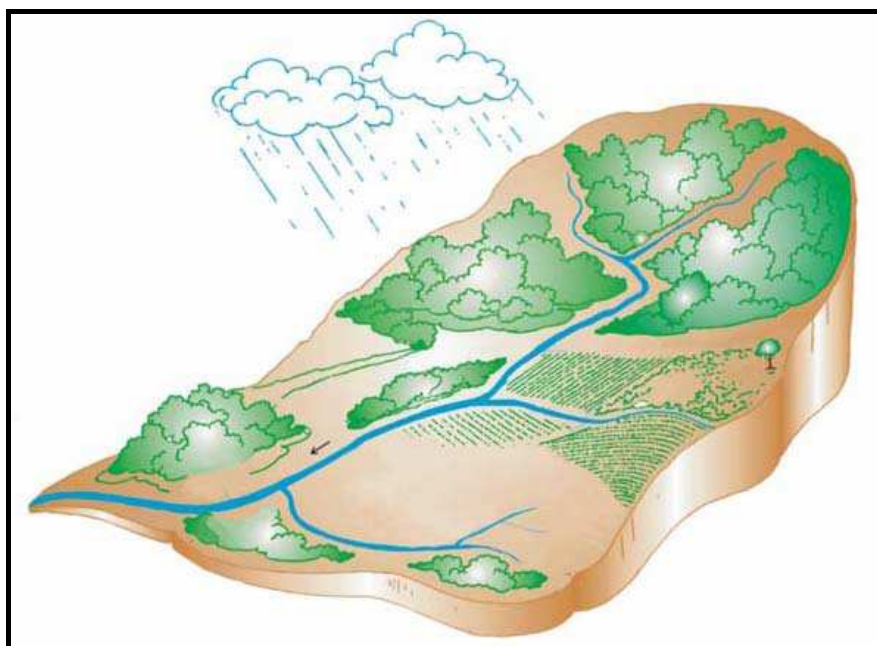
Até o presente momento, o conflito por disponibilidade hídrica que teve maior destaque na bacia do Rio Paraíba do Sul foi em 2003, devido ao fato dos reservatórios de cabeceira não terem recuperado o seu nível de água, após o período chuvoso (REIS, 2005 b).

Cezário (2005) realizou um estudo sobre a influência da precipitação regional do Vale do Paraíba no nível de água do Reservatório de Paraibuna e, segundo o autor, não há uma relação direta entre as precipitações e o nível do reservatório. Além disso, este autor cita também que com simulações dos possíveis impactos do reflorestamento do eucalipto no balanço hídrico da região, chegou-se à conclusão que, com o atual regime pluviométrico, o plantio de eucalipto influencia diretamente na quantidade de água a ser disponibilizada pelo escoamento superficial.

Devido à grande demanda por recursos hídricos, faz-se necessário o conhecimento do ciclo da água, principalmente das variáveis de precipitação e evapotranspiração e também do balanço hídrico para se quantificar a disponibilidade de água.

De acordo com a Lei Federal nº 9.433/97 (BRASIL, 1997) – lei que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

Bacia hidrográfica pode ser definida, segundo Tucci (2000), como uma área de captação natural da água precipitada, onde os escoamentos convergem para um leito único no exutório, por meio de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada pelos cursos de água (Figura 1).



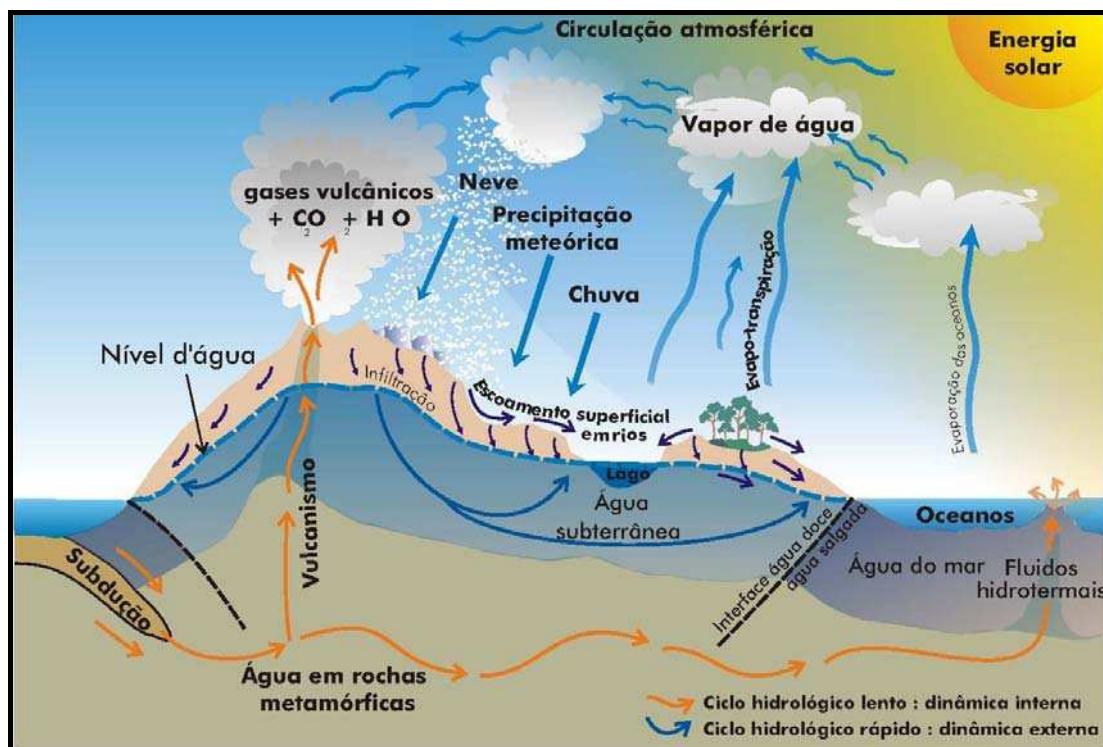
**Figura 1: Bacia hidrográfica**  
**Fonte: São Paulo, 2005**

De acordo com o Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE (SÃO PAULO, 2001), a Bacia hidrográfica é uma área drenada por um mesmo conjunto de rios, córregos, ribeirões e riachos, podendo sofrer interferências de ações desenvolvidas em outras bacias do Estado, ou mesmo em outros Estados.

## **2.1 CICLO DA ÁGUA**

A água está presente em praticamente todos os ambientes conhecidos, na atmosfera, na superfície terrestre, nos aquíferos subterrâneos, nos seres vivos, nas emanações vulcânicas e também na maioria das rochas, e varia naturalmente seus estados físicos. Sua quantidade na Terra é praticamente invariável há centenas de milhões de anos. Ou seja, a quantidade de água permanece a mesma, o que muda é a sua distribuição e o estado em que se encontra. O causador deste fenômeno é o processo denominado de Ciclo das águas (Figura-2). A água somente passa a ser perdida graças à poluição e à contaminação e basicamente para

o consumo. São estes fatores que irão inviabilizar a sua reutilização, causando uma redução do volume de água aproveitável na Terra.



**Figura 2: Ciclo hidrológico**  
**Fonte: Teixeira, 2000**

Conforme Tucci (2000), o ciclo da água ou ciclo hidrológico pode ser definido como fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e a rotação terrestre, sendo de suma importância na redistribuição de energia (calor) na escala global.

E pode ser entendido da seguinte forma: água atmosférica advém da evaporação devida à radiação solar incidente no solo, rios, lagos e oceanos, e também, da água evaporada e transpirada pelas plantas, quando condensa, esta água precipita no solo onde segue vários trajetos.

Uma parcela é escoada pela superfície do solo e é conhecida com escoamento superficial, forma córregos e riachos ou aumenta o volume dos rios, e parte da água que escoar e se encontra na superfície volta a evaporar, continuando o ciclo permanente da água.

Outra parte penetra nos poros do solo em um processo conhecido como infiltração, esse escoamento para baixo é devido à ação da gravidade até saturar completamente os vazios das rochas, esta água é conhecida como água subterrânea e flui pelas camadas e descontinuidades geológicas até descarregar nas fontes ou nos canais dos rios, lagos ou oceano.

Parte da água infiltrada é drenada pelas raízes para serem utilizadas pelas plantas e após este processo é transpirada novamente como vapor para a atmosfera, sendo este processo conhecido como evapotranspiração.

A água subterrânea constitui uma parcela do ciclo hidrológico, na qual as formações da crosta terrestre atuam como condutos de transmissão e reservatórios de água (TODD, 1967).

A energia solar é a principal fonte de energia para a Terra, afeta outros elementos meteorológicos tais como temperatura, pressão, vento, chuva e umidade; e desencadeia processos importantes como fotossíntese, evaporação, evapotranspiração, desenvolvimento de furacões, tempestades e circulação geral da atmosfera e oceanos (PEREIRA et al., 2002).

Deste ciclo contínuo podem-se distinguir as etapas: formação de nuvens, precipitação, escoamento, infiltração e evapotranspiração.

## **2.2 FORMAÇÃO DE NUVENS**

Nuvem é um conjunto visível de partículas minúsculas de água líquida ou de gelo, ou de ambas ao mesmo tempo, em suspensão na atmosfera segundo Vianello e Alves (1991).

O principal processo de formação de nuvens é o resfriamento por expansão adiabática, que ocorre quando uma massa de ar se eleva na atmosfera, expandindo em decorrência da diminuição da pressão atmosférica e provocando uma diminuição da capacidade de reter vapor d'água da massa de ar. As nuvens ocorrem desde o nível do solo até o limite superior da troposfera (TUBELIS, 1987).

As nuvens podem evoluir e crescer ou se dissipar. A dissipação é o resultado da evaporação da água que compõe as nuvens, desencadeada

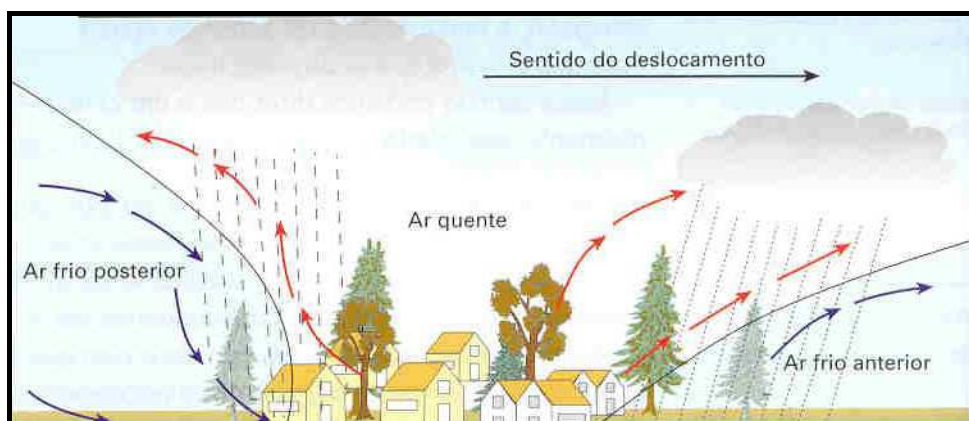
pelo aumento de temperatura (mistura do ar com outra massa de ar mais quente), pelo aquecimento adiabático ou pela mistura do ar com uma massa de ar seco (INMET, 2005).

## 2.3 PRECIPITAÇÃO

Por precipitação entende-se toda água proveniente da atmosfera sob a forma de chuva, granizo, orvalho, neblina, neve ou geada. Segundo Pinto et al. (1976), a chuva é a principal forma de precipitação, na qual a água atmosférica retorna para a superfície terrestre, e constitui elemento de entrada no ciclo hidrológico.

A sua formação está ligada à ascensão das massas de ar e se devem a fatores como relevo, convecção térmica, ou ação frontal de massas de ar, e podem ser do tipo: frontais, orográficas ou convectivas (GARCEZ, 1976; PINTO et al., 1976; PEREIRA et al., 2002), e são descritas a seguir:

Chuvas frontais – são oriundas de nuvens que se formam do encontro de massas de ar frio e quente, e possuem como características: intensidade moderada a fraca, com longa duração e sem horário para ocorrência.



**Figura 3: Chuva frontal**  
Fonte: [www.precipitacao.com.br](http://www.precipitacao.com.br)

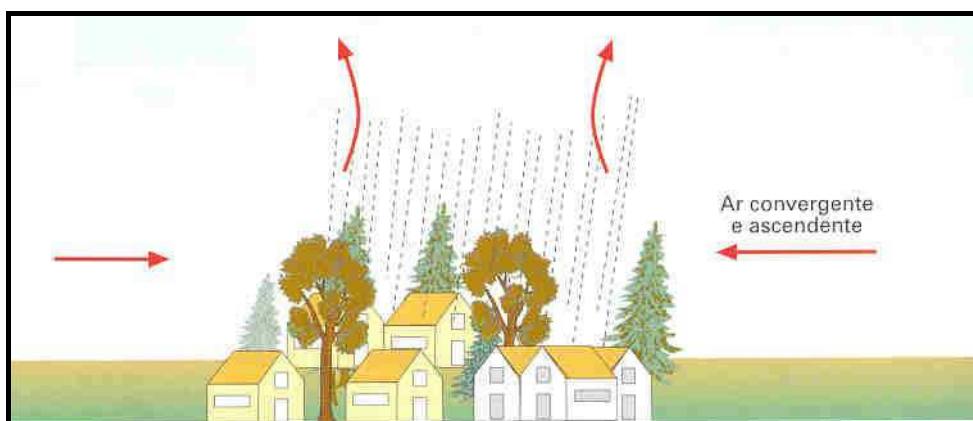
Chuvas orográficas – são originárias de regiões montanhosas, no qual o relevo força a subida de massa de ar úmido, equivalendo ao processo de

convecção livre, caracterizando-se com forte intensidade, com curta duração, com ocorrência freqüente no período da tarde e à noite.



**Figura 4: Chuva orográfica**  
 Fonte: [www.precipitacao.com.br](http://www.precipitacao.com.br)

Chuvas convectivas – são conhecidas como chuvas de verão, originam-se de nuvens de grande desenvolvimento vertical, que se formam de correntes convectivas (térmicas) e resfriam-se pelo processo adiabático, têm maior intensidade e com curta duração, ocasionalmente com descargas elétricas, trovoadas, ventos fortes e granizo, ocorrendo predominantemente à tarde e à noite.



**Figura 5: Chuva convectiva**  
 Fonte: [www.precipitacao.com.br](http://www.precipitacao.com.br)

A precipitação é uma importante ferramenta para formulação de cenários para a tomada de decisão, pois é o principal fator de influência no escoamento e sua previsão estará vinculada à da vazão e à de volumes armazenados, a sua variabilidade temporal e espacial resulta em



modificações imediatas no escoamento produzido nas bacias hidrográficas e na disponibilidade da água dos mananciais.

Segundo Freitas (1998) citado por Cardoso et al. (2006), o clima, a vegetação, o uso do solo, a topografia e as características das chuvas regulam os processos hidrológicos das bacias hidrográficas como vazão durante os eventos de precipitação, seu volume e regime.

De acordo com Pereira et al. (2002) a disponibilidade hídrica pode ser quantificada pelo balanço hídrico climatológico, no qual fica evidenciada a flutuação temporal de períodos com excedente e com deficiência, permitindo dessa forma o planejamento das atividades agrícolas e a quantificação de irrigação.

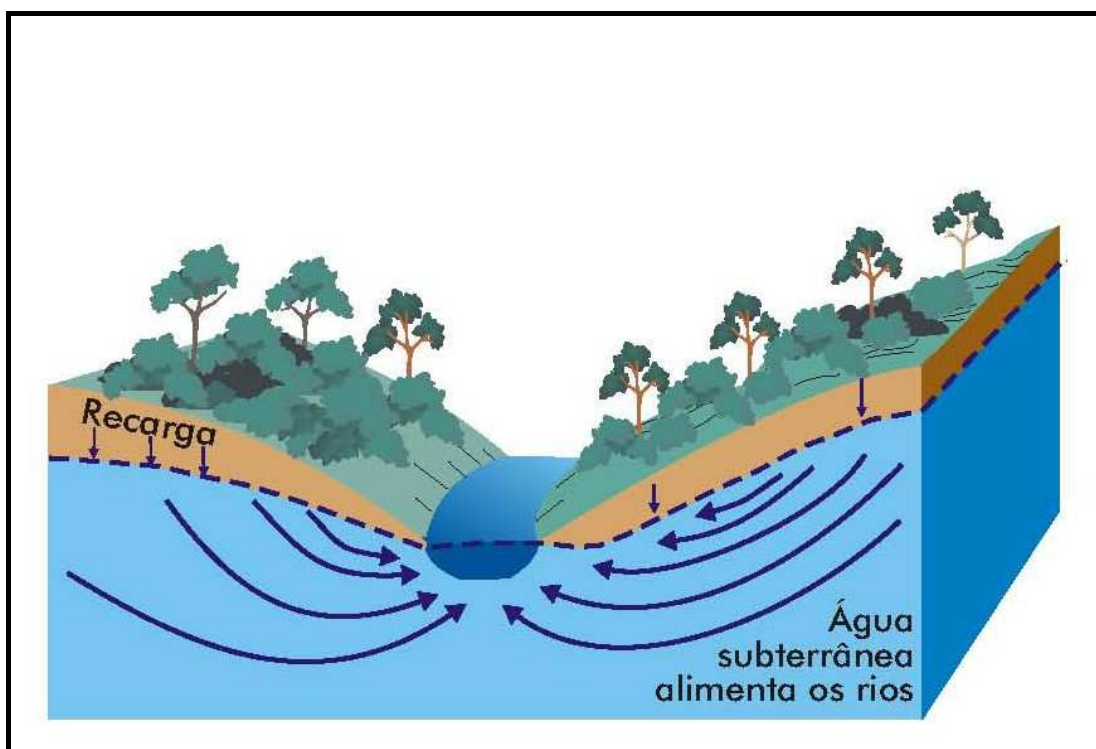
## **2.4 ESCOAMENTO**

O escoamento é um componente do ciclo hidrológico e pode ser dividido em: superficial, subsuperficial e subterrâneo (PINTO et al., 1976), descritos a seguir:

Escoamento superficial – é originado pelas precipitações e representa o fluxo de água que supera a capacidade de infiltração, formando seus múltiplos canais (enxurradas, córregos, ribeirões, rios, lagos e reservatórios de acumulação). Inicia-se preenchendo as depressões da superfície do solo, formando uma película laminar, e à medida que a precipitação contínua, essa película aumenta de espessura até o ponto de equilíbrio, a trajetória do movimento é direcionada pela declividade do terreno e de obstáculos encontrados no percurso.

Escoamento subsuperficial – ocorre nas camadas superiores do solo, e comumente é contabilizado com o escoamento superficial.

Escoamento subterrâneo – contribui para a manutenção dos cursos d'água durante os períodos de seca.



**Figura 6: Alimentação dos rios pelo escoamento subterrâneo**  
**Fonte: Teixeira, 2000**

De acordo com Arcova e Cicco (1997) citado por Cardoso et al. (2006) as têm florestas papel muito importante na captação e distribuição de água de chuva, no processo de suprimento de água para a recarga dos aquíferos, assim como a regulação do escoamento de água das bacias.

Segundo Muller (1995) citado por Cezário (2005), a elevação do nível da água na formação dos reservatórios promove uma pressão hidrostática sobre as nascentes artesanais dos rios represados, e esse processo produz grandes alterações em todo processo natural de alimentação e descarga dos aquíferos.

O aumento do escoamento superficial segundo Moreira (2004), causa à intensificação de erosões e de sedimentação em mananciais e, está ligado a fatores como intensidade e duração da chuva, declividade da bacia, condições de umidade do solo, tipo de solo e da declividade do rio.

Podem-se relacionar as intensidades de chuvas com as vazões de um curso d'água, que após a ocorrência de uma precipitação intensa causa inundação das áreas ribeirinhas. As inundações não podem ser controladas

totalmente, apenas minimizadas pelo planejamento preventivo (MOREIRA, 2004).

Os problemas causados por estas enchentes dependem do grau, do tipo de ocupação da várzea e da frequência de enchentes, de acordo com Tucci et al. (2000) a ocupação das áreas de risco em várzeas pela população carente, pode ser evitada com o planejamento do uso do solo, que regulado pelo Plano Diretor Urbano de cada cidade.

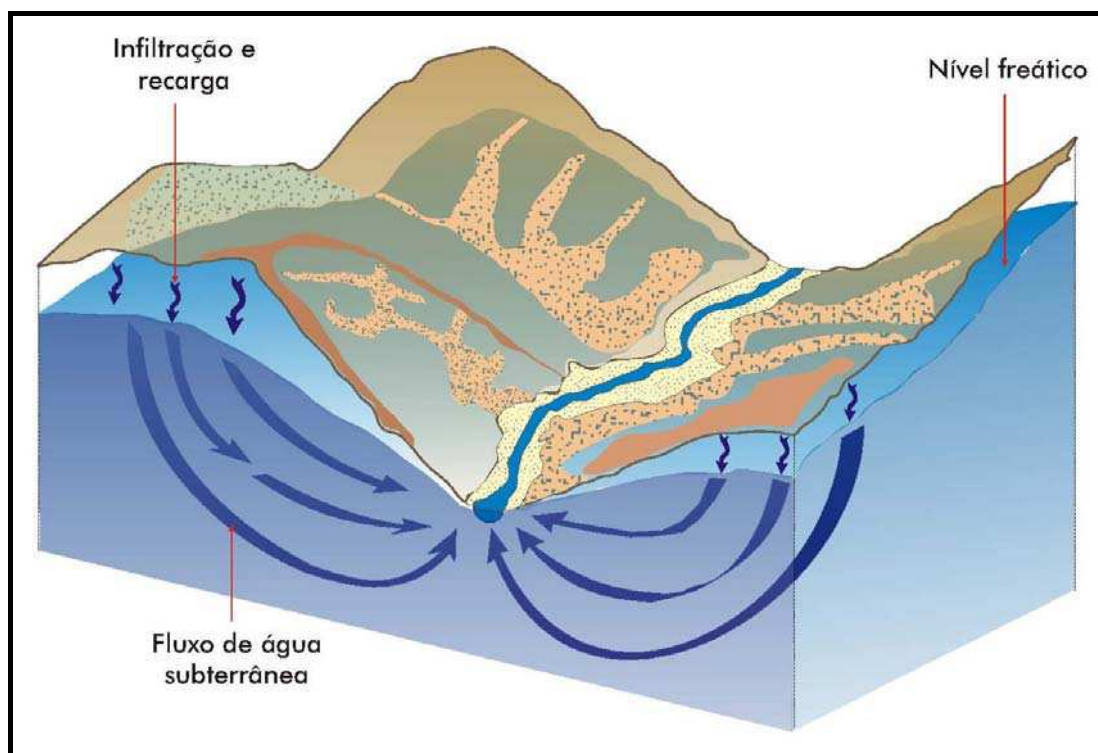
## **2.5 INFILTRAÇÃO**

Infiltração é o processo na qual a água penetra por meio da ação gravitacional, nas camadas mais próximas do solo até uma camada suporte (solo impermeável), que a retém, e podem se distinguir as seguintes fases de acordo com Pinto et al. (1976):

A fase de intercâmbio – na qual a água pode voltar para atmosfera por evaporação ou absorvida pelas raízes das plantas e depois transpirada.

A fase de descida – que pelo próprio peso, a água supera a adesão e a capilaridade, deslocando-se verticalmente até uma camada suporte.

E a fase de circulação – fase em que são formados os lençóis subterrâneos, que podem ser: freático (com superfície livre e sujeito à pressão atmosférica) ou cativo (confinado entre duas camadas impermeáveis sob uma pressão diferente da atmosférica).



**Figura 7: Nível freático e o relevo da superfície**  
**Fonte: Teixeira, 2000**

Alguns componentes ambientais como cobertura vegetal, temperatura, umidade e principalmente tipo de solo, influenciam no processo de infiltração da água no solo.

A presença de cobertura vegetal densa, em especial florestas e campos cultivados, dificulta o escoamento superficial, facilitando a infiltração, também aumenta a capacidade de infiltração no início das precipitações, pois as raízes retiram a água do solo, e influencia na taxa de evapotranspiração (GARCEZ, 1976).

A temperatura influi na viscosidade da água, fazendo com que a capacidade de infiltração nos meses frios seja menor que os meses quentes.

Enquanto o ar que fica retido nos vazios do solo tende a retardar o processo de penetração de água no solo.

A umidade do próprio solo também influencia na capacidade de penetração de água no solo, pois o solo seco absorve mais água e rapidamente, devido a maior permeabilidade.

Os tipos de solo influenciam na capacidade de infiltração devido à porosidade (relação entre o volume de vazios e o volume total de solo), granulometria (tamanho das partículas de solo) e ao fissuramento superficial.

Cardoso et al. 2006 em sua pesquisa, concluíram que a grande capacidade de retenção de água no solo e na floresta é demonstrada pela vazão na estação de estiagem, representada pelo escoamento-base, e provocou um efeito-tampão, amenizando os picos de vazão nos períodos de alta pluviosidade.

## **2.6 EVAPOTRANSPIRAÇÃO**

O conceito de evapotranspiração foi proposto por Thornthwaite em 1944 para expressar o processo de evaporação e transpiração que ocorrem simultaneamente e naturalmente sobre o solo vegetado.

Considerando evaporação como, processo no qual a água passa do estado líquido para o gasoso, na forma de vapor; e transpiração sendo, processo de evaporação da água perdida nos processos metabólicos durante o crescimento e desenvolvimento das plantas, essa evaporação acontece por meio dos estômatos que se fecham na falta de água, reduzindo a saída de água e também a entrada de dióxido de carbono, influenciando a taxa de fotossíntese, portanto, evapotranspiração é o processo de transferência da água do solo para atmosfera por evaporação e transpiração das plantas (PEREIRA et al., 2002).

Conforme as características do solo vegetado, do tamanho da área e da quantidade de água disponível no solo, pode-se ter evapotranspiração: de referência, potencial, real, de oásis e de cultura.

Evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) – é aquela de uma extensa superfície, coberta totalmente por grama com altura de 0,08 a 0,15 m, em crescimento ativo e sem deficiência hídrica (TOMASELLA e ROSSATO, 2005).

Evapotranspiração potencial (ETP) – corresponde à quantidade de água que pode ser utilizada por uma área extensa e vegetada, com grama

em crescimento ativo, e sem nenhuma deficiência hídrica, e condicionada unicamente pela disponibilidade de energia solar (CAMARGO, 1971; PEREIRA et al., 2002).

Evapotranspiração real (ETR) – é a quantidade de água realmente utilizada por uma superfície gramada, é restringida pela disponibilidade hídrica, quando não há restrição de água  $ETR = ETP$ , e havendo deficiência hídrica  $ETR < ETP$  (CAMARGO, 1971; PEREIRA et al., 2002).

Evapotranspiração de oásis – ocorre em regiões áridas, na qual uma pequena área vegetada e irrigada, circundada por uma grande extensão de área seca, que fornece energia por advecção, aumentando assim a quantidade de energia disponível; a água utilizada por esta pequena área utilizada no processo de evapotranspiração é superior a evapotranspiração potencial (CAMARGO, 1971; PEREIRA et al., 2002).

Evapotranspiração de cultura (ETc) – é a quantidade de água utilizada para no processo de evapotranspiração por uma cultura durante todo o seu desenvolvimento, sem haver deficiência hídrica e em função da superfície transpirante (área foliar), e pode ser obtido conhecendo-se o coeficiente de cultura (Kc), que varia conforme a fase de desenvolvimento, entre espécies e variedades (PEREIRA et al., 2002).

$$ETc = Kc \times ETP \quad (\text{Eq. 1})$$

Sendo:

ETc = evapotranspiração de cultura (mm/dia)

Kc = coeficiente de cultura

ETP = evapotranspiração potencial (mm/dia)

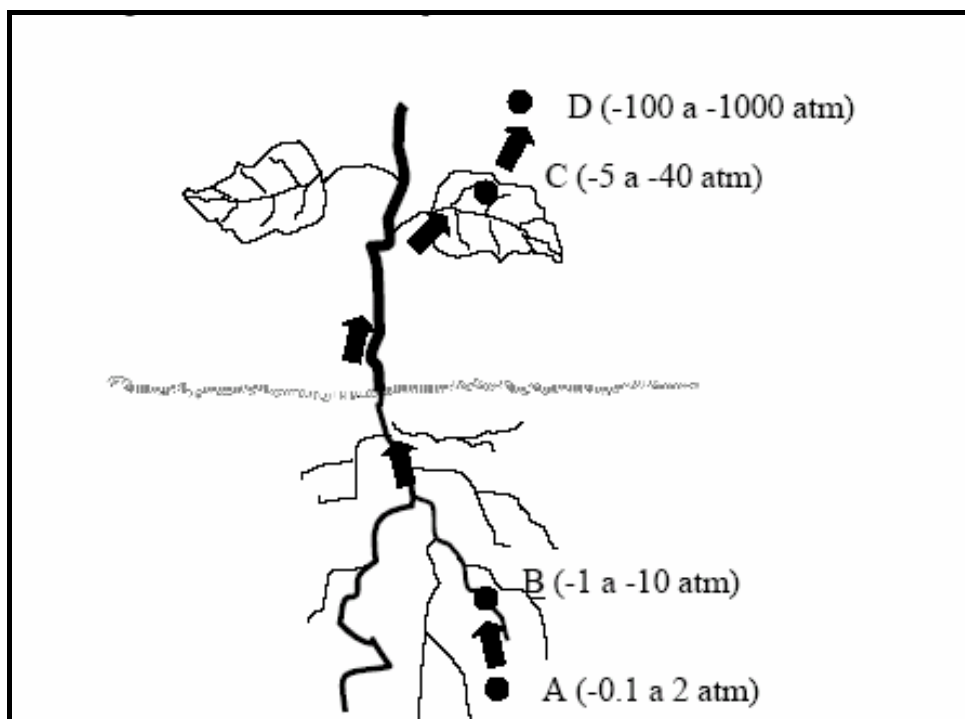
Segundo Doorenbos & Kassan (1979) citados por Rolim et al. (1998), o efeito do estresse hídrico sobre o crescimento e produtividade de uma cultura depende da espécie e da variedade da cultura e, também da intensidade e duração do déficit hídrico. Em geral, as culturas são mais

sensíveis ao déficit hídrico durante a emergência, a floração e o período inicial da frutificação.

A quantificação da água requerida pelas culturas constitui-se em aspecto importante na programação da agricultura irrigada (LOPES et al. 2004).

Uma forma de medir a evapotranspiração diretamente é utilizando um equipamento chamado lisímetro ou evapotranspirômetro, ele é composto por uma caixa impermeável, contendo solo e vegetação que ali se desenvolva (WINTER, 1976), constituindo um sistema solo-planta-atmosfera confinado.

Os autores Bernardo et al. (1996) citado por Mendonça et al. (2003), afirmam que dos métodos diretos, o procedimento mais preciso para se determinar a evapotranspiração de referência ( $ETo$ ) é a utilização de lisímetros. Diversos pesquisadores em todo o mundo propuseram modelos indiretos para a estimativa da  $ETo$ , com as mais diferentes concepções e número de variáveis envolvidas.



**Figura 8: Movimento da água no sistema solo-planta-atmosfera, em condições ótimas de desenvolvimento**  
Fonte: Soares (2004)

Pela dificuldade em reproduzir os horizontes do solo em suas ordens corretas e compactá-los às densidades originais, as propriedades físicas e biológicas da amostra no lisímetro acabam inevitavelmente diferindo do solo não-confinado. E por estar confinada, a amostra fica isolada do entorno, restringindo o alcance do sistema radicular da vegetação e também o potencial da água, sendo necessário, algumas vezes, instalar dispositivos de sucção para amenizar esse efeito (WINTER, 1976).

O objetivo do trabalho de Mendonça et al. (2003) foi comparar os valores de ETo obtidos em lisímetro de pesagem com grama com os valores resultantes da utilização dos métodos de Penman-Monteith parametrizado pela FAO, Radiação Solar, Makkink, Linacre, Jensen-Haise, Hargreaves-Samani, Tanque Classe "A" e Atmômetro SEEI modificado.

E todos os métodos avaliados por Mendonça et al. (2003), com exceção do Atmômetro SEEI modificado, atendem satisfatoriamente à estimativa da ETo na região norte fluminense, RJ, principalmente em períodos de 7 e 10 dias, mas quando se dispõe somente de dados de temperatura máxima e mínima, o método de Hargreaves-Samani apresenta adequada precisão para se estimar a ETo na região, sobretudo para períodos superiores a 7 e 10 dias.

Os lisímetros mais usados são:

Lisímetro de pesagem – no qual se pesa repetidas vezes o sistema confinado solo-planta, e como resultando tem-se a mudança de teor de água; levando em conta a respiração e fotossíntese desconsidera-se as mudanças relativamente pequenas (WINTER, 1976).

Lisímetro de drenagem – produz água de drenagem, obtêm-se resultados apenas quando a água ultrapassa a capacidade de campo do solo. Resulta da diferença entre a água adicionada e a coletada como drenagem, menos a chuva que possa ter ocorrido (WINTER, 1976).

Medidas diretas de evapotranspiração são caras e escassas, e informações confiáveis sobre esta variável são de difícil obtenção, pois demandam um tempo de observação. Portanto justificam-se as estimativas, através de modelos empíricos, pois sua quantificação é indispensável para o



correto manejo hídrico local, operação de reservatórios e irrigação de áreas agrícolas (PEREIRA et al., 1997; TUCCI, 2000).

De acordo com Hernandez (1994) citado por Lopes et al. (2004), existem várias metodologias e critérios para estabelecer programas de irrigação, que vão desde simples turnos de rega até completos esquemas de integração do sistema solo-planta-atmosfera.

Segundo Bernardo (1995) citado por Lima et al. (2001), alguns dos métodos mais precisos são de difícil aplicação, não só pela complexidade dos cálculos, mas, também, por exigirem um grande número de dados meteorológicos, nem sempre disponíveis.

Pode-se estimar a evapotranspiração pelos métodos (PEREIRA et al., 2002):

- a) Empírico – que consiste nas correlações entre os elementos meteorológicos e a evapotranspiração, os métodos conhecidos são: Tanque Classe A, Thornthwaite, Simplificação de Camargo, Hargreaves & Samani, Makkink, Radiação Solar, Jensen-Haise, Linacre e Blaney-Criddle;
- b) Aerodinâmico – método com base na dinâmica dos fluídos e transporte turbulento, é um método micrometeorológico que utiliza escoamento atmosférico e não um escoamento fluído;
- c) Balanço de energia – consiste na contabilização de todas as formas de energias que interagem com a superfície terrestre em condições atmosféricas normais, no qual a energia principal é a radiação solar que em função dos comprimentos de onda é chamada ondas curtas; e a superfície terrestre também emite radiação em comprimentos de ondas longas;
- d) Combinados – combinam parte dos conceitos dos métodos empíricos com os conceitos do método de balanço de energia. O mais conhecido e utilizado desta categoria é o método de Penman-Monteith, que é considerado método padrão pela FAO;

- e) Correlação dos turbilhões – consiste no processo de fluxo turbulento, nas flutuações da velocidade vertical e nas propriedades do vapor d'água.

Criado pelo Serviço Meteorológico Norte Americano, o método do Tanque Classe A é padronizado em: tanque de chapa de ferro galvanizado nº 22, de formato cilíndrico, com 1,21 metros de diâmetro, e 0,255 metros de profundidade, e pintado interna e externamente com tinta aluminizada, instalado em uma área gramada e sobre um estrado de madeira com 0,15 metros de altura.

O tanque possui um poço tranqüilizador de 0,25 metros de altura com 0,10 metros de diâmetro, no qual a medida do nível de água é feita com um gancho micrométrico (mede variações de 0,01mm).

Este método é utilizado para estimar a evapotranspiração potencial de uma cultura para aplicação de irrigação, neste caso a evapotranspiração potencial é conhecida como evapotranspiração de referência  $ET_0$ .

$$ET_0 = K_p \times ECA \quad (\text{Eq. 2})$$

Considerando:

$ET_0$  = evapotranspiração de referência

$K_p$  = coeficiente de tanque

$ECA$  = evaporação medida no Tanque Classe A

Segundo Mello et al. (1996) citado por Lima et al. (2001) existem entre 50 a 60 equações para a simulação da evapotranspiração. As equações são baseadas em dados meteorológicos para o cálculo da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ).

Método de Thornthwaite – proposto por Thornthwaite em 1948, foi um dos primeiros métodos para estimativa de evapotranspiração potencial como elemento climatológico, utilizando somente a temperatura do ar como

variável independente, para um mês padrão de trinta dias e cada dia com doze horas de fotoperíodo.

Denomina-se fotoperíodo como o período entre o nascer e o pôr-do-sol, representa o número de horas com o máximo de brilho solar, é calculado em função da latitude e do dia do ano, em geral considera-se o fotoperíodo do dia quinze como valor médio para o mês.

O método de Thornthwaite consiste nas seguintes equações:

$$ETp = 16 \times \left( \frac{10 \times Tn}{I} \right)^a \quad 0 \leq Tn < 26,5 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (\text{Eq. 3})$$

Adotando:

ETp = evapotranspiração potencial não corrigida (mm/mês)

Tn = temperatura média do mês n (°C)

I = índice que expressa o nível de calor disponível na região

Porém se  $Tn \geq 26,5 \text{ } ^\circ\text{C}$  a equação será dada por:

$$ETp = -415,85 + 32,24 \times Tn - 0,43 \times Tn^2 \quad (\text{Eq. 4})$$

O valor de I é um valor térmico regional, e é dado pela equação abaixo:

$$I = \sum_{n=1}^{12} (0,2 \times Tn)^{1,514} \quad (\text{Eq. 5})$$

A variável  $a$  por ser função de I, também apresenta um valor térmico regional, e é calculada pela equação:

$$a = 6,75 \times 10^{-7} \times I^3 - 7,71 \times 10^{-5} \times I^2 + 1,7912 \times 10^{-2} \times I + 0,49239 \quad (\text{Eq. 6})$$

Para se obter o valor da evapotranspiração do mês correspondente deve-se corrigir a ETp em função do número real de dias e do fotoperíodo do mês pela equação:

$$ETP = ETp \times Cor \quad (\text{Eq. 7})$$

$$Cor = \left( \frac{ND}{30} \right) \times \left( \frac{N}{12} \right) \quad (\text{Eq. 8})$$

Considerando:

ND = número de dias do mês em questão

N = fotoperíodo médio do mês correspondente

Cor = correção da evapotranspiração potencial não corrigida

Pode-se também adotar o valor médio mensal de Cor como dado na tabela de Thornthwaite (1948) e Camargo (1964) em função da latitude, apresentada em Pereira et al. (2002).

## 2.7 BALANÇO HÍDRICO

O balanço hídrico é um método contábil de estimativa da disponibilidade de água no solo que pode ser utilizado pela vegetação, baseia-se na aplicação do Princípio de Conservação de Massa (PEREIRA et al., 2002) em uma área de solo vegetado, contabilizando a entrada e saída de água do solo e pode ser representado pela equação:

$$\pm \Delta ARM = P + In - ET + AC - DP \quad (\text{Eq. 9})$$

Considerando:

$\pm \Delta ARM$  – variação de armazenamento (mm)

P – precipitação (mm)

In – interceptação (mm)

ET – evapotranspiração (mm)

AC – ascensão capilar (mm)

DP – drenagem profunda (mm)

Com o ciclo hidrológico e uma determinada área é possível fazer o balanço hídrico local, para um determinado período de tempo (diário, semanal, mensal ou anual).

O balanço hídrico de uma região tende a se manter sem grandes alterações naturais, mas com o aumento populacional e o uso indiscriminado da água, as ações antrópicas têm interferindo no ciclo hidrológico: na precipitação, na infiltração, na evapotranspiração e no escoamento, neste a interferência é muito grande, indo da captação à distribuição, geração de energia elétrica e irrigação. Os poços artesianos têm interferência no volume das águas subterrâneas, e as barragens e os desmatamentos nos volumes de precipitação e evapotranspiração.

No caso do balanço hídrico climatológico, a contabilização envolve dois elementos meteorológicos: a temperatura média do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ), pelo qual se calcula a evapotranspiração (mm/dia), e a precipitação anual (mm).

O balanço hídrico climatológico foi desenvolvido por Thornthwaite & Mather em 1955, para determinar o regime hídrico local sem a necessidade de medidas diretas das condições do solo, foi difundido no Brasil por Camargo (1962).

De acordo com Pereira et al. (2002) o balanço hídrico climatológico tem como aplicações:

- disponibilidade hídrica regional
- caracterização de secas
- zoneamento agroclimático
- determinação das melhores épocas de semeadura

## 2.8 CAPACIDADE DE ÁGUA DISPONÍVEL

Winter (1976) afirma que o ponto de murchamento permanente é a fase em que as forças potencias, que retém a água no solo aumentam com a diminuição de umidade, ou seja, a água não passará do solo para as raízes, desta forma a evaporação excede a entrada, e as folhas murcham e não recobra a sua turgidez, mesmo que o solo fique úmido novamente.

Assim como existe uma força potencial que retém a água no solo, existe uma força que drena a umidade do solo para fora da zona saturada e a substitui com ar vindo da atmosfera, esta umidade drenada é que alimenta a zona radicular das plantas, e há uma redução súbita na sua taxa, quando esta drenagem acontece, diz-se que o solo está em capacidade de campo (WINTER, 1976).

A partir das definições de Winter (1976) pode-se considerar a capacidade de água disponível - CAD como o intervalo entre a capacidade de campo e o ponto de murchamento permanente.

No balanço hídrico considera-se que o armazenamento de água no solo varia entre o ponto de murcha e a capacidade de campo. O excesso, ou seja, a quantidade de água acima da capacidade de campo do perfil de solo, resulta na drenagem profunda ou no escoamento superficial.

Na elaboração do balanço hídrico climatológico o primeiro passo é selecionar o CAD, que é feita mais em função do tipo de cultura do que do tipo de solo, pois de acordo com Thornthwaite & Mather (1955), o balanço hídrico climatológico é feito em bases climatológicas e comparativas, e mais usado para caracterização de disponibilidade hídrica de uma região (PEREIRA et al., 2002).

Rossato et al. (2004) transformaram os resultados de armazenamento médio mensal de água no solo, obtidos durante o período de 1971-1990, em percentual de água no solo, através da função da capacidade de água disponível, uma vez que o armazenamento de água é dependente do tipo de solo, ou seja, se um solo raso tem, por exemplo, um armazenamento de 50 mm e uma capacidade máxima de 50 mm obtém-se uma razão de 100% de

água no solo e, se um solo profundo tem um armazenamento de 50 mm e uma capacidade máxima de 100 mm, obtém-se uma razão de 50%. Neste exemplo o solo raso está mais saturado do que o solo profundo. E concluíram que as regiões Norte e Sul apresentaram elevada umidade no solo, mesmo durante o período de estiagem; na região Nordeste o percentual de água no solo varia de acordo com a estação chuvosa em determinada sub-região; nas regiões Centro-Oeste e Sudeste o percentual de armazenamento de água no solo é baixo entre os meses de julho e setembro, o qual está associado ao período em que ocorre a diminuição da precipitação e aumento da evapotranspiração potencial em quase todo o país. Ou seja, concluíram que os resultados obtidos do percentual do armazenamento de água no solo refletem, com maior exatidão e precisão, as condições de umidade dos solos e que a variação do conteúdo de água no solo depende dos diferentes sistemas sinóticos que atuam no Brasil em determinados períodos e regiões, os quais alteram o regime de precipitação, do tipo de cobertura vegetal predominante na área de estudo, já que esta afeta a taxa de evapotranspiração e, conseqüentemente, da inter-relação de todas as variáveis que constituem o sistema solo-planta-atmosfera.

## **2.9 SIMULAÇÕES DE CENÁRIOS FUTUROS**

Segundo Nobre e Assad (2005), a temperatura média global do planeta à superfície vem aumentando nos últimos 120 anos, já tendo atingido 0,6 °C a 0,7 °C. A maior parte deste aquecimento ocorreu nos últimos 50 anos, sendo que a última década apresentou os três anos mais quentes dos últimos 1000 anos da história recente da Terra.

O clima é uma generalização ou interação das condições do tempo para certo período, em uma determinada área, baseado no estado médio da atmosfera, apresenta variabilidade no espaço e no tempo.

As condições do tempo são compostas por elementos climáticos, tais como precipitação, temperatura, vento, radiação solar, umidade, pressão e evapotranspiração.

O ciclo da água é de suma importância na redistribuição de energia na escala global: quando a água evapora usa a energia provida do ambiente, reduzindo a temperatura local, forma o vapor d'água que ao condensar libera a energia utilizada na evaporação, aquecendo a atmosfera naquele local, que o sistema circulatório atmosférico transporta para outro lugar (PEREIRA et al., 2002).

Ao longo do tempo a modificação climática tem gerado outros ambientes em função da ocorrência de maior ou menor precipitação, temperatura, umidade. Com a alteração destes condicionantes, os escoamentos provenientes das bacias também se alteram, causando modificações desta parte do ciclo hidrológico (TUCCI et al., 2002).

As variações climáticas são variações naturais do clima, com diferentes escalas de tempo (anos, décadas, séculos, milênios), é um processo reversível; enquanto que as mudanças climáticas são devido à ação direta (ou indireta) do homem, que altera a composição da atmosfera mundial, somando-se àquela provocada pela variabilidade climática natural, é um processo irreversível.

As ferramentas utilizadas para obter e avaliar projeções climáticas passadas e futuras são os modelos numéricos de clima, que podem ser: Modelos Globais Atmosféricos (GCMs) ou Modelos Globais Acoplados Oceano-Atmosfera (AOGCMs), e podem simular climas futuros em nível global e regional como resposta às mudanças na concentração dos gases de efeito estufa e aerossóis (MARENGO, 2006 a).

Segundo Marengo (2006 a) os cenários ou cenários de emissão representam uma visão possível do desenvolvimento futuro de emissões de gases de efeito estufa e aerossóis, que têm efeito radiativo potencial, estes cenários são baseados numa combinação coerente e internamente consistente de elevações sobre forçamentos controladores, como demografia, desenvolvimento socioeconômico, e mudança na tecnologia, assim como suas interações; enquanto o aumento dos gases de efeito estufa tende a aquecer o planeta, os aerossóis têm efeito de esfriamento.



Os cenários climáticos do IPCC (2001) foram definidos no *Special Report on Emissions Scenarios* (SRES) e são baseados nas quatro projeções diferentes de emissões de gases de efeito estufa para o futuro, denominados de A1, A2, B1 e B2 (MARENGO, 2006 a), que serão descritos a seguir:

A1 – cenário que descreve um mundo futuro onde a globalização é dominante, com crescimento econômico rápido e crescimento populacional pequeno, e desenvolvimento rápido de tecnologias mais eficientes. Neste mundo haveria uma convergência econômica e cultural, com uma redução significativa em diferenças regionais e renda per capita e os indivíduos procurariam riqueza pessoal em lugar de qualidade ambiental. Apresenta três cenários: A1B (cenário de estabilização), A1F (máximo uso de combustível fóssil) e A1T (mínimo uso de combustível fóssil);

A2 – cenário que descreve um mundo futuro muito heterogêneo na qual a regionalização é dominante, com alto índice de crescimento populacional, e menos preocupação em relação ao desenvolvimento econômico rápido, neste mundo existiria um fortalecimento de identidades culturais regionais, com ênfase em valores da família e tradições locais;

B1 – cenário que descreve um mundo futuro onde ocorre uma introdução de tecnologias limpas e uma rápida mudança na estrutura econômica mundial. Neste mundo futuro a ênfase está em soluções globais, sustentabilidade ambiental e social, e inclui esforços combinados para o desenvolvimento de tecnologia rápida;

B2 – cenário que descreve um mundo futuro na qual a mudança tecnológica é mais diversa. A ênfase está em soluções locais, sustentabilidade econômica, social e ambiental, e nas iniciativas comunitárias e inovação social em lugar de soluções globais.

Segundo Collischonn (2001) os modelos de previsão de tempo e clima podem ser divididos em estatísticos ou empíricos e determinísticos. Os modelos determinísticos descrevem o comportamento da atmosfera em todo

o globo (modelos globais) ou em uma região (modelos regionais). Os modelos estatísticos desprezam a descrição exata dos processos internos na atmosfera e relacionam diretamente as variáveis que se deseja prever (por exemplo, a chuva) com variáveis que podem ser medidas, por exemplo, a temperatura da superfície do mar (TSM).

Os modelos de circulação global podem ser utilizados para a previsão de variáveis meteorológicas com alguns meses de antecedência. Neste caso a ação antrópica não é considerada e a previsão é fortemente dependente das condições iniciais fornecidas ao modelo e da temperatura da superfície do mar nos oceanos. Em geral, esses modelos são alimentados por temperaturas de superfície do mar estimadas a partir da anomalia medida no instante de tempo inicial (diferença em relação à média) e da variabilidade climática e podem, inclusive, operar de forma acoplada com os oceanos. (COLLISCHONN, 2001).

De acordo com Faria et al. (2000) é importante a obtenção de dados climáticos regionais confiáveis visando às estimativas mais precisas da evapotranspiração e ao melhor aproveitamento das precipitações naturais no dimensionamento de sistemas de irrigação.

Segundo Lima et al. (2001), devido às dificuldades na obtenção de dados de parâmetros naturais devem-se comparar dados medidos e simulados, principalmente no que se refere à gestão dos recursos hídricos, para avaliar o que ocorre na natureza de forma simples e de baixo custo e com a possibilidade de simular cenários futuros.

Collischonn (2001) afirma que os modelos de circulação global representam o comportamento da atmosfera em todo o globo, e são utilizados para analisar as mudanças climáticas causadas pelas interferências antrópicas, como o desmatamento ou o aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera. No caso do aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera as diferenças de comportamento ocorrem pela mudança do balanço de energia calculado pelo modelo.

O modelo HadCM3 foi desenvolvido pelo Serviço Meteorológico Britânico (United Kingdom Meteorological Office) e é um modelo acoplado oceano-atmosfera (AOGCMs), possuindo as seguintes características: a componente atmosférica tem 19 níveis na vertical com uma resolução espacial de 2,5 x 3,75 graus de latitude/longitude, produzindo uma grade global de 96 x 73 células, que equivalem a uma resolução de 417 km x 278 km na linha do Equador, reduzindo para 295 km x 278 km a 45° de latitude. Enquanto a componente oceânica possui 20 níveis e uma resolução horizontal de 1,25 km x 1,25 km (JOHNS et al., 1997).

Devido às características não lineares do comportamento da atmosfera, pequenos erros de condição inicial tendem a aumentar com o período de integração, o que faz com que as previsões de tempo tenham um limite superior de integração, na ordem de 15 dias. As previsões climatológicas possuem uma característica diferente e permitem integrações longas (centenas de anos, por exemplo).

De acordo com Marengo (2006 a) existem fontes de incertezas na modelagem de clima para obter projeções de clima futuro em nível global ou regional na atual geração de modelos usados pelo IPCC, a saber:

- Incerteza nas emissões futuras de gases de efeito estufa e aerossóis, e das atividades vulcânicas e solares que afetam o forçamento radiativo do sistema climático;
- Incerteza na inclusão de efeitos diretos do aumento na concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico nas plantas, e do efeito do comportamento das plantas no clima futuro;
- Incertezas na sensibilidade do clima global e nos padrões regionais das projeções do clima futuro simulado pelos modelos, devido as diferentes formas que cada AOGCM representa os processos físicos e os mecanismos do sistema climático.

Com a utilização da solução numérica das equações de movimento e termodinâmicas submetidas às condições iniciais conhecidas, e às

condições de contorno (especialmente a radiação solar), os modelos de circulação global descrevem o movimento do ar na atmosfera em todo o globo (modelos globais). Neste tipo de modelo o comportamento hidrológico superficial é fundamental porque dele depende a partição, em calor latente e calor sensível, da energia que chega à superfície terrestre, por isso houve um grande desenvolvimento de módulos de hidrologia superficial entre os meteorologistas e climatologistas (COLLISCHONN, 2001).

Segundo Marengo (2006 b) um conjunto de doze modelos climáticos do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), mostraram, qualitativamente e quantitativamente, habilidades na simulação de tendências regionais de vazão, com dados observados desde o início do Século XX, e para o Século XXI, as integrações do conjunto desses mesmos modelos, projetam regiões de aumento e diminuição de vazão na América do Norte, América do Sul, África e Eurásia.

O aumento ou diminuição de vazão está relacionado com a mudança na distribuição ou quantidades de precipitação, e a maioria dos modelos simula reduções na precipitação da Amazônia e nordeste do Brasil (algumas incertezas estão presentes no modelo HadCM3, que mostra mais precipitação, em relação ao clima do presente), enquanto para a bacia do Paraná - La Plata todos os modelos projetam aumento na precipitação. As temperaturas em todas as regiões aumentaram de 2 a 8 °C para 2100 nas três regiões para o cenário A2 (alta emissão) e de 1,5 a 6 °C no cenário B2 (baixa emissão) com o mais quente na Amazônia (MARENGO, 2006 b).

## **2.10 DISPONIBILIDADE HÍDRICA**

De acordo com Setti (2001) vários especialistas apresentam estimativas negativas para o futuro, apontando para uma situação de escassez que envolverá cerca de cinco e meio bilhões de pessoas vivendo em áreas com moderada ou séria falta de água, em um horizonte de trinta anos.

Segundo Beekman (1999) citado por Lima et al. (2001), regiões com valores de disponibilidade hídrica anual, per capita, inferiores a 1.700 m<sup>3</sup> por habitante por ano, representam áreas com risco de falta d'água durante os períodos mais secos do ano.

Os principais problemas de escassez hídrica no Brasil decorrem principalmente do crescimento industrial concentrado, do aumento e da concentração populacional, da exclusão social, crescimento demandas, do processo de industrialização, expansão agrícola e da degradação da qualidade das águas, verificados a partir da década de 1950 (SETTI, 2001).

Leite (2004) em seu trabalho sobre a disponibilidade hídrica das águas superficiais da bacia hidrográfica do Rio Una, obteve três cenários de disponibilidade versus demanda, que permitiu avaliar o grau de comprometimento da bacia e, constatou que, apesar da bacia não apresentar problema na sua disponibilidade hídrica no atual momento, em um futuro não muito distante, poderá se tornar uma bacia crítica passível de gerenciamento especial.

Como um instrumento da Política Nacional de Recursos Hídricos, a outorga de direito de uso de recursos hídricos, Lei Estadual nº 7.663 de 30/12/1991 (SÃO PAULO, 1991), tem por objetivo assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à mesma.

A outorga pelo uso dos recursos hídricos também é um dos pressupostos para a cobrança pelo uso da água, uma vez que somente poderão ser cobradas as vazões outorgáveis.

Em determinadas situações, a outorga poderá ser suspensa parcial ou totalmente, em definitivo ou por prazo determinado, devido:

- (i) não cumprimento pelo outorgado dos termos da outorga;
- (ii) ausência de uso por três anos consecutivos;
- (iii) necessidade premente de água para atender a situações de calamidade, inclusive as decorrentes de condições climáticas adversas;
- (iv) necessidade de se prevenir ou reverter grave degradação ambiental;

- (v) necessidade de se atender a usos prioritários, de interesse coletivo, para os quais não se disponha de fontes alternativas;
- (vi) necessidade de serem mantidas as características de navegabilidade do corpo de água.

Por outro lado, considera-se importante que não se perca de vista que o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais, motivos pelo qual qualquer outorga poderá ser suspensa a qualquer momento para atender o atendimento dessa demanda.

Assim, pode-se concluir que a outorga consiste em um instrumento de controle do uso dos recursos hídricos, que vinculados aos demais instrumentos da política de recursos hídricos, serve de base para a cobrança pelo uso da água, tendo como referência padrões ambientais e ecológicos de segurança.

Em julho de 2000 foi implantada a Lei 9.984 (BRASIL, 2000), que dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas – ANA, com os objetivos de: coordenar a gestão integrada das águas; implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos; fazer o planejamento, a regulação e o controle do uso, da preservação e da recuperação dos recursos hídricos; e, finalmente, a cobrança pelo uso de recursos hídricos.

A Resolução nº 16 de 2001 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH, determinou que a autoridade outorgante mantenha um cadastro dos usuários de recursos hídricos. Assim, para cada corpo d'água, diversas informações deverão ser coletadas, como, por exemplo, sobre a demanda, oferta, balanço hídrico e outros parâmetros ecológicos de sustentabilidade ambiental, - como a vazão mínima de água necessária à prevenção da degradação ambiental e à manutenção dos ecossistemas aquáticos. No Estado de São Paulo o órgão outorgante é o Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE.

O CNRH é o órgão máximo de decisão do Sistema e pode ser caracterizado como um colegiado tripartite, presidido pelo Ministro de Estado

de Meio Ambiente, sua Secretaria Executiva é exercida pela Secretaria de Recursos Hídricos do MMA.

Em novembro de 2002 foi aprovada a Deliberação nº 15/2002 do Comitê para Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul – CEIVAP, sobre a cobrança do uso da água no Rio Paraíba do Sul, de domínio da União, com caráter provisório por três anos a partir do início efetivo da sua cobrança, e que encerrou em março de 2006. E em setembro de 2006, o CEIVAP aprovou a Deliberação nº 65/06, que estabelece novos mecanismos e valores para a cobrança pelo uso dos recursos hídricos nos rios de domínio da União da bacia do Rio Paraíba do Sul, a vigorar a partir de janeiro de 2007.

No final do ano de 2005 foi aprovada a Lei nº 12.183, que dispõe sobre a cobrança pela utilização dos recursos hídricos de domínio do Estado de São Paulo, e os procedimentos para a fixação de seus valores. Estes valores foram regulamentados pelo Decreto nº 51.450, de 29 de dezembro de 2006, no qual aprova e fixa os valores a serem cobrados pela utilização dos recursos hídricos de domínio do Estado de São Paulo na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul.

Como o consumo humano é o uso prioritário dos recursos hídricos, uma maneira de verificar se a disponibilidade hídrica irá atender esta demanda é projetar a demanda para um crescimento populacional futuro.

Geralmente adota-se um consumo de 250 litros de água por habitante por dia, mas segundo a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP, responsável pelo abastecimento público do município de Taubaté, pode-se adotar 200 litros de água por habitante por dia para cidades do interior do Estado de São Paulo (FLORENÇANO, 1991).

Podem-se usar vários métodos para projeção da população: método aritmético, geométrico, logístico e mínimo quadrados (FLORENÇANO, 1991). Neste trabalho será utilizado o método aritmético pela sua simplicidade e aplicabilidade.

$$\text{Pop} = P_0 + r(t_f - t_0) \quad (\text{Eq. 10})$$

Onde:

Pop = população projetada

$P_f$  = população final (hab)

$P_0$  = população inicial (hab)

$r$  = razão de crescimento no intervalo ( $t - t_0$ )

$t_f$  = ano final

$t_0$  = ano inicial

$t$  = ano projetado

$$r = \frac{P_f - P_0}{t_f - t_0} \quad (\text{Eq. 11})$$

Neste método admite-se que a população varia linearmente com o tempo, e o crescimento é pressuposto ilimitado.



### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 ÁREA DE TRABALHO**

A área de trabalho é o município de Taubaté localizado no Vale do Paraíba, e está localizado entre eixo São Paulo e Rio de Janeiro, possuindo uma área de 626 km<sup>2</sup> (IBGE, 2006).

Conforme os resultados das análises de Fisch (1995), as principais características climáticas de Taubaté – SP são: um verão extremamente chuvoso (chove quase que diariamente no verão), e um inverno seco. O ano hidrológico inicia-se em agosto e termina em julho do ano seguinte, com 1.335 mm de total anual de precipitação com 42% da precipitação ocorrendo nos meses de dezembro a fevereiro. A gênese da precipitação de Taubaté é de origem convectiva nos meses de verão e decorrente da penetração de sistemas frontais durante o inverno (FISCH, 1999).

Utilizando a classificação climática de Thornthwaite, o município de Taubaté possui a fórmula climática  $B_{1r}B_3'a'$ , que representa clima úmido com pequena ou nenhuma deficiência de água, e mesotérmico com evapotranspiração potencial anual de 964 mm, ocorrendo 33% nos meses de verão (FISCH, 1995).

#### **3.2 DADOS UTILIZADOS**

Os dados de precipitação (1983 a 2005), de temperatura (1992 a 2005) e os dados do Tanque Classe A (1992 a 2005), foram coletados no posto meteorológico da Universidade de Taubaté – UNITAU, localizado na Fazenda Piloto, situada na estrada Dr. José Luiz Cembranelli s/n – zona rural.

Para a variável precipitação também foi utilizada a série histórica do Departamento de Águas e Energia Elétrica, posto localizado no município de

Taubaté, prefixo E2-022, período 1964-2005, no qual foi preciso preencher algumas falhas.



**Figura 9: Posto meteorológico da Universidade de Taubaté**  
**Fonte: Gilberto Fisch, arquivo pessoal**

### **3.3 COLETA DE DADOS**

Para coletar dados de precipitação, temperatura, evaporação, evapotranspiração, radiação solar, ventos, e umidade do ar, existem equipamentos específicos (PEREIRA et al., 2002).

No caso do elemento climático precipitação, o equipamento básico é o pluviômetro, e tem também o pluviógrafo, que contém um sistema de registro contínuo.

A temperatura é medida em termômetros, sendo que em postos agrometeorológicos convencionais, usam-se os termômetros de máxima, de mínima e o termógrafo.

E a evaporação é medida em tanques, sendo o Tanque Classe A, o mais conhecido.

### 3.4 PREENCHIMENTO DE FALHAS

De acordo com Pinto (1976) antes do processamento de dados de precipitação deve-se fazer uma análise para detecção de erros grosseiros depois uma análise de preenchimento de falhas.

O preenchimento das falhas pode ser feito com o método de ponderação regional (TUCCI et al., 2000) que consiste na equação:

$$y_c = \frac{1}{3} \times \left[ \frac{x_1}{x_{m1}} + \frac{x_2}{x_{m2}} + \frac{x_3}{x_{m3}} \right] \times y_m \quad (\text{Eq. 12})$$

No qual:

$y_c$  = precipitação do posto Y a ser estimada

$x_1$ ,  $x_2$  e  $x_3$  = precipitações correspondentes ao mês (ou ano) que se deseja preencher, observadas em três postos vizinhos

$x_{m1}$ ,  $x_{m2}$ ,  $x_{m3}$  = precipitações médias, observadas nos três postos vizinhos

$y_m$  = precipitação média no posto Y

Os postos vizinhos devem estar na mesma região climatológica, e após o preenchimento da série de dados é importante analisar a consistência dentro de um aspecto regional, sendo que um método muito usado é o Método da Dupla Massa (TUCCI et al., 2000).

Neste método de consistência em um gráfico, plota-se os dados acumulados de um posto confiável (no eixo das abscissas) e no eixo das ordenadas plota-se os dados acumulados do posto que se queira consistir; a declividade da reta determina a proporcionalidade das duas séries de dados (TUCCI et al., 2000).

Utilizou-se a Eq. 12, Método da Ponderação Regional para o preenchimento das falhas do posto E2-022 (Taubaté).

Para o preenchimento foram utilizados os dados de precipitação de três postos vizinhos: E2-023 (bacia do Piracangua, em Taubaté), E2-048

(bacia de Caçapava Velha, em Caçapava) e E2-095 (bacia do Una, em Taubaté).

E posteriormente foi feita a consistência da série histórica com o Método Dupla Massa.

### **3.5 CÁLCULO DO BALANÇO HÍDRICO**

Para o cálculo do balanço hídrico existem diversos métodos, cada um com uma finalidade diferente. Um dos modelos mais conhecidos foi proposto por Charles Warren Thornthwaite (1948) que depois foi modificado por John Russ Mather em 1955, e ficou conhecido como Balanço Hídrico de Thornthwaite e Mather (TOMASELLA e ROSSATO, 2005).

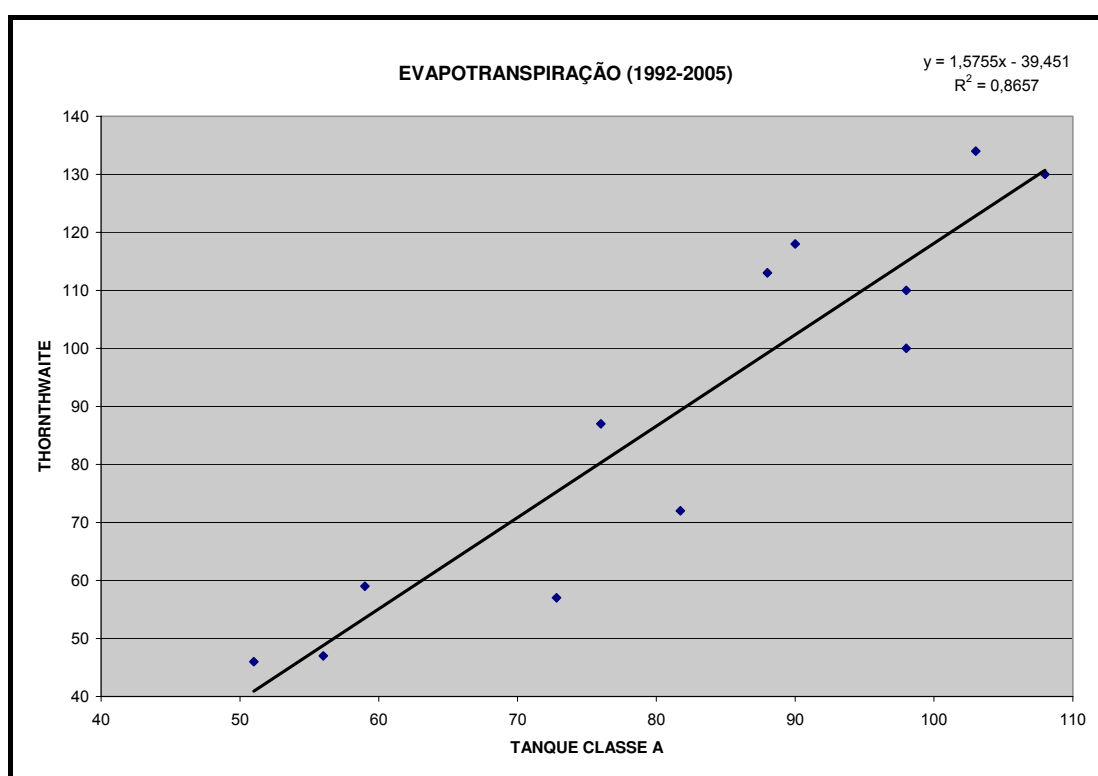
Segundo Rolim et al. (1998) existem na literatura, trabalhos como de Barbieri et al. (1991), Dourado Neto & Van Lier (1991), e de Lemos Filho et al. (1994), programas para a confecção de Balanço Hídrico. E as planilhas eletrônicas têm sido largamente usadas para tratamento de dados e apresentação de gráficos.

Em seu trabalho Rolim et al. (1998) objetivaram uma melhoria na interface com o usuário, com a utilização do ambiente Excel for Windows™, facilitando a construção de gráficos, a comunicação dos dados e gráficos com outros programas, possibilitando a confecção de banco de dados, apresentações e textos), cálculo da produtividade potencial e real e na utilização de qualquer método para o cálculo de evapotranspiração potencial (ETP).

Na tentativa de avançar em relação aos programas existentes D'Angiolella e Vasconcellos (2003), elaboraram uma planilha no sistema operacional Windows, com a possibilidade de o usuário escolher o método para estimativa da evapotranspiração, com base na disponibilidade de dados meteorológicos, para cálculo do balanço hídrico utilizando o método preconizado por Thornthwaite e Mather em 1955. Os dados de entrada são: temperatura média, umidade relativa, velocidade do vento, precipitação, evaporação no Tanque Classe A e brilho solar real em escala mensal. São

estimadas: a radiação solar no topo da atmosfera, radiação solar global incidente, saldo de radiação de ondas longas e saldo de radiação, todos estes dados são usados para calcular a evapotranspiração potencial, mediante os seis métodos mais conhecidos de acordo com Allen et al. (1998) e Pereira et al. (1997) citado por D'Angiolella e Vasconcellos (2003): Thornthwaite (1948), Tanque Classe A, Penman-Monteith, Hargreaves & Samani, Blaney & Criddle e Makkink.

Neste trabalho foi utilizado o método de Thornthwaite-Mather (1955) para o cálculo do balanço hídrico climatológico do município de Taubaté, pois o método utiliza apenas dois elementos meteorológicos (temperatura e precipitação), o que o torna muito prático, e com base na análise da figura-10 que apresenta a equação da reta e  $R^2 = 0,8657$ , que mostra uma ótima correlação dos dados estimados pelo método Thornthwaite. O balanço hídrico climatológico também fornece a disponibilidade hídrica local.



**Figura 10: Comparação de evapotranspiração potencial, entre os dados observacionais do Tanque Classe A do posto UNITAU e os dados estimados pelo método de Thornthwaite, para o Município de Taubaté, período de 1992-2005**

Para o cálculo da evapotranspiração utilizando o método do Tanque Classe A adotou-se o coeficiente  $K_p = 0,7$ , pois segundo Pereira et al. (1997), o  $K_p$  assume um valor fixo igual a 0,66, mas que freqüentemente é arredondado para 0,7.

Segundo o trabalho de Rossato et al. (2004), o Vale do Paraíba apresenta percentual do armazenamento de água no solo de 90-100% de janeiro a abril, com diminuição do percentual em maio (entre 80 a 100%), diminuindo gradativamente de junho a setembro (80-90% e 70-80% respectivamente) e aumento em outubro (70-80%), novembro (90-100%) e dezembro (90-100%).

Mas para este trabalho foi escolhido CAD igual a 100 mm, pois de acordo com Pereira et al. (2002), pode-se adotar CAD entre 75 e 100 mm para culturas anuais e, entre 100 a 125 mm para culturas perenes.

Para fazer os cálculos do balanço hídrico foi utilizada uma planilha da Microsoft Excel, sistema operacional Windows.

O roteiro do balanço hídrico climatológico Thornthwaite-Mather (1955) pode ser resumido como mostrado abaixo, com a vantagem de poder usar valores adaptados de outras equações, como o caso da evapotranspiração que, como visto anteriormente, pode ser estimada por muitas metodologias diferentes:

Primeiramente foi feito um cabeçalho com: o método utilizado, área de trabalho, período utilizado e as variáveis e suas respectivas unidades.

**T:** Preenche-se com as temperaturas médias mensais do local ( $^{\circ}\text{C}$ )

**ETp:** Evapotranspiração potencial não corrigida (mm/mês) em função das temperaturas médias mensais, não corrigida, calculada com a fórmula de Thornthwaite (1948), equação 3, 5 e 6.

**Cor:** Correção da evapotranspiração, obtida em função da latitude do local e da época do ano, neste trabalho corresponde à latitude sul = 22, que é onde o município de Taubaté se encontra.

**ETP:** Evapotranspiração Potencial (mm/mês), igual ao produto (**ETp** x **Cor**) com arredondando para inteiro.

**P:** Preenche-se a coluna com os valores da precipitação média mensal (mm/mês), arredondando para inteiro.

**P - ETP:** Obtém-se a diferença entre as colunas **P** e **ETP**, mantendo-se o sinal positivo ou negativo.

No trabalho de Thornthwaite-Mather (1955) existe uma coluna chamada de Negativa Acumulada que com a coluna Armazenamento são preenchidas simultaneamente, no presente trabalho foi utilizada a simplificação de Camargo (2005) que elimina os cálculos da coluna Negativa Acumulada sem alterar o resultado final.

**Tabela-1: preenchimento das colunas T, ETp, Cor, ETP, P e P-ETP, com identificação do início do cálculo de armazenamento**

BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO - MUNICÍPIO DE TAUBATÉ (1992-2005)											
MÊS	T	ETp mm	Cor	ETP mm	P mm	P - ETP	ARM mm	ALT mm	ETR mm	DEF mm	EXC mm
JAN	25,0	116,75	1,15	134	236	102					
FEV	25,1	117,92	1,00	118	187	69					
MAR	24,2	107,67	1,05	113	172	59					
ABR	22,5	89,80	0,97	87	59	-28	→				
MAI	19,4	62,08	0,95	59	60	1					
JUN	18,0	51,52	0,89	46	24	-22					
JUL	17,8	50,10	0,94	47	31	-16					
AGO	18,9	58,17	0,98	57	27	-30					
SET	20,6	72,09	1,00	72	83	11					
OUT	22,7	91,81	1,09	100	125	25					
NOV	23,5	100,08	1,10	110	164	54					
DEZ	24,5	111,02	1,17	130	168	38					
ANO	21,9	--	--	1073	1336	263	--				

**ARM:** calcula-se com a equação abaixo:

$$ARM_1 = CAD \times \exp \left[ \frac{(P - ETP)_1}{CAD} \right] \quad (\text{Eq. 13})$$

$$ARM_n = ARM_{n-1} \exp \left[ \frac{(P - ETP)_n}{CAD} \right] \quad (\text{Eq. 14})$$

Onde:

ARM = armazenamento (mm/mês)

P = precipitação (mm/mês)

ETP = evapotranspiração potencial (mm/mês)

CAD = capacidade de água disponível (mm)

n = mês em questão

Usa-se a Eq. 14 enquanto  $P - ETP < 0$ ; se pelo contrário  $P - ETP > 0$  e o valor de ARM for menor que CAD, deve-se então usar a equação:

$$ARM_n = ARM_{n-1} + (P - ETP)_n \quad (\text{Eq. 15})$$

Considerando:

ARM = armazenamento (mm/mês)

P = precipitação (mm/mês)

ETP = evapotranspiração potencial (mm/mês)

n = mês em questão

Se o mês seguinte apresentar  $P - ETP < 0$  volta-se para a Eq. 14 e assim por diante.

**Alteração (ALT):** Representa alteração do armazenamento (mm/mês). É obtida pela diferença entre o ARM do mês em questão e o ARM do mês anterior.

**Evapotranspiração Real (ETR):** Representa a evapotranspiração real (mm/mês), considerando-se duas situações:



$$\text{-Quando } P\text{-ETP} \geq 0 \quad \Rightarrow \quad \text{ETR} = \text{ETP}$$

$$\text{-Quando } \text{ALT} \leq 0 \quad \Rightarrow \quad \text{ETR} = P + |\text{ALT}|$$

**Deficiência (DEF):** Representa a diferença hídrica (mm/mês), isto é, a falta de água no solo, pode ser obtida pela diferença entre ETP e ETR.

**Excedente (EXC):** Representa o excedente hídrico (mm/mês), ou seja, a quantidade de água que sobra no período chuvoso.

$$\text{-Quando } \text{ARM} < \text{CAD} \quad \Rightarrow \quad \text{EXC} = 0$$

$$\text{-Quando } \text{ARM} = \text{CAD} \quad \Rightarrow \quad \text{EXC} = (P\text{-ETP}) - \text{ALT}$$

O déficit é a indicação de falta de água no solo para determinado período, sendo necessária à irrigação como forma de atender a demanda de água das plantas. Por outro lado, o excedente é a indicação que está sobrando água no período, sendo que este excedente é infiltrado no solo e alimenta o lençol freático.

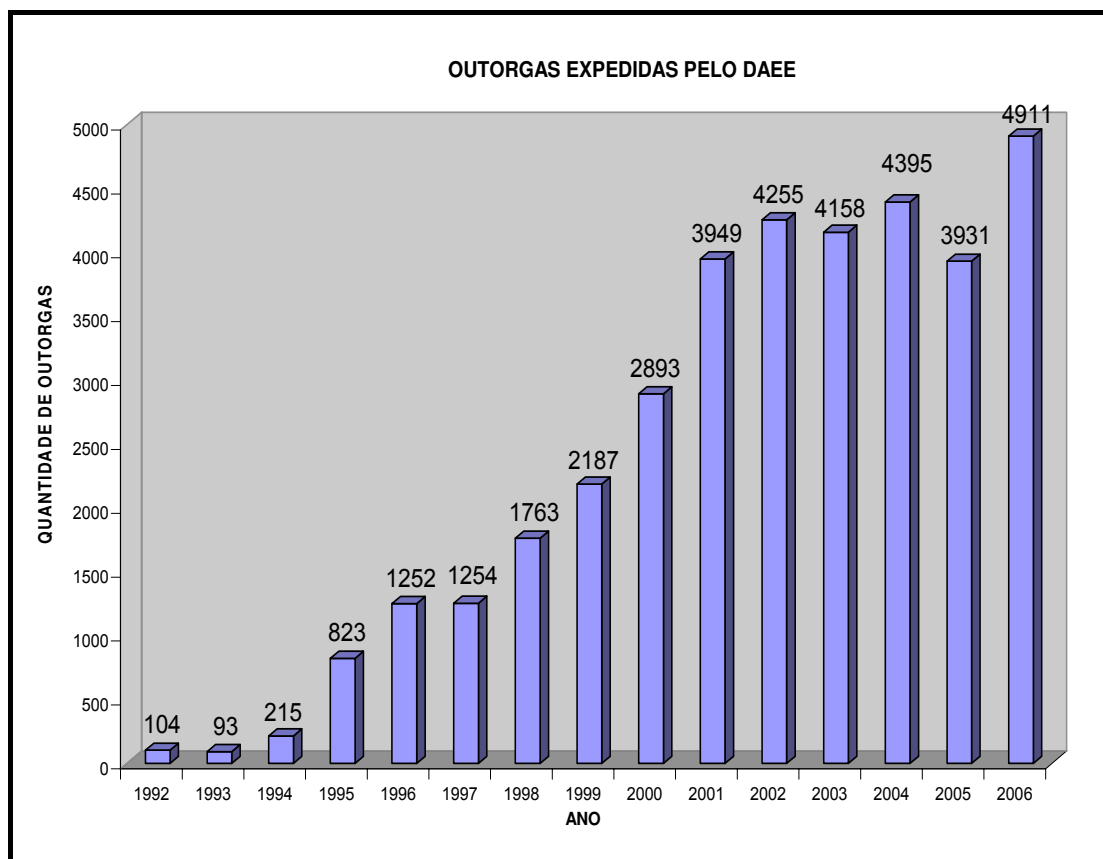
Com os dados globais de temperatura e precipitação gerados pelo HadCM3 para o Vale do Paraíba, cedidos pelo CPTEC/INPE, calculou-se o Balanço Hídrico – II, cenário A2 (2010-2039); Balanço Hídrico – III, cenário B2 (2010-2039); Balanço Hídrico – IV, cenário A2 (2040-2069); Balanço Hídrico – V, cenário (2040-2069); Balanço Hídrico – V, cenário A2 (2040-2069) e Balanço Hídrico – VI, cenário A2 (2040-2069).

### 3.6 DISPONIBILIDADE HÍDRICA

A disponibilidade hídrica tem sido foco de muita preocupação por muitos pesquisadores, principalmente porque a água deixou de ser um recurso inesgotável e ilimitado.

Para avaliar a disponibilidade hídrica de uma região, utilizou-se balanço hídrico climatológico, além das outorgas expedidas pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE.

Na figura-10 são apresentados os números de outorgas expedidas para todo o Estado de São Paulo.



**Figura 11: número de outorgas expedidas no Estado de São Paulo**  
**Fonte: DAEE (2007)**

Dados recentes de outorgas no Vale do Paraíba apontam: 19 outorgas para o ano de 2001, 41 para o ano de 2002, 149 até março de 2003, e 303 outorgas até o final do ano de 2003, 241 para o ano de 2004, 179 para o ano de 2005 (até 30/11/2005) e 274 outorgas para o ano de 2006.

Segundo o Relatório de Outorgas do Departamento de Águas e Energia Elétrica, o município de Taubaté apresenta 3.678,77 m<sup>3</sup>/h de vazão em captações superficiais outorgadas, sendo 2.433,00 m<sup>3</sup>/h para uso

público, 651,17 m<sup>3</sup>/h de vazão em captações subterrâneas outorgadas e 2.381,74 m<sup>3</sup>/h de vazão em lançamentos outorgados.

Estes dados de outorgas serão discutidos posteriormente no tópico resultados e discussões juntamente com os demais dados.

Com os dados populacionais do IBGE (tabela-3) para o município de Taubaté, e assumindo-se que o consumo seja de 200 L/dia, têm-se:

**Tabela-2: Dados populacionais do município de Taubaté e demanda hídrica**

<b>ANO</b>	<b>POPULAÇÃO</b>	<b>DEMANDA</b>
1996	220.230 habitantes	44.046.000 litros por dia
2000	244.165 habitantes	48.833.000 litros por dia

Fonte: IBGE, 2006.

Utilizando o método aritmético de projeção da população, estima-se que no ano 2099, o município de Taubaté terá uma população de 760.877 habitantes com uma demanda hídrica de 152.175.400 litros por dia.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram utilizados dados de precipitação e temperatura de 1950 até o ano 2009 que foram gentilmente cedidos pelo CPTEC/INPE, através do Dr. José Antonio Marengo Orsini.

Com os dados cedidos pelo CPTEC/INPE e os dados observacionais do posto da UNITAU para o período de 1992-2005, foram feitos os gráficos nos quais se obteve as retas de regressão linear, que foram utilizadas para ajustar os dados futuros. Este procedimento foi feito com as médias mensais do período de 1992-2005 para cada mês, tanto para os dados de temperatura como para os de precipitação, como mostram as figuras 11, 12, 13 e 14.

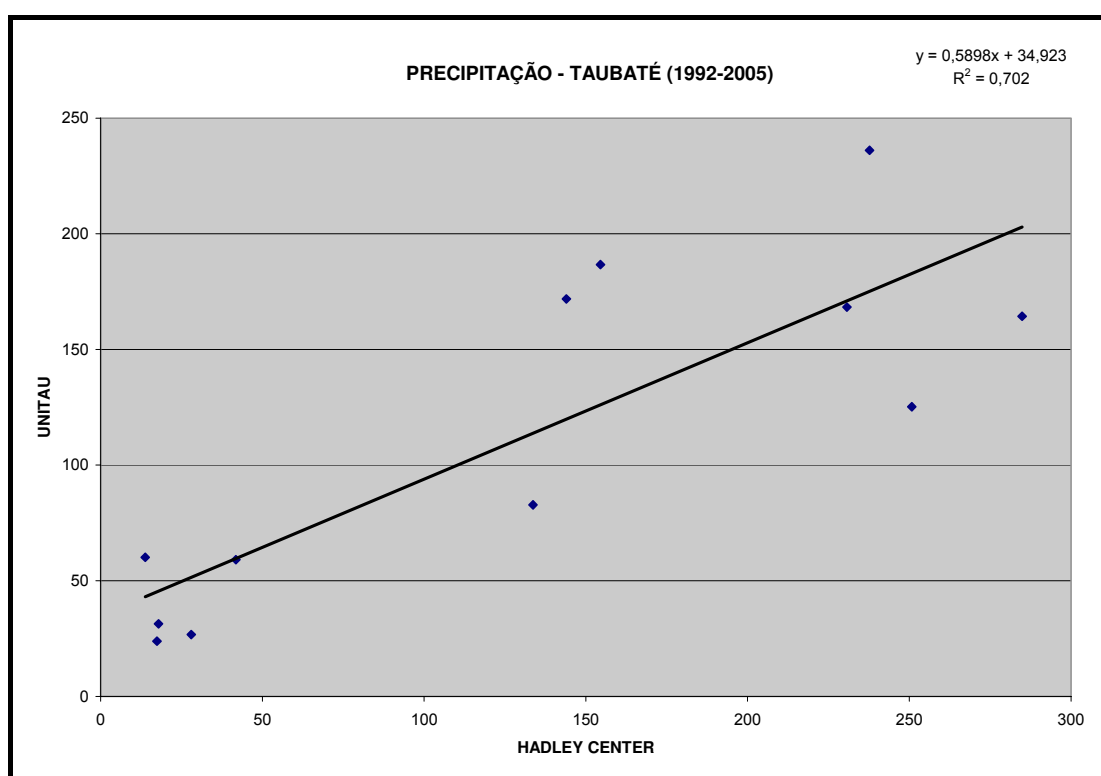
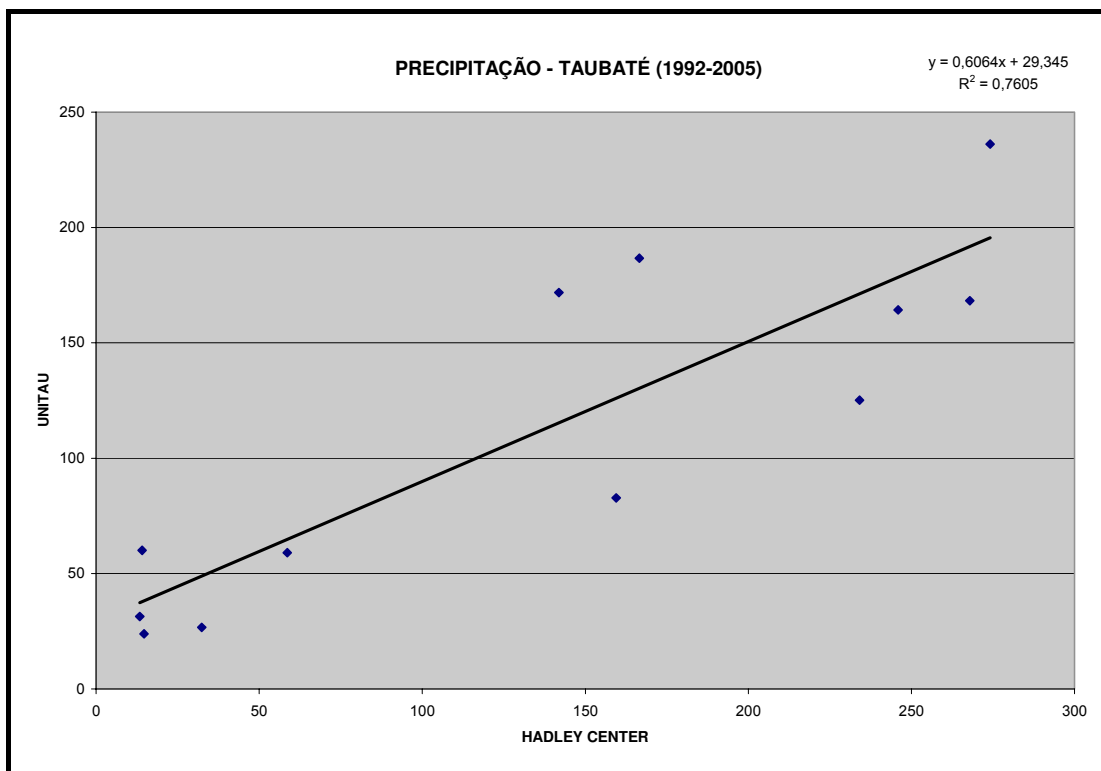
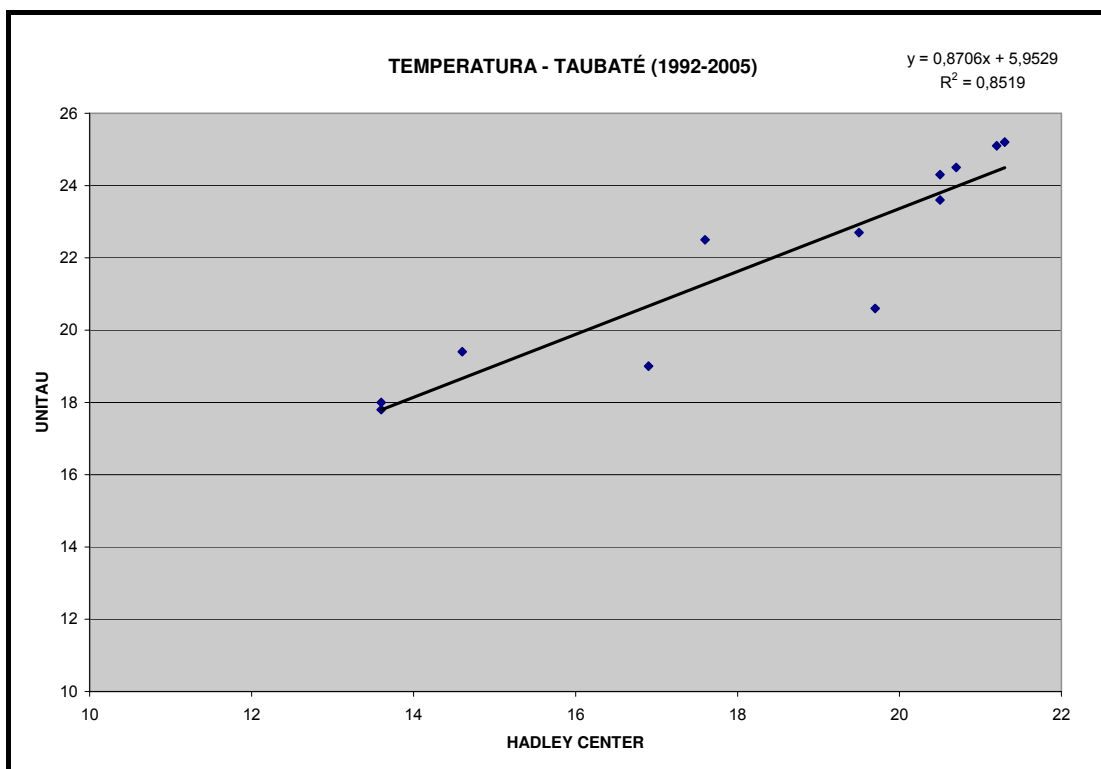


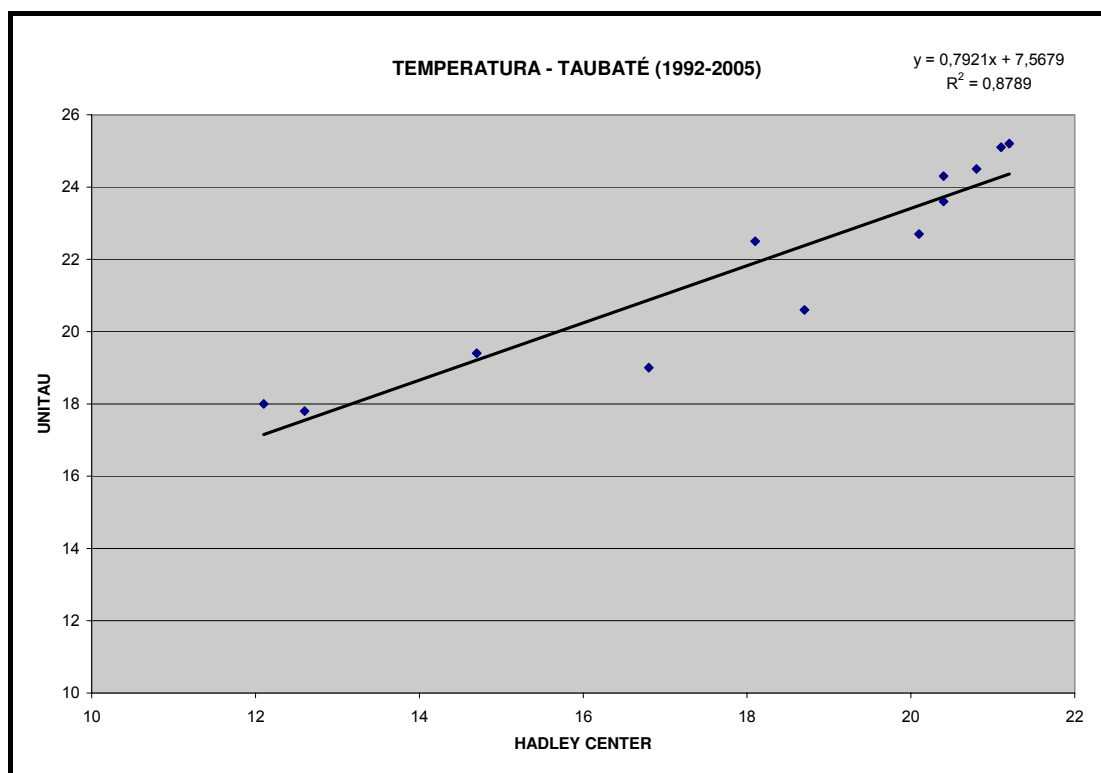
Figura 12: Comparação de precipitação entre os dados observacionais UNITAU e as simulações do Hadley Center (cenário A2)



**Figura 13: Comparação de precipitação entre os dados observacionais UNITAU e as simulações do Hadley Center (cenário B2)**



**Figura 14: Comparação de temperatura entre os dados observacionais (UNITAU) e as simulações do Hadley Center (cenário A2)**



**Figura 15: Comparação de temperatura entre os dados observacionais UNITAU e as simulações do Hadley Center (cenário B2)**

Com os dados corrigidos, foram estimadas as taxas de evapotranspiração potencial pelo método de Thornthwaite (1948), e a partir destes dados os balanços hídricos futuros.

Os balanços hídricos climatológicos foram calculados usando as normais climatológicas (série de 30 anos – normatizados pela Organização Mundial de Meteorologia - OMM) utilizando o método de Thornthwaite-Mather (1955) para o Vale do Paraíba para os períodos: 2010-2039, 2040-2069 e 2070-2099, para os cenários A2 e B2.

Com a série histórica de precipitação do posto E2-022 para o município de Taubaté, para o período de 1964 a 2005, completa e consistida após o procedimento descrito anteriormente (Figura-15), obteve-se a Figura 16, que apresenta uma precipitação total anual média de 1345,6 mm para o período.

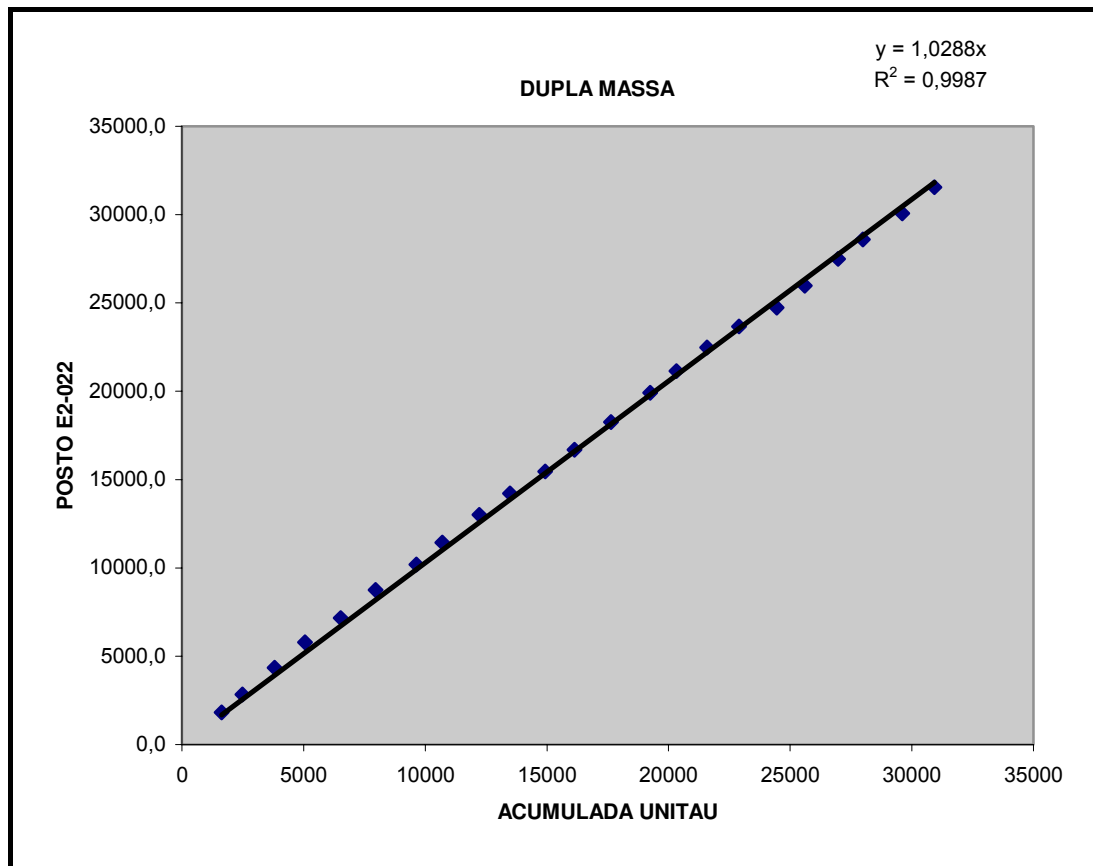
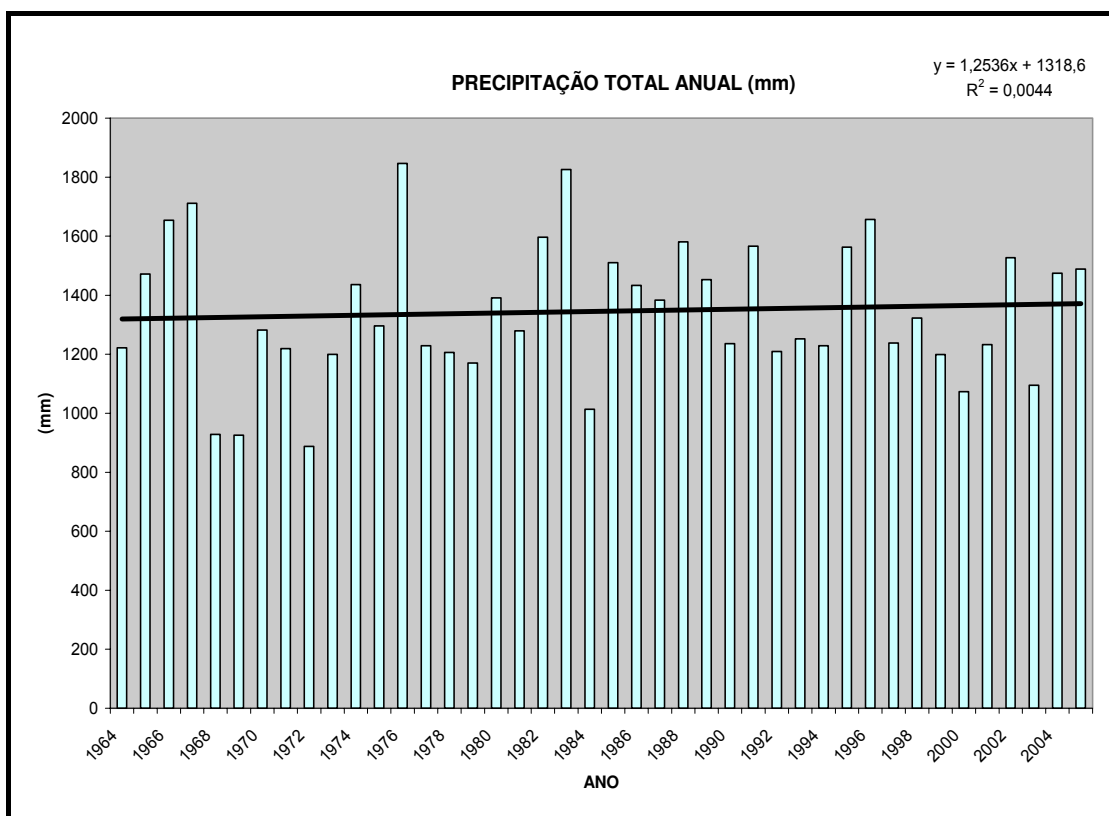


Figura 16: Consistência espacial – dupla massa do posto E2-022

Para completar a série histórica foram completadas 5,95% de falhas utilizando o método de ponderação regional.



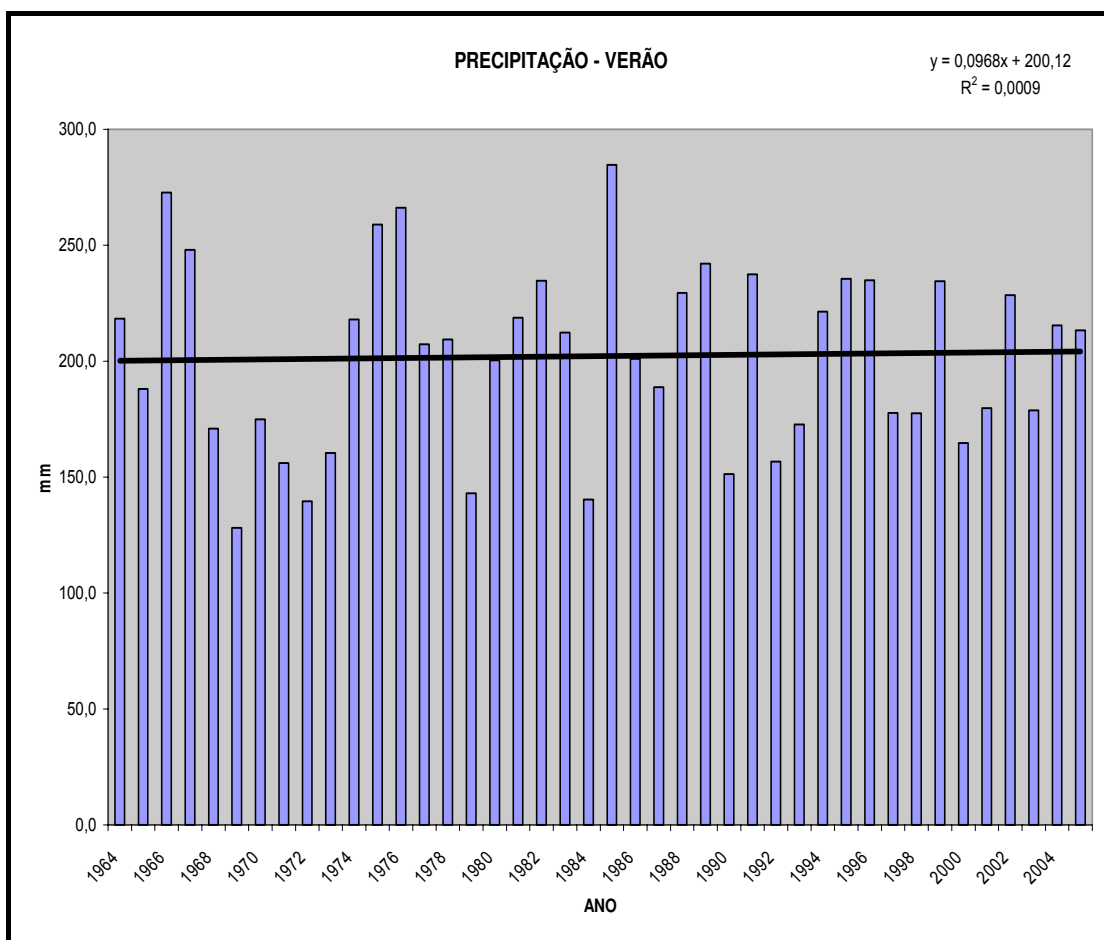
**Figura 17: Precipitação total anual (mm) para o município de Taubaté, período 1964-2005**

Observa-se na figura-16, que a variável precipitação apresenta tendência basicamente constante, ou seja, não apresenta uma tendência de mudanças (quer seja positiva ou negativa) o período de 1964 a 2005 (posto E2-022). Este resultado concorda com o trabalho de Folhes e Fisch (2007) que, estudando a precipitação da região de Taubaté (um outro conjunto de dados e com período menor, de 1983 a 2005), também não encontraram variações estatisticamente significativa.

Comparando-se a variável precipitação da série histórica do posto E2-022 com a série histórica do posto da Unitau para o período 1983 a 2005, observa-se que a média do período são aproximadas, 1372,2 mm e 1344 mm respectivamente; e para o ano de 2003, ano em que houve conflito por disponibilidade hídrica, foram registrados 1095,2 mm (posto E2-022) e 1033,4 mm (posto Unitau), quase 300 mm abaixo da média do período de comparação.

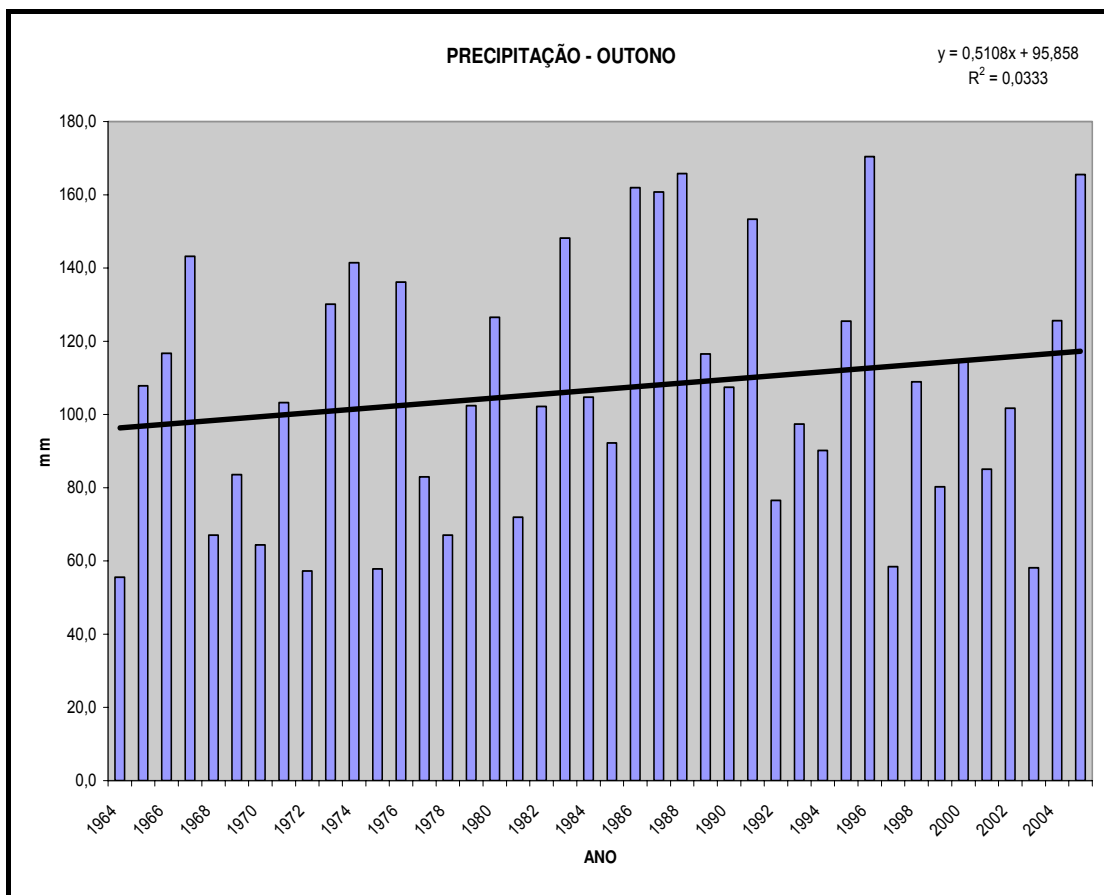


Com a finalidade de investigar se há ou não alguma variabilidade intranual, realizou-se análises para as diferentes estações do ano (verão, outono, inverno e primavera), que são apresentadas nas figuras 17, 18, 19 e 20.



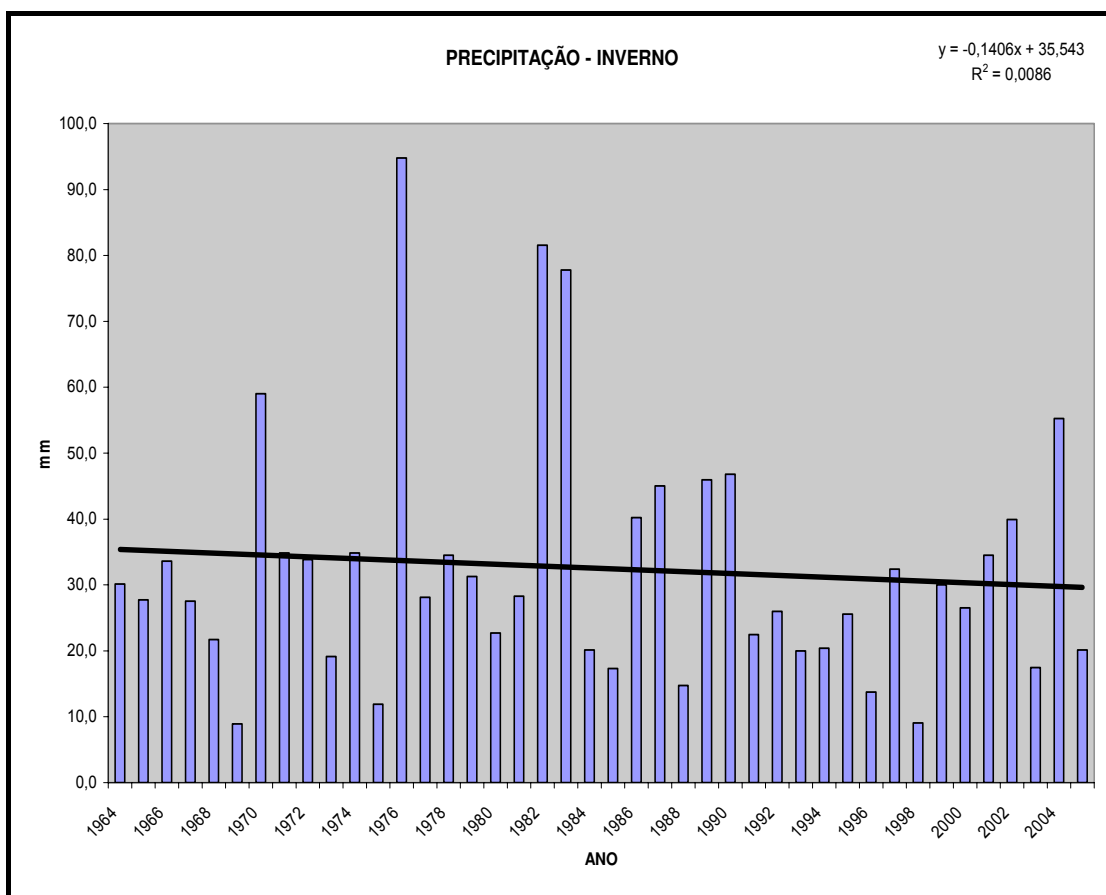
**Figura 18: Precipitação do trimestre verão (mm) para o município de Taubaté, período 1964-2005**

A figura-17, como se observa o gráfico apresenta uma linha de tendência constante durante todo o período de verão (1964-2005).



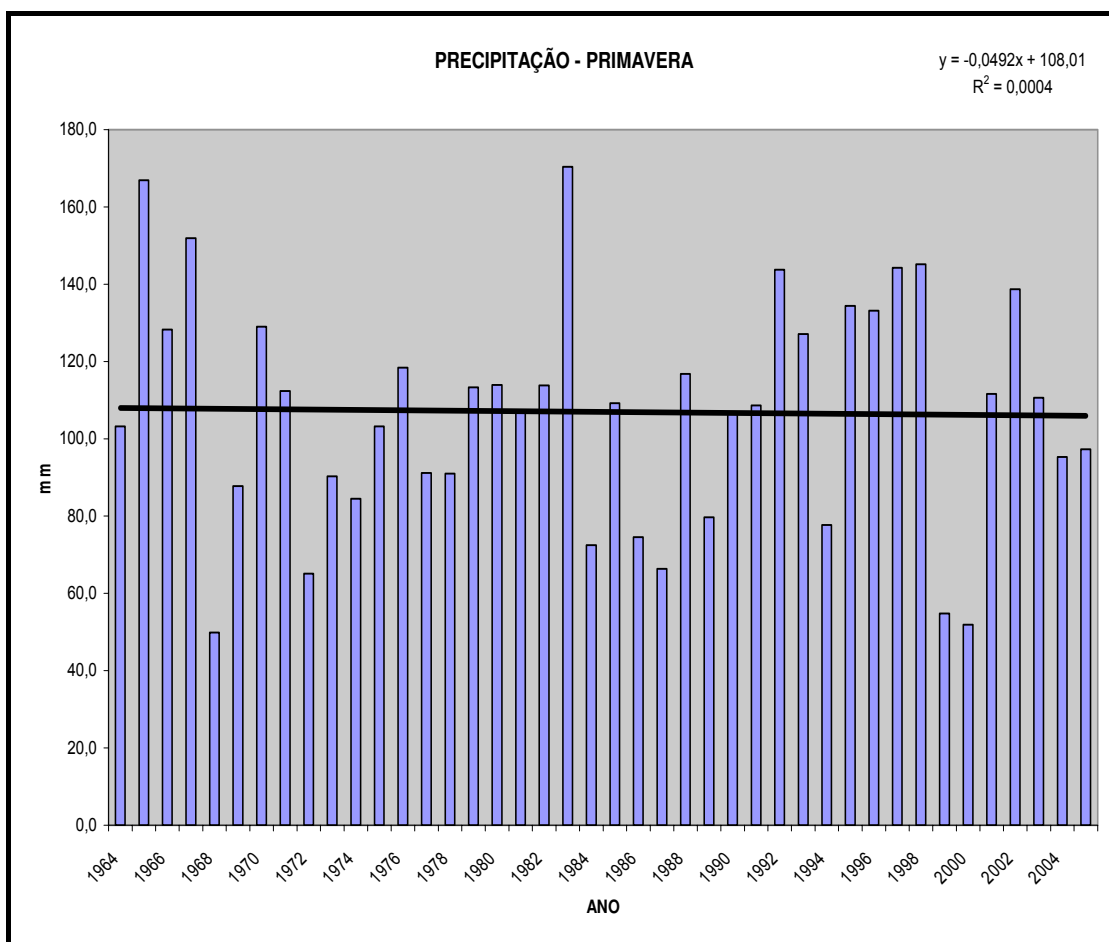
**Figura 19: Precipitação do trimestre outono (mm) para o município de Taubaté, período 1964-2005**

A figura-18 apresenta a precipitação no outono, e como visto apresenta uma tendência de aumento na precipitação durante esse período (1964-2005).



**Figura 20: Precipitação do trimestre inverno (mm) para o município de Taubaté, período 1964-2005**

A figura-19 apresenta a precipitação do período de inverno, e observa-se uma leve tendência a diminuir a precipitação para o período (1964-2005).



**Figura 21: Precipitação do trimestre primavera (mm) para o município de Taubaté, período 1964-2005**

A figura-20 apresenta a precipitação no período de primavera, e assim como se observa no período de verão, apresenta uma linha de tendência praticamente constante.

Como se pode perceber nas figuras 16, 17, 18, 19 e 20, não há indicação de haver alguma variabilidade anual na precipitação, quer seja nas escalas de inter e intra-anual.

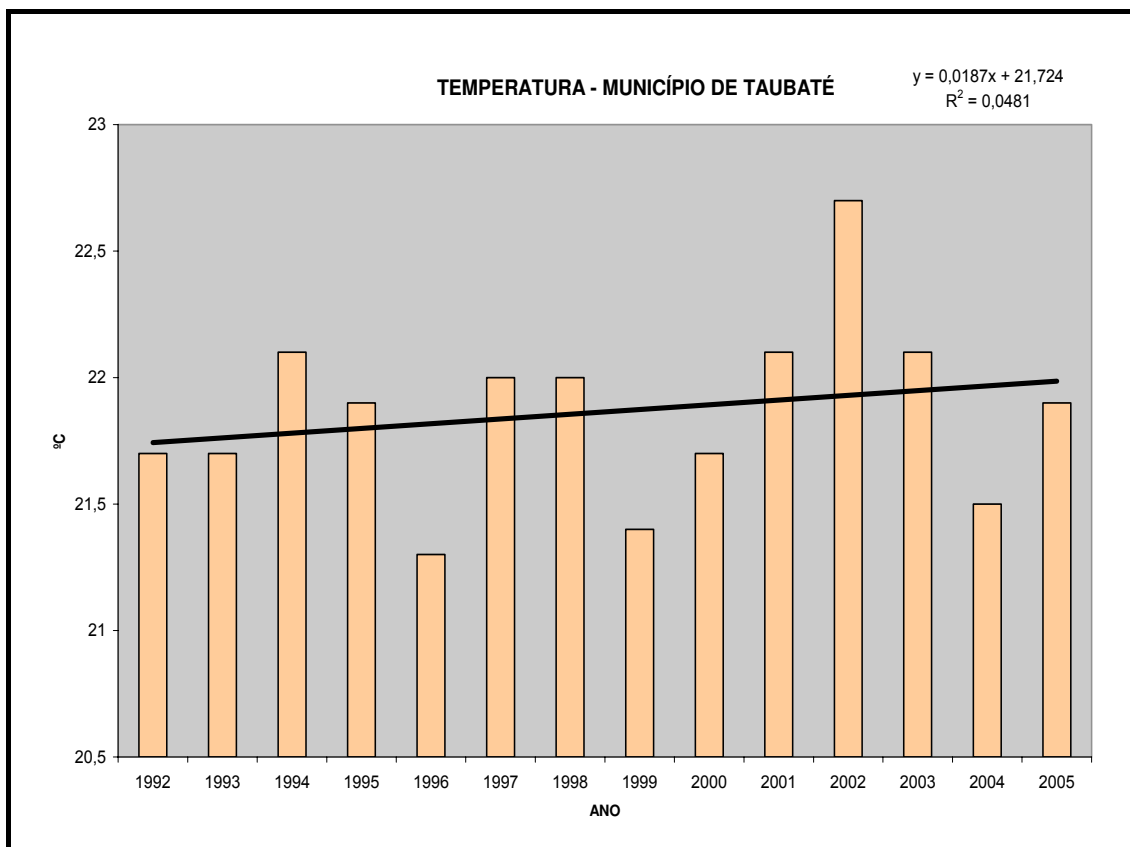
A partir dos dados de precipitação e temperatura do posto meteorológico da Universidade de Taubaté, realizou-se o Balanço Hídrico – I (Tabela-4), para o município de Taubaté (1992-2005), e deste balanço hídrico obteve-se o gráfico de temperatura (figura-21), gráfico de déficit (figura-22), gráfico de excedente hídrico (figura-23) que serão discutidos posteriormente.

**Tabela-3: Balanço Hídrico – I: município de Taubaté (1992-2005)**

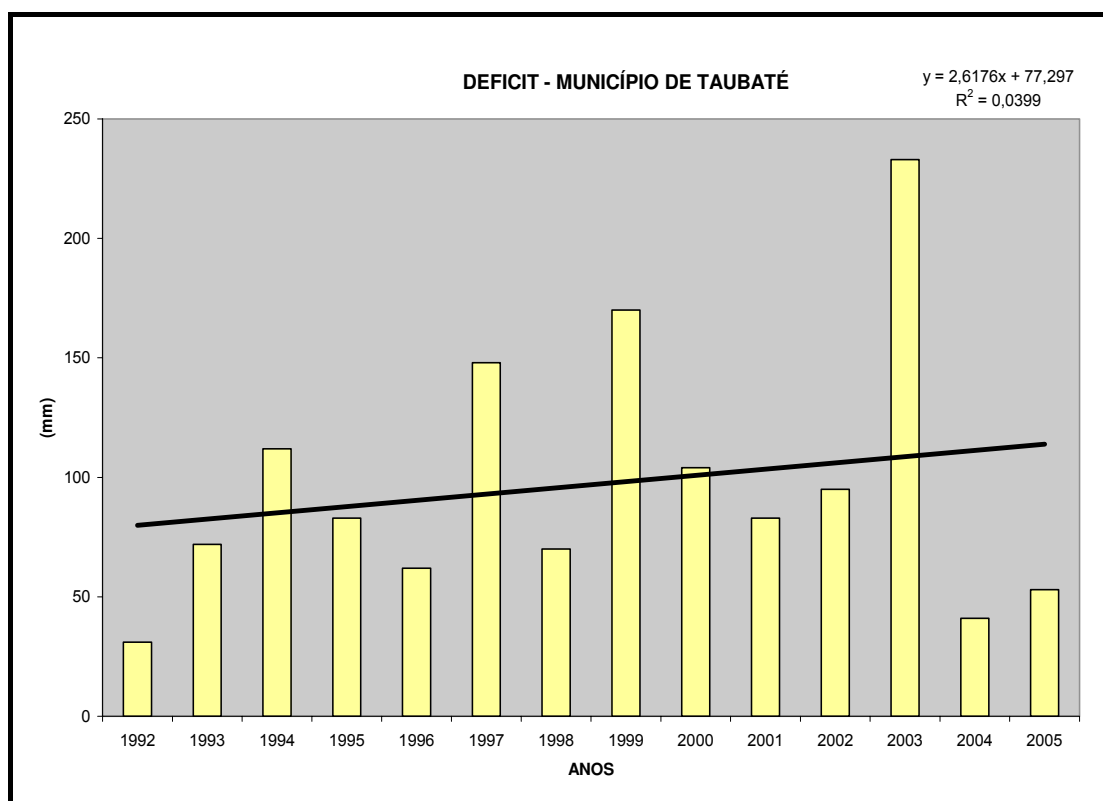
BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO - MUNICÍPIO DE TAUBATÉ (1992-2005)											
MÊS	T	ET <sub>P</sub> mm	Cor	ETP mm	P mm	P - ETP	ARM mm	ALT mm	ETR mm	DEF mm	EXC mm
JAN	25,0	116,75	1,15	134	236	102	100	0	134	0	102
FEV	25,1	117,92	1,00	118	187	69	100	0	118	0	69
MAR	24,2	107,67	1,05	113	172	59	100	0	113	0	59
ABR	22,5	89,80	0,97	87	59	-28	76	-24	83	4	0
MAI	19,4	62,08	0,95	59	60	1	77	1	59	0	0
JUN	18,0	51,52	0,89	46	24	-22	61	-15	39	7	0
JUL	17,8	50,10	0,94	47	31	-16	52	-9	40	7	0
AGO	18,9	58,17	0,98	57	27	-30	39	-14	41	16	0
SET	20,6	72,09	1,00	72	83	11	50	11	72	0	0
OUT	22,7	91,81	1,09	100	125	25	75	25	100	0	0
NOV	23,5	100,08	1,10	110	164	54	100	25	110	0	29
DEZ	24,5	111,02	1,17	130	168	38	100	0	130	0	38
ANO	21,9	--	--	1073	1336	263	--	0	1039	34	297

Observa-se na tabela-4: Balanço Hídrico – I, que a precipitação de 1336 mm do período (1982-2005) é bem próxima da precipitação 1345,6 mm do período anterior (1964-2005) da figura-16. Salienta-se que estes dois conjuntos de dados são independentes, ou seja, foram obtidos por pluviômetros em locais diferentes e também com diferentes períodos de tempo. Isto mostra que estes dados realmente representam a distribuição da precipitação local.

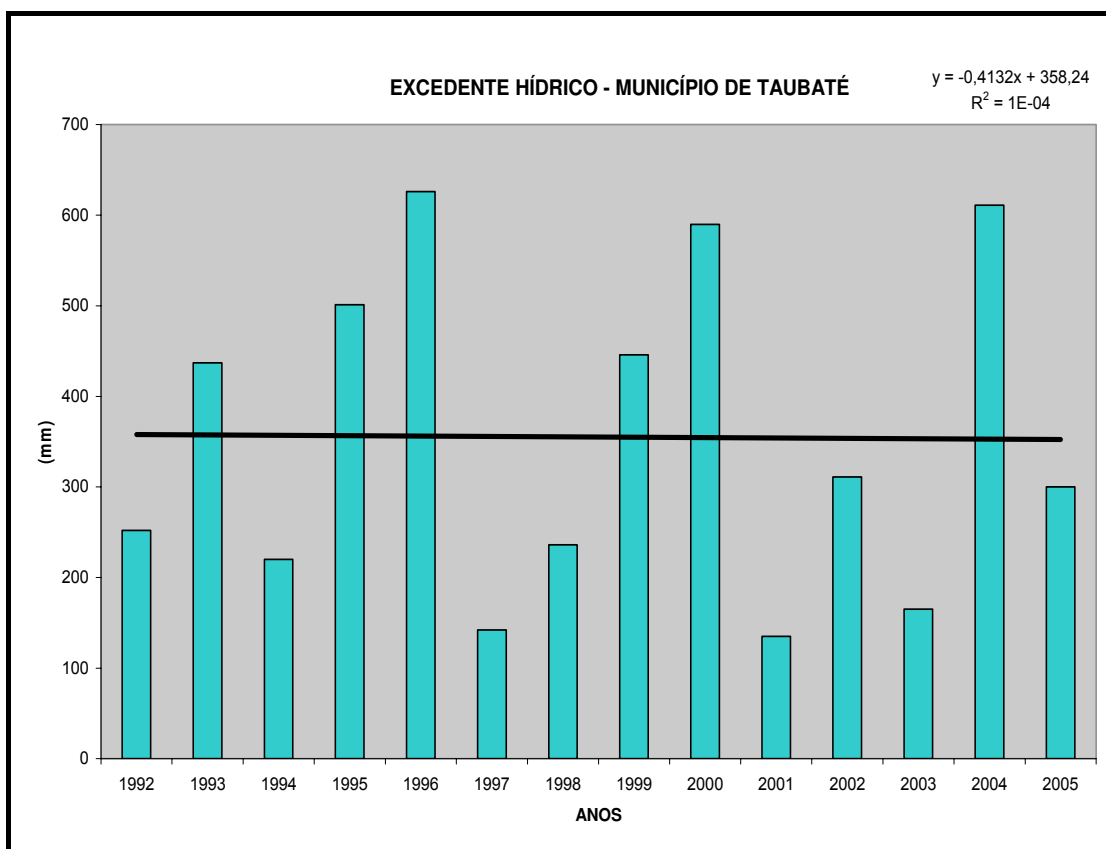
Os resultados mostram também um déficit de 34 mm durante a estação de inverno, ou seja, durante este período faltou 34 mm de água no solo. Apesar do inverno apresentar baixo índice de precipitação, que é típico da estação, o município de Taubaté para o período (1992-2005) não apresentou problemas de disponibilidade hídrica, pois a água armazenada no solo é suficiente para suprir esta demanda.



**Figura 22: Temperatura média para Taubaté (1992-2005)**



**Figura 23: Déficit para Taubaté (1992-2005)**



**Figura 24: Excedente hídrico para Taubaté (1992-2005)**

Como resultado das simulações dos cenários futuros, com os dados globais de temperatura e precipitação gerados pelo HadCM3, obteve-se: tabela-4: Balanço Hídrico – II, cenário A2 (2010-2039); tabela-5: Balanço Hídrico – III, cenário B2 (2010-2039); tabela-6: Balanço Hídrico – IV, cenário A2 (2040-2069); tabela-7: Balanço Hídrico – V, cenário (2040-2069); tabela-8: Balanço Hídrico – V, cenário A2 (2040-2069) e tabela-9: Balanço Hídrico – VI, cenário A2 (2040-2069).

**Tabela-4: Balanço Hídrico – II: Município de Taubaté (2010-2039) para o cenário A2**

<b>BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO - MUNICÍPIO DE TAUBATÉ (2010-2039)</b>											
<b>MÊS</b>	<b>T (° C)</b>	<b>ET<sub>p</sub> mm</b>	<b>Cor</b>	<b>ETP mm</b>	<b>P mm</b>	<b>P - ETP</b>	<b>ARM mm</b>	<b>ALT mm</b>	<b>ETR mm</b>	<b>DEF mm</b>	<b>EXC mm</b>
JAN	25,1	117,36	1,15	135	178	43	100	0	135	0	43
FEV	24,9	114,95	1,00	115	138	23	100	0	115	0	23
MAR	24,1	105,60	1,05	111	111	0	100	0	111	0	0
ABR	22,4	87,33	0,97	85	70	-15	86	-14	84	1	0
MAI	19,5	60,91	0,95	58	49	-9	79	-7	56	2	0
JUN	17,6	46,67	0,89	42	46	4	83	4	42	0	0
JUL	18,2	50,92	0,94	48	46	-2	81	-2	48	0	0
AGO	20,6	70,25	0,98	69	62	-7	76	-5	67	2	0
SET	23,0	93,53	1,00	94	129	35	100	24	94	0	11
OUT	24,1	105,60	1,09	115	192	77	100	0	115	0	77
NOV	24,3	107,89	1,10	119	206	87	100	0	119	0	87
DEZ	24,6	111,39	1,17	130	194	64	100	0	130	0	64
<b>ANO</b>	<b>22,4</b>	<b>--</b>	<b>--</b>	<b>1121</b>	<b>1421</b>	<b>300</b>	<b>--</b>	<b>0</b>	<b>1116</b>	<b>5</b>	<b>305</b>

**Tabela-5: Balanço Hídrico – III: Município de Taubaté (2010-2039) para o cenário B2**

<b>BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO - MUNICÍPIO DE TAUBATÉ (2010-2039)</b>											
<b>MÊS</b>	<b>T (° C)</b>	<b>ET<sub>p</sub> mm</b>	<b>Cor</b>	<b>ETP mm</b>	<b>P mm</b>	<b>P - ETP</b>	<b>ARM mm</b>	<b>ALT mm</b>	<b>ETR mm</b>	<b>DEF mm</b>	<b>EXC mm</b>
JAN	24,8	113,32	1,15	130	178	48	100	0	130	0	48
FEV	24,8	113,32	1,00	113	148	35	100	0	113	0	35
MAR	24,2	106,16	1,05	112	93	-19	83	-17	110	2	0
ABR	22,5	87,44	0,97	85	59	-26	64	-19	78	7	0
MAI	20,4	67,35	0,95	64	46	-18	53	-11	57	7	0
JUN	18,8	54,18	0,89	48	38	-10	48	-5	43	5	0
JUL	18,9	54,95	0,94	52	40	-12	43	-5	45	7	0
AGO	21,5	77,47	0,98	76	48	-28	32	-10	58	18	0
SET	23,3	95,97	1,00	96	106	10	42	10	96	0	0
OUT	24,0	103,84	1,09	113	171	58	100	58	113	0	0
NOV	24,3	107,33	1,10	118	180	62	100	0	118	0	62
DEZ	24,8	113,32	1,17	133	198	65	100	0	133	0	65
<b>ANO</b>	<b>22,7</b>	<b>--</b>	<b>--</b>	<b>1140</b>	<b>1305</b>	<b>165</b>	<b>--</b>	<b>0</b>	<b>1095</b>	<b>45</b>	<b>210</b>



**Tabela-6: Balanço Hídrico – IV: Município de Taubaté (2040-2069) para o cenário A2**

<b>BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO - MUNICÍPIO DE TAUBATÉ (2040-2069)</b>											
<b>MÊS</b>	<b>T (° C)</b>	<b>ET<sub>P</sub> mm</b>	<b>Cor</b>	<b>ETP mm</b>	<b>P mm</b>	<b>P - ETP</b>	<b>ARM mm</b>	<b>ALT mm</b>	<b>ETR mm</b>	<b>DEF mm</b>	<b>EXC mm</b>
JAN	26,1	129,33	1,15	149	180	31	100	0	149	0	31
FEV	26,1	129,33	1,00	129	146	17	100	0	129	0	17
MAR	25,3	117,98	1,05	124	111	-13	88	-12	123	1	0
ABR	23,8	98,50	0,97	96	67	-29	66	-22	89	7	0
MAI	21,4	71,97	0,95	68	49	-19	54	-11	60	8	0
JUN	19,7	56,37	0,89	50	47	-3	53	-2	49	1	0
JUL	19,9	58,08	0,94	55	46	-9	48	-5	51	4	0
AGO	22,6	84,55	0,98	83	62	-21	39	-9	71	12	0
SET	25,0	113,89	1,00	114	102	-12	35	-4	106	8	0
OUT	25,6	122,15	1,09	133	191	58	93	58	133	0	0
NOV	25,5	120,75	1,10	133	210	77	100	7	133	0	70
DEZ	25,7	123,57	1,17	145	201	56	100	0	145	0	56
<b>ANO</b>	<b>23,9</b>	<b>--</b>	<b>--</b>	<b>1279</b>	<b>1412</b>	<b>133</b>	<b>--</b>	<b>0</b>	<b>1238</b>	<b>41</b>	<b>174</b>

**Tabela-7: Balanço Hídrico – V: Município de Taubaté (2040-2069) para o cenário B2**

<b>BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO - MUNICÍPIO DE TAUBATÉ (2040-2069)</b>											
<b>MÊS</b>	<b>T (° C)</b>	<b>ET<sub>P</sub> mm</b>	<b>Cor</b>	<b>ETP mm</b>	<b>P mm</b>	<b>P - ETP</b>	<b>ARM mm</b>	<b>ALT mm</b>	<b>ETR mm</b>	<b>DEF mm</b>	<b>EXC mm</b>
JAN	25,5	121,19	1,15	139	146	7	100	0	139	0	7
FEV	25,5	121,19	1,00	121	133	12	100	0	121	0	12
MAR	24,8	111,91	1,05	118	118	0	100	0	118	0	0
ABR	23,4	94,76	0,97	92	58	-34	71	-29	87	5	0
MAI	21,1	70,47	0,95	67	46	-21	58	-13	59	8	0
JUN	19,5	56,23	0,89	50	37	-13	51	-7	44	6	0
JUL	19,8	58,74	0,94	55	38	-17	43	-8	46	9	0
AGO	22,5	84,70	0,98	83	49	-34	30	-12	61	22	0
SET	25,1	115,83	1,00	116	93	-23	24	-6	99	17	0
OUT	25,2	117,16	1,09	128	173	45	69	45	128	0	0
NOV	24,8	111,91	1,10	123	228	105	100	31	123	0	74
DEZ	25,3	118,49	1,17	139	195	56	100	0	139	0	56
<b>ANO</b>	<b>23,5</b>	<b>--</b>	<b>--</b>	<b>1231</b>	<b>1314</b>	<b>83</b>	<b>--</b>	<b>0</b>	<b>1165</b>	<b>66</b>	<b>149</b>

**Tabela-8: Balanço Hídrico – VI: Município de Taubaté (2070-2099) para o cenário A2**

<b>BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO - MUNICÍPIO DE TAUBATÉ (2070-2099)</b>											
<b>MÊS</b>	<b>T (° C)</b>	<b>ET<sub>p</sub> mm</b>	<b>Cor</b>	<b>ETP mm</b>	<b>P mm</b>	<b>P - ETP</b>	<b>ARM mm</b>	<b>ALT mm</b>	<b>ETR mm</b>	<b>DEF mm</b>	<b>EXC mm</b>
JAN	27,4	144,70	1,15	166	191	25	100	0	166	0	25
FEV	27,4	144,70	1,00	145	168	23	100	0	145	0	23
MAR	26,6	137,48	1,05	144	120	-24	→ 79	-21	141	3	0
ABR	25,1	111,38	0,97	108	79	-29	59	-20	99	9	0
MAI	23,1	83,74	0,95	80	53	-27	45	-14	67	13	0
JUN	21,9	69,72	0,89	62	44	-18	38	-7	51	11	0
JUL	22,2	73,06	0,94	69	51	-18	31	-6	57	12	0
AGO	24,9	108,36	0,98	106	56	-50	19	-12	68	38	0
SET	26,9	140,25	1,00	140	109	-31	14	-5	114	26	0
OUT	27,3	143,83	1,09	157	180	23	37	23	157	0	0
NOV	27,3	143,83	1,10	158	208	50	87	50	158	0	0
DEZ	27,2	142,95	1,17	167	227	60	100	13	167	0	47
<b>ANO</b>	<b>25,6</b>	<b>--</b>	<b>--</b>	<b>1502</b>	<b>1486</b>	<b>-16</b>	<b>--</b>	<b>0</b>	<b>1391</b>	<b>111</b>	<b>95</b>

**Tabela-9: Balanço Hídrico – VII: Município de Taubaté (2070-2099) para o cenário B2**

<b>BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO - MUNICÍPIO DE TAUBATÉ (2070-2099)</b>											
<b>MÊS</b>	<b>T (° C)</b>	<b>ET<sub>p</sub> mm</b>	<b>Cor</b>	<b>ETP mm</b>	<b>P mm</b>	<b>P - ETP</b>	<b>ARM mm</b>	<b>ALT mm</b>	<b>ETR mm</b>	<b>DEF mm</b>	<b>EXC mm</b>
JAN	26,0	127,50	1,15	147	191	44	100	0	147	0	44
FEV	26,1	129,00	1,00	129	162	33	100	0	129	0	33
MAR	25,5	120,13	1,05	126	100	-26	→ 77	-23	123	3	0
ABR	24,2	102,32	0,97	99	64	-35	54	-23	87	12	0
MAI	22,1	77,47	0,95	74	48	-26	42	-12	60	14	0
JUN	20,9	65,28	0,89	58	42	-16	36	-6	48	10	0
JUL	21,1	67,22	0,94	63	40	-23	28	-7	47	16	0
AGO	23,3	91,10	0,98	89	51	-38	19	-9	60	29	0
SET	25,1	114,44	1,00	114	108	-6	18	-1	109	5	0
OUT	25,8	124,51	1,09	136	184	48	66	48	136	0	0
NOV	26,1	129,00	1,10	142	226	84	100	34	142	0	50
DEZ	25,9	126,00	1,17	147	208	61	100	0	147	0	61
<b>ANO</b>	<b>24,3</b>	<b>--</b>	<b>--</b>	<b>1324</b>	<b>1424</b>	<b>100</b>	<b>--</b>	<b>0</b>	<b>1236</b>	<b>88</b>	<b>188</b>

Analisando-se o Balanço Hídrico atual (1992-2005), observa-se de que há um total anual de precipitação de 1336 mm, associado a uma evapotranspiração anual de 1073 mm, com um superávit de água de 263 mm. Este Balanço Hídrico apresenta 4 meses de deficiência de água (no valor integrado anual de 34 mm) e 5 meses de excedente de água (totalizando 297 mm). O armazenamento mínimo de água no solo foi de 39 mm. Resumindo, não ocorre falta de água, o aporte de água é superior a demanda evapotranspirativa.

Considerando-se o cenário A2 e os Balanços Hídricos para os períodos de 2010-2039, 2040-2069 e 2070-2099, observa-se que a precipitação aumenta durante este período, bem como a evapotranspiração. A diferença de água (precipitação – evapotranspiração) diminui abruptamente, principalmente para os últimos 30 anos, quando a evapotranspiração será superior a precipitação em 16 mm. A deficiência de água chega a ser de até 7 meses (para os casos de 2040-2069 e 2070-2099), com déficit integrados de 41 e 111 mm, respectivamente. Associado a este comportamento, o excedente diminui continuamente até o valor de 95 mm no período de 2069-2070.

Os números para o caso B2 também são similares, porém um pouco inferior ao caso A2. Para o último período (2070-2099), a precipitação ainda é superior (100 mm) a evapotranspiração, o que provoca déficits de água menores e excedentes de água levemente superiores ao do cenário A2. Mas o comportamento geral é o mesmo.

A Tabela 10 abaixo apresenta um resumo geral dos resultados obtidos, para facilitar a discussão.

**Tabela-10: Resumo geral dos resultados**

<b>TAUBATÉ</b>	<b>T (° C)</b>	<b>ETP mm</b>	<b>P mm</b>	<b>DEF mm</b>	<b>EXC mm</b>
1992-2005	21,9	1073	1336	34	297
<b>CENARIO A2</b>	<b>T (° C)</b>	<b>ETP mm</b>	<b>P mm</b>	<b>DEF mm</b>	<b>EXC mm</b>
2010-2039	22,4	1121	1421	5	305
2040-2069	23,9	1279	1412	41	174
2070-2099	25,6	1502	1486	111	95
<b>CENARIO B2</b>	<b>T (° C)</b>	<b>ETP mm</b>	<b>P mm</b>	<b>DEF mm</b>	<b>EXC mm</b>
2010-2039	22,7	1140	1305	45	210
2040-2069	23,5	1231	1314	66	149
2070-2099	24,3	1324	1424	88	188

Os resultados obtidos mostram que nos dois cenários A2 e B2, a temperatura aumentará, comparando-se o período 1992-2005 e a normal climatológica (2070-2099) apresenta que a temperatura aumentará 3,7 °C no cenário A2 e 2,4 °C no cenário B2.

Quanto ao valor total anual médio de precipitação, esta também aumentará levando-se em conta o valor total anual médio do período 1992-2005 e a normal climatológica (2070-2099), em 150 mm para o cenário A2 e 88 mm para o cenário B2.

A evapotranspiração potencial apresenta tendência de aumento em virtude do aumento de temperatura e precipitação, aumentando 429 mm comparando o período 1992-2005 e a normal climatológica (2070-2099) no cenário A2 e 251 mm no cenário B2.

Como se observa no período de 1992-2005, e nos cenários A2 e B2 nos períodos 2010-2039, 2040-2069 e 2070-2099, existe uma variabilidade significativa nos valores de déficit e excedente hídrico.

Percebe-se que o déficit hídrico apresenta uma tendência crescente no decorrer dos anos, e comparando o período 1992-2005 e a normal climatológica 2070-2099, há um acréscimo de 77 mm no cenário A2 e 54mm no cenário B2, isto significa que nos períodos de estiagem a falta de água

será cada vez maior, e a cada ano esta se tornará mais severa, nos dois cenários climáticos futuros.

Por outro lado o excedente hídrico apresenta uma tendência de decréscimo da normal climatológica 2070-2099 em relação ao período 1992-2005. Nota-se um decréscimo de 202 mm no cenário A2 e 109 mm no cenário B2, ou seja, a cada ano o excedente hídrico diminui, diminuindo também a alimentação do lençol freático e conseqüentemente dos rios.

Analisando a demanda de água por outorgas na região (Figura 14), nota-se um crescimento elevado com o decorrer dos anos no Estado de São Paulo. O Vale do Paraíba também apresenta esta tendência de crescimento no número de outorgas.

Segundo o Relatório de Outorgas do Departamento de Águas e Energia Elétrica, o município de Taubaté apresenta 3.678,77 m<sup>3</sup>/h de vazão em captações superficiais outorgadas, 651,17 m<sup>3</sup>/h de vazão em captações subterrâneas outorgadas e 2.381,74 m<sup>3</sup>/h de vazão em lançamentos outorgados, sendo que estes valores deverão aumentar com a efetivação da cobrança estadual nas bacias hidrográficas do Rio Paraíba do Sul, considerando que o Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE possui, para a Bacia do Rio Paraíba do Sul, cadastro com cerca de 1100 usos passíveis de outorga e de cobrança segundo a deliberação 05/2006 do Comitê das Bacias Hidrográficas do Rio Paraíba do Sul – CBH-PS, e com maior fiscalização, conseqüentemente as captações e lançamentos clandestinos deverão ser regularizados. Somando estas informações de outorgas, os cenários ficam mais sombrios.

Com o método aritmético de projeção da população para 2015 e 2016 para os cenários A2, e 2016 e 2017 para os cenários B2, com os excedentes hídricos dos balanços hídricos e, considerando em hipótese das captações superficiais aumentarem em 50%, obteve-se os seguintes resultados (tabela-11):

**Tabela 11: População X Demandas**

<b>CENÁRIO A2</b>				
<b>ANO</b>	<b>POPULAÇÃO</b>	<b>DEMANDA (200 L/hab/dia)</b>	<b>OUTORGA + 50%</b>	<b>EXCEDENTE</b>
2015	319.961 habitantes	63.992.200	1.245,77 m <sup>3</sup> /h	473 mm
2016	325.210 habitantes	65.042.000	1.245,77 m <sup>3</sup> /h	252 mm
<b>CENÁRIO B2</b>				
<b>ANO</b>	<b>POPULAÇÃO</b>	<b>DEMANDA (200 L/hab/dia)</b>	<b>OUTORGA + 50%</b>	<b>EXCEDENTE</b>
2016	325.210 habitantes	65.042.000	1.245,77 m <sup>3</sup> /h	404 mm
2017	330.459 habitantes	66.091.800	1.245,77 m <sup>3</sup> /h	271 mm

Recentemente, o CEIVAP (2006) publicou um relatório sobre o Plano de Recursos Hídricos na região do Rio Paraíba do Sul e apontam que, considerando o ano de 2005, não existe falta de água na Bacia para as atividades atuais. Entretanto, os próprios autores ressaltam de que isto não representa que exista um grande volume de água disponível, a despeito de que os vários reservatórios de água estão com uma capacidade bem cheia. Um outro ponto a ser considerado, neste relatório, é que os estudos realizados pela COPPE/UFRJ para os cenários futuros somente levaram em conta as características hidroclimatológicas atuais (série temporal das vazões e precipitações), associado a um crescimento urbano e demanda de água nas mesmas proporções.

O ponto falho é não considerar os cenários climáticos futuros (por exemplo, estas simulações do Hadley Center/CPTEC-INPE), pois a atmosfera tem um papel fundamental no ciclo hidrológico, através da formação de nuvens e chuvas correspondentes. Um outro aspecto a ser considerado, é com relação a um possível abastecimento de água do Rio Paraíba do Sul para a região Metropolitana de São Paulo, conforme o estudo apresentado por Airoidi (2004). Se isto ocorrer, a disponibilidade de água na região do Vale do Paraíba será menor ainda, pois, além do aumento de população e do uso da água por atividades agrícolas (por exemplo, irrigação

e reflorestamento por eucaliptos) e industriais, também será necessário abastecer a região de São Paulo.

De acordo com São Paulo (1977) citado por Reis (2005 b), o balanço do fluxo de água subterrânea mostra no ano de 2000, ano final da simulação, que a recarga no trecho paulista da bacia é de 228,4 milhões de m<sup>3</sup> e o bombeamento de 174,8 milhões de m<sup>3</sup>. No mesmo ano, o rio contribuiu com 25,9 milhões de m<sup>3</sup> no trecho de Jacareí a São José dos Campos (o fluxo de água subterrânea é na direção dos rios para o aquífero), enquanto no trecho de São José dos Campos até Cruzeiro, o fluxo é na direção do aquífero ao rio, na taxa de 103,2 milhões de m<sup>3</sup> por ano. A soma dos valores indicava para o aquífero um balanço negativo de 23,7 milhões de m<sup>3</sup> no ano de 2000.

Conforme boletim nº 34 do CBH-PS, em 29 de março de 2003, um acidente causado pelo rompimento da barragem de rejeitos da Fábrica Cataguazes de Papel – Estado de Minas Gerais, com o derramamento de 1,4 milhões de m<sup>3</sup> de efluentes industriais, composto de soda cáustica e licor de madeira, afetou a qualidade das águas dos rios Pomba e Paraíba do Sul, provocando, conseqüentemente, a interrupção de água potável para uma população de aproximadamente 600.000 habitantes, em oito municípios localizados no trecho norte e noroeste fluminense.

A Agência Nacional de Águas – ANA, numa tentativa de minimizar os efeitos dessa mancha tóxica nos dias 1º a 5 de abril de 2003, aumentou a vazão da Represa do Funil com a finalidade de promover rapidamente a diluição das substâncias. Nesses cinco dias de catástrofe ecológica a represa do Funil foi rebaixada em 12,78% do seu volume útil.

De acordo com Reis (2005 a), no dia 06 de fevereiro de 2003 foi criado um Grupo de Trabalho tendo como objetivo o desenvolvimento de estudos para a recuperação dos reservatórios de Paraibuna, Santa Branca e Jaguari; em maio de 2003 consolidou a regulamentação das regras operativas da bacia do rio Paraíba do Sul que culminou com a edição da resolução nº 211/2003 substituindo a Portaria DNAEE nº 022 de 14/02/77, estabelecendo 190 m<sup>3</sup>/s de vazão afluente à Usina Elevatória de Santa

Cecília; e em 03 de março de 2004 a Resolução ANA nº 098 estabeleceu a vazão afluente para 160 m<sup>3</sup>/s, conseguindo assim recuperar os níveis dos reservatórios.

Segundo Cezário (2005), de acordo com as metodologias aplicadas e os resultados obtidos em seu trabalho, parece não haver relação causa-efeito entre a precipitação da região e o volume de água do reservatório de Paraibuna. Para o autor as causas potenciais desse quadro alarmante são: índices de crescimento populacional, aumento da demanda de uso da água, impermeabilização do solo, desmatamento e aumento da monocultura do eucalipto no Vale do Paraíba – provavelmente causando impactos hidrológicos e assoreamento dos rios, entre outros.

A questão da água e das mudanças climáticas são temas muito atuais e importantes não somente para a preservação do meio ambiente, mas também para a sustentabilidade econômica mundial. Um exemplo disso é o Relatório Stern (2006) que discute as perdas financeiras advindas das mudanças climáticas e também o recente relatório do IPCC (2007).



## 5 CONCLUSÕES

De uma forma geral, os cenários climáticos futuros apontam um aumento na temperatura do ar, variando entre 0,5 °C a 2,7 °C para o cenário A2 do IPCC e entre 0,8 °C e 2,4 °C para o cenário B2, e aumento na precipitação (entre 85 e 150 mm para o cenário A2 e entre -31 mm e 88 mm para o cenário B2), o volume aumenta levemente, mas a sua distribuição será diferente. Estes resultados, aplicados a metodologia do Balanço Hídrico, provocará um aumento do déficit de água (de até 77 mm para o período de 2070-2099 no cenário A2 e um pouco menor (54 mm) para o cenário B2), associado a uma diminuição do excedente hídrico (ao redor de 200 mm para ambos cenários). Em resumo, o clima estará mais quente, sendo que a estiagem será mais longa (de 1 a 2 meses mais). O total anual da precipitação será um pouco mais elevado e com chuvas intensas, com uma diminuição durante o verão (chuvas intensas) e um leve aumento na época do inverno. Este aumento de precipitação não será suficiente para manter os níveis de evapotranspiração, pois este será muito maior, em função do aumento da temperatura do ar e conseqüentemente influenciará o volume de água nos aquíferos.

O alto índice de crescimento populacional do cenário A2, somada as mudanças climáticas globais, as variações climáticas locais, e a baixa produtividade agrícola, prenunciam graves problemas econômicos e sociais.

Se as captações superficiais em hipótese aumentarem em 50%, o município de Taubaté terá problemas de disponibilidade hídrica a partir de 2016 no cenário A2 e 2017 no cenário B2.

Estes resultados podem ser agravados com as perspectivas futuras de maiores demandas de água pela cidade do Rio de Janeiro, bem como pelo início do uso da água pela cidade de São Paulo. Estes fatos poderão agravar a questão do uso da água, provocando conflitos internos e externos a Bacia do Rio Paraíba do Sul.

Portanto, estudos que mostrem e discutam as tendências das componentes do ciclo hidrológico são importantes para auxiliar o

desenvolvimento de políticas públicas para a gestão da água na região do Rio Paraíba do Sul e devem servir de subsídio para os tomadores de decisão. Segundo Fisch (2007, comunicação pessoal), “a água é o ouro do século 21” e, portanto, estudos e sugestões de como utilizá-la melhor são necessários.

Além disso, estudos detalhados de todas e quaisquer atividades que causem interferências no regime hídrico da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul ou modificações no meio ambiente, como por exemplo, transposições de águas, devem ser analisadas cuidadosamente.

Sem o gerenciamento dos recursos hídricos, com a participação da Sociedade e Governo Municipal, Estadual e Federal, certamente haverá problemas com a demanda de água na região.

## 6 RECOMENDAÇÕES

Este trabalho abordou o balanço hídrico e simulações de cenários climáticos futuros para o município de Taubaté; recomenda-se que sejam elaborados estudos da bacia hidrográfica do Rio Paraíba como um todo, levando-se em conta as particularidades de cada município.

Recomenda-se também que os modelos de simulações climáticas sejam implementados nos estudos e relatórios dos órgãos responsáveis pelos recursos hídricos, tanto a nível municipal, estadual como federal.

Como para o Sistema Nacional de Informação Sobre Saneamento – SNIS (2000), um dos maiores problemas de poluição dos corpos hídricos do país é a diluição de esgotos domésticos sem tratamento, seguido por lançamentos dos efluentes industriais e das cargas difusas advindas da agropecuária, recomenda-se implementação de mini-estações de tratamento de esgoto em locais estratégicos.

Quanto ao lançamento dos efluentes industriais, as indústrias estão sujeitas à cobrança pelo uso da água, tanto na esfera federal como estadual.

Considerando que o setor agropecuário é um grande consumidor de água da bacia do rio Paraíba do Sul com destaque para a cultura do arroz irrigado por inundação, esse tipo de tecnologia demanda grande quantidade de água, cerca de 2 L/s/ha, e apresenta baixa eficiência, em torno de 40% a 65%, recomenda-se iniciativas como modernização das técnicas de irrigação ou substituição de culturas. E em relação ao uso qualitativo, deve-se salientar a poluição causada pelo lançamento de fertilizantes e defensivos agrícolas nos rios, que em alguns casos pode inviabilizar a captação de água para abastecimento humano e também o lançamento de carga orgânica oriunda da criação de suínos confinados, devem ser melhores avaliados.

Segundo Grisolia (2007, comunicação pessoal) quanto à possibilidade de transposição de água para a região metropolitana de São Paulo, recomenda-se:

- Fazer o levantamento dos estudos existentes sobre a Regulamentação das Águas do Rio Paraíba do Sul, tendo em vista o uso múltiplo das mesmas;
- Estudos estatísticos de projeções de crescimento populacional visando o abastecimento urbano e rural;
- Levantamento do uso agro-pastoril e uso consuntivo da cultura de arroz;
- Levantamento da carga de esgoto doméstico e industrial lançados no Rio Paraíba do Sul;
- Previsão de vazões destinadas à regularização e em casos de eventuais acidentes ambientais (como o ocorrido em Cataguazes);
- Levantamento de cargas difusas, como fertilizantes e defensivos agrícolas;
- Estudo atualizado sobre a implantação das barragens do Rio Buquira e Rio Una, que somadas resultariam em 5 m<sup>3</sup>/s, mas que ainda não foram implantadas;
- Contabilizar as vazões das sub-bacias hidrográficas, sem barramentos, portanto, sem controles;
- Estudos criteriosos de custo-benefícios deverão ser processados e cotejados, face ao vulto do empreendimento.

## 7 BIBLIOGRAFIA

ALLEN, R.G. **Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).

AIROLDI, E. **Plano Diretor de Abastecimento de Água da Região Metropolitana de São Paulo**, 40 slides, 2004.

ARCOVA, F.C.S.; CICCIO, V. Características do deflúvio de duas microbacias hidrográficas no Laboratório de Hidrologia Florestal Walter Emmerich, Cunha – SP. **Revista Instituto Florestal de São Paulo**, v.9, n.2, p.153-170, 1997.

BARBIERI, V., TUON, R.L., ANGELOCCI, L.R. Programa para microcomputador do balanço hídrico (Thornthwaite & Mather, 1955) para dados mensais, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 7., 1991, Viçosa, MG. **Resumos...**, Viçosa: SBA/UFV, 1991. 314 p. p. 297-299.

BEEKMAN, G.B. **Gerenciamento integrado dos recursos hídricos**. Brasília: IICA, 1999. 64p.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6ª ed. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 1995. 657p.

BERNARDO, S.; SOUSA, E.F.; CARVALHO, J.A. **Estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), para as “áreas de baixada e de tabuleiros” da região Norte Fluminense**. Campos dos Goytacazes: UENF, 1996. 14 p. Boletim Técnico.

**Boletim do Comitê das Bacias Hidrográficas do Rio Paraíba do Sul – CBH/PS**, Ano 6, nº.34, maio/junho 2003.

BRASIL. Lei 9.433/97, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial [da] República**

**Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 09 de janeiro de 1997. Seção 1.

BRASIL. Lei 9.984/00, de 17 de julho de 2000. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas – ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências.

**Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 17 de julho de 2000. Seção 1.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. “**Recursos Hídricos: conjunto de normas legais**” 2. ed. Brasília: SRH, 2002. 141 p.

BRUNINI, A. P. C.; JÚNIOR, M. J. P.; GALLO, P. B. “**Comparação microclimática de ambiente de várzea e de posto meteorológico**”, *Bragantia*, Campinas, v.63, n.2, p.299-308, 2004.

CAMARGO, A. P. **Balço hídrico no Estado de São Paulo**. Boletim Técnico, nº 16, 1971.

CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; MARTINS, S. V.; SOARES, C. P. B. R. “**Caracterização hidroambiental da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ**”. *Árvore*, Viçosa-MG, v.30, n.2, p.249-256, 2006.

CEIVAP - **Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul. Resumo do Diagnóstico dos Recursos Hídricos – Relatório Final**, PSR 010-R, 2006.

Disponível em: [www.ceivap.org.br](http://www.ceivap.org.br)

Acessado em: 21 de fevereiro de 2007.

CEZÁRIO, M. V. “**Um estudo sobre a influência da precipitação regional do Vale do Paraíba no nível de água do Reservatório de Paraibuna, SP**”, Dissertação de apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade de Taubaté, para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais, 2005.

COLLISCHONN, W. “**SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA DE GRANDES BACIAS**”, Tese submetida ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Engenharia, Porto Alegre, dezembro de 2001.

CORRÊA, D. M.; LIMA, F. R. **Influência das variações climáticas nas atividades humanas: O caso da produção leiteira dos cooperados da Calu**. II Simpósio Regional de Geografia "Perspectivas para o Cerrado no século XXI", Universidade Federal de Uberlândia, 2003.

DAMRATH, U.; et al. **"Operational quantitative precipitation forecasting at the German Weather Service"**. Journal of Hydrology, 2000, Vol. 239 pp. 260-285.

D'ANGIOLELLA, G.; VASCONCELLOS, V. L. D. **"Planilha eletrônica para cálculo do balanço hídrico climatológico normal utilizando diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial"**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 375-378, 2003.

#### **DELIBERAÇÃO CBH-PS - 05/2006**

Disponível em: [www.comiteps.sp.gov.br](http://www.comiteps.sp.gov.br)  
Acessado em: 10 de janeiro de 2007.

#### **DELIBERAÇÃO CEIVAP N.º 15/2002**

Disponível: [www.ceivap.org.br](http://www.ceivap.org.br)  
Acessado em: 10 de janeiro de 2007.

#### **Departamento de Água e Energia Elétrica – DAEE**

Disponível em: [www.daee.sp.gov.br](http://www.daee.sp.gov.br)  
Acessado em: 10 de janeiro de 2007.

DOORENBOS, J., KASSAM, A.H. **Efeitos da água no rendimento das culturas**. Roma: FAO, 1979, 212 p. (Irrigation & Drainage papers no 33).

DOURADO, NETO. D., Van LIER, Q.J. **Programa para elaboração do balanço hídrico para culturas anuais e perenes**. Piracicaba: Departamento de Agricultura da ESALQ/USP, 1991. 58 p. (Apostila).

FARIA, R. A.; CARVALHO, D. F.; RIBEIRO, A.; OLIVEIRA, M. A. A. **"Influência do método de estimativa da evapotranspiração de referência na demanda de irrigação suplementar para o milho (zea mays I.), na bacia do rio verde grande (MG)"**, Ciênc. agrotec., Lavras, v.24 (Edição Especial), p.187-196, dez., 2000.

FISCH, G. F. **Caracterização climática e balanço hídrico de Taubaté (SP)**. Universidade de Taubaté, Revista Biociências, vol.1, n° 1, 1995.

\_\_\_\_\_. **Distribuição da precipitação em Taubaté (SP)**. Universidade de Taubaté, Revista Biociências, vol.5, n° 2, 1999.

\_\_\_\_\_. **Água, ouro do século 21**. Comunicação pessoal, 2007.

FLORENÇANO, J. C.S. **Abastecimento de água** (disciplina – saneamento), Apostila, colaboração: Benedito Zuin, Universidade de Taubaté, 1991.

FOLHES, M. T.; FISCH, G. F. **Caracterização climática e estudo de tendências nas séries temporais de temperatura do ar e precipitação em Taubaté**. Revista Ambiente & Água, 2007.

#### **Food and Agriculture Organization - FAO**

Disponível em: FAO Water website – Crops and Drops  
Acessado em: 23 de novembro de 2005.

FREITAS, M.M. **Comportamento hidrológico e erosivo de bacia montanhosa sob uso agrícola: estação experimental do rio Boa Vista, Nova Friburgo - RJ**. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1998, 104 f.  
GARCEZ, L. N. **Hidrologia**. 1. São Paulo, Edgard Blucher Ltda, 1976. 249p.

GRISOLIA, J. F. A. **Estudos das disponibilidades hídricas do Rio Paraíba do Sul**, comunicação pessoal, 2007.

HERNANDEZ, F.B.T. **Manejo da irrigação por pivô central na cultura do milho**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA 24, 1994, Viçosa - MG. Anais... Viçosa - MG: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1994. 13 p. (Artigo 286).

INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC, 2007. **Climate change 2007: The physical science basis**. Summary for policymakers.  
Disponível em URL: <http://www.ipcc.ch>  
Acessado em: 02 de fevereiro de 2007.



**Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE**Disponível em: [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)

Acessado em: 10 de agosto de 2006.

**Instituto Nacional de Meteorologia – INMET**Disponível em: [www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br)

Acessado em: 23 de novembro de 2005.

JOHNS, T. C.; et al. **“The second Hadley Centre coupled ocean-atmosphere GCM: Model description, spinup and validation”**. *Clim. Dynamics*, 16: 103-134, 1997.

LEITE, M. A. R. M. **Disponibilidade hídrica das águas superficiais da bacia hidrográfica do Rio Una**. Monografia apresentada para obtenção do Certificado de Especialização em Gestão de Recursos Hídricos e Manejo de Bacias Hidrográficas do Departamento de Ciências Agrárias da Universidade de Taubaté, Taubaté – SP, 2004.

LEMONS FILHO, M.A.F., HERNANDEZ, F.B. T, MARQUES JÚNIOR, S., et al. Hidrisa: novo software para elaboração de balanço hídrico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 23, 1994, Campinas, SP. **Anais...**, Campinas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1994, p. 8.

LIMA, J. E.F.W.; SILVA, C. L. & OLIVEIRA, C. A. da S. **“Comparação da evapotranspiração real simulada e observada em uma bacia hidrográfica em condições naturais de cerrado”**, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.5, n.1, p.33-41, 2001, Campina Grande-PB.

LOPES, A. S.; PAVANI, L. C.; CORÁ, J. E.; ZANINI, J. R.; MIRANDA H. A. **“Manejo da irrigação (tensiometria e balanço hídrico climatológico) para a cultura do feijoeiro em sistemas de cultivo direto e convencional”**, *Eng. Agríc.*, Jaboticabal, v.24, n.1, p.89-100, jan./abr. 2004.

LORENZ, E. N. **The predictability of a flow which possesses many scales of motion**. *Tellus* 21, 1969, p. 289-307.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M. **Tendências hidrológicas da bacia do Rio Paraíba do Sul**, *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.20, n.2, 215-226, 2005.

MARENGO, J. A. **Mudanças Climáticas Globais e seus Efeitos sobre a Biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**, Brasília - Ministério do Meio Ambiente – Secretaria de Biodiversidade e Florestas, 2006 a.

MARENGO, J. A. Impactos Hidrológicos da Mudança Climática em Três Grandes Bacias do Brasil: Amazônia, Paraná – La Prata e São Francisco, **NewsLetter do projeto GOF-UK-CPTEC**, Ano 1 #2, 2006 b.

MELLO, J.L.P.; SEDIYAMA, G.C.; PRUSKI, F.F.; SILVA, D.D. **Evaporação e evapotranspiração**. Viçosa: UFV. 1996. 62p.

MENDONÇA, J. C.; SOUSA, E. F.; BERNARDO, S.; DIAS, G. P. & GRIPPA, S. “**Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) na região Norte Fluminense**”, RJ, Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.7, n.2, p.275-279, Campina Grande, PB, 2003.

MULLER, A. C. **Hidrelétricas, Meio Ambiente e Desenvolvimento**. Cap. 1. São Paulo: Editora Makron Books do Brasil Ltda, 1995.

NOBRE, C.; SELLERS, P. & SHUKLA, J. Amazonian deforestation and regional climate change. **Journal of Climate** 4:957-988, 1991.

NOBRE, C. A.; ASSAD, E. D. **O Aquecimento Global e o Impacto na Amazônia e na Agricultura Brasileira**, INPE ePrint: sid.inpe.br/ePrint@80/2005/09.12.12.51, v1,2005-09-13.

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico, **Vazões Médias Mensais nos Aproveitamentos Hidrelétricos Período 1931 a 2001**, 2004. 36 p.

PEREIRA, A. R.; VILA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapo(transpi)ração**, Piracicaba: FEALQ, 1997, 183p.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**, Guaíba, Agropecuária, 2002. 478p.

PEREIRA, A. R. **Simplificando o balanço hídrico de Thornthwaite – Mather**. Bragantia, Campinas, v.64, n.2, p. 311-313, 2005.

PINTO, N. L. S. et al. **Hidrologia Básica**, Editora Edgard Blucher Ltda, 1976, RJ.

REIS, B. J. **GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NA BACIA DO PARAÍBA DO SUL**, 39 slides, 2005 a.

REIS, B. J. **Avaliação da expansão da atividade de extração de areia na planície aluvial da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul no trecho entre Jacareí e Pindamonhangaba no período de 1993 a 2003**.

Dissertação de apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade de Taubaté, para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais, 2005 b.

ROLIM, G. S.; SENTELHAS, P. C.; BARBIERI, V. “**Planilhas no ambiente EXCEL™ para os cálculos de balanços hídricos: normal, seqüencial, de cultura e de produtividade real e potencial**”. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 133-137, 1998.

ROMERA E SILVA, P. A. (org). **Água: Quem vive sem?** 2ª ed., FCTH / CT-Hidro (ANA, CNPq / SNRH), São Paulo, 2003.

ROSSATO, L.; ALVALÁ R. C. S.; TOMASELLA, J. “**Variação espaço-temporal da umidade do solo no Brasil: análise das condições médias para o período de 1971-1990**”, Revista Brasileira de Meteorologia, v.19, n.2, 113-122, 2004.

SÃO PAULO, Secretaria de Obras e do Meio Ambiente, Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Estudo de Águas Subterrâneas**, 1977.

SÃO PAULO, Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras. **O que o DAEE pode fazer por sua prefeitura**, 2001.

SÃO PAULO. Secretaria de Estado de Energia, Recurso Hídricos e Saneamento. Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Guia prático para projetos de pequenas obras hidráulicas**. São Paulo, DAEE, 2005. 116 p. il.

SETTI, A. A. et al. **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**. 3. Ed. Brasília: ANEEL/ANA, 2001. 328p.

**Sistema Nacional de Informação Sobre Saneamento – SNIS**

Disponível em: [www.snis.gov](http://www.snis.gov)

Acessado em: março a setembro de 2004.

SOARES, J. V. **Introdução a Hidrologia de Florestas** - Capítulo 6:

Evaporação e evapotranspiração (capítulo de livro on line)

Disponível em:

<http://eprint.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/yolanda/2004/05.06.10.57/doc/index2.html>

SOUSA P.; NERY J. T. **Análise da variabilidade anual e interanual da precipitação pluviométrica da região de Manuel Ribas, Estado do Paraná**, Acta Scientiarum, Maringá, v. 24, n. 6, p. 1707-1713, 2002.

STERN, N. **Stern Review on the economics of climate change**, 2006.

Disponível em URL: <http://www.hm-treasury.gov.uk>

Acessado em: 8 de dezembro de 2006.

TEIXEIRA, et al. **Decifrando a Terra**, São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

THORNTHWAITE, C.W., MATHER, R.J. **The water Balance**. New Jersey: Laboratory of Climatology, v. 8, 1955, 104 p. (Publication in Climatology).

TODD, D.K. **Hidrologia de Águas Subterrâneas**, Editora Edgard Blucher Ltda, 1967, RJ.

TOMASELLA J.; ROSSATO L. **Tópicos em Meio Ambiente e Ciências Atmosféricas - BALANÇO HÍDRICO**, INPE, São José dos Campos, 2005.

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. J. L. **Metodologia descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras**, Nobel, 1987, São Paulo.

TUCCI, C. E. M. et al. **Hidrologia, Ciência e Aplicação**. Porto Alegre. Editora Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2ª edição, 2000, 943p.

TUCCI, C.E.M.; CLARKE R.T.; DIAS P.L.S.; COLLISCHONN W. **“Previsão de médio prazo da afluência de reservatórios com base na previsão climática”**. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Projeto: BRA/00/09, Relatório final, 2002.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia Básica e Aplicações**, Imprensa Universitária, Universidade Federal de Viçosa, 1991, MG.

YOSHINO, M.M. **Climate in a small area: An Introduction to local meteorology**. Tokyo: University of Tokyo Press, 1975. 549p.

WINTER, E. J. **A água, o solo e a planta**, traduzido por REICHARDT, K. E LIBARDI, P. L., São Paulo, EPU, Ed. da Universidade de São Paulo, 1976.  
WUTKE, E.B.; ARRUDA, F.B.; FANCELLI, A.L.; PEREIRA, J.C.V.N.A.; SAKAI, E.; FUJIWARA, M.; AMBROSANO, G.M.B. **Propriedades do solo e sistema radicular do feijoeiro irrigado em rotação de culturas**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.24, n.3, p.621-33, 2000.

[www.precipitacao.com.br](http://www.precipitacao.com.br)

Acessado em: 28 de dezembro de 2006.

## 8 APÊNDICE

Apêndice-A: Série histórica de precipitação do posto E2-022 preenchida pelo método da Ponderação Regional.

Município	Prefixo	Nome	Altitude	Latitude	Longitude	Bacia							
Taubaté	E2-022	Taubaté	610 m	23°02'	45°34'	Paraíba do Sul							
CHUVA MENSAL (mm)													
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
1963						0,9	0,5	11,4	1,4	125,4	181,4	75,1	
1964	215,1	293,6	50,3	59,2	57,1	12,7	41,2	36,5	51,3	183,8	74,6	146,3	1221,7
1965	222,0	75,4	176,3	65,7	81,5	18,5	47,1	17,6	47,0	189,0	264,8	266,8	1471,7
1966	326,5	160,5	247,2	47,7	55,2	0,8	6,0	94,0	31,6	177,4	175,9	331,3	1654,1
1967	300,8	190,5	397,6	30,0	2,0	59,2	20,7	2,7	77,3	234,7	143,7	252,9	1712,1
1968	140,5	94,7	129,6	40,9	30,6	11,9	12,1	41,1	29,8	41,8	78,1	277,3	928,4
1969	124,3	178,9	169,8	67,6	13,3	10,5	2,9	13,3	24,7	88,9	149,8	81,1	925,1
1970	266,2	169,2	117,8	48,8	26,5	39,6	42,3	95,2	90,0	150,3	146,8	89,4	1282,1
1971	90,0	159,7	175,0	96,4	38,4	81,7	10,2	12,6	94,2	117,6	125,2	218,4	1219,4
1972	154,4	151,3	128,3	36,0	7,6	3,0	40,0	58,5	82,5	52,5	60,3	113,2	887,6
1973	144,4	40,0	177,7	175,1	37,6	1,3	52,4	3,7	58,3	126,5	86,1	296,7	1199,8
1974	253,0	127,0	363,8	46,7	13,9	95,0	0,0	9,5	23,9	136,8	92,9	273,9	1436,4
1975	274,0	306,9	78,4	42,9	52,2	9,0	26,7	0,0	14,9	105,3	189,5	196,0	1295,8
1976	220,2	317,9	169,1	102,0	137,5	39,2	130,8	114,4	154,7	61,8	138,6	260,4	1846,6
1977	355,1	75,5	131,2	103,0	14,7	60,5	7,4	16,5	91,8	54,1	127,7	191,4	1228,9
1978	248,9	154,0	114,1	27,3	59,8	71,4	28,7	3,4	13,0	130,1	129,8	225,2	1205,7
1979	166,9	110,4	154,3	80,6	72,4	4,1	38,5	51,2	83,7	97,3	159,0	151,8	1170,2
1980	142,5	204,4	139,7	218,1	21,8	32,1	1,7	34,3	48,9	75,1	217,8	254,4	1390,8
1981	284,7	159,9	135,4	54,3	26,3	37,9	24,4	22,6	33,3	130,5	158,2	211,5	1279,0
1982	271,4	143,7	228,0	59,0	19,6	106,4	68,8	69,5	20,6	194,7	126,2	289,0	1596,9
1983	199,7	216,4	191,6	120,8	132,2	169,1	53,2	11,0	254,6	98,4	158,1	220,9	1826,0
1984	164,7	47,2	111,1	83,1	120,0	5,8	1,3	53,3	80,1	55,1	82,2	209,2	1013,1
1985	343,7	241,9	169,0	36,6	71,1	17,1	1,5	33,4	99,2	88,7	139,7	268,5	1510,4
1986	131,6	151,4	343,2	86,2	56,5	4,0	30,1	86,6	40,9	47,6	135,2	320,0	1433,3
1987	277,8	203,2	91,0	198,1	193,4	118,9	7,2	9,0	52,9	72,6	73,5	85,5	1383,1
1988	174,4	346,9	242,5	124,5	130,5	42,3	1,8	0,1	33,9	199,1	117,4	166,9	1580,3
1989	277,0	252,2	185,1	112,4	52,1	48,6	48,8	40,5	83,9	64,4	90,8	196,9	1452,7
1990	149,4	179,6	164,6	95,9	61,9	21,7	56,9	61,8	112,4	93,8	113,1	125,0	1236,1
1991	344,5	169,3	355,7	87,8	16,5	33,8	9,8	23,8	69,7	127,5	128,8	198,4	1565,6
1992	227,1	136,8	119,1	53,4	57,2	0,0	67,7	10,3	117,1	106,8	207,4	106,2	1209,1
1993	178,9	244,8	176,4	94,5	21,4	35,8	11,3	12,9	145,2	156,5	79,6	94,4	1251,7
1994	293,5	92,9	124,3	64,3	81,9	44,4	16,8	0,0	1,6	101,1	130,4	277,9	1229,1
1995	178,8	325,8	250,3	48,7	77,4	8,3	57,8	10,7	36,4	240,6	126,1	202,0	1562,9
1996	312,9	148,3	318,3	161,0	32,0	21,6	1,0	18,7	110,3	111,6	177,5	243,5	1656,7
1997	285,6	98,7	70,1	46,8	58,4	62,6	13,1	21,5	106,2	91,4	235,1	148,8	1238,3
1998	180,1	273,3	169,0	59,5	98,3	5,0	9,6	12,6	122,9	215,0	97,7	79,3	1322,3
1999	279,4	298,6	193,3	35,7	11,8	71,2	11,6	7,2	70,4	25,8	68,3	125,5	1198,8
2000	228,8	179,6	250,4	42,7	50,9	12,8	39,5	27,2	46,6	51,2	57,9	85,6	1073,2
2001	133,5	119,1	189,2	12,4	53,6	1,6	25,9	76,0	64,5	130,7	139,7	286,5	1232,7
2002	265,9	258,2	201,3	18,6	85,3	0,0	11,1	108,7	86,1	104,1	226,0	161,4	1526,7
2003	355,3	83,8	119,8	22,3	32,4	4,7	26,4	21,3	19,1	188,8	123,9	97,4	1095,2
2004	198,5	255,2	201,5	97,6	77,7	86,0	78,1	1,6	28,4	121,5	136,1	192,6	1474,8
2005	441,0	94,9	125,1	79,2	292,3	22,9	29,7	7,8	78,0	113,6	100,2	104,0	1488,7
Média	233,9	179,3	182,0	75,8	62,7	35,7	28,2	31,7	68,2	118,1	134,2	190,7	
D. PAD	78,6	80,2	80,5	46,9	54,6	38,0	26,9	31,8	47,9	54,0	48,9	76,2	
L. SUP	312,4	259,5	262,5	122,7	117,3	73,7	55,1	63,5	116,2	172,2	183,1	266,9	
L. INF	155,3	99,1	101,5	28,9	8,0	-2,4	1,3	-0,1	20,3	64,1	85,3	114,5	