

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CÂMPUS SOROCABA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SUSTENTABILIDADE NA GESTÃO
AMBIENTAL – PPGSGA

MARCIO COSTA ABREU

**AVALIAÇÃO HIDROLÓGICA E RELAÇÃO ENTRE DISPONIBILIDADE E
DEMANDA HÍDRICA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SOROCABA – SP**

Sorocaba

2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CÂMPUS SOROCABA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SUSTENTABILIDADE NA GESTÃO
AMBIENTAL – PPGSGA

MARCIO COSTA ABREU

**AVALIAÇÃO HIDROLÓGICA E RELAÇÃO ENTRE DISPONIBILIDADE E
DEMANDA HÍDRICA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SOROCABA – SP**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade na Gestão Ambiental – PPGSGA para obtenção do título de Mestre em Sustentabilidade na Gestão Ambiental.

Orientação: Profa. Dra. Kelly Cristina Tonello

Sorocaba

2015

Abreu, Marcio Costa

Avaliação hidrológica e relação entre disponibilidade e demanda hídrica na
Bacia Hidrográfica do Rio Sorocaba - SP / Marcio Costa Abreu. -- 2015.
51 f. : 30 cm.

Dissertação (mestrado)-Universidade Federal de São Carlos, campus
Sorocaba, Sorocaba

Orientador: Kelly Cristina Tonello

Banca examinadora: José Teixeira Filho, André Cordeiro Alves dos Santos
Bibliografia

1. Gestão de recursos hídricos. 2. Balanço hídrico. 3. Bacia hidrográfica
do rio Sorocaba. I. Orientador. II. Sorocaba-Universidade Federal de São
Carlos. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada pelo Programa de Geração Automática da Biblioteca campus Sorocaba (B-So).

DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)

MARCIO COSTA ABREU

**AVALIAÇÃO HIDROLÓGICA E RELAÇÃO ENTRE DISPONIBILIDADE E
DEMANDA HÍDRICA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SOROCABA – SP**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação, para obtenção do título de mestre em Sustentabilidade na Gestão Ambiental. Área de concentração: Sustentabilidade, Ambiente e Sociedade. Universidade Federal de São Carlos. Sorocaba, 3 de novembro de 2015.

Orientador(a)

Dra. Kelly Cristina Tonello
UFSCar

Examinador(a)

Dr. José Teixeira Filho
UNICAMP

Examinador(a)

Dr. André Cordeiro Alves dos Santos
UFSCar

AGRADECIMENTO

A todos que se envolveram de alguma maneira com este trabalho, seja contribuindo e participando com ideias, sugestões e críticas, apoiando ou simplesmente compreenderam a necessidade da ausência durante alguns momentos.

E em especial à professora e orientadora Dra. Kelly Cristina Tonello e aos professores Dr. André Cordeiro Alves dos Santos e Dr. José Teixeira Filho.

RESUMO

ABREU, Marcio Costa. Avaliação hidrológica e relação entre disponibilidade e demanda hídrica na bacia hidrográfica do rio Sorocaba – SP. 2015, 48 f. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade na Gestão Ambiental) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2015.

Este trabalho teve como objetivo contribuir para o entendimento da dinâmica dos recursos hídricos na bacia do rio Sorocaba e estabelecer relações entre a disponibilidade e as demandas. Inicialmente foi proposto um modelo quantitativo de como se distribui a água nas diferentes fases do ciclo hidrológico, desde o momento das chuvas, até a vazão no seu exutório, considerando-se as etapas intermediárias entre esses dois eventos (entrada e saída), incluindo as intervenções antrópicas representadas pelas retiradas de água dos mananciais. Para isso foi realizado o levantamento e a análise dos dados hidrometeorológicos disponíveis e estimados aqueles sem aferições, por meio do balanço hídrico. Definiu-se para a série histórica avaliada as normais climatológicas de temperatura e chuvas e a vazão média no exutório da bacia, ou seja, do curso d'água que representa o seu nível de base. Foram estimados os seguintes parâmetros: evapotranspiração potencial e real, o excedente e a deficiência hídrica. A chuva média na bacia para o período de 2006 a 2012 foi de $1.337 \text{ mm.ano}^{-1}$, a temperatura média anual $21,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$, a ETP e a ETR $1.011 \text{ mm.ano}^{-1}$ e 999 mm.ano^{-1} , respectivamente, o excedente hídrico 338 mm.ano^{-1} , a vazão média no exutório 360 mm.ano^{-1} e a vazão derivada e efetivamente consumida pelos usuários de 16 mm.ano^{-1} . A disponibilidade hídrica foi adotada como a vazão com permanência de 95% ($Q_{95\%}$), calculada em $24,1 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ e as demandas foram obtidas com base nos dados dos processos de outorga e por outras metodologias, permitindo uma comparação entre os resultados. Foram calculadas as demandas para os principais usos consuntivos identificados na bacia, com os seguintes resultados: abastecimento humano $6,20 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$; industrial $1,83 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$; irrigação $3,59 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$; e dessedentação animal $0,24 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$. A relação entre disponibilidade *versus* demandas foi considerada e o resultado permitiu indicar que a atual situação dos recursos hídricos frente à sua utilização é muito crítica.

Palavras-chave: Gestão dos recursos hídricos. Balanço hídrico. Escassez hídrica.

ABSTRACT

This study aimed to contribute to the understanding of the dynamics of water resources in the watershed of Sorocaba river and establish relationships between availability and water demand. Initially it was proposed a quantitative model of how to distribute the water in the different stages of the water cycle, from the moment of the rains, to flow to your river mouth, considering the intermediate steps between these two events, including human interventions represented by withdrawals of water from springs. For it was carried out the survey and analysis of hydrological data available and estimated those without measurements through the water balance. Set up for the series evaluated the climatological normal temperatures and rainfall and the average flow rate in river mouth, ie the watercourse that is base level of the watershed. The following parameters were estimated: potential and real evapotranspiration, surplus and water deficit. The average rainfall in the basin for the period 2006-2012 was $1,337 \text{ mm}\cdot\text{year}^{-1}$, the average annual temperature 21.2°C , the ETP and ETR $1,011 \text{ mm}\cdot\text{year}^{-1}$ and $999 \text{ mm}\cdot\text{year}^{-1}$, respectively, the water surplus $338 \text{ mm}\cdot\text{year}^{-1}$, the average flow in river mouth $360 \text{ mm}\cdot\text{year}^{-1}$ and the flow derived and actually consumed by the users of $16 \text{ mm}\cdot\text{year}^{-1}$. The water availability was adopted as the flow with 95% permanence (Q95%), estimated at $24.1 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ and the demands were obtained based on data from granting processes and by other methodologies, enabling a comparison between the results. Demands for major consumptive uses identified in the watershed were calculated with the following results: human supply $6.20 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$; industrial $1.83 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$; irrigation $3.59 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$; and animal consumption $0.24 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$. The relationship between availability versus demand was considered and the results allowed indicate that the current situation of water resources across its use is very critical.

Keywords: Water resources management. Water balance. Water escasez.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Localização da bacia hidrográfica do rio Sorocaba (BHS) – SP	4
Figura 2.2. Distribuição espacial dos postos pluviométricos, fluviométricos e da estação climatológica na bacia hidrográfica do rio Sorocaba – SP.....	5
Figura 2.3. Curvas das duplas massas para verificação da consistência das séries históricas.....	12
Figura 2.4. Distribuição temporal da chuva média mensal e temperatura média mensal na BHS (período de 2006 a 2012)	13
Figura 2.5. Volumes de chuva anual nos postos pluviométricos em relação à média anual da BHS.....	14
Figura 2.6. Precipitação média anual na bacia hidrográfica do rio Sorocaba - SP.....	15
Figura 2.7. Hidrograma (a) e curva de permanência (b) dos dados do posto fluviométrico 4E-001 (2006 a 2012)	18
Figura 3.1. Localização da bacia hidrográfica do rio Sorocaba (BHS) – SP e instrumentos utilizados no estudo	27
Figura 3.2. Curva da dupla massa para verificação da consistência da série histórica ..	36
Figura 3.3. Hidrograma dos dados do posto fluviométrico 4E-001 (2006 a 2012).....	37
Figura 3.4. Curva de permanência dos dados do posto fluviométrico 4E-001 (2006 a 2012).....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1. Número de lacunas nos registros das séries históricas (2006 a 2012) dos instrumentos avaliados neste estudo	6
Tabela 2.2. Dados médios de operação dos processos outorgados e taxa de retorno.....	10
Tabela 2.3. Médias mensais de temperatura da estação 83851 (2006 a 2012).....	11
Tabela 2.4. Dados estatísticos dos registros mensais de chuvas em mm (2006 a 2012)	13
Tabela 2.5. Acurácia dos modelos teóricos de semivariograma (mm).....	14
Tabela 2.6. Resultados do balanço hídrico climatológico (2006 a 2012).....	16
Tabela 2.7. Dados de vazão média do posto fluviométrico 4E-001 em $m^3.s^{-1}$	17
Tabela 2.8. Vazões anuais de retiradas e de retorno pelos usos consuntivos na BHS ...	19
Tabela 2.9. Parâmetros hidrológicos da BHS estimados para o período de 2006 a 2012	19
Tabela 3.1. Dados médios de operação dos processos outorgados	29
Tabela 3.2. Coeficientes de retirada urbana per capita no Estado de São Paulo segundo a faixa de população do município	30
Tabela 3.3. Coeficientes de retirada urbana per capita por município segundo volume de água micromedido e perdas da rede de abastecimento na BHS.....	30
Tabela 3.4. Demanda hídrica anual apresentada por CODEVASF (1989)	333
Tabela 3.5. Coeficientes de cultura utilizados na estimativa da evapotranspiração potencial - ET_{pc}	345
Tabela 3.6. Dados de vazão média do posto fluviométrico 4E-001 em $m^3.s^{-1}$	377
Tabela 3.7. Demanda dos recursos hídricos por tipo de uso segundo dados de outorga	40
Tabela 3.8. Estimativa das demandas dos recursos hídricos por tipo de uso	41
Tabela 3.9. Demanda hídrica das culturas na BHS	422

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANA - Agência Nacional de Águas

ARM - Armazenamento de Água no Solo

BEDA - Bovinos Equivalentes para a Demanda de Água

BHS - Bacia Hidrográfica do Rio Sorocaba

CAD - Capacidade de Água Disponível no Solo

CBH-SMT - Comitê de Bacia Hidrográfica - Sorocaba e Médio Tietê

CODEVASF - Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba

DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica

DEF - Deficiência Hídrica

ESC - Escoamento Superficial

ETP - Evapotranspiração Potencial

ETpc - Evapotranspiração Potencial da Cultura

ETo - Evapotranspiração de Referência

ETR - Evapotranspiração Real

EXC - Excedente Hídrico

FAO - Organização para Agricultura e Alimento

I - Infiltração

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDE - Índice de Dependência Espacial

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

IPT - Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo

ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico

P - Chuvas

PLIRHINE - Plano de Aproveitamento Integrado dos Recursos Hídricos do Nordeste do Brasil

R - Derivações de Água

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

UNESCO - Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

UGRHI - Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos

USDA - Departamento de Agricultura dos Estados Unidos

SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO	1
2. AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS HIDROMETEOROLÓGICOS DA BACIA DO RIO SOROCABA/SP	3
2.1. INTRODUÇÃO.....	3
2.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	4
2.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	11
2.4. CONCLUSÕES	19
2.5. REFERÊNCIAS	20
3. DISPONIBILIDADE E DEMANDA HÍDRICA NA BACIA DO RIO SOROCABA/SP.....	25
3.1.INTRODUÇÃO.....	25
3.2.MATERIAL E MÉTODOS.....	26
3.3.RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	36
3.4.CONCLUSÕES	44
3.5. REFERÊNCIAS	44
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	50

1. APRESENTAÇÃO

Este trabalho foi desenvolvido com o intuito de contribuir para a gestão dos recursos hídricos na bacia do rio Sorocaba-SP, por meio da proposição de um modelo conceitual de circulação da água nesse espaço geográfico, embasado na avaliação dos parâmetros hidrológicos, além de estabelecer relações entre disponibilidade hídrica e demandas para os diversos usos consuntivos.

Em consonância com o regimento e normas complementares do programa de pós-graduação, a estrutura deste documento foi concebida na forma de dois artigos científicos, abordando as temáticas citadas no parágrafo acima.

O primeiro artigo, que corresponde ao capítulo 2 deste documento, foi intitulado como “Avaliação dos parâmetros hidrometeorológicos da bacia do rio Sorocaba/SP”. Teve como objetivo a avaliação dos parâmetros hidrometeorológicos e a quantificação do volume de água em cada uma das principais fases do ciclo hidrológico, permitindo assim, a proposição de um modelo de circulação da água na bacia estudada. Para isso foram obtidos os dados históricos de chuva, temperatura e vazão da rede hidrometeorológica existente na bacia e seus arredores e calculadas as normais climatológicas da série avaliada. A evapotranspiração potencial e real, o excedente hídrico e a deficiência hídrica foram estimados através da aplicação da equação do balanço hídrico. Realizou-se ainda o cálculo das vazões de derivação e de retorno com base nos processos de outorga de concessão de uso dos recursos hídricos, as quais também foram consideradas no modelo proposto.

No capítulo 3 é apresentado o artigo “Disponibilidade e demanda hídrica na bacia do rio Sorocaba/SP”, que corresponde à estimativa da disponibilidade hídrica, das demandas atuais e a relação entre esses dois parâmetros, fornecendo subsídios para a tomada de ações dos órgãos gestores. A disponibilidade hídrica foi calculada adotando-se a vazão igualada ou excedida em 95% do tempo na série estudada ($Q_{95\%}$). Foram utilizados os dados da estação fluviométrica localizada no exutório da bacia. As vazões das demandas consuntivas foram obtidas com base nos dados dos processos de outorga e através de diferentes metodologias amplamente utilizadas na literatura. Foram calculadas as demandas para o abastecimento humano (urbano e rural), industrial, irrigação e dessedentação animal.

O resultado do balanço entre a disponibilidade hídrica e as demandas permitiu indicar a atual situação da bacia em relação ao comprometimento dos recursos hídricos,

conforme a classificação proposta por diferentes autores e órgãos nacionais e internacionais.

Dessa maneira, almeja-se fornecer ao órgão gestor, aos usuários e à sociedade em geral, subsídios para o planejamento e manejo sustentável dos recursos hídricos na bacia, contribuindo para seu melhor aproveitamento e para a gestão de conflitos pelo seu uso.

2. AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS HIDROMETEOROLÓGICOS DA BACIA DO RIO SOROCABA/SP

2.1. INTRODUÇÃO

A realização de estudos hidrológicos em bacias hidrográficas surge da necessidade de se compreender o funcionamento do ciclo da água, os processos que controlam o seu movimento e os prováveis impactos sobre a quantidade e qualidade da água (ANDRADE, MELLO e BESKOW, 2013).

O entendimento do ciclo hidrológico auxilia no processo de planejamento e manejo dos recursos hídricos, em estudos ambientais e projetos de obras hidráulicas (MARINHO FILHO ET AL., 2012).

Essa avaliação pode ser realizada aplicando-se a equação geral do balanço hídrico, a qual corresponde à tradução matemática do ciclo hidrológico e se baseia no princípio da lei da continuidade e na troca de energia dos sistemas envolvidos, representando a quantificação da água presente nas suas diferentes fases, no tempo e no espaço (TUCCI e BELTRAME, 2007).

Os principais componentes do balanço hídrico (e conseqüentemente do ciclo hidrológico) são a evaporação, a precipitação, a transpiração das plantas e percolação, infiltração e drenagem (TUNDISI, 2003). Cruz e Rivera (2014) destacam ainda que o consumo de água dos diferentes setores usuários também deve estar contido no balanço hídrico.

A bacia hidrográfica é o espaço geográfico mais adequado para a aplicação da equação do balanço hídrico (PORTO e PORTO, 2008). A bacia hidrográfica pode ser considerada um sistema físico onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado pelo exutório, considerando-se como perdas intermediárias os volumes evapotranspirados e os infiltrados profundamente (SILVEIRA, 2007).

Ainda, como destacam Porto e Porto (2008), na bacia hidrográfica se desenvolvem todas as atividades humanas, podendo se assumir que, no seu exutório, estão representados todos os processos que fazem parte do seu sistema, sendo consequência das formas de ocupação do território e da utilização das águas que para ali convergem.

Dessa maneira, através da aplicação da equação do balanço hídrico é possível estimar e avaliar os parâmetros hidrológicos de uma determinada bacia, incluindo sua variabilidade temporal e espacial (GUANDIQUE E MORAIS, 2015).

Neste estudo é realizada uma avaliação dos parâmetros hidrológicos da bacia do rio Sorocaba (BHS). Essa bacia está inserida na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos número 10 (UGRHI 10), conforme legislação do Estado de São Paulo (SÃO PAULO, 1994).

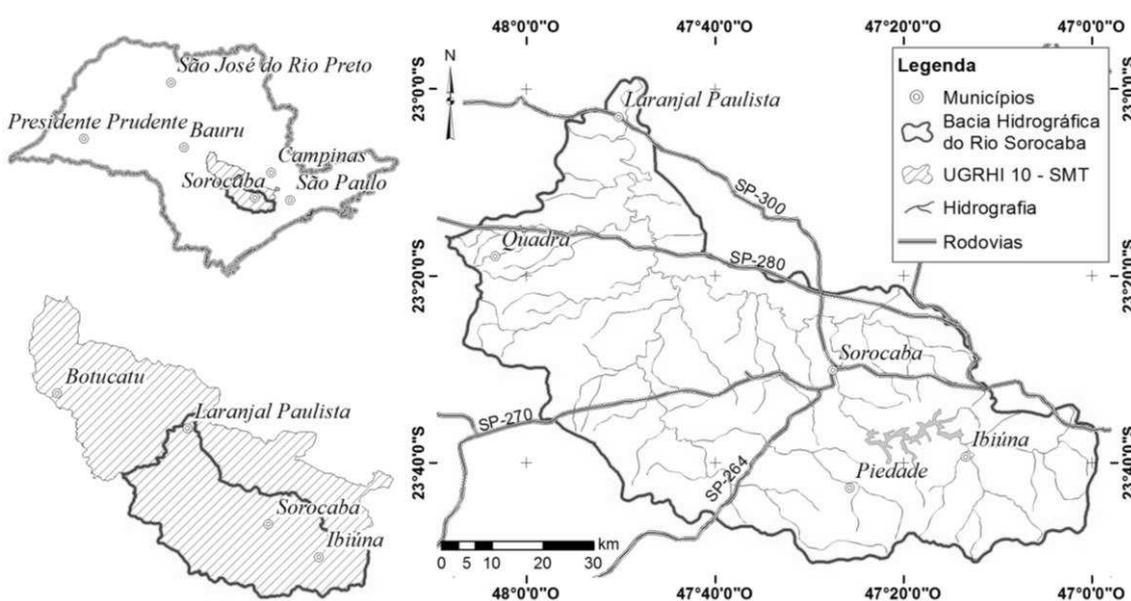
O objetivo é contribuir para o entendimento da circulação da água na BHS, fornecendo informações para um melhor planejamento e uso racional dos recursos hídricos na referida bacia. Para isso foram avaliados os dados disponíveis de chuva, temperatura e vazão do rio Sorocaba e estimados os parâmetros evapotranspiração real e potencial, o excedente hídrico e deficiência hídrica, através do método do balanço hídrico, e as vazões derivada e de retorno para os principais usos consuntivos.

Também foi analisada a variação desses parâmetros hidrológicos ao longo do tempo e do espaço, permitindo uma discussão acerca dessa variabilidade que influencia na estratégia de gerenciamento.

2.2. MATERIAL E MÉTODOS

A BHS está localizada no centro-sudeste do Estado de São Paulo (Figura 2.1), com uma área de 5.273 km² (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, 2006) e abrangência de 28 municípios, dos quais 20 possuem sede em seu território.

Figura 2.1. Localização da bacia hidrográfica do rio Sorocaba (BHS) – SP



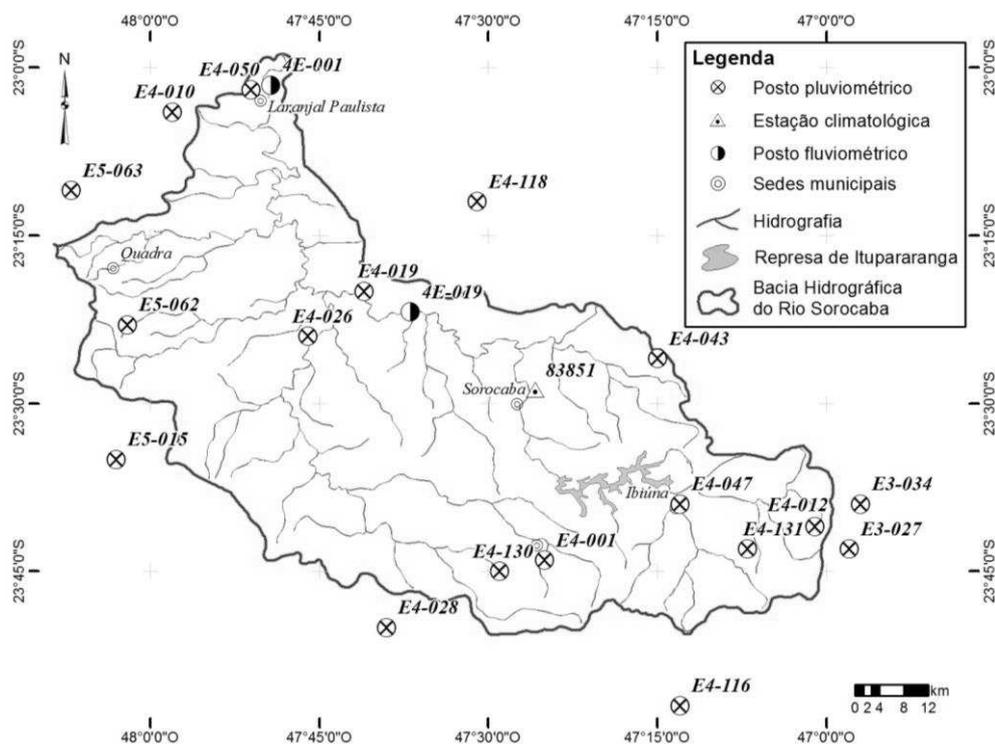
O rio Sorocaba, com aproximadamente 230 km, é o maior afluente da margem esquerda do rio Tietê, sendo formado pelos ribeirões Sorocamirim e Sorocabuçu, com

foz no município de Laranjal Paulista. Seus principais afluentes são os rios Sarapuí, Tatuí e da Onça e os ribeirões Aleluia e Guarapó. A represa de Itupararanga, localizada no alto curso do rio Sorocaba, próximo à cabeceira, é o principal reservatório da bacia (COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SOROCABA-MÉDIO TIETÊ, 2013).

A consulta às estações climatológicas, postos pluviométricos e fluviométricos foi realizada no sítio eletrônico do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (2015), no Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas – ANA (2015a) e no Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE (SÃO PAULO, 2015a). Identificou-se uma estação climatológica, 24 postos pluviométricos e dois postos fluviométricos com dados disponíveis para a área de interesse.

Foram analisados os dados hidrológicos mensais para o período comum de 2006 a 2012 por conter o maior número de registros contínuos nos instrumentos selecionados. Por esse motivo, utilizou-se os dados de 18 postos pluviométricos dos 24 identificados, além da estação climatológica (Figura 2.2). O posto fluviométrico analisado foi o denominado de Entre Rios (código 4E-001) situado próximo ao exutório da bacia do rio Sorocaba, no município de Laranjal Paulista. Sua área de contribuição é de 5.210 km², o que corresponde a 99% da área da bacia (5.273 km²).

Figura 2.2. Distribuição espacial dos postos pluviométricos, fluviométricos e da estação climatológica na bacia hidrográfica do rio Sorocaba – SP



As lacunas observadas nos registros de chuvas (Tabela 2.1) foram preenchidas pelo método de ponderação regional, usualmente utilizada para o preenchimento de séries mensais ou anuais de precipitações, visando à homogeneização do período de informações e à análise estatística das precipitações (BERTONI e TUCCI, 2007), como segue:

$$y = \frac{1}{3} \cdot \left[\frac{x_1}{x_{m1}} + \frac{x_2}{x_{m2}} + \frac{x_3}{x_{m3}} \right] \cdot y_m \quad (2.1)$$

Onde y é a precipitação do posto a ser estimada (mm), x_1 , x_2 e x_3 são as precipitações correspondentes ao mês que se deseja preencher, observadas em três estações vizinhas (mm), x_{m1} , x_{m2} e x_{m3} são as precipitações médias mensais nas três estações vizinhas (mm) e y_m é a precipitação média mensal do posto com lacuna (mm)

Tabela 2.1. Número de lacunas nos registros das séries históricas (2006 a 2012) dos instrumentos avaliados neste estudo

Prefixo	Tipo	Município	Meses sem dados	Prefixo	Tipo	Município	Meses sem dados
E3-027	PP	Cotia	2	E4-050	PP	Laranjal Paulista	0
E3-034	PP	Cotia	0	E4-116	PP	Ibiúna	2
E4-001	PP	Piedade	9	E4-118	PP	Porto Feliz	0
E4-010	PP	Pereiras	2	E4-130	PP	Piedade	0
E4-012	PP	Cotia	0	E4-131	PP	Ibiúna	0
E4-019	PP	Iperó	0	E5-015	PP	Itapetininga	0
E4-026	PP	Tatuí	3	E5-062	PP	Tatuí	1
E4-028	PP	Pilar do Sul	0	E5-063	PP	Porangaba	0
E4-043	PP	Mairinque	10	83851	EC	Sorocaba	0
E4-047	PP	Ibiúna	1	4E-001	PF	Laranjal Paulista	1

PP: posto pluviométrico; EC: estação climatológica; PF: posto fluviométrico

A falha no registro mensal de vazão no posto fluviométrico 4E-001 foi preenchida pelo método da regressão linear simples, dada pela equação 2.2, utilizando-se como referência os dados do posto fluviométrico de prefixo 4E-019 localizado no mesmo rio, na cidade de Iperó, disponível no banco de dados do DAEE (SÃO PAULO, 2015a). O ajuste da reta foi realizado pelo método dos mínimos quadrados (NAGHETTINI e PINTO, 2007).

$$y_i = a + b \cdot x_i \quad (2.2)$$

Com y_i a variável dependente, x_i a variável independente; a e b os coeficientes do modelo, estimados a partir dos dados fornecidos pela amostra

A análise da consistência dos dados após o preenchimento das séries foi feita a partir do método da Dupla Massa desenvolvido pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos. Esse método consiste em plotar em um gráfico cartesiano os valores acumulados mensais de um determinado posto nas ordenadas (eixo y) e de outro posto adotado como base de comparação nas abcissas (BERTONI e TUCCI, 2007).

Para os dados de chuvas os valores base de comparação utilizados foram as médias mensais de todos os postos selecionados, exceto aquele que se quer consistir. Para o posto pluviométrico foram adotados como base de comparação os registros de vazão do posto 4E-019 (SÃO PAULO, 2015a), que possui área de contribuição de 2.010 km². Haverá consistência dos dados da estação analisada quando houver uma tendência linear em relação às estações vizinhas.

Para se verificar a linearidade entre os registros do posto analisado com relação aos demais avaliou-se o ajuste da equação da reta e do coeficiente de determinação. A homogeneidade regional dos dados ocorre quando o coeficiente de determinação for próximo a 1 (BURIOL ET AL., 2006).

A precipitação média mensal e anual para a bacia foi estimada a partir da metodologia do polígono de Thiessen, conforme descrito em Bertoni e Tucci (2007) e dado pela equação 2.3.

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \cdot P_i}{A} \quad (2.3)$$

Sendo P a chuva média na bacia (mm), P_i a chuva no posto i (mm), A_i a área do respectivo polígono na bacia (km²) e A a área total da bacia (km²)

A partir dos dados da série histórica foi elaborado o mapa de chuva média acumulada anual para a BHS, através da interpolação das médias anuais dos postos pluviométricos.

Como os trabalhos desenvolvidos até o momento não demonstram de forma conclusiva qual o melhor método de interpolação espacial a ser aplicado para essa variável climática (VIOLA ET AL., 2010; MAZZINI e SCHETTINI, 2009), foi utilizado o método de interpolação por *krigagem* ordinária, o qual é amplamente utilizado e apresentou bons resultados nos trabalhos de Loureiro e Lisboa (2014), Mello et al. (2003) e Carvalho e Assad (2002).

Para definição do ajuste do semivariograma foram utilizados três modelos teóricos: esférico, exponencial e gaussiano (ISAAKS e SRIVASTAVA, 1989). A definição do melhor ajuste do modelo foi obtida por meio da técnica de validação

cruzada (ISAAKS e SRIVASTAVA, 1989), onde o valor da chuva média histórica de uma estação pluviométrica é sequencialmente omitido e o seu valor previsto com os valores das estações restantes, permitindo um diagnóstico estatístico entre os valores previstos e os observados. Os parâmetros analisados foram o erro médio, erro quadrático médio, erro padrão médio, erro normalizado médio e o erro quadrático normalizado médio.

Com a obtenção dos parâmetros desses modelos determinou-se o Índice de Dependência Espacial (IDE) do fenômeno regionalizado em questão, conforme proposto por Cambardella et al. (1994):

$$IDE = \frac{C_0}{C_0 + C_1} \cdot 100\% \quad (2.4)$$

Sendo C_0 o efeito pepita; C_1 o patamar

A temperatura média mensal foi calculada através da média aritmética dos dados da estação climatológica de Sorocaba (83851).

A partir da elaboração do balanço hídrico pela metodologia desenvolvida por Thornthwaite & Mather (1955), adaptado conforme simplificações propostas por Pereira (2005), com periodicidade mensal, foram estimados: a evapotranspiração potencial e a real, a deficiência hídrica e o excedente hídrico. A equação do balanço hídrico é dada por:

$$P = ESC + \Delta ARM + ETR + I + R \quad (2.5)$$

Onde P é a chuva (mm), ESC o escoamento superficial (mm), ETR a evapotranspiração real (mm), ΔARM a variação no armazenamento de água no solo (mm), I é a infiltração ou recarga (mm) e R as derivações de água da bacia (mm)

O escoamento superficial (ESC) e a infiltração (I) correspondem ao excedente hídrico e não foram desmembrados nesse estudo. O armazenamento (ARM) foi calculado com base nas simplificações propostas por Pereira (2005), segundo as equações:

$$ARM_{\eta} = ARM_{n-1} \exp \left[\frac{(P - ETP)_{\eta}}{CAD} \right], \text{ para } P - ETP < 0 \quad (2.6)$$

$$ARM_{\eta} = ARM_{n-1} + (P - ETP)_{\eta}, \text{ para } P - ETP > 0 \quad (2.7)$$

Em que ARM_{η} é o armazenamento para o mês de interesse (mm), ETP a evapotranspiração potencial (mm) e CAD capacidade de água disponível no solo (mm)

A inicialização do balanço hídrico foi aplicada ao último mês do período chuvoso e seguiu o critério recomendado por Mendonça (1958), descrito em Pereira (2005), dada pela equação a seguir:

$$ARM_i = \frac{M}{1 - \exp\left(\frac{N}{CAD}\right)} \quad (2.8)$$

Sendo ARM_i o armazenamento no mês de início dos cálculos (mm), M corresponde a $\Sigma[P-ETP]+$ (mm) e N é $\Sigma[P-ETP]-$ (mm)

A evapotranspiração potencial (ETP) foi estimada através do método proposto por Thornthwaite (1948), o qual apresenta bons resultados para a escala mensal (PEREIRA, ANGELOCCI E SENTELHAS, 2002), através da equação 2.9:

$$ETP = 16b \left(10 \frac{T}{i}\right)^a, 0^\circ\text{C} \leq T \leq 26^\circ\text{C} \quad (2.9)$$

Onde T é a temperatura média mensal ($^\circ\text{C}$), i representa o índice de calor disponível para a região, a é a função cúbica de i calculado a partir da soma dos índices de calor dos 12 meses, b é o fator de correção referente ao período de insolação durante o dia que varia em função da latitude do local de estudo. Os cálculos de i , a e b são realizados a partir das seguintes equações:

$$i = \sum_{\eta=1}^{12} (0,2T_\eta)^{1,514}, T_x > 0^\circ\text{C} \quad (2.10)$$

$$a = 6,75x10^{-7}i^3 - 7,71x10^{-5}i^2 + 1,7912x10^{-2}i + 0,49239 \quad (2.11)$$

$$b = \left(\frac{ND}{30}\right) \times \left(\frac{N}{12}\right) \quad (2.12)$$

Em que ND é o número de dias no mês e N o fotoperíodo (h)

A evapotranspiração real (ETR) foi obtida a partir das equações 2.13 e 2.14 baseadas nas considerações de Amorim Neto (1989):

$$ETR = ETP \text{ (se } P - ESC - ETP - I > 0) \quad (2.13)$$

$$ETR = P - ESC - \Delta ARM \text{ (se } P - ESC - ETP - I < 0) \quad (2.14)$$

A capacidade de água disponível no solo (CAD) depende da densidade aparente, da profundidade do perfil explorado pelas raízes da vegetação e da umidade na capacidade de campo até o ponto de murcha permanente (PEREIRA, VILA NOVA E SEDYAMA, 1997). Devido à dificuldade de se definir um valor para essa variável, optou-se pelo uso de diferentes valores (25 mm, 50 mm, 75 mm e 100 mm), analisando-se os efeitos sobre os resultados do balanço hídrico e qual se adequa melhor ao modelo proposto através da comparação do resultado do excedente hídrico com a vazão média anual no exutório da bacia.

As estimativas das vazões de retirada e de retorno dos principais usos consuntivos foram realizadas a partir dos dados dos processos de outorga disponibilizados em meio eletrônico pelo DAEE (SÃO PAULO, 2015b).

As vazões de retirada correspondem ao volume de água derivado dos mananciais pelos usuários, enquanto que a vazão de retorno é a parcela não consumida da vazão de retirada, ou seja, que retorna ao manancial. Os usos consuntivos foram agrupados em urbano, rural, dessedentação animal, industrial e irrigação, conforme definidos na Portaria DAEE nº 717/96 (SÃO PAULO, 1996).

A estimativa da vazão de água derivada para cada uma das classes indicadas acima foi obtida com base na vazão outorgada e no regime de operação, ambos descritos nos processos de outorga de concessão de uso dos recursos hídricos, conforme metodologia aplicada por ANA (2012) e pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos - SEMARH (RIO GRANDE DO NORTE, 2012a e 2012b). Inicialmente foi realizada uma consistência do banco de dados, eliminando-se as outorgas indeferidas e os processos em duplicata.

Os processos sem informação de vazão outorgada não foram utilizados nessa estimativa, enquanto que as lacunas existentes nas informações sobre regime de operação do sistema foram preenchidas com os dados apresentados na Tabela 2.2, que correspondem às médias dos registros que possuem a informação. Por exemplo, para uma captação para o uso urbano, cujo processo não há informação de quantas horas por dia o sistema de bombeamento opera, foi adotado 13 horas, que corresponde à média de todos os processos para essa finalidade.

As taxas de retorno adotadas para cada uma das classes de uso são apresentadas na Tabela 2.2. Para o uso urbano foi utilizada a taxa indicada na Norma Técnica NBR 9649 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1986) e aos usos rural e dessedentação animal foram adotadas as taxas descritas pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS (2005). As taxas de retorno para os usos industrial e irrigação foram obtidas em ANA (2015b).

Tabela 2.2. Dados médios de operação dos processos outorgados e taxa de retorno

Uso	Horas/dia	Dias/mês	Meses/ano	K_{ret}
Urbano	13	30	12	0,80 ¹
Rural	10	30	12	0,50 ²
Dessedentação animal	16	30	12	0,20 ²
Industrial	13	28	12	0,20 ³
Irrigação	7	21	12	0,34 ³

K_{ret} : taxa de retorno; 1: conforme recomendado pela NBR 9649 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1986); 2: indicado por ONS (2005); 3: estimado por ANA (2015b)

Com os dados consistidos e as lacunas preenchidas foram calculados os volumes anuais de retirada e de retorno para cada uma das outorgas concedidas a partir das equações 2.15 e 2.16, respectivamente. Após esse cálculo, foram somados os volumes para cada uma das classes de uso, correspondendo ao volume total anual dessas classes.

$$Q_{uso} = Q_{out} \cdot h \cdot d \cdot m \quad (2.15)$$

Onde Q_{uso} é o volume total captado ($m^3 \cdot ano^{-1}$); Q_{out} é a vazão indicada no processo de outorga ($m^3 \cdot h^{-1}$); h são as horas em que ocorre captação; d são os números de dias no mês em que o sistema opera; e m a quantidade de meses no ano

$$Q_{ret} = Q_{uso} \cdot k_{ret} \quad (2.16)$$

Sendo Q_{ret} a vazão de retorno ($m^3 \cdot ano^{-1}$); k_{ret} a taxa de retorno para o respectivo uso (adimensional)

2.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nos resultados do teste de dupla massa observou-se que todos os instrumentos avaliados apresentaram consistência das séries históricas com comportamento linear e coeficientes de determinação superiores a 0,9944 (Figura 2.3), o que garante a homogeneidade regional dos dados de chuvas utilizados nesse estudo.

A temperatura média anual na BHS para a série histórica avaliada (2006 a 2012) é de 21,2°C com a menor temperatura média mensal ocorrendo em junho (17,1°C) e a maior no mês de fevereiro (24,6°C). Nota-se ainda que os meses mais frios ocorrem entre maio e agosto, onde a temperatura média mensal não ultrapassa 20°C (Tabela 2.3).

Tabela 2.3. Médias mensais de temperatura da estação 83851 (2006 a 2012) em °C

jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual
23,6	24,6	23,8	21,8	18,3	17,1	17,5	19,0	20,4	21,9	22,5	23,8	21,2

Em relação aos dados médios de chuvas, considerando-se os registros dos 18 postos pluviométricos e da estação climatológica (Tabela 2.4), observa-se uma variação temporal ao longo do ano hidrológico, com a ocorrência de um período chuvoso entre outubro e março, com média mensal superior a 100 mm, o qual corresponde a mais de 70% do total anual, e uma estação seca, com o menor volume médio no mês de agosto (29,5 mm).

Figura 2.3. Curvas das duplas massas para verificação da consistência das séries históricas

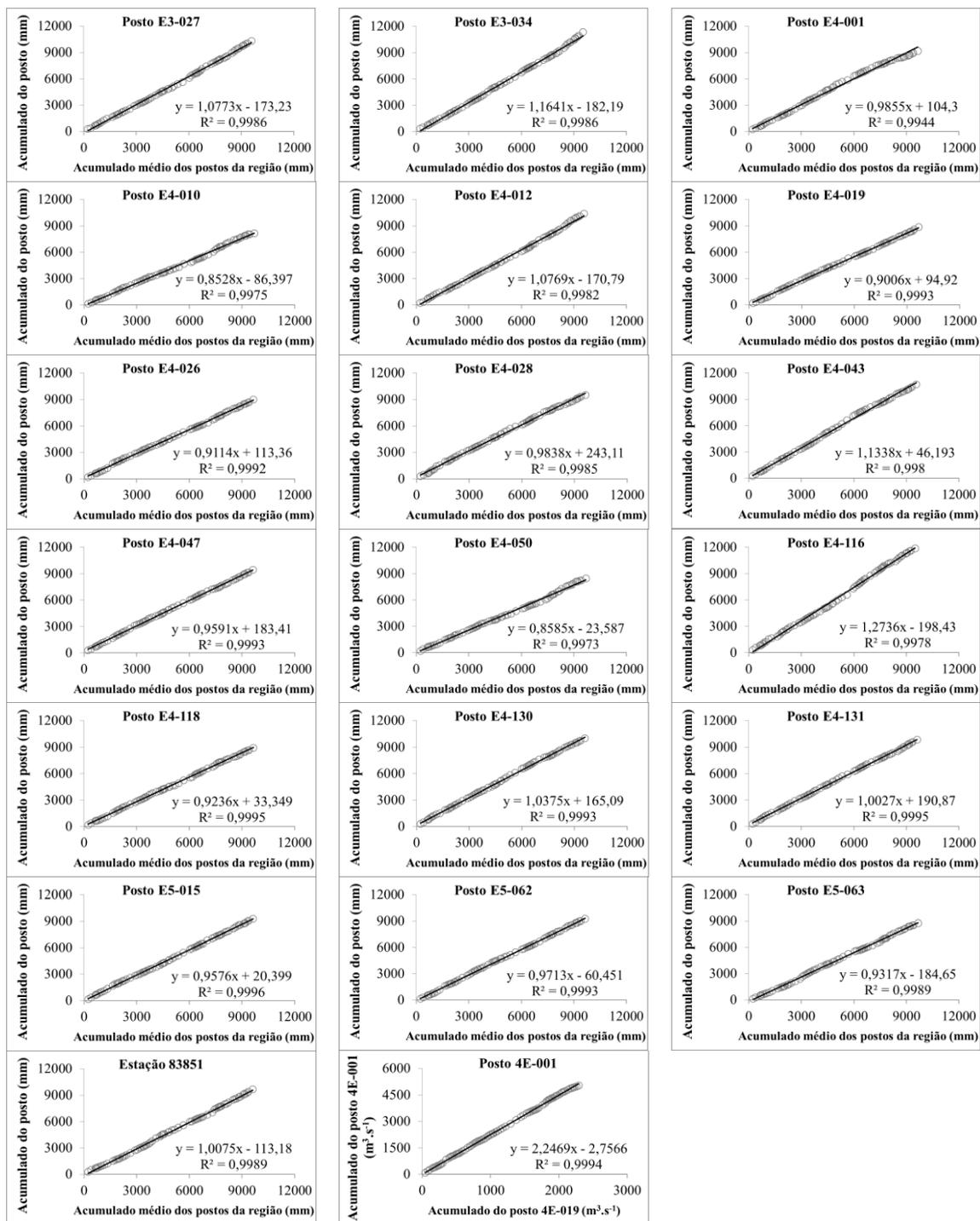


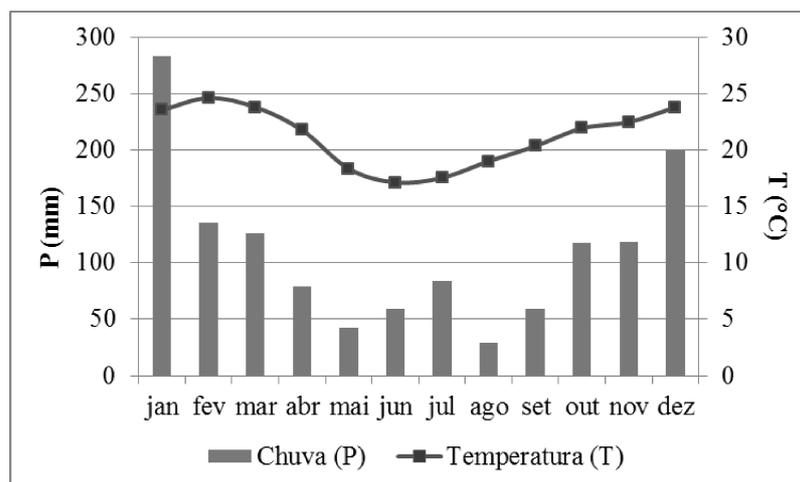
Tabela 2.4. Dados estatísticos dos registros mensais de chuvas em mm (2006 a 2012)

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Anual
Média ¹	284,3	135,6	126,5	79,1	41,9	59,6	84,4	29,5	59,5	117,7	119,6	199,3	1.336,9
DP	30,1	27,1	19,2	10,9	6,5	6,8	15,2	8,9	13,9	10,8	26,6	21,7	136,2
Variância	912,0	712,0	368,0	113,5	40,9	44,2	236,6	75,9	195,5	123,4	774,4	448,0	18.996,9
Mínimo	224,8	115,9	94,0	60,3	36,0	49,8	67,0	21,1	33,5	99,7	71,1	165,1	1.164,0
Máximo	323,2	209,5	178,0	112,2	62,0	71,6	113,9	59,8	86,2	141,4	159,0	248,5	1.690,0

1: média obtida pelo método do polígono de Thiessen; DP: desvio padrão

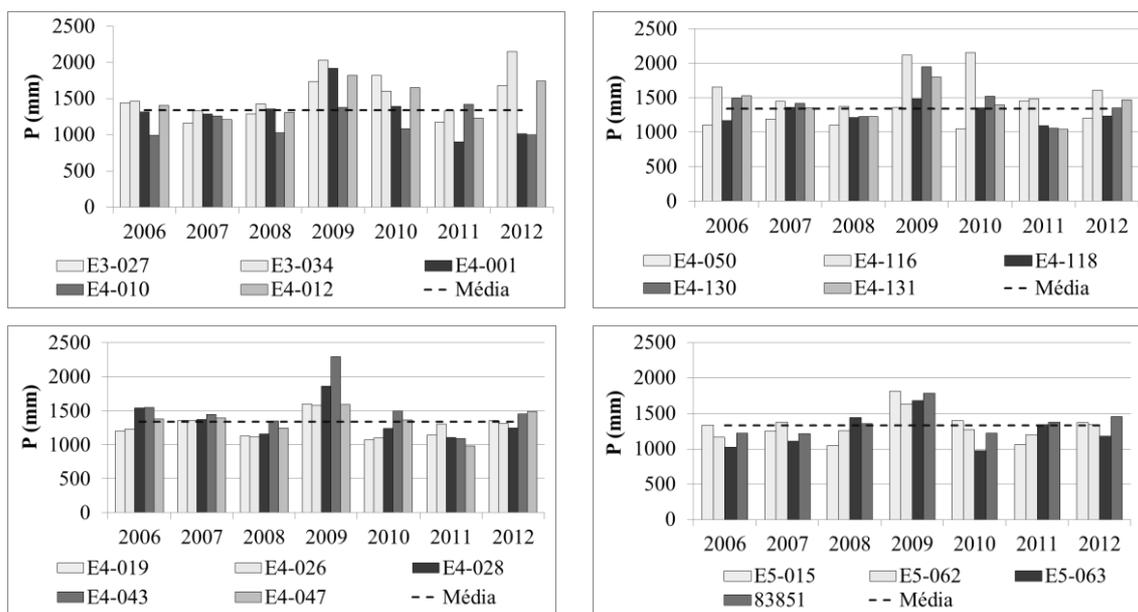
A partir dos dados de chuva e temperatura podem ser identificadas duas estações distintas, sendo uma quente e úmida (outubro a março) e outra fria e seca (abril a setembro), conforme apresentado na Figura 2.4.

Figura 2.4. Distribuição temporal da chuva média mensal e temperatura média mensal na BHS (período de 2006 a 2012)



Os anos de 2008 e 2011 foram os que apresentaram os menores volumes de chuvas anuais, abaixo da média da bacia, enquanto que no ano de 2009 ocorreram os maiores acumulados, superando a média da bacia (Figura 2.5). Considerando-se os dados de todos os postos pluviométricos, o ano de 2009 apresentou chuva média anual de 1.759 mm, enquanto que nos anos de 2008 e 2011 foram, respectivamente, 1.244 mm e 1.199 mm.

Figura 2.5. Volumes de chuva anual nos postos pluviométricos em relação à média anual da BHS



Os resultados das análises estatísticas da simulação da interpolação pelos três modelos de semivariograma testados são apresentados na Tabela 2.5. Foi selecionado o modelo gaussiano por apresentar o melhor ajuste ao semivariograma, contemplando-se todos os erros do prognóstico de maneira integrada, conforme recomendado por Léllis e Barroso (2011).

Tabela 2.5. Acurácia dos modelos teóricos de semivariograma (mm)

Parâmetros	Modelos		
	Esférico	Exponencial	Gaussiano
Erro médio	-10,018	-8,855	-9,845
Erro quadrático médio	96,396	97,094	95,835
Erro padrão médio	-0,065	-0,058	-0,063
Erro quadrático normalizado médio	0,967	0,972	0,967
Erro padrão médio	95,175	97,047	94,294

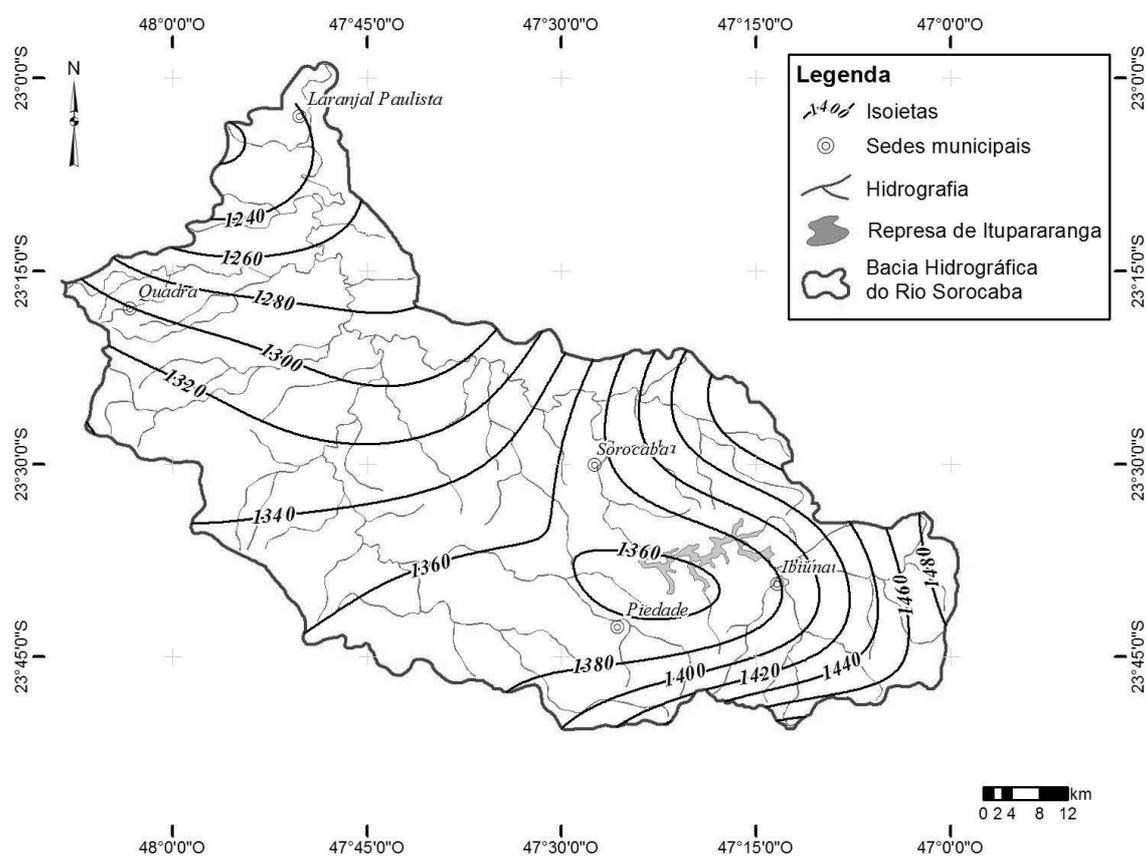
Através da análise do modelo teórico foi possível determinar os valores dos parâmetros aplicados na *krigagem* ordinária pelo método gaussiano, adotando-se 42,45 km para o maior alcance, para o efeito pepita 4.246 e patamar de 6.890. O modelo gaussiano apresenta IDE de 62% o que demonstra uma moderada dependência espacial, segundo Cambardella et al. (1994).

O erro padrão médio corresponde a menos de 10% das médias anuais de chuvas observadas nos instrumentos avaliados, não comprometendo o resultado obtido pela interpolação.

A distribuição areal da chuva acumulada anual aponta a diminuição dos volumes da cabeceira, onde atinge valores próximos a 1.500 mm, em direção ao exutório da bacia, com lâmina acumulada de 1.220 mm, ou seja, uma redução de aproximadamente 20% (Figura 2.6).

Esta é uma informação importante para a gestão dos recursos hídricos na bacia, pois, considerando-se os trabalhos de Hewlett e Hibbert (1963) e de Weyman (1970), que indicam que a infiltração das águas das chuvas no solo ocorre principalmente nas partes altas das bacias e, com o aumento do teor da umidade no perfil de solo, desloca-se no sentido da vertente, gerando o escoamento subsuperficial, as cabeceiras são áreas fundamentais para a recarga hídrica do solo. Além disso, o maior reservatório de água da BHS, a represa de Itupararanga, está localizado na porção da bacia com maior concentração de chuvas.

Figura 2.6. Precipitação média anual na bacia hidrográfica do rio Sorocaba - SP



Os resultados do balanço hídrico climatológico conforme a Capacidade de Água Disponível no Solo - CAD adotada são apresentados na Tabela 2.6. A evapotranspiração potencial (ETP) foi estimada em $1.011 \text{ mm.ano}^{-1}$, com o maior valor mensal observado em dezembro (120 mm) e o menor em junho (43 mm).

Tabela 2.6. Resultados do balanço hídrico climatológico (2006 a 2012)

	P	ETP	CAD 25 mm			CAD 50 mm			CAD 75 mm			CAD 100 mm		
			ETR	EXC	DEF	ETR	EXC	DEF	ETR	EXC	DEF	ETR	EXC	DEF
			(mm)											
jan	284	118	118	166	0	118	166	0	118	166	0	118	166	0
fev	136	115	115	20	0	115	20	0	115	20	0	115	20	0
mar	127	113	113	14	0	113	14	0	113	14	0	113	14	0
abr	79	83	83	0	0	83	0	0	83	0	0	83	0	0
mai	42	54	54	0	0	54	0	0	54	0	0	54	0	0
jun	60	43	43	0	0	43	0	0	43	0	0	43	0	0
jul	84	46	46	38	0	46	38	0	46	38	0	46	38	0
ago	29	58	46	0	-11	51	0	-7	53	0	-5	54	0	-4
set	60	70	70	0	0	70	0	0	70	0	0	70	0	0
out	118	91	91	0	0	91	0	0	91	0	0	91	0	0
nov	120	98	98	21	0	98	16	0	98	14	0	98	13	0
dez	199	120	120	79	0	120	79	0	120	79	0	120	79	0
anual	1.337	1.011	999	338	-12	1.004	333	-7	1.006	331	-5	1.007	330	-4

P: chuvas (mm); ETP: evapotranspiração potencial (mm); CAD: capacidade de água disponível (mm); ETR: evapotranspiração real (mm); EXC: excedente hídrico (mm); DEF: deficiência hídrica (mm)

A evapotranspiração real (ETR) anual variou entre 999 mm para CAD de 25 mm e 1.007 mm, para CAD de 100 mm. Nota-se que a diferença anual entre a ETR e a ETP é relativamente pequena, independente da CAD adotada. Em todos os casos apenas no mês de agosto a ETP é maior que a ETR e ocorre deficiência hídrica.

O excedente hídrico (EXC) variou 2% entre o valor máximo de 338 mm.ano^{-1} e o mínimo de 330 mm.ano^{-1} , o que em ambos os casos corresponde a cerca de 25% da precipitação anual. Estudos realizados por Horikosh e Fisch (2007) também determinaram a mesma proporção para o EXC em relação às chuvas na bacia hidrográfica do rio Una, no município de Taubaté, no Estado de São Paulo.

Analisando-se mensalmente os dados, o período entre novembro e março apresenta excedente hídrico, com valor máximo em janeiro (166 mm). Julho também apresentou excedência hídrica, apesar de corresponder ao período de estiagem na bacia. Este resultado pode ter sido influenciado pelo curto período da série histórica analisada,

com a ocorrência de anos com volume de chuvas significativo nos meses de estiagem, principalmente junho e julho, conforme pode ser observado na Figura 2.4. Assim, essas chuvas contribuíram para elevação da média mensal de julho, resultando em um excedente hídrico para esse mês.

A vazão média anual no posto 4E-001 para a série histórica analisada foi de $60,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, muito próxima a obtida por Fernandes, Nolasco e Mortatti (2010) nessa mesma estação, para o período de 1984 a 2008, de $63,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. A vazão máxima média anual foi de $98,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e vazão mínima média anual $37,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. A maior vazão média ocorreu no ano de 2010 ($74,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) e a menor foi registrada no ano de 2012 ($48,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), conforme pode ser observado na Tabela 2.7.

O ano de 2009 foi o que apresentou o maior volume acumulado de chuvas e, conseqüentemente, a maior vazão média anual. Entretanto, o ano de 2012, que possui a menor vazão média anual não foi o ano de menor acumulado de chuva. Esse fato provavelmente está associado à variação temporal das chuvas durante o ano, com pequenos volumes nos meses de outubro e novembro e aumento considerável em dezembro, resultando em uma vazão média anual menor, mesmo com acumulado anual de chuva maior que no ano de 2011.

Tabela 2.7. Dados de vazão média do posto fluviométrico 4E-001 em $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

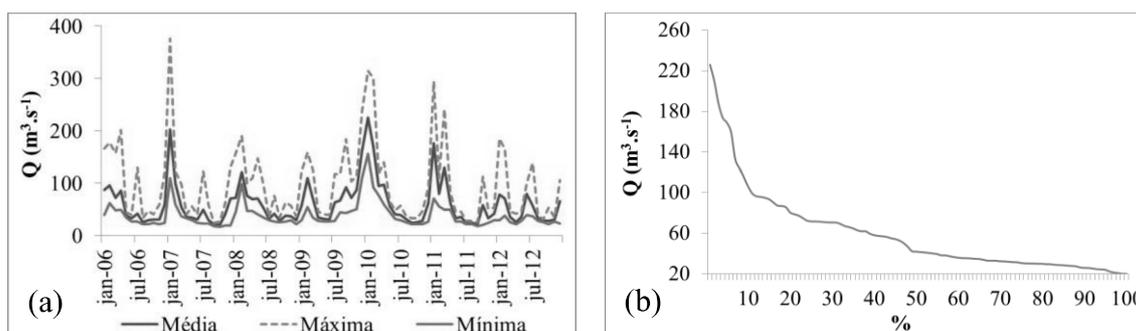
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual
2006	87,0	95,9	71,8	85,6	38,3	33,0	41,4	25,6	29,6	30,3	30,7	58,9	52,4
2007	202,1	99,9	54,3	35,2	34,6	30,3	48,8	28,8	21,5	20,2	41,0	70,8	57,3
2008	71,7	121,4	76,3	69,0	70,7	52,1	31,7	42,0	27,6	38,3	37,1	29,6	55,6
2009	56,7	109,7	70,6	34,8	31,6	30,0	63,4	66,5	92,7	72,6	87,5	161,6	73,1
2010	225,5	170,5	94,7	96,5	55,1	40,3	39,9	32,3	24,5	26,1	28,3	62,0	74,6
2011	175,9	79,2	129,3	62,0	32,4	35,7	24,7	24,0	21,3	57,7	33,1	42,4	59,8
2012	78,6	71,3	36,2	26,0	35,5	87,5	57,3	33,0	28,8	27,9	30,2	66,0	48,2
Média	128,2	106,8	76,2	58,5	42,6	44,1	43,9	36,0	35,1	39,0	41,1	70,2	60,2
DP	70,3	32,8	29,7	27,3	14,7	20,6	13,7	14,7	25,6	19,1	20,9	42,8	10,1
Mínimo	56,7	71,3	36,2	26,0	31,6	30,0	24,7	24,0	21,3	20,2	28,3	29,6	48,2
Máximo	225,5	170,5	129,3	96,5	70,7	87,5	63,4	66,5	92,7	72,6	87,5	161,6	74,6

Observa-se uma relação direta entre as vazões e a chuva (Figura 2.7(a)), pois as vazões mais elevadas foram registradas nos períodos chuvosos. A maior vazão média mensal observada foi de $225,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ em janeiro de 2010, e a vazão máxima mensal mais elevada foi de $376,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ em janeiro de 2007. A menor vazão média mensal registrada foi de $20,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ em outubro de 2007.

A curva de permanência elaborada a partir dos dados médios diários (Figura 2.7(b)) aponta que para o período de 2006 a 2012 em 95% do tempo ($Q_{95\%}$) a vazão foi igual ou superior a $24,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Esse valor pode ser utilizado como indicador da disponibilidade hídrica da bacia.

Estudos elaborados pelo Instituto de Pesquisa Tecnológica – IPT (2008) obtiveram para a BHS, $Q_{7,10}$ de $15,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ através da regionalização dos parâmetros hidrológicos, e de $11,9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a partir de dados de séries históricas com no mínimo 25 anos de registros dos postos fluviométricos inseridos na bacia. O Comitê de Bacia Hidrográfica Sorocaba-Médio Tietê - CBH-SMT (2013) aponta para $Q_{95\%}$ de $56,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ para toda a UGRHI 10. Com isso, a contribuição do rio Sorocaba para a $Q_{95\%}$ da UGRHI 10 corresponde a 43% do total.

Figura 2.7. (a) hidrograma e (b) curva de permanência dos dados do posto fluviométrico 4E-001 (2006 a 2012)



A maior vazão derivada da bacia é para atendimento ao abastecimento urbano, seguida pelo uso industrial e irrigação (Tabela 2.8), em concordância com as características urbanas e industriais da bacia.

A vazão total derivada dos mananciais foi estimada em $9,69 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ dos quais $6,04 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ retornam a bacia e $3,65 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ são efetivamente consumidos, refletindo na vazão do exutório da bacia.

De acordo com o modelo teórico adotado, o excedente hídrico estimado no balanço hídrico corresponde à vazão média observada no exutório da bacia acrescida da vazão consumida. Dessa maneira, foi possível comparar os resultados das estimativas do EXC para cada CAD utilizada, adotando-se aquele que mais se aproxima ao valor da soma da vazão média e da vazão consumida.

Tabela 2.8. Vazões anuais de retiradas e de retorno pelos usos consuntivos na BHS segundo dados de outorga

Usos consuntivos	Industrial	Urbano	Rural	Irrigação	Animal	Total
Vol _{deriv} (m ³ .ano ⁻¹)	57.560.057	203.245.560	7.686.868	35.601.772	1.410.127	305.504.384
Q _{deriv} (m ³ .s ⁻¹)	1,83	6,44	0,24	1,13	0,04	9,69
Vol _{ret} (m ³ .ano ⁻¹)	11.512.011	162.596.448	3.843.434	12.104.602	282.025	190.338.521
Q _{ret} (m ³ .s ⁻¹)	0,37	5,15	0,12	0,38	0,01	6,04
Vol _{cons} (m ³ .ano ⁻¹)	46.048.046	40.649.112	3.843.434	23.497.170	1.128.102	115.165.863
Q _{cons} (m ³ .s ⁻¹)	1,46	1,29	0,12	0,75	0,03	3,65

Vol_{deriv}: volume derivado; Q_{deriv}: vazão derivada; Vol_{ret}: volume de retorno; Q_{ret}: vazão de retorno; Vol_{cons}: volume consumido que corresponde ao saldo da Vol_{deriv} - Vol_{ret}; Q_{cons}: vazão consumida que corresponde ao saldo da Q_{deriv} - Q_{ret}

A soma da vazão média do rio Sorocaba e vazão consumida foi de 63,9 m³.s⁻¹ (382 mm.ano⁻¹). Dos resultados do EXC o que mais se aproxima a esse valor foi aquele obtido com a CAD de 25 mm, cujo resultado foi de 56,5 m³.s⁻¹ (338 mm.ano⁻¹). A diferença entre o valor observado e o estimado é de aproximadamente 10%. Sendo assim, foram adotados para a bacia os resultados dos parâmetros hidrometeorológicos obtidos no balanço hídrico realizado com CAD de 25 mm (Tabela 2.9).

Tabela 2.9. Parâmetros hidrometeorológicos da BHS para o período de 2006 a 2012

T _{med} (°C)	21	
	mm.ano ⁻¹	m ³ .s ⁻¹
P _{med}	1.337	223,5
Q _{med}	360	60,2
ETP	1.011	169
ETR	999	167
EXC	338	56,5
Q _{cons}	22	3,7

P_{med}: chuva média; T_{med}: temperatura média; Q_{med}: vazão média; ETP: evapotranspiração potencial; ETR: evapotranspiração real; EXC: excedente hídrico; Q_{cons}: vazão consumida

2.4. CONCLUSÕES

Considerando-se os dados dos parâmetros hidrológicos para o período de 2006 a 2012 a chuva média na BHS foi de 1.337 mm.ano⁻¹, a temperatura média anual foi de 21,2°C. Ocorrem duas estações bem definidas, uma quente e úmida, entre outubro e março e outra fria e seca nos meses de abril a setembro.

Verificou-se uma variabilidade anual no acumulado de chuvas nos instrumentos estudados em relação à média da bacia, com o ano de 2011 apresentando o menor valor médio (1.199 mm) e o ano de 2009 a maior média (1.759 mm). Também foi verificada uma variabilidade espacial da chuva, com diminuição dos volumes em torno de 20% da cabeceira em direção ao exutório da bacia.

A vazão média do rio Sorocaba próximo ao seu exutório para o período citado foi de $60,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e a vazão consumida pelos usuários foi estimada em $3,7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Admitindo-se que o EXC corresponde à soma das duas vazões citadas, o resultado do balanço hídrico que mais se aproximou desse valor foi de $56,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ($338 \text{ mm} \cdot \text{ano}^{-1}$), adotando-se uma CAD de 25 mm. Sendo assim, o excedente hídrico da bacia corresponde à aproximadamente 25% do volume médio de chuva.

A ETR e a ETP estimadas, para a CAD de 25 mm, foram respectivamente, $999 \text{ mm} \cdot \text{ano}^{-1}$ e $1.011 \text{ mm} \cdot \text{ano}^{-1}$. O balanço hídrico indica ainda que apenas no mês de agosto ocorre deficiência hídrica.

2.5. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Sistema de informações hidrológicas:** hidroweb. 2015a. Disponível em: <www.hidroweb.ana.gov.br>. Acesso em: 25 jun. 2015.

_____. **Conjuntura de recursos hídricos no Brasil:** informe 2014. Brasília, 2015b.

_____. **Estudos hidrogeológicos para a orientação do manejo das águas subterrâneas da Região Metropolitana de Natal.** Brasília, 2012. 5 volumes.

AMORIM NETO, M. S. A. **Balanço hídrico segundo Thornthwaite e Mather (1955).** Petrolina: EMBRAPA, 1989.

ANDRADE, M. A.; MELLO, C. R.; BESKOW, S. Simulação hidrológica em uma bacia hidrográfica representativa dos latossolos na região Alto Rio Grande, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 1, p. 69-76, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9649:** Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1986.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2007. p. 177-241.

BURIOL, G. A. et al. Homogeneidade e estatísticas descritivas dos totais mensais e anuais de chuva de Santa Maria, Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [S.l.], v. 11, p. 89-97, 2006.

CAMBARDELLA, C. A. et al. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 58, p. 1501-1511, 1994.

CARVALHO, J. R. P.; ASSAD, E. D. **Comparação de interpoladores espaciais univariados para precipitação pluvial anual no Estado de São Paulo**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2002.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SOROCABA-MÉDIO TIETÊ. **Relatório de situação dos recursos hídricos. UGRHI 10**. Ano base 2012. Sorocaba, 2013.

CRUZ, D. C.; RIVERA, M. E. Distribución del recursos hídrico de la microcuenca La Quiña, Departamento de Boyacá, Colombia. **Revista Ambiental Agua, Ayre y Suelo**, [S.l.], v. 5, n. 1, p.1-19, 2014.

FERNANDES, A. M.; NOLASCO, M. B.; MORTATTI, J. Estimativa do escoamento superficial rápido e sua carga em suspensão com a aplicação do modelo de separação de hidrogramas com filtros numéricos: Bacia do Rio Sorocaba – SP. **Geociências**, São Paulo, v. 29, n.1, p.49-57, 2010.

GUANDIQUE, M. E. G.; MORAIS, L. C. Estudo de variáveis hidrológicas e do balanço hídrico em bacias hidrográficas. In: POMPÊO, M. et al. (Org.). **Ecologia de reservatórios e interfaces**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2015. p. 434-447.

HEWLETT, J. D.; HIBBERT, A. R. Moisture and energy conditions within a sloping soil mass during drainage. **Journal Geophysical Resources**, [S.l.], v. 68, n. 4, p. 1081-1087, 1963.

HORIKOSH, A. S.; FISCH, G. Balanço hídrico atual e simulações para cenários climáticos futuros no município de Taubaté, SP, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, [S.l.], v. 2, n. 2, p. 33-46, 2007.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Plano de bacia da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Sorocaba e Médio Tietê (UGRHI 10):** Revisão para atendimento da Deliberação CRH 62. São Paulo, 2008.

_____. **Plano de Bacia da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Sorocaba e Médio Tietê (UGRHI 10).** Relatório Técnico nº 91 265-205. São Paulo, 2006.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa – BDMet.** 2015. Disponível em: <www.inmet.gov.br>. Acesso em: 23 jun. 2015.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics.** New York: Oxford University Press, 1989.

LÉLLIS, F. S.; BARROSO, G. F. Modelagem geoestatística da precipitação pluviométrica na bacia do rio Jacaraípe, Serra (ES). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** Curitiba: [s.n.], 2011. p. 5201-5208.

LOUREIRO, E.; LISBOA, E. G. Comparação dos Métodos de Interpolação Espacial Aplicados a Dados Pluviométricos da Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS, 19., 2011, Maceió. **Anais...** Maceió: ABRH, 2011. p. 1-20.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia estatística.** Belo Horizonte: CPRM, 2007.

MARINHO FILHO, G. M. et al. Modelos hidrológicos: conceitos e aplicabilidades. **Revista de Ciências Ambientais**, [S.l.], v. 6, n. 2, p. 35-47, 2012.

MAZZINI, P. L. F.; SCHETTINI, C. A. F. Avaliação de metodologias de interpolação espacial aplicadas a dados hidrográficos costeiros quase-sinóticos. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, Itajaí, v.1, n.13, p. 53-64. 2009.

MELLO, C. R. et al. Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 925-933, 2003.

MENDONÇA, P. V. Sobre o novo método de balanço hidrológico do solo de Thornthwaite-Mather. In: CONGRESSO LUSO-ESPANHOL PARA O PROGRESSO DAS CIÊNCIAS, 24., 1958, Madri. **Anais...** Madri: [s.n.], 1958. p. 271-282.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **Estimativas das vazões para atividades de uso consuntivo da água em bacias do Sistema Interligado Nacional – SIN.** Relatório Final. Metodologia e resultados consolidados. [S.l.: s.n.], 2005.

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

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

PEREIRA, A. R.; VILA NOVA, N. A.; SEDYAMA, G. C. **Evapo(trans)piração.** Piracicaba: ESALQ, 1997.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. Gestão de Bacias Hidrográficas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 43-60, 2008.

RIO GRANDE DO NORTE (Estado). Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. **Estudos hidrogeológicos para a orientação do manejo das águas subterrâneas do litoral norte à Região Metropolitana de Natal (Bloco Litoral Norte).** Natal, 2012a. 2 volumes.

_____. **Estudos hidrogeológicos para a orientação do manejo das águas subterrâneas do litoral sul à Região Metropolitana de Natal (Bloco Litoral Sul).** Natal, 2012b. 2 volumes.

SÃO PAULO (Estado). Lei Estadual n. 9.034, de 27 de dezembro de 1994. Dispõe sobre o Plano Estadual de Recursos Hídricos – PERH, a ser implantado no período 1994 e 1995, em conformidade com a Lei n. 7663, de 30 de dezembro de 1991, que instituiu normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos. **Diário Oficial [do] Estado de São Paulo**, Poder Executivo, São Paulo, SP, 28 de dezembro de 1994, v. 104, n. 241. p. 3-5.

SÃO PAULO (Estado). Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Rede hidrológica básica do Estado de São Paulo.** 2015a. Disponível em: <www.dae.sp.gov.br>. Acesso em: 23 jun. 2015.

SÃO PAULO (Estado). Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Pesquisa de dados dos recursos hídricos do Estado de São Paulo**. 2015b. Disponível em: <www.dae.sp.gov.br>. Acesso em: 28 jun. 2015.

_____. **Portaria DAEE 717/96, de 12 de dezembro de 1996**. Aprova a norma e os anexos de I a XVIII que disciplinam o uso dos recursos hídricos. [S.l.: s.n.], 1996.

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre, Editora da UFRGS/ABRH, 2007. p. 35-51.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, New York, v. 38, n. 1, p. 55-94, 1948.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance: publications in climatology**. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955.

TUNDISI, J. G. Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 55, n. 4, p. 31-32, 2003.

TUCCI, C. E. M.; BELTRAME, L. F. S. Evaporação e evapotranspiração. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2007. p. 253-287.

VIOLA, M. R. et al. Métodos de interpolação espacial para o mapeamento da precipitação pluvial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 9, p. 970-978, 2010.

WEYMAN, D. R. Throughflow on hillslopes and its relation to the stream hydrograph. **Hydrological Sciences Journal**, Oxford, v. 15, n. 3, p. 25-33, 1970.

3. DISPONIBILIDADE E DEMANDA HÍDRICA NA BACIA DO RIO SOROCABA/SP

3.1. INTRODUÇÃO

A demanda global de água é em grande parte influenciada pelo crescimento populacional, pelas políticas de urbanização, segurança alimentar e energética, e por processos macroeconômicos, como a globalização do comércio e a alteração nos padrões de consumo, conforme destaca a Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura – UNESCO (2015). Diante da tendência do contínuo aumento populacional e de produção de alimentos, a demanda e captação da água tendem a crescer ao longo do tempo (HESPANHOL, 2008), enquanto que a disponibilidade se mantém constante, ou até mesmo diminui para alguns usos, em razão da deterioração da sua qualidade, podendo gerar uma crise de abastecimento.

A capacidade do planeta de sustentar a crescente demanda por água doce está sendo contestada, e não pode haver desenvolvimento sustentável sem que a relação entre demanda e oferta esteja em equilíbrio (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, A CIÊNCIA E A CULTURA, 2015).

Com isso, a relação entre oferta e demanda hídrica se constitui em uma importante ferramenta para a gestão dos recursos hídricos, permitindo a identificação de áreas críticas, quanto à quantidade de água (PEREIRA JÚNIOR e NICÁCIO, 2014). Essa avaliação permite indicar se os recursos hídricos disponíveis suportam as demandas desejadas (BRANCO, 2006).

Conforme destaca Branco (2006), em regiões com conflitos pelo uso dos recursos hídricos ou no caso de conflito potencial, é fundamental conhecer as disponibilidades hídricas disponíveis, de modo a melhor compatibilizar seus usos múltiplos e reduzir os riscos de um conflito pelo uso da água.

Segundo Schmitz e Bittencourt (2015) a grande maioria dos estudos econômicos não aborda as bacias hidrográficas como unidade de análise. Isso tem importantes desdobramentos, pois a disponibilidade de água é dada nas unidades geográficas e não em unidades administrativas. Portanto, é importante identificar as demandas referentes às bacias, bem como é essencial averiguar a oferta dos recursos hídricos numa perspectiva de bacias hidrográficas.

Estudos contratados pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE (SÃO PAULO, 2013) indicam que a Macrometrópole Paulista, é uma região que

apresenta crescente risco de enfrentar problemas de escassez de água ou ficar vulnerável a eventualidades climáticas, de seca ou de excesso de chuvas. Nessa área estão inseridas oito Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI), que compõem a organização estadual para a gestão de recursos hídricos (SÃO PAULO, 1994).

Tanto no trabalho do DAEE (SÃO PAULO, 2013) quanto no de Schmitz e Bittencourt (2015) há indicações de que a UGRHI 10, que compreende a bacia hidrográfica do rio Sorocaba e do Médio Tietê, encontra-se em situação de escassez hídrica, tornando-se uma área vulnerável para a ocorrência de uma crise de abastecimento.

Por esse motivo, o presente estudo tem como objetivo estimar e estabelecer relações entre as demandas e disponibilidades hídricas na bacia hidrográfica do rio Sorocaba (BHS), totalmente incluída na UGRHI 10, de forma a contribuir para um melhor entendimento dessa relação e auxiliar na definição de políticas para o gerenciamento sustentável dos recursos hídricos.

3.2. MATERIAL E MÉTODOS

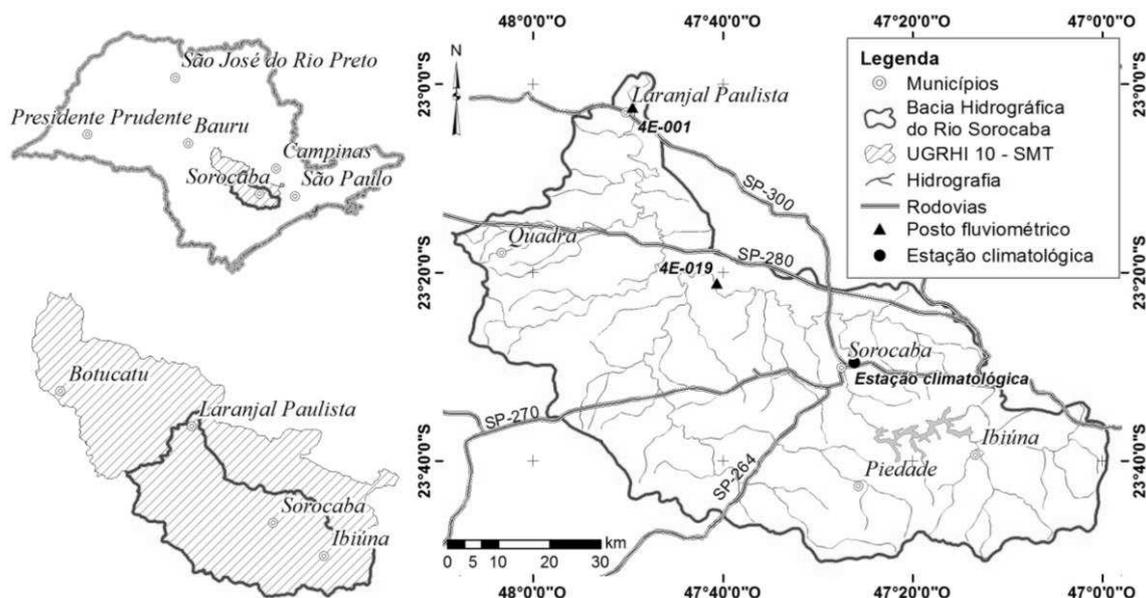
A BHS está localizada no centro-sudeste do Estado de São Paulo (Figura 3.1), com uma área de drenagem de 5.273 km² (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, 2006). Abrange 28 municípios, dos quais 20 com sede em seu território. Os rios Sorocabuçu e Sorocamirim dão origem ao rio Sorocaba e formam o Reservatório de Itupararanga, principal manancial da bacia, que regulariza o regime hidráulico do rio Sorocaba.

Os municípios inseridos na bacia apresentam uma economia diversificada, com destaque para as atividades industriais, localizadas principalmente no médio curso do rio Sorocaba, agropecuária no alto e baixo curso, além da área de serviços (COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SOROCABA-MÉDIO TIETÊ, 2013; SALLES ET AL., 2008). A população total, considerando-se os 20 municípios com sede na bacia é de 1.291.629 segundo o censo 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2014a), onde a população urbana representa 88% desse total.

A disponibilidade hídrica (ou oferta) de uma bacia corresponde à parcela da vazão que pode ser utilizada pelos usuários sem comprometer o meio ambiente aquático (CRUZ e TUCCI, 2008). Normalmente é obtida através da avaliação dos recursos hídricos superficiais, em função das descargas líquidas médias observadas nos cursos de água da bacia em estudo (BRANCO, 2006). Neste trabalho a oferta de água foi obtida

através do método da curva de permanência, a qual representa uma forma de expressão da frequência de ocorrência das vazões do rio e possui representatividade dos períodos de estiagem (CRUZ e TUCCI, 2008).

Figura 3.1. Localização da bacia hidrográfica do rio Sorocaba (BHS) – SP e instrumentos utilizados no estudo



A curva de permanência foi calculada com base nos dados de vazão média diária do posto fluviométrico 4E-001, localizado no rio Sorocaba (Figura 3.1), para o período de 2006 a 2012, disponível no banco de dados do DAEE (SÃO PAULO, 2015a). Este posto foi selecionado por ser o mais próximo ao exutório da bacia, representando uma área de drenagem de 5.210 km², o que corresponde a 99% da área. Foi adotada como vazão de referência a curva de permanência com 95% de probabilidade de ocorrência ($Q_{95\%}$).

As falhas nos registros de vazão no posto fluviométrico 4E-001 foram preenchidas pelo método da regressão linear simples, dada pela equação 3.1, utilizando-se como referência os dados do posto fluviométrico de prefixo 4E-019 localizado no mesmo rio, na cidade de Iperó (Figura 3.1), também obtido no banco de dados do DAEE (SÃO PAULO, 2015a). O ajuste da reta foi realizado pelo método dos mínimos quadrados (NAGHETTINI e PINTO, 2007).

$$y_i = a + b \cdot x_i \quad (3.1)$$

Com y_i a variável dependente, x_i a variável independente; a e b os coeficientes do modelo, estimados a partir dos dados fornecidos pela amostra

A análise da consistência dos dados após o preenchimento da série foi feita a partir do método da Dupla Massa desenvolvido pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos, que consiste em plotar em um gráfico cartesiano os valores acumulados de um determinado posto nas ordenadas (eixo y) e de outro posto adotado como base de comparação nas abscissas (BERTONI e TUCCI, 2007).

Para a estimativa das demandas foram considerados os principais usos consuntivos da bacia, que são aqueles onde há perdas de água entre o volume derivado (ou captado) e o volume de retorno (descartado), conforme definido no Plano Estadual de Recursos Hídricos: primeiro plano do Estado de São Paulo (SÃO PAULO, 1990). Portanto, foram considerados os usos para abastecimento humano (urbano e rural), dessedentação animal, irrigação e industrial.

Inicialmente foram calculadas as demandas com base na vazão outorgada na bacia, porém, devido à existência de derivações clandestinas, esta não representa a totalidade da demanda. Estudos conduzidos por SÃO PAULO (2006) estimam que apenas cerca de 27% dos poços tubulares existentes no território paulista são outorgados. Apesar de não existirem dados referentes às captações superficiais, acredita-se que a relação de clandestinidade seja inferior àquela das subterrâneas, entretanto, com um volume de retirada superior, na bacia hidrográfica do rio Sorocaba. Por esse motivo, foram estimadas as vazões de derivação com base em outras informações, a partir de metodologias amplamente utilizadas, que posteriormente foram comparadas aos valores obtidos através dos processos de outorga.

Estimativa das demandas a partir dos dados de vazão outorgada

A partir dos dados dos processos de outorga de concessão de uso dos recursos hídricos disponibilizados em meio eletrônico pelo DAEE (SÃO PAULO, 2015b) foram calculadas as vazões de retirada com base na vazão outorgada e no regime de operação, ambos descritos nos processos, conforme metodologia aplicada pela Agência Nacional de Águas – ANA (2012) e pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Norte (RIO GRANDE DO NORTE, 2012a e 2012b).

Inicialmente foi realizada uma consistência do banco de dados, eliminando-se as outorgas indeferidas e os processos em duplicata. Os processos sem informação de vazão outorgada não foram utilizados nessa estimativa, enquanto que as lacunas existentes nas informações sobre regime de operação do sistema foram preenchidas com

os dados apresentados na Tabela 3.1, que correspondem às médias dos registros que possuem a informação. Por exemplo, para uma captação para o abastecimento urbano, cujo processo não há informação de quantas horas por dia o sistema de bombeamento opera, foi adotado 13 horas, que corresponde à média de todos os processos para essa finalidade.

Com os dados consistidos e as lacunas preenchidas foram calculados os volumes anuais de retirada para cada uma das outorgas concedidas a partir da equação 3.2. Após esse cálculo, foram somados os volumes para cada uma das classes de uso, correspondendo ao volume total anual dessas classes.

$$Q_{uso} = Q_{out} \cdot h \cdot d \cdot m \quad (3.2)$$

Onde Q_{uso} é o volume total captado ($m^3 \cdot ano^{-1}$); Q_{out} é a vazão indicada no processo de outorga ($m^3 \cdot h^{-1}$); h são as horas em que ocorre captação; d são os números de dias no mês em que o sistema opera; m a quantidade de meses no ano

Tabela 3.1. Dados médios de operação dos processos outorgados

Uso	Horas/dia	Dias/mês	Meses/ano
Abastecimento urbano	13	30	12
Abastecimento rural	10	30	12
Dessedentação animal	16	30	12
Industrial	13	28	12
Irrigação	7	21	12

Fonte: SÃO PAULO (2015b)

Abastecimento urbano e rural

O volume de água derivado dos mananciais com a finalidade de abastecimento humano foi estimado a partir do número de habitantes dos municípios com sede na bacia multiplicado pela taxa *per capita* de consumo. As populações urbana e rural foram obtidas no censo demográfico realizado pelo IBGE (2014a) no ano de 2010.

Os perfis de consumo de água, principalmente da população urbana, variam em função de diversas particularidades tais como o número de habitantes, das características sociais e econômicas do município, abrangência da rede de abastecimento, entre outras. Por esse motivo, foram realizadas estimativas com base em dois cenários distintos para a demanda para abastecimento urbano na bacia.

O primeiro utiliza as taxas *per capita* definidas pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS (2005) para os municípios do Estado de São Paulo, que variam de acordo com as faixas populacionais (Tabela 3.2), adicionado ao volume perdido pelas redes de abastecimento.

Tabela 3.2. Coeficientes de retirada urbana *per capita* no Estado de São Paulo segundo a faixa de população do município

Faixa populacional	Consumo <i>per capita</i> (l.hab ⁻¹ .dia ⁻¹)
< 10.000	231
10.000 a 100.000	270
100.000 a 500.000	309
> 500.000	363

Fonte: Operador Nacional do Sistema Elétrico, 2005

O segundo cenário utiliza a taxa média *per capita* dos municípios com sede na bacia do rio Sorocaba, calculada a partir dos dados de consumo de água micromedido disponibilizados pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS (2014) para o ano de 2012, também acrescido do volume perdido por fugas na rede de abastecimento (Tabela 3.3).

Tabela 3.3. Coeficientes de retirada urbana *per capita* por município segundo volume de água micromedido e perdas da rede de abastecimento na BHS

Município	Q _{micromedida} (m ³ .ano ⁻¹) ^a	População total atendida ^a	Q _{percapita} (l.hab ⁻¹ .dia ⁻¹)	Perdas ^a (%)
Quadra	80.480	823	268	27
Jumirim	135.250	2.889	128	29
Alambari	225.250	3.653	169	25
Sarapuí	494.940	8.254	164	(b)
Cesário Lange	722.980	13.319	149	28
Alumínio	620.620	12.853	132	50
Capela do Alto	855.730	15.164	155	46
Iperó	1.147.000	24.908	126	(b)
Araçoiaba da Serra	1.815.700	23.340	213	35
Laranjal Paulista	1.532.500	24.003	175	48
Piedade	1.537.300	28.206	149	44
Ibiúna	1.850.870	29.362	173	51
Salto de Pirapora	2.258.680	40.897	151	48
Mairinque	2.037.140	43.277	129	55
Cerquillo	2.657.570	40.223	181	29
Vargem Grande Paulista	1.912.470	34.129	154	(b)
Boituva	2.932.660	40.054	201	22
Tatuí	6.136.600	109.425	154	51
Votorantim	3.392.900	110.755	84	47
Sorocaba	44.518.370	587.477	208	37
Média			163	40

Q_{micromedida}: vazão micromedida; Q_{percapita}: vazão *per capita*; a: dados fornecidos por SNIS (2014);

(b) valores muito discrepantes, abaixo de 10% não utilizados na estimativa da média

A estimativa de demanda para abastecimento urbano para toda a bacia hidrográfica do rio Sorocaba, foi então obtida pelas seguintes equações:

Para o cenário 1 utilizando os coeficientes *per capita* da ONS (2005):

$$Q1_{aburb} = \frac{pop_{urb} \cdot k_1 \cdot P_{rede} \cdot 365}{1.000} \quad (3.3)$$

Onde $Q1_{aburb}$ é a demanda para abastecimento urbano ($m^3 \cdot ano^{-1}$); pop_{urbana} a população urbana do município; k_1 o coeficiente *per capita* segundo a faixa populacional ($l \cdot hab^{-1} \cdot dia^{-1}$); P_{rede} média das perdas da rede de abastecimento público dos municípios, estimada em 40% segundo dados do SNIS (Tabela 3.3)

Para o cenário 2 com base nos dados do SNIS:

$$Q2_{aburb} = \frac{pop_{urb} \cdot k_2 \cdot P_{rede} \cdot 365}{1.000} \quad (3.4)$$

Sendo $Q2_{aburb}$ a demanda para abastecimento urbano ($m^3 \cdot ano^{-1}$); k_2 de $163 l \cdot hab^{-1} \cdot dia^{-1}$, que corresponde ao coeficiente *per capita* médio dos municípios inseridos na bacia (Tabela 3.3)

Para a estimativa de demandas para atendimento da população rural foi utilizada a taxa de derivação de $125 l \cdot hab^{-1} \cdot dia^{-1}$ sugerida em ANA (2003a) para o Estado de São Paulo. A demanda total para abastecimento humano foi obtida através da soma da demanda da população urbana e da rural.

Dessedentação animal

A estimativa da demanda para criação animal foi realizada através da metodologia apresentada no Plano de Aproveitamento Integrado dos Recursos Hídricos do Nordeste do Brasil – PLIRHINE (SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE, 1980), amplamente usada em estudos realizados nas mais diversas regiões do Brasil (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2005, 2012; AGÊNCIA DA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL, 2011; RIO GRANDE DO NORTE, 2012a, 2012b). Essa metodologia agrega a projeção dos rebanhos de animais de grande e médio portes em uma unidade denominada Bovinos Equivalentes para a Demanda de Água – BEDA, onde o consumo de água de cada espécie animal é ponderada em relação ao bovino, conforme descrito na equação 3.5.

O consumo médio por unidade BEDA adotado neste trabalho foi de $50 l \cdot dia^{-1}$, conforme recomendado por ANA (2005), chegando-se a demanda para criação animal através das equações 3.5 e 3.6.

$$\sum BEDA = \sum Bovinos + \sum Equídeos + \sum Suínos \times 0,25 + \sum Caprinos \cdot 0,2 \quad (3.5)$$

Onde Bovinos é a quantidade de bovinos e bubalinos; Equídeos a quantidade de equinos, asininos e muares; Suínos o número de suínos; Caprinos os caprinos e ovinos

$$D_{\text{BEDA}} = \sum \text{BEDA} * C_m * 365 / 1.000 \quad (3.6)$$

Sendo D_{BEDA} a demanda de água para o rebanho total ($\text{m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$); C_m o consumo médio para 1 BEDA, adotado como $50 \text{ l} \cdot \text{dia}^{-1}$

Em relação às aves, que inclui galos, galinhas, frangos, pintos e codornas, a demanda foi obtida através da multiplicação do número de animais por uma determinada taxa *per capita* (equação 3.7). Na literatura são indicadas diversas taxas *per capita* para as aves, desde $0,20 \text{ l} \cdot \text{dia}^{-1}$ (LANNA e ROCHA, 2000), até $0,40 \text{ l} \cdot \text{dia}^{-1}$ (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2005), sendo esta última adotada neste estudo, por ser um número mais conservador.

$$D_{\text{Aves}} = \sum_{\text{Aves}} * C_{\text{aves}} * 365 / 1.000 \quad (3.7)$$

Onde D_{Aves} é a demanda de água total para aves ($\text{m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$); \sum_{Aves} : número total de aves e C_{aves} : taxa *per capita*, adotada como $0,40 \text{ l} \cdot \text{dia}^{-1} \cdot \text{ave}^{-1}$

Os números de animais utilizados nos cálculos foram obtidos na Produção da Pecuária Municipal 2012 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2014b).

Abastecimento industrial

A demanda industrial é a mais difícil de ser obtida pela falta de informações adequadas que permitam relacionar parâmetros como tipologia da indústria, produção industrial e consumo de água para cada localidade (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2005).

Metodologias amplamente aplicadas para a estimativa da demanda industrial utilizam dados de número de empregados, tipologia industrial, produtividade média do setor, valor da produção industrial, índices de consumo médio de água por linha de produção, volume de efluente produzido, fator poluente entre outros. Como essas informações não foram obtidas em nível municipal, adotou-se neste trabalho os dados de vazão outorgada como a demanda atual para essa finalidade.

Irrigação

Os dados sobre irrigação no Brasil são bastante escassos, principalmente no nível de desagregação municipal, tornando-se necessária, muitas vezes, a utilização de fórmulas empíricas e aproximações com base em poucos dados disponíveis para se obter os parâmetros necessários para o cálculo das demandas para esse uso. Por esse motivo, foram utilizadas diferentes metodologias na estimativa da demanda de recursos

hídricos na agricultura, com dados de entrada distintos, que permitissem uma comparação dos resultados obtidos.

A estimativa de demanda foi realizada inicialmente a partir dos dados de água utilizada para irrigação apresentados por Christofidis (1999) e pela Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba - CODEVASF (1989), multiplicados pela área irrigada na bacia.

Os estudos realizados por Christofidis (1999) indicaram uma derivação média de água dos mananciais de $9.721 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$ para uso na irrigação no Estado de São Paulo, cujo valor foi utilizado nas estimativas (equação 3.8).

$$Q_1 = A_i \cdot Q_{\text{der}} \quad (3.8)$$

Onde Q_1 é a demanda para irrigação ($\text{m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$); A_i a área irrigada na bacia (ha); Q_{der} vazão média anual derivada dos mananciais de $9.721 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$

Nos trabalhos da CODEVASF (1989) foram calculadas as demandas de água anual para diversos tipos de culturas estudadas (Tabela 3.4), as quais foram aplicadas nesse projeto (equação 3.9). Na ausência de dados para culturas listadas na bacia, foram adotadas taxas de culturas consideradas semelhantes.

$$Q_2 = A_i \cdot D_{\text{cul}} \quad (3.9)$$

Onde Q_2 é a demanda para irrigação ($\text{m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$); A_i a área irrigada na bacia (ha); e D_{cul} demanda anual estimada para diferentes culturas

Tabela 3.4. Demanda hídrica anual apresentada por CODEVASF (1989)

Cultura	Demanda ($\text{m}^3 \cdot \text{ano}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$)	Cultura	Demanda ($\text{m}^3 \cdot \text{ano}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$)
Alho	4.870	Melancia	11.729
Arroz	19.862	Melão	11.896
Batata	6.176	Milho	6.057
Cebola	5.348	Soja	2.824
Feijão	4.573	Tomate	5.900
Fruticultura	9.679	Trigo	3.640
Hortaliças	10.288	Uva	10.624

Devido à inexistência de dados em âmbito municipal, as áreas irrigadas tiveram que ser calculadas, admitindo-se que os municípios inseridos na bacia possuem a mesma relação área irrigada/área colhida para cada cultura que o Estado de São Paulo. Os dados de áreas colhidas e irrigadas para cada tipo de cultura em âmbito estadual foi obtido no censo agropecuário de 2006 do IBGE (2009). Já os dados de área colhida e área irrigada de cada cultura nos municípios foram levantados na Produção Agrícola

Municipal para o ano de 2012 do IBGE (2014c). O cálculo da área irrigada foi realizado por:

$$A_{icm} = \frac{A_{icest}}{A_{colest}} \cdot A_{colmun} \quad (3.10)$$

Onde A_{icm} é a área irrigada da cultura no município (ha); A_{icest} é a área irrigada da cultura no Estado de São Paulo (ha); A_{colest} a área colhida da cultura no Estado de São Paulo (ha); e A_{colmun} área colhida da cultura no município (ha)

A outra metodologia aplicada avalia a demanda real de água pelos cultivos, que é função do balanço hídrico nas áreas irrigadas, dos aspectos inerentes às culturas e das condições de manejo aplicadas, conforme apresentado por ONS (2005). Para isso, foi estimada a evapotranspiração potencial de cada cultura (ETpc) e a precipitação efetiva na bacia. A ETpc foi calculada com base na evapotranspiração de referência (ETo), através da metodologia elaborada por Allen et al. (1998) e recomendado pela Organização para Agricultura e Alimento – FAO das Nações Unidas.

A ETo foi estimada pelo método de Penman-Monteith, por meio da equação 3.11, a partir dos dados de normais climatológicas para o período de 1978 a 2012 da estação climatológica de Sorocaba, operada pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (2015). Os parâmetros da equação 3.11 foram obtidos conforme recomendado por Allen et al. (1998).

$$ETo = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \left(\frac{900}{T + 273} \right) \cdot \mu_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0,34 \mu_2)} \quad (3.11)$$

Onde ETo é a evapotranspiração de referência (mm.dia⁻¹); Δ a declividade da curva de pressão de vapor (kPa.°C⁻¹); R_n o saldo da radiação (MJ.m⁻².dia⁻¹); G fluxo de calor no solo (MJ.m⁻².dia⁻¹); γ constante psicrométrica (kPa.°C⁻¹); T temperatura média (°C), μ_2 velocidade do vento a 2 m (m.s⁻¹); e_s a pressão de saturação de vapor da água à temperatura do ar (kPa); e_a pressão real de vapor da água (kPa)

Os valores estimados de evapotranspiração de referência foram convertidos em evapotranspiração potencial da cultura, com a utilização do coeficiente de cultura médio (K_{cmed}), apresentado na Tabela 3.5. A equação utilizada foi:

$$ETpc = ETo \cdot K_{cmed} \quad (3.12)$$

Onde $ETpc$ é a evapotranspiração potencial da cultura (mm.dia⁻¹); ETo a evapotranspiração de referência (mm.dia⁻¹); e K_{cmed} o coeficiente da cultura (adim)

Tabela 3.5. Coeficientes de cultura (Kcmed) utilizados na estimativa da evapotranspiração potencial da cultura - ETpc

Cultura	Kcmed	Cultura	Kcmed	Cultura	Kcmed
Alho ¹	1,00	Milho ¹	1,20	Limão ¹	0,80
Cebola ¹	1,05	Arroz ¹	1,20	Goiaba ²	0,75
Tomate ¹	1,15	Cana-de-açúcar ¹	1,25	Tangerina ¹	0,80
Trigo ¹	1,15	Banana ¹	1,20	Manga ¹	1,00
Melancia ¹	1,00	Cafê ¹	0,95	Maracujá ³	1,10
Mandioca ¹	1,10	Soja ¹	1,15	Caqui ¹	1,15
Batata inglesa ¹	1,15	Uvas ¹	0,85	Abacate ¹	0,85
Batata doce ¹	1,15	Maçã e pera ¹	0,95	Laranja ¹	0,80
Feijão ¹	1,15	Pêssego ¹	0,90	Figo ⁴	1,00

Fontes: 1: Doorenbos e Pruitt (1977); 2: Bassoi et al. (2002); 3: Alencar (2000); 4: Hernandez (1994)

Ressalva-se que não foram estimadas as demandas para o cultivo de hortaliças, atividade de grande importância econômica principalmente nos municípios no alto da bacia e que demanda quantidade significativa de água, devido à falta de informações necessárias para a aplicação dessa metodologia.

A precipitação efetiva é definida por Bernardo (1989) como parte da precipitação total que é utilizada pela cultura para atender a sua demanda evapotranspirométrica. Neste trabalho foi obtida através da metodologia estabelecida pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos - USDA, descrita por Doorenbos e Pruitt (1977) no Boletim da FAO nº 24. Esse método foi desenvolvido por meio de balanços hídricos relacionando-se a entrada da precipitação com as saídas por escoamento superficial e percolação, bem como a água retida na zona radicular, para várias culturas, através das seguintes fórmulas:

$$P_{ef} = \frac{P_{total} \cdot (125 - 0,2 \cdot P_{total})}{125} \quad \text{para } P_{total} \leq 250 \text{ mm} \quad (3.13)$$

$$P_{ef} = 125 + 0,1 \cdot P_{total} \quad \text{para } P_{total} > 250 \text{ mm} \quad (3.14)$$

Conforme citado anteriormente, foram utilizados como dados de entrada os registros de precipitação média mensal da estação climatológica de Sorocaba para o período de 1978 a 2012.

A partir dos dados de evapotranspiração potencial da cultura, da precipitação efetiva e da área irrigada, foi estimada a demanda hídrica para a irrigação, através da seguinte equação (OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO, 2005):

$$Q = A_{icm} \cdot \left(\frac{ET_{pc} - P_{ef}}{Ea} \right) \cdot 10 \quad (3.15)$$

Q é o volume de retirada para irrigação ($m^3 \cdot ano^{-1}$); A_{icm} área irrigada de cada cultura (ha); ET_{pc} a evapotranspiração potencial da cultura avaliada ($mm \cdot ano^{-1}$); P_{ef} a precipitação efetiva ($mm \cdot ano^{-1}$); e Ea a eficiência média de irrigação para a cultura

A eficiência de irrigação está associada ao método de irrigação utilizado e, segundo ONS (2005), varia principalmente em função da uniformidade de distribuição das lâminas, da condição de localização de aplicação dessas lâminas, das características dos emissores e da interferência das condições climáticas (perdas nos sistemas e por evaporação). Com base nos dados do IBGE (2009) o método de irrigação por aspersão foi considerado como representativo para toda a área avaliada. A eficiência de aplicação adotada neste trabalho foi de 0,71, proposta por ANA (2003b).

3.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O resultado do teste de dupla massa indicou que os dados de vazão da série histórica utilizada (2006 a 2012) são consistentes, com comportamento linear e coeficiente de determinação de 0,999 (Figura 3.2), o que garante a homogeneidade regional dos dados utilizados nesse estudo.

A vazão média anual no posto fluviométrico 4E-001 para a série histórica analisada foi de $60,2 m^3 \cdot s^{-1}$, muito próxima a obtida por Fernandes, Nolasco e Mortatti (2010) nessa mesma estação, para o período de 1984 a 2008, de $63,1 m^3 \cdot s^{-1}$. A maior vazão média anual ocorreu em 2010 ($74,6 m^3 \cdot s^{-1}$) e a menor foi registrada no ano de 2012 ($48,5 m^3 \cdot s^{-1}$), conforme pode ser observado na Tabela 3.6.

Figura 3.2. Curva da dupla massa para verificação da consistência da série histórica

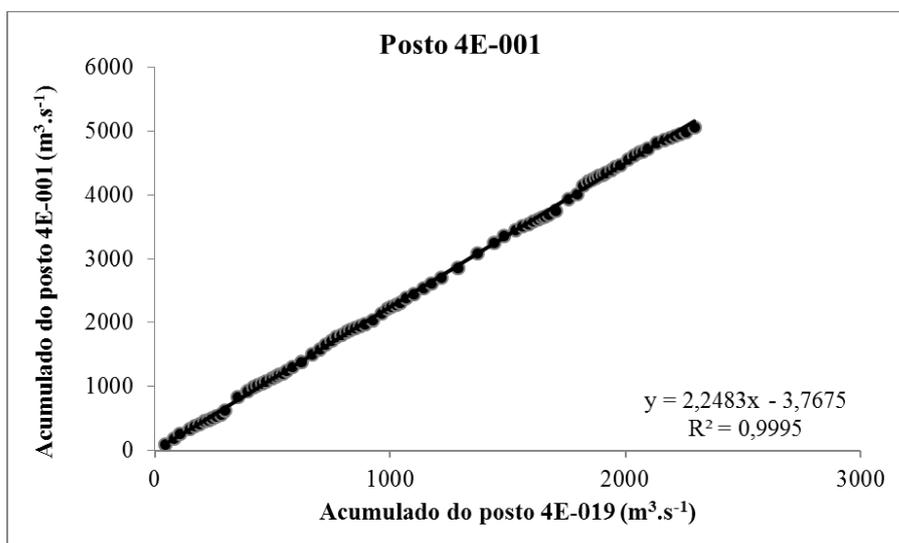


Tabela 3.6. Dados de vazão média do posto fluviométrico 4E-001 em $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual
2006	87,0	95,9	71,8	85,6	38,3	33,0	41,4	25,6	29,6	30,3	30,7	58,9	52,4
2007	202,1	99,9	54,3	35,2	34,6	30,3	48,8	28,8	21,5	20,2	41,0	70,8	57,3
2008	71,7	121,4	76,3	69,0	70,7	52,1	31,7	42,0	27,6	38,3	37,1	29,6	55,6
2009	56,7	109,7	70,6	34,8	31,6	30,0	63,4	66,5	92,7	72,6	87,5	161,6	73,1
2010	225,5	170,5	94,7	96,5	55,1	40,3	39,9	32,3	24,5	26,1	28,3	62,0	74,6
2011	175,9	79,2	129,3	62,0	32,4	35,7	24,7	24,0	21,3	57,7	33,1	42,4	59,8
2012	78,6	71,3	36,2	26,0	35,5	87,5	57,3	33,0	28,8	27,9	30,2	66,0	48,2
Média	128,2	106,8	76,2	58,5	42,6	44,1	43,9	36,0	35,1	39,0	41,1	70,2	60,2
DP	70,3	32,8	29,7	27,3	14,7	20,6	13,7	14,7	25,6	19,1	20,9	42,8	10,1
Mínimo	56,7	71,3	36,2	26,0	31,6	30,0	24,7	24,0	21,3	20,2	28,3	29,6	48,2
Máximo	225,5	170,5	129,3	96,5	70,7	87,5	63,4	66,5	92,7	72,6	87,5	161,6	74,6

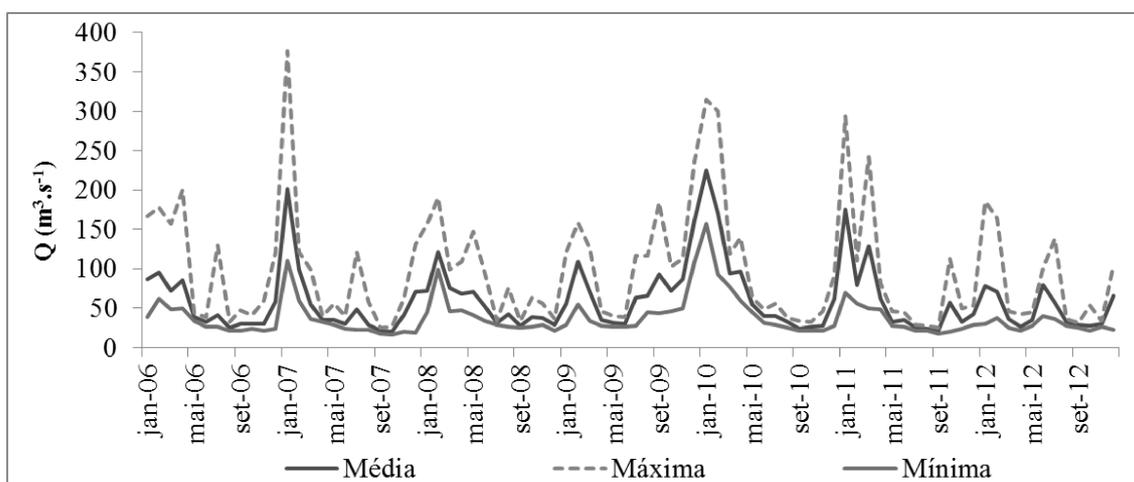
* calculado pelo método de regressão linear simples

No hidrograma representativo dos dados médios mensais do posto fluviométrico 4E-001 (Figura 3.3), observa-se que as maiores vazões médias ocorrem no período entre dezembro e abril, que corresponde ao período chuvoso na bacia, enquanto que nos demais meses há uma diminuição significativa das vazões, em resposta à estiagem.

A maior vazão média mensal observada foi de $225,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ em janeiro de 2010, e a vazão máxima mensal mais elevada foi de $376,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ em janeiro de 2007. A menor vazão média mensal registrada foi de $20,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ em outubro de 2007.

O conhecimento dessa sazonalidade é de grande importância para a gestão dos recursos hídricos, pois no período de estiagem as disponibilidades são reduzidas devido à diminuição da vazão, enquanto as demandas normalmente são superiores, principalmente para irrigação, para suprir a falta de chuvas.

Figura 3.3. Hidrograma dos dados do posto fluviométrico 4E-001 (2006 a 2012)

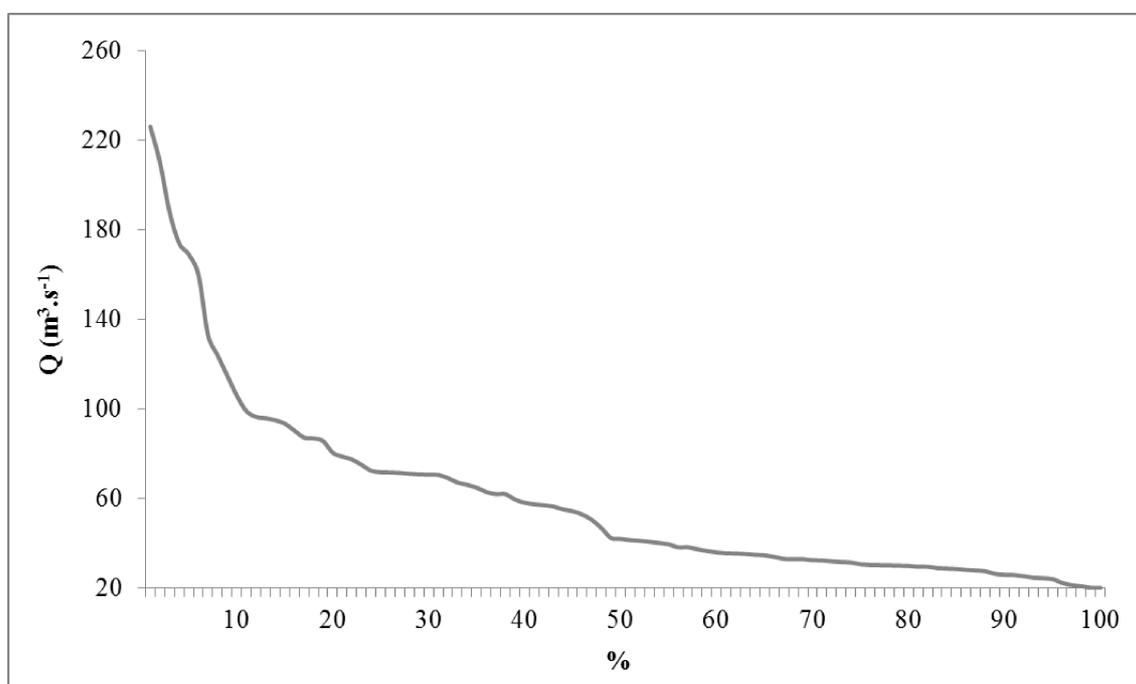


Neste trabalho adotou-se a vazão $Q_{95\%}$ como referência para estabelecer relações com as demandas. A curva de permanência elaborada a partir dos dados médios diários (Figura 3.4) indica que para o período de 2006 a 2012 a $Q_{95\%}$ foi de $24,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Este valor já reflete as vazões derivadas e efetivamente consumidas pelos usuários localizados a montante do posto fluviométrico.

O Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Sorocaba-Médio Tietê – CBH-SMT (2013) aponta para $Q_{95\%}$ de $39 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e reservas subterrâneas explotáveis de $17 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, com disponibilidade hídrica total de $56 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ para toda a UGRHI 10. Portanto, a oferta ($Q_{95\%}$) obtida neste estudo representa 43% da disponibilidade hídrica de toda a UGRHI 10 apresentada pelo CBH-SMT (2013).

Estudos elaborados pelo Instituto de Pesquisa Tecnológica – IPT (2008) obtiveram para a BHS uma $Q_{7,10}$ de $15,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ através da regionalização dos parâmetros hidrológicos e $Q_{7,10}$ de $11,9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a partir de dados das séries de vazão de postos fluviométricos inseridos na bacia. Deve-se ressaltar que a $Q_{7,10}$ representa a vazão mínima anual média de 7 dias consecutivos com 10 anos de período de retorno, e por isso é mais conservadora que o valor obtido pela curva de permanência.

Figura 3.4. Curva de permanência dos dados do posto fluviométrico 4E-001 (2006 a 2012)



Considerando-se a vazão de $24,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a disponibilidade hídrica *per capita* da bacia corresponde a $588 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1} \cdot \text{hab}^{-1}$, situando a bacia em condição de escassez hídrica, adaptando-se a classificação proposta por Falkenmark (1989). Esse índice

reflete situações insustentáveis de conflitos de uso e de escassez crônica de água. Salienta-se ainda que não foram consideradas as características qualitativas dos recursos hídricos, as quais limitam o seu uso de acordo com as finalidades, o que provavelmente reduziria a disponibilidade da bacia, visto o aporte de carga poluidora nos cursos d'água.

Em relação às demandas da bacia, as estimativas realizadas com base na vazão outorgada indicam que o uso para abastecimento urbano é o que apresenta atualmente maior volume de retirada na bacia, com um total de 203.245.560 m³.ano⁻¹, o que corresponde a uma vazão de 6,44 m³.s⁻¹ sendo 91% dessa vazão captada em fontes superficiais (Tabela 3.7).

Estudos realizados pelo IPT (2008) indicaram uma demanda para abastecimento urbano de 5,29 m³.s⁻¹ com base nos dados cadastrados de outorga. Os resultados atuais, considerando-se os dados disponíveis no ano de 2014, representam um crescimento de 22% na demanda para esse uso em relação ao valor estimado pelo IPT no ano de 2008. São Paulo (2013) estimou para toda a UGRHI 10 demanda de 6,09 m³.s⁻¹ para essa finalidade.

O uso industrial é o segundo maior em vazão, 1,83 m³.s⁻¹ e o maior em número de outorgas (458), o que corrobora com a característica industrial dessa bacia. Esta finalidade é a que mais se utiliza dos recursos hídricos subterrâneos, mas ainda em volume inferior a fonte superficial (Tabela 3.7). A irrigação é o outro uso com demanda significativa na bacia, apresentando vazão de retirada de 1,13 m³.s⁻¹. Os demais usos (rural, dessedentação animal e outros) correspondem a uma vazão de 0,35 m³.s⁻¹.

A vazão total outorgada é de 9,75 m³.s⁻¹, ou um volume anual de 307.654.288 m³. As fontes subterrâneas correspondem a 63% das outorgas concedidas pelo DAEE, entretanto, em volume representa apenas 14% do total, o que demonstra a baixa potencialidade dos aquíferos inseridos na bacia, conforme destacado por CBH-SMT (2013), IPT (2008) e DAEE (2005). Em contrapartida, os recursos hídricos superficiais são as principais fontes de água para atendimento da demanda na bacia, com volume captado total de 264.061.841 m³.ano⁻¹ (vazão de 8,37 m³.s⁻¹).

Tabela 3.7. Demanda dos recursos hídricos por tipo de uso segundo dados de outorga

Uso	Subterrânea		Superficial		Total		
	N	Q(m ³ .ano ⁻¹)	N	Q(m ³ .ano ⁻¹)	N	Q(m ³ .ano ⁻¹)	(m ³ .s ⁻¹)
Urbano	373	18.517.444	54	184.728.116	427	203.245.560	6,44
Rural	135	937.850	92	6.749.018	227	7.686.868	0,24
Dessedentação animal	12	335.412	14	1.074.715	26	1.410.127	0,04
Industrial	378	22.383.410	80	35.176.647	458	57.560.057	1,83
Irrigação	40	851.864	299	34.749.908	339	35.601.772	1,13
Outros	35	566.467	44	1.583.437	79	2.149.904	0,07
Soma	973	43.592.447	583	264.061.841	1.556	307.654.288	9,75

N: número de outorgas; Q: vazão outorgada conforme o uso

Os resultados das estimativas de demandas para os usos consuntivos analisados pelas outras metodologias são apresentados na Tabela 3.8.

A demanda com a finalidade de abastecimento urbano, a partir da vazão *per capita* média dos municípios calculada com base nos dados do SNIS de 163 l.hab⁻¹.dia⁻¹ considerando-se a população do censo do ano de 2010, corresponde a uma vazão de 3,01 m³.s⁻¹, ou um volume total anual de 101.841.808 m³. Adotando-se os coeficientes indicados por ONS (2005), com base na população dos municípios, o resultado obtido foi 42% superior, com uma vazão de 4,27 m³.s⁻¹ (141.689.162 m³.ano⁻¹).

A essas vazões foram acrescidas as perdas da rede de abastecimento, estimada em 40%, obtendo-se, respectivamente, os valores de 4,21 m³.s⁻¹ e 5,98 m³.s⁻¹, aproximando-se principalmente para o segundo caso, ao valor obtido para a vazão outorgada de 6,44 m³.s⁻¹.

A demanda estimada para abastecimento rural foi de 0,22 m³.s⁻¹, vazão muito próxima àquela calculada com base nos processos de outorga, que foi de 0,24 m³.s⁻¹. No trabalho do IPT (2008) a vazão para esse uso foi também estimada em 0,22 m³.s⁻¹ com base nos dados de outorga.

Somando-se o maior valor de vazão obtido para abastecimento urbano (5,98 m³.s⁻¹) à vazão para abastecimento rural, obtém-se uma demanda total para abastecimento humano de 6,20 m³.s⁻¹, que corresponde a 93% da vazão outorgada para essa finalidade, de 6,68 m³.s⁻¹.

Ressalva-se ainda que é prática comum das empresas de saneamento fazerem uma reserva de águas no pedido de outorga, solicitando uma vazão maior que a necessária, para poder utilizar em caso de aumento da demanda. Essa prática pode justificar a diferença observada entre a demanda calculada e a vazão outorgada para essa finalidade.

A demanda dos recursos hídricos para dessedentação animal foi estimada em $0,24 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, o que corresponde a um volume de $7.370.575 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$. Desse valor, $0,15 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ são utilizados para dessedentação de bovinos equivalentes (BEDA) e $0,09 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ para as aves. Nota-se na Tabela 3.8 que a demanda estimada para esse uso é muito superior à vazão outorgada, o que pode indicar um grande número de captações clandestinas.

Conforme abordado anteriormente, a demanda atual para indústria foi adotada como o valor da vazão outorgada, que corresponde a $1,83 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Este valor é 16% superior ao estimado por IPT (2008), também a partir dos dados de outorga, o que se justifica por ser um dado mais novo e inclui um número maior de outorgas requeridas.

Tabela 3.8. Estimativa das demandas dos recursos hídricos por tipo de uso

Uso	Demanda			$Q_{\text{outorgada}}$
	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$			
Abastecimento urbano	$Q1_{\text{ab}}$	$3,01^1$	$4,21^2$	6,44
	$Q2_{\text{ab}}$	$4,27^1$	$5,98^2$	
Abastecimento rural	0,22			0,24
Dessedentação animal	0,24			0,04
Industrial	-			1,83
Irrigação	$Q1_{\text{irr}}$	2,21		1,13
	$Q2_{\text{irr}}$	3,59		
	$Q3_{\text{irr}}$	1,63		

$Q1_{\text{ab}}$: vazão derivada para abastecimento urbano com base nos coeficientes do ONS (2005); $Q2_{\text{ab}}$: vazão derivada para abastecimento urbano segundo dados do SNIS (2014); $Q1_{\text{irr}}$: demanda para irrigação conforme vazão derivada calculada por Christofidis (1999); $Q2_{\text{irr}}$: vazão derivada para irrigação conforme coeficientes definidos por CODEVASF (1989); $Q3_{\text{irr}}$: vazão derivada para irrigação conforme metodologia recomendada por Allen et al. (1998); 1 valor obtido considerando-se apenas os dados de população; 2 valor obtido considerando-se as perdas pela rede de abastecimento, estimada em 40%

Os resultados das demandas calculadas para as diferentes culturas, através das metodologias aplicadas, são apresentados na Tabela 3.9. As demandas totais estimadas indicam vazões de $2,21 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARNAÍBA, 1989), $3,59 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (CHRISTOFIDIS, 1999) e $1,63 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO, 2005). Todos os resultados obtidos foram superiores a vazão outorgada, de $1,13 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Apesar de representar valores acima da vazão cadastrada, as estimativas pelos métodos utilizados são bastante inferiores aos resultados apresentados pelo IPT (2008), que obteve uma demanda de $7,56 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ para essa finalidade. A OPERTEC

ENGENHARIA (2008) realizou um cadastramento de irrigantes no alto curso da bacia do rio Sorocaba, onde chegou a uma demanda de $1,94 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ para uso na irrigação nessa região.

Tabela 3.9. Demanda hídrica das culturas na BHS

Cultura	Área colhida	Área irrigada	Q1 _{irr}	Q2 _{irr}	Q3 _{irr}
	ha		m ³ .ano ⁻¹		
Figo	5	1	14.070	14.131	3.100
Laranja	853	248	2.400.416	2.410.833	146.706
Feijão	2.883	1.692	7.736.216	16.445.169	6.650.480
Milho	24.108	4.362	26.422.207	42.405.527	20.378.143
Cana de açúcar	19.750	3.068	18.582.096	29.822.775	16.849.353
Mandioca	903	39	400.188	381.510	127.658
Melancia	552	86	1.013.386	839.894	184.263
Banana	25	2	15.207	15.273	7.339
Limão	35	9	86.777	87.153	5.304
Tomate	379	258	1.523.475	2.510.119	1.015.100
Maracujá	27	20	195.949	196.800	65.852
Tangerina	102	23	218.648	219.597	13.363
Uva	187	66	697.514	638.228	60.939
Soja	1.559	224	633.660	2.181.234	882.098
Arroz	95	62	1.237.113	605.477	290.964
Trigo	510	258	939.942	2.510.212	1.052.619
Abacate	26	3	24.525	24.632	2.352
Café	372	47	483.011	456.391	81.277
Caqui	159	22	213.034	213.958	86.525
Goiaba	4	2	23.799	23.902	1.247
Pera	5	3	29.330	29.458	5.246
Alho	2	1	6.386	12.747	2.797
Batata doce	53	47	291.724	459.173	185.691
Batata inglesa	362	323	1.992.533	3.136.239	1.268.305
Cebola	788	760	4.065.656	7.390.098	1.999.175
Pêssego	37	25	237.928	238.961	32.686
Maçã	15	9	87.991	88.373	15.738
Manga	4	0,4	3.773	3.789	831
Total	53.800	11.662	69.576.555	113.361.652	51.415.152
		Total m³.s⁻¹	2,21	3,59	1,63

Q1: com base nas demandas médias indicadas por PLANVASF (1989); Q2: utilizando a demanda média apresentada por Christofidis (1999); Q3: demanda hídrica calculada pelo método proposto por ONS (2005)

Ressalva-se que uma parte dessa diferença observada provavelmente corresponde ao cultivo de hortaliças, que é uma atividade bastante representativa na bacia, mas que não foi possível realizar as estimativas devido à falta de informações para aplicação das metodologias utilizadas.

Devido às disparidades entre as demandas estimadas para o uso na irrigação neste trabalho e nos estudos de IPT (2008) e OPERTEC ENGENHARIA (2008), recomenda-

se o cadastramento dos irrigantes e o cálculo das demandas para essa finalidade para toda a bacia, para se obter a vazão de derivação mais próxima a real.

A partir dos resultados alcançados neste estudo, adotando-se de forma conservadora as maiores vazões de derivação obtidas para cada um dos usos analisados, chega-se a uma demanda atual de $11,86 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ na BHS, 22% superior a $9,75 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ obtida a partir dos dados de outorga. Admitindo-se a $Q_{95\%}$ como a disponibilidade total da bacia, com $24,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, a demanda atual de $11,86 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ representa 49% da oferta hídrica. Esta relação entre oferta e demanda aponta que a bacia encontra-se em situação muito crítica adotando-se o indicador definido por ANA (2005).

Se para a disponibilidade for adotada a $Q_{7,10}$ obtida pelo IPT (2008) a partir dos dados de vazão, de $11,85 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, a demanda da bacia é praticamente igual a oferta. Admitindo-se essa relação, a bacia pode ser considerada crítica pela autoridade outorgante, segundo a legislação paulista que estabelece essa classificação para quando as vazões captadas superem em 50% a vazão $Q_{7,10}$.

Portanto, todos os cenários discutidos indicam que a BHS já está em situação crítica em relação ao balanço entre oferta e demanda, necessitando que sejam tomadas ações para o uso sustentável dos recursos hídricos.

Destaca-se aqui a importância da outorga como instrumento de gestão, pois permite o conhecimento das demandas dos usuários que, confrontada com as disponibilidades hídricas, permite ao poder público ter condições de controle do uso da água. Devido à clandestinidade de captações, é de extrema importância o cadastramento dos usuários de água na bacia, o qual pode ser realizado através do convencimento pelo poder público da importância de sua regularização. Dessa forma é possível equilibrar o mercado entre procura e oferta de água e diminuir os riscos de conflitos.

Como forma de contribuir para o avanço do conhecimento da oferta e das demandas, é de fundamental importância a manutenção e o adensamento da rede de monitoramento de dados hidrológicos na bacia, assim como a constante atualização das estimativas de demandas para as diversas finalidades para que seja realizado o planejamento adequado para sua gestão.

Recomenda-se ainda a elaboração e disponibilização do cadastro de usuários de recursos hídricos assim como o cadastramento dos irrigantes na bacia. Também é importante que sejam realizadas campanhas de incentivo para regularização das derivações dos recursos hídricos pelos usuários, para que haja um melhor controle do órgão gestor, e campanhas para o seu uso consciente.

3.4. CONCLUSÕES

A oferta de água na BHS foi avaliada em $24,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ adotando-se a $Q_{95\%}$ dos registros de vazão do posto fluviométrico 4E-001 localizado no exutório da bacia. Isso representa uma disponibilidade *per capita* de $588 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1} \cdot \text{hab}^{-1}$, situando a bacia em condição de escassez hídrica.

A demanda hídrica atual na bacia hidrográfica do rio Sorocaba foi estimada em $11,86 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ admitindo-se, de forma conservadora, as maiores vazões calculadas para os diversos fins. Dessa maneira, as demandas representam 49% da disponibilidade hídrica da bacia, situando-a em situação muito crítica.

Salienta-se que nesse estudo são consideradas as questões referentes à ordem quantitativa dos recursos hídricos na bacia, não sendo abordadas as características qualitativas da água, que podem restringir o seu uso para diversas finalidades.

A maior demanda foi estimada para o abastecimento urbano, seguida do uso industrial e irrigação. Os recursos superficiais correspondem a maior parcela da disponibilidade, assim como é o mais utilizado para o atendimento dos usuários.

Recomenda-se a elaboração e disponibilização de cadastro de usuários e o cadastramento dos irrigantes na bacia, para um melhor planejamento e estimativa do uso dos recursos hídricos.

3.5. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA DA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL. **Bacia do Rio Paraíba do Sul: subsídios às ações de melhoria da gestão**. Resende, 2011.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Estudos hidrogeológicos para a orientação do manejo das águas subterrâneas da Região Metropolitana de Natal**. Brasília, 2012. 5 volumes.

_____. **Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil**. Brasília, 2005.

_____. **Memorial descritivo do cálculo da demanda humana de água no documento “Base de referência para o Plano Nacional de Recursos Hídricos”**. Brasília, 2003a.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Fundo Para o Meio Ambiente Mundial. Programa das Nações Unidas Para o Meio Ambiente. Organização dos Estados Americanos. **Quantificação e análise da eficiência do uso da água pelo setor agrícola na Bacia do São Francisco**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2003b. (Projeto de gerenciamento integrado das atividades desenvolvidas em terra na Bacia do São Francisco).

ALENCAR, C. M. **Consumo de água do maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis Sims. F. flavicarpa Deg.*)**. 2000. 49 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2000.

ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: [s.n.], 1998. (FAO Irrigation and drainage paper 56).

BASSOI, L. H. et al. Parâmetros para o manejo e irrigação da goiabeira no Vale do São Francisco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: SBEA, 2002. p. 1035-1038.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 5. ed. Viçosa: UFV, 1989.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed., Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2007. p. 177-241.

BRANCO, O. E. A. **Avaliação da disponibilidade hídrica: conceitos e aplicabilidade**. 2006. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2012/04/Disponibilidade-Hidrica.pdf>>. Acesso em: 18 ago. 2015.

CHRISTOFIDIS, D. **Recursos hídricos e irrigação no Brasil**. Brasília: CDS-UnB, 1999.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SOROCABA-MÉDIO TIETÊ. **Relatório de Situação dos Recursos Hídricos. UGRHI 10**. Ano base 2012. Sorocaba, 2013.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARNAÍBA. **Plano diretor para o desenvolvimento do Vale do São Francisco – PLANVASF: síntese**. Brasília, 1989.

CRUZ, J. C.; TUCCI, C. E. M. Estimativa da disponibilidade hídrica através da curva de permanência. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 3, n.1, p. 111-124, 2008.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. Instituto Geológico. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Serviço Geológico do Brasil. **Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo**: nota explicativa. São Paulo: 2005. Escala 1:1.000.000.

DOORENBOS, J.; PRUITT, J. O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome: [s.n.], 1977. (FAO Irrigation and drainage, paper 24).

FALKENMARK, M. The massive water scarcity threatening Africa – why isn't it being addressed. **Ambio**, Stockholm, v. 18, n. 2, p. 112-118, 1989.

FERNANDES, A. M.; NOLASCO, M. B.; MORTATTI, J. Estimativa do escoamento superficial rápido e sua carga em suspensão com a aplicação do modelo de separação de hidrogramas com filtros numéricos: Bacia do Rio Sorocaba – SP. **Geociências**, São Paulo, v. 29, n. 1, p. 49-57, 2010.

HERNANDEZ, F. B. T. Resposta da figueira (*Ficus carica L.*) ao uso da irrigação e nitrogênio na região de Ilha Solteira. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 51, n. 1, p. 99-104, 1994.

HESPANHOL, I. Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. **Revista Estudos Avançados**, São Paulo, v. 63, n. 22, p. 131-158, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo 2010**. Rio de Janeiro, 2014a. Disponível em: <www.censo2010.ibge.gov.br>. Acesso em: 5 ago. 2014.

_____. **Produção da Pecuária Municipal 2012**. Rio de Janeiro: 2014b. Disponível em: <www.cidades.ibge.gov.br>. Acesso em: 5 ago. 2014.

_____. **Produção Agrícola Municipal 2012**. Rio de Janeiro, 2014c. Disponível em: <www.cidades.ibge.gov.br>. Acesso em: 5 ago. 2014.

_____. **Censo agropecuário 2006**: Brasil, grandes regiões e unidades da Federação. Rio de Janeiro, 2009.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Plano de bacia da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Sorocaba e Médio Tietê (UGRHI 10):** revisão para atendimento da Deliberação CRH 62. São Paulo, 2008.

_____. **Plano de Bacia da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Sorocaba e Médio Tietê (UGRHI 10).** Relatório Técnico nº 91 265-205. São Paulo, 2006.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa.** 2015. Disponível em: <www.inmet.gov.br>. Acesso em: 17 jun. 2015.

LANNA, A. E.; ROCHA, J. **Estudos para a cobrança de água no Estado do Piauí:** Relatório parcial. Teresina: SEMAR, 2000.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia estatística.** Belo Horizonte: CPRM, 2007.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **Estimativa das vazões para atividades de uso consuntivo da água em bacias do Sistema Interligado Nacional – SIN:** relatório final - metodologia e resultados consolidados. [S.l.: s.n.], 2005.

OPERTEC ENGENHARIA. **Prestação de serviços de cadastramento de irrigantes e caracterização dos usos da água na agricultura e pecuária, na bacia hidrográfica da UHE de Itupararanga, no Alto Rio Sorocaba, no Estado de São Paulo.** [S.l.: s.n.], 2008. (Relatório Final).

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, A CIÊNCIA E A CULTURA. **Water for a sustainable world.** Paris, 2015.

PEREIRA JÚNIOR, L. C.; NICÁCIO, P. P. S. Demanda hídrica para irrigação por pivôs centrais no Estado de Goiás. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 34, n. 3, p. 443-463, 2014. Disponível em: <<http://www.revistas.ufg.br/index.php/bgg/article/view/33855>>. Acesso em: 18 ago. 2015.

RIO GRANDE DO NORTE (Estado). Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. **Estudos hidrogeológicos para a orientação do manejo das águas subterrâneas do litoral norte à Região Metropolitana de Natal (Bloco Litoral Norte).** Natal, 2012a. 2 volumes.

RIO GRANDE DO NORTE (Estado). Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. **Estudos hidrogeológicos para a orientação do manejo das águas subterrâneas do litoral sul à Região Metropolitana de Natal (Bloco Litoral Sul)**. Natal, 2012b. 2 volumes.

SÃO PAULO (Estado). Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Rede hidrológica básica do Estado de São Paulo**. São Paulo, 2015a. Disponível em: <www.dae.sp.gov.br>. Acesso em: 23 jun. 2015.

_____. **Pesquisa de dados dos recursos hídricos do Estado de São Paulo**. São Paulo: 2015b. Disponível em: <www.dae.sp.gov.br>. Acesso em: 28 jun. 2015.

_____. **Plano diretor de aproveitamento de recursos hídricos para a macrometrópole paulista, no Estado de São Paulo**: sumário executivo. São Paulo: 2013.

SÃO PAULO (Estado). Lei Estadual n. 9.034, de 27 de dezembro de 1994. Dispõe sobre o Plano Estadual de Recursos Hídricos – PERH, a ser implantado no período 1994 e 1995, em conformidade com a Lei n. 7663, de 30 de dezembro de 1991, que instituiu normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos. **Diário Oficial [do] Estado de São Paulo**, Poder Executivo, São Paulo, SP, 28 de dezembro de 1994, v.104, n. 241. p. 3-5.

_____. **Plano estadual de recursos hídricos: 2004/2007 - resumo**. São Paulo: DAEE, 2006.

_____. **Plano Estadual de Recursos Hídricos**: primeiro plano do Estado de São Paulo. São Paulo, 1990.

SALLES, M. H. D. et al. Avaliação simplificada de impactos ambientais na bacia do Alto Sorocaba. **Revista de Estudos Ambientais**, Blumenau, v. 10, n. 1, p. 6-20, 2008.

SCHMITZ, A. P.; BITTENCOURT, M. V. L. **Previsão de demanda por água em regiões econômicas de escassez hídrica**. 2015. Disponível em: <<http://www.brsa.org.br/fotos/artigo1-2015-06-08-17-01-42.pdf>>. Acesso em: 18 ago. 2015.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2012**. 2014. Disponível em: <www.snis.gov.br>. Acesso em: 4 dez. 2014.

SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE. **PLIRHINE: Plano de Aproveitamento Integrado dos Recursos Hídricos do Nordeste**. Recife, 1980.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados das normais climatológicas para a série histórica estudada indicam um volume médio anual de 1.337 mm de água que circula pela bacia hidrográfica do rio Sorocaba.

Desse volume, 75% (999 mm.ano⁻¹) retornam a atmosfera por evapotranspiração, e o restante, 398 mm.ano⁻¹, configura-se no excedente hídrico da bacia. As chuvas concentram-se no período entre outubro e março, quando ocorrem mais de 70% do volume anual.

Isto significa que há uma forte diminuição de oferta de água no período de estiagem, quando normalmente ocorre um aumento da demanda por recursos hídricos por alguns setores usuários, como a agricultura irrigada. Essa é uma informação importante, pois nesse intervalo de tempo há maior probabilidade de ocorrerem conflitos entre os usuários, principalmente em anos com chuvas abaixo da média, gerando a necessidade de intervenção dos órgãos gestores.

Há também uma distribuição espacial irregular das chuvas na bacia, com os maiores volumes na cabeceira, onde atinge 1.500 mm.ano⁻¹ e uma redução em direção ao seu exutório, em cerca de 20%. O principal reservatório da bacia (Itupararanga) está localizado no alto curso do rio Sorocaba, onde há os maiores volumes de chuvas, proporcionando uma situação mais favorável para acúmulo de água e manutenção dos seus níveis. Esse reservatório também é responsável pela regularização da vazão do rio Sorocaba à sua jusante.

Foi verificada ainda uma variabilidade anual no acumulado de chuvas nos instrumentos avaliados em relação à média da bacia, com ocorrência de anos mais secos, abaixo da média, e anos mais chuvosos. Essa variação chegou a aproximadamente 40% entre o ano mais chuvoso e o mais seco na série avaliada.

Em relação à disponibilidade hídrica da bacia, obteve-se uma Q_{95%} de 24,1 m³.s⁻¹, o que representa uma disponibilidade *per capita* de 588 m³.ano⁻¹.hab⁻¹, considerando-se a população total dos 20 municípios com sedes inseridas na bacia, o que indica que uma condição de escassez hídrica.

As demandas foram estimadas em 11,86 m³.s⁻¹, sendo a maior vazão destinada ao abastecimento humano (6,20 m³.s⁻¹), seguida pela irrigação (3,59 m³.s⁻¹) e industrial (1,83 m³.s⁻¹), corroborando com as características urbanas e industriais da bacia.

Ressalva-se que o valor estimado para as demandas foram superiores ao obtido com base nos processos de outorga, de $9,75 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. A maior diferença entre o valor estimado e outorgado ocorreu para o uso na irrigação. Ainda com base nos dados de outorga, a água superficial corresponde ao principal manancial da bacia, visto a baixa potencialidade dos aquíferos da região.

Dessa forma, a demanda atual na bacia corresponde a 49% da disponibilidade hídrica baseada na $Q_{95\%}$. Essa relação entre oferta e demanda também aponta que a bacia encontra-se em situação muito crítica.

O cenário descrito anteriormente aponta que a bacia hidrográfica do rio Sorocaba encontra-se em uma situação crítica referente ao uso dos recursos hídricos, com potencial para a ocorrência de conflitos pela apropriação da água entre os diversos setores usuários. E essa situação tende a piorar caso sejam consideradas as questões referentes a qualidade da água, a qual não foi objeto desse estudo, e que certamente restringiria a disponibilidade para determinados usos.

Dessa forma, é de fundamental importância que sejam tomadas ações pelo poder público para o uso sustentável desse recurso. Como forma de contribuir para a evolução do conhecimento recomenda-se o adensamento da rede hidrológica na bacia e a constante atualização das informações acerca das disponibilidades e demandas.

Para refinar as estimativas de demandas recomenda-se a elaboração e disponibilização de cadastro de usuários dos recursos hídricos que serviriam de base para os estudos futuros.

Devido às discrepâncias verificadas nos resultados das demandas para o setor de irrigação obtidos por diferentes metodologias neste trabalho e também com os resultados de estudos realizados preteritamente, recomenda-se o cadastramento dos irrigantes da bacia e o cálculo da demanda para essa finalidade.

Também é importante a realização de campanhas de conscientização para o uso adequado dos recursos hídricos para os diversos setores usuários.