

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

ADRIANO VINÍCIUS SCALCO

**ESTUDO DO BALANÇO HÍDRICO DA ÁREA DE INFLUÊNCIA DA ZONA DE
RECARGA DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI (SAG) NO ESTADO DE SÃO
PAULO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA – PR
2014

ADRIANO VINÍCIUS SCALCO

**ESTUDO DO BALANÇO HÍDRICO DA ÁREA DE INFLUÊNCIA DA ZONA DE
RECARGA DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI (SAG) NO ESTADO DE SÃO
PAULO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no Curso de Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, campus Londrina, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Mauricio Moreira dos Santos

LONDRINA - PR

2014

AGRADECIMENTOS

Aos Professores Lúgia e Stipp e ao meu amigo Allan Brito, por me introduzirem num ramo da Engenharia Ambiental, a climatologia.

Ao Prof. Dr. Mauricio, que se tornou meu orientador, meu amigo, por dar forças, por compartilhar seus ensinamentos, *“você vai conseguir”*, *“com muito trabalho vai dar tudo certo”*, *“se ficar três dias sem dormir dá pra terminar”*. E por acreditar em mim.

À minha mãe ficam meus pedidos de desculpa por aguentar meus momentos de fúria porque não conseguia fazer um problema de Cálculo I bater o resultado e agradeço por me acordar todos os dias. Chegar em casa no dia que recebi a notícia da primeira DP e meu pai, sem conhecimento algum, vir me confortar foi um alívio tremendo. Às palavras sábias do meu pai. À Minha irmã, por parar e ouvir o desenrolar dos trabalhos da faculdade, mesmo sem entender nada. Aos meus dois *“tchutchucos”* por tirarem a tensão pra entrega de um relatório, trabalho até mesmo do TCC. Principalmente a Maria, *“Titio, coloca no desenho pra mim assisti no seu computador”*. Minha família, minha base.

Ao meu grande amigo Jarbas, que me ajudou a manter calma e ter foco na parte mais importante do trabalho, ou seja: os resultados.

Aos meus amigos, Kami, Maria, Cris, Rebeca, Leticia, Vinícius, Lucyane, Guto, Izadora, Zanin e Leticia, por participarem da minha caminhada. Ao Grupo Jovens Protagonistas da Fé que me ajudam a buscar a felicidade plena.

Aos meus companheiros, parceiros, lutadores e grandes amigos, Ana, Bruna, Carolyne, Gabriela, Jessica, Larissa, Moni, Marcella, Rafa, Gabriela, Jaque, Roberta, Lais, Mi e Sabrina.

A minha maior gratidão fica pra Deus, pois é Nele que podemos depositar toda nossa confiança. Aliás, foi Ele quem nos criou e nos colocou neste caminho a seguir, pois só Ele sabe o que está guardado pra nós no final do caminho. Se durante esse caminho aparecer obstáculos, ele não está lá atoa, por algum motivo Ele os colocou.

“Não sabendo que era impossível, ele foi lá e fez”

Jean Cocteau



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal
do Paraná
Campus Londrina
Coordenação de Engenharia
Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia

**ESTUDO DO BALANÇO HÍDRICO DA ÁREA DE INFLUÊNCIA
DA ZONA DE RECARGA DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI (SAG)
NO ESTADO DE SÃO PAULO**

por

Adriano Vinícius Scalco

Monografia apresentada no dia 04 de dezembro de 2014 ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho _____
(aprovado, aprovado com restrições ou reprovado).

Prof. Dr. Edson Fontes de Oliveira
(UTFPR)

Prof. MsC. Marcelo Eduardo Freres Stipp
(UTFPR)

Profa. Dra. Maurício Moreira Santos
(UTFPR)
Orientador

Profa. Dra. Ligia Flávia Antunes Batista
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

RESUMO

SCALCO, A. V. **ESTUDO DO BALANÇO HÍDRICO DA ÁREA DE INFLUÊNCIA DA ZONA DE RECARGA SISTEMA AQUÍFERO GUARANI (SAG) NO ESTADO DE SÃO PAULO**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2014.

A zona de afloramento do Sistema Aquífero Guarani (SAG) no estado de São Paulo tem uma área composta pelos arenitos das formações Botucatu e Pirambóia, com grande potencial de recarga. Porém, nos limites dessa zona se encontram grandes centros urbanos, como por exemplo: Ribeirão Preto, São Carlos e Araraquara, que exploram água do SAG para suprir a sua demanda hídrica. Este estudo apresenta, com base em levantamento de dados meteorológicos, extratos do balanço hídrico da área de afloramento do SAG. Assim, os resultados alcançados pelo presente trabalho, poderão auxiliar na tomada de decisão sobre a gestão sustentável dos recursos hídricos subterrâneos. Para a construção dos extratos do balanço hídrico nas áreas de afloramento do SAG, foi utilizada metodologia criada por Thornthwaite e Mather (1955). A aplicação dessa metodologia, junto com os seus resultados, permite uma melhor compreensão dos ganhos e perdas constantes no ciclo hidrológico, possibilitando assim, o conhecimento dos principais fatores ligados ao balanço hídrico, como a evapotranspirações potencial e relativa, excedentes e deficiências hídricas. A região norte apresentou um extrato do balanço hídrico com médias de excedente entre os meses de novembro a março para o período histórico estudado. Já a região central apresenta médias de excedente somente entre os meses de janeiro a março. A região sul, mostra um extrato com excedente hídrico ao longo de toda a média histórica analisada. As maiores médias de déficit nas regiões norte e central são encontradas entre os meses de agosto e setembro. Já na região sul não apresenta médias expressivas de déficit. Com a análise dos extratos das regiões do SAG, comparando-se períodos médios históricos diferenciados, conclui-se que houve uma evolução negativa nos extratos do balanço hídrico para a série mais recente (2002-2013), agravando de deficiência hídrica.

Palavras chave: Sistema Aquífero Guarani; Extrato do balanço hídrico;

ABSTRACT

SCALCO, A. V. **STUDY ABOUT WATER BALANCE OF INFLUENCED RECHARGE AREA FOR GUARANI AQUIFER SYSTEM (GAS) IN SÃO PAULO STATE.**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2014

The outcrop zone of the Guarani Aquifer System (GAS) in São Paulo has an area composed by sandstones of Botucatu and Pirambóia lands, with great potential for recharge. However, on the limits of this zone are the largest urban centers, such as: Ribeirão Preto, São Carlos and Araraquara, which uses water of the GAS to get water demand. This study, was based on a survey of weather data, the extracts of water balance about outcrop area of the GAS. Thus, the results obtained by the present study may help decisions about sustainable management of groundwater resources. For construction the extracts of water balance about outcrop areas of the GAS, was used the methodology created by Thornthwaite and Mather (1955). The application of this methodology, among the results, allows the best understanding of the hydrological cycle gains and losses, thus, the knowledge of the main factors related to water balance, as the potential and relative evapotranspiration, surplus and water stress. The northern region show extract of water balance with surplus between November to March for the historical period studied. Already the central region has averaged only between January to March. The southern region, shows an extract with water surplus throughout the historical average analyzed. The highest average deficit in the northern and central regions are found between August and September. In the southern region shows no significant mean deficit. With this analysis about the extracts of regions in the GAS, comparing different average historical periods, is concluded there was a negative trend in the water balance for the latest series (2002-2013), worsening of water stress.

Keywords: Guarani Aquifer System; Extract of water balance;

LISTA DE FIGURA

Figura 1. Ciclo hidrológico e seus principais componentes.	19
Figura 2. Representação gráfica do balanço hídrico da cidade de São Carlos – SP, no ano de 1941 até 1970, plotando-se DEF e EXC.	22
Figura 3. Extratos dos balanços hídricos normais mensais de (A.1) Ubatuba; (A.2) Ribeira.	26
Figura 4. Classificação dos climas do Estado de São Paulo pelo sistema de a) W. Köppen (SETZER, 1996) e b) Thornthwaite (1948), com a utilização de dados agrometeorológicos de 427 localidades.	27
Figura 5. Localização da Bacia Sedimentar do Paraná.	28
Figura 6. Mapa de contorno estrutural do topo do SAG no Estado de São Paulo.	30
Figura 7. Fluxograma de hierarquia do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.	34
Figura 8. Mapa de localização do Sistema Aquífero Guarani (SAG) no Estado de São Paulo.	41
Figura 9. Esquema do mecanismo utilizado para seleção das estações para o estudo.	44
Figura 10. Página inicial do site do http://www.ciiagro.sp.gov.br	45
Figura 11. CIIAGRO-ONLINE, portal de acesso ao banco de dados.	46
Figura 12. Página que dá acesso aos municípios monitorados pelo CIIAGRO.	46
Figura 13. Página que apresenta o início e fim da série histórica do banco de dados da estação do município de Tiete.	47
Figura 14. Banco de dados disponível no site do CIIAGRO para a estação do município de Tiete.	47
Figura 15. Software BHnorm v5 em planilha do Microsoft Excel.	48
Figura 16. Mapa político do estado de São Paulo com a seleção prévia dos municípios.	53
Figura 17. Clima Cwa da estação meteorológica do município de Ribeirão Preto - SP entre 2003 e 2013.	56
Figura 18. Clima Aw da estação meteorológica do município de Araraquara - SP entre 2004 e 2012.	57

Figura 19. Clima Cfa da estação meteorológica do município de Itapetininga - SP entre 2008 e 2013.	58
Figura 20. Gráficos apresentando o a) extrato do balanço hídrico médio mensal b) média mensal do déficit, retirada, reposição e excedente e c) distribuição da precipitação, ETP e ETR da estação meteorológica de Franca - SP com dados obtidos pelo CIIAGRO entre 2007 e 2013.	60
Figura 21. Gráficos apresentando o a) extrato do balanço hídrico médio mensal b) média mensal do déficit, retirada, reposição e excedente e c) distribuição da precipitação, ETP e ETR da estação meteorológica de Ribeirão Preto - SP com dados obtidos pelo CIIAGRO entre 2003 e 2013.	61
Figura 22. Gráficos apresentando o a) extrato do balanço hídrico médio mensal b) média mensal do déficit, retirada, reposição e excedente e c) distribuição da precipitação, ETP e ETR da estação meteorológica de Mocóca - SP com dados obtidos pelo CIIAGRO entre 2003 e 2013.	62
Figura 23. Gráficos apresentando o a) extrato do balanço hídrico médio mensal b) média mensal do déficit, retirada, reposição e excedente e c) distribuição da precipitação, ETP e ETR da estação meteorológica de Araraquara - SP com dados obtidos pelo CIIAGRO entre 2004 e 2012.	63
Figura 24. Gráficos apresentando o a) extrato do balanço hídrico médio mensal b) média mensal do déficit, retirada, reposição e excedente e c) distribuição da precipitação, ETP e ETR da estação meteorológica de Limeira - SP com dados obtidos pelo CIIAGRO entre 2003 e 2013.	65
Figura 25. Gráficos apresentando o a) extrato do balanço hídrico médio mensal b) média mensal do déficit, retirada, reposição e excedente e c) distribuição da precipitação, ETP e ETR da estação meteorológica de São Carlos - SP com dados obtidos pelo CIIAGRO entre 2003 e 2013.	66
Figura 26. Gráficos apresentando o a) extrato do balanço hídrico médio mensal b) média mensal do déficit, retirada, reposição e excedente e c) distribuição da precipitação, ETP e ETR da estação meteorológica de Manduri - SP com dados obtidos pelo CIIAGRO entre 2003 e 2013.	67
Figura 27. Gráficos apresentando o a) extrato do balanço hídrico médio mensal b) média mensal do déficit, retirada, reposição e excedente e c) distribuição da	

precipitação, ETP e ETR da estação meteorológica de Tiete - SP com dados obtidos pelo CIIAGRO entre 2002 e 2012.	68
Figura 28. Gráficos apresentando o a) extrato do balanço hídrico médio mensal b) média mensal do déficit, retirada, reposição e excedente e c) distribuição da precipitação, ETP e ETR da estação meteorológica de Itapetininga - SP com dados obtidos pelo CIIAGRO entre 2008 e 2013.	69
Figura 29. Comparação espacial entre as três regiões do SAG, considerando as médias máximas totais do extrato do balanço hídrico entre o período de 2002 a 2013.	75
Figura 30. Consideração final das comparações temporais e espaciais.	76

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	15
2.1 OBJETIVO GERAL	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3 REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1 CICLO HIDROLÓGICO	16
3.1.1 Balanço Hídrico	19
3.1.1.1 Thornthwait & Mather	21
3.1.2 Recarga de aquíferos	22
3.2 CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI (SAG)	24
3.2.1 Classificação Climática	24
3.2.2 Geologia	27
3.2.3 Hidrogeologia	30
3.3 GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS	31
3.3.1 Disponibilidade hídrica	35
3.4 BANCO DE DADOS METEOROLÓGICOS	36
3.4.1 Precipitação Pluvial	37
4 METODOLOGIA	41
4.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA	41
4.2 SELEÇÃO DAS ESTAÇÕES PARA ESTUDO	42
4.3 LEVANTAMENTO DE DADOS	45
4.3.1 Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas – CIIAGRO	45
4.4 BALANÇO HÍDRICO	48
5 RESULTADOS	52
5.1 SELEÇÃO DAS ESTAÇÕES UTILIZADAS	52
5.2 CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DA ZONA DE AFLORAMENTO DO SAG DE ACORDO COM W. KÖPPEN	56
5.3 EXTRATO DO BALANÇO HÍDRICO MENSAL DA ZONA DE AFLORAMENTO DO SAG NO ESTADO DE SÃO PAULO	59
5.3.1 Extrato do balanço hídrico na região norte do afloramento SAG	59
5.3.2 Extrato do balanço hídrico na região central do afloramento SAG	63
5.3.3 Extrato do balanço hídrico na região sul do afloramento SAG	67

5.4 COMPARAÇÃO TEMPORAL DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS	70
5.4.1 Estações meteorológicas que representam a região norte do afloramento do SAG.....	70
5.4.2 Estações meteorológicas que representam a região central do afloramento do SAG.....	72
5.4.3 Estações meteorológicas que representam a região sul do afloramento do SAG	73
5.5 COMPARAÇÃO ESPACIAL ENTRE AS REGIÕES DO SAG	74
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	76
6.1 CONCLUSÃO.....	78
REFERÊNCIAS.....	80

1 INTRODUÇÃO

A água, mesmo sendo um recurso natural e renovável, enfrenta momentos críticos durante o ciclo hidrológico, tanto em escala temporal quanto espacial, como por exemplo, a redução dos níveis de precipitação, ou até mesmo, a estiagem por determinado tempo. Levando em consideração que a água é indispensável para a vida, à busca por fontes hídricas alternativas para complementar o consumo humano é uma prática, atualmente, muito utilizada, mesmo em território brasileiro.

A Lei nº 7.663 (1991) que instituiu a Política Estadual de Recursos Hídricos do estado de São Paulo (PERH) – exige que o uso das águas seja feito de forma racional para priorizar o uso para o abastecimento humano e proteger as águas, tanto superficiais quanto as subterrâneas, contra ações que possam inviabilizar seu uso. Logo, a Lei nº 9.433 (1997) que instituiu Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) – garante que, em todo território brasileiro, a água é um bem de domínio público e assegura que, nos casos de escassez, a prioridade é de uso para consumo humano e a dessedentação de animais.

Grande parte dos municípios do estado de São Paulo são abastecidos parcialmente ou totalmente por águas subterrâneas (SANTOS, 2009). Conforme os centros urbanos desses municípios crescem, a demanda por água para abastecimento aumenta proporcionalmente a sua escala de evolução. Porém, a utilização das águas subterrâneas vai além do abastecimento público, elas também são largamente exploradas pelo setor privado, como por exemplo, o industrial.

Embora a alternativa mais utilizada como fonte de água potável seja os aquíferos, muitos municípios faz de seu uso a principal fonte de água para abastecimento urbano. No estado de São Paulo, encontra-se o Sistema Aquífero Guarani (SAG) que tem uma área de afloramento composta pelos arenitos das formações Botucatu e Pirambóia que abrange aproximadamente 16.000 km², com potencial de recarga por toda a sua extensão. Porém, é nos limites de abrangência da zona de afloramento do SAG que se encontram grandes centros urbanos, como por exemplo: Ribeirão Preto, São Carlos e Araraquara, que exploram água do SAG para suprir a sua demanda hídrica (SANTOS, 2009).

O uso mal planejado das fontes de água deixa a população em alerta devido à queda da sua disponibilidade, soma-se a isso situações comuns em áreas de

grande densidade demográfica, como a poluição hídrica e a redução dos níveis dos poços profundos que exploram os aquíferos.

Dessa forma, estudos que visam compreender os extratos do balanço hídrico, construídos com base em dados meteorológicos, possibilitam identificar períodos de excedente, quando parte da parcela hídrica infiltra-se recarregando os aquíferos e os períodos de déficit hídrico, quando se reduz para o aquífero a recarga direta por precipitação. Assim, a gestão dos recursos hídricos, ganha subsídios para incrementar a legislação com planos de racionalização e conscientização do uso, não só em períodos de estiagem, mas também durante o ano todo.

Como salientado, para a construção dos extratos do balanço hídrico é necessário dados de precipitação e temperatura média mensal. Esse conjunto de dados foi analisado por Thornthwaite e Mather em 1955 de forma a obter informações sobre a evapotranspiração real e potencial, bem como gráficos que mostram os volumes de excedente, de déficit hídrico, bem como os volumes de retirada e de reposição hídrica.

Anos mais tarde, em 1998, no departamento de Física e Meteorologia da ESALQ/USP, ROLIM, et. al. desenvolveu o software *BHnorm v5*, disponível em planilha de Excel, com base no estudo de Thornthwaite e Mather (1955).

Baseado nessa metodologia, o presente estudo selecionou municípios que estão localizados na área de influência do SAG no estado de São Paulo, locais esses com estações meteorológicas e que apresentaram dados históricos de precipitação e temperatura suficientes para construção de um estudo sobre os extratos do balanço hídrico que representem a zona de afloramento do SAG. Por conseguinte, possibilitando identificar os períodos chuvosos e de estiagem, auxiliando, dessa forma, para as boas práticas de uso dos recursos disponíveis nessa importante região do estado de São Paulo.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem por objetivo apresentar um estudo, com base em levantamento de dados meteorológicos, sobre o extrato do balanço hídrico na área de afloramento do SAG no estado de São Paulo, apresentando os períodos de excedente, os períodos de déficit e a evolução dos cenários de cada região do afloramento.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantamento de municípios que estão sobre a área de influência do SAG no estado de São Paulo e no seu entorno;
- Construção de extratos de balanço hídrico para a área de influência do SAG no estado de São Paulo utilizando-se de estações meteorológicas representativas;
- Identificação, como base na média histórica de dados meteorológicas, dos períodos de excesso, deficiência, retirada e reposição hídrica na região do afloramento do SAG;
- Acompanhamento da evolução histórica do balanço hídrico na área de influência do SAG;
- Comparação espacial dos extratos do balanço hídrico na região do afloramento do SAG.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 CICLO HIDROLÓGICO

A água é o principal elemento da vida, porém nem sempre encontrado na forma ideal ou facilmente disponível para o consumo humano. Os números impressionam, pois, aproximadamente 70% da superfície da Terra é composta por água, mas distribuída desigualmente entre: oceanos, rios, lagos, reservatórios e geleiras, dificultando sua utilização para consumo.

Além de sua distribuição superficial no planeta, a água também se encontra está armazenada no subsolo, mas também disponível para o consumo humano. Portanto, a fase do ciclo hidrológico mais importante para o ser humano é a precipitação, pois é através dela que há o abastecimento e reposição das águas territoriais, seja ela superficial ou subterrânea na sua forma líquida (ARANDA, 1992; TUNDISI, 2003; SPERLIN, 2005; HELLER & PÁDUA, 2006; GREF, 2007; BOS e THOMÉ, 2012).

Como se trata de um ciclo, não há um início ou um final definido, por isso basta escolher um processo de partida e concomitantemente o final se dará no processo anterior ao escolhido (ARANDA, 1992). A evaporação é um processo que ocorre na superfície, tanto terrestre quanto marítima (BOS e THOMÉ, 2012), consiste basicamente na evaporação da água disponível para saturação do ar que está em contato com a tal superfície (ARANDA, 1992). De acordo com a intensidade da radiação solar incidente na superfície esta água é aquecida e, por sua vez, evapora formando vapor d'água de acordo com o calor latente da água. Quando este vapor entra em contato com a camada de ar condensa formando gotículas, mais conhecido como orvalho (ARANDA, 1992; GREF, 2007; BOS e THOMÉ, 2012).

Porém, a condensação do vapor está ligada diretamente com a saturação da camada de ar (ARANDA, 1992), temperatura da camada (ARANDA, 1992; SPERLIN, 2005), turbulência do ar e a velocidade do vento (ARANDA, 1992; HELLER e PÁDUA, 2006).

Quanto maior for a temperatura do ar no entorno, mais água será evaporada, mas se não houver agitação deste ar a taxa de evaporação vai

reduzindo de acordo com a saturação da camada devido à baixa capacidade de condensação. Para que seja mantido um equilíbrio entre evaporação e condensação é importante que tenha uma harmonia entre as camadas de ar húmida e a seca. Logo a camada úmida sobe, deixando uma camada seca disponível para continuidade do processo de evaporação e, por conseguinte, a saturação do ar por completo (ARANDA, 1992; SPERLIN, 2005; HELLER & PÁDUA, 2006; GREF, 2007).

Em conjunto com a evaporação, há também a transpiração (ARANDA, 1992; TUNDISI, 2003; SPERLIN, 2005; HELLER & PÁDUA, 2006; GREF, 2007; BOS e THOMÉ, 2012). Para a ocorrência desse processo, todo tipo de vegetação contribui. De acordo com a água que é infiltrada no solo, parte dela fica disponível na camada não saturada, e é desta que as plantas, através do sistema radicular (HELLER & PÁDUA, 2006), captam a água e utilizam em seu metabolismo. A transpiração se dá, principalmente, na abertura dos estômatos, estruturas encontradas nas folhas. Assim, o vapor liberado pelas plantas entra em interação com a camada de ar circundante. Além da transpiração, há o processo de gutação que ocorre quando o ar está saturado, então a vegetação expela a água em forma de gotas para manter a homeostase (COSTA, 2001).

A evaporação somada com transpiração e a gutação dão origem ao processo chamado de evapotranspiração (ARANDA, 1992; HELLER & PÁDUA, 2006). A evapotranspiração chega a 75% da precipitação total anual (ARANDA, 1992). As camadas de ar saturadas, então, são empurradas para cima. Quando essas camadas encontram massas mais frias se condensam, resultando em gotículas. Essas encontram aerossóis higroscópicos e se aglutinam a eles formando estruturas maiores. Por conseguinte o contato entre as partículas faz com que aumentem de tamanho e ganhe peso, tornando-se capaz de precipitar (SPERLIN, 2005; HELLER & PÁDUA, 2006; BOS e THOMÉ, 2012).

A precipitação por sua vez, não será somente em forma de água líquida, esta pode ser flocos de neve ou até mesmo granizo (SPERLIN, 2005). A precipitação pode ocorrer tanto sobre o oceano quanto sobre o continente, isso decorre da posição geográfica onde são formadas as nuvens podendo ser deslocadas pelas correntes de ar (GREF, 2007; BOS e THOMÉ, 2012). A precipitação que ocorre sobre o continente participa de processos como evaporação, interceptação, infiltração, escoamento superficial e da drenagem subterrânea

(ARANDA, 1992; SPERLIN, 2005; HELLER & PÁDUA, 2006). Nem toda a precipitação chega a terra, uma fração dela evapora durante sua queda (ARANDA, 1992).

A infiltração consiste em toda água absorvida pelo solo, cada região tem uma taxa de infiltração diferente da outra (ARANDA, 1992; SCANLON, HEALEY E COOK, 2002; SPERLIN, 2005). Esta taxa é de acordo com a composição mineralógica do local, de acordo com a composição o índice de vazios pode ser maior ou menor (PINTO, 2000). A água que infiltra, fica disponível para vegetação e o que não é absorvido continua o caminho até a região mais saturada do solo, recarregando os aquíferos e participando da drenagem subterrânea (SPERLIN, 2005; HELLER & PÁDUA, 2006). A drenagem dos lençóis freáticos sempre será em direção ao mar chegando a um destino para retornar ao ciclo (ARANDA, 1992).

Por outro lado, a água que não infiltra, escoar (ARANDA, 1992; SPERLIN, 2005; HELLER & PÁDUA, 2006; BOS e THOMÉ, 2012). Logo o escoamento superficial pode ser um tanto ofensivo para o meio pelo qual ele percorre, normalmente é reconhecido pela presença de erosão, podendo chegar a ravinas ou até mesmo voçorocas (HELLER & PÁDUA, 2006; GUERRA, 2013). O escoamento tem seu destino como os rios, lagos ou até mesmo depressões dos terrenos que propiciam o acúmulo de grande volume de água. Este destino pode ser dado como final, onde a água ficará disponível para evaporação. Com a chegada da água nos locais de evaporação, fecha-se o ciclo e se inicia novamente (ARANDA, 1992; SPERLIN, 2005; HELLER & PÁDUA, 2006).

A Figura 1 sintetiza todos os processos envolvidos ao ciclo hidrológico.

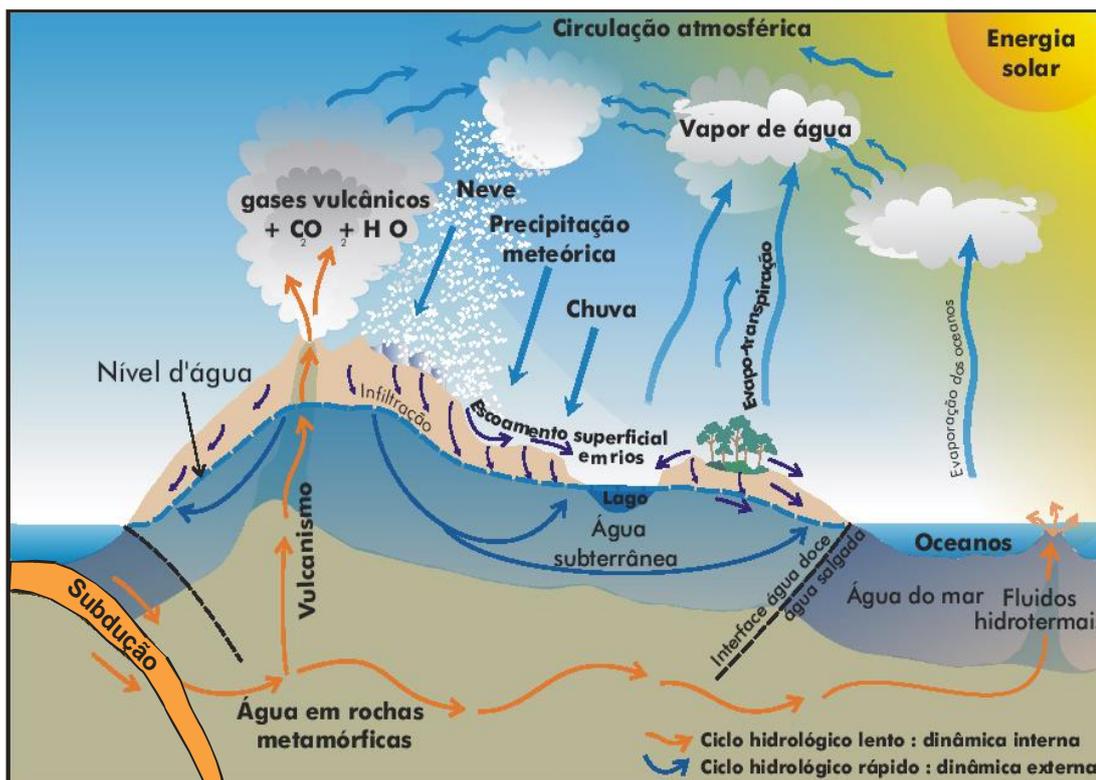


Figura 1. Ciclo hidrológico e seus principais componentes.
Fonte: Karmann (2001).

3.1.1 Balanço Hídrico

O balanço hídrico, como o próprio nome já sugere, é um balanço de água em um dado local. De um modo figurado, Christopherson (2012) explica o balanço hídrico como um balanço financeiro, no qual a precipitação (receita) deve se igualar a evapotranspiração e ao escoamento superficial (despesas). Nos casos em que a receita é maior que as despesas têm-se a reserva, que nada mais é que o acúmulo de água no solo. No entanto, o balanço hídrico é a quantificação das entradas e saídas de água em um volume de solo conhecido (ENCICLOPÉDIA AGRÍCOLA BRASILEIRA, 1995).

Essa contabilização da água pode ser feita em qualquer área, seja de grande escala, como um continente, ou até mesmo de pequena escala, como um jardim (CHRISTOPHERSON, 2012). Para que o cálculo seja feito é necessário identificar as entradas e as saídas. A Enciclopédia da ESALQ (1995) aborda como entrada a precipitação (a neve entra contabilizando como precipitação), a irrigação,

as enxurradas a montante e os fluxos ascendentes das águas subterrâneas, e como saída, a evapotranspiração, a enxurrada a jusante e os fluxos descendentes de drenagem subterrânea.

O cálculo do balanço hídrico pode ser feito utilizando um volume de solo conhecido, tal qual, abrange todo o sistema radicular da vegetação. Portanto, quantificando toda a água que entra (Q_e) e toda a água que sai (Q_s) em um dado período de tempo. Porém, a quantidade de água que fica acumulada no solo (Δh) é a diferença da alíquota que entra e a que sai. Logo, se $Q_e > Q_s$, $\Delta h > 0$; se $Q_e < Q_s$, $\Delta h < 0$; se $Q_e = Q_s$, $\Delta h = 0$. (LIBARDI, 2005).

De maneira geral, Karmann (2000) define a equação (1) do balanço hídrico como:

$$P - ET - Q (\pm \Delta S) = 0 \quad (1)$$

onde a P é a precipitação, ET é a evapotranspiração, Q é o escoamento superficial e o ΔS é a variação de armazenamento. A variação de armazenamento em cálculos com períodos longos, anuais ou até series históricas, pode ser nulo, então tem-se a equação (2).

$$P = ET + Q \quad (2)$$

Libardi (2005), então, desconsidera os fluxos laterais, como por exemplo, o escoamento superficial, e estima o valor de ET em situação prática, levando em conta que todos os outros elementos podem ser medidos. Portanto, a equação (3) de ET fica da seguinte maneira:

$$ET = \Delta h - P - I - D - AC \quad (3)$$

os valores de Δh podem ser obtidos pelos perfis de água acumulada, a P é avaliada por pluviômetros, I (irrigação) é o volume gasto, D (drenagem interna) e AC (ascensão capilar), pela equação de Darcy-Buckingham.

Fazendo a ligação das equações (1) e (3), pode-se concluir que $\Delta S = \Delta h$, é só convenção de simbologia, as entradas da equação (3) considera o sistema de irrigação enquanto que na equação (1) considera só a precipitação. Já as saídas da equação (1) desconsidera os movimentos de ascensão e drenagem que são considerados na equação (3).

3.1.1.1 Thornthwait & Mather

Para a estimativa da evapotranspiração potencial é necessários a mensuração de fatores obtidos por estações meteorológicas (CARVALHO, 2004). Em 2002, Scalon et. al. fez um levantamento das técnicas utilizadas para estimativa de recargas de águas subterrâneas abordando informações que instrui a escolha da melhor técnica a ser aplicada. No estudo conduzido por Toledo et. al. (2002), que estima o balanço hídrico da cidade de Altamira – PA considera o modelo de THORNTHWAITE E MATHER (1955) como o mais apropriado quando se trabalha com dados de temperatura e precipitação media mensal.

O modelo de THORNTHWAITE e MATHER (1955) é um método que faz a contabilidade dos processos envolvidos no balanço hídrico estimando a quantidade de água que entra e a quantidade que sai (KUMAR, 2003) em um dado local sem considerar as condições, nas quais, o solo se encontra (PEREIRA, 2005). Nessa contabilidade, ele utiliza a precipitação (chuva, neve, orvalho) como entrada e a evapotranspiração potencial como saída, considerando a posição geográfica da área (TOLEDO et. al., 2002).

O modelo, então, expressa valores de evapotranspiração real (ETR), deficiência hídrica (DEF), excedente hídrico (EXC) e a quantidade de água armazenada no solo (ARM) (CAMARGO, 1971; PEREIRA et al., 1997; CARVALHO, 2002; PEREIRA, 2005; CAPUTI, 2006). Por conseguinte, o programa “BHnorm” desenvolvido por Rolim et. al. (1998) apresenta as variáveis em formas de figuras,

como, por exemplo, o extrato do balanço hídrico (DEF e EXC) apresentado na Figura 2.

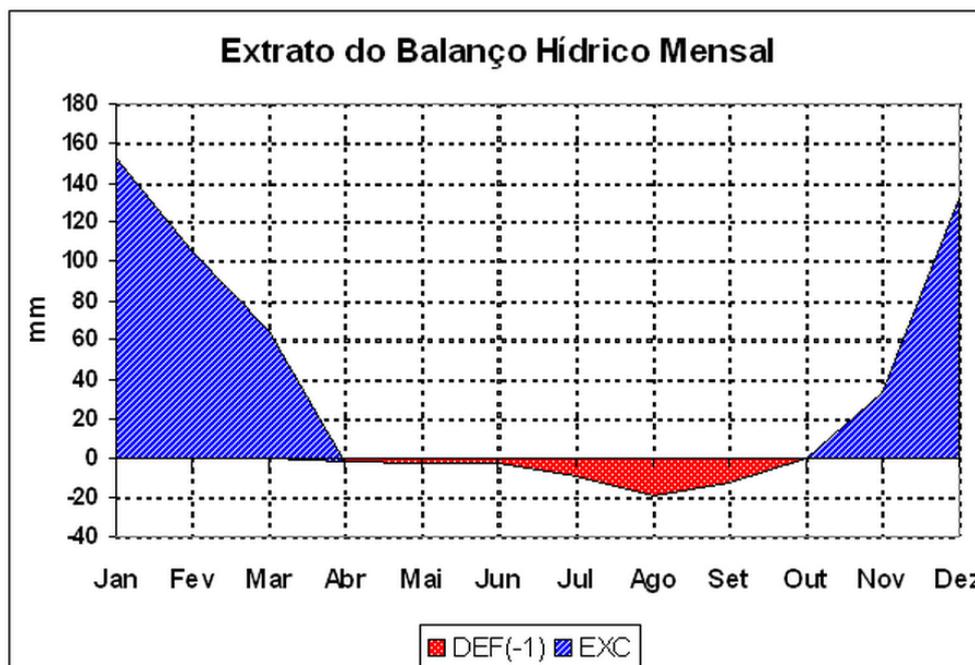


Figura 2. Representação gráfica do balanço hídrico da cidade de São Carlos – SP, no ano de 1941 até 1970, plotando-se DEF e EXC. Fonte: Sentelhas et. al. (2003).

3.1.2 Recarga de aquíferos

De Vries e Simmers (2002) define recarga de aquífero sendo toda água que tem movimento descendente no solo, seja ela provinda da chuva, de rios ou lençóis freáticos. Para Scanlon et. al. (2002) “infiltração” é o termo correto que designa o movimento descendente da água que vai da superfície até a área de saturação. Portanto a recarga de aquíferos pode ser feita por todos os lados (de cima, de baixo ou lateralmente).

O sistema aquífero é recarregado de diferentes formas, seja ele por recarga direta, indireta ou localizada. A recarga direta consiste em reposição de água providas da chuva que infiltra no solo e percola até atingir a região saturada, este tipo é mais comum nas áreas de afloramento onde se encontram os arenitos. A

recarga indireta é a infiltração da água encontrada em sistemas sobrepostos ao confinado, onde o arenito fora recoberto por basalto, seja ele um rio ou até mesmo um aquífero livre. Já a recarga localizada é comum onde o solo tem uma permeabilidade reduzida, portanto a água movimenta-se horizontalmente por pequenas distâncias antes de infiltrar no solo (DE VRIES e SIMMERS, 2002; SCANLON, HEALEY e COOK, 2002; CARNEIRO, 2007).

Em áreas onde ocorre a impermeabilização do solo (centros urbanos), a compactação (zonas rurais) (CARNEIRO, 2007), o plantio de culturas com alta taxa de evapotranspiração (LUCAS, 2012) e sistemas de irrigação de alta tecnologia (os quais aspergem a água necessária para absorção da planta) (MELO, 2013) há uma grande redução da capacidade de infiltração profunda da água, por conseguinte, reduz a taxa de recarga (KRESIC, 2007; GUANABARA, 2011).

A garantia de que a recarga seja contínua é promover uma gestão do uso e ocupação do solo. A compactação do solo rural proveniente do uso intensivo de equipamentos agrícolas faz com que o solo perca os espaços vazios, então, o solo começa a ficar frágil e quebradiço que durante eventos chuvosos faz com que a água percorra pela região ao invés de infiltrar (CARNEIRO, 2007).

Já em áreas agrícolas com culturas de alta taxa de evapotranspiração, como o eucalipto, por exemplo, é possível identificar que a recarga direta na região é bem reduzida. No estudo de Lucas (2012) feito entre 2004 e 2011 com monitoramento do nível de vários poços sob culturas diferentes, foi possível comprovar que enquanto a cultura de eucalipto estava estabelecida a taxa de recarga era bem baixa, quase nula, porém no período após a colheita, no tempo de recomposição natural do solo, a recarga foi detectada chegando a níveis semelhantes a de outras culturas (LUCAS, 2012).

Durante o processo de recarga das águas subterrâneas, de acordo com o tipo da recarga é notório a modificação da composição química da água. Porém, os aquíferos livres, onde o tempo de permanência da água em contato com o substrato é mais rápido, reduz a interação entre o líquido e a formação rochosa, o que faz com que a composição química da água não seja alterada. Já em sistemas de aquíferos confinados, onde o contato entre a água e a formação geológica permanece por um tempo mais longo, há, então, a dissolução rochosa, modificando a composição da água (OLIVEIRA, 2009).

As regiões que possuem aquífugos, a possibilidade de recarga direta é quase nula, porém isso indica que a recarga feita é indireta. De acordo com a formação geológica das áreas de recarga, a água tem uma configuração química distinta. No caso desses aquífugos, é comum a utilização de poços para a recarga, portanto a composição da água não muda devido ao contato muito breve com o meio. Nos casos com formação de aquíferos ou aquíferos livres, a composição da água é alterada devido a permanência desta em contato com um meio semipermeável por um período maior (OLIVEIRA, 2009).

Em regiões de afloramento, onde é concentrada a recarga direta, a principal fonte são águas meteóricas, uma parcela irá infiltrar saturando o solo e depois abastecendo os confinamentos subterrâneos e a outra parcela irá evaporar, dando continuidade para o ciclo hidrológico. Por conseguinte, a água de recarga possui a mesma composição química, devido à rápida infiltração até o confinamento (OLIVEIRA, 2009).

Segundo Oliveira (2009), em Goiás, nas áreas de recarga em regiões de afloramento, as águas são ácidas a ligeiramente ácidas, pouco mineralizadas, com valores de condutividade elétrica até $100 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. As concentrações de cloroformo dessas águas indicam que o tempo de permanência da água na zona de recarga é de 12 a 40 anos, ressaltando que tempos longos de circulação estão ligados diretamente com espessura maiores da zona saturada do aquífero.

3.2 CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI (SAG)

3.2.1 *Classificação Climática*

A metodologia de classificação climática desenvolvida por Whilhem Köppen em 1918 é a mais utilizada no Brasil (MENDONÇA, 2007) e foi a utilizada por Santos (2009; 2012) para a classificação climática da área de abrangência de ocorrência do SAG no estado de São Paulo.

Dessa forma, segundo esse mesmo autor, a área em questão possui classificação climática Cwa, que abrange toda a região central do estado de São

Paulo (chuva de verão, verão quente), Cfa (úmido em todas as estações, verão quente), Aw (clima de savana). O clima com influência na maior parte da região é o Cwa (SANTOS, 2009), este apresenta características de clima temperados chuvosos e moderadamente quentes, com chuvas no verão, tendo o mês mais quente com a temperatura média superior a 22°C (SETZER, 1996).

A Tabela 1 apresenta o Sistema Internacional de Classificação Climática de Köppen, baseado no total de precipitação (SENA, 2005).

Tabela 1. Sistema Internacional de Classificação Climática de Köppen.

Climas Úmidos			Total de Chuvas do Mês mais Seco	Temperatura Média	
				Mês mais Quente	Mês mais Frio
Af	Tropical	Sem estação seca	mais de 60 mm	acima de 22 °C	acima de 18 °C
Aw	Tropical	Inverno seco	menos de 30 mm	acima de 22 °C	acima de 18 °C
Cwa	Quente	Inverno seco	menos de 30 mm	acima de 22 °C	abaixo de 18°C
Cwb	Temperado	Inverno seco	menos de 30 mm	abaixo de 22 °C	abaixo de 18°C
Cfa	Quente	Sem estação seca	mais de 30 mm	acima de 22 °C	abaixo de 18°C
Cfb	Temperado	Sem estação seca	mais de 30 mm	abaixo de 22 °C	abaixo de 18°C

Fonte: Santos 2009.

No estudo de Rolim, et. al. (2007) compara os dois sistemas de classificação climática (SCC) mais utilizados no mundo, o de W. Köppen e o de Thornthwait, aplicando no estado de São Paulo com o objetivo de melhorias no mapeamento climático. A densidade de pontos espaciais amostrados aprimorou o SCC, feita de acordo com Köppen, no estado de São Paulo. Portanto, a região central que era classificada como “Cwa” passou por uma reforma devido a temperatura do mês mais frio ser acima dos 18°C, classificando, então, climas “Af”, “Aw” e “Am”.

Porém a SCC, feita de acordo com Thornthwait, redivide os 7 tipos de clima de Köppen em 20 classes que vão de Subúmido (C) até Superúmidos (A). Essa quantidade de novos climas é devido às considerações feitas no modelo de Thornthwait, tais como os déficits e acúmulos obtidos pelo cálculo do balanço hídrico. O calculo do balanço hídrico envolve, além de precipitação e temperatura - também consideradas por Köppen - dados como altitude e localização geográfica (ROLIM, et. al., 2007).

As maiores divergências encontradas no método de Köppen são analisadas perante os extratos dos balanços hídricos de Ubatuba e Ribeira. As duas cidades são classificadas como climas “Af”, porém quando são apresentados os extratos (Figura 3) é possível ver que o excedente de precipitação entre delas se diferem bastante. Essa diferença leva a uma nova classificação, “ArB₄a’” para Ubatuba e “BrB₄a’” para Ribeira, feita por Thornthwait (ROLIM, et. al., 2007).

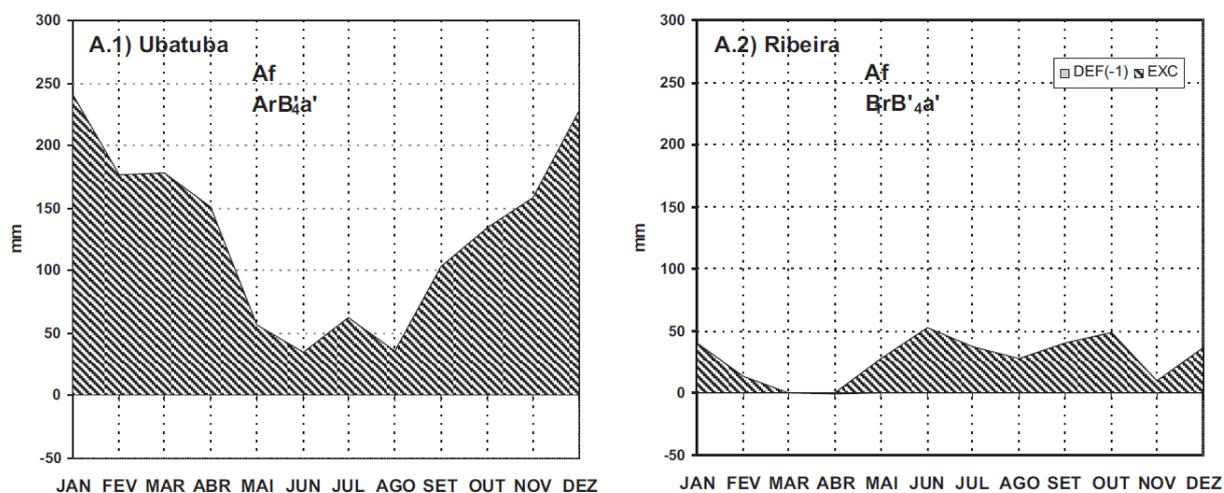


Figura 3. Extratos dos balanços hídricos normais mensais de (A.1) Ubatuba; (A.2) Ribeira.
Fonte: ROLIM, et. al., 2007

Este estudo afirmou com base em várias análises, que o método de W. Köppen (Figura 4a) só deve ser utilizado para classificação de macroclimas, como é o caso desta pesquisa, pelo fato de desconsiderar algumas informações, como relevo. No entanto, quando a necessidade da classificação for para microclimas, agricultura, por exemplo, é desejável que seja utilizado o método de Thornthwait (Figura 4b), pois este modelo relaciona uma quantidade de variáveis maior (ROLIM, et. al., 2007).

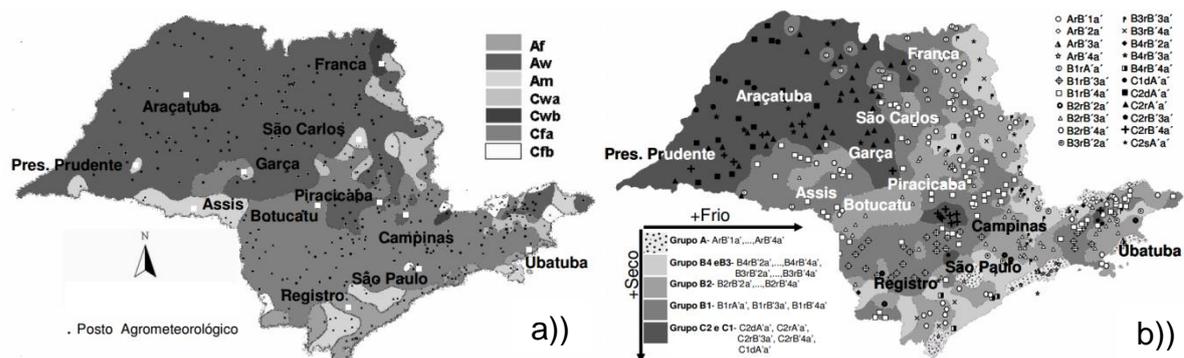


Figura 4. Classificação dos climas do Estado de São Paulo pelo sistema de a) W. Köppen (SETZER, 1996) e b) Thornthwaite (1948), com a utilização de dados agrometeorológicos de 427 localidades.

Fonte: ROLIM, et. al., 2007.

3.2.2 Geologia

O SAG está inserido geologicamente nos limites da Bacia Sedimentar do Paraná, entidade geológica com preenchimento sedimentar e magmático, situada no centro-leste da América do Sul, abrangendo uma área de cerca de 1.600.000 Km² (Figura 5). Deste total, cerca de 1.000.000 km² estão localizados em território brasileiro, distribuídos pelos estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás (PETRI e FÚLFARO 1983). Esta ampla sinéclise deve ser entendida como o produto de um complexo conjunto temporal, formado por processos tectono-sedimentares atuantes durante o Fanerozóico. Tais processos, na área ocupada pela bacia, encontraram condições ora favoráveis ao empilhamento sedimentar, ora à não deposição ou à remoção erosiva de unidades anteriormente acumuladas (MILANI, 1997).

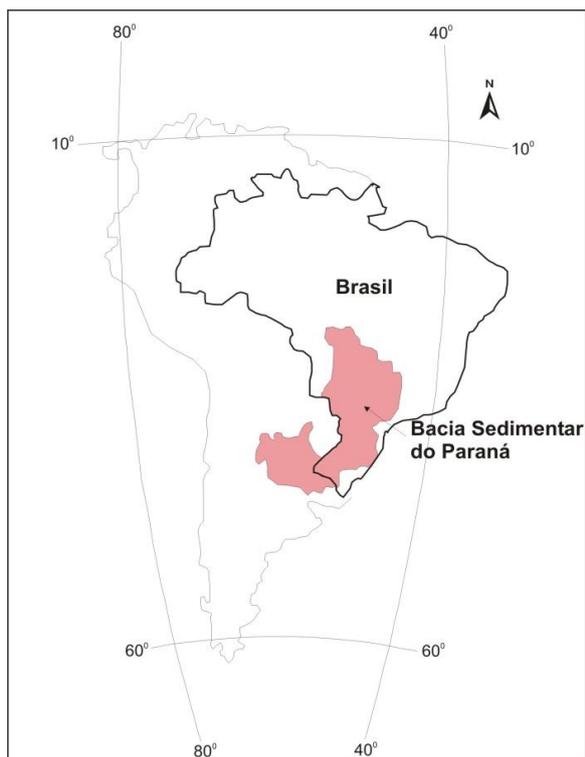


Figura 5. Localização da Bacia Sedimentar do Paraná.
Fonte: Santos, 2009.

Segundo Milani (op. cit.), a atual forma da Bacia do Paraná foi definida por fenômenos geotectônicos durante o Mesozóico e o Cenozóico; a bacia apresenta limite erosivo ao longo da maior parte de seu perímetro, totalizando aproximadamente 5.500 km.

Para Petri e Fúlfaro (1983), as extensas deformações estruturais – arcos, flexuras, sinclinais e depressões –, particularmente os grandes alinhamentos estruturais, a maioria com direção NW/EW, influenciaram, ao longo de sua evolução, as áreas de maior subsidência e, conseqüentemente, de maior sedimentação. Estes alinhamentos condicionaram ainda o magmatismo que afetou a bacia.

A Bacia do Paraná sofreu intenso vulcanismo fissural, que produziu uma espessa cobertura de lavas, com intrincada rede de diques e sills alojando-se na coluna sedimentar da bacia. Hoje, após 100 milhões de anos de retrabalhamento erosivo, ainda restam 75% da área total da bacia recoberta pelas rochas ígneas da Formação Serra Geral, com área de aproximadamente 1.200.000 km², abrangendo os estados do centro-sul do Brasil, partes do Uruguai, Argentina e Paraguai, com

uma espessura remanescente que se aproxima dos 2000 m na região do Pontal do Paranapanema-SP (MILANI, 1997).

A área de estudo situa-se na região norte-oriental da Bacia do Paraná, limitada a leste pelo contato com o Embasamento Cristalino. Compreende as seguintes unidades estratigráficas, a partir da base: Grupo Tubarão (Subgrupo Itararé e Formação Aquidauana); Formação Tatuí; Grupo Passa Dois (Formações Irati, Serra Alta, Teresina, e Corumbataí); Grupo São Bento (Formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral); Grupo Bauru (Formações Caiuá, Pirapózinho, Santo Anastácio, Araçatuba, Adamantina e Marília); coberturas cenozóicas indiferenciadas e depósitos aluvionares recentes.

A separação estratigráfica e a caracterização sedimentológica das formações Pirambóia e Botucatu, no Estado de São Paulo, devem-se a Soares (1973). Essas unidades são formadas por sedimentos continentais arenosos e compõem o arcabouço do SAG no estado. A Formação Serra Geral, composta por rochas vulcânicas básicas, associadas a intrusões de diabásio, sobrepõe-se a este pacote sedimentar, confinando-o na porção centro-oeste do Estado de São Paulo.

As formações Pirambóia e Botucatu afloram em uma faixa contínua que se estende desde o município de Rifaina (norte do estado), até o município de Fartura (sul do estado), com área total de 18.000 Km² (Figura 3). Esta faixa de afloramentos está inserida na borda ocidental da Depressão Periférica Paulista e apresenta largura irregular que se amplia ao longo das grandes drenagens. Para oeste desta faixa, as formações Pirambóia e Botucatu mergulham por sob os basaltos da Formação Serra Geral, em uma área de cerca de 174.000 km² de extensão no Estado de São Paulo, onde o topo do SAG pode atingir 1600 m de profundidade em seu trecho de maior confinamento (Figura 6).

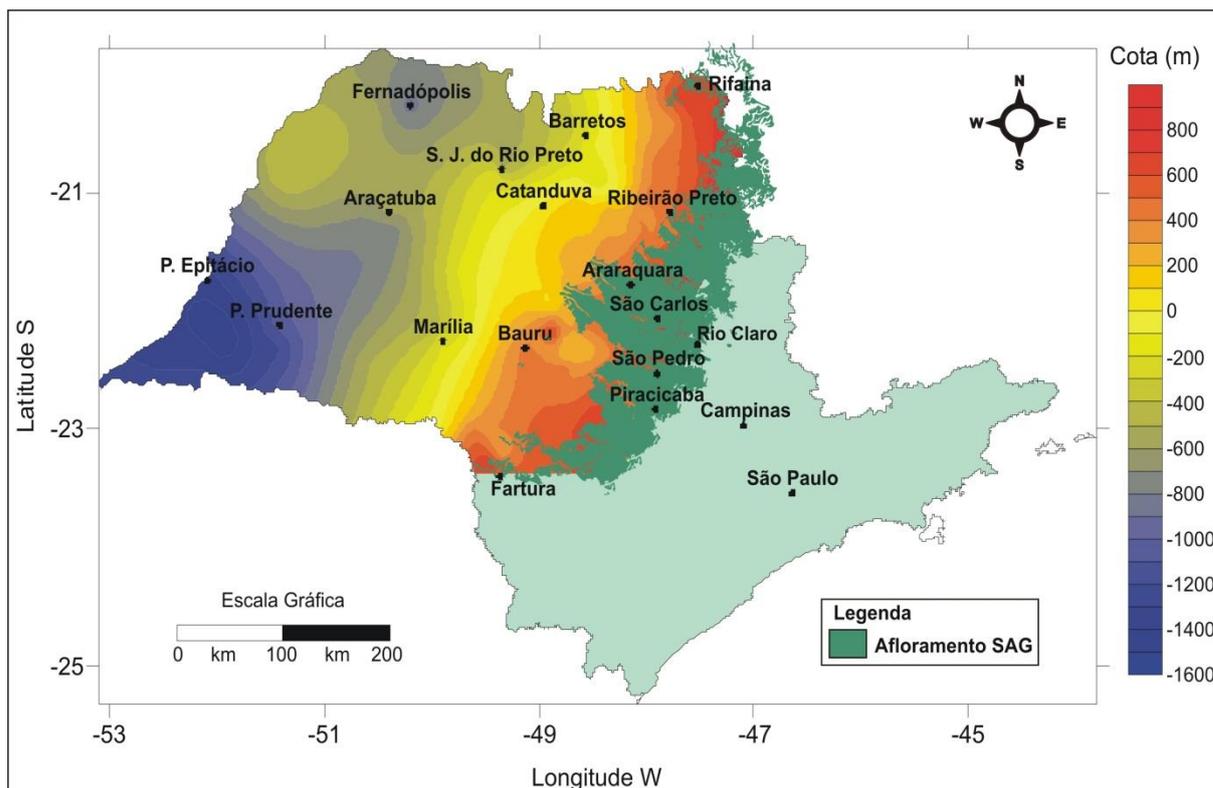


Figura 6. Mapa de contorno estrutural do topo do SAG no Estado de São Paulo.
Fonte: Santos, 2009.

3.2.3 Hidrogeologia

Regionalmente, o SAG está alojado entre as rochas permianas do Grupo Passa Dois e os derrames basálticos eo-cretáceos da Formação Serra Geral; localmente pode ocorrer recoberto diretamente por rochas do Grupo Bauru. O SAG ocorre na porção central e oeste do Estado de São Paulo; sua faixa de afloramento está localizada próxima à margem oeste da Depressão Periférica; para o interior da bacia onde o sistema aquífero se encontra confinado pelas rochas basálticas. Mesmo em sua zona de maior confinamento, onde os custos de perfuração e manutenção dos poços são elevados, importantes cidades utilizam o SAG para abastecimento de água, como São José do Rio Preto, Presidente Prudente, Marília e Araçatuba (SANTOS 2009).

Segundo Araújo et al. (1995), o arcabouço hidrogeológico do SAG teria se desenvolvido a partir do Cretáceo, quando, com o soerguimento das bordas da bacia, a erosão das sequências sedimentares sobrepostas possibilitou o afloramento

de suas unidades hidroestratigráficas e a recarga a partir das águas meteóricas nestas porções elevadas.

Para DAEE/IG/IPT/CPRM (2005), o SAG constitui um aquífero granular, homogêneo e regionalmente livre, em sua porção aflorante no estado, a predominantemente confinado, constituindo um pacote contínuo desde a zona de afloramento, a leste, até o extremo oeste, onde extrapola os limites do estado.

Com relação à potencialidade, as características que influenciam diretamente as propriedades hidrodinâmicas dos aquíferos são: espessura saturada, condutividade hidráulica, coeficiente de armazenamento e porosidade efetiva. Segundo LEBAC (2004), dados extraídos de perfurações de poços profundos na região de afloramento do SAG, no Estado de São Paulo, indicam que as melhores características hidrodinâmicas são obtidas na porção aflorante situada próximo à área de ocorrência dos basaltos, em razão da maior espessura e melhores condições de permoporosidade. Esta região distingue-se por ter o nível da água relativamente pouco profundo, não possuir capeamento basáltico e apresentar condições de extração de 180 m³/h em poços com cerca de 300 a 350 m de profundidade. Dificuldades construtivas podem surgir em função da ocorrência de intercalações de corpos de diabásio na sequência sedimentar.

3.3 GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

O estado de São Paulo foi pioneiro na criação de sistemas de gerenciamento de recursos hídricos no Brasil. Implantando, em 1991, a Lei nº 7.663 que estabelece normas e orientações sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos (PERH) bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SIGRH). A Lei foi criada, também, para que o uso das águas seja feita de forma racional para priorizar o uso para o abastecimento humano e proteger as águas, tanto superficiais quanto as subterrâneas, contra ações que possam inviabilizar seu uso. No entanto, ela dispõe dos seguintes princípios quanto à gestão dos recursos hídricos no estado:

“I - gerenciamento descentralizado, participativo e integrado, sem dissociação dos aspectos quantitativos e qualitativos e das fases meteórica, superficial e subterrânea do ciclo hidrológico;II - adoção da bacia hidrográfica como unidade físico-territorial de planejamento e gerenciamento; III - reconhecimento do recurso hídrico como um bem público, de valor econômico, cuja utilização deve ser cobrada, observados os aspectos de quantidade, qualidade e as peculiaridades das bacias hidrográficas; IV - rateio do custo das obras de aproveitamento múltiplo de interesse comum ou coletivo, entre os beneficiados;V - combate e prevenção das causas e dos efeitos adversos da poluição, das inundações, das estiagens, da erosão do solo e do assoreamento dos corpos d'água; VI - compensação aos municípios afetados por áreas inundadas resultantes da implantação de reservatório e por restrições impostas pelas leis de proteção de recursos hídricos;VII - compatibilização do gerenciamento dos recursos hídricos com o desenvolvimento regional e com a proteção do meio ambiente” (SÃO PAULO, 1991).

A nível federal, seis anos mais tarde, em 8 de Janeiro de 1997, foi criada a Lei nº 9.433 que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH). A Lei também oferece suporte para o desenvolvimento de comitês de gestão hídrica por todo território brasileiro. Esta Lei é fundamentada tendo como princípios que a água é de domínio público, é um recurso natural limitado, sendo assim, passível de ser valorada, sua gestão proporciona o uso múltiplo assegurando que nos casos de escassez, é prioridade o uso para abastecimento humano e a dessedentação de animais.

A PNRH opera sobre todo o território brasileiro com o auxílio de instrumentos, sendo: os planos de recursos hídricos, o enquadramento dos corpos, a outorga, a cobrança, a compensação dos municípios (vetado) e o sistema de informação sobre recursos hídricos. Assim, a gestão sistemática, a adequação da gestão às diversidades territoriais, a integração e a articulação da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental e o uso do solo são postas em prática asseguradas pelos instrumentos (BRASIL, 1997).

O Plano de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997), de acordo com o art. 6º e 7º, orienta o gerenciamento dos recursos pautado na PNRH e estabelece que esses planos sejam de longo prazo. Cada projeto deve conter:

- diagnóstico na situação atual encontrada no local;
- análise da evolução econômica da região;
- balanço de usos e demandas;

- propostas de economia da água;
- outorga dos usos;
- itens que a ser abordados para cobrança;
- demarcação de áreas de proteção visando manter a qualidade dos recursos hídricos.

O Enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água asseguram que mesmo sendo utilizado, cada manancial deverá ser compatível com o tipo de uso. Esta mesma ferramenta ainda visa reduzir os gastos com recuperação das águas aplicando ações preventivas. Já o Sistema de Informações é responsável por coletar, recuperar, armazenar e disponibilizar os dados e informações sobre as condições atuais de cada bacia (BRASIL, 1997).

A Outorga de direito de uso e Cobrança pelo uso são aplicadas simultaneamente, uma vez que a outorga concede, por prazo determinado, o direito de uso e a cobrança estipula o valor desse uso. Além disso, a outorga controla o uso da água, superficial e subterrânea, de forma qualitativa e quantitativa. As atividades que praticam extração de água subterrânea, por exemplo, estão sujeitas a outorga. Já a cobrança caminha mais para o lado social dando ênfase de que a água é dotada de valor econômico bem como seu uso deve ser mais racional. Todo o valor arrecadado é aplicado na própria bacia (BRASIL, 1997).

Pautado na Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997) o SINGREH coordena, planeja e regula a gestão descentralizada dos recursos hídricos. O Sistema é constituído por órgãos federais e estaduais. O Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) é o órgão superior dentro dos que são federais e o Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH) é o superior dentro de cada estado (Figura7).



Figura 7. Fluxograma de hierarquia do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.
Fonte: ANA, 2014.

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) é o órgão superior dentro do SINGREH, sendo presidido pelo ministro do Meio Ambiente e a secretaria executiva é responsabilidade do Secretário de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2006). O CNRH atua desde 1998 regulando o uso das águas e implantando o sistema de gerenciamento dos recursos hídricos no país. É, também, o órgão que aprova e acompanha o Plano Nacional de Recursos Hídricos (CNRH, 2014).

No Decreto do dia 20 de junho de 2003, o de nº 4.755 estabelece que a Secretaria de Recursos Hídricos (SRH) é quem acompanha, monitora e coordena a elaboração do Plano Nacional de Recursos Hídricos (MMA, 2006). A Agência Nacional de Águas (ANA) funciona como uma secretaria executiva é ela quem tem o poder de outorga, além de monitorar rios e reservatórios, elaborar projetos e programas e acompanhar diretamente a execução dos planos (ANA, 2014). Os estados trabalham da mesma forma, com um conselho, uma secretaria e uma agência. No estado de São Paulo o Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) tem o poder outorgante e a Companhia de Tecnologia de Saneamento

Ambiental é responsável por manter a classe das águas segundo o CONAMA 357/2005 (SANTOS, 2009).

A gestão das águas subterrâneas, por sua vez, é muito carente de estudo, pois há vários fatores que devem ser levados em consideração devido a grande área de vulnerabilidade que se encontra na faixa do afloramento (GOMES, et. al., 2006; AZEVEDO, 2007). O DAEE (2005) deixa claro em suas “linhas básicas de gestão”:

“A gestão dos recursos hídricos subterrâneos deve-se pautar pelas seguintes premissas: a) as águas subterrâneas são parte do ciclo hidrológico e requerem adequado conhecimento para que seu uso seja integrado com o do recurso superficial; b) as modificações nos regimes de fluxo, causadas por exploração, podem gerar mudanças na qualidade e na quantidade das águas subterrâneas, incluindo problemas de contaminação antrópica e natural; c) o uso do recurso deve prever a multiplicidade, no entanto, o abastecimento público é prioritário; e d) a gestão eficiente deverá ser uma ação compartilhada entre o Estado, os municípios e a população usuária destes recursos” (DAEE, 2005).

3.3.1 Disponibilidade hídrica

Quando é mencionado este assunto a qualquer momento, rapidamente, é feita a relação com gráficos que mostram a quantidade de água salgada, doce e congelada (SUASSUNA, 2004). No entanto, segundo Bós (2012), 97,5% de toda água disponível é salgada e somente 2,5% da água é doce, porém 68,7% da água doce está congelada. A água doce que compõe rios e lagos representa aproximadamente 0,30% da água disponível (VICTORINO, 2007; BRITO, 2007; BOS, 2012). Em alguns países, como a Líbia, o consumo já é maior que a capacidade de recarga natural de água (PEREIRA-JUNIOR, 2004).

O Brasil, com 12% de toda água doce disponível no planeta, é o território que acomoda a maior porcentagem de água doce (PEREIRA-JUNIOR, 2004; VICTORINO, 2007; BOS, 2012). No entanto, ainda há problemas com essa distribuição espacial da água, pois 72,5% (PEREIRA-JUNIOR, 2004) da água está concentrada na bacia do rio Amazonas aonde a densidade demográfica chega a 5% e o restante da água disponível atende 95% da população (BOS, 2012). De acordo com Pereira-Junior (2004), o Brasil tem 80% mais disponibilidade de água que o Canadá e o dobro de disponibilidade que os Estados Unidos da América.

O uso dos recursos hídrico no Brasil se divide em usos na agricultura, industrial e residencial. A irrigação é a atividade que tem o maior consumo de água representando 70%, 23% é de consumo industrial e 7% é destinado a usos urbano (BRITO, 2007). O estado de São Paulo, por exemplo, é contemplado pela bacia do Paraná aonde encontra-se 86% do território paulista. A bacia do Paraná tem uma quantidade de água disponível considerável, porém, na bacia do Alto Tiete, onde se localiza a região metropolitana da cidade de São Paulo o consumo já esta superior à disponibilidade hídrica (GOMES, 2004).

Para que a demanda seja suprida, a água é transportada de bacias próximas, nesse caso, é a bacia cuja formação é pelos rios Piracicaba, Jundiá e Capivari e despejadas no Sistema Cantareira. Uma das causas mais expressivas é a densidade demográfica da região e a poluição dos rios (GOMES, 2004). Esse problema surge, também, pela falta de planejamento e manutenção nas galerias de distribuição de água, pois 25% da água tratada são desperdiçadas, mas este valor é pequeno quando comparado com a média nacional que é de 40% (LOIOLA, 2014).

3.4 BANCO DE DADOS METEOROLÓGICOS

As bases de dados meteorológicos disponíveis online estão cada vez mais fáceis de serem encontradas. Em uma busca rápida foram levantadas várias delas:

- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia: esta tem banco de dados de estações por todo o território brasileiro como monitoramento feito desde 1961.
- CIAGRO – Centro integrado de informações agrometeorológicas: mantém em seu domínio dados meteorológicos de todo o estado de São Paulo, entre os dados estão: temperatura máxima e mínima absoluta, temperatura mínima mensal, temperatura média, evapotranspiração potencial e precipitação. A série histórica de cada ponto varia de acordo com o tempo de campanha.
- EMBRAPA Monitoramento por Satélite: Tem dados disponíveis durante um período de monitoramento que foi de 1941 até 1970. Esses dados estão apresentados em médias mensais com análises discutidas.

- CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos: esta tem a disponibilidade de dados captados por diferentes tipos de sensores (Airep, Buoy, Metar, Ship e Synop), cada um deles pode ser selecionado de acordo com a necessidade. Os dados de Synop, estações de superfície terrestre fora de aeroportos, possuem monitoramento desde 1995.
- SINDA – Sistema Integrado de Dados Ambientais: esta base tem disponível dados com monitoramento desde 2004. As estações são hidrológicas, meteorológicas, agrometeorológicas ou boia.
- SIGRH – Sistema de Informações para o Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo: este site disponibiliza algumas bases em conjunto (mas cada base com seu banco de dados) para acesso. A base de dados do Departamento de Água e Energia Elétrica (DAEE) tem monitoramento desde 1959, porém são dados somente de precipitação. Já no site do DAEE é possível fazer acesso dos bancos de dados com dados de temperatura, vento, umidade relativa.
- ANA – Agência Nacional de Águas: A ANA disponibiliza um site paralelo onde são concentradas todas as informações hidrológicas disponíveis para download, o HIDROWEB. Nele é possível ter acesso a todas as estações com dados de precipitação desde 1909.

Algumas Universidades que possuem estações meteorológicas para estudos internos disponibilizam seus dados também. A Unesp de Bauru possui um banco de dados somente do município de Bauru, a ESALQ também possui um sistema de dados bem grande.

3.4.1 Precipitação Pluvial

Retornando aos processos abordados no *item 3.1* conclui-se que a condensação do vapor d'água, água evaporada da superfície, transforma-se, na maioria das vezes, em chuva (FROTA, 2003). A precipitação pluvial, normalmente, é feita a associação direta com chuva. Porém, além da chuva, Chorley (2010) descreve outros 6 tipos de precipitação: neve, graupel, granizo, saraiva, orvalho e rime.

- Neve: são cristais de gelo ramificados com formas hexagonais e em temperaturas inferiores a 40°C negativos, esses flocos, podem flutuar no ar.
- Graupel: é um aglomerado de cristais de gelo que formam estruturas cônicas ou arredondas de 2 até 5 mm.
- Granizo: são massas duras em forma de bolas irregulares com, no mínimo de 5 mm de diâmetro.
- Saraiva: é uma mistura de chuva com neve, ocorrem em algumas áreas em específico como no Reino Unido. São gotas de chuva que se congelam ou, até mesmo, flocos de neve que derretem e se congelam novamente.
- Orvalho: são gotículas de água que se formam na superfície terrestre quando a temperatura do ar se encontra a abaixo daquela determinada para o ponto de orvalho.
- Rime: são estruturas triangulares que se formam em galhos, principalmente, com a deposição de neve na direção do vento.

A chuva por ser o fenômeno mais comum dentre as formas de precipitação pluvial, a Enciclopédia da ESALQ (1998) traz a definição dos tipos de chuva. Entre elas está a chuva convectiva:

“Chuva convectiva: provocada por elevação de massas de ar por forças convectivas de empuxo, por aquecimento local. O vapor d’água, ao se elevar, se resfria, atinge o ponto de orvalho e se condensa. Havendo condições favoráveis para a formação e crescimento de gotículas, inicia-se o processo de precipitação. A chuva convectiva é bem localizada, muitas vezes sendo visível sua frente, notando-se áreas com chuva e outras sem chuva” (ENCICLOPÉDIA AGRÍCOLA BRASILEIRA, 1998).

A chuva convectiva no Brasil ocorre com maior frequência na época do verão nas regiões tropicais. Já a chuva orográfica é mais fácil de ocorre nas Serras do Mar do sul e sudeste (REIS, 2006). De acordo com a Enciclopédia da ESALQ (1998) chuvas orográficas definem-se como:

“Chuva orográfica: causada por condições de relevo. O vapor d’água para se condensar precisa sofrer queda de temperatura, o que geralmente ocorre por elevação de massas de ar. Quando é devida a condições regionais de relevo, a chuva resultante é denominada orográfica. A Serra do Mar, no litoral paulista, é um exemplo de barreira natural que proporciona a ocorrência de chuvas orográficas. Devido a isso, algumas regiões da serra apresentam os maiores índices pluviométricos do Brasil” (ENCICLOPÉDIA AGRÍCOLA BRASILEIRA, 1998).

Aranda (1992) diz que existem diversos aparelhos e aparatos que podem ser utilizados para monitorar as precipitações. Os instrumentos que medem a quantidade e a intensidade de chuva são os mais importantes para a visão climática, mas para estudos mais aprofundados existem aparelhos que medem, por exemplo, o tamanho de cada gota de chuva. O pluviômetro e o pluviógrafo são os aparelhos mais utilizados para obter as medidas de maior interesse (MOSCHINI-CARLOS, 2012).

O pluviômetro é o método que mede, pontualmente, a quantidade de chuva (MOSCHINI-CARLOS, 2012). De acordo com Aranda (1992), qualquer recipiente aberto com paredes verticais, uma bacia, por exemplo, pode ser utilizada para medir a quantidade de chuva, basta contabilizar 24 horas de coleta iniciando às oito horas da manhã de cada dia. No sistema internacional, a chuva expressa suas medidas em milímetro ou em decímetro (ARANDA, 1992).

O pluviógrafo, por sua vez, mede a intensidade de chuva. O equipamento é composto por um recipiente automático que armazena 10 mm de água, assim que esse recipiente é preenchido o sistema é ativado e então esvaziado para que o armazenamento seja constante durante todo o período de chuva. Cada esvaziamento o nível do recipiente é anotado. A medida da intensidade de chuva é obtida em mm.h^{-1} ou em mm.min^{-1} (ARANDA, 1992; MOSCHINI-CARLOS, 2012).

3.4.2 Temperatura do Ar

Um dos fatores mais importantes dentro do ciclo da água é a radiação (ARANDA, 1992; GREF, 2007; BOS e THOMÉ, 2012) ela é responsável aumentar o calor latente da água, evaporando-a, e ela também chega ao solo, onde parte dela é absorvida e convertida em calor (ADAM, 2001). O ar é diatérmano, isso significa que não tem interação com ondas eletromagnéticas, a radiação é um exemplo. Portanto, a radiação convertida em calor na superfície terrestre aquece o ar por convecção. A temperatura do ar é uma resultante do balanço de energia (ADAM, 2001).

A temperatura do ar é medida em Celsius ($^{\circ}\text{C}$), Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$) (MENDONÇA, 2007) e em Kelvin (K) (HALLIDAY, 2009) por termômetros (MENDONÇA, 2007; HALLIDAY, 2009). Os tipos mais utilizados são aqueles que obtêm a temperatura do ar, o termógrafo de anel metálico. Já os termômetros que medem a temperatura máxima e mínima têm o capilar de mercúrio e de álcool respectivamente (IAG/USP, 1932).

4 METODOLOGIA

4.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A área de estudo está inserida na porção nordeste da Bacia do Paraná, entre os paralelos 20° e 23° 30' de latitude sul e os meridianos 47° e 52° 30' de longitude oeste, dentro dos limites do Estado de São Paulo (Figura 8). A área de estudo abrange o centro-oeste do estado, tendo como limites naturais: ao norte, o rio Grande, a oeste, o rio Paraná, a sul, o rio Paranapanema e, a leste, a linha de contato geológico entre os grupos São Bento e Passa Dois. Sua extensão total é de aproximadamente 155.800 Km².

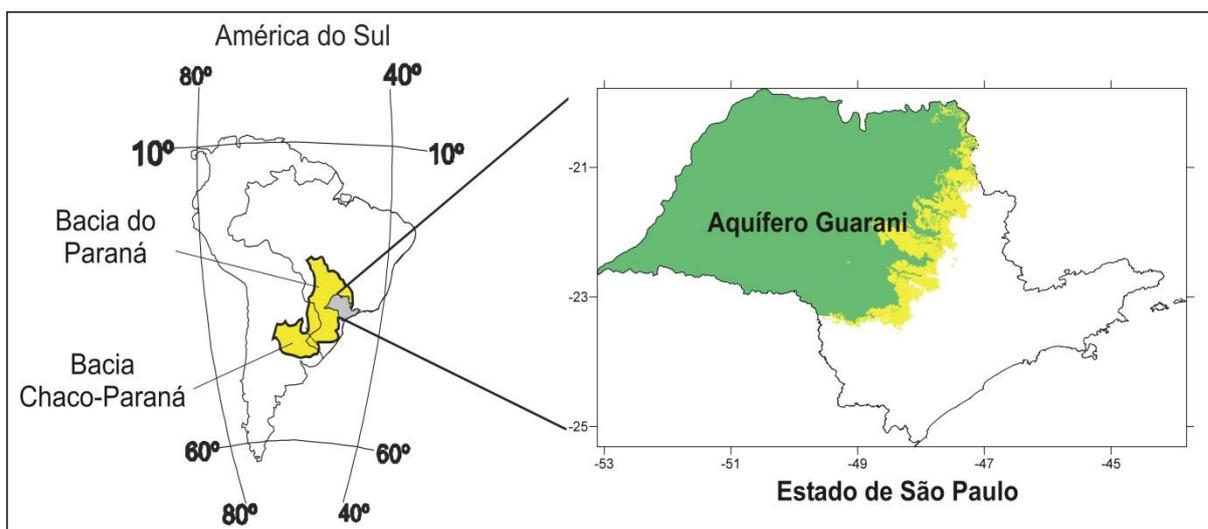


Figura 8. Mapa de localização do Sistema Aquífero Guarani (SAG) no Estado de São Paulo.
Fonte: Santos 2009

O SAG é um reservatório de água subterrânea, formado por um conjunto de rochas arenosas porosas depositadas entre o Triássico e Eo-Cretáceo. O SAG é transfronteiriço, pois estende-se por quatro países sul-americanos: na Argentina, sua extensão é de 228.255 km², no Brasil, 735.916 km², no Paraguai, 87.535 km², e no Uruguai, 36.171 km², totalizando aproximadamente 1.200.000 km² na região sudeste da América do Sul (HIRATA et al., 2008).

É fato que parte da água de chuva que precipita na região penetra no sistema aquífero, seja infiltrando-se diretamente no terreno, seja em drenagens superficiais e lagos que, através de seus leitos, permitem a passagem de água para subsuperfície. Segundo o Projeto para Proteção e Desenvolvimento Sustentável do SAG estima-se recarga de 166 Km³/ano para todo o SAG (GEF, 2007), enquanto suas reservas permanentes são da ordem dos 45.000 Km³ (ROCHA, 1997).

Apesar destes números, alguns estudos já evidenciam áreas que apresentam sinais críticos de superexploração do sistema aquífero, notadamente no Estado de São Paulo, se considerada somente a reserva subterrânea ativa, ou seja, apenas a infiltração direta da chuva como forma de recarga (SANTOS, 2009).

Ainda segundo o autor, no estado de São Paulo, o SAG é explorado por inúmeros poços, mas que se concentram predominantemente em faixa no sentido sudoeste-nordeste, próxima à área de afloramento, com cerca de 18.400 Km². Esta área é a mais vulnerável e deve ser objeto de programas de planejamento e gestão ambiental permanentes, para se evitar a contaminação da água subterrânea e a sobreexploração do aquífero, com o conseqüente rebaixamento do lençol freático e seu impacto nos corpos d'água superficiais.

4.2 SELEÇÃO DAS ESTAÇÕES PARA ESTUDO

Para que o trabalho pudesse ser executado com uma maior acurácia, as estações selecionadas para o presente trabalho estão localizadas nos municípios sobre a área de influência do SAG. Para tanto, foi criado um mecanismo que contornasse toda a região do afloramento do SAG no mapa geológico e este foi transportado para o mapa político contendo o nome de cada um deles. A forma de seleção das estações meteorológicas, portanto, segue à forma de ocorrência geológica do aquífero no estado de São Paulo.

Próximo às zonas de afloramento, em sua porção livre a pouco confinada, a recarga é o principal fator limitante, e a vazão sustentável é dada pelo balanço entre a recarga e o escoamento de base mínimo para manutenção das funções ecológicas dos rios. Em sua porção confinada, a exploração é restrita pelo armazenamento (HIRATA et al. 2008). Baseando-se neste conceito, os referidos autores

estabeleceram um zoneamento mínimo para o manejo de sua exploração. Regionalmente, esse trabalho sugere três grandes zonas, com distintas características de manejo dos recursos hídricos subterrâneos:

- a) zona de afloramento [ZA];
- b) zona de confinamento próxima à área de afloramento (de 10-50 km do contato entre as rochas do SAG e os basaltos) e/ou onde o aquífero tem até 100m de espessura [ZC];
- c) zona de forte confinamento [ZFC].

Para o presente trabalho, foi adotada esta mesma proposta de zoneamento para o SAG, mas, como objetivo são selecionar zonas para o estudo dos extratos do balanço hídrico, ou seja, os mecanismos que levam à recarga aquífera utilizaram-se da proposta estabelecida por Santos (2009), ou seja, faixas de zoneamento apenas para as zonas de afloramento [ZA] e de confinamento próximo à área de afloramento [ZC], conforme apresentado na Figura 9.

Obedecendo a esses critérios de zoneamento e aos limites municipais, foi traçada uma poligonal para o estabelecimento do ZC. Para o traçado da ZA foram utilizadas as áreas de afloramento já mapeadas, baseado no trabalho de Santos (2009). Todavia, para o presente estudo, a ZA e ZC serão denominados áreas de influência da zona de afloramento do SAG.

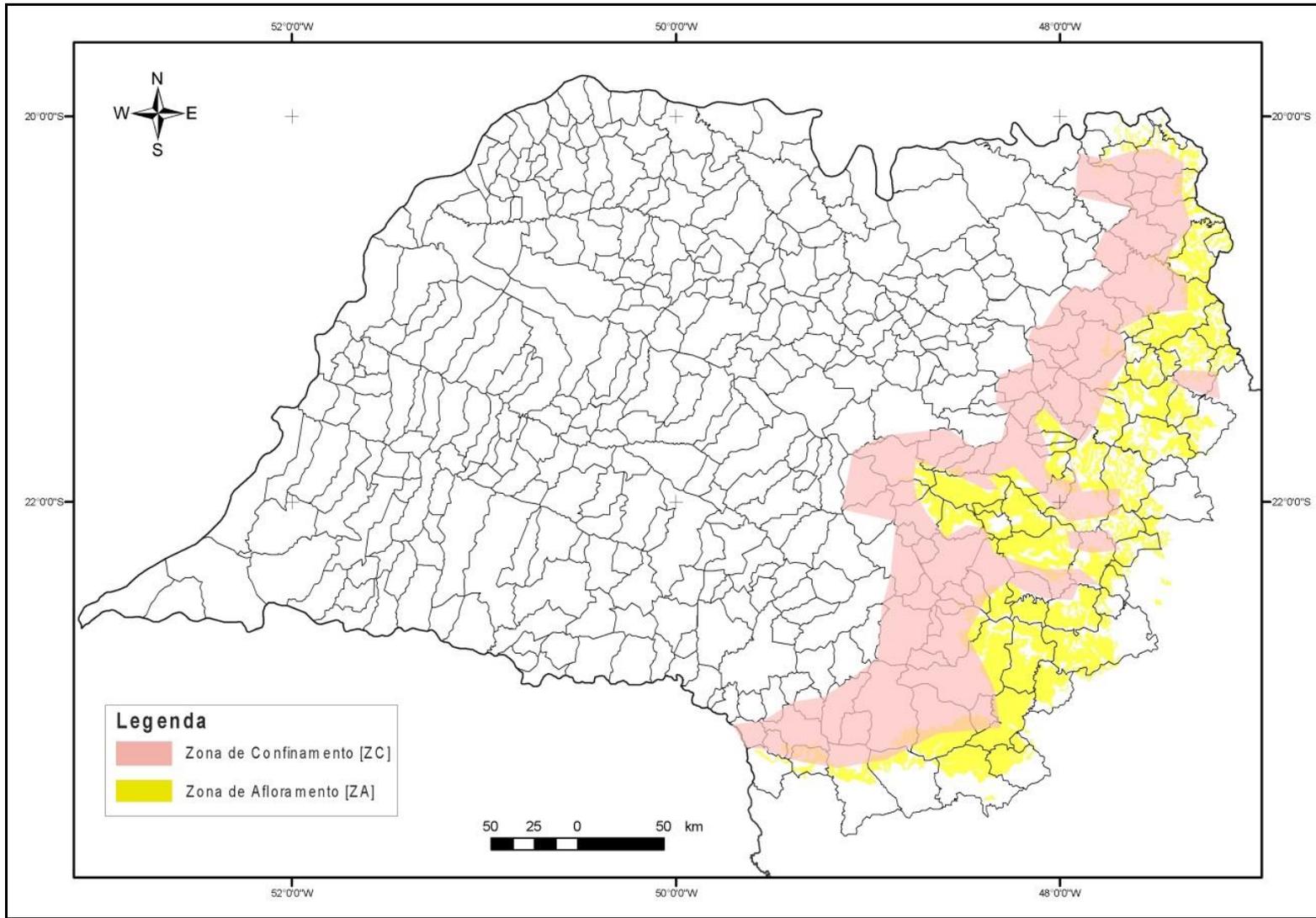


Figura 9. Esquema do mecanismo utilizado para seleção das estações para o estudo.

Todos os municípios que estão dentro da delimitação da área de influência do SAG foram utilizados para guiar o levantamento dos dados meteorológicos. Porém, com a longa extensão da zona de afloramento, foi necessário dividir a região em três partes seguindo a classificação climática predominante de cada área. No entanto, a área de estudo foi dividida em: região norte, região central e região sul.

4.3 LEVANTAMENTO DE DADOS

4.3.1 Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas – CIIAGRO

Ao acessar o site “<http://www.ciiagro.sp.gov.br>”, inicia-se a página inicial do Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas. A Figura 10 apresenta o início do procedimento para acesso ao banco de dados disponível no *ciiagro-online*. Clicando em “RESENHA AGROMETEOROLÓGICA”, do lado esquerdo da página, aparece opções como “O QUE É”.



Figura 10. Página inicial do site do <http://www.ciiagro.sp.gov.br>.

Na guia que aparece com a opção “O QUE É”, também aparece a opção “ANÁLISES ANTERIORES”. Clicando nesta opção, uma nova página (Figura 11)

aparece com informações sobre o banco de dados, tais como, “POR LOCAL”, “POR REGIÃO ADMINISTRATIVA”. Para este estudo, a opção escolhida foi “POR LOCAL”.

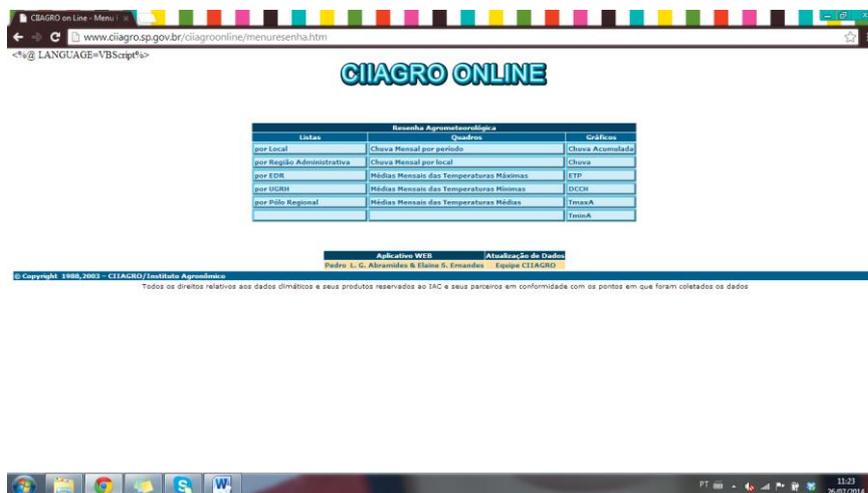


Figura 11. CIAGRO-ONLINE, portal de acesso ao banco de dados.

Acessando então a opção “POR LOCAL”, uma nova página (Figura 12) abre, contendo uma barra que dá acesso a todos os municípios monitorados pelo CIAGRO.

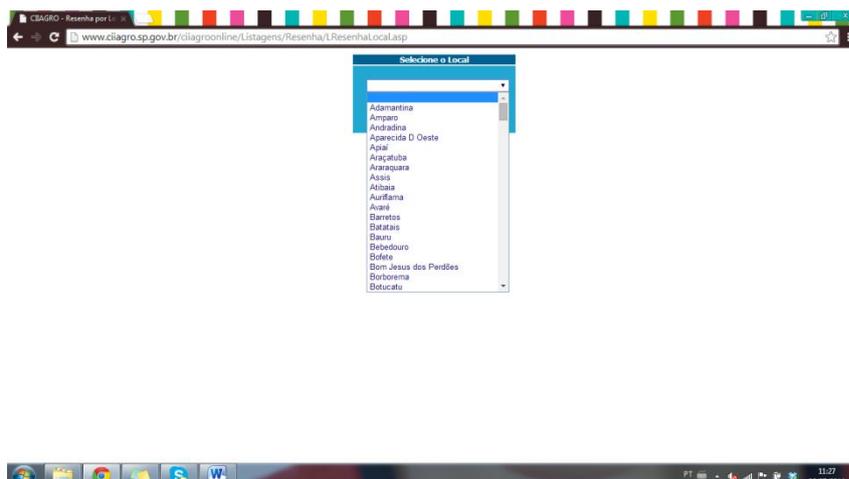


Figura 12. Página que dá acesso aos municípios monitorados pelo CIAGRO.

Após selecionar o município desejado e clicar em “CONSULTAR” outra página (Figura 13) apresenta a série histórica do banco de dados referente a estação do município escolhido, sendo possível selecionar o início e o fim da série.

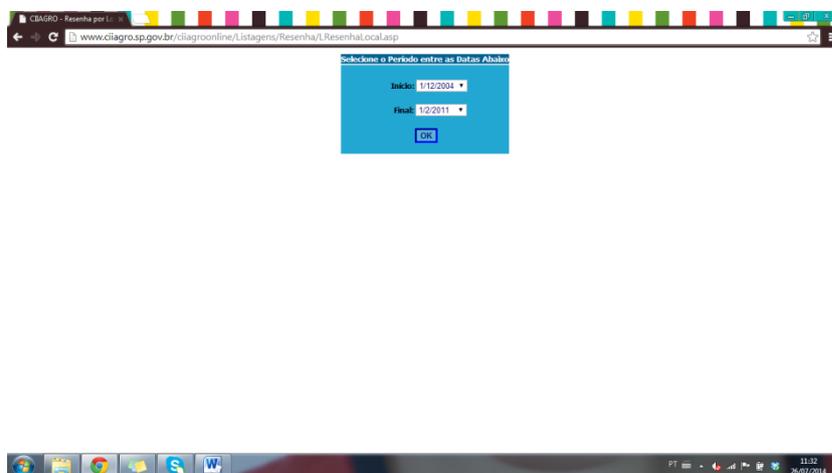


Figura 13. Página que apresenta o início e fim da série histórica do banco de dados da estação do município de Tiete.

Após selecionado o período desejado e clicado em “OK” uma nova página (Figura 14) aparece contendo os dados monitorados pelo CIAGRO. Dados como: temperatura máxima e mínima absoluta, temperatura mínima mensal, temperatura média, evapotranspiração potencial e precipitação.

Período (Mes)	Temperatura (°C)				Precipitação (mm)		DCCB
	Máxima Absoluta	Mínima Absoluta	Mínima Mensal	Média	ETP	Precipitação	
Ano de 2004							
dezembro	33,7	16,1	28,6	17,7	23,2	28	31,6
Ano de 2005							
dezembro	31	16	26,8	20,2	23,5	131	390,8
fevereiro	33	14	28,5	19,3	23,9	114	60,7
março	33,5	14	29,8	19,8	24,8	123	165,1
abril	33	10	28	17,4	22,7	83	21,6
maio	36,7	10	24,8	13,1	18,9	59	101,1
junho	29	10	24,8	13,3	19	52	48
julho	30	9	21,7	12,7	17,2	51	21,9
agosto	32	10	25,2	12,8	19	66	0
setembro	30	10	25,6	12,5	19,1	78	34,2
outubro	32	10	27,5	15,6	21,6	104	306,7
novembro	32	11	28,8	14,5	21,6	109	39,2
dezembro	32	10	29,6	12,7	21,2	114	86,8
Ano de 2006							
dezembro	30	10	31,4	15,7	23,5	131	140
fevereiro	36	13	31,6	16,6	24,1	114	187,7
março	36	13	31,6	16,3	24	113	163,3
abril	30	11	28,6	14,9	21,8	79	54,2
maio	30	9	26,9	11,2	19	66	4
junho	30	9	27,6	10,9	19,2	52	15,6
julho	31	9	26,2	12,7	19,4	57	14
agosto	30	10	28,1	11,4	19,8	69	3,8
setembro	32	9	28,7	12	20,4	83	67,7
outubro	32	10	28,1	13,3	20,7	100	58,7
novembro	34	13	28,9	15	22	111	137,3
dezembro	35	13	28,4	15,5	23,9	135	153
Ano de 2007							
dezembro	31	15	27,8	19,2	23,5	131	231
fevereiro	32	17	29,6	19,5	24,5	122	113,3
março	35	16	30,7	20	26,5	124	88

Figura 14. Banco de dados disponível no site do CIAGRO para a estação do município de Tiete.

Para transportar os dados para o Excel, foi necessário selecionar os dados da página e copiá-los para o programa, neste caso foi utilizado o Excel, e organizá-los da maneira que fique melhor para apresentação no trabalho.

4.4 BALANÇO HÍDRICO

Para a determinação do balanço hídrico nas áreas de afloramento do SAG, no Estado de São Paulo, utilizou o método criado por Thornthwaite e Mather (1955). Esse método permite uma melhor compreensão dos ganhos e perdas constantes no ciclo hidrológico, pois as chuvas influenciam diretamente o volume de infiltração e, por conseguinte, a recarga direta do sistema aquífero. Esse método propiciou o conhecimento dos principais fatores ligados ao balanço hídrico, como a evapotranspirações potencial e relativa, excedentes e deficiências hídricas.

O mapeamento das áreas de afloramento do SAG foi baseado principalmente no trabalho de Santos (2009). Os dados referentes aos volumes de precipitação e médias de temperatura foram obtidos junto a estações meteorológicas pertencentes ao CIAGRO localizadas na área de interesse.

Para o cálculo dos excedentes e deficiências hídricas nas áreas de afloramento do SAG, foi utilizado o software *BHnorm v5* (Figura 15), elaborado pelo departamento de Física e Meteorologia da ESALQ/USP (ROLIM, et al., 1998) com base em planilhas do Microsoft Excel.

Balanço Hídrico Normal por Thornthwaite & Mather (1955)
 Departamento de Física e Meteorologia ESALQ/USP

CIDADE: Jataizinho LATITUDE: -22,00
 ALT (metros): 100 ANO: 1972-1995

Convenções:
 Cálculos em Células

Mês	dia	P (mm)	ETP (mm)	ET (mm)	REG-AC (mm)	ARM (mm)	ALT (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Jan	30	20,00	13,32	10,75	2,30	170,32	1	-23,03	99,801	13,317
Feb	29	15,77	12,99	12,26	2,30	162,01	31	-17,78	97,445	12,993
Mar	31	23,70	12,47	9,85	2,30	150,56	55	-8,67	93,532	12,471
Apr	30	15,00	11,80	9,04	2,30	118,04	90	3,19	88,556	11,805
Mai	31	18,20	10,20	7,63	2,30	61,97	150	14,53	83,265	11,195
Jun	30	14,00	8,75	6,81	2,30	46,36	171	21,9	80,653	10,754
Jul	31	11,83	7,20	5,88	2,30	47,22	181	23,18	80,036	10,671
Ago	31	10,80	6,30	7,40	2,30	58,15	212	8,17	82,38	10,304
Set	30	10,80	5,88	8,04	2,30	69,11	243	8,105	86,762	10,58
Out	31	10,84	5,21	9,35	2,30	89,69	273	-3,918	91,545	12,208
Nov	30	10,81	5,03	9,85	2,30	103,42	304	-5,06	96,279	12,832
Dez	31	18,94	13,25	9,88	2,30	130,82	334	-21,97	99,38	13,251

RESULTADOS

Mês	dia	P (mm)	ETP (mm)	ET (mm)	REG-AC (mm)	ARM (mm)	ALT (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
1972-1995										

Figura 15. Software BHnorm v5 em planilha do Microsoft Excel.

Para encontrar os excedentes e as deficiências hídricas baseado no método de Thornthwaite e Mather (1995) deve-se inserir na planilha a temperatura do ar, média mensal, a soma diária de precipitação de cada mês e a latitude da área estudada.

A Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos – COGERH (2009), explica que a fórmula de Thornthwaite, considerando a temperatura média mensal, gera na evapotranspiração potencial mensal (ETP), em mm, através da equação (4):

$$ETP = 16K \left(\frac{10T}{I} \right)^a \quad 4)$$

Em que:

K: fator de correção dependente da latitude;

T: temperatura média mensal em °C;

I: índice térmico anual em mm;

a: constante dependente do local.

O somatório dos índices térmicos mensais, calculados pela planilha de Rollim et. al. (1998), resulta no índice térmico anual, equação (5) e (6).

$$I = \sum_{i=1}^{12} I_i \quad 5)$$

$$I_i = (0,2 \cdot T)^{1,514} \quad 6)$$

onde:

I_i : índice térmico que varia de 1 a 12 (janeiro e dezembro).

Santos (2002), explica o funcionamento da planilha utilizada, através das expressões de (7) a (12).

A P-ETP calculada pela planilha consiste na diferença entre o total da precipitação mensal (P) e a evapotranspiração potencial. Se P-ETP for negativo, é possível determinar a negativa acumulada (NEG-AC) por:

$$NEG - AC = NEG - AC_{-1} + (P - ETP) \quad 7)$$

sendo que:

NEG-AC₋₁: negativa acumulada do mês anterior.

O armazenamento de água no solo (ARM) é:

$$ARM = CAD \cdot e^{\left(\frac{NEG-AC}{CAD}\right)} \quad 8)$$

onde:

CAD: capacidade de água disponível de 100 mm. Essa quantidade, segundo Klering et al. (2004) é suficiente para atender a demanda de evapotranspiração da maioria das culturas durante o período de um mês.

A alteração da umidade do solo (ALT) é dada por:

$$ALT = ARM_i - ARM_{i-1} \quad 9)$$

em que:

ARM_i: ARM do mês atual;

ARM_{i-1}: ARM do mês anterior.

A evapotranspiração real (ETR) segue a seguinte relação:

$$\text{Se } (P - ETP) \geq 0, \text{ então } ETR = ETP \quad 10)$$

$$\text{Se } (P - ETP) < 0, \quad \text{então } ETR = P - ALT \quad 11)$$

Quando $P - ETP$ for maior que 0 e $ARM = CAD$, o excedente hídrico (EXC) é:

$$EXC = (P - ETP) - ALT \quad 12)$$

O déficit hídrico (DEF) é a diferença entre evapotranspiração potencial e evapotranspiração real.

5 RESULTADOS

5.1 SELEÇÃO DAS ESTAÇÕES UTILIZADAS

Para conduzir o levantamento de dados meteorológicos, de acordo com a metodologia proposta, foram previamente selecionados municípios que possuem área territorial inserida, total ou parcialmente, ou ainda próxima, a área de influência do SAG no estado de São Paulo, assim como mostra a Figura 16, pois é nessa zona que o SAG recebe recarga direta por precipitação, já que o restante de sua extensão no estado está sobre condição de confinamento hidráulico, como salientado no capítulo 3.

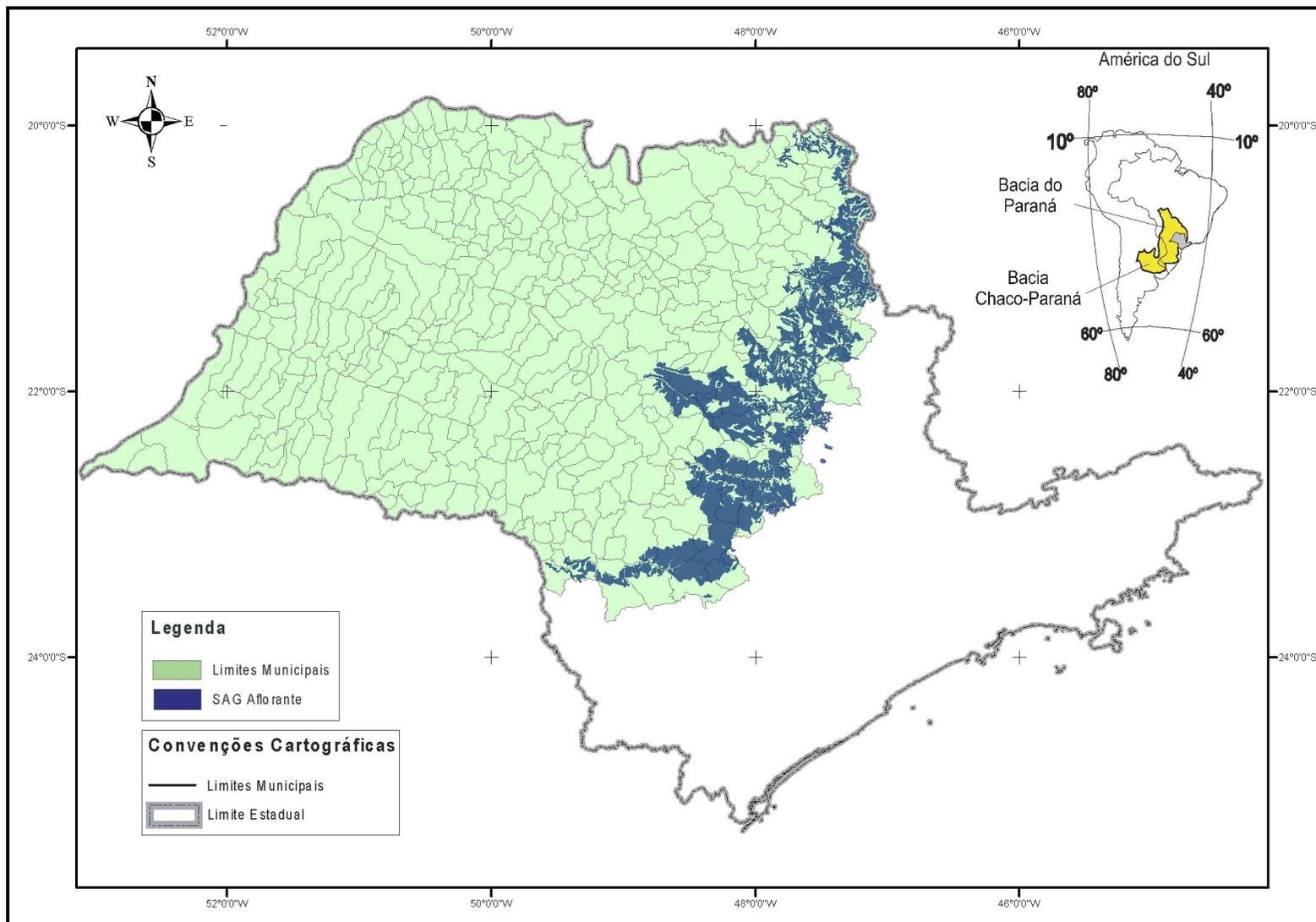


Figura 16. Mapa do estado de São Paulo com a seleção prévia dos municípios.
Fonte: Santos (2009)

Os municípios previamente selecionados com o auxílio do mapa da Figura 16 para o estudo estão listados na Tabela 2.

Tabela 2. Lista dos municípios localizados sobre a zona de afloramento do SAG e os que circundam a região.

MUNICÍPIOS SELECIONADOS			
Águas de São Pedro	Condeirópolis	Jeriquara	Rincão
Altinópolis	Coronel Macedo	Jumirim	Rio Claro
Américo Brasiliense	Corumbataí	Laranja Paulista	Rio das Pedras
Analândia	Cravinhos	Leme	Saltinho
Angatuba	Cristais Paulista	Limeira	Santa Cruz da Conceição
Anhembi	Descalvado	Luis Antônio	Santa Cruz da Esperança
Aramina	Dois Corregos	Macatuba	Santa Cruz das Palmeiras
Arandu	Dourado	Manduri	Santa Gertrudes
Araraquara	Dumont	Mineiros do Tiete	Santa Lúcia
Araras	Fartura	Mococa	Santa Maria da Serra
Arealva	Franca	Nova Europa	Santa Rita do Passa Quatro
Arieópolis	Gavião Peixoto	Nuporanga	Santa Rosa do Viterbo
Avaré	Guará	Óleo	São Pedro
Barão de Antonina	Guareí	Paranapanema	São Simão
Bariri	Guatapara	Pardinho	Sarutaia
Barra Bonita	Ibaté	Patrocínio Paulista	Serra Azul
Batatais	Ibitinga	Pederneiras	Serrana
Bernardino de Campos	Igaraçu do Tiete	Pedregulho	Tabatinga
Boa Esperança do Sul	Igarapava	Pereiras	Taguaí
Bocaína	Ipeúna	Piracicaba	Tambaú
Bofete	Iracemópolis	Pirajú	Taquarituba
Boracéia	Itaí	Pirassununga	Tatui
Botucatu	Itaju	Porangaba	Tejupá
Brodowski	Itapetininga	Porto Ferreira	Tiete
Brotas	Mombuca	Pradópolis	Timbui
Buritizal	Itaporanga	Pratânia	Torre de Pedra
Cajuru	Itapuí	Quadra	Torrinha
Campina do Monte Alegre	Itatinga	Restinga	Trabiju
Cerqueira Cesar	Itirapina	Ribeirão Bonito	Santo Antônio da Alegria
Cassia dos Coqueiros	Itirapuã	Motuca	São Carlos
Cesário Lange	Ituverava	Ribeirão Corrente	São José da Bela Vista
Charqueada	Jardinópolis	Ribeirão Preto	São Manuel
Conchas	Jaú	Rifaina	

Fonte: Autoria própria (2014)

Dessa forma, foram previamente selecionados 131 municípios localizados geograficamente sobre a área de influência do afloramento do SAG no estado de São Paulo. Porém, ao confrontar essas localidades com os dados meteorológicos disponíveis, não foram encontrados dados suficientes para o cálculo do balanço hídrico regional para todos os municípios previamente selecionados.

Para tanto, utilizando-se da base de dados do CIIAGRO, a pesquisa realizada para o presente estudo, levantou dados históricos meteorológicos, incluídos dados recentes, para 20 municípios dos 131 municípios previamente selecionados. No estudo de Sentelhas et. al. (2003), foram levantados dados meteorológicos de 500 municípios distribuídos pelo território brasileiro, dos quais, 66 também constam na seleção prévia deste trabalho.

Visando atender a comparação temporal do balanço hídrico na zona de afloramento do SAG com os resultados obtidos por Sentelhas et. al. (2003), foram selecionados os municípios que possuem dados de ambos os períodos e que representam a extensão do afloramento do SAG como um todo. Portanto, foram definidos 9 municípios para representar a área de interesse. Ao comparar dois trabalhos, com períodos diferentes e com intervalo de tempo de 12 anos entre eles, é possível observar/avaliar a evolução do cenário considerando os pontos positivos, aqueles que melhoraram, e os pontos negativos, aqueles que regrediram.

Dessa forma, para melhor avaliação do balanço hídrico na área de afloramento do SAG no estado de São Paulo, os estudos foram conduzidos de maneira regionalizada, dividido em 3 diferentes regiões geográficas: Norte, Central e Sul. Assim, para cada região citada, foram selecionadas as estações meteorológicas dos seguintes municípios:

- Região Norte - Franca, Ribeirão Preto e Mocóca;
- Região Central - Araraquara, Limeira e São Carlos;
- Região Sul - Manduri, Tietê e Itapetininga.

5.2 CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DA ZONA DE AFLORAMENTO DO SAG DE ACORDO COM W. KÖPPEN

De acordo com o SCC de W. Köppen, a região norte no afloramento do SAG tem predominância de clima “Cwa”: temperado (com algumas áreas tropicais) com fortes chuvas de verão. Embora o verão nessa região seja úmido, a temperatura média dos meses mais quentes é, aproximadamente, 22°C. Já o inverno é seco, com precipitações médias inferiores a 30 mm no mês mais seco com temperaturas médias em torno de 18°C nos meses mais frios. Na Figura 17 é possível ver o período de verão úmido e o inverno seco com maior definição.

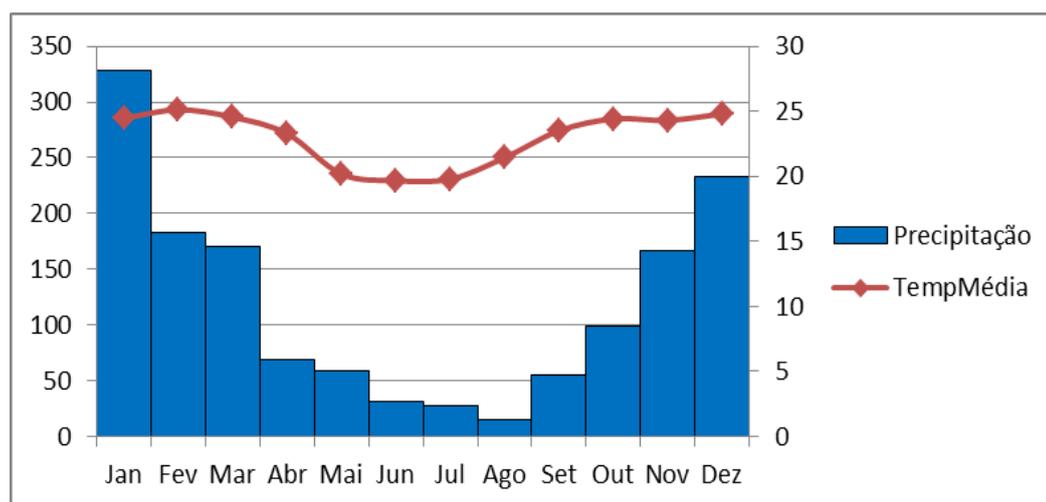


Figura 17. Clima Cwa da estação meteorológica do município de Ribeirão Preto - SP entre 2003 e 2013.

No climograma apresentado na Figura 17 é possível ver que o verão é característico nos meses de novembro a março, já o inverno seco é perceptível entre os meses de junho e agosto. A média da precipitação total anual, entre os anos de 2003 e 2013, chega a 1436 mm com a média máxima em janeiro de 328,6 mm e média mínima em agosto com 15 mm. Porém a temperatura média máxima é no mês de fevereiro com 25,1°C e a média mínima no mês de junho com 19,7°C.

A região central no afloramento do SAG tem sua classificação “Aw”: clima temperado (com algumas áreas tropicais) com chuvas de verão. O verão, nessa

região, é úmido, porém, a temperatura média dos meses mais quentes é 22°C. Já o inverno é seco, com precipitações características com médias inferiores a 30 mm no mês mais seco com temperaturas médias que chegam a ser mais baixa que 18°C nos meses mais frios. Na Figura 18 é possível ver o período de verão úmido e o inverno seco.

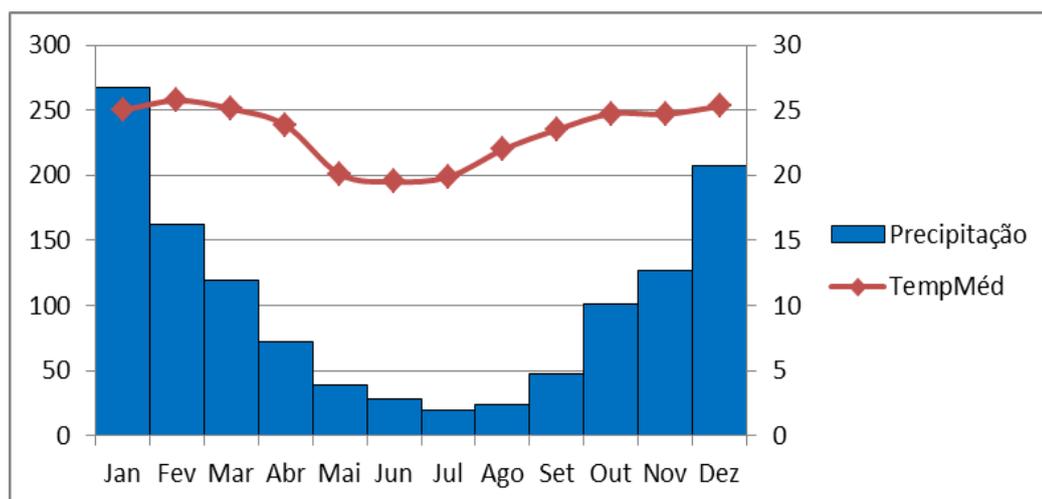


Figura 18. Clima Aw da estação meteorológica do município de Araraquara - SP entre 2004 e 2012.

O climograma apresentado na Figura 18 mostra que o verão quente situa-se historicamente entre os meses de novembro e março, já o inverno seco é detectado nos meses de junho a agosto do período analisado. Entre os anos de 2004 e 2012 a média da precipitação total anual, da estação meteorológica de Araraquara, chega a 1212 mm com a média máxima em janeiro de 267,6 mm e média mínima em junho com 20 mm. Contudo, a temperatura média tem amplitude que varia de 25,7°C, no mês de fevereiro, até 19,5°C, no mês de junho.

Já a região sul no afloramento do SAG tem seu clima definido como “Cfa”: temperado e úmido. O verão úmido tem temperatura média dos meses mais quentes variando em torno de 22°C, já o inverno é bem definido com temperaturas baixas. As precipitações médias superiores a 30 mm nos meses mais secos determina a ausência de estação seca. O mês mais frio, nessa região, possui temperaturas médias que variam entre 3 e 18°C. A Figura 19 mostra que não há período de seca e que é um clima úmido.

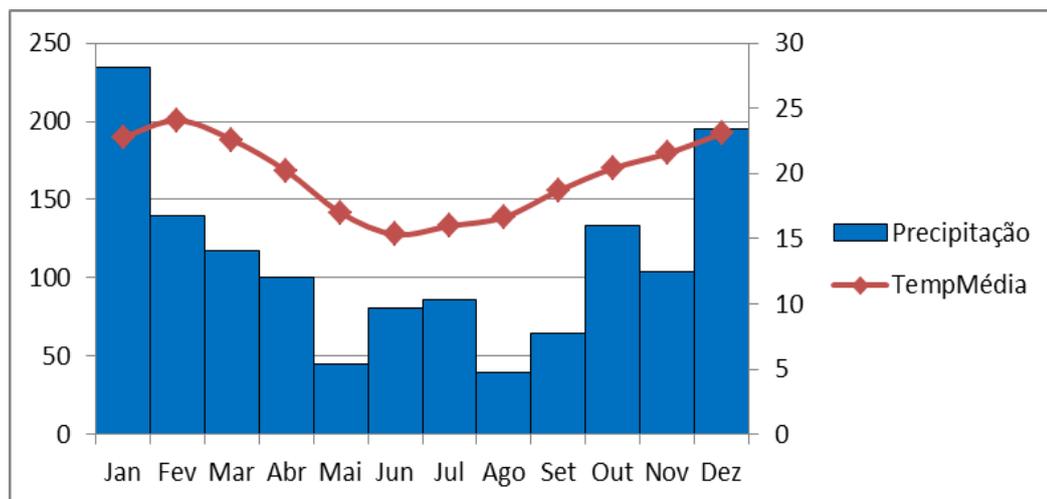


Figura 19. Clima Cfa da estação meteorológica do município de Itapetininga - SP entre 2008 e 2013.

A Figura 19 apresenta o climograma da estação meteorológica de Itapetininga que mostra a ocorrência de temperaturas médias mais altas entre os meses de outubro e fevereiro, e as temperaturas médias mais baixas são detectadas nos meses de junho a agosto. Entre os anos de 2008 e 2013, a média da precipitação total anual chega a 1339,5 mm com a média máxima em janeiro de 234,8 mm e média mínima em agosto com 39,5 mm. Embora seja clima úmido, a temperatura média mínima chega a 15,3°C no mês de junho, o que caracteriza bastante o inverno.

5.3 EXTRATO DO BALANÇO HÍDRICO MENSAL DA ZONA DE AFLORAMENTO DO SAG NO ESTADO DE SÃO PAULO

As estações selecionadas para a construção do extrato do balanço hídrico possuem períodos de levantamento histórico de dados meteorológicos diferentes, porém, todos os dados estão inseridos no intervalo histórico que compreende de 2002 a 2013. Dessa forma, os extratos do balanço hídrico médio mensal calculado para este trabalho, através dos dados obtidos pelas estações meteorológicas selecionadas e monitoradas pelo CIIAGRO são apresentados a seguir, evidenciando: excedente; déficit; retirada e reposição hídrica para a zona de afloramento do SAG no estado de São Paulo.

Cabe ressaltar, assim como apresentado através de equações no capítulo 4, segundo Amorim-Neto (1989), que o excedente hídrico ocorre quando a precipitação é maior que a evapotranspiração potencial, enquanto que o déficit hídrico é dado pela diferença entre a evapotranspiração real e a potencial.

De toda a água que inicia o deslocamento vertical em subsuperfície por infiltração, parte fica retida entre as partículas sólidas do material inconsolidado do solo ou sedimento, estando, dessa forma, disponível para vegetação, todo esse processo é identificado como a retirada hídrica do sistema. A água que sobra (excedente), ou seja, o que não é retido durante o processo de infiltração continua o seu caminho vertical até a zona saturada do solo, recarregando assim os sistemas aquíferos (SPERLIN, 2005; HELLER & PÁDUA, 2006).

5.3.1 Extrato do balanço hídrico na região norte do afloramento SAG

As Figuras de 20 a 22 mostram o extrato do balanço hídrico médio mensal das estações meteorológicas da região norte da área de estudo.

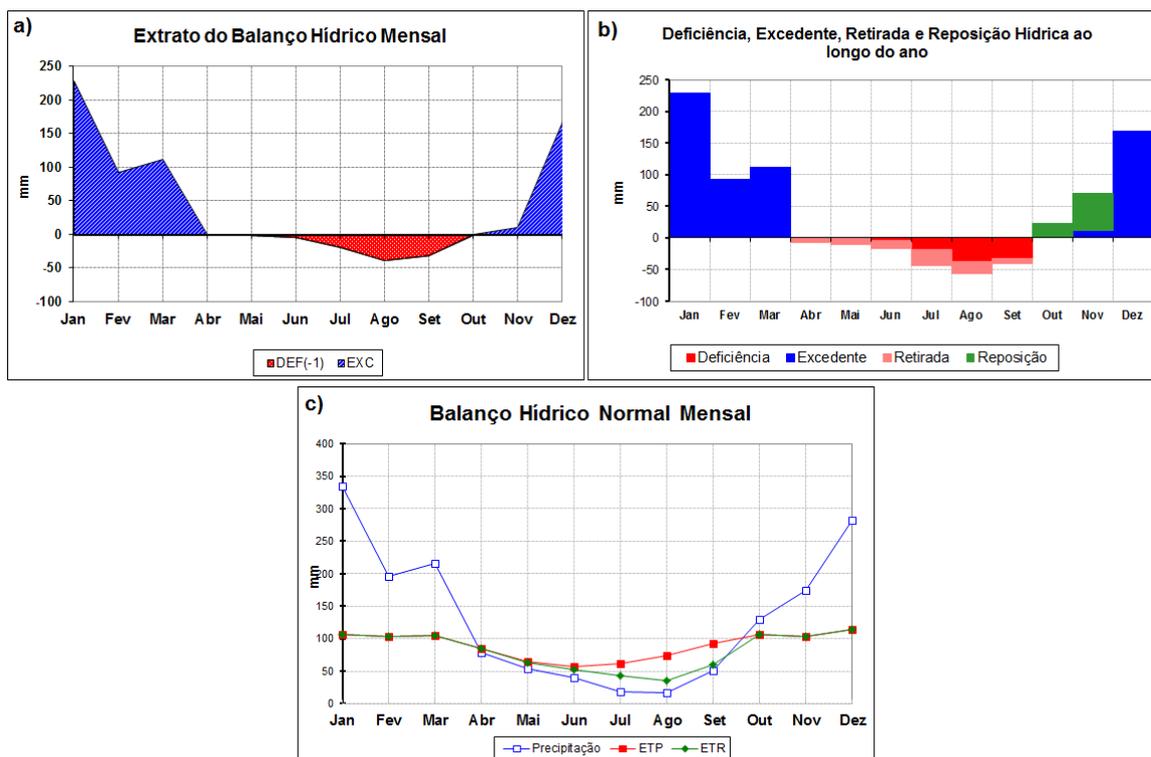


Figura 20. Gráficos apresentando o a) extrato do balanço hídrico médio mensal b) média mensal do déficit, retirada, reposição e excedente e c) distribuição da precipitação, ETP e ETR da estação meteorológica de Franca - SP com dados obtidos pelo CIIAGRO entre 2007 e 2013.

A Figura 20 mostra o balanço hídrico na estação meteorológica do município de Franca entre 2007 e 2013. Observando os gráficos da Figura 20 é possível ver que a deficiência hídrica perdura por 4 meses consecutivos para a média histórica, apresentando um maior déficit no mês de agosto com médias de 37,5 mm seguido por médias de 31,9 mm no mês de outubro. Porém a retirada do sistema é detectada ao longo de 6 meses que se estende de abril a setembro com a maior média de retirada em julho com 25 mm.

As reposições hídricas acontecem sempre após um período de retirada, logo, as precipitações médias ocorridas no mês de outubro constituem a fração reposição assim como 84,6% da precipitação média do mês de novembro. Os meses de janeiro e dezembro apresentam as maiores médias de excedente com 229 mm e 168,6 mm respectivamente. Este excedente representa parcialmente a água que infiltrou e continuou seu caminho até a zona saturada do solo recarregando, então, os sistemas aquíferos.

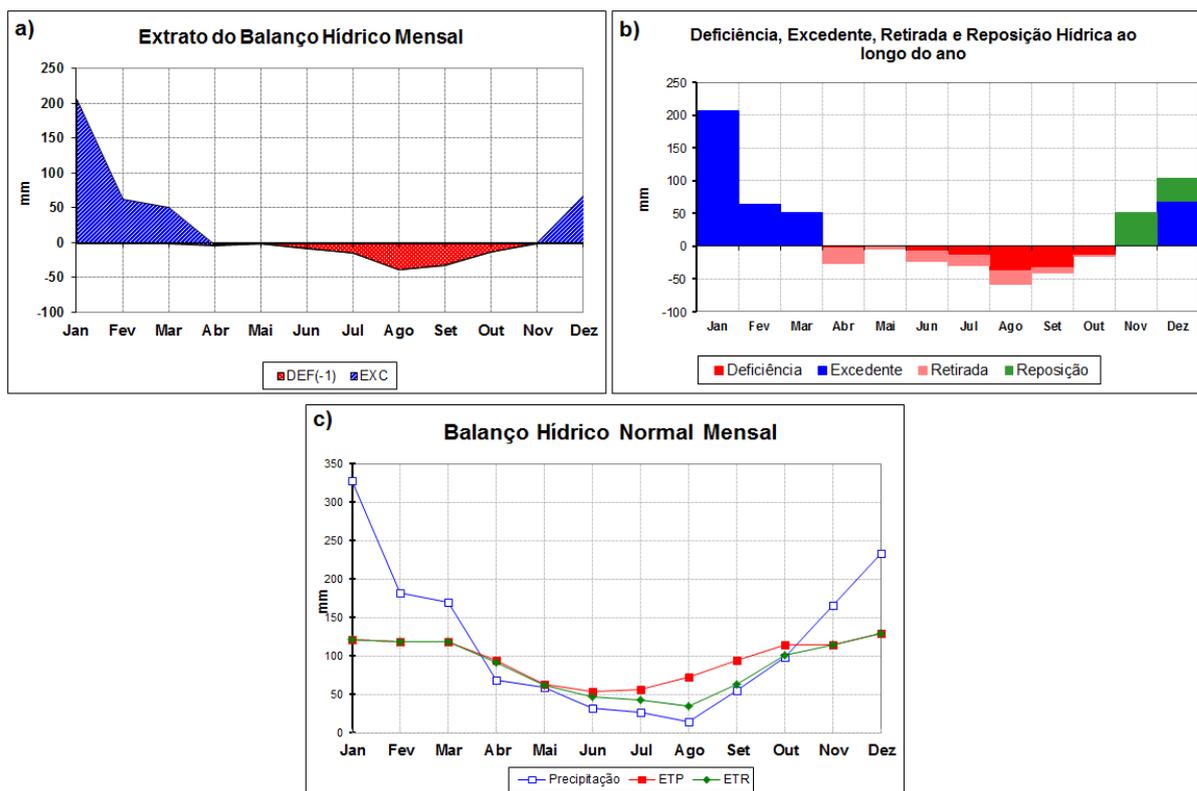


Figura 21. Gráficos apresentando o a) extrato do balanço hídrico médio mensal b) média mensal do déficit, retirada, reposição e excedente e c) distribuição da precipitação, ETP e ETR da estação meteorológica de Ribeirão Preto - SP com dados obtidos pelo CIIAGRO entre 2003 e 2013.

O extrato do balanço hídrico da estação meteorológica do município de Ribeirão Preto, mostrado na Figura 21, foi construído com base em dados obtidos entre 2003 e 2013. Por conseguinte, é observado que a deficiência hídrica média para o período amostrado está presente em 7 meses (de abril a outubro), com média mínima de 0,95 mm em maio e a média máxima, em agosto com 38,2 mm. Em conjunto com a deficiência hídrica a retirada também é constante nos mesmos 7 meses, porém a média máxima de retirada é observada no mês de abril com 22,8 mm, que é, também, o início do período de estiagem.

Após o 7º mês (outubro) com deficiência e retiradas, em novembro, começa a ter volumes médios de chuvas expressivos e, então, inicia-se a reposição com a totalidade da precipitação média e no mês de dezembro a reposição média é de 34,3 mm representando 33,1% da precipitação média dos meses de dezembro. O balanço hídrico da Figura 19 apresenta um excedente médio bem expressivo no mês de janeiro com 207 mm, enquanto que a média dos outros meses com excedente não ultrapassam 61,2 mm.

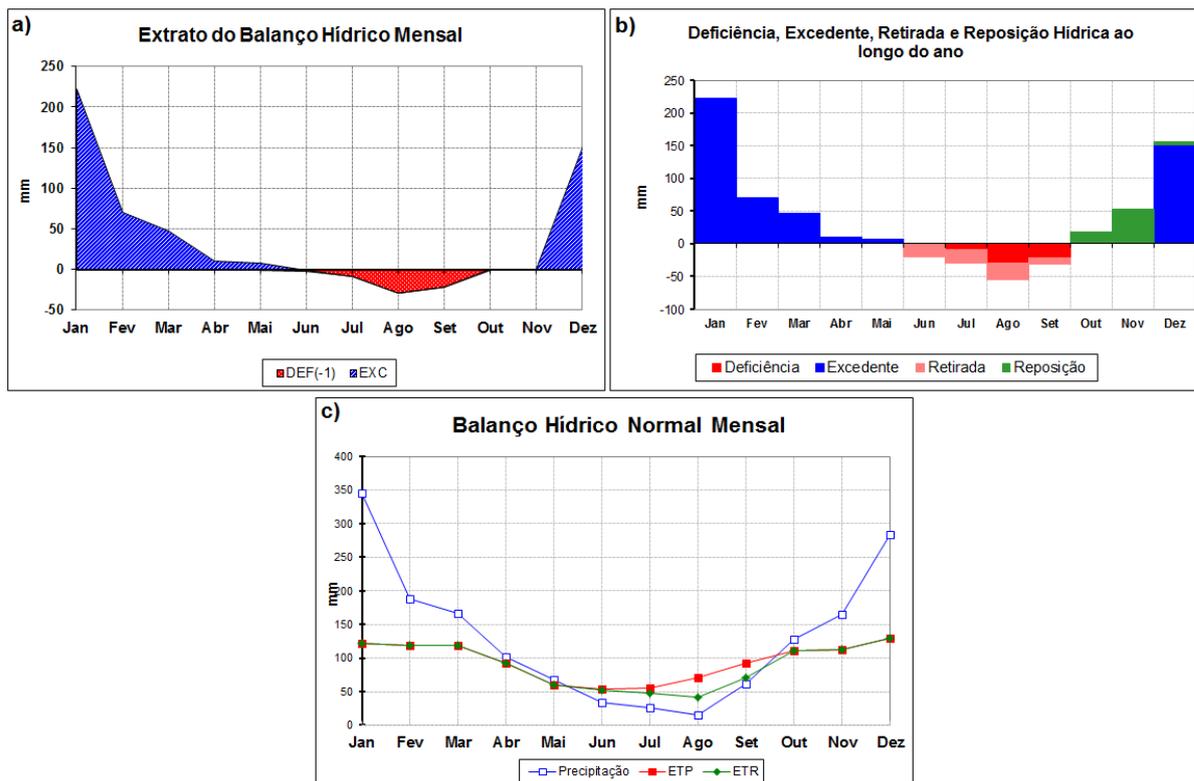


Figura 22. Gráficos apresentando o a) extrato do balanço hídrico médio mensal b) média mensal do déficit, retirada, reposição e excedente e c) distribuição da precipitação, ETP e ETR da estação meteorológica de Mocóca - SP com dados obtidos pelo CIIAGRO entre 2003 e 2013.

A partir da análise do extrato do balanço hídrico para a estação meteorológica de Mocóca (Figura 22), foi possível constatar divergência nos resultados para o período histórico analisado entre 2003 e 2013, ou seja, enquanto que nos balanços hídricos anteriores o período de estiagem estendia-se por 6 a 7 meses da média histórica, a estação de Mocóca apresenta um déficit hídrico somente de 4 meses (junho a setembro), com valor médio máximo de 29,1 mm no mês de agosto. A retirada média acompanha o déficit médio pelos 4 meses com média máxima, também, no mês de agosto com 25,8mm.

Este acúmulo de retiradas durante os 4 meses seguidos da média histórica, faz com que toda a precipitação média dos meses de outubro e novembro sejam constituintes da reposição, como também 2,2% da precipitação média do mês de dezembro. Ao observar a Figura 22, é visto que o excesso hídrico estende-se por 6 meses, de janeiro a maio e depois volta a aparecer em dezembro. Porém é notório que os meses mais chuvosos são janeiro e dezembro, o excedente nesses dois

meses ultrapassam médias de 150 mm, nos meses de dezembro, chegando até médias de 223 mm nos meses de janeiro.

5.3.2 Extrato do balanço hídrico na região central do afloramento SAG

Os extratos do balanço hídrico médio mensal da região central da zona de afloramento do SAG estão apresentados nas Figuras de 23 a 25.

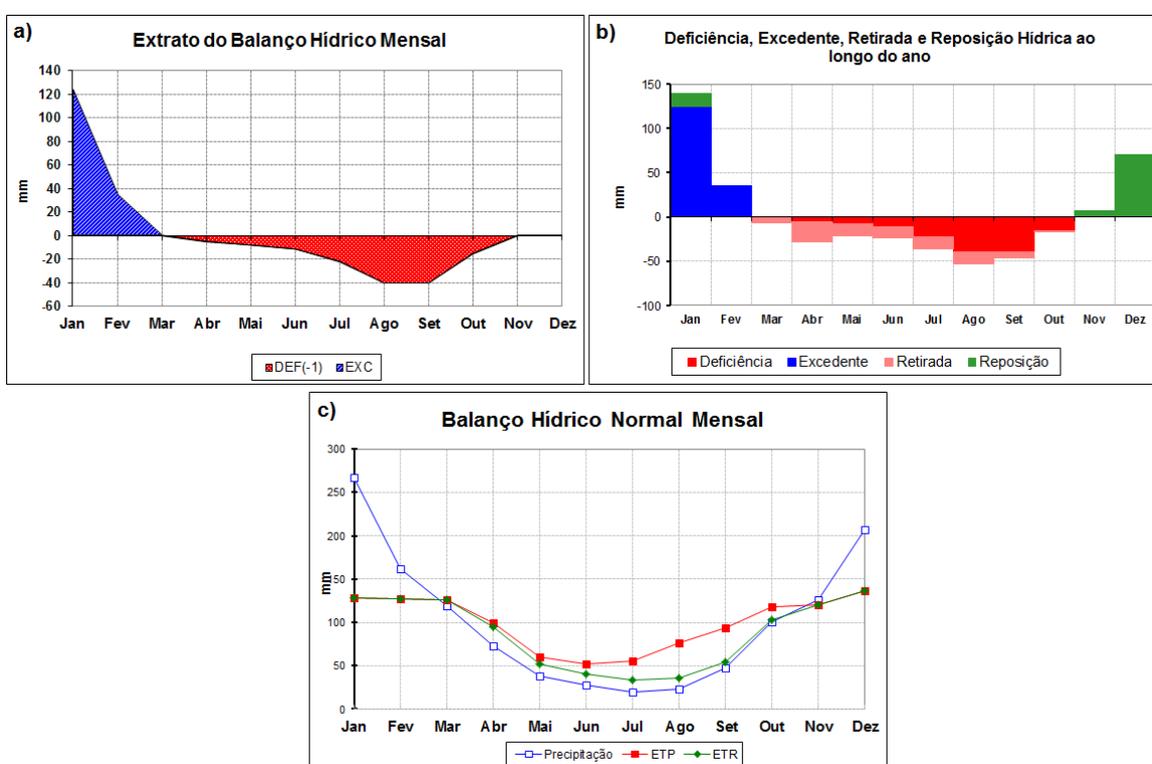


Figura 23. Gráficos apresentando o a) extrato do balanço hídrico médio mensal b) média mensal do déficit, retirada, reposição e excedente e c) distribuição da precipitação, ETP e ETR da estação meteorológica de Araraquara - SP com dados obtidos pelo CIIAGRO entre 2004 e 2012.

Na Figura 23 apresenta o extrato do balanço hídrico da estação meteorológica de Araraquara referente ao período de 2004 a 2012. A deficiência hídrica média analisado para essa estação está presente em 8 meses (março a outubro) da série histórica, iniciando em março com 0,25 mm e finalizando em outubro com 15,5 mm. Porém a média máxima de deficiência encontra-se entre os meses de agosto e setembro com aproximadamente 40 mm. A retirada acompanha, também, os meses de março a outubro, com média máxima de 22,49 mm no mês de abril.

Com a expressiva presença do déficit hídrico acompanhada de uma retirada bastante constante, a reposição utiliza toda a precipitação dos meses de novembro e dezembro e uma parte do mês de janeiro para repor o que foi demandado. Nos meses de novembro e dezembro, toda a precipitação média foi computada como reposição, necessitando ainda de 10% da precipitação média do mês janeiro para completar a demanda no período de estiagem. Ainda segundo a Figura 23, é possível observar que o excedente hídrico aparece somente nos meses de janeiro e fevereiro chegando a médias históricas de até 125 mm de excedente.

A estação meteorológica do município de Limeira apresenta um extrato de balanço hídrico (Figura 24) do período de 2003 a 2013 mostrando uma extensão de 7 meses (abril a outubro) com déficit hídrico, porém, nos meses de abril, maio e junho as médias se mantêm abaixo de 1 mm. Já nos meses de julho a outubro, o déficit apresenta médias que chegam até 28,2 mm (em setembro). A retirada média, por sua vez, está presente em todos os 7 meses que apresenta a deficiência média. Embora de março a julho o aumento da retirada média é discreto, no mês de agosto, apresentam médias que chegam a 27,39 mm.

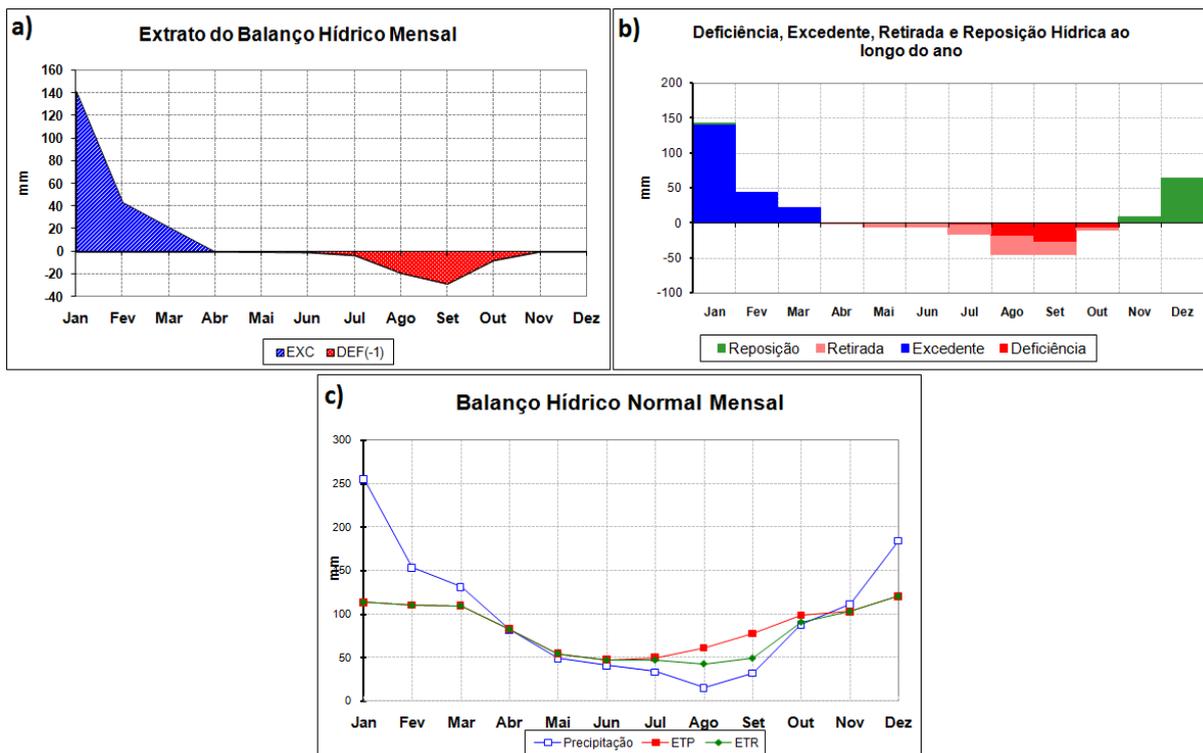


Figura 24. Gráficos apresentando o a) extrato do balanço hídrico médio mensal b) média mensal do déficit, retirada, reposição e excedente e c) distribuição da precipitação, ETP e ETR da estação meteorológica de Limeira - SP com dados obtidos pelo CIIAGRO entre 2003 e 2013.

Na Figura 24, também, é possível observar que toda a precipitação média dos meses de novembro e dezembro é contabilizada para a reposição, totalizando 72,48 mm, isso conduz para que seja necessária uma pequena parcela para reposição total. Portanto, 0,77 mm, em média, são requeridos das precipitações médias ocorridas em janeiro. O mês de janeiro também é o mais chuvoso acumulando um excedente hídrico médio de 141,5 mm.

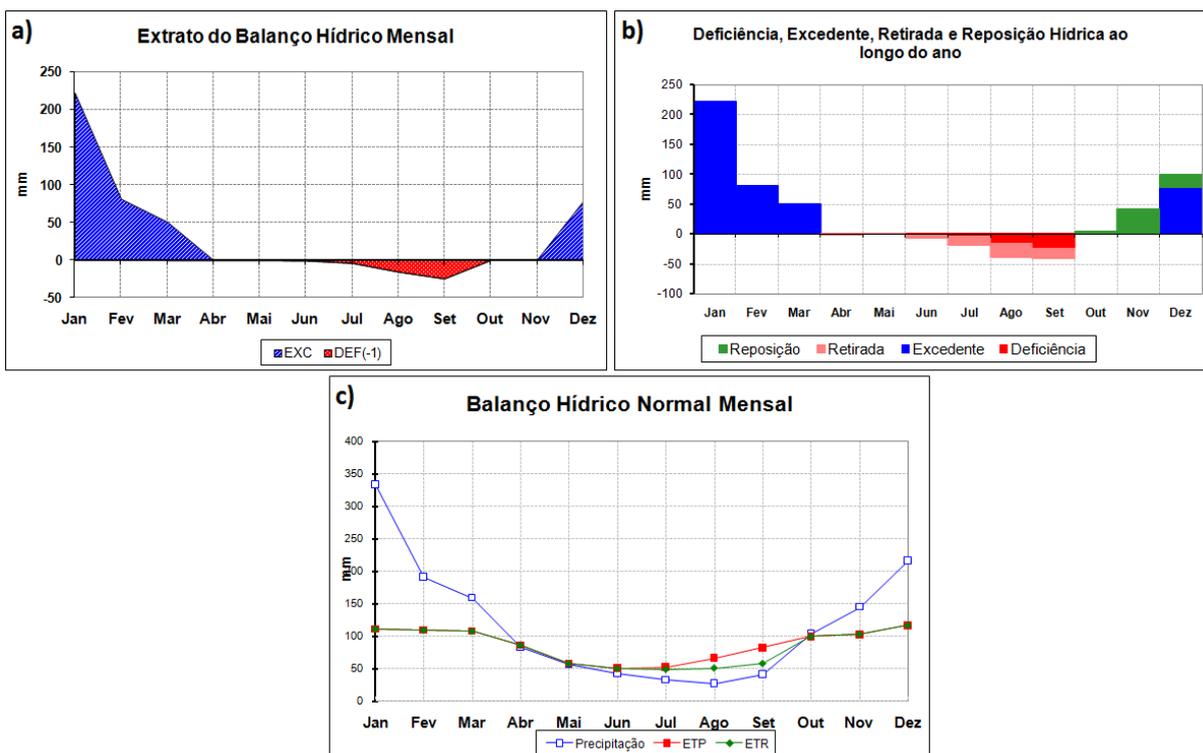


Figura 25. Gráficos apresentando o a) extrato do balanço hídrico médio mensal b) média mensal do déficit, retirada, reposição e excedente e c) distribuição da precipitação, ETP e ETR da estação meteorológica de São Carlos - SP com dados obtidos pelo CIIAGRO entre 2003 e 2013.

O extrato médio mensal do balanço hídrico da estação meteorológica de São Carlos representa o período histórico de levantamentos entre 2003 e 2013. A deficiência hídrica apresentada nos gráficos da Figura 25 mantém-se presente, mesmo que em valores pequenos, por 6 meses, de abril a setembro. A média máxima é de 24,68 mm no mês de setembro, o último mês que mostra deficiência. A retirada está, também, presente nos 6 meses já mencionados, porém a média máxima está no mês de agosto com 23,86 mm.

O período de reposição apresentado na Figura 25 estende-se por 3 meses, utilizando toda a precipitação média dos meses de outubro e novembro e ainda necessitou de mais 21,66% da precipitação média ocorrida no mês de dezembro. Neste extrato ocorre uma exceção, o mês dezembro tem 78,33% do total de sua precipitação média contabilizada como excedente hídrico, assim como a precipitação total dos meses de janeiro, fevereiro e março com médias máximas de 222 mm em janeiro.

5.3.3 Extrato do balanço hídrico na região sul do afloramento SAG

As estações meteorológicas dos municípios da região sul do afloramento do SAG estão apresentados nas Figuras de 26 a 28.

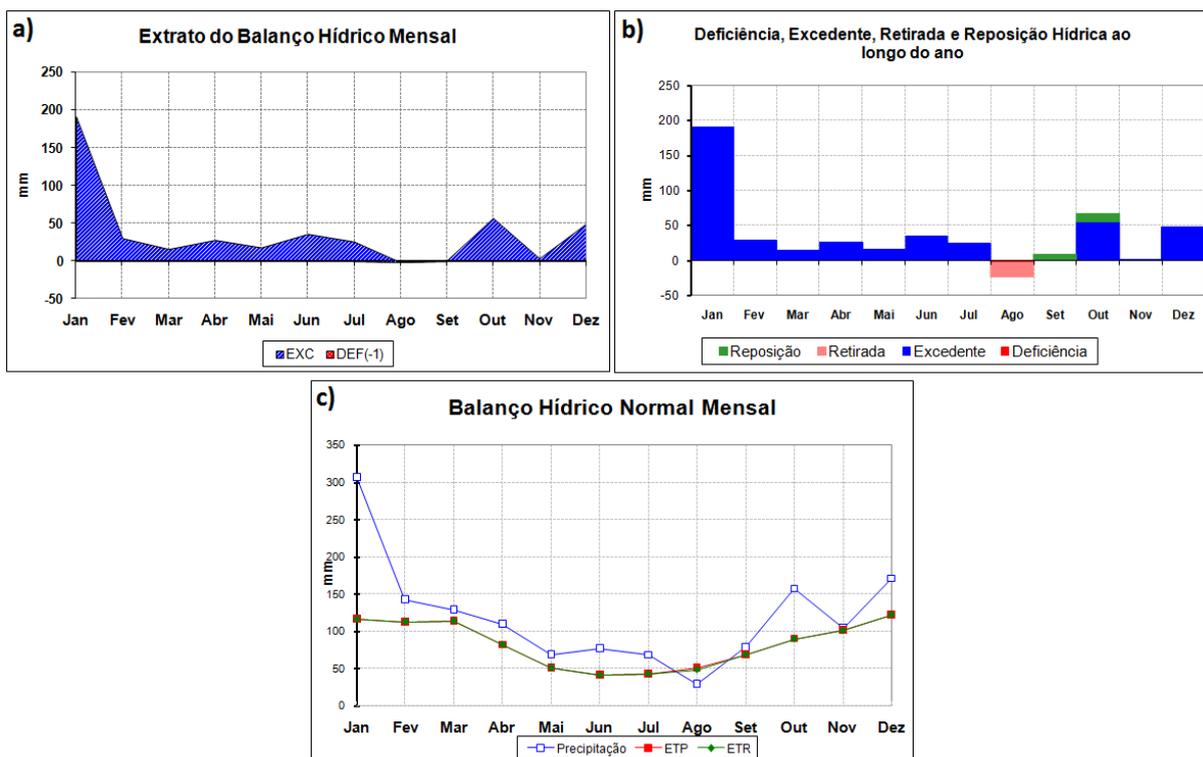


Figura 26. Gráficos apresentando o a) extrato do balanço hídrico médio mensal b) média mensal do déficit, retirada, reposição e excedente e c) distribuição da precipitação, ETP e ETR da estação meteorológica de Manduri - SP com dados obtidos pelo CIIAGRO entre 2003 e 2013.

O balanço hídrico da estação meteorológica de Manduri (Figura 26) construída em base nos dados de 2003 a 2013, mostra que houve uma deficiência hídrica bem discreta, de 2,41 mm, somente no mês de agosto do período analisado. Ainda no mês de agosto, há uma retirada bem marcante de 20,4 mm, isso ocorreu devido aos baixos índices de precipitação neste mês e, também, pelos índices elevados de evapotranspiração.

Para a ocorrência da reposição hídrica, neste caso, foi necessária toda a precipitação média ocorrida no mês de setembro, mês seguinte à retirada, e uma parcela de 16,2% da precipitação média do mês de outubro. Já o excedente hídrico

é constatado no extrato do balanço hídrico desta estação de Manduri durante 10 meses, que inicia no mês de outubro até julho. Com exceção dos meses de janeiro, mês com maior média de excedente (191,1 mm), e novembro, mês com menor média (2,8 mm), a média dos outros 8 meses estão em torno de 31,8 mm.

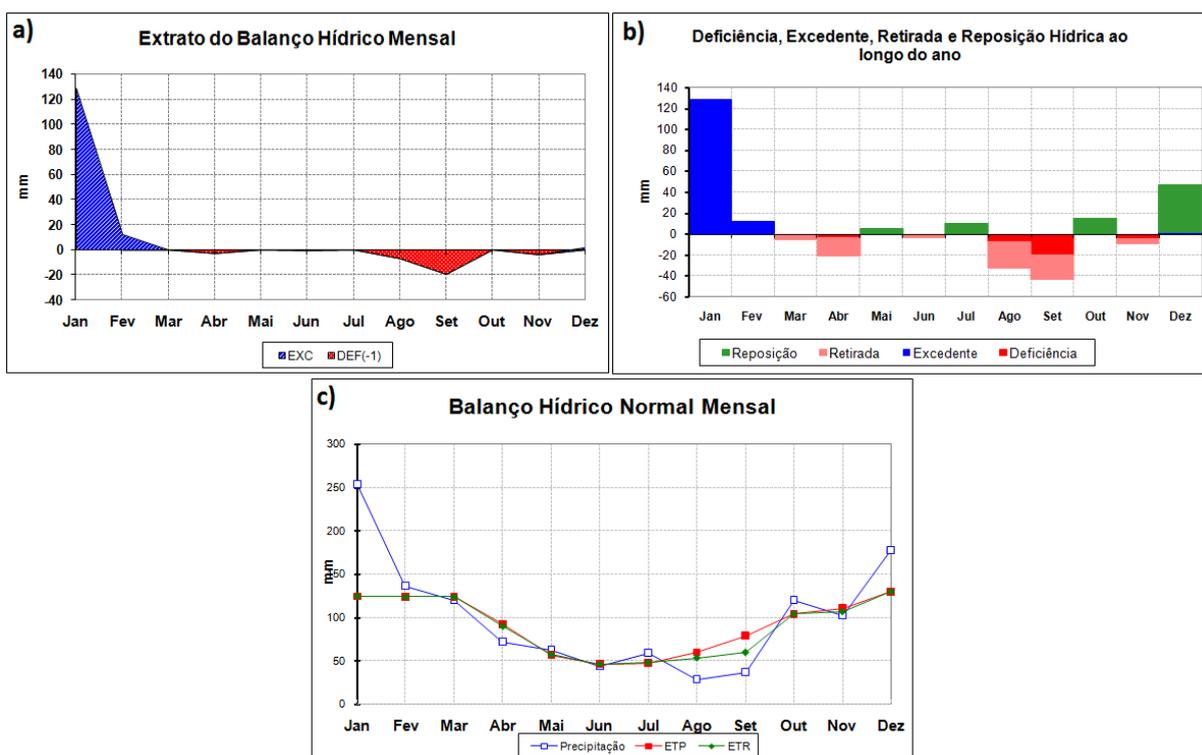


Figura 27. Gráficos apresentando o a) extrato do balanço hídrico médio mensal b) média mensal do déficit, retirada, reposição e excedente e c) distribuição da precipitação, ETP e ETR da estação meteorológica de Tietê - SP com dados obtidos pelo CIAGRO entre 2002 e 2012.

Na Figura 27 é apresentado o extrato do balanço hídrico da estação meteorológica do município de Tietê referente ao período de 2002 a 2012. Nele é possível observar que a deficiência hídrica está presente em 4 meses (abril, agosto, setembro e novembro), tendo sua maior média no mês de setembro, com um déficit de 19,6 mm. Porém as retiradas são detectadas em 6 meses (março, abril, junho, agosto, setembro e novembro), alguns meses com médias baixas de até 2,71 mm, em junho, e meses com médias altas de até 25 mm, em agosto.

A reposição hídrica é feita de forma acumulativa, por exemplo, no mês de maio não houve precipitação média suficiente para suprir a retirada hídrica e esse evento torna a ocorrer em julho e outubro, portanto, em dezembro, 96,4% da

precipitação média é contabilizada para reposição totalizando a quantia retirada. Já o excedente hídrico neste extrato é restrito aos meses de janeiro e fevereiro com médias de 129,3 e 12,3 mm respectivamente.

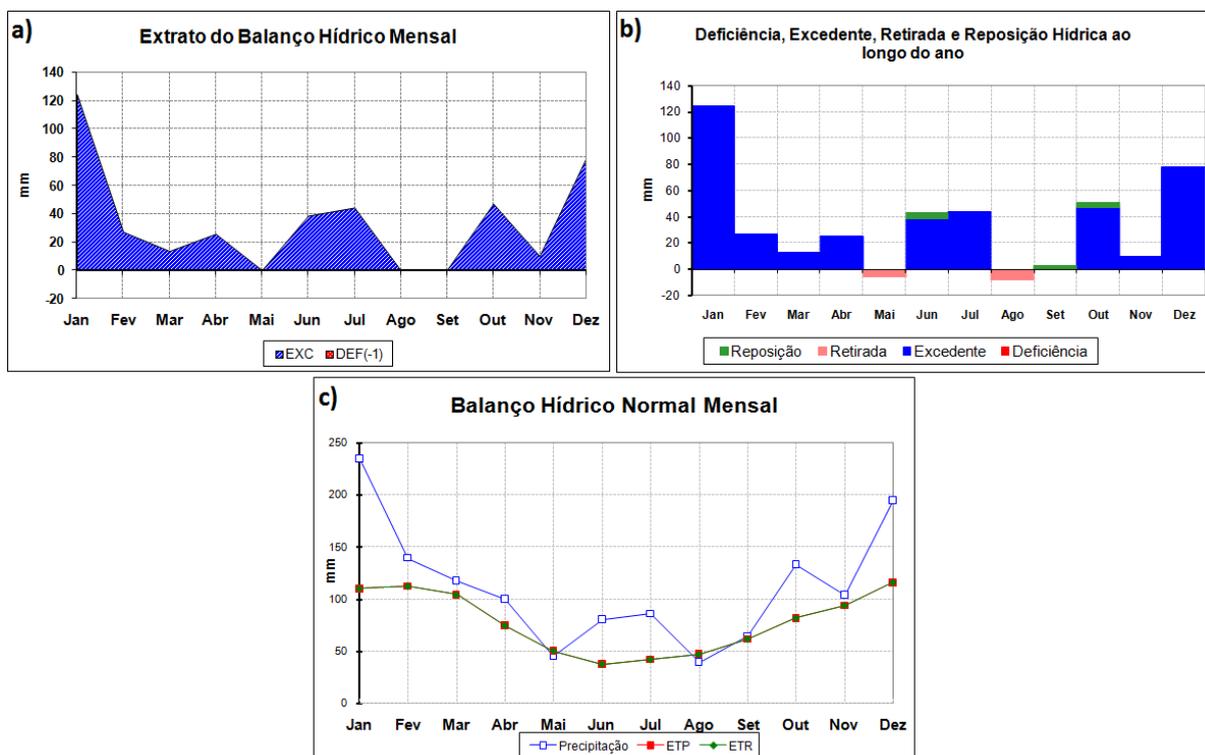


Figura 28. Gráficos apresentando o a) extrato do balanço hídrico médio mensal b) média mensal do déficit, retirada, reposição e excedente e c) distribuição da precipitação, ETP e ETR da estação meteorológica de Itapetininga - SP com dados obtidos pelo CIIAGRO entre 2008 e 2013.

O extrato do balanço hídrico da estação meteorológica de Itapetininga (Figura 28) não apresenta nenhuma deficiência hídrica dentro do período analisado, de 2008 a 2013. Já os meses de maio e agosto apresentam uma retirada um tanto quanto expressivas. A retiradas dos dois meses tem uma média de 6,05 mm. A reposição referente à retirada do mês de maio é feita com 11% do total de precipitação média ocorrida em junho, assim como a reposição referente ao mês de agosto se dá com toda a precipitação média de setembro e 8% do mês de novembro.

O excedente hídrico médio visto na Figura 28 permanece por 9 meses com valores bem expressivos que podem variar as médias de 9,9 mm em novembro e 124,6 mm em janeiro.

5.4 COMPARAÇÃO TEMPORAL DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS

No estudo de Sentelhas et. al. (2003), o monitoramento da série temporal dos dados meteorológicos selecionados teve início em 1941, com término em 1990. Por conseguinte, o período, ou intervalo histórico de monitoramento dos dados utilizados neste estudo é de 2002 a 2013. Portanto, há um intervalo, entre os dois períodos, de 12 anos que apresenta claramente modificações nos cenários do extrato do balanço hídrico analisados, como será colocado adiante.

5.4.1 *Estações meteorológicas que representam a região norte do afloramento do SAG*

Comparando os extratos dos balanços hídricos das estações que representam a região norte é notória a semelhança entre eles, pois os valores médios máximos de excedente aparecem nos meses de janeiro e dezembro e os valores médios máximos de deficiência hídrica mantêm-se no mês de agosto. Na Tabela 3, apresenta médias máximas totais e médias mínimas totais obtidas para cada variável analisada dentro do balanço hídrico dos dois períodos.

Tabela 3. Médias máximas totais (MMT) e médias mínimas totais (MmT) da região norte do afloramento do SAG dos períodos de 1961-1990 e 2003-2013.

	1961 - 1990		2003 - 2013	
	MMT	MmT	MMT	MmT
Excedente	697,8	484,0	612,2	390,5
Deficiência	81,9	52,8	109,4	61,2
Retirada	80,2	71,0	85,8	74,2
Reposição	80,2	71,0	85,8	74,2

Fonte: Autoria própria (2014)

Como mostram na Tabela 3, as médias máximas totais de excedentes no período de 1961-1990 eram de 697,8 mm enquanto que, no período de 2003-2013, as médias são de 612,2 mm. O mesmo decaimento ocorre com as médias mínimas totais que eram de 484 mm e este estudo apresenta uma média de 390,5 mm.

Além do decaimento das médias de excedente, o que também difere bastante, entre os dois períodos, são os volumes de excedente nos meses de janeiro a março. Para a estação de Franca, por exemplo, antigamente havia uma decadência delicada no volume médio entre os meses do primeiro trimestre que iniciava em janeiro com 181,3 mm, decaía pra fevereiro com 157,2 mm e, então, 104,0 mm no mês março. Por outro lado, neste estudo, que representa a série histórica temporal mais recente, apresenta uma queda brusca entre as médias de janeiro e fevereiro, com 229,0 mm e 92,6 mm respectivamente.

A média máxima total de deficiência hídrica, por sua vez, tem um aumento de 25% de um período para o outro enquanto que o aumento da média mínima total é de 14%. Os valores médios de déficit hídrico eram por volta de 32 mm entre 1961 e 1990 e, para o período mais atual, mostra uma média em torno de 37 mm. Este aumento é perceptível, também, nas taxas de retirada e reposição médias que alteraram suas médias, aproximadamente 5% em cada uma delas.

5.4.2 Estações meteorológicas que representam a região central do afloramento do SAG

Ao comparar os extratos do balanço hídrico entre 1941 e 1990 com os extratos do balanço hídrico de 2002 a 2013 na região central do afloramento SAG, é possível observar que o cenário hídrico apresenta-se preocupante quanto da perspectiva da variabilidade climática regional, relacionado principalmente com a redução de excedentes hídricos e aumento das deficiências hídricas para a área de estudo. A Tabela 4 apresenta médias máximas totais e médias mínimas totais obtidas para cada variável analisada dentro do balanço hídrico dos dois períodos.

Tabela 4. Médias máximas totais (MMT) e médias mínimas totais (MnT) da região central do afloramento do SAG dos períodos de 1941-1990 e 2002-2013.

	1961 – 1990		2002 - 2013	
	MMT	MnT	MMT	MmT
Excedente	487,7	364,4	431,5	159,8
Deficiência	80,0	23,3	142,9	44,4
Retirada	79,8	54,7	90,2	67,8
Reposição	79,8	54,7	90,2	67,8

Fonte: Aatoria própria (2014)

Como pode ser visto na Tabela 4, a média máxima total de excedente tem uma diferença de 56,2 mm entre os dois períodos mostrados. Porém a média mínima total de excedente reduziu 204,6 mm de um período para o outro. A média mínima total é tida nos extratos hídricos da estação do município de Araraquara, a redução é evidenciada quando observadas as médias dos meses de março e dezembro de ambos os períodos. Enquanto que no período de 1941-1970 ainda apresenta médias de excedente hídrico nos meses de março e dezembro, com médias de 41,8 mm e 76,1 mm, no período 2004-2012 o excedente hídrico se restringe somente aos meses de janeiro e fevereiro, com médias de 125,0 mm e 34,8 mm.

Ainda na Tabela 4, as médias totais de deficiência hídrica, retirada e reposição apresentam aumento. As médias totais de déficit hídrico no período de

base de comparação entre 1941 e 1990 eram, aproximadamente, 45% menores que as médias do período de 2002-2013. O período de estiagem da estação de Araraquara, no estudo de Sentelhas et. al. (2003), inicia-se em abril e se estende até o mês de outubro, porém o período de estiagem da mesma estação, neste trabalho, é identificado entre os meses de março e novembro, dois meses a mais que no período anterior.

A média máxima de déficit hídrico, na estação de Araraquara, no período de 1941-1970, é de 29 mm enquanto que no período de 2004-2012 a média máxima chega a 40 mm, ambas no mês de agosto. Com esse aumento, tido em dois meses de estiagem a mais no período de 2002-2013, as médias de reposição apresentam um agravante significativo entre os dois períodos.

5.4.3 Estações meteorológicas que representam a região sul do afloramento do SAG

Levando em consideração o período analisado por Sentelhas et. al. (2003) e o período histórico levantado para esse estudo, é possível notar que os quadros apresentam uma evolução positiva sobre o aspecto hídrico da variabilidade climática para a região sul do afloramento do SAG, pois os níveis de precipitação aumentaram. A Tabela 5 mostra médias máximas totais e médias mínimas totais obtidas para cada variável analisada dentro do balanço hídrico dos dois períodos.

Tabela 5. Médias máximas totais (MMT) e médias mínimas totais (MnT) da região sul do afloramento do SAG dos períodos de 1941-1990 e 2002-2013.

	1961 - 1990		2003 - 2013	
	MMT	MnT	MMT	MmT
Excedente	429,0	142,2	448,1	143,4
Deficiência	18,4	1,3	33,9	0,4
Retirada	53,1	21,7	78,1	12,1
Reposição	53,1	21,7	78,1	12,1

Fonte: Autoria própria (2014)

Na Tabela 5, os valores apresentam que as médias de excedente sofrem pequenas oscilações de um período para o outro na região estudada. As máximas totais aumentaram em 4,45% enquanto que as mínimas totais não chegam a 1%. Porém, as médias de precipitação total anual aumentaram 13,3% na estação de Itapetininga. Ainda na mesma estação, o balanço hídrico, construído no período de 1941-1990, apresenta excedente hídrico entre os meses de janeiro e março e, posteriormente, volta a aparecer entre outubro e dezembro, acumulando um total médio de 237 mm. Já o balanço hídrico deste trabalho apresenta um excedente hídrico por todos os meses acumulando uma média total de 409,2 mm, com exceção dos meses de maio, agosto e setembro.

Por outro lado, as médias de déficit, retirada e reposição, quanto mais aumentam, mais agravam o cenário. Como visto na Tabela 5, a média máxima total do déficit apresenta um aumento de 84%, este, é apresentado no balanço hídrico da estação do município de Tiete. O período de 1941-1990 apresenta, para esta estação, momentos de retirada em abril, maio, julho, agosto e setembro somando 53,1 mm, enquanto que o período de 2002-2013 mostra que a retirada que aparece nos meses de março, abril, junho, agosto, setembro e novembro somam 78,1mm.

Acompanhando a retirada, a reposição utilizava somente 22% das médias de precipitação do mês de dezembro. Já no período mais atual a reposição utiliza 96,6% de toda precipitação média do mês de dezembro.

5.5 COMPARAÇÃO ESPACIAL ENTRE AS REGIÕES DO SAG

Considerando uma análise detalhada para cada região estudada é possível verificar que cada uma possui suas particularidades, como, por exemplo, período de excedente característico da média histórica predominante nos meses finais do ano na região norte. O gráfico da Figura 29 apresenta um comparativo das três regiões considerando os valores médios máximos totais de cada variável do extrato do balanço hídrico.

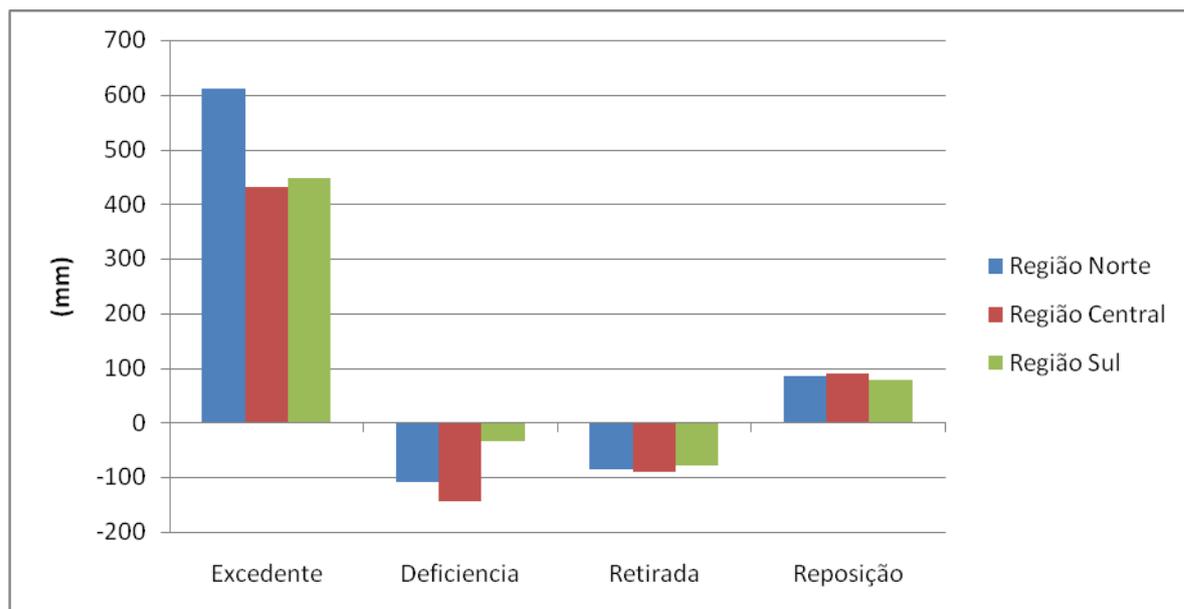


Figura 29. Comparação espacial entre as três regiões do SAG, considerando as médias máximas totais do extrato do balanço hídrico entre o período de 2002 a 2013.

A região norte, como observado na Figura 29, possui a maior média máxima total de excedente hídrico para o período histórico analisado, atingindo 612,2 mm, a precipitação média anual é de 1436 mm, com médias máximas de 328,6 mm. Já a região central possui a menor média de excedente com 431,5 mm, nesta região ele permanece somente nos meses do início do ano (Figuras 23, 24 e 25) com precipitação média anual de 1212 mm e médias máximas de 267,6 mm, em janeiro, bem como na região norte. Porém a região sul, com a média máxima total de 448,1 mm, apresenta uma precipitação média anual de 1339 mm com médias máximas de até 234,8 mm.

Ainda na Figura 29, a região norte apresenta um déficit médio máximo de 109,4 mm, a maior deficiência foi detectada entre os meses de junho e setembro com médias mínimas de precipitação de 15 mm. Porém, na região central que apresenta a maior média máxima de déficit (142,9 mm), sendo ele muito visível no extrato da estação do município de Araraquara. Esse déficit se estende por uma faixa bem longa iniciando em março e finalizando em novembro com média, de precipitação mínima em torno, de 20 mm. Já na região sul, a deficiência hídrica aparece discretamente, com média máxima total de 33,9, no mês de agosto com médias de precipitação mínima em torno de 39,5 mm.

Quando observadas as retiradas, as três regiões apresentam momentos de retirada, ou seja, quando a evapotranspiração real está maior que a precipitação. Nos municípios da região norte a retirada acompanha a deficiência que se definem no intervalo entre julho e setembro. Mas na região sul este período de estiagem não fica bem definido, pois, de acordo com o SCC de W. Köppen a letra “f” indica a ausência de estação seca. As reposições se dão logo após os períodos de retirada, quanto maior o tempo de retirada, maior o tempo de reposição.

Portanto é na região central que se encontram as maiores períodos de reposição hídrica, sendo que em Araraquara a reposição é iniciada no mês de dezembro e vai até o mês de janeiro, o que não ocorre em nenhum outro município. Como visto no gráfico da Figura 29, as médias máximas totais de retirada e reposição vão de 78,1 a 90,2 mm isso mostra que não há uma variação entre uma região e a outra.

5.6 EVOLUÇÃO DOS CENÁRIOS

A Figura 30 apresenta um gráfico que evidencia as três regiões com suas médias máximas totais de excedente, deficiência, retirada e reposição das três regiões nos dois períodos históricos levantados.

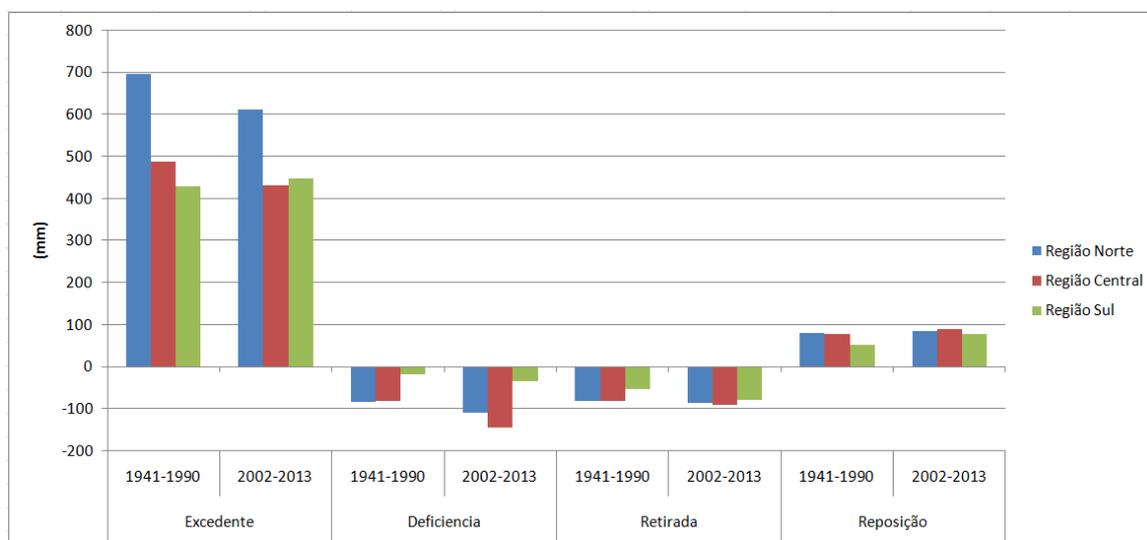


Figura 30. Consideração final das comparações temporais e espaciais.

Como é observada na Figura 30, a região central é a que apresenta um cenário mais crítico, tendo os menores valores de excedente e os maiores valores de deficiência hídrica. É, também, nessa região que se encontram grandes centros urbanos como São Carlos e Araraquara, por exemplo, onde a demanda por água potável cresce a cada dia, aumentando a necessidade de uma gestão mais rígida, assegurando a qualidade dos reservatórios subterrâneos de água (SANTOS, 2009).

Quando comparados os dois períodos de tempo, também pode ser analisado que o cenário hídrico da região central se demonstra mais agravante do que os outros. A região norte apresenta uma redução grande de excedente também, assim como um aumento de déficit, porém, este aumento, não é tão grande quanto o da região central.

A região sul do afloramento é a que apresenta uma divergência, enquanto que há uma redução das médias de excedente nas outras regiões, nesta há um aumento. Este aumento também aparece, só que de forma mais discreta, no déficit, na retira e na reposição, enquanto que nas regiões norte e sul não apresentam aumento consideráveis.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou, com base em levantamento de dados meteorológicos, o extrato do balanço hídrico na área de afloramento do SAG no estado de São Paulo. Os resultados deste trabalho poderão auxiliar a gestão sustentável dos recursos hídricos subterrâneos em alguns dos principais municípios do interior paulista.

Os municípios, que estão localizados na zona de influência do afloramento do SAG no estado de São Paulo, foram selecionadas considerando a disponibilidade de dados históricos meteorológicos para que pudessem ser feitas comparações temporais, foram levados em consideração, também, a localização delas pela região de afloramento do SAG.

Através da comparação dos extratos do balanço hídrico entre 1941-1990 e 1997-2013, conclui-se que houve uma evolução negativa no cenário da variabilidade climática com relação ao extrato do balanço hídrico. Dessa forma, na maioria das regiões analisadas ocorreu um agravante de deficiência hídrica e restringindo as médias de excedente hídrico entre os meses de janeiro e março, exceto na região sul que evoluíram positivamente mantendo uma distribuição de excedentes reduzindo as deficiências.

A deficiência hídrica é característica do período de estiagem, meses de junho, agosto e setembro, mas este período é iniciado em março ou maior com valores de pequena significância. A reposição hídrica vem logo após os períodos de estiagem.

Comparando as três regiões norte, central e sul, do afloramento do SAG no estado de São Paulo, é possível analisar que na região norte o período mais chuvoso é em janeiro com médias de excedente de até 229 mm, isso se repete também para as outras regiões, porém o balanço hídrico apresenta um saldo positivo expressivo no mês de dezembro o que não correu nos municípios da região central. Dessa forma, os municípios da região central apresentam um quadro mais crítico em relação às outras duas, seguida da região norte por apresentar uma tendência crítica nas análises.

Logo, as regiões, norte e central, do afloramento do SAG que as que possuem grandes centros urbanos, mostram um extrato do balanço hídrico que

evoluiu negativamente quando comparados os dois períodos, apontando uma variação climática negativa. No entanto é necessário agir com políticas mais rigorosas que abrangem o uso das águas subterrâneas de forma a implantar um sistema de gestão ambiental, com o auxílio de estudos baseados nos extratos de balanço hídrico, que possa controlar seu uso pondo em práticas fiscalização dos poços e projetos de educação ambiental visando o uso racional da água principalmente em períodos de estiagem.

REFERÊNCIAS

- ADAM, R. S. **Princípios do ecoedifício: interação entre ecologia, consciência e edifício**. São Paulo. Aquariana. 2001. p. 57. Disponível em: <http://books.google.com.br/books?id=dFL9q-HmdwMC&pg=PA57&dq=%22temperatura+do+ar%22&hl=pt-BR&sa=X&ei=6SvPU9OAAuLIsAS_3YKoBw&ved=0CD8Q6AEwCDgU#v=onepage&q=%22temperatura%20do%20ar%22&f=false> Acessado em 24 de julho de 2014.
- AMORIM-NETO, M. da S. **Balanço hídrico segundo Thornthwaite e Mather (1995)**. Comunicado técnico. Embrapa. 1989. nº 34. p. 1-18.
- ANA. **Sobre a ANA**. Agência Nacional de Águas. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/institucional/SobreaAna/Default.aspx>> Acesso em 24 de julho de 2014.
- _____. **Matriz institucional**. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sag/CobrancaUso/Oficinas/matrizInstitucionalISINGREH.jpg>> Acessado em 24 de julho de 2014.
- ARANDA, D. F. C. **Procesos del ciclo hidrológico**. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 2ª Edição. México. 1992.
- ARAÚJO, L. M., FRANÇA, A. B., POTTER, P. E. **Aquífero Gigante do Mercosul no Brasil, Argentina, Uruguai e Paraguai: Mapas Hidrogeológicos das formações Botucatu, Pirambóia, Rosário do Sul, Buena Vista, Misiones e Taquarembó**. Curitiba, Geociências, UFPR, 10p, 1995.
- AZEVEDO, F. Z. et. al. **Política de recursos hídricos e a gestão das águas subterrâneas: Experiência dos Comitês do Estado de São Paulo**. XV Encontro Nacional de Perfuradores de Poços e I Simpósio de Hidrogeologia do Sul-Sudeste. 2007. Disponível em: <<file:///C:/Users/ADRIANO/Desktop/22162-79924-1-PB.pdf>> Acessado em 24 de julho de 2014.
- BOS, S. M; THOMÉ, A. **Métodos para avaliar vulnerabilidade das águas subterrâneas**. Porto Alegre, RS. POA Comunicação. 2012.
- BRASIL. **Lei nº 9.433 de 8 de Janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=370>> Acessado em 24 de julho de 14.

BRITO, L. T. de L., SILVA, A. de S., PORTO, Everaldo R. Disponibilidade de água e a gestão dos recursos hídricos. In: SILVA, Aderaldo de S. et. al. **Potencialidade da água de chuva no Semi-Árido brasileiro**. EMBRAPA – Informação Tecnológica. 2007. p. 15-32.

CAMARGO, A.P. **Balanço hídrico no Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1971. 28p. (Boletim Técnico, 116).

CAPUTI, E. **Balanço hídrico no estado de São Paulo: Geoinformação na Internet**. Dissertação (mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) Instituto Agrônomo. Campinas. São Paulo. 2006.

CARNEIRO, C.D.R. Viagem virtual ao Aquífero Guarani em Botucatu (SP): Formações Pirambóia e Botucatu, Bacia do Paraná. **TerræDidática**, v.3. p.50-73. 2007.

CARVALHO, S. M. STIPP, N. A. F. **Contribuição ao estudo do balanço hídrico no estado do paraná: uma proposta de classifica o qualitativa**. Geografia. Londrina. 2004.v.13.n.1.

CHORLEY, R. J; BARRY, R. G. **Atmosfera, tempo e clima**. 9^a Edi o. Publica o traduzida e autorizada. Universidade de São Paulo. Bookman Editora LTDA. Porto Alegre – RS. 2010. p. 90-91. Disponível em:
<<http://books.google.com.br/books?id=t8LXP791TMIC&pg=PA91&dq=precipita%C3%A7%C3%A3o+chuva&hl=pt-BR&sa=X&ei=USbNU9SoBlfmsAST4IC4Cg&ved=0CDYQ6AEwBQ#v=onepage&q=p recipita%C3%A7%C3%A3o%20chuva&f=false>> Acessado em 22 de julho de 2014.

CNRH. Concelho Nacional de Recursos Hídricos. **Conselho**. 2014. Disponível em:
<http://www.cnrh.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=1>
Acessado em 24 de julho de 2014.

COGERH - Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. **Plano de Gestão Participativa dos Aquíferos da Bacia Pontiguar, Estado do Ceará**. 2009. Disponível em: <[http:// portal.cogerh.com.br/eixos-de-atuacao/estudos-e.../Bacia.../file](http://portal.cogerh.com.br/eixos-de-atuacao/estudos-e.../Bacia.../file)>. Acesso em: 26.jul.2013.

COSTA, A. R. da. **As rela es hídricas das plantas vasculares**. Departamento de Biologia. Universidade de  vora. Portugal. 2001. Disponível em:
<<http://www.angelfire.com/ar3/alexcosta0/RelHid/Rhw7.htm>> Acessado em 21 de Maio de 2014.

CHRISTOPHERSON, R. W. **Geossistemas: uma introdu o   geografia física**. Bookman Ltda. Porto Alegre – RS. 7ed. 2012. p.246. Disponível em:

<http://books.google.com.br/books?id=kWA_P09nLa8C&pg=PA246&dq=balan%C3%A7o+h%C3%ADdrico&hl=pt-BR&sa=X&ei=NNPFU-eJlfHfsATCsIDIBw&ved=0CDQQ6AEwBQ#v=onepage&q=balan%C3%A7o%20h%C3%ADdrico&f=false> Acessado em 16 de julho de 2014

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA; INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO. **Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo - UGRHs**. São Paulo: DAEE/IGC, 2005. 1 mapa.

_____. **Mapa de águas subterrâneas do estado de São Paulo: escala 1: 1000000. Nota explicativa**. São Paulo: DAEE/IGC, 2005.

VRIES, J. J. de, SIMMERS I. Groundwater recharge: na overview of processes and challenges. **HydrogeologyJournal**. v.10. p.5-17. 2002.

EMBRAPA. **Banco de dados climáticos do Brasil**. EMBRAPA Monitoramento por satélites. 2003. Disponível em: <<http://www.bdclima.cnpm.embrapa.br/resultados/balanco.php?UF=&COD=451>> Acessado em 23 de julho de 2014.

ENCICLOPÉDIA AGRÍCOLA BRASILEIRA C-D. **ESALQ**. Apresentação Aristeu Mendes Peixoto. São Paulo. Editora da Universidade de São Paulo. 1998. p. 318.

ENCICLOPÉDIA AGRÍCOLA BRASILEIRA E-H. **ESALQ**. Apresentação Humberto de Campos. São Paulo. Editora da Universidade de São Paulo. 1995. p. 328.

FROTA, A. B; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. 7ª Edição. São Paulo. Studio Nobel. 2003.p. 62. Disponível em: <http://books.google.com.br/books?id=0YHkrOiZIHQC&pg=PA62&dq=defini%C3%A7%C3%A3o+de+precipita%C3%A7%C3%A3o+atmosf%C3%A9rica&hl=pt-BR&sa=X&ei=Lm3OU_m3EPLIsASv44GwBA&ved=0CBsQ6AEwAA#v=onepage&q=chuva&f=false> Acessado em 22 de julho de 2014.

GEF – BANCO MUNDIAL – OEA. **Projeto para a Proteção Ambiental e o Desenvolvimento Sustentável Integrado do Sistema Aquífero Guarani, Componente A, Atividade 1: Caracterização Física e Inventário de Poços**, 2007 94p. Disponível em: www.ana.gov.br/guarani/gestao/gest_cbasico.htm , acesso em: 05 junho 2014. GEF, 2014.

GOMES, J.de L., BARBIERI, J. C. **Gerenciamento de recursos hídricos no Brasil e no estado de São Paulo: um novo modelo de política pública**. Cadernos EBAPE.PR. FGV. 2004. v.II.n. 3

GOMES, M. A. F. et. al. Classificação das áreas de recarga do sistema aquífero guarani no brasil em domínios pedomorfoagroclicmáticos – subsídio aos estudos de avaliação de risco de contaminação das águas subterrâneas. **Revista do Departamento de Geografia**, v.18. p.67-74. 2006.

REF – Grupo de Reelaboração do Ensino de Física. **Física 2: Física Térmica e Óptica**. 5ª Edição. 4ª Reimpressão. São Paulo. Editora USP. 2007

GUANABARA, R. C. **Modelo Transiente de fluxo em área de afloramento do Sistema Aquífero Guarani**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento). Universidade de São Paulo. São Carlos. 132 p. 2011.

GUERRA, A. J. T; ALMEIDA, J.R. de; ARAUJO, G. H. de S.. **Gestão ambiental de áreas degradadas**. Bertrand Brasil, 9ª Edição, 2013.

HALLER, L.; PÁDUA, V. de L. **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte. UFMG. 2006.

HALLIDAY, RESNICK, WALKER. **Fundamentos de Física**. Vol. 2. 8 ed. Editora LTC, 2009.

HIRATA, R.; GASTMANS, D.; CRUZ, J. S.; ARAGUÁS, L.; SOARES, P. C.; FACCINI, U. F.; VIVES, L. **Modelo Conceitual e Funcionalidades do Sistema Aquífero Guarani**. In: II Congresso Aquífero Guarani/Workshops. Memória... Ribeirão Preto: IG – Instituto Geológico de São Paulo. LEBAC/UNESP, 2008 pp 29-32.

INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS DA USP – IAG/USP. **Instrumentos e procedimentos**. Estação Meteorológica. Disponível em: <<http://www.estacao.iag.usp.br/instrumentos.php>> Acesso em 24 de julho de 2014.

KARMANN, I. Águas subterrâneas. In: TEIXEIRA, W.; MOTTA, T, M.C.; FAIRCHILD, T, R.; TAIOLI, F. (Ed). **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de textos, 2000, p. 113-138.

_____. Ciclo da água. In: TEIXEIRA, W.; MOTTA, T, M.C.; FAIRCHILD, T, R.; TAIOLI, F. (Ed). **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de textos, 2001, p. 116.

KRESIC, N. **Hydrogeology and groundwater modeling**. 2ª Edição. CRC Press, 828 p., 2007. Disponível em: <<http://books.google.com.br/books?id=RPvRW4hHQSMC&pg=PA3&lpg=PA3&dq=hydrogeology+and+groundwater+modeling&source=bl&ots=8ISITsB5MR&sig=qECDF4>>

Hv0vgPOEncQtEgfk1Wq8g&hl=pt-BR&sa=X&ei=YapjU-jlG4S-sQTTjoJI&ved=0CFoQ6AEwAw#v=onepage&q&f=false> Acessado em 02 de maio de 2014.

KAMUR, C. P. Estimation of Ground Water Recharge Using Soil Moisture Balance Approach. **Journal of Soil and Water Conservation**. Soil Conservations Society of India, v. 2, nº 1&2, 2003. p. 53-58.

LABORATÓRIO DE ESTUDO DE BACIA. Estudo de viabilidade técnico-econômica de abastecimento da região metropolitana de São Paulo pelo Aquífero Guarani. Informe técnico: LEBAC/UNESP, 2004.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. Editora da Universidade de São Paulo. 2005. p. 263-264. Disponível em:
<http://books.google.com.br/books?id=qdZyHIGaXGsC&pg=PA270&dq=como+calcular+o+balan%C3%A7o+hidrico&hl=pt-BR&sa=X&ei=hifHU6DdD42_sQSWsIDIDA&ved=0CBsQ6AEwAA#v=onepage&q=como%20calcular%20o%20balan%C3%A7o%20hidrico&f=false> Acessado em 16 de julho de 2014.

LOIOLA, R., SANTOS, J. **A falta de água em São Paulo tem solução?** Meio Ambiente. Ciência. Revista VEJA. 2014. Disponível em:
<<http://veja.abril.com.br/noticia/ciencia/a-falta-de-agua-em-sao-paulo-tem-solucao>> Acessado em 25 de julho de 2014.

LUCAS, M. C. **Influência da precipitação e do uso do solo sobre a taxa de recarga em zona de afloramento do Sistema Aquífero Guarani**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento). Universidade de São Paulo. São Carlos. 171 p. 2012.

MELO, D. de C. D. **Estimativa de impacto de mudanças climáticas nos níveis do aquífero livre em zona de recarga do Sistema Aquífero Guarani**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento). Universidade de São Paulo. São Carlos. 204 p. 2013.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M.. Climatologia. **Noções básicas e climas do Brasil, São Paulo, Oficina do Texto**, 2007.

MILANI, E. J. **Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana Sul-Occidental**. 2v. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

MMA. **Plano Nacional de Recursos Hídricos - Síntese Executiva**. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. 2006. p.135.

MOSCHINI-CARLOS, V.; FRACETO, L. F.; ROSA, A. H. **Meio ambiente e sustentabilidade**. Porto Alegre. Bookman. 2012. p. 110. Disponível em: <<http://books.google.com.br/books?id=Zj4DiVHXtIQC&pg=PA110&dq=precipita%C3%A7%C3%A3o+chuva&hl=pt-BR&sa=X&ei=USbNU9SoBlfmsAST4IC4Cg&ved=0CCYQ6AEwAg#v=onepage&q=p precipita%C3%A7%C3%A3o%20chuva&f=false>> Acessado em 22 de julho de 2014.

OLIVEIRA, L.A. de. **O Sistema Aquífero Guarani no estado de Goiás: distribuição, caracterização hidrodinâmica, hidroquímica, composição isotópica e CFCs**. Tese (Doutorado em Geologia). Universidade de Brasília, Instituto de Geociências. Brasília, 2009, 188 p.

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

PEREIRA, A. R, Simplificando o Balanço hídrico de THORNTHWAITE-MATHER. **Agrometeorologia**. Bragantina, Campinas. v.64. n.2. p311-313. 2005.

PEREIRA-JUNIOR, J.de S. **Recursos Hídricos: conceituação, disponibilidade e usos**. Biblioteca digital da Camara dos deputados. 2004.

PETRI, S. FÚLFARO, V. J. Geologia do Brasil. São Paulo: EDUSP, 1983.

PINTO, Carlos de S. **Curso básico de mecânica dos solos**. São Paulo. Oficina de Textos. 3ª edição. 2000.

REIS, E. F.; CECILIO, R. A. **Manejo de bacias hidrográficas**. Centro de Ciências Agrárias. Departamento de Engenharia Rural. Alegre – ES. 2006.

ROCHA, G. **O grande manancial do Cone Sul**. Estudos Avançados, USP. 1997. Vol.30, p.191-212.

ROLIM, G. S.; SENTELHAS, P. C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCEL TM para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria, v. 6, n. 1, 1998 p133-137.

ROLIM, G. S.; CAMARGO, Marcelo B. P. de; LANIA, Daniel G.; MORAES, Jener. F. L. **Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo**. In: *Bragantiavol.66 no.4* Campinas, 2007.

SANTOS, M. M. dos. **Gerenciamento dos recursos hídricos Subterrâneos: uso atual e potencial do Sistema Aquífero Guarani no Estado de São Paulo**. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente). Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Rio Claro, 2009. 306 p.

SAO PAULO, **Lei nº 7.663 de 30 de Dezembro de 1991**. Estabelece normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Disponível em: <http://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/legislacao/estadual/leis/1991_Lei_Est_7663.pdf> Acessado em 24 de julho de 2014.

SCANLON, B. R., HEALEY, Richard W., COOK, Peter G. Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. **Hydrogeology Journal**. v.10, n.1, p.18-39. 2002.

SETZER, J. **Atlas Climático e Ecológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: Comissão Interestadual da Bacia Paraná-Uruguaí, 1966. 186 p.

SENTELHAS, P. C. **Bhbrasil - balanços hídricos climatológicos de 500 localidades brasileiras**. 2003. Disponível em: <<http://www.bdclima.cnpm.embrapa.br/index.php>> Acessado em 20 de julho de 14.

SOARES, P. C. **O Mesozóico gondwânico no Estado de São Paulo**. Tese (doutorado em geologia). Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Rio Claro – SP, 1973.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto**. v. 1. 3ª Edição. Belo Horizonte. UFMG. 2005.

SUASSUNA, J. **A má distribuição da água no Brasil**. Reporter Brasil. 2004. Disponível em: <<http://reporterbrasil.org.br/2004/04/b-artigo-b-a-ma-distribuicao-da-agua-no-brasil/>> Acessado em 25 de julho de 2014.

TOLEDO, L. B. et. al. **Balanço hídrico de Altamira – PA**. XII Congresso Brasileiro de Meteorologia. Foz de Iguaçu-PR. 2002.

VICTORINO, C. J. A. **Planeta água morrendo de sede: uma visão analítica na metodologia do uso e abuso dos recursos hídricos**. Porto Alegre. EDIPUCRS. 2007.