

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**

**Emilson Pohl**

**BALANÇO HÍDRICO EM FRAGMENTO FLORESTAL NA  
BACIA DO BACIA DO RIO UNA, MUNICÍPIO DE TAUBATÉ,  
SP.**

**Taubaté - SP**

**2017**

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**

**Emilson Pohl**

**BALANÇO HÍDRICO EM FRAGMENTO FLORESTAL NA  
BACIA DO BACIA DO RIO UNA, MUNICÍPIO DE TAUBATÉ,  
SP.**

Dissertação apresentada como requisito para  
obtenção do título de Mestre em Ciências  
Ambientais - Programa de Pós-graduação em  
Ciências Ambientais da Universidade de Taubaté.

Orientador Prof. Dr. Marcelo Santos Targa

**Taubaté - SP**

**2017**

**Ficha catalográfica elaborada pelo  
SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas / UNITAU**

P748b Pohl, Emilson

Balanço hídrico em fragmento florestal na bacia do Rio Una, no município de Taubaté, SP / Emilson Pohl. - 2017.  
102f. : il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade de Taubaté, Departamento de Ciências Agrárias, 2017.

Orientação: Prof. Dr. Marcelo dos Santos Targa / Departamento de Ciências Agrárias.

1. Balanço hídrico. 2. Escoamento superficial. 3. Sensor de umidade. I. Título. II. Ciências Ambientais.

**BALANÇO HÍDRICO EM FRAGMENTO FLORESTAL NA  
BACIA DO BACIA DO RIO UNA, MUNICÍPIO DE TAUBATÉ,  
SP**

**Dissertação apresentada como requisito para  
obtenção do título de Mestre em Ciências  
Ambientais - Programa de Pós-graduação em  
Ciências Ambientais da Universidade de Taubaté.**

**Orientador Prof. Dr. Marcelo Santos Targa**

Data:

Resultado:

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. GILBERTO FERNANDO FISCH

Assinatura \_\_\_\_\_

Prof. Dr. CELSO DE SOUZA CATELANI

Assinatura \_\_\_\_\_

Prof. Dr. MARCELO DOS SANTOS TARGA

Assinatura \_\_\_\_\_

*Dedico este trabalho a meu pai Tito Livio Pohl (em memória) por tudo que representa em minha vida, sua bondade e valores inesquecíveis.*

## **AGRADECIMENTOS**

Sou grato a todos que com muito apreço sempre estiveram dispostos a colaborar de alguma forma com meu trabalho. A gratidão é um sentimento marcante em minha vida que não se apaga com o tempo. Foram inúmeras colaborações cada um ajudando dentro de suas possibilidades mas todos com muita prontidão em ajudar.

Agradeço ao professor Dr. Marcelo Santos Targa pela confiança, dedicação, acompanhamento, apoio, paciência e colaboração em todas as etapas do desenvolvimento deste trabalho.

A toda equipe da UNITAU – (Universidade de Taubaté), principalmente da Fazenda Piloto, em especial ao Domicio Sebastião da Silva e Felipe Domicio e toda a equipe da marcenaria.

Muito obrigado ao professor Dr. Gilberto Fernando Fisch e ao INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) pelo apoio no fornecimento de dados meteorológicos para elaboração deste trabalho, além das correções e sugestões dadas.

À equipe do Laboratório de Solos da Universidade de Taubaté pela colaboração nos diversos testes de análise de solo e umidade realizados.

À FAPETI – Fundação de Apoio à Pesquisa, Tecnologia e Inovação pelo apoio, em ter-me proporcionado atuar no Projeto de Macrodrenagem da Bacia do Rio Una.

Ao Professor Dr. João Carlos Nordi pelo apoio, prontidão e conhecimentos botânicos adquiridos.

À minha família e em especial ao meu filho Arthur Gonzalez Meger Pohl pelo companheirismo e interesse em estar comigo em algumas coletas de dados em campo.

Agradeço ao amigo e Engenheiro Agrônomo Ronaldo Corrêa pela colaboração na implantação do experimento e apoio em algumas coletas de dados.

A toda minha família biológica que sempre me apoiou em minhas decisões.

## RESUMO

A obtenção de dados específicos através de monitoramento de variáveis que compõem o ciclo hidrológico e os processos envolvidos no balanço hídrico são de grande importância para uma gestão eficiente dos recursos hídricos, melhor conhecimento das florestas tropicais e elaboração de práticas de manejo florestal com a finalidade de manutenção e conservação hidrológica das bacias hidrográficas. Neste contexto este estudo teve como objetivo a caracterização do comportamento hidrológico de fragmento florestal, por meio do balanço hídrico no solo, num período de 12 meses (de abril de 2016 a março de 2017) por meio da contabilização dos volumes de entrada e saídas de água na camada de 0 a 120 cm de profundidade do solo. Para tanto, determinou-se o armazenamento de água no solo por meio de medidas de tensão de água no solo em tensiômetros do tipo Watermark<sup>TM</sup> instalados nas camadas de 0 - 40, 40 - 60 e 60 -120 cm e transformação dessas tensões em lâmina d'água por meio de equações de curva característica de água no solo obtidas em vasos. Foi coletado por meio de 15 coletores o volume de água que escoou pelo tronco das árvores. A precipitação no período foi obtida da estação automática do departamento de Ciências Agrárias da UNITAU em Taubaté, SP. Foram obtidos dados de escoamento superficial da água no solo por meio do uso de 5 mesas coletoras distribuídas na área experimental. Foram estimados os dados de evapotranspiração. A precipitação (P) no período foi de 1961,9 mm, sendo a maior em janeiro de 2017, totalizando 454,1 mm e a menor em julho de 2016 com 0,2 mm. A maior concentração das chuvas ocorreu no período de dezembro de 2016 a fevereiro de 2017, totalizando 951,8 mm. Analisando os dados a evapotranspiração potencial (ETp) apresentou um total de 1021,2 mm, correspondendo a uma média diária de 2,8 mm/dia e representando 52,62% do total precipitado. O maior e o menor valor mensal de evapotranspiração ocorreram em dezembro (121,3 mm) e julho (1,7 mm). Os resultados demonstram que das 90 leituras realizadas a campo ocorreu escoamento superficial (ES) em 56 eventos, totalizando de 297,9 mm, representando 15,18% do total precipitado. O escoamento pelo tronco (ETr) foi menor do que a precipitação pluvial interna, atingindo apenas 4,6 mm, correspondente a 0,24 % da precipitação total. Dados de tensão de água no solo ficaram abaixo de 37 kPa em 67 % do período de estudo, condição que mantém o solo mais úmido e confirmam a relação com os índices de precipitação. O balanço hídrico no solo na área experimental de floresta para a camada de 0 a 120 cm para o período de abril de 2016 a março de 2017 indicou que a área florestal mantém a água armazenada no solo em sua capacidade máxima (173 mm) em 67% do tempo e gera uma drenagem profunda de 281,2 mm.

Palavras-chave: balanço hídrico, sensor de umidade, escoamento superficial.

## ABSTRACT

A collection of specific data through the monitoring of variables that compose the hydrological cycle and the processes involved in the water balance are of great importance for an efficient management of water resources, better knowledge of the tropical forests and elaboration of forest management practices with the purpose of hydrological maintenance and conservation of hydrographic basins. In this context, the objective of this study was to characterize the hydrological behavior of the forest fragment by means of the non-soil water balance in a period of 12 months (from April 2016 to March 2017) by accounting for the input and output volumes of water in the layer from 0 to 120 cm of soil depth. For this purpose, the storage of non-soil water by non-soil water stress measurements was performed on watermark TM type tensiometers installed in the 0-40, 40-60 and 60 -120 cm layers and transformation of stresses into slides of water by means of non-soil water characteristic curve equations obtained in pots. It was collected through 15 collectors the volume of water that flowed through the trunk of the trees. Rainfall in the period was obtained from the automatic station of the Department of Agrarian Sciences of UNITAU in Taubaté, SP. Data were obtained on surface runoff of the water without soil through the use of 5 collecting tables distributed in the experimental area. Evapotranspiration data were estimated. The precipitation (P) in the period of 1961.9 mm, one larger in January 2017, totaling 454.1 mm and one smaller in July 2016 with 0.2 mm. The highest concentration of rainfall occurred in December 2016 at the end of 2017, totaling 951.8 mm. Analyzing the data the potential evapotranspiration (ETp) presented a total of 1021.2 mm, corresponding to a daily average of 2.8 mm / day and representing 52.62% of the total precipitate. The highest and lowest monthly value of evapotranspiration occurred in December (121.3 mm) and July (1.7 mm). The results show that from the 90 readings, a field of surface discovery (ES) was performed in 56 events, totaling 297.9 mm, representing 15.18% of the total precipitate. The flow through the trunk (ETr) was lower than the internal rainfall, producing only 4.6 mm, corresponding to 0.24% of the total precipitation. Non-soil water stress data were below 37 kPa in 67% of the study period, a condition that keeps the soil moist and confirms a relationship with precipitation indices. Soil water balance in the experimental forest area for the 0 to 120 cm layer for the period from April 2016 to March 2017 indicated that the forest area maintains a soilless stored water at its maximum capacity (173 mm) in 67 % of the time and generates a deep drainage of 281.2 mm.

Key words: water balance, moisture sensor, surface runoff.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ciclo hidrológico.....	10
Figura 2: Bacia hidrográfica, divisores de água, sub bacias e drenagem principal.....	11
Figura 3: Processos hidrológicos envolvidos no balanço hídrico.....	23
Figura 4: Secção transversal de uma bacia hidrográfica com as variáveis hidrológicas envolvidas no balanço hídrico.....	24
Figura 5: escoamento superficial.....	25
Figura 6: Visualização do conceito de “área variável de afluência” (AVA) na geração do deflúvio em microbacias.....	26
Figura 7: Ilustração do conceito de “área de afluência” no processo de geração de escoamento direto de uma chuva em microbacia.....	27
Figura 8: Localização Geográfica da área de estudo, Imagem TM/LANDSAT.....	44
Figura 9: Croquis da área de estudo com equipamentos.....	45
Figura 10: Levantamento de dados no campo para determinação da declividade.....	47
Figura 11: Esquadro trapezional com nível.....	47
Figura 12: Mesa coletora de escoamento superficial dimensões.....	49
Figura 13: Mesa coletora de escoamento superficial.....	49
Figura 14: Mesa coletora de escoamento superficial dobra superior e inferior.....	49
Figura 15: Mesa coletora de escoamento superficial conexão frontal.....	49
Figura 16: Mesa coletora de escoamento superficial instalação.....	50
Figura 17(A/B): Galões acoplados à mesa coletora de escoamento superficial.....	51
Figura 18: Galões acoplados à mesa coletora de escoamento superficial.....	51
Figura 19: Numeração das mesas coletoras de escoamento superficial.....	52

Figura 20: Dimensões dos pluviômetros.....	53
Figura 21(A/B): Montagem e instalação dos pluviômetros.....	53
Figura 22: Instalação dos pluviômetros.....	54
Figura 23: Sensor de tensão de água no solo Watermark™ e tensiômetros de solo (40, 60 e 120 cm.).....	56
Figura 24: Instalação dos tensiômetros de solo .....	56
Figura 25: Disposição dos tensiômetros.....	57
Figura 26: Saturação no fundo da cova.....	57
Figura 27: Dimensões do coletor captador de escoamento pelo tronco.....	58
Figura 28: Preparo das árvores.....	58
Figura 29: Marcação das árvores.....	58
Figura 30: Materiais para montagem e instalação dos coletores de escoamento pelo tronco.....	59
Figura 31(A/B):Montagem e instalação do coletor de escoamento pelo tronco: perfuração do EVA (A) e fixação do coletor (B).....	59
Figura 32(A/B): Fixação do coletor de escoamento pelo tronco .....	60
Figura 33: Precipitação na área de estudo no período de coleta de dados.....	62
Figura 34: Precipitação Posto Agrometeorológico UNITAU – INPE no período de coleta de dados.....	62
Figura 35: Temperatura média para Taubaté, SP no período de abril 2016 a março de 2017.....	63
Figura 36: Evapotranspiração real no período de abril 2016 a março de 2017.....	64
Figura 37: Escoamento superficial na área de estudo no período de abril 2016 a março de 2017.....	65
Figura 38: Escoamento pelo tronco no período de abril 2016 a março de 2017.....	67

Figura 39 (A/B): Montagem e pesagem das amostras.....	69
Figura 40: Amostras de solo dispostas em bancada.....	70
Figura 41: Curva de tensão e umidade na camada a 40 cm.....	72
Figura 42: Curva de tensão e umidade a 60 cm.....	72
Figura 43: Curva de tensão e umidade na camada a 120 cm.....	73
Figura 44: Tensão de água no solo nas camadas: 0 - 40 cm, 40 – 60 cm, 60 a 120 cm.....	73
Figura 45: Armazenamento de água no solo no período de abril 2016 a março de 2017.....	75
Figura 46: Balanço hídrico no solo no período de abril 2016 a março de 2017.....	77

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Balanço hídrico médio anual para a Terra.....	21
Tabela 2: Balanço Hídrico – II: Município de Taubaté (2010-2039) para o cenário A2.....	22
Tabela 3: Escoamento superficial e do Coeficiente de Escoamento C em função das precipitações máximas com duração de 180 minutos e períodos de retorno, variando de 2 a 200 anos, para a bacia do Itaim.....	29
Tabela 4: Radiação solar Global Extraterrestre.....	39
Tabela 5: Classificação textural do solo.....	46
Tabela 6: Declividade da área de estudo.....	48
Tabela 7: Classificação botânica das espécies arbóreas nativas.....	66
Tabela 8: Área da copa das espécies arbóreas nativas.....	66
Tabela 9: Umidade e Densidade do solo.....	68
Tabela 10: Valores de Tensão e umidade do solo das amostras coletadas nas camadas 0 a 40 cm, 40 a 60 cm e 60 a 120 cm.....	71
Tabela 11: Capacidade de armazenamento máximo nas diferentes camadas estudadas.....	75

## LISTA DE SIGLAS

A = Área de captação do pluviômetro (m<sup>2</sup>)

Al = Altura m.

ANA = Agência Nacional de Águas

ARM = Armazenamento de água

C = Centro (diferença de nível)

CBRN = Coordenadoria de Biodiversidade e Recursos Naturais

D = Declividade

DAP = Diâmetro na altura do peito

Di = Diâmetro

DP = Drenagem profunda

Eo= Evaporação do solo e de superfícies líquidas

EVT = Evapotranspiração

EVTp = Evapotranspiração corrigida para 12 horas de mês solar

°C = Graus Celsius

COR = Precipitação corrigida mm/mês

EMBRAPA = Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EPAMG = Empresa de Pesquisa agropecuária de Minas Gerais

ETr = Escoamento pelo tronco

f= Infiltração

I = Índice de calor da região

IAPAR = Instituto Agrônomico do Paraná

Ii = Perda por interceptação (mm)

I<sup>+</sup> = Fluxos positivos (entrada de água)

Ic= Interceptação pela copa

Ip= Interceptação pelo piso

kPa = Kilopascal

L= Vazamento freático

LD = Lado direito (diferença de nível)

LE = Lado esquerdo (diferença de nível)

Lv = Calor latente

MMA = Ministério do Meio Ambiente

N = Fotoperíodo médio  
ND = Número de dias  
NDP = Número de dias do período de precipitação  
O= Fluxos negativos (saída de água)  
( $\theta_{cc}$ ) = Capacidade de Campo  
P = Precipitação incidente (mm)  
Pc= Precipitação direta nos canais  
Pe = Peso (g)  
Pi = Precipitação interna (mm)  
Pp= Percolação profunda (vazamento por falhas na rocha)  
PS = Peso seco  
PU = Peso úmido  
Q= Deflúvio  
Q<sub>o</sub> = Radiação extraterrestre diária expressa em equivalente de evaporação (mm)  
R = Raio  
Rs= Escoamento superficial (em canais ou para superfície)  
Rss= Escoamento sub-superficial  
Rb= Escoamento básico (água subterrânea)  
S = Variação do armazenamento da água no solo  
S.M.A. = Secretaria do Meio Ambiente  
T = Temperatura em °C  
t= Transpiração  
Ta = Temperatura média anual  
Tmx = Temperatura máxima diária (°C);  
Tmn = Temperatura mínima diária (°C);  
Tmd = Temperatura média diária (°C).  
Tm = Temperatura média (°C)  
U= Vazamento (água que flui por fora do leito)  
V = Volume do pluviômetro (ml)

## SUMÁRIO

1. Introdução.....	5
2. Objetivos.....	7
2.1. Objetivo geral.....	7
2.2. Objetivos específicos.....	7
3. Revisão literária.....	8
3.1. Importância das florestas.....	8
3.2. Ciclo hidrológico.....	9
3.3. Bacias hidrográficas.....	10
3.3.1. Bacias hidrográficas como delimitadores de paisagem.....	12
3.3.2. Manejo de bacias hidrográficas.....	13
3.3.3. Legislação de recursos hídricos.....	14
3.3.4. Água no solo.....	17
3.3.5. Balanço hídrico em florestas.....	20
3.4. Balanço Hídrico de Bacias Hidrográficas.....	23
3.5. Escoamento em Bacias Hidrográficas.....	25
3.6. Infiltração de água nas bacias.....	29
3.7. Uso e cobertura do solo.....	31
3.8. Evaporação e evapotranspiração.....	32
3.9. Sistema de medição da interceptação.....	34
3.10 Perda por interceptação.....	34
3.11 Escoamento pelo tronco.....	35
3.12 Infiltrômetro.....	36
3.13 Medição da evapotranspiração .....	37
3.14 Pluviômetros.....	39
3.15 Tensiômetros de solo.....	41
4. Material e métodos.....	43
4.1. Local.....	43
4.2. Procedimento experimental.....	44
4.3. Classificação textural do solo.....	46

4.4. Determinação da declividade.....	46
4.5. Instalação das mesas coletoras de escoamento superficial.....	48
4.6. Montagem e instalação dos pluviômetros.....	52
4.7. Instalação dos tensiômetros de solo.....	54
4.8. Montagem e instalação dos coletores de escoamento pelo tronco.....	57
5. Resultados e discussões.....	61
5.1 Variações meteorológicas.....	61
5.1.1 Precipitação.....	61
5.1.2 Evapotranspiração real e temperatura.....	63
5.1.3 Escoamento superficial.....	64
5.1.4 Escoamento pelo tronco.....	65
5.2 Parâmetros físico-hídrico do solo.....	68
5.2.1 Umidade e densidade do solo.....	68
5.2.2 Curva característica de retenção de água no solo.....	69
5.2.3 Tensão de água no solo.....	73
5.2.4 Capacidade de armazenamento de água no solo.....	74
5.2.5 Balanço hídrico da água no solo.....	76
6. Conclusões.....	79
7. Referências.....	80



## 1. INTRODUÇÃO

A escassez da água atualmente é um dos grandes desafios para a manutenção da sobrevivência humana. Sendo a água um recurso limitado e finito, o seu desperdício pelo mau uso, aliado à poluição por efluentes dos mais diversos jogados em seu leito leva à inapropriação para o consumo da população ou mesmo a processos de indisponibilidade do fornecimento de água. O aumento populacional e a carência de planejamento para o seu uso tornam a disponibilidade da água limitada aos consumidores. A exploração das regiões de mata ciliar sem um repovoamento propiciam a erosão e causam assoreamento o que contribui para ampliar a escassez da água. Cabe levantar dados consistentes onde se possa aferir o real volume absorvido pela vegetação através de diversos métodos comprobatórios da importância da preservação das florestas como fonte de retenção e produção de água, sua importância na preservação das matas ciliares, gerando rios menos assoreados e com maior volume e fluxo de água no solo e aquíferos. Avaliar a evaporação e evapotranspiração nos darão parâmetros para confirmar a importância das florestas, quer como fragmentos ou mesmo como áreas consolidadas.

Do volume de água na Terra aproximadamente 97,3% é água salgada e apenas 2,7% é de água doce. Da água doce disponível, 77,2% se encontram em forma de gelo nas calotas polares, 22,4% se trata de água subterrânea, 0,35% se encontra nos lagos e pântanos, 0,04% se encontra na atmosfera e apenas 0,01% está nos rios (Romera e Silva, 2003). Os 3% restantes têm, aproximadamente, um volume de 35 milhões de quilômetros cúbicos. Grande parte deste volume está sob a forma de gelo na Antártida ou na Groelândia. Somente 100 mil km<sup>3</sup>, ou seja, 0,3 % do total de recursos de água doce está disponível e pode ser utilizado pelo Homem. Este volume está armazenado em lagos, fluí nos rios e continentes e é a principal fonte de suprimento acrescido de águas subterrâneas (GLEICK, 1993).

A característica essencial de qualquer volume de água superficial localizada em rios, lagos, tanques, represas artificiais e águas subterrâneas é a sua instabilidade e mobilidade. Todos os componentes sólidos, líquidos e gasosos (as três fases em que a água existe no planeta Terra) são parte do ciclo dinâmico da água, ciclo este, perpétuo. A

fase mais importante deste ciclo para o Homem é justamente a fase líquida, em que ela está disponível para pronta utilização.

São fatores que impulsionam o ciclo hidrológico: energia térmica solar, força dos ventos, que transportam vapor d'água para os continentes, força da gravidade responsável pelos fenômenos da precipitação, da infiltração e deslocamento das massas de água. Os principais componentes do ciclo hidrológico são a evaporação, a precipitação, a transpiração das plantas e a percolação, infiltração e a drenagem (PIELOU, 1998).

O Ribeirão Itaim tem sua nascente, aproximadamente, entre as coordenadas S 23°09'46" e W 45°36'28", localizada próximo da divisa de Taubaté, com os municípios de Caçapava e Redenção da Serra e sua foz, aproximadamente entre as coordenadas S 23°01'28" e W 45°30'23", localizada no interior da Fazenda Piloto do Departamento de Ciências Agrárias da Universidade de Taubaté. A bacia hidrográfica do Itaim encontra-se em estágio avançado de degradação ocasionado pela pouca vegetação natural existente, pelo baixo nível de conservação dos solos e das estradas, pela criação extensiva de gado bovino, existência de processos erosivos e nível de assoreamento dos cursos d'água, conforme evidenciado em Correa (2001).

A bacia do Ribeirão Itaim sofreu um processo gradativo de modificação na sua paisagem nas últimas duas décadas principalmente por causa da expansão urbana e pelo decréscimo das atividades agropecuárias. Neste período as mudanças na cobertura vegetal da bacia foram significativas e podem estar influenciando na dinâmica do escoamento superficial da área (AGUIAR, et al 2004).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Este trabalho tem por objetivo a caracterização do comportamento hidrológico de fragmento florestal, por meio do balanço hídrico, avaliando num período de 12 meses pela contabilização dos volumes de entradas e saídas de água.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Determinar o armazenamento de água no solo por meio de medidas de tensão de água no solo nas camadas de 0 a 40 cm, 40 a 60 cm e 60 a 120 cm.
- Aferir o volume de escoamento superficial da água no solo do fragmento florestal.
- Mensurar volume de escoamento pelo tronco em 16 espécies arbóreas.
- Realizar balanço hídrico do solo no fragmento florestal.

### **3. REVISÃO LITERÁRIA**

#### **3.1 Importância das florestas**

Os ecossistemas florestais são compostos por vegetação aérea (árvores) e terrestre (solos florestais); estes com inúmeras funções, tais como: (1) mitigação do clima (temperatura e umidade); (2) diminuição do pico do hidrograma (redução de enchentes e recarga para os rios); (3) controle de erosão; (4) melhoramento da qualidade da água no solo e no rio; (5) atenuação da poluição atmosférica; (6) fornecimento do oxigênio (O<sub>2</sub>) e absorção do gás carbônico (CO<sub>2</sub>), (7) prevenção contra ação do vento e ruídos, (8) recreação e educação; (9) produção de biomassa e (10) fornecimento de energia. Todas as funções atuam simultaneamente, sendo a maioria baseada na atividade biológica da própria floresta (KOBAYAMA, 2000).

A formação de florestas a partir de regeneração artificial, por meio de reflorestamentos, tem sido estabelecida desde muito tempo na América do Norte e na Europa com o objetivo da produção de madeira para fins industriais. Isto nos leva à importante missão de suprimento de madeira para fins industriais e para geração de energia, comparativamente às florestas naturais, já escassas e, em geral, ocupando áreas onde sua presença é muito mais importante para fins de conservação ambiental (LIMA 1996).

Lima (1996) cita que no período no qual o solo é manejado para receber as mudas, este permanece descoberto, desprotegido. As práticas de corte raso ao final do período de rotação são fatores que também podem resultar em perdas consideráveis de solo por erosão. As perdas de solo e de nutrientes prejudicam tanto a qualidade da água quanto a manutenção da produtividade.

Na hidrologia, há o consenso geral indicando que, em relação aos outros tipos de uso da terra, a floresta consome mais água e reduz a vazão no rio (HIBBERT, 1967; BOSCH e HEWLETT, 1982). Segundo TRIMBLE et al. (1987), a redução da vazão em bacias hidrográficas contendo florestas ocorre em função do aumento das perdas da água devido a evapotranspiração (interceptação + transpiração), sendo a redução maior nos anos secos do que nos chuvosos.

O conhecimento do papel das florestas sobre os vários aspectos da água é de fundamental importância no que diz respeito ao ciclo hidrológico, bem como, na elaboração de práticas de manejo florestal com a finalidade de manutenção e conservação hidrológica das bacias hidrográficas (LIMA, 2008).

A cobertura do solo é o fator mais importante no processo de escoamento superficial e da infiltração (Cogo et al., 1984; Moura et al., 2009) e, independente do tipo de cobertura vegetal, a velocidade do escoamento superficial diminui acentuadamente com o aumento na porcentagem de cobertura sobre o solo (Lopes et al., 1987; Costa et al., 2013).

### **3.2 Ciclo hidrológico**

A água atinge o solo como chuva, sendo uma parte armazenada no próprio solo, outra drenada através de seu perfil para as camadas mais profundas e, estando o solo já saturado, outra parte pode fluir através da superfície para drenos e cursos d'água. Uma porção da água no solo evapora na superfície, enquanto a outra é absorvida pelas raízes das plantas e evaporada ou transpirada para a atmosfera através de suas folhas. Essa circulação da água da atmosfera para o solo e seu retorno à atmosfera compreende o ciclo hidrológico (FAO. Faostat. 2006).

Para Silveira (1997), o estudo dos recursos hídricos implica em conhecimento do ciclo hidrológico, seus componentes e as relações entre eles. O ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre (Figura 1). O ciclo hidrológico envolve diversos processos, sendo condensação, precipitação, evapotranspiração, infiltração e percolação, exemplos de processos verticais, e os escoamentos superficial e sub superficial, exemplos de processos horizontais (KOBAYAMA, 1999).

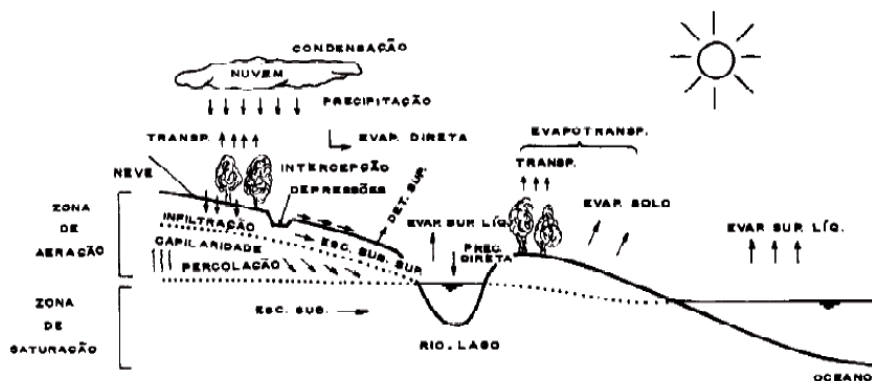


Figura 01: Ciclo hidrológico  
 Fonte: SILVEIRA, 1997

O ciclo hidrológico inicia com a evaporação da água dos oceanos; o vapor resultante deste processo é transportado pelo movimento das massas de ar e, sob determinadas condições, é condensado, formando as nuvens e estas podendo resultar em precipitação. A precipitação é dispersa de várias formas, ficando a maior parte temporariamente retida no solo próximo de onde caiu e retornando à atmosfera por evaporação e transpiração das plantas.

Uma parte da água restante escoar sobre a superfície do solo (infiltração) ou através do solo para os rios (escoamento sub superficial), enquanto que parte penetra profundamente no solo, indo suprir o lençol d'água subterrâneo (VILLELA e MATTOS, 1975).

### 3.3 Bacias hidrográficas

Bacia hidrográfica segundo Barrella (2001) é definida como um conjunto de terras delimitadas por divisores de água nas regiões mais altas do relevo, drenadas por um rio e seus afluentes, onde as águas pluviais, ou escoam superficialmente formando os riachos e rios, ou infiltram no solo para formação de nascentes e do lençol freático, tal que toda vazão efluente seja descarregada por uma simples saída (Figura 2).

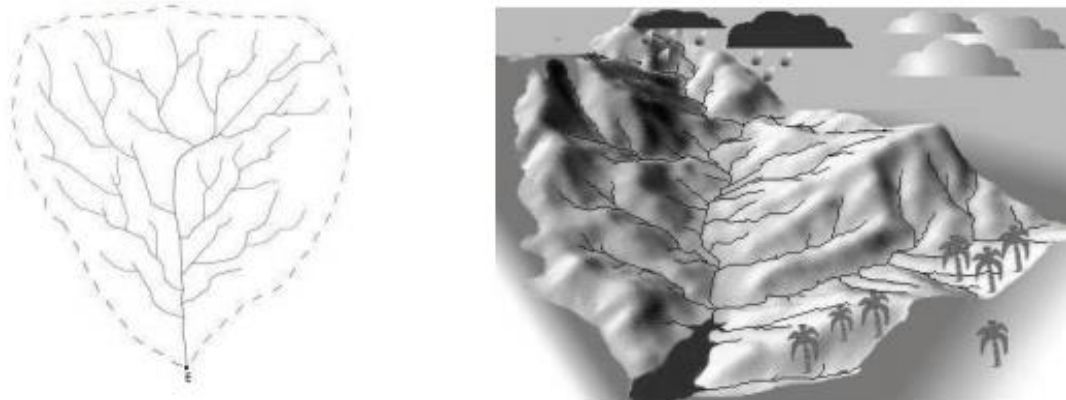


Figura 02: Bacia hidrográfica, divisores de água, sub-bacias e drenagem principal.  
Fonte: ANA, 2002.

A bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída. A bacia hidrográfica compõe-se de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no seu exutório (TUCCI, 1997).

No território compreendido entre os divisores de água (locais mais elevados que conformam os limites topográficos externos da bacia) e o exutório (local no curso de água principal para onde flui toda a água precipitada sobre a bacia hidrográfica) coexistem de forma interdependente e interagem, em um processo permanente e dinâmico, a água, os sistemas físicos, os sistemas bióticos (flora e fauna), além do sistema sócio econômico (população em geral e usuários dos recursos naturais) ali existentes. Adicionalmente, os cursos de água servem como elementos de comunicação entre os habitantes da bacia e, em muitos casos, desta com o exterior da mesma (adaptado de DOUROJEANNI et al., 2002). Word Vision (2004), ao definir bacia hidrográfica de forma semelhante ao acima citado, destaca, complementarmente, que este é um espaço tridimensional que integra as interações entre a cobertura do terreno, as profundidades do solo e o entorno das linhas divisórias das águas. Nele encontram-se os recursos naturais e a infraestrutura criada pelo homem, na qual este desenvolve suas atividades econômicas e sociais gerando diferentes efeitos favoráveis e desfavoráveis.

Esse conjunto forma um sistema que envolve quatro subsistemas:

a) Biológico: constituído pela flora e pela fauna existentes;

b) Físico: integrado pelo solo, subsolo, geologia, recursos hídricos e clima (temperatura, radiação, evaporação, entre outros);

c) Econômico: integrado por todas as atividades produtivas que realiza o homem envolvendo, dentre outros, a agricultura e a pecuária, a exploração de recursos naturais, a indústria e agroindústria, e, a infraestrutura de apoio e serviços (estradas, energia, assentamentos, cidades, dentre outros);

d) Social: composto pelos elementos demográficos, institucionais, propriedade de terras, saúde, educação, habitação, culturais, organizacionais, políticos e legal. Esses elementos variam de acordo com a dimensão da bacia e sua localização geográfica.

Também denominada de bacia de captação quando a bacia hidrográfica atua como coletora das águas pluviais, ou bacia de drenagem quando atua como uma área que está sendo drenada pelos cursos d'água (SILVA, 1995).

A bacia hidrográfica tem que ser considerada como unidade fundamental para o planejamento do uso e conservação de recursos múltiplos, onde a água, a madeira, os alimentos, as fibras, as pastagens, a vida silvestre, a recreação e outros componentes ambientais podem ser produzidos para atender às necessidades da crescente população mundial. (FAO, 1991 citado por LIMA, 2008).

### **3.3.1 Bacias hidrográficas como delimitadores de paisagem**

Bacias hidrográficas são compostas de ecossistemas adequados para avaliação dos impactos causados pela atividade antrópica podendo acarretar riscos ao equilíbrio e à manutenção da quantidade e a qualidade da água, estando estas variáveis relacionadas diretamente com o uso do solo (FERNANDES & SILVA, 1994; BARUQUI & FERNANDES, 1985).

Segundo Souza & Fernandes (2000) a paisagem de uma bacia hidrográfica pode ser dividida em zonas hidro geodinâmicas, conforme descrito abaixo:

Zonas de recarga: áreas com solos profundos e permeáveis, relevo suave, sendo fundamentais para o abastecimento dos lençóis freáticos. Estas áreas devem, dentro do possível, ser mantidas sob a vegetação nativa, uma vez que as mesmas exercem uma



grande influência sobre a redistribuição as água da chuva. Se estas áreas forem utilizadas e ocupadas com atividades agropecuárias, a função de recarga pode ser prejudicada pela impermeabilização decorrente da compactação dos solos pela mecanização agrícola ou pelo pisoteio do gado. O uso indiscriminado de agroquímicos poderá levar à contaminação do lençol freático carreados pelas águas que infiltram no solo. Nas diferentes bacias hidrográficas, estas áreas podem ser constituídas pelos topos de morros e chapadas.

As zonas de erosão se encontram imediatamente abaixo das áreas de recarga, onde se distribuem as vertentes em declives e comprimentos de rampas favoráveis a processos erosivos. A agricultura intensiva, o desrespeito às leis ambientais e de ordenamento territorial e a não observância da capacidade de uso do solo são alguns dos fatores que aceleram o processo de erosão, devido à forte correlação entre o uso agrícola do solo e a depreciação de seus atributos (MANFREDINI et al., 2014).

### **3.3.2 Manejo de bacias hidrográficas**

Para Brooks et al., (1991), o manejo de bacias hidrográficas como o processo de organizar e orientar o uso da terra e de outros recursos naturais numa bacia hidrográfica, a fim de produzir bens e serviços, sem destruir ou afetar adversamente o solo e a água.

De acordo com Lima (2008), esta estratégia de uso dos recursos naturais implica em dois importantes conceitos, a saber:

1º- Existe uma inter-relação delicada entre o uso da terra, o solo e a água. O que quer que aconteça a um, afetará os outros; 2º- Existe uma interligação entre as cabeceiras, a média bacia, a baixa bacia e o estuário. Em outras palavras, esta estratégia implica em que o uso dos recursos naturais, assim como qualquer outra atividade antrópica de alteração da paisagem, devem ser planejados com base nos limites naturais das bacias hidrográficas e não nos limites políticos (limite de propriedade, limite de municípios, etc.)

De acordo com Cecílio et al. (2007), os objetivos básicos do manejo de bacias hidrográficas são: (a) tornar compatível a produção com a preservação ambiental; e (b) concentrar esforços das diversas instituições presentes nas varias áreas de conhecimento,

a fim de que todas as atividades econômicas dentro da bacia sejam desenvolvidas de forma sustentável e trabalhadas integradamente.

Para tanto, é preciso observar, rigorosamente, a localização adequada das explorações e a maneira correta de executá-las.

O manejo correto de bacias hidrográficas envolve a elaboração de diversos diagnósticos que levantam todos os problemas da bacia, identificam os conflitos e indicam as soluções em todos os níveis, integrando conclusões e recomendações para a recuperação total do meio ambiente (são os prognósticos) (SILVA & RAMOS, 2001).

Os diagnósticos necessários ao manejo de bacias hidrográficas são:

- a) Físico-conservacionista
- b) Sócio econômico
- c) Ambiental
- d) Vegetação
- e) Água
- f) Fauna
- g) Solo

As práticas de manejo integrado de bacias hidrográficas vão além da aplicação de técnicas de manejo e conservação de solos em nível de propriedades rurais isoladas, pois integram medidas de saneamento básico e saúde pública; proteção de nascentes; critérios para delimitação de reservas florestais/ecológicas; recuperação de áreas degradadas; proposição de alternativas produtivas em consonância com as aptidões agroclimáticas das bacias hidrográficas e distribuição dos sistemas viários (SOUZA & FERNANDES, 2000).

### **3.3.3 Legislação de recursos hídricos**

A Lei n. 9.433/97 do Governo Federal tem entre os fundamentos da Política Nacional de Recursos Hídricos a água como um bem de domínio público, dotado de valor econômico, cujos usos prioritários são o abastecimento humano e a dessedentação de animais e cuja gestão deve tomar como unidade territorial a bacia

hidrográfica. Prevê, como diretriz geral de ação, a gestão integrada, e como instrumentos para viabilizar sua implantação os planos de recursos hídricos, o enquadramento dos corpos de água em classes segundo os usos preponderantes, a outorga de direito de uso, a cobrança pelo uso da água e o sistema de informação sobre recursos hídricos e a compensação aos municípios.

O Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos estabelecido pela Lei n. 9.433/97 deve cumprir os seguintes objetivos:

- coordenar a gestão integrada das águas;
- arbitrar administrativamente os conflitos ligados ao uso da água;
- implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos;
- planejar, regular e controlar o uso, a preservação e a recuperação dos recursos hídricos;
- promover a cobrança pelo uso da água.

E integram o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos:

- Conselho Nacional de Recursos Hídricos;
- Conselhos de Recursos Hídricos dos Estados e do Distrito Federal;
- Comitês de Bacia Hidrográfica;
- Órgãos de governo cujas competências se relacionem com a gestão de recursos hídricos;
- Agências de Água.

Criada em 2001 a Agência Nacional de Águas (ANA), vem complementar a estrutura institucional da gestão de recursos hídricos do país. É a entidade operacional do sistema com responsabilidade pela implantação da política nacional de recursos hídricos e que detém o poder outorgante de fiscalização e de cobrança pelo uso da água. Outra característica importante do sistema é a importância dada à participação pública. Há no sistema a garantia da participação de usuários e da sociedade civil em todos os plenários por ele constituídos, desde o Conselho Nacional de Recursos Hídricos até os Comitês de Bacia Hidrográfica. É a forma de dar legitimidade à decisão e é também a forma mais eficiente para garantir a implantação das decisões tomadas.

A Lei n. 9.433/97 é atual, avançada e importante para a ordenação do uso da água, mas implica mudanças importantes dos administradores públicos e dos usuários, já que agora precisam ser receptivos ao processo de parceria.

Desde o processo de discussão da lei, percebia-se a dificuldade da colocação dessas diretrizes em prática. Um dos principais desafios está em vencer a tradição de decisões centralizadas rumo à gestão regida pelo princípio da subsidiariedade (MMA, 2007).

Um ponto importante que merece destaque sobre a dificuldade de implantação desse modelo de gestão descentralizada e compartilhada é o entendimento, que até ocorre com muita frequência, de que a gestão social “substitui” o poder central. Ao poder central cabe a responsabilidade do disciplinamento e da garantia de uso do bem comum (MMA, 2007). À gestão social competem, de fato, a vigilância e a construção do pacto de sustentabilidade.

A organização institucional da bacia hidrográfica As atividades dos usuários de água em uma bacia hidrográfica são competitivas e se acirram à medida que diminui a disponibilidade hídrica per capita. A forma de dar sustentabilidade e equidade a essa competição foi definida pela Lei n. 9.433/97 e ela se dá por meio da instância de decisão local que são os Comitês de Bacia Hidrográfica. Gerenciar essa competição significa criar um conjunto de regras para a alocação da água, o que, em última instância, é a essência do sistema de gestão de recursos hídricos. Para que o conjunto de regras seja criado, são necessários os instrumentos de gestão que as institucionalizam e a criação da instância de decisão local.

Pela Lei n. 9.433/97, essa instância de decisão é denominada Comitê de Bacia Hidrográfica, por meio da qual a decisão é trazida para o nível local. Em razão do caráter sistêmico do conceito de bacia hidrográfica, a Lei n. 9.433/97 deixou que as bacias, na forma de unidades de gestão, fossem definidas caso a caso, dando a possibilidade de conformá-las de acordo com a escala e as características da problemática local.

A Lei n. 9.433/97 define apenas as atribuições dos Comitês de Bacia Hidrográfica, estando entre elas as obrigações de articulação entre os diversos

agentes, a atuação em primeira instância em caso de conflito, a aprovação do plano de recursos hídricos e a aprovação da implantação da cobrança e da proposta de preço.

Pode-se perceber que são atividades essencialmente de articulação e construção de consensos. Os comitês de bacia têm em sua composição, embora em 50 estudos avançados 22 (63), 2008 diferentes partições do número de assentos dependendo da titularidade das águas, membros dos diversos níveis de governo, dos agentes privados e da sociedade civil. Sabe-se que as decisões que saem do consenso formam pactos e tendem a ser mais sustentáveis, mas sabe-se também que são mais demoradas.

#### **3.3.4 Água no solo**

O solo é composto de partículas minerais, matéria orgânica, solução do solo, ar, bactérias, fungos, algas, protozoários, insetos etc. A parte mineral pode ser dividida em diversas classes de tamanho: cascalho, areia grossa, areia fina, limo, argila. Destas, apenas a argila tem tamanho coloidal. A textura do solo refere-se às quantidades relativas destes vários componentes. Já a maneira pela qual estes vários componentes encontram-se arranjados para formar os agregados define a estrutura do solo.

Apenas parte da água que um solo pode reter fica disponível para as plantas. Essa parte é comumente compreendida como a água retida entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente. Fundamentalmente, as forças responsáveis pelo movimento de água no sistema solo-planta-atmosfera são os gradientes de potenciais gravitacional, matricial, de pressão e osmótico, sendo o movimento de água um processo espontâneo à procura de um potencial (ou estado de energia) mais baixo. O processo de absorção de água do solo não consome diretamente energia metabólica da planta. Entretanto, a atividade metabólica da planta é responsável pela composição da água da planta (sais minerais, açúcares, etc.) e é ela que determina o potencial osmótico (FAO, 2006).

A estrutura do solo pode ser afetada pela textura, pela matéria orgânica, pela atividade biológica, etc. Uma camada de areia fina, por exemplo, só apresenta grãos individuais, sem qualquer arranjo entre si, isto é, sem agregação, com fraca estrutura. Com a adição de argila ou de matéria orgânica, todavia, pode-se criar uma tendência para a formação de agregados, ou seja, uma tendência de estruturação. Esta melhor estruturação vai mudar a distribuição dos tamanhos dos poros (mudar a proporção de poros grandes e poros pequenos), e, em geral, conduzir a um aumento da porosidade total. A água é uma substância muito difundida na natureza, sendo encontrada principalmente em sua forma líquida. Nas formas líquida e sólida a água cobre mais de 2/3 do planeta, e na forma gasosa é constituinte da atmosfera, estando presente em toda parte (WALTON, 1970).

A água pode também passar para o estado gasoso a temperaturas menores que 100°C, mas tal vaporização, denominada evaporação, requer maior quantidade de calor. O calor latente de vaporização pode ser determinado por:

$$Lv = 597,3 - 0,564.TLv \quad [\text{Eq.01}]$$

Onde:

T = temperatura em °C, e Lv = cal/g.

O calor latente de sublimação, por sua vez, é dado pela soma do calor latente de fusão e do de vaporização. A 0°C, por exemplo, a sublimação de 1 g de gelo envolveria a utilização de 677 cal. Mais de 3/4 do volume de água doce do planeta encontra-se na forma sólida, estando a maior parte deste total nas regiões polares e em altas altitudes. Em regiões de clima temperado, por outro lado, uma quantidade adicional de água permanece no estado sólido durante alguns meses de cada ano. Entre as temperaturas de 0°C (ponto de fusão) e de 100°C (ponto de ebulição), considerando pressão atmosférica normal, a água encontra-se no estado líquido, correspondendo a 98 % do total de água no planeta. Neste intervalo de temperatura, o calor específico médio da água (estado líquido) é de 1,0 cal/g.°C. Este calor específico é extremamente alto em comparação com outras substâncias (Ex.: gelo = 0,5; Al = 0,2; Fe = 0,1; Hg = 0,03; ar = 0,17; etc.).

Por esta razão, a água funciona como um "sistema tampão para a energia disponível na natureza" (REICHARDT, 1975). Ou seja, muita energia é normalmente necessária para elevar muito pouco a temperatura da água.

Há um momento de extrema importância na disponibilidade das águas para as plantas, animais e o homem: o que ocorre no instante da queda das chuvas. Se a precipitação cai sobre solos possuidores de características favoráveis à infiltração (boa cobertura vegetal, com restos orgânicos na superfície, com altos teores de matéria orgânica, bem estruturados), os mesmos terão um reabastecimento na zona radicular adequado ao desenvolvimento das plantas (ANTUNES, 1992). O excesso de água não retido na zona radicular vai para as camadas profundas do solo, até atingir a região do lençol freático, reabastecendo-o. A água do lençol freático, locomovendo-se sempre em direção às partes mais baixas, vai dar origem às fontes d'água e aos minadores dos brejos. A soma das vazões de milhares dessas nascentes, de águas límpidas e de qualidade superior, dá origem aos rios. Assim, o freático representa uma represa natural, invisível, com imensa superfície, comparável à da própria bacia hidrográfica, capaz de reter e liberar água sem ação erosiva, em vazões relativamente estáveis, quando devidamente reabastecido. Por outro lado, a situação é bem diferente quando as chuvas caem em solo desprovido de cobertura vegetal, como aqueles que sofrem queimadas e têm a superfície desnuda. Por ter prejudicada a sua capacidade de reter água na superfície e apresentar menor permeabilidade, parte da chuva escoar sobre o solo, dando origem às enxurradas. Portanto, se a superfície do solo perdeu a cobertura vegetal (desmatamento, queimadas, uso agrícola indevido), a chuva tem tendência ao escoamento superficial, em vez da infiltração. As áreas desmatadas, as que sofreram terraplenagem, perdendo a cobertura vegetal protetora, e as que tiveram a proteção natural perdida por qualquer motivo estão sujeitas à ação devastadora da terrível dupla enxurrada-erosão, em que a primeira é a causa e a segunda, o efeito. Ao contrário do movimento lento das águas infiltradas, de longa duração e movimentando águas límpidas, as enxurradas são de duração curta, mas de alta erosividade, com vazões caudalosas e águas barrentas, portadora dos sedimentos erodidos, causando enchentes que, embora de curta duração, deixam a terra ferida pela erosão nas partes altas e sedimentos e estragos, por onde ocorre sua passagem. Além da perda causada pela

erosão e nas enchentes, o volume d'água escoado não contribui para as reservas do solo e, por consequência, as fontes vão ter a vazão comprometida, com reflexo na descarga dos cursos d'água por elas formados.

### 3.3.5 Balanço hídrico em florestas

O balanço hídrico em florestas é concebido através de análise quantitativa dos fluxos de água em áreas com presença de cobertura florestal onde são avaliados os processos de entrada de água no sistema (precipitação incidente, ascensão capilar e fluxos laterais de água no solo), interações com a cobertura florestal (interceptação, armazenamento no dossel, escoamento pelo tronco e precipitação interna) e saídas de água no sistema (escoamento superficial direto, escoamento subsuperficial, drenagem profunda, evaporação da água no solo, evaporação da água armazenada nas superfícies vegetais e transpiração).

A água da atmosfera (vapor) constitui a água precipitável. Se o total de vapor atmosférico se precipitasse, a chuva correspondente seria de cerca de 25,5 mm. uniformemente distribuída sobre toda a superfície da esfera terrestre. Este reservatório (vapor atmosférico) é repostado continuamente pela evaporação e é descarregado pela precipitação, sendo esta a única fonte renovável de água doce para a superfície (LIMA, 2008).

A precipitação média no planeta é de aproximadamente 940 mm por ano. Numa dada área, a quantidade de água envolvida em cada fase do ciclo hidrológico pode ser avaliada através da chamada equação do balanço hídrico, que é a própria lei da conservação da massa:

$$I^+ - O = S \quad [\text{Eq.02}]$$

Onde

$I^+$  = fluxos positivos (entrada de água)

$O$  = fluxos negativos (saída de água)

$S$  = variação no armazenamento.



A água no ciclo hidrológico movimenta-se continuamente: nuvens, chuva, cursos d'água, ondas e correntes oceânicas, etc. Em escala global, esta movimentação representa as trocas que ocorrem entre a terra, o oceano e a atmosfera. Quantitativamente, estas trocas equivalem aos seguintes valores médios anuais (Tabela 1):

Tabela 1: Balanço hídrico médio anual para a Terra  
 Fonte: Baumgartner & Reichel, 1975, citado por LEE, 1980.

<b>PROCESSOS</b>	<b>CONTINENTES</b>	<b>OCEANOS</b>	<b>PLANETA</b>
Área (10 <sup>6</sup> km <sup>2</sup> )	148,9	361,1	510
Volume (10 <sup>3</sup> km <sup>3</sup> )			
Precipitação (P)	111	385	496
Evaporação (E)	-71	-425	-496
Descarga (Q)	-40	40	0
Altura (mm)			
Precipitação	745	1066	1811
Evaporação	-477	-1177	-1654
Descarga	-269	111	-158

Considerando arbitrariamente P com sinal positivo, E com sinal negativo e Q positivo para o oceano e negativo para o continente, pode-se escrever a equação do balanço hídrico para condições estáticas (isto é, considerando o armazenamento constante) de acordo com o seguinte:

$$P - E \pm Q = 0 \quad [\text{Eq.03}]$$

Onde:

P = Precipitação

E = Evaporação

Q = Descarga

Segundo Horikoshi e Fisch (2007) o balanço hídrico climatológico no solo para Taubaté com dados de 1992 a 2005 revelou um superávit de 263 mm, onde a precipitação total anual é de 1336 mm contra uma Evapotranspiração de 1073 mm. Observaram também nesse balanço, um déficit de 34 mm em um período de 4 meses,

mas que o excedente é de 5 meses totalizando 297 mm. Para os cenários futuros foram utilizados dados mensais de precipitação e temperatura do ar entre os anos de 1950 e 2099, calculados pelo modelo HadCM3. Este algoritmo foi desenvolvido pelo Serviço Meteorológico Britânico (United Kingdom Meteorological Office) e é um modelo acoplado oceano-atmosfera, possuindo as seguintes características: a componente atmosférica tem 19 níveis com uma resolução espacial de 2,5 x 3,75 graus de latitude/longitude, produzindo uma grade global de 96 x 73 células, que equivalem a uma resolução de 417 km x 278 km na linha do Equador, passando para 295km x 278km a 45° de latitude (Tabela 02).

Tabela 2: Balanço Hídrico – II: Município de Taubaté (2010-2039) para o cenário A2  
 Fonte: Horikoshi, A. S.; Fisch, G., 2007

<b>BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO - MUNICÍPIO DE TAUBATÉ (2010-2039)</b>											
	<b>T</b>	<b>ETp</b>		<b>ETP</b>	<b>P</b>		<b>ARM</b>	<b>ALT</b>	<b>ETR</b>	<b>DEF</b>	<b>EXC</b>
<b>MÊS</b>			<b>Cor</b>			<b>P-ETP</b>					
	(°C)	mm		mm	mm		mm	mm	Mm	mm	mm
<b>JAN</b>	25,10	117,36	1,15	135	178	43	100	0	135	0	43
<b>FEV</b>	105,60	114,95	1,00	115	138	23	100	0	115	0	23
<b>MAR</b>	24,10	105,60	1,05	111	111	0	100	0	111	0	0
<b>ABR</b>	22,40	87,33	0,97	85	70	-15	86	-14	84	1	0
<b>MAI</b>	19,50	60,91	0,95	58	49	-9	79	-7	56	2	0
<b>JUN</b>	17,60	46,67	0,89	42	46	4	83	4	42	0	0
<b>JUL</b>	18,20	50,92	0,94	48	46	-2	81	-2	48	0	0
<b>AGO</b>	20,60	70,25	0,98	69	62	-7	76	-5	67	2	0
<b>SET</b>	23,00	93,53	1,00	94	129	35	100	24	94	0	11
<b>OUT</b>	24,10	105,60	1,09	115	192	77	100	0	115	0	77
<b>NOV</b>	24,30	107,89	1,10	119	206	87	100	0	119	0	87
<b>DEZ</b>	24,60	111,39	1,17	130	194	64	100	0	130	0	64
<b>ANO</b>	22,40			1121	1421	300		0	1116	5	305

Segundo PAULA et al (2013) o balanço hídrico climatológico no solo para o período de maio de 2009 a Fevereiro de 2011 indicou um acúmulo de 258,7 mm, evidenciando o excesso hídrico no período de novembro de 2009 até a segunda quinzena de março de 2010. Para o período de maio de 2010 a abril de 2011 mesmo com uma precipitação de 180 mm no período seco, o balanço hídrico climatológico ficou negativo a partir da segunda quinzena de abril de 2010 até novembro de 2010, acontecendo à reposição e o excedente hídrico a partir de novembro até março de 2011.

### 3.4 Balanço Hídrico de Bacias Hidrográficas

O balanço hídrico se completa na bacia hidrográfica (unidade geomorfológica), sendo que qualquer ponto da superfície faz parte de uma bacia hidrográfica. Dos menores vales até a grande bacia amazônica, sempre existe uma discreta área de terreno que capta a água da chuva, perde água por evaporação, e produz o restante como deflúvio ou escoamento superficial. Esquematicamente, os processos envolvidos no balanço hídrico de uma bacia hidrográfica podem ser observados na Figura 3.

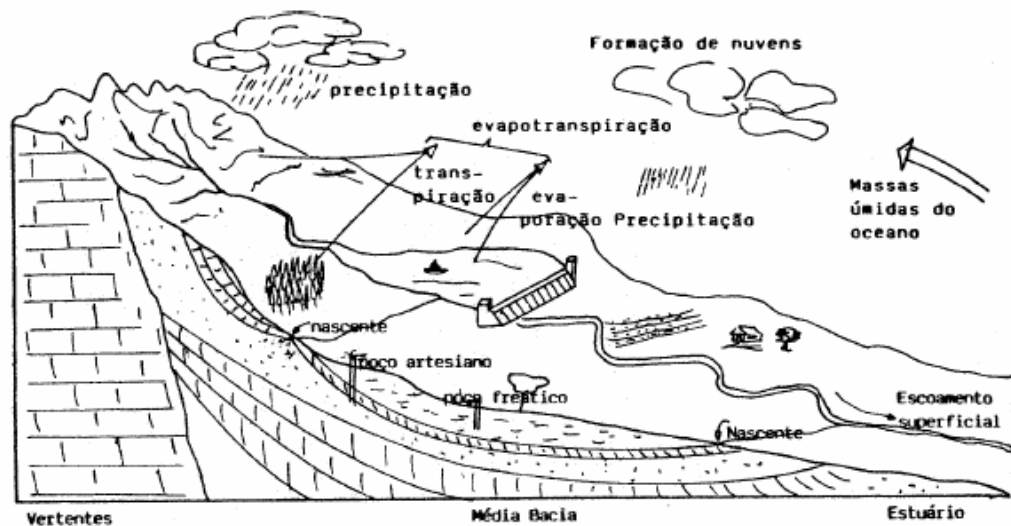


Figura 3: Processos hidrológicos envolvidos no balanço hídrico.  
Fonte: LIMA, 2008

A modelagem dos vários processos envolvidos no balanço hídrico de uma bacia, de acordo com a Figura 3, pode ser visualizada através do esquema da seção transversal de um canal principal, de uma bacia hidrográfica, mostrado na Figura 4.

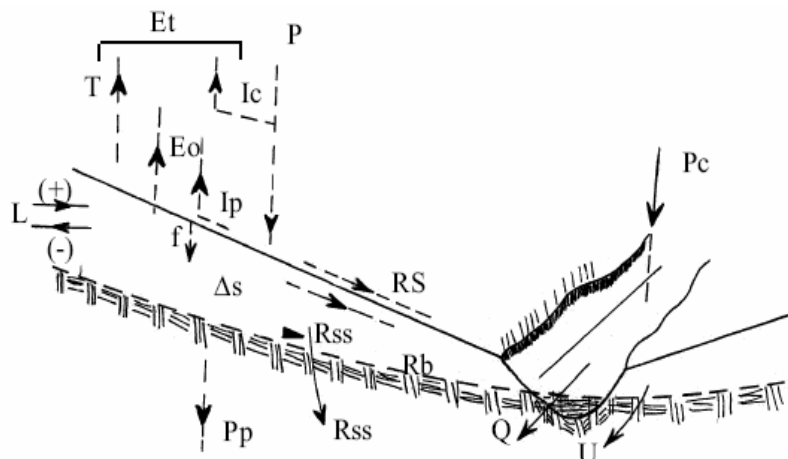


Figura 4: Seção transversal de uma bacia hidrográfica com as variáveis hidrológicas envolvidas no balanço hídrico.

Fonte: LIMA, 2008

Onde, as variáveis calculadas em mm, são as seguintes:

- P= precipitação medida no aberto = P. total
- t= transpiração
- Ic= interceptação pelas copas
- Ip= interceptação pelo piso
- Eo= evaporação do solo e de superfícies líquidas
- EVT= evapotranspiração (total de perdas por evaporação)
- Q= deflúvio
- S= variação do armazenamento da água do solo
- L= vazamento freático
- Pp= percolação profunda (vazamento por falhas na rocha)
- Rs= escoamento superficial (em canais ou para superfície)
- Rss= escoamento sub-superficial
- Rb= escoamento básico (água subterrânea)
- f= infiltração
- Pc= precipitação direta nos canais
- U= vazamento (água que flui por fora do leito)

De forma simplificada, para um dado período de tempo a equação do balanço hídrico será:

$$P = (T + Ic + Ip + Eo) + Q + S \pm L + U \quad [\text{Eq.04}]$$

Considerando uma bacia hidrográfica ideal, isto é, onde todos os fluxos positivos e negativos possam estar sob controle experimental, e onde não ocorram vazamentos (L ou U), e nem perdas por percolação profunda (PP), para um dado

período a equação completa acima pode ser simplificada de acordo com o seguinte modelo:

$$P - EVT - Q \pm S = 0 \quad [\text{Eq.05}]$$

Estas condições ideais são essenciais para que se possa utilizar uma bacia qualquer como área experimental para estudos de hidrologia florestal.

### 3.5 Escoamento em bacias hidrográficas

O escoamento superficial origina-se pela ocorrência de precipitações. Chegando ao solo, parte da água se infiltra, outra é retirada pelas depressões do terreno e parte se escoam pela superfície. Primeiramente a água se infiltra; tão logo a intensidade da chuva exceda a capacidade de infiltração do terreno, a água é coletada pelas pequenas depressões. Quando o nível à montante se eleva e superpõe o obstáculo (ou o destrói), o fluxo se inicia, seguindo as linhas de maior declive, formando sucessivamente as enxurradas, córregos, ribeirões, rios e reservatórios de acumulação. É uma das fases básicas mais importantes do ciclo hidrológico, pois a maioria dos estudos hidrológicos está ligada ao aproveitamento da água superficial e à proteção contra os efeitos causados pelo seu deslocamento (Figura 5).

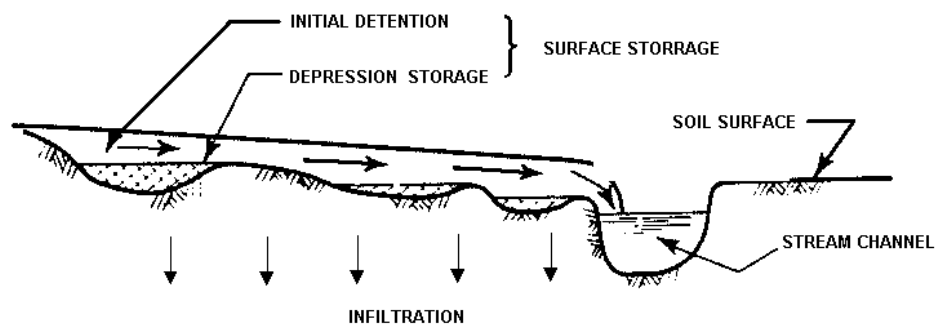


Figura 5: Escoamento superficial  
Fonte: GRAY, 1973

A água, uma vez precipitada sobre o solo, pode seguir três caminhos básicos para atingir o curso d'água: o escoamento superficial, o escoamento subsuperficial (hipodérmico) e o escoamento subterrâneo, sendo as duas últimas modalidades sob velocidades mais baixas. Observa-se que o deflúvio direto abrange o escoamento superficial e grande parte do sub superficial, visto que este último atinge o curso d'água tão rapidamente que, comumente, é difícil distingui-lo do verdadeiro escoamento superficial.

O escoamento de base, constituído basicamente do escoamento subterrâneo, é o responsável pela alimentação do curso d'água durante o período de estiagem. Durante uma chuva, a área da microbacia que contribui para a formação do deflúvio resume-se aos terrenos que margeiam a rede de drenagem, sendo que nas porções mais altas da encosta a água da chuva tende principalmente a infiltrar-se e escoar até o canal mais próximo através de processo sub superficial (LIMA, 1995), (Figura 6).

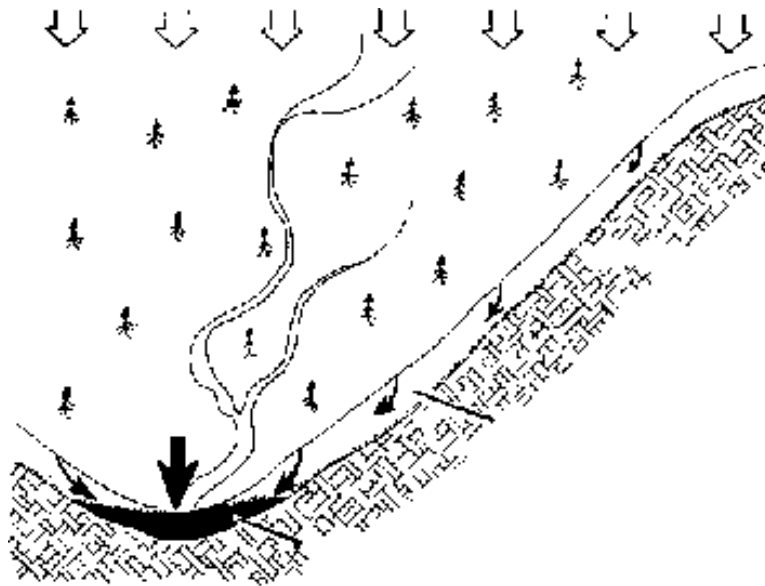


Figura 6: Visualização do conceito de "área variável de afluência" (AVA) na geração do deflúvio em microbacias.  
Fonte: HEWLETT & HIBBERT, 1967.

Com o prolongamento da chuva, estas áreas de origem tendem a se expandir, não apenas em decorrência da expansão da rede de drenagem, como também pelo fato de que áreas críticas da microbacia, tais como áreas saturadas, áreas de solo mais raso, etc. participam da geração do escoamento direto.

A sequência apresentada na Figura 7 permite uma melhor visualização deste processo dinâmico do conceito da área variável de afluência.

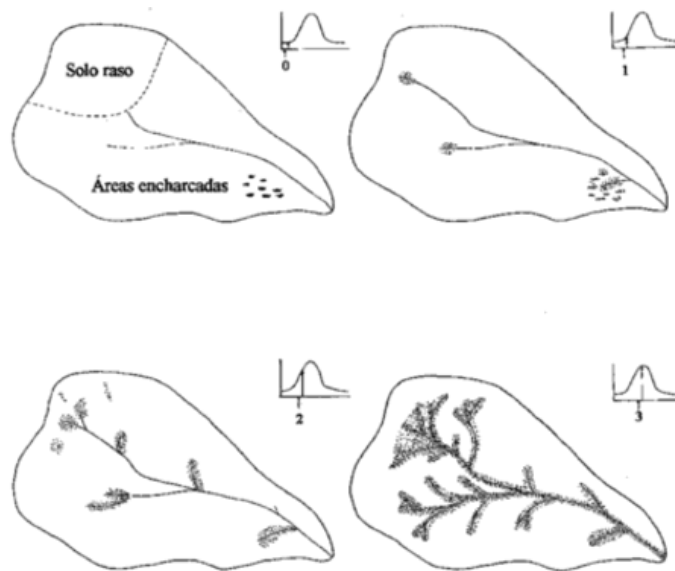


Figura 7 - Ilustração do conceito de "área variável de afluência" no processo de geração do escoamento direto de uma chuva em microbacia.  
Fonte: HEWLETT & HIBBERT, 1967.

Em microbacias de clima úmido, (principalmente àquelas com cobertura florestal) o escoamento superficial ("hortoniano") raramente ocorre, a não ser em partes isoladas da microbacia, onde existem condições de baixa infiltração; ficando restrito, conforme ilustraram as figuras 6 e 7, ao longo da área variável de afluência, que se encontra, normalmente, sempre em condições de saturação. Nas demais partes da microbacia, como já foi dito anteriormente, a água da chuva tende antes a se infiltrar, alimentando o escoamento sub superficial, que por ser rápido participa também do escoamento direto da chuva. Ainda LIMA (1995), em trabalho sobre hidrologia de matas ciliares, destaca que nas áreas com boas condições de cobertura vegetal, a ocorrência de escoamento superficial hortoniano ao longo de todas as partes da microbacia é rara ou mesmo ausente. Por outro lado, áreas parciais da microbacia podem produzir escoamento superficial mesmo quando a intensidade da chuva seja inferior à capacidade de infiltração média para a microbacia como um todo; e estas áreas são:

- a) zonas saturadas que margeiam os cursos d'água e suas cabeceiras, as quais podem se expandir durante as chuvas prolongadas (zonas ripárias);
- b) concavidades do terreno, para as quais convergem as linhas de fluxo, como as concavidades frequentemente existentes nas cabeceiras (também parte da zona ripária);
- c) áreas de solo raso, com baixa capacidade de infiltração.

E assim, apenas parte da microbacia contribui, efetivamente, para o escoamento direto de uma chuva. Nas situações (a) e (b) o processo que ocorre foi denominado de "escoamento superficial de áreas saturadas", o qual ocorre mesmo que a intensidade da chuva seja inferior à capacidade de infiltração do solo. Parte deste processo pode ocorrer na forma de interfluxo lateral e, portanto não se trata de escoamento hortoniano. (CHORLEY, 1978).

A cobertura do solo é o fator mais importante no processo de escoamento superficial e da infiltração (Cogo et al., 1984; Moura et al., 2009) e, independente do tipo de cobertura vegetal, a velocidade do escoamento superficial diminui acentuadamente com o aumento na porcentagem de cobertura sobre o solo (Lopes et al., 1987; Costa et al., 2013).

Para Rodrigues, et al (2014), a Bacia do Itaim apresenta solos do tipo C, estes geram escoamento superficial acima da média e baixa capacidade de infiltração, por conter porcentagem considerável de argila pouco profundo, segundo definição de grupos hidrológicos para o Estado de São Paulo. Segundo Sartori et al. (2005), solo tipo C compreende com baixa taxa de infiltração quando completamente molhados, principalmente com camadas superiores para inferiores, ou com textura com textura moderadamente fina a fina, pois são compostos por argila e silte. A infiltração, desta forma será influenciada pela cobertura do solo e pelos teores de silte e areia grossa. Os resultados de escoamento superficial e coeficiente de escoamento (C) em função das precipitações máximas com duração de 180 minutos e períodos de retorno, variando



de 2 a 200 anos, para a bacia do Itaim encontram-se na Tabela 3, onde se verifica que o escoamento superficial tende a reduzir em 2020, onde se prevê uma política de florestamento das áreas de preservação.

Tabela 03: Escoamento superficial e do Coeficiente de Escoamento C em função das precipitações máximas com duração de 180 minutos e períodos de retorno, variando de 2 a 200 anos, para a bacia do Itaim.

Fonte: RODRIGUES, A. B. et al., 2014.

TR	Prec.Max. (mm.)	Pe (mm.)			Coeficiente C		
		1986 <sup>1</sup>	2003 <sup>2</sup>	2020 <sup>3</sup>	1986 <sup>1</sup>	2003 <sup>2</sup>	2020 <sup>3</sup>
2	54,4	8,26	6,72	0,83	0,15	0,12	0,02
5	70,3	16,05	13,76	3,69	0,23	0,2	0,05
10	80,8	22,05	19,31	6,51	0,27	0,24	0,08
15	86,7	25,67	22,68	8,37	0,30	0,26	0,10
20	90,9	28,34	25,18	9,81	0,31	0,28	0,11
25	94,1	30,42	27,13	10,97	0,32	0,29	0,12
50	103,9	37,04	33,37	14,82	0,36	0,32	0,14
100	113,7	43,98	39,95	19,1	0,39	0,35	0,17
200	123,5	51,19	46,83	23,75	0,41	0,38	0,19

### 3.6 Infiltração de água nas bacias

A dinâmica da água no solo é um processo contínuo que controla o movimento dos elementos químicos que intervêm nos processos de formação e evolução dos solos, na disponibilidade de nutrientes para as plantas e na satisfação da demanda hídrica (Maciel Netto et al., 2000). Esse movimento é diretamente dependente das características físico-hídricas do solo e pode ser descrito pela taxa de infiltração e pela condutividade hidráulica. Este último parâmetro representa a facilidade que o fluido tem para percolar através do solo (Wang et al., 1998).

Segundo Guerra (2000) e Carvalho (2002), a taxa de infiltração e a retenção de água pelo solo são importantes, pois auxiliam na definição de políticas de proteção e de conservação do solo e da água, planejamento de sistemas de irrigação e drenagem, bem como na composição de uma imagem mais real da retenção, movimento, redistribuição e conservação da água no solo. A compreensão e a avaliação da

capacidade de armazenamento de água no solo, bem como os fluxos que ocorrem tanto na superfície (infiltração e evaporação) quanto na profundidade do solo (drenagem interna), são importantes quando se trata da irrigação, drenagem, erosão, biologia da fauna e flora desse solo, lixiviação de elementos químicos, poluição do solo e da água, entre outros aspectos.

Libardi (2005) descreve que durante o processo de infiltração, estando o solo inicialmente seco, a capacidade de infiltração tende a decrescer com o tempo, atingindo um valor final, conhecido como capacidade de infiltração mínima. Pode ser considerada a propriedade que melhor reflete as condições físicas do solo, sua qualidade e estabilidade estrutural (Bertol et al., 2000; Angelotti Netto e Fernandes, 2005).

O processo de infiltração depende, em maior ou menor grau, de diversos fatores. Rawls et al. (1996) classificam em quatro categorias os fatores que interferem na infiltração: os ligados ao solo, que incluem a textura do solo (Silva e Kato, 1997), massa específica (Sales et al., 1999), teor de matéria orgânica, porosidade (Everts e Kanwar, 1992) e tipo de argila e químicas, além da umidade (Araújo Filho e Ribeiro, 1996), capacidade de retenção e a condutividade hidráulica. Os fatores relacionados à superfície interferem no movimento da água através da interface ar-solo.

O manejo do solo afeta a capacidade de infiltração à medida que interfere nas propriedades do solo e nas condições da superfície (cultivos agrícolas e irrigação) e nos fatores naturais que incluem precipitação, mudança de estação, umidade e temperatura (Cecilio, 2002). Alves e Cabeda (1999) determinaram a capacidade de infiltração em um Argissolo Vermelho-escuro, submetido ao preparo convencional e ao sistema plantio direto, usando chuva simulada com duas intensidades. Os resultados mostraram que o preparo convencional favoreceu o selamento superficial do solo, refletindo, assim, uma maior taxa de decréscimo da infiltração, menor infiltração acumulada e menor taxa constante de infiltração. O preparo convencional apresentou capacidade de infiltração 41% inferior à encontrada para o plantio direto.

### 3.7 Uso e cobertura do solo

O conhecimento e o monitoramento do uso e ocupação da terra é primordial para a compreensão dos padrões de organização do espaço, uma vez que suas tendências possam ser analisadas. Este monitoramento consiste em buscar conhecimento de toda a sua utilização por parte do homem ou, quando não utilizado pelo homem, a caracterização de tipos de categorias de vegetação natural que reveste o solo, como também suas respectivas localizações. De forma sintética, a expressão “uso da terra ou uso do solo” pode ser entendida como sendo a forma pela qual o espaço está sendo ocupado pelo homem (ROSA, 2007).

Os conceitos relativos ao uso da terra e cobertura da terra são muito próximos, por isso, muitas vezes são usados indistintamente. Cobertura da terra está diretamente associada com tipos de cobertura natural ou artificial, que é de fato o que as imagens de sensoriamento remoto são capazes de registrar. Imagens não registram atividades diretamente. Cabe ao interprete buscar as associações de reflectâncias, texturas, estruturas e padrões de formas para derivar informações acerca das atividades de uso, a partir do que é basicamente informações de cobertura da terra (ARAUJO FILHO et. al., 2007). Novo (1989) explica que o “termo Uso da Terra refere-se a utilização cultural da terra, enquanto que o termo “cobertura da terra” ou “land cover” refere-se ao seu revestimento”.

A análise da estrutura da paisagem através dos fragmentos e das classes de uso e cobertura da terra tem sido utilizada como uma importante ferramenta no estudo temporal envolvendo imagens de satélite e fotografias aéreas, pois possibilitam avaliar as alterações ocorridas na paisagem, em decorrência das diferentes formas de uso e cobertura da terra e o entendimento das mudanças nas condições ambientais de uma região, servindo de subsídio para as políticas de planejamento territorial (SOARES FILHO, 1998).

Como afirma o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), (2013), a principal função da cartografia é representar, de forma padronizada e organizada, a realidade existente, com a finalidade de atender aos mais diversos ramos de

atividades. Para se ter essas representações confeccionam-se mapas e cartas temáticas. Segundo Rosa (2001), a análise temporal do uso e ocupação do solo permite acompanhar a evolução dos padrões de organização do espaço geográfico, facilitando a compreensão de impactos ambientais gerados em consequência do uso inadequado da terra.

### **3.8 Evaporação e evapotranspiração**

A evaporação é o processo no qual a água se transforma do estado líquido para o de vapor. Embora o vapor d'água possa ser formado diretamente, a partir da fase sólida, o interesse da hidrologia está concentrado nas perdas por evaporação, a partir de superfícies líquidas (transformação de líquido em gás). Além da evaporação, o retorno da água para a atmosfera pode ocorrer através do processo de transpiração, no qual a água absorvida pelos vegetais é evaporada a partir de suas folhas. Evapotranspiração é o total de água perdida para a atmosfera em áreas onde significativas perdas de água ocorrem através da transpiração das superfícies das plantas e evaporação do solo. A evaporação e a transpiração representam uma porção significativa do movimento da água através do ciclo hidrológico. Em comparação com o escoamento, a evaporação e transpiração não são variáveis muito importantes para a engenharia hidrológica. Com exceção de algumas situações de projeto, a evaporação é considerada apenas como parte da equação de perdas, representando uma pequena fração das perdas durante uma precipitação. Evaporação é o processo físico no qual um líquido ou sólido passa ao estado gasoso, devido à radiação solar e aos processos e difusão molecular e turbulenta. Além da radiação solar, outras variáveis como: temperatura do ar, vento e pressão de vapor, também interferem na evaporação principalmente em superfícies livres de água. A evapotranspiração é considerada como a perda de água por evaporação do solo e transpiração das plantas. A evapotranspiração é importante para o balanço hídrico de uma bacia como um todo e, principalmente, para o balanço hídrico agrícola, que poderá envolver o cálculo da necessidade de irrigação. O solo, as plantas e a atmosfera podem ser considerados como componentes de um sistema fisicamente inter-relacionado e dinâmico, no qual

os vários processos de fluxo estão interligados como os elos de uma corrente. Neste sistema o fluxo de água ocorre dos pontos de maior potencial para os de menor potencial (o fluxo ocorre em direção do gradiente de potencial negativo).

A quantidade de água transpirada diariamente é grande em relação às trocas de água na planta, de modo que se pode considerar o fluxo através da planta, em curtos períodos de tempo, como um processo em regime permanente. As diferenças de potencial, em distintos pontos do sistema são proporcionais à resistência do fluxo. A menor resistência ao fluxo é encontrada na planta. E a maior resistência é encontrada no fluxo das folhas para a atmosfera, devido à mudança do estado líquido para vapor. A passagem para a atmosfera ocorre através dos estômatos localizados nas folhas e a diferença total do potencial entre o solo e a atmosfera pode chegar a centenas de bares. O transporte de água desde as folhas até a massa de ar ocorre também através do processo de difusão de vapor, sendo proporcional ao gradiente de tensão do vapor de água. A umidade relativa, ou seja, a relação entre a tensão real e a de saturação de vapor, relaciona-se exponencialmente com o potencial hídrico.

De acordo com Berlato e Molion (1981), o controle exercido pela vegetação seria através da sua estrutura, afetando o albedo, a rugosidade e o sistema radicular. Na medida em que diminui a umidade do solo, ocorrem restrições à transferência de água para a atmosfera, que passa a depender não somente das condições meteorológicas, mas também do sistema radicular das plantas, bem como de outras características, como o estado fitossanitário das mesmas. Esta condição permite distinguir entre evapotranspiração potencial e real.

Evapotranspiração potencial (EVTp): quantidade de água transferida para a atmosfera por evaporação e transpiração, na unidade de tempo, de uma superfície extensa completamente coberta de vegetação de porte baixo e bem suprida de água. Evapotranspiração real (EVTr): quantidade de água transferida para a atmosfera por evaporação e transpiração, nas condições reais (existentes) de fatores atmosféricos e umidade do solo. A evapotranspiração real é igual ou menor que a evapotranspiração potencial ( $EVTr < EVTp$ ).

### 3.9 Sistema de medição da interceptação

Uma das principais influências da floresta ocorre já no recebimento das chuvas pelas copas das árvores, quando se dá o primeiro fracionamento da água, onde uma parte é temporariamente retida pela massa vegetal e em seguida evaporada para a atmosfera, processo denominado de interceptação (ARCOVA et al., 2003). A interceptação é a retenção de parte da precipitação acima da superfície do solo, podendo ocorrer devido à vegetação ou outra forma de obstrução ao escoamento.

A medição da interceptação envolve a quantificação dos vários componentes da seguinte equação:

$$I = P - P_i - E_{tr} \quad [\text{Eq.06}]$$

Onde:

I = perda por interceptação (mm)

P = precipitação incidente (mm)

P<sub>i</sub> = precipitação interna (mm)

E<sub>tr</sub> = escoamento pelo tronco (mm)

A utilização de 2 a 4 pluviômetros bem distribuídos nas proximidades das parcelas tem sido satisfatória para a maioria dos experimentos de medição da interceptação.

b) Medição de P<sub>i</sub> - Dois tipos de dispositivos tem sido utilizados: pluviômetros comuns (interceptômetros) e calhas.

### 3.10 Perda por Interceptação

Precipitação efetiva, conforme acima colocado, vem a ser a soma de P<sub>i</sub> + E<sub>t</sub>. Portanto, a diferença entre a precipitação incidente (P) e a precipitação efetiva (PE) representa a perda por interceptação (I), ou seja, a fração da água da chuva que é perdida por evaporação antes de chegar ao piso florestal. A perda por interceptação tem sido relacionada através da equação de regressão linear do tipo:

$$I_i = aP + b \quad [\text{Eq.07}]$$

Onde:

$I_i$  = perda por interceptação

$P$  = precipitação incidente

$a$  e  $b$  = constantes.

Ao assumir que a relação entre  $P$  e  $I_i$  seja linear, como na equação acima, e desde que as medições de ambas tenham sido feitas durante período envolvendo amplitude considerável das respectivas variações, a constante " $a$ " da equação acima representa uma estimativa razoável da chamada capacidade de retenção, ou valor de saturação, da copa ( $S$ ).

### **3.11 Escoamento pelo tronco**

O escoamento pelo tronco ( $E_{tr}$ ) é caracterizado como uma fração da chuva que, após ser retida pela copa das árvores, escoam pelos galhos e troncos em direção ao solo, processo importante na redistribuição da água de chuva. Onde for possível, o escoamento pelo tronco pode ser medido pela colocação de uma canaleta bem vedada ao redor do tronco da árvore, da qual a água que escoam é coletada em um reservatório. Em florestas naturais com grande número de espécies e com grande número de árvores pequenas, a medição de  $E_{tr}$  é muito difícil. Estudos mostram que o  $E_{tr}$  constitui apenas uma fração muito pequena da interceptação, variando de espécie para espécie, principalmente no que diz respeito à rugosidade da casca. O escoamento de tronco em florestas brasileiras heterogêneas e bem desenvolvidas varia, tipicamente, de 0,2 a 10% da chuva total incidente (GIGLIO & KOBIYAMA, 2013). Esses valores concordam com os percentuais de escoamento de tronco registrados em regiões ecológicas tropicais (0,6–13,6%) (LEVIA JR. & FROST, 2003). Há relatos de percentuais maiores (até 41%) desse processo, mas apenas em estudos com uma ou poucas espécies (GIGLIO & KOBIYAMA, 2013), o que não representa a realidade das florestas nativas do país.

Algumas pesquisas relatam que o escoamento pelo tronco é relativamente baixo em florestas naturais e plantadas (ARCOVA et al., 2003; OLIVEIRA JÚNIOR; DIAS, 2005). Aldridge e Jackson (1973) verificaram que o escoamento pelo tronco em uma floresta latifoliada na Nova Zelândia só se manifestava em precipitações maiores que 1,3 mm.

Para o cálculo do escoamento pelo tronco utilizou-se a seguinte equação:

$$E_{tr} = V/A \quad [Eq.08]$$

Onde:

$E_{tr}$  = escoamento pelo tronco.

$V$  = volume coletado em ml.

$A$  = área estimada da copa em  $m^2$ .

### 3.12 Infiltrômetro

Consiste de um anel metálico de cerca de 30 cm de diâmetro e 60 cm de altura. Para a medição o anel é introduzido no solo deixando-se cerca de 10 cm acima da superfície, e a água é adicionada no anel até a uma altura de mais ou menos 5 cm, onde deve haver um dispositivo de marcação do nível de referência.

A água do anel é, então, mantida neste nível de referência pela adição, a intervalos regulares, de volumes conhecidos de água. A taxa de infiltração é então calculada pela relação entre os volumes de água adicionados e os intervalos de tempo gastos para a sua penetração no solo. A medição demora cerca de 2 a 3 horas, até que seja obtida uma taxa constante de infiltração.

A medição da infiltração através de infiltrômetros é problemática. A própria introdução do anel no solo pode causar perturbações na estrutura do solo. Um outro aspecto é que a água é despejada dentro do anel, o que é totalmente diferente das condições naturais da infiltração, quando a água da chuva chega à superfície do solo na forma de gotas. O infiltrômetro, assim, não simula este efeito do impacto das gotas da chuva sobre a infiltração.



### 3.13 Medição da evapotranspiração

Thornthwaite e Mather (1955) desenvolveram uma equação para estimativa da evapotranspiração potencial com base unicamente no fator temperatura. Esse é, provavelmente, o método mais conhecido e mais aplicado em todo o mundo, pela sua simplicidade e facilidade na disponibilidade de dados (Caramori e Arita, 1988).

Método empírico baseado apenas na temperatura média do ar, sendo esta sua principal vantagem. Foi desenvolvido para condições de clima úmido e, por isso, normalmente apresenta sub-estimativa da EVT em condições de clima seco. Apesar dessa limitação, é um método bastante empregado para fins climatológicos, na escala mensal. Esse método parte de uma EVT padrão (EVT<sub>p</sub>), a qual é a EVT para um mês de 30 dias e com N=12h. A formulação do método é a seguinte:

$$EVT_p = 16 \left( \frac{10T_m}{I} \right) \quad (0 \leq T_m < 26,5 \text{ } ^\circ\text{C}) \quad [\text{Eq.09}]$$

$$EVT_p = -415,85 + 32,24T_m - 0,43T_m^2 \quad (T_m \geq 26,5 \text{ } ^\circ\text{C})$$

$$I = \sum (0,2T_a)^{1,514} \quad [\text{Eq.10}]$$

Onde:

T<sub>a</sub> = temperatura média anual normal

$$a = 0,49239 + 1,791210^2 I - 7,7110^{-5} I^2 + 6,7510^{-7} I^3$$

$$EVT = EVT_p * COR(\text{mm/mês}) \quad [\text{Eq.11}]$$

$$COR = \frac{N}{12} * \frac{NDP}{30} \quad [\text{Eq.12}]$$

Onde:

EVT = evapotranspiração

EVT<sub>p</sub> = evapotranspiração potencial

N = fotoperíodo do mês

NDP = dias do período

T<sub>m</sub> = temperatura média mensal (°C)

I = índice de calor da região

Este índice deve ser calculado com valores normais (média climatológica). Esta equação estima a evapotranspiração potencial padrão (EVT<sub>p</sub>) para uma condição de 12 horas de brilho solar e mês com trinta dias. Para estimar a evapotranspiração mensal, em um mês qualquer, com número de dias (ND) diferente de trinta e fotoperíodo médio (N), há necessidade de se ajustar a equação original através de fatores de correção:

$$EVT_P = EVT_p \cdot \left(\frac{N}{12}\right) * \left(\frac{ND}{30}\right) \quad [\text{Eq.13}]$$

Já o Método de Hargreaves-Samani estima a evapotranspiração de referência diária, em mmd-1, a partir de dados obtidos de lisímetro instalado em área com gramado, através da expressão:

$$EVT_{oHS} = 0,0023 * Q^0 * (T_{mx} - T_{mn}) * 0,5 * (T_{md} + 17,8) \quad [\text{Eq.14}]$$

Onde:

$Q_0$  = radiação extraterrestre diária expressa em equivalente de evaporação ( $\text{mm d}^{-1}$ );  
 $T_{mx}$  = temperatura máxima diária ( $^{\circ}\text{C}$ );  
 $T_{mn}$  = temperatura mínima diária ( $^{\circ}\text{C}$ );  
 $T_{md}$  = temperatura média diária ( $^{\circ}\text{C}$ ).

#### Método de Camargo

Método empírico, baseado no método de Thornthwaite. Sendo assim, apresenta as mesmas vantagens e restrições desse método. Apesar disso, tem uma vantagem a mais que é não necessitar da temperatura média anual normal. No entanto, considera a irradiância solar extraterrestre ( $Q_0$ ), a qual é fornecida por tabelas.

$$EVT_0 = 0,01 * Q_0 * T_{med} * NDP \quad [\text{Eq.15}]$$

$Q_0$  = irradiância solar extraterrestre (mm/d)

Valores de  $Q_0$  (mm/d) para latitudes Sul

Radiação solar global extraterrestre ( $Q_0$ ) expressa em milímetros de evaporação equivalente por dia (mm dia-1), no 15º dia do mês correspondente, para o hemisfério Sul, para utilização no método de estimativa de evapotranspiração potencial (ETP) proposto por Camargo (1971), conforme Tabela 04.

Tabela 4: Radiação Solar Global Extraterrestre  
Fonte: IAPAR, 1971.

Lat S.	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
0	14,5	15,0	15,2	14,7	13,9	13,4	13,5	14,2	14,9	14,9	14,6	14,3
2	14,8	15,2	15,2	14,5	13,6	13,0	13,2	14,0	14,8	15,0	14,8	14,6
4	15,0	15,3	15,1	14,3	13,3	12,7	12,8	13,7	14,7	15,1	15,0	14,9
6	15,3	15,4	15,1	14,1	13,0	12,6	12,5	13,5	14,6	15,2	15,2	15,1
8	15,6	15,6	15,0	14,0	12,7	12,0	12,2	13,2	14,5	15,3	15,4	15,4
10	15,9	15,7	15,0	13,8	12,4	11,6	11,9	13,0	14,4	15,3	15,7	15,7
12	16,1	15,8	14,9	13,5	12,0	11,2	11,5	12,7	14,2	15,3	15,8	16,0
14	16,3	15,8	14,9	13,2	11,6	10,8	11,1	12,4	14,0	15,3	15,9	16,2
16	16,5	15,9	14,8	13,0	11,3	10,4	10,8	12,1	13,8	15,3	16,1	16,4
18	16,7	15,9	14,7	12,7	10,9	10,0	10,4	11,8	13,7	15,3	16,2	16,7
20	16,7	16,0	14,5	12,4	10,6	9,6	10,0	11,5	13,5	15,3	16,2	16,8
22	16,9	16,0	14,3	12,0	10,2	9,1	9,6	11,1	13,1	15,2	16,4	17,0
24	16,9	15,9	14,1	11,7	9,8	8,6	9,1	10,7	13,1	15,1	16,5	17,1
26	17,0	15,9	13,9	11,4	9,4	8,1	8,7	10,4	12,8	15,0	16,5	17,3
28	17,1	15,8	13,7	11,1	9,0	7,8	8,3	10,0	12,6	14,9	16,6	17,5
30	17,2	15,7	13,5	10,8	8,5	7,4	7,8	9,6	12,2	14,7	16,7	17,6

### 3.14 Pluviômetro

As principais preocupações quanto às chuvas são relativas à intensidade e a frequência de suas ocorrências, pelos seus efeitos potencialmente danosos, quando em excesso ou por escassez (MURTA et al., 2005). Os dados disponíveis sobre as chuvas diárias geralmente são provenientes de pluviômetros convencionais e de operação manual (ANTÔNIO, 2007).

Entender o comportamento das chuvas é algo complexo mais necessário ao diagnóstico da origem de eventos extremos, e ainda, serve como instrumento na prevenção de desastres (BARBIERI, 2008). Além de importante para a Defesa Civil, a

compreensão do comportamento das precipitações pluviométricas tem grande importância em áreas como a Meteorologia, Agronomia, Biologia, Construção Civil, Ciências Ambientais, Ensino de Ciências, etc. (PEREA MARTINS, 2003).

A pluviometria, no entendimento de Salgueiro (2005), pode ser definida como a parte da hidrologia que aborda dos processos pelo qual se pode mensurar, ou avaliar, valores que representem, ou deem ideia, do tamanho de um evento de precipitação em uma região ou uma bacia hidrográfica.

Heller (2006) diz que a chuva sobre uma determinada área pode ser medida, em um dado ponto, por meio de pluviômetros e pluviógrafos. Em alguns casos, pode-se medir a sua extensão e variação espacial por meio do radar meteorológico.

O pluviômetro é um aparelho meteorológico utilizado para coletar e medir, a quantidade de líquidos precipitados durante um determinado tempo que se ache necessário para obter informações sobre índices de pluviosidade. No pluviômetro é lida a altura total de água precipitada, ou seja, a lâmina acumulada durante a precipitação sendo que seus registros são sempre fornecidos em milímetros por dia ou em milímetros por chuva, com anotação dos mesmos.

O pluviômetro do tipo basculante ("tipping bucket"), consiste de um receptáculo onde a água da chuva é coletada por uma caçamba dividida em dois compartimentos, sendo que cada vez que o nível é completado, a caçamba gira, descarrega a água e é feita uma contagem. Como é conhecida a altura de chuva que faz com que a balança gire (normalmente 0,25 mm), e uma vez que é registrada a contagem de giros, pode-se calcular, dessa forma, o volume de água precipitado (FISCH, 2007).

Fisch (2007) acrescenta que neste tipo de pluviômetro existe a necessidade de um sistema para aquisição de dados, um "data-logger". Este sistema deve registrar os eventos e o horário em que ocorrem as basculadas. As informações de precipitação coletadas ficam desta forma, armazenadas no sistema de registro de dados até que sejam retiradas do pluviômetro.

### **3.15 Tensiômetros de solo**

O princípio de funcionamento do tensiômetro baseia-se na formação do equilíbrio entre a solução do solo e a água contida no interior do aparelho. O equilíbrio ocorre quando a cápsula porosa entra em contato com o solo e a água do tensiômetro entra em contato com a água do solo. Caso a água do solo esteja sob tensão, ela exerce uma sucção sobre o instrumento, retirando água deste, fazendo com que a pressão interna diminua.

Como o instrumento é vedado, ocorre a formação do vácuo; a leitura dessa pressão negativa fornece o potencial matricial da água no solo. O tensiômetro é um instrumento usado para indicar a tensão ou estado de umidade no solo e facilitar a prescrição das necessidades de água na irrigação.

O tensiômetro é um equipamento que mede o potencial mátrico do solo, isto é, mede a tensão com que a água está retida pelas partículas do solo. Com as medidas de tensão pode-se obter o teor de água no solo e por isso esse método determina de forma indireta a umidade do solo.

Dessa forma o tensiômetro consegue imitar a raiz de uma planta e indicar a quantidade de água naquele local de instalação. Quando tem muita água no solo a raiz da planta não precisa fazer muita força para absorver a água do solo, da mesma forma o tensiômetro não precisa fazer muita força e, portanto, a tensão é baixa. Já quando tem pouca água no solo a tensão aumenta.

Foi desenvolvido em 1922, por W. Gardner et ai. (Blacic 1968). Compõe-se de uma cápsula de cerâmica porosa ligada a um manômetro por um tubo num sistema, cheio de água, hermeticamente fechado. Quando a cápsula porosa do tensiômetro é posta em contato com o solo não-saturado, este succiona água do interior, provocando queda de pressão ou tensão dentro do sistema. Essa tensão pode ser medida pelo manômetro para obter o potencial matricial da água no solo e indicação do grau de umidade. Contudo ele tem uma limitação de medir a tensão até 0,75 atm, sendo que acima dessa tensão a cápsula porosa se rompe e o tensiômetro para de medir (SALLASSIER, 1982).

O tensiometro de leitura automática vem sendo utilizado já há algum tempo, tendo como destaque o tensímetro (MARTHALER et al., 1983) e o tensiometro com transdutor (THIEL et al., 1963; HUBBELL & SISSON, 1998).

Existem vários tipos de tensiometros, podendo ser analógicos ou mais primorosos como os de leitura automática. Os tensiometros mais comuns são os de punção, tensiometros com vacuômetro e os de mercúrio.

Os modelos de tensiometros mais utilizados na determinação da irrigação em culturas agrícolas são os de vacuômetros metálico tipo Bourdon, de coluna de mercúrio e de punção. As unidades de medida dos vacuômetros são geralmente expressas em kPa, cbar, mmHg e cmH<sub>2</sub>O, onde 1 kPa = 1 cbar = 7,5 mmHg = 10,2 cmH<sub>2</sub>O.

Os tensiometros com vacuômetro metálico são habitualmente os mais utilizados comercialmente para manejo de irrigação. Os de punção não dispõem de vacuômetro acoplado, sendo a leitura da tensão realizada por meio de um vacuômetro portátil (digital ou analógico), conhecido como tensímetro.

O tensiometro de punção utiliza uma tampa de borracha (rolha) por onde é introduzida a agulha do tensímetro no momento da leitura. Devido ao custo relativamente alto do tensímetro digital, o tensiometro de punção somente começa a ser economicamente viável quando o produtor necessite de utilizar pelo menos dez sensores.

O tensímetro analógico apresenta custo bem mais baixo do que o digital, porém a precisão é geralmente inferior. Os tensiometros com vacuômetro de mercúrio são menos seguros do ponto de vista ambiental e devem ser evitados.

O tensiometro permite leitura de tensão até cerca de 80 kPa. Para tensões maiores, a água, sob vácuo, entra em processo de cavitação, ou seja, começa a haver formação acentuada de bolhas de vapor dentro do sistema, parando de funcionar (MAROUELLI 2008).

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. Local

O presente estudo foi realizado no Departamento de Ciências Agrárias da Universidade de Taubaté, no bairro do Itaim na bacia hidrográfica do rio Una, no município de Taubaté (SP), latitude sul 23°01'15 e longitude oeste 45°30'29.

A bacia do rio Una possui aproximadamente 442,85 km<sup>2</sup>. Do total de sua extensão, 8% pertencem ao município de Tremembé, 8% em Pindamonhangaba e os 84% restantes estão em Taubaté. Geograficamente, a bacia do rio Una localiza-se na margem direita do rio Paraíba do Sul (BATISTA et al., 2005).

A região é caracterizada, segundo a Fundação IBGE (1992), como Floresta Ombrófila Densa (conhecida também por floresta pluvial tropical - Floresta Atlântica): caracteriza-se por fanerófitos, lianas e epífitas em abundância. Esta formação está condicionada a ocorrência de temperaturas elevadas, em média 25°C e altas precipitações, bem distribuídas durante o ano, cujo período seco varia de 0 a 60 dias.

O clima da região de Taubaté, SP é caracterizado como CWA segundo Koppen, quente e úmido no verão e frio e seco no inverno, é do tipo mesotérmico úmido com seca nos meses de junho a agosto e chuva nos meses de novembro a fevereiro. (FISCH, 1999).

A área experimental com 860 m<sup>2</sup> e um perímetro de 123,46 m encontra-se localizada próxima à área de várzea do Ribeirão Itaim, com a seguinte localização: 23°01'51.13" S e 45°30'53.04" WO, em 594 metros de altitude (Figura 08). O solo é caracterizado como Latossolo Vermelho Amarelo de textura areno-argilosa (EMBRAPA, 1997).

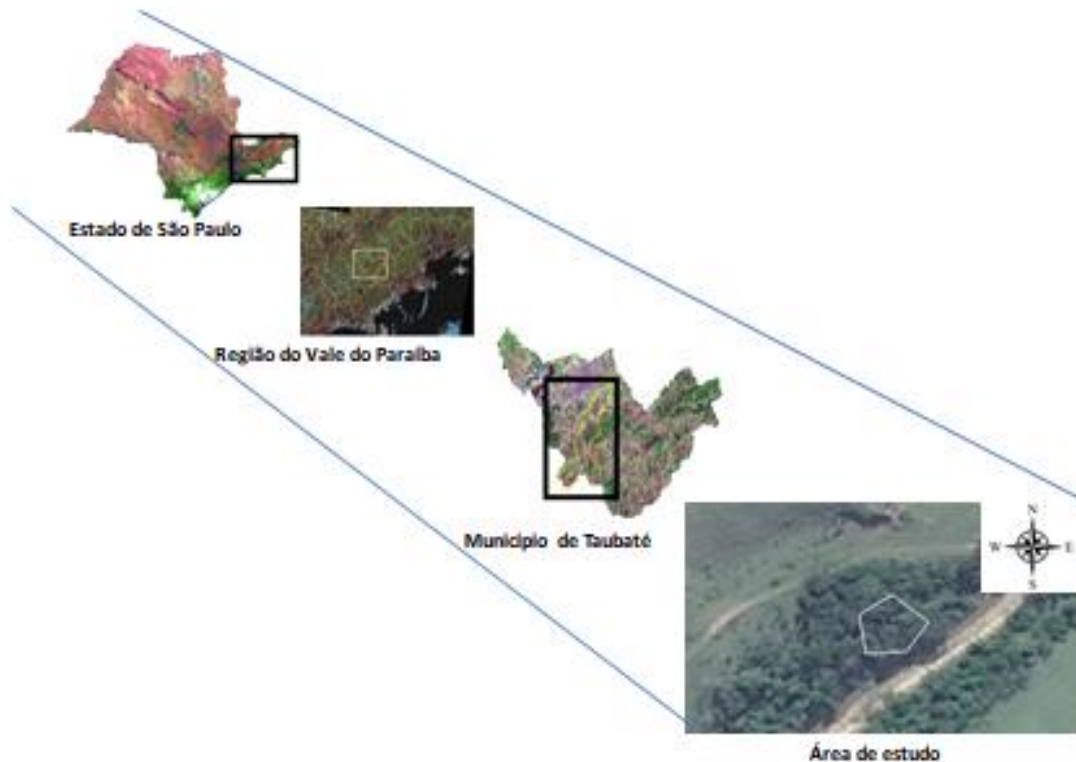


Figura 8: Localização Geográfica da área de estudo, Imagem TM/LANDSAT  
Fonte: Adaptado de Aguiar et al., 2003.

## 4.2 Procedimento Experimental

Foi delimitada área de estudo em fragmento florestal, sendo determinados os locais a serem instalados 5 mesas coletoras de escoamento superficial, 5 pluviômetros, 15 tensiômetros de solo em 3 profundidades (40, 60 e 120 cm) e determinadas 16 espécies arbóreas com objetivo de instalação de coletores para aferir o volume de escoamento pelo tronco das árvores. A coleta de dados no campo foi realizado no período de 06 de abril de 2016 a 29 de março de 2017 e os equipamentos foram testados e instalados na área de estudos nos meses de fevereiro e março de 2016. Independentemente da ocorrência de precipitação os dados precipitação, tensão de água no solo, escoamento superficial e pelo tronco eram coletados no mínimo uma vez na semana. Na ocorrência de precipitação, no dia posterior, sempre pela manhã,



eram feitas as leituras nos equipamentos. Após a coleta de dados, estes eram lançados em planilhas e armazenados em pastas eletrônicas para posterior avaliação. Foram obtidas no período da pesquisa 90 coletas de dados a campo, sendo a maior incidência no período das águas (novembro de 2016 a março de 2017).

O conjunto de cada ponto de medição era composto por 01 pluviômetro, 01 mesa coletora de escoamento superficial, 03 tensiômetros de solo instalados nas camadas de 0 a 40 cm, 40 a 60 cm e 60 a 120 cm de profundidade e próximo a cada conjunto instalado em uma árvore um coletor de escoamento pelo tronco.

Na Figura 09 encontra-se um croquis da área de estudo com a distribuição dos equipamentos instalados.

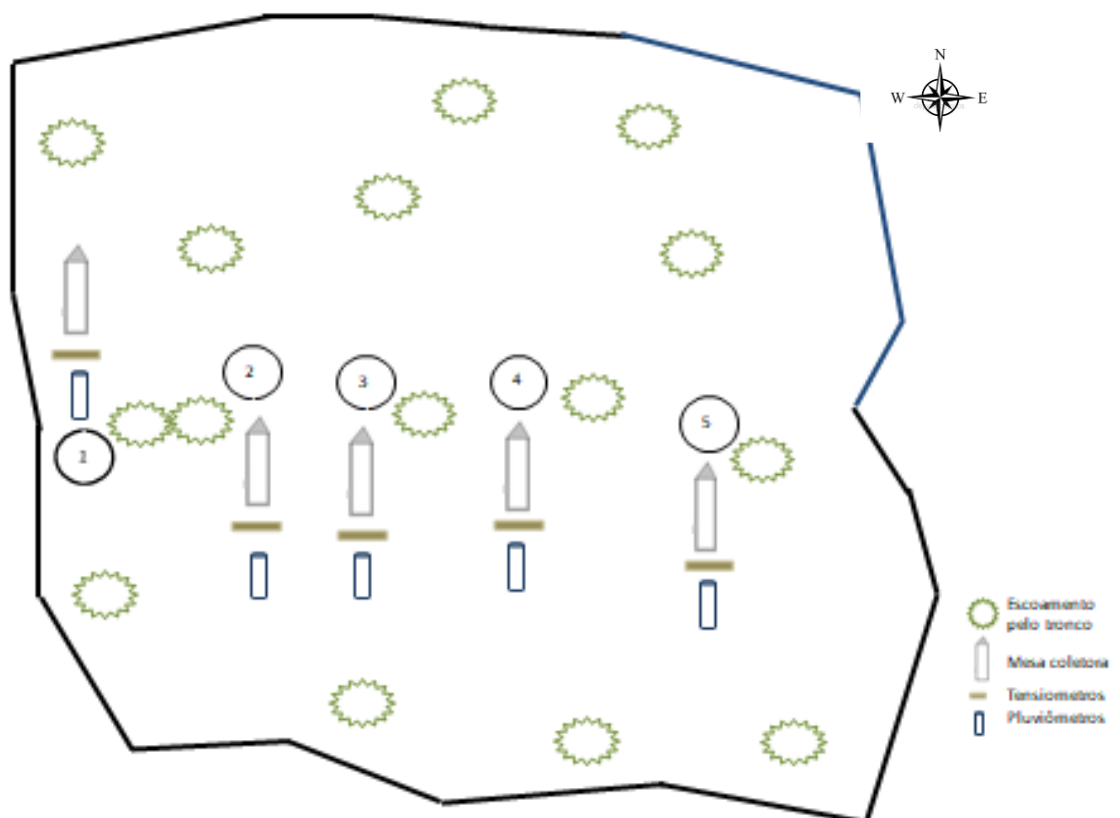


Figura 9: Croquis da área de estudo com equipamentos (Escala 1:300 m)

### 4.3 Classificação textural do solo

Segundo suas frações texturais coletadas na área em 5 pontos (em 2 linhas paralelas aos equipamentos – 4 pontos por linha – 1A e 2B), em 4 profundidades (0 a 10cm, 10 a 40cm, 40 a 60cm e 60 a 120 cm.), utilizando-se trado holandês, em análise granulométrica realizadas no Laboratório de Análise de Solos e Plantas da Universidade de Taubaté, obteve-se a seguinte classificação textural do solo, classificado fisicamente como solo franco, argilo arenoso, conforme Tabela 5.

Tabela 5: Classificação textural do solo das amostras nas camadas 0-10, 10-40, 40-60, 60-120 cm. coletadas na área do experimento.

	<b>CAMADA</b>	<b>ARGILA</b>	<b>SILTE</b>	<b>AREIA</b>
1 - A	0 - 10 cm	253	136	611
2 - A	40 cm	270	111	619
3 - A	60 cm	302	131	567
4 - A	120 cm	315	125	560
1 - B	0 - 10 cm	283	128	589
2 - B	40 cm	311	128	561
3 - B	60 cm	321	138	541
4 - B	120 cm	340	89	571

### 4.4 Determinação da declividade

Entende-se por declividade de um terreno a diferença de altura entre um ponto e outro no mesmo sentido, ou seja, na direção de cima para baixo. (SCHULTZ, 1978). Portanto, ao se localizar o ponto mais alto do terreno, em linha reta, parte-se em direção ao mais baixo, medindo-se sequencialmente a diferença de altura entre os vários pontos do percurso até encontrar o ponto mais baixo ou o que se deseja chegar. No final, tem-se a altura total ou a diferença de nível entre os pontos mais alto e o mais baixo. A medida da declividade é importante, pois, a partir dela, se conhece a distância correta entre as niveladas básicas.

O levantamento (Figura: 10) de dados para o cálculo da declividade da área de estudo foi, realizado com o uso de um trapézio de madeira com 3 m. de comprimento e 1 m. de altura contendo um nível fixado na região superior (Figura 11).

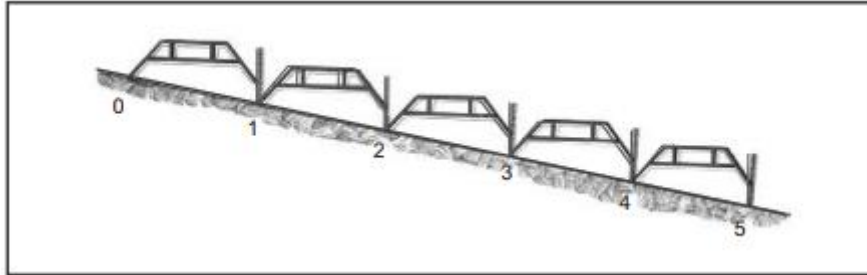


Figura 10: Levantamento de dados no campo para determinação da Declividade  
Fonte: Fonte: Schultz, 1978.

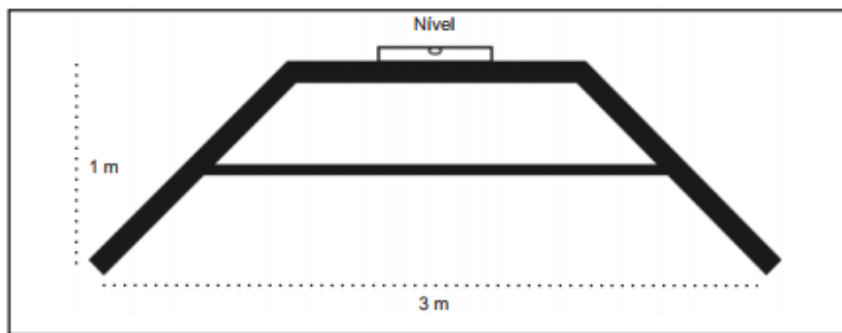


Figura 11: Esquadro Trapezoidal com nível  
Fonte: Seixas, 1984.

Foram definidos 3 locais da área de estudo, sendo lado direito (LD), região central (C) e lado esquerdo (LE) distantes cerca de 18 metros e registrados 27 pontos, sendo 9 por linha (Tabela 06). O procedimento utilizado foi fixar uma extremidade do trapézio no solo, verificando se estava nivelado e medindo a distância na outra extremidade até tocar o solo. Posteriormente repetiu-se esta metodologia até obter o número necessário de pontos atingindo toda a área de pesquisa, resultando numa declividade média de 23,09%, aplicando-se a seguinte equação:

$$D = (\Sigma \text{Diferença de nível}) / (\Sigma \text{Distância medida}) * 100 \text{ [Eq.17]}$$

Tabela 6: Cálculo de declividade da área do experimento.

DECLIVIDADE - TRAPÉZIO			
PONTO	LD	C	LE
1	0,49	0,57	0,29
2	0,55	0,54	0,47
3	0,48	0,53	1,01
4	0,62	0,32	1,02
5	0,65	0,68	1,03
6	0,91	1,06	1,24
7	1,09	1,00	0,76
8	1,22	1,18	0,40
9	0,71	1,04	0
Somatória	6,72	6,92	6,22
Declividade	24,88%	23,66%	20,73%
Declividade Média	23,09%		

$D = (\text{Diferença de nível entre A e B}) \times 100 / (\text{Distância entre A e B})$   
 Distância entre A e B = 3 metros

Onde:

LD = Lado direito (diferença de nível)

C = Centro (diferença de nível)

LE = Lado esquerdo (diferença de nível)

#### 4.5 Instalação das mesas coletoras de escoamento superficial

As mesas coletoras de escoamento superficial foram construídas com base no trabalho desenvolvido por (PARCHEN, 2007) sendo feito ajuste na base do equipamento onde foi criada uma estrutura metálica galvanizada com 2 cm abaixo do equipamento para melhor fixação no solo.

Instaladas no local foram dispostas em linha a uma distância oscilando de 2 a 5 metros de distância, num total de 5 equipamentos dispostos em área florestada.

As mesas coletoras de escoamento superficial possuem uma estrutura retangular confeccionada em chapa de metálica galvanizada de 0,55 de espessura com dimensões

internas de 1,00 m de comprimento, 0,27 m de largura e 0,11 m de altura, acoplada a uma estrutura triangular fechada na parte superior, em baixo e no vértice. Borda superior dobrada com 1 cm de largura em forma de L na base e em forma de C no topo, sendo acoplados em cada mesa coletora dois galões de 20 litros, fixados com abraçadeiras as duas mangueiras cristal de 1 polegada. (Figuras 12, 13, 14 e 15).

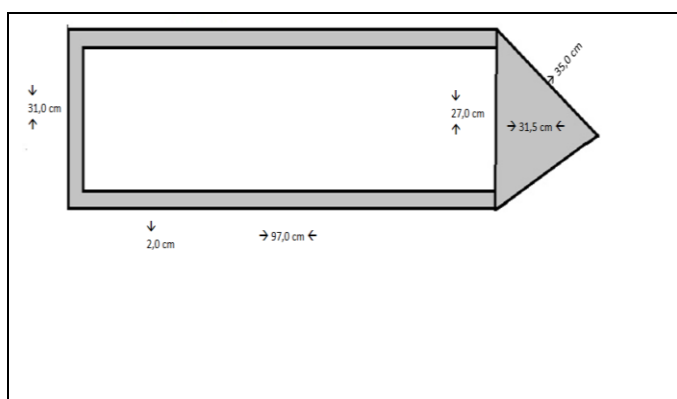


Figura 12: Mesa coletora de escoamento superficial dimensões



Figura 13: Mesa coletora de escoamento superficial.



Figura 14: Mesa coletora de escoamento superficial dobra superior e inferior.



Figura 15: Mesa coletora de escoamento superficial conexão frontal

O método de fixação para que a água escoada na passe por baixo das mesas coletoras foi de abrir um pequeno sulco no entorno do equipamento e após a colocação, vedou-se as laterais interna e externamente, repondo o solo retirado e comprimindo-o junto ao equipamento, não permitindo que a água externa entrasse na mesa coletora e também que a água interna saísse pelas laterais da mesa, e conduzindo todo o escoamento da água

coletada pela mesa, para os tubos localizados na parte frontal e deste modo o volume de água escoado fosse conduzido até o recipiente de armazenamento (Figura 16).



Figura 16: Mesa coletora de escoamento superficial instalada.

Após este procedimento foram colocados duas estacas na região frontal da mesa coletora de escoamento superficial com o objetivo de ter segurança que o equipamento fique fixado no local. Os materiais utilizados na instalação e fixação das mesas coletoras foram: facão, marreta, enxada e estaca de madeira.

Os dois galões com capacidade de 20 litros cada, acoplados à mesa coletora de escoamento superficial tem por objetivo armazenar da água escoada, sendo fixados na extremidade frontal da mesa com abraçadeiras metálicas de uma polegada, já na outra extremidade com um adaptador de uma polegada inserido na extremidade na mangueira e acoplada na tampa do galão, furada com serra copa de 1 polegada. Também foram fixadas na base dos balões estacas de madeira garantindo uma fixação segura (Figuras 17 A e B e 18).



Figura 18: Galões acoplados à mesa coletora de escoamento superficial.

Os tubos metálicos instalados no vértice das mesas coletoras de escoamento superficial possuem um diâmetro externo de 12,7 mm e comprimento de 15,0 mm, sendo neles acopladas as mangueiras de polietileno cristal transparente flexível com 150,0 mm, fixados com braçadeiras metálicas e em cada um dos terminais acoplado um tubo coletor conduzindo a água coletada para o interior dos galões de armazenamento de água.

A demarcação nas mesas coletoras foi realizada utilizando-se de tinta automotiva na cor branca (fundo) e pintura da numeração e identificação de cada mesa coletora (Figura 19).



Figura 19: Numeração nas mesas coletoras de escoamento superficial.

Para a realização das medições dos volumes coletados cada um dos 02 galões (20 litros) acoplados às mesas coletoras de escoamento superficial utilizou-se uma proveta de 1000 ml. Aplicou-se a seguinte equação para cálculo de escoamento superficial:

$$ES = \Sigma \text{Galão A} + \text{Galão B}/2/1.000 \quad [\text{Eq.18}]$$

#### 4.6 Montagem e instalação dos pluviômetros

Foram instalados 8 pluviômetros, sendo 1 a cerca de 20 cm de cada mesa coletora de escoamento superficial e os demais dispostos na área de estudo. Para a construção destes foram utilizadas garrafas PET de 2,5 L cortadas aproximadamente a 20 cm do fundo, originando duas peças: copo e funil (Figura 20). A parte inferior da garrafa passa a ter a função de recipiente para captação da água, já a inferior tem função de suporte. A fixação foi feita pregando-se a parte inferior numa estaca de madeira e amarrada com uma tira de borracha de câmara de pneu para que suporte o peso do recipiente quando preenchido pela água. As estacas foram marcadas com numeração correspondente a cada mesa coletora de escoamento superficial e os pluviômetros fixados no solo a uma altura



de 1,30 m. do solo (Figura 21 AB e 22), utilizando-se os procedimentos de construção com base na Circular Técnica 2002 (EPAMIG 2014).

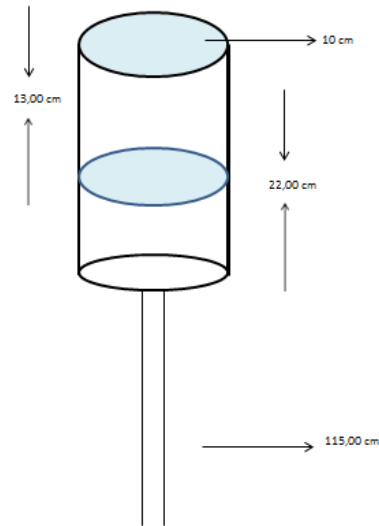


Figura 20: Dimensões dos pluviômetros.



Figura 21 A e B: Montagem e instalação dos pluviômetros.



Figura 22: Instalação dos pluviômetros.

Os dados de P foram obtidos a partir de medições realizadas em 8 pluviômetros instalados na área de estudo. As leituras foram realizadas no dia posterior após cada evento de chuva.

Para cálculo da precipitação incidente, foi utilizada a equação:

$$P = \left(\frac{V}{A}\right) * 10 \quad [\text{Eq.19}]$$

Onde:

P = precipitação incidente (mm)

V = volume coletado (ml)

A = área de captação do pluviômetro (m<sup>2</sup>), sendo área do pluviômetro 78,54 cm<sup>2</sup>, onde:

Área do círculo =  $3,1416 * 5 * 5 = 78,54 \text{ cm}^2 = 7,854 \text{ mm}$

#### 4.7 Instalação dos tensiômetros de solo

Junto a cada mesa coletora de escoamento superficial (a cerca de 30 cm) na área de estudo, foram instalados 3 tensiômetros, destinados a medir a tensão ("força") com que a água é retida pelo solo, a qual afeta diretamente a absorção de água pelas plantas.

No campo a umidade do solo foi determinada indiretamente utilizando-se sensores do tipo Watermark<sup>TM</sup> que medem o potencial matricial da água no solo ou tensão (kPa), o

qual é convertido em umidade volumétrica ( $m^3/m^3$ ) por meio de uma curva de retenção da água do solo (TRACOM, 2004).

Regra da leitura de acordo com a textura do solo:

0 a 10 kPa = solo saturado;

10 a 30 kPa = solo com umidade suficiente. Só nos solos de areia grossa é que se pode considerar que estão a começar a secar

30 a 60 kPa = margem normal para se iniciar a rega, exceto em solos muito argilosos;

60 a 80 kPa = margem normal para se iniciar a rega em solos muito argilosos;

80 a + kPa = o solo está a secar perigosamente.

Os tensiômetros com sensor Watermark<sup>TM</sup> são um sistema de medição de tensão de água do solo do tipo resistência elétrica composto por um par de eletrodos concêntricos, inseridos em material de matriz granular de alta resistência à corrosão. Esses eletrodos são ligados à fiação externa e conectados a um leitor que, em função da umidade do solo, transforma essa leitura de resistência elétrica em potencial de água no solo. A corrente é aplicada a marca de água para se obter um valor de resistência. Monitorar o medidor digital ou resistência correlaciona centibars (CB) ou o quilopascal (kPa) de tensão de água no solo. A marca d'água é projetada para ser um sensor permanente, colocada no chão para ser monitorado e "ler" tantas vezes quanto necessário com um dispositivo portátil ou estacionário. Internamente gesso instalado fornece alguma reserva para o efeito de níveis de salinidade normalmente encontrada em culturas agrícolas irrigadas e paisagens.

Os tensiômetros foram acoplados a tubos de PVC de  $\frac{3}{4}$ " nos comprimentos 40, 60 e 120 cm com os sensores de tensão posicionados na ponta inferior, estes medindo 7 cm de comprimento. Uma fiação conecta os sensores por meio da parte interna dos tubos de PVC à extremidade superior, onde podem ser conectados ao medidor de tensão, (Figuras 23 e 24).



Figura 23: Sensor de tensão de água no solo Watermark<sup>TM</sup> e tensiômetros de solo (40, 60 e 120 cm.).



Figura 24: Instalação dos tensiômetros.

A instalação foi realizada nas camadas de solo nas seguintes profundidades: 40, 60 e 120 cm, sendo feito um buraco com trado holandês para cada tensiômetro, com cerca de 9 cm de diâmetro. O solo era retirado e colocado ao lado do buraco para ser reutilizado no preenchimento e fixação dos tensiômetros, sendo colocada em camadas ao redor do equipamento, deste modo preenchendo o buraco, fixando e direcionando o tensiômetro na posição vertical. Também foi instalado um cavalete de madeira para facilitar o acesso aos terminais dos equipamentos, facilitando o acesso aos fios terminais dos tensiômetros e reduzindo a umidade na extremidade de fiação dos terminais.

O fundo da cova foi ligeiramente umidificada e remexida com o tensiômetro para assegurar que a terra envolvesse o equipamento e ocorresse a saturação no solo. Posteriormente foi introduzido o tensiômetro na cova, de forma que houvesse um perfeito contato da cápsula com o solo. A superfície de solo foi levemente comprimida, sendo elevado o solo ao redor do tensiômetro a cerca de 5 cm. O distanciamento utilizado entre

os tensiômetros foi de 30 cm, sendo instalados da esquerda para a direita primeiro os de 120 cm, após o de 60 cm e posteriormente o de 40 cm, sendo a distância da mesa coletora de escoamento superficial para os tensiômetros de cerca de 40 cm (Figuras 25 e 26).



Figura 25: Disposição dos tensiômetros.

Figura 26: Saturação do fundo do furo.

#### 4.8 Montagem e instalação dos coletores de escoamento pelo tronco

Para quantificação e avaliação do volume de escoamento pelo tronco na área de estudo foram instalados 16 coletores em troncos de árvores de espécies nativas.

Utilizando o critério de diâmetro na altura do peito (DAP)  $\geq 15$  cm, iniciou-se pela escolha das espécies arbóreas e com um facão foi realizada a retirada parcial das camadas externas do tronco para proceder a numeração das árvores com pincel atômico e aplicado verniz marítimo após demarcação (Figuras 27, 28 e 29).

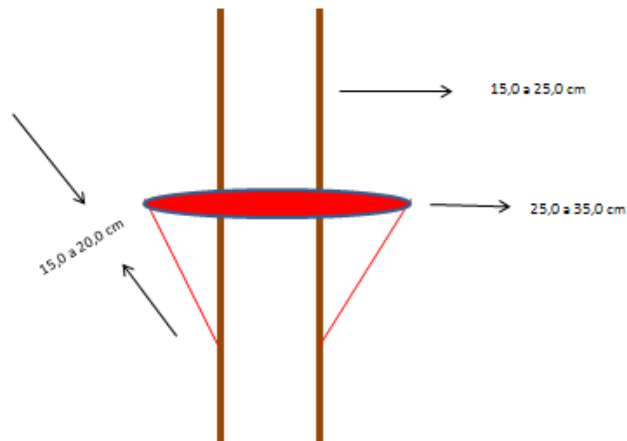


Figura 27: Dimensões do coletor captador de escoamento pelo tronco



Figura 28: Preparo das árvores.



Figura 29: Marcação das árvores.

Os troncos foram envolvidos individualmente por uma lâmina de 3 mm de e.v.a. moldada em formato de cone, sendo amarradas com arame liso, grampeadas, feita perfuração para na base e introdução de mangueira plástica cristal de  $\frac{1}{2}$  polegada com comprimento médio de 40 a 50 cm. Posteriormente foi feita a numeração de cada coletor com pincel atômico e a aplicação de espuma expansiva para vedação e direcionamento do fluxo d'água para a extremidade da mangueira, encerrando o percurso da água em uma

garrafa PET de 3,3 L., com capacidade de captação de 3,42 L. fixada junto ao tronco por meio de tira de borracha (Figuras 30, 31 A-B e 32 A-B).



Figura 30: Materiais para montagem e instalação dos coletores de escoamento pelo tronco.





Figura 32 A: Fixação do coletor de escoamento pelo tronco.

Figura 32 B: Fixação do coletor de escoamento pelo tronco.

As leituras foram realizadas semanalmente tendo como padrão a quarta-feira como dia de coleta de dados; independente da ocorrência de precipitação utilizando-se uma proveta com capacidade de 1000 ml com graduação a cada 10 ml . Na incidência de chuvas, no dia posterior eram realizadas as leituras em todos os equipamentos instalados; deste modo podendo ter-se de uma a sete coletas semanais. Para o cálculo do escoamento pelo tronco foi utilizada a seguinte equação:

$$ETr = \frac{V}{A} \quad [Eq.20]$$

Onde:

ETr = escoamento pelo tronco em mm.

V = volume do coletor em L

A = área estimada da copa em m<sup>2</sup>.



## **5. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **5.1 Variáveis meteorológicas**

#### **5.1.1 Precipitação**

A Figura 33 apresenta os índices pluviométricos mensais registrados no local da área de estudo no período de abril de 2016 a março de 2017. Os resultados coletados na área de estudo são muito próximos em termos de valores com as da Figura 34 fornecidos pelo Posto Meteorológico da Universidade de Taubaté - INPE, localizado no Departamento de Ciências Agrárias a cerca de 300 metros da área onde encontravam-se instalados os pluviômetros.

Fisch (1995) conclui que do volume precipitado anualmente em Taubaté, 42% da precipitação ocorre nos meses de dezembro a fevereiro com ocorrências de precipitação quase diariamente, o que vem confirmar os resultados obtidos. Analisando os dados verificou-se que a precipitação no período foi de 1961,9 mm, apresentando um aumento no volume apresentado por Horikoshi e Fisch (2007) onde a precipitação total anual em Taubaté foi de 1336 mm. para o ano de 2005.

O maior volume precipitado ocorreu no mês de janeiro de 2017, totalizando 454,1 mm e a menor em julho de 2016 com o índice de 0,2 mm, mesmo assim a maior concentração das chuvas ocorreu no período de dezembro de 2016 a fevereiro de 2017, totalizando 951,8 mm. Esse valor representa 48,52% do total da precipitação no período de estudo.

Algumas variações nos resultados estão atribuídas ao fato de que o procedimento de coleta de dados a campo ocorria 24 horas após a precipitação, e não era realizada diariamente, bem como a ocorrência parcial de interceptação da chuva pelo dossel das árvores constantes no fragmento florestal também ocasionaram pequenos desvios parciais nos resultados.

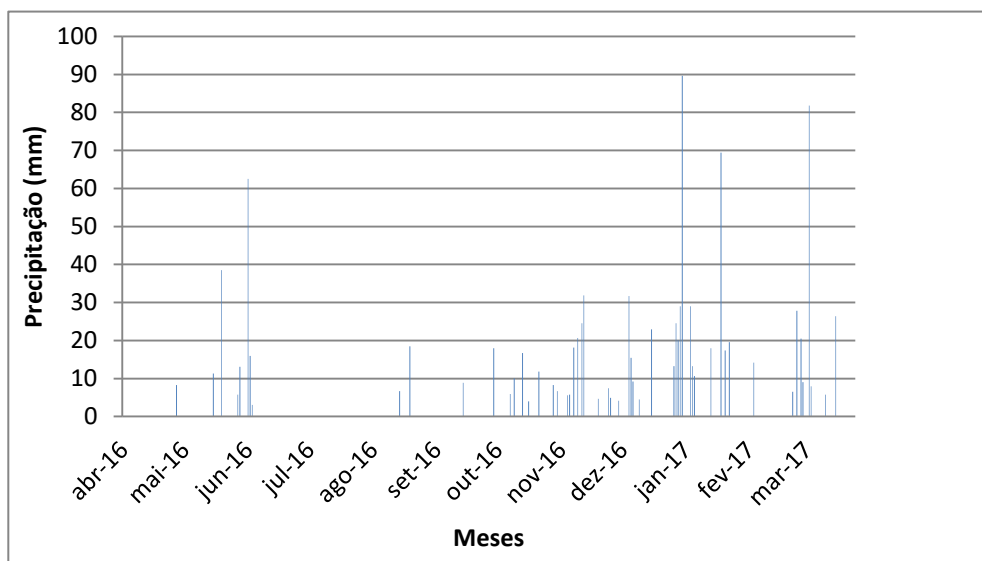


Figura 33: Variação da precipitação na área de estudo no período de abril de 2016 a março de 2017.

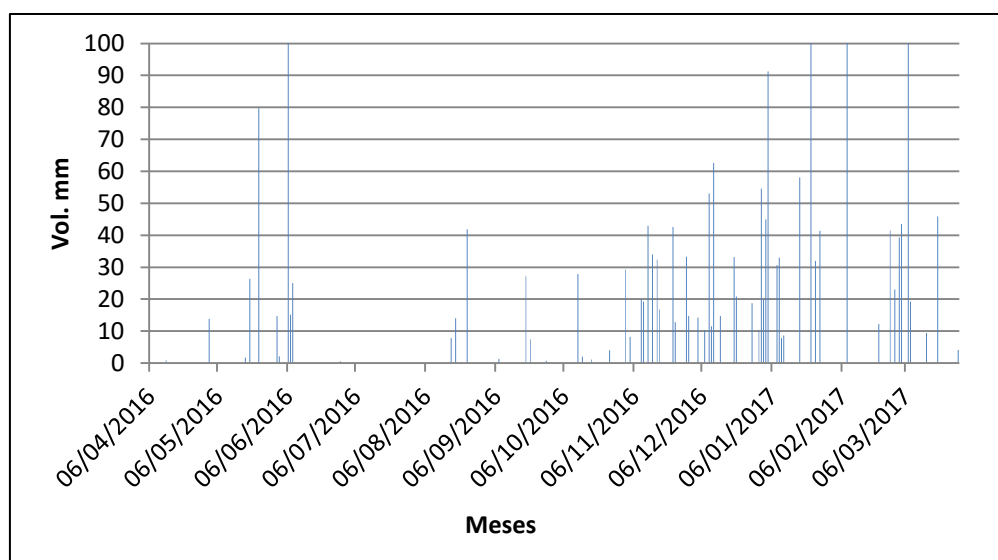


Figura 34: Variação da precipitação (Posto Agrometeorológico UNITAU – INPE) no período de abril de 2016 a março de 2017.

Os dados de precipitação interna coletados na área de estudos apresentaram um total de 1038,7 mm, resultado este bem abaixo dos aferidos pelo Posto Agrometeorológico UNITAU – INPE, que apresentou um total no período de abril de 2016 a março de 2017 de 1961,9 mm. Esta diferença expressiva em resultados deve-se principalmente ao fato dos pluviômetros estarem instalados em área florestada, deste modo estando sujeitos a interceptação pelo dossel das árvores e desvios de

direcionamento da precipitação pela ação dos ventos. Para efeito do cálculo do balanço hídrico foram utilizados os dados do Posto Meteorológico UNITAU - INPE.

### 5.1.2 Evapotranspiração potencial e temperatura

A partir do método de Camargo (1971), com a temperatura média mensal no período de 20,7°C (Figura 35) foi calculada por meio da Equação 08 a evapotranspiração potencial que resultou em um total de 1021,2 mm/ano no período estudado (Figura 36), o que corresponde a uma média mensal de 85,1 mm e diária de 2,8 mm/dia. Essa evapotranspiração representa 52,62% do total precipitado. O maior e o menor valor de evapotranspiração mensal ocorreram respectivamente em dezembro (121,3 mm) e julho (1,7 mm).

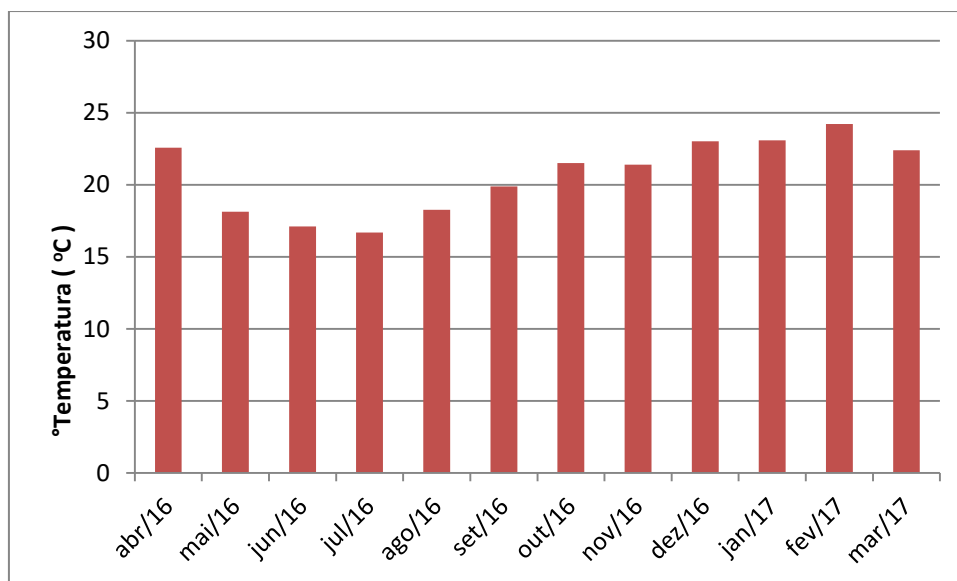


Figura 35: Temperatura média mensal para Taubaté, SP no período de abril 2016 a março de 2017

Fonte: Posto Agrometeorológico UNITAU – INPE, 2017.

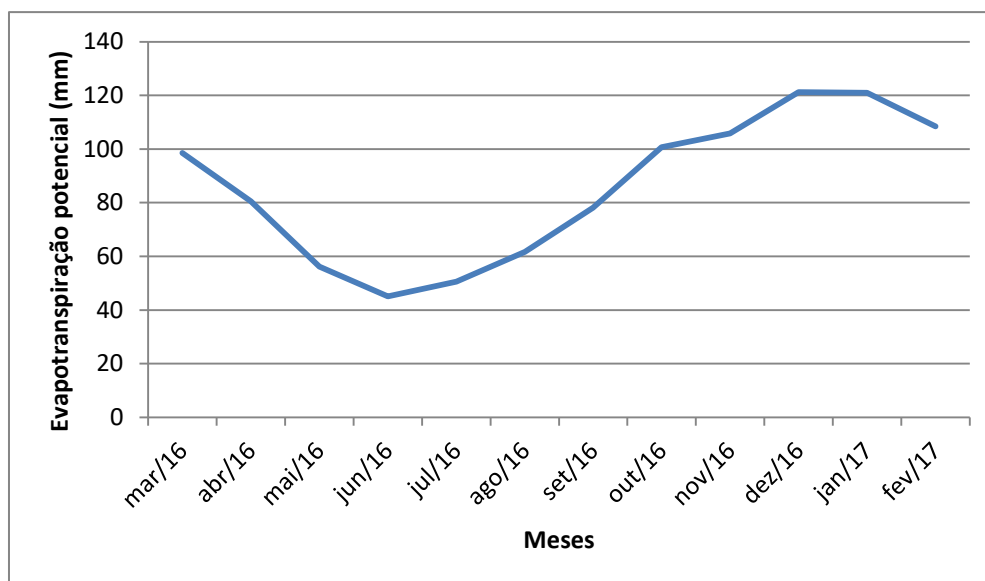


Figura 36: Evapotranspiração potencial no período de abril 2016 a março de 2017

Resultados estes próximos aos encontrados por Horikoshi e Fisch (2007) para o período de 1992 a 2005 onde no balanço hídrico climatológico a evapotranspiração para Taubaté foi de 1073 mm/ano.

### 5.1.3 Escoamento superficial

Foram realizadas 90 leituras de dados no período estudado no fragmento florestal houve ocorrência de escoamento superficial em 56 eventos, que totalizaram o volume de 297,94 mm. Observou-se que valores precipitados de 0,1 a 0,7 mm não geraram escoamento superficial, fato justificado devido ao volume de água ser pequeno e a presença na área de cobertura vegetal, serapilheira e mata nativa, além das características físicas do solo que apresentam maior porcentagem de areia em sua composição, facilitando a infiltração da água no solo e reduzindo o volume de água escoado, conforme Figura 37.

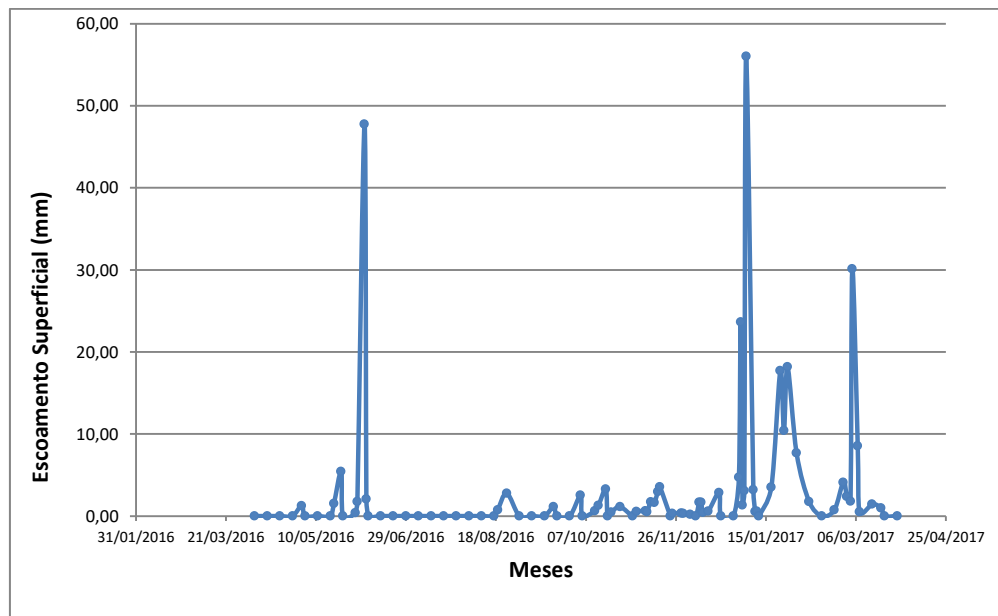


Figura 37: Escoamento superficial na área de estudo no período de abril 2016 a março de 2017.

Cabe destacar a topografia da área apresenta uma declividade média de 23,09% que facilitaria em muito o volume de água escoada superficialmente caso a área fosse de solo descoberto; a cobertura do solo é o fator mais importante no processo de escoamento superficial e da infiltração (Cogo et al., 1984; Moura et al., 2009), encontrando-se a área de estudo totalmente vegetada por mata nativa resultando num índice de 15,18% do total precipitado no período.

#### 5.1.4 Escoamento pelo tronco

As espécies arbóreas utilizadas na avaliação do processo de escoamento pelo tronco foram identificadas botanicamente, utilizando-se LORENZI, 1992; 2009 e SÃO PAULO 2013, conforme Tabela 07.

Tabela 07: Classificação botânica das espécies arbóreas nativas utilizadas na área de pesquisa.

Árvore nº	Nome vulgar	Classificação botânica
1	Pau marfim	<i>Balfourdendron riedelianum</i> (Engl.) Engl.
2	Maria mole	<i>Piptocarpha axillaris</i> (Less.) Baker
3	Angico branco	<i>Parapiptadenia rigida</i> (Benth.) Brenan
4	Grumixama mirim	<i>Eugenia itaguahiensis</i> Nied.
5	Farinha seca	<i>Albizia niopoides</i> (Spruce ex Benth.) Burkart
6	Jacarandá do campo	<i>Machaerium acutifolium</i> Vogel
7	Cedro rosa	<i>Cedrella fissilis</i> Vell.
8	Pau jacaré	<i>Piptadenia gonoacantha</i> (Mart.) J.F. Macbr.
9	Açoita cavalo	<i>Luehea divaricata</i> Mart. & Zucc.
10	Chá de bugre	<i>Casearia sylvestris</i> Sw.
11	Embira branca	<i>Christiana macrodon</i> Bernacci, L.C. & Henriques
12	Bico de pato	<i>Machaerium aculeatum</i> Raddi
13	Araça vermelho	<i>Psidium longipetiolatum</i> D. Legrand.
14	Sapopema	<i>Sloanea retusa</i> Uittien
15	Farinha seca	<i>Banara tomentosa</i> Clos
16	Copaiba	<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf

Para determinar a área da copa estimou-se a projeção vertical da copa de cada árvore no solo. Para isso, seccionou-se a mesma em 8 direções, com ângulos de 45° entre si, a partir do centro do tronco até a extremidade da projeção da copa, formando portanto, oito triângulos, obtendo-se os resultados apresentados na Tabela 08 (MOURA et al., 2009).

Tabela 08: Área de copa das espécies arbóreas nativas utilizadas na área de pesquisa.

ÁRVORE Nº	RAIO (m)	ÁREA-COPA (m <sup>2</sup> )
1	2,5	19,62
2	1,5	7,06
3	2,0	12,56
4	0,8	2,00
5	2,0	12,56
6	1,0	3,14
7	0,9	2,54
8	1,0	3,14
9	1,3	5,30
10	4,5	63,58
11	1,2	4,52
12	1,0	3,14
13	1,5	7,06
14	3,0	28,26
15	2,0	12,56
16	1,5	7,06

Em uma precipitação o volume escoamento pelo tronco ETr., de acordo com Tucci (2001), dependendo do tipo de vegetação, corresponde de 1 a 15% do total precipitado; o resultado obtido apresentou-se abaixo desta faixa de índices, com apenas 0,24% do total precipitado. Verificou-se uma correlação positiva entre o tamanho das copas e a capacidade de retenção de chuva, uma vez que quanto maior área de copa, maior volume retido, respeitando-se as características botânicas de cada espécie quanto a diâmetro do tronco, rugosidade e terem ou não características de pertencer a famílias com ocorrência de perda total do sistema foliar (caducifólias) em determinados ciclos fenológicos. Desta maneira, quanto menor a área da copa, menor a precipitação que dará início ao escoamento pelo tronco.

O escoamento pelo tronco (ETr) foi menor do que a precipitação pluvial interna, atingindo apenas 4,6 mm da precipitação total (Figura 38), mantendo-se uma relação direta com o volume da precipitação; quanto maior a precipitação, maior o volume escoado pelo tronco.

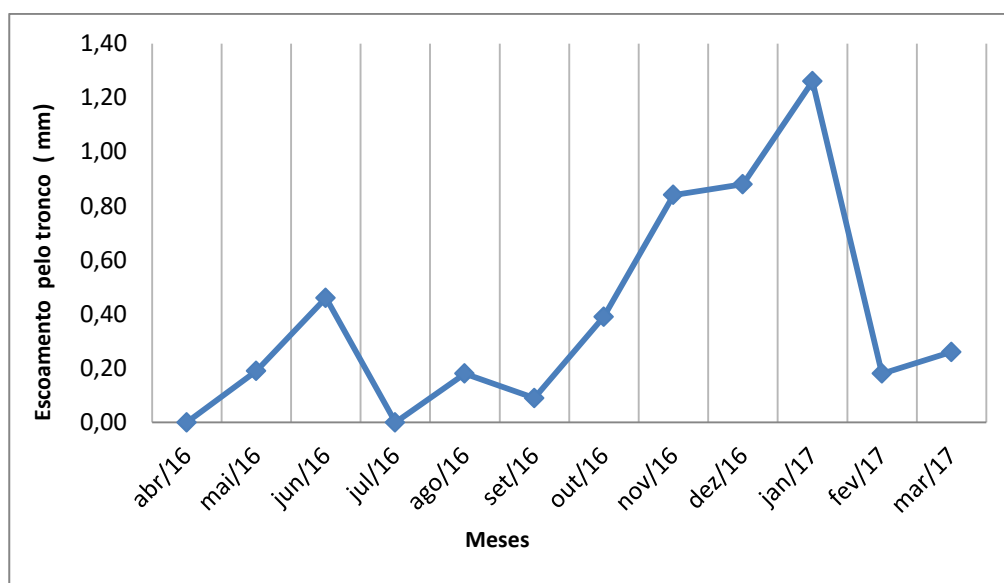


Figura 38: Escoamento pelo tronco no período de abril 2016 a março de 2017.

Deve-se considerar parâmetros como intensidade e tempo de precipitação, velocidade dos ventos e interceptação pelos dosséis das árvores o que torna complexa a precisão dos resultados do escoamento pelo tronco. Também a diversidade de famílias e espécies botânicas nativas com suas características morfológicas específicas e fenologias diferenciadas são fatores que influenciam diretamente na precisão dos resultados.

## 5.2 Parâmetros físico-hídrico do solo

### 5.2.1 Umidade e Densidade do solo

Entre as variáveis a serem utilizadas para a elaboração da curva de retenção são a densidade e umidade do solo, sendo realizadas coletas de amostras de solo em três profundidades (0,40, 0,60 e 1,2 m.), ou seja, nas mesmas profundidades onde estavam instalados os tensiômetros de solo. Utilizou-se um trado de anéis para amostra sendo feito um corte longitudinal no barranco para coleta das amostras que foram pesadas e colocadas em estufa por um período de 24 horas a uma temperatura de 110°C e posteriormente feita a leitura onde observou-se os seguintes resultados, conforme Tabela 9.

Tabela 09: Umidade e densidade do solo.

AMOSTRA - cm	PU.	PS.	# P.	U.	D.	A.
40	197,87	177,58	20,29	0,114	1,476	1,158
60	206,08	180,45	25,63	0,142	1,509	1,185
120	245,87	212,84	33,03	0,155	1,892	1,485

PU = Peso úmido

PS = Peso seco

# P = Diferença de PU – PS

U = Teor de umidade da amostra

D = Densidade da amostra

$V = 3,14.2,3^2.5,1 = 84,71 \text{ cm}^3$

$A = 3.14.D^2/4$



### 5.2.2 Curva característica de retenção de água no solo

Para obtenção do armazenamento da água disponível no solo é necessário ter-se a tensão e umidade nas 3 camadas estudadas, para tanto os procedimentos para ter-se a curva de retenção de água na área estudada foram os seguintes:

- Coleta de 20 kg de solo a 40, 60 e 120 cm.
- Peneirado 3 kg de solo em peneira 0,5 mm
- Utilizado 4 potes com capacidade de 3 kg cada, separando 4 potes para cada amostra com a referida identificação de cada profundidade
- Adicionado ao pote 3 kg solo peneirado e o tensiometro na região central, sendo fixado a 50% da altura do pote.
- Feita a saturação do solo com água
- Realizada por um período de 30 dias a pesagem diária até o limite do medidor de tensão de água no solo atingir 199 centibar, sendo que as amostras foram condicionadas em estufa reduzindo a ação de ventos e radiação solar, conforme Figuras 39 (A) (B) e 40.

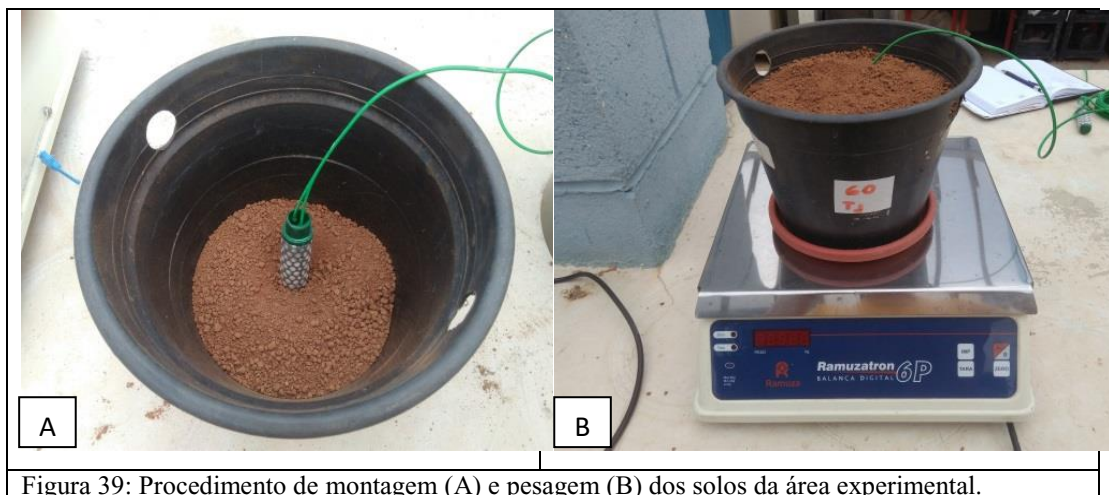


Figura 39: Procedimento de montagem (A) e pesagem (B) dos solos da área experimental.



Figura 40: Disposição das amostras de solo em bancada.

A Tabela 10 apresenta a evolução das medições de tensão e umidade no período do teste, indicando a data em que cada amostra atingiu o limite máximo de capacidade possível a ser aferida a tensão da água no solo e consequente redução do teor de umidade.

- Peso vaso+sensor = 298 g
- 40 cm ds 1,88 (g/cm<sup>3</sup>)
- 60 cm ds 1,67 (g/cm<sup>3</sup>)
- 120 cm ds 1,77 (g/cm<sup>3</sup>)

Tabela 10: Valores de Tensão e umidade do solo das amostras coletadas nas camadas 0 a 40 cm, 40 a 60 cm e 60 a 120 cm.

DATA	0 – 40 cm		40 – 60 cm		60 – 120 cm	
	TENSÃO (Centibar)	Umidade (%)	TENSÃO (Centibar)	Umidade (%)	TENSÃO (Centibar)	Umidade (%)
27/mar	0,00	35,92	0,00	45,06	0,00	47,39
29/mar	0,00	31,72	0,00	30,47	0,00	34,45
30/mar	0,00	29,22	0,00	29,64	0,00	31,63
31/mar	0,00	28,33	0,00	27,94	0,00	29,76
01/abr	0,00	27,06	0,00	26,07	1,25	29,62
02/abr	1,25	26,82	0,00	25,68	3,75	27,12
03/abr	3,50	22,97	7,50	21,42	8,75	22,71
04/abr	10,50	20,22	12,00	17,50	11,75	20,35
05/abr	12,75	18,42	15,00	17,26	16,00	19,36
06/abr	15,00	17,25	20,50	14,97	25,00	17,95
07/abr	16,00	16,76	20,00	14,87	23,75	17,88
08/abr	16,25	15,88	23,75	14,32	31,50	17,63
09/abr	16,75	15,03	25,75	12,69	40,25	16,47
11/abr	19,25	14,11	43,75	11,85	87,75	15,37
12/abr	22,25	13,02	63,75	10,95	122,50	13,93
14/abr	25,75	12,10	89,75	8,98	170,00	12,45
15/abr	27,00	11,15	107,00	8,18	191,50	11,64
16/abr	29,50	11,01	129,75	7,90	199,00	11,35
17/abr	38,25	10,59	173,00	7,52	199,00	10,90
18/abr	49,00	10,20	199,00	7,18	199,00	10,54
19/abr	58,50	10,09	199,00	7,00	199,00	10,19
21/abr	61,25	9,42	199,00	6,34	199,00	9,59
22/abr	66,75	8,68	199,00	5,86	199,00	9,17
23/abr	92,50	8,65	199,00	5,82	199,00	9,10
25/abr	124,50	8,54	199,00	5,75	199,00	9,03
26/abr	137,75	8,40	199,00	5,68	199,00	8,92
29/abr	199,00	7,59	199,00	4,82	199,00	8,18
30/abr	199,00	7,48	199,00	4,78	199,00	8,00
02/mai	199,00	6,56	199,00	4,30	199,00	7,40
04/mai	199,00	6,42	199,00	4,02	199,00	7,12

\* data em que as amostras atingiram 199 kPa de tensão.

A partir destes dados traçou-se a curva de tensão e umidade nas 3 camadas analisadas, utilizando os valores de % de Umidade e Tensão, conforme Figuras: 41, 42 e 43.

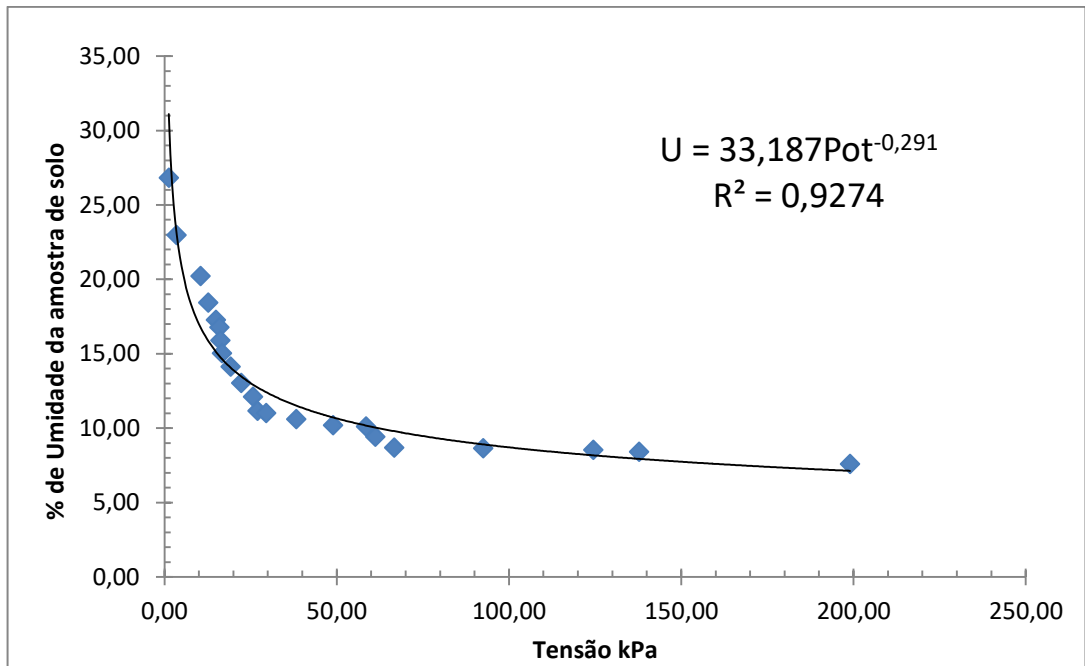


Figura 41: Curva de tensão e umidade na camada a 40 cm.

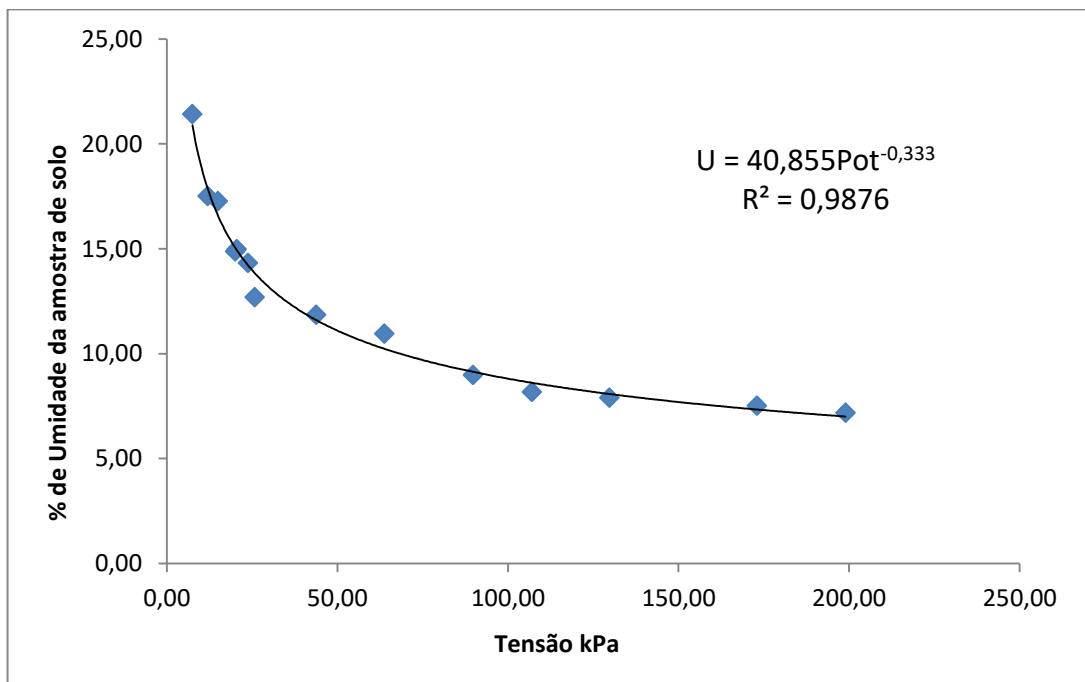


Figura 42: Curva de tensão e umidade na camada a 60 cm.

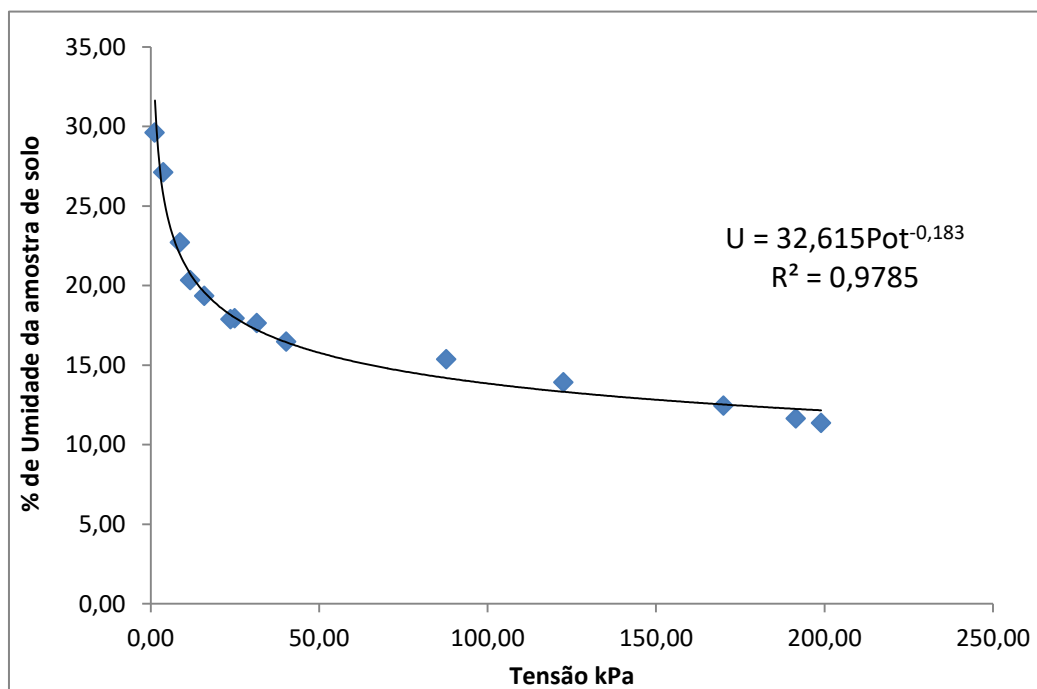


Figura 43: Curva de tensão e umidade na camada a 120 cm.

### 5.2.3 Tensão de água no solo

A análise de solos da área experimental realizada no Laboratório de Análise de Solos e Plantas da Universidade de Taubaté classificação textural granulométrica do solo com a predominância da fração areia na composição física do solo (Franco-Argilo-Arenoso) justificando a elevada capacidade de infiltração e movimento de água no solo.

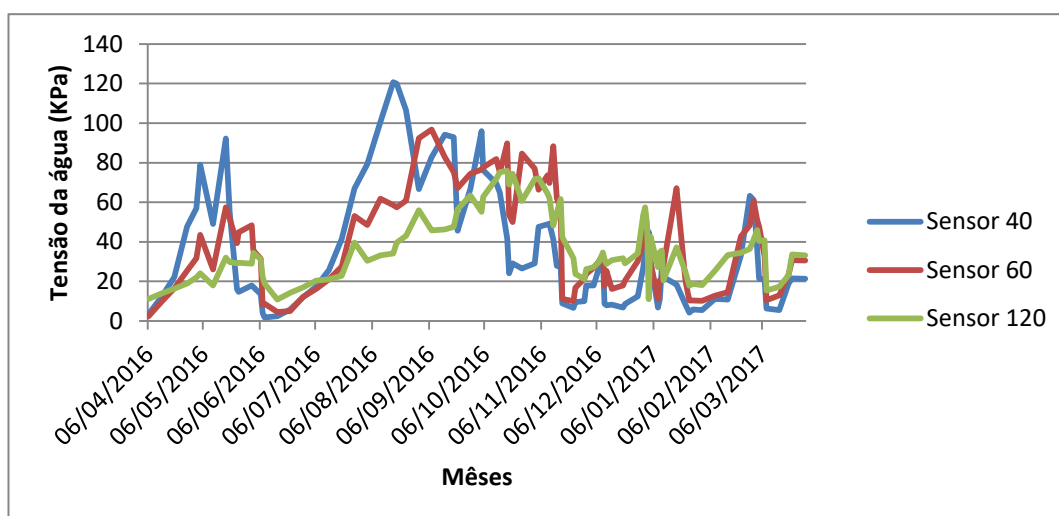


Figura 44: Tensão da água no solo nas camadas: 0 - 40, 40 - 60 e 60 - 120 cm. na área experimental no período de abril 2016 a março de 2017.

Resultados de tensão média no período de 12 meses nas 3 camadas foi de 36,9 kPa, sendo a média nas camadas 37,6 kPa, 38,9 kPa e 34,3 kPa respectivamente para as camadas 0 a 40 cm, 40 a 60 cm e 60 a 120 cm demonstrando que o solo ficou com teores de umidade elevados durante 67% do período estudado. Considerando os períodos secos e chuvoso na região (Fisch, 1995) a tensão de água no solo média na camada (0 a 40 cm) no período seco que vai de abril a setembro foi de 47,53 kPa, enquanto no período chuvoso (outubro a março) a média atingiu 27,61 kPa. Já na camada (40 a 60 cm) a tensão de água no solo média na durante o período seco que vai de abril a setembro de 38,7 kPa e no período chuvoso (outubro a março) a média atingiu 39,2 kPa. Os dados de tensão de água no solo média na camada (60 a 120 cm) durante todo o período seco que vai de abril a setembro a média ficou em 28,1 kPa e no período chuvoso (outubro a março) a média atingiu 40,5 kPa. Esses resultados demonstram a capacidade de transmissão de água no solo e também que a camada de 0 a 40 cm foi a que ficou mais tempo úmida.

Considerando todo o perfil a média das leituras de tensão durante todo o período foi de 37 KPa, os dados indicaram que a tensão de água no solo ficou abaixo desse valor em 67 % do período de estudo, condição que mantém o solo mais úmido.

#### **5.2.4 Capacidade de Armazenamento de água no solo**

As características físicas do solo apresentou uma maior macroporosidade em função das maiores proporções de argila nas camadas até 60 cm, aumentando a tensão com que a água é retida pelos poros do solo. A somatória da capacidade máxima de armazenamento para as 3 camadas estudadas apresentou um total de 173,33 mm (Tabela 11). Na Figura 45 é demonstrada a variação do armazenamento residual para as 3 camadas de solo durante o período estudado.

Tabela 11: Capacidade de armazenamento máximo nas diferentes camadas estudadas.

Camadas cm	Capacidade de ARM. mm
0 - 40	47,50
40 - 60	27,69
60 - 120	98,14
0 - 120	173,33

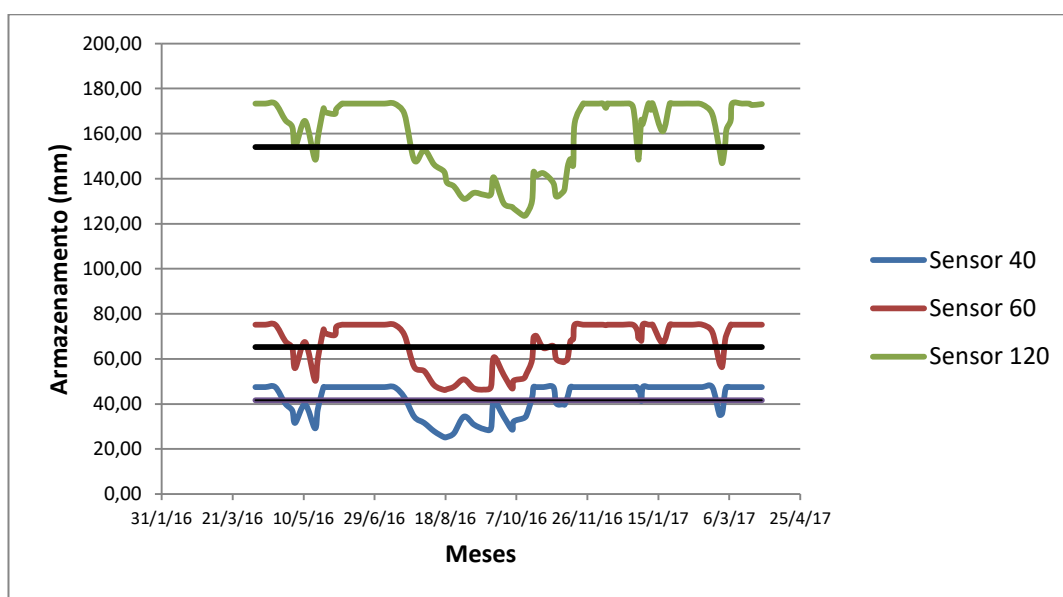


Figura 45: Armazenamento residual de água no solo, nas camadas 0 - 40, 40 - 60 e 60 - 120 cm na área experimental no período de abril 2016 a março de 2017.

Os valores de tensão de água no solo são dinâmicos, havendo momentos em que os tensiômetros registraram valores de solo saturado, isto é determinada apresentou valores acima da capacidade máxima de armazenamento. Dessa forma na construção do gráfico (Figura 45) quando a leitura demonstrou saturação de água, o limite máximo foi considerado na camada, ou seja, para a camada de 0 – 40 cm de 47,50 mm, camada de 40 – 60 cm de 27,69 mm e de 60 – 120 cm de 98,14 mm. As médias para o período de estudo apresentou valores cima da capacidade de armazenamento nas três camadas; camada de 0 – 40 cm de 41,66 mm, camada de 40 – 60 cm de 65,27 mm e de 60 – 120 cm de 154,24 mm, sendo o excedente hídrico direcionado para camadas mais profundas como drenagem profunda.

Como se pode observar na Figura 45 as variações no armazenamento residual de água no solo na camada nas 3 camadas foram similares, reagindo às variações de precipitação e evapotranspiração. A camada 0 - 40 cm apresentou no período das secas (abril a setembro) resultado de armazenamento residual médio de 38,51mm e no período das águas (outubro a março) de 45,23 mm.

A camada 40 - 60 cm apresentou no período das secas (abril a setembro) um armazenamento residual médio de 63,5 mm e no período das águas (outubro a março) de 69,85 mm, com saturação aproximadamente em 100 % do tempo e, portanto, o armazenamento residual foi máximo.

Com relação à camada 60 – 120 cm apresentou no período das secas (abril a setembro) um armazenamento residual médio de 158,14 mm e no período das águas (outubro a março) de 159,81 mm, portanto, o armazenamento residual foi máximo.

Quanto ao volume armazenado no solo no período dos 12 meses de pesquisa foi de 1966,8 mm, índice bem acima do cenário A2 de Horikoshi, A. S.; Fisch, G. (2007) em que o armazenamento médio previsto para o período de 2010 a 2039 seria de 1105 mm, isto deve-se ao fato ao armazenamento acumulado em períodos anteriores à pesquisa, bem como ao volume atípico acima da precipitação.

### **5.2.5 Balanço hídrico no solo**

O balanço hídrico no solo na área experimental de floresta para a camada de 0 a 120 cm para o período de abril de 2016 a março de 2017 são demonstrados na Figura 46, onde se pode observar que se obteve para os parâmetros Precipitação (1.961,85 mm), Evapotranspiração (1.021,22 mm), Escoamento superficial, (297,47 mm), Armazenamento residual (1.966,8 mm) e Drenagem profunda (281,2 mm).



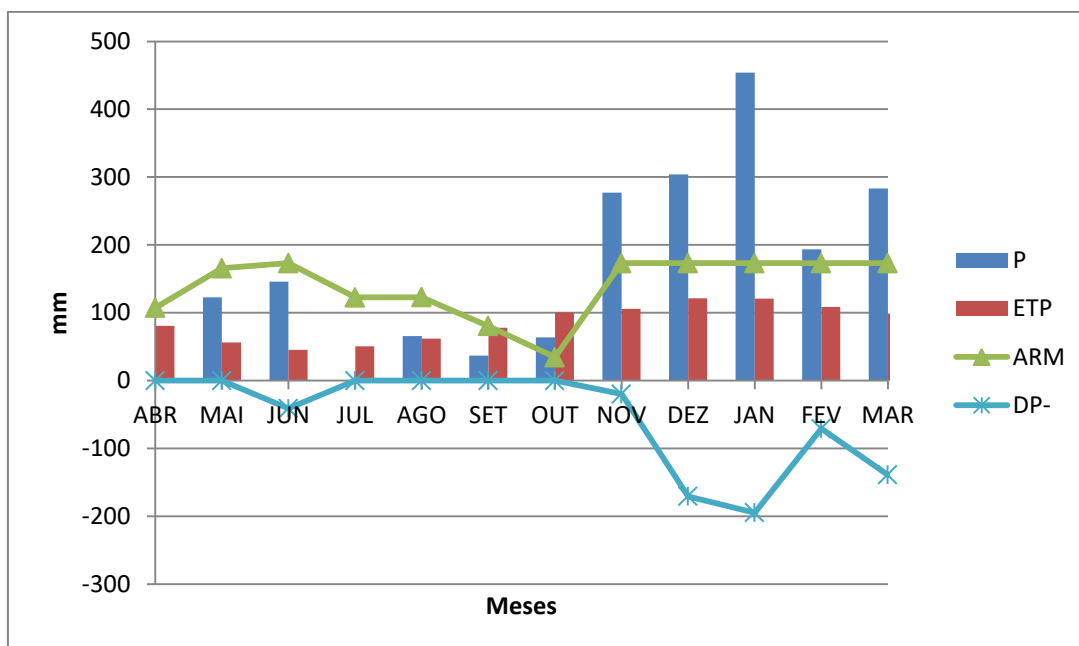


Figura 46: Balanço hídrico de água no solo na área experimental no período de abril 2016 a março de 2017.

Observa-se ainda na Figura 46 que somente nos meses agosto, setembro, e outubro, o armazenamento de água no solo não atingiu a sua capacidade máxima para camada de 0-120 cm (173 mm). Nos demais, abril, maio, junho, julho, novembro, dezembro de 2016 e janeiro, fevereiro e março de 2017 houve um superávit hídrico excedendo a capacidade máxima de armazenamento na camada de 0-120 cm. Esse superávit foi de 1557 mm e representou 79,16% do volume armazenado no solo no período. Por outro lado, no período que não houve excedente (agosto, setembro e outubro) de 2016 o armazenamento na camada de 0 a 120 cm correspondeu a 20,84% do volume armazenado no período.

Com base nestes dados o balanço hídrico para a camada de 0 a 120 cm no período de abril de 2016 a março de 2017 a contabilização da Precipitação+ Armazenamento anterior, menos a Evapotranspiração e o Escoamento superficial resultou ainda na sobra de um volume de água de drenagem profunda de 281,2 mm, isto é, que se aprofundou no solo para camadas abaixo de 120 cm.

Dados apresentados por Santos e Fisch (2016) revelaram que o balanço hídrico climatológico no solo para o município de Taubaté, SP com dados de 1992 a 2005 revelou a projeção de um superávit de 263 mm. De outra forma o balanço hídrico em

área florestal feito por PAULA, et al (2013) no período de maio de 2009 a fevereiro de 2011 indicou um excedente de 258,7 mm, que são pouco inferiores ao excedente hídrico (281 mm) obtido neste estudo.

## 6. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos na área experimental de floresta pode-se concluir que:

O armazenamento de água no solo em área florestal durante todo o período estudado foi positivo na ordem de 1967 mm e gerou ainda uma drenagem profunda além de 120cm de profundidade da ordem de 281 mm.

A Evapotranspiração potencial foi 128 mm e correspondeu a 52% da precipitação total no período;

O Escoamento pelo tronco foi de apenas de 73 mm no período estudado, isto é 0,24% do total precipitado;

O escoamento superficial foi de 281 mm que representa cerca de 15 % da precipitação.

## 7. REFERÊNCIAS

AGUIAR, L. S. G. et al. **Dinâmica do uso e ocupação do solo na microbacia do ribeirão Itaim utilizando dados de sensoriamento remoto e S.I.G.** In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 8., 2003; MOSTRA DE PÓS-GRADUAÇÃO, 4., 2003, Taubaté. Resumo... Taubaté: Universidade de Taubaté, 2003. p. 255.

AGUIAR, L.S.; TARGA, M. S.; BATISTA, G.T. **Estimativa do Escoamento Superficial e da Infiltração Potencial em Função da Modificação do Uso do Solo na Bacia do Ribeirão Itaim no município de Taubaté, SP.** V Mostra de Pós-Graduação, 18 a 21 de outubro de 2004. UNITAU, 2004. 21p.

ALDRIDGE, R. JACKSON, R.J. **Interception of rainfall by Hard Beech (*Nothofagus truncata*) at Taita, New Zealand.** New Zealand Journal of Science, Rotorua, v.16, n.1, p.185-198, 1973.

ALVES, M. C.; CABEDA, M. S. V. **Infiltração de água em um podzólico Vermelho-Escuro sob dois métodos de preparo, usando chuva simulada com duas intensidades.** Revista Brasileira de Ciências do Solo, Viçosa, v. 23, n. 4, p. 735-761, 1999.

ANTONIO, Carlos Alberto De Agostinho. **Geoestatística aplicada à acumulação da precipitação pluviométrica com radar meteorológico.** 2007. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Programas de Pós Graduação da CAPES, UNESP.

ANTUNES, A. **Ciclo hidrológico, água, solo e meio ambiente.** Extensão em Minas Gerais, Belo Horizonte, 48: 16- 19, 1992.

ARAÚJO FILHO, J. C.; RIBEIRO, M. R. **Infiltração da água em cambissolos do baixio de Irecê (BA).** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 20, p. 363- 370, 1996.

ARAÚJO FILHO, Milton da Costa; MENESES, Paulo Roberto; SANO, Edson Eyji. **Sistema de classificação de uso e cobertura da Terra na análise de imagens de satélite**. Revista Brasileira de Cartografia No 59/02, Agosto 2007.

ARCOVA, F.C.S.; CICCIO, V.; ROCHA, P.A.B. **Precipitação efetiva e interceptação das chuvas por floresta de Mata Atlântica em uma microbacia experimental em Cunha**. São Paulo. Revista *Árvore*, Viçosa, v. 27, n.2 - Março/Abril. 2003.

BARBIERI, D.W.; MARCELINO, I.P.V.O.; SAUSEN, T. M. **Anomalias de precipitação para a região Sul do Brasil: análise de consistência**. In: V Seminário Latino-americano e I Seminário Ibero-americano de Geografia Física. 12 a 17 de maio de 2008, Santa Maria, RS. /Anais/, p. 3891-3903.

BARRELLA, W.; PETRERE JR., M.; SMITH, W.S.; MONTAG, L.F.A. **As relações entre as matas ciliares, os rios e os peixes**. In: RODRIGUES, R.R. & LEITÃO FILHO, H.F. **Matas ciliares: Conservação e recuperação**. EDUSP, 2ª ed., São Paulo, p.187-207, 2001.

BARUQUI, A. M.; FERNANDES, M. R. **Práticas de conservação do solo**. Belo Horizonte. Informe Agropecuário, Belo Horizonte. v. 11, n. 128. p. 55-69, ago. 1985.

BERLATO, M. A.; MOLION, L. C. B. **Evaporação e Evapotranspiração**. Porto Alegre, IPAGRO: Secretaria de Agricultura, RS. 95p. (Boletim Técnico,7). 1981.

BERTOL, I.; ALMEIDA, J. A.; ALMEIDA, E. X.; KURTZ, C. **Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem Capim Elefante** Anão cv Mott. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 35, n. 5, p. 1047-1054, 2000.

BLACK, C:A. **Soil - plant relationships**. 2. ed. New York, John Wiley & Sons. 792p., 1968.

BOSCH, J.M.; HEWLETT, J.D. **A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration**. *Journal Hydrology*., Amsterdam, v.55, p.3-23, 1982.

BROOKS, K.N.; P.F. FFOLLIOT; H.M. GREGERSEN; J.L. THAMES. **Hydrology and the Management of Watersheds**. Iowa State University Press. 391p. 1991.

CAMARGO, A. P. **Balanço hídrico no Estado de São Paulo**. Boletim Técnico n. 116, 1971, IAC. 24p.

CARAMORI, P.H. & ARITA, C.A. **Evapotranspiração potencial no Estado do Paraná segundo o método de Penman**. Londrina: IAPAR, Boletim Técnico 25. 1988.

CARVALHO, L. A. **Condutividade hidráulica do solo no campo: as simplificações do método do perfil instantâneo**. 2002. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

CECILIO, R. A. **Aplicação da equação de Green-Ampt na modelagem da infiltração de água em Latossolo Vermelho-Amarelo estratificado**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

CECÍLIO, R. A.; GARCIA, G. O.; MOREIRA, M. C. **A importância do setor agropecuário para a proteção e conservação dos recursos hídricos**. In: JESUS JUNIOR, W. C. et al. (Eds.) **Novas tecnologias em Ciências Agrárias**. Alegre: Suprema Gráfica e Editora, 264p. 2007.

CHORLEY, R.J. **The hillslope hydrologic cycle**. In: Hillslope Hydrology. M..J. KIRKBY (Ed.). John Wiley: 1-42. 1978.

COGO, N.P.; MOLDENHAUER, W.C.; FOSTER, G.R. **Soil loss reductions from conservation tillage practices**. Soil Science Society America Journal, v.48, p.368-373, 1984.

CORREA, R. C. Avaliação das atividades antrópicas sobre a bacia hidrográfica do Ribeirão Itaim, Taubaté, São Paulo. Taubaté, 2001. 109 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) -Universidade de Taubaté, Taubaté, 2001.

COSTA, C.F.G.; FIGUEIREDO, R.O.; OLIVEIRA, F.A.; SANTOS, I.P.O. **Escoamento superficial em Latossolo Amarelo distrófico típico sob diferentes agroecossistemas no nordeste paraense.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.17, n.2, p.162-169, 2013.

DOUROJEANNI, A; JOURAVLEV, A; CHÁVEZ, G. **Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica.** Série Recursos Naturales e infraestructura. ONU-CEPALDRNI.Santiago de Chile. 83p. 2002.

EMBRAPA, **Manual de métodos e análises de solos.** 2ed. Rio de Janeiro, 212p. 1997.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Rio de Janeiro, 1999. 412p.

EMBRAPA, Disponível em <https://www.cnpn.embrapa.br/projetos/bdclima/balanco/resultados/sp/486/balanco.html>. Acesso em 07/10/2017.

EPAMIG. Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – Departamento de Informações Tecnológicas. **Circular Técnica, n. 202**, out. 2014

EVERTS, C. J.; KANWAR, R. S. Interpreting tension-infiltrometer data for quantifying soil macropores: some practical considerations. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 36, n. 2, p. 423-428, 1992.

FAO. Faostat. 2006. Disponível em: <[faostat.fao.org/site/408/desktopDefault.aspx?PageID=408](http://faostat.fao.org/site/408/desktopDefault.aspx?PageID=408)>. Acesso em 05/05/2017

FERNANDES, M.R. e SILVA, J. C. **Programa Estadual de Manejo de Sub-Bacias Hidrográficas: Fundamentos e estratégias** - Belo Horizonte: EMATERMG. 24p., 1994.

FISCH, G. **Caracterização climática e balanço hídrico de Taubaté**, São Paulo. Revista Biociências, Taubaté. V.1, n.1, p 81-90, 1995.

FISCH, G; VENDRAME, I. F; HANAOKA P. C. de M. **Variabilidade espacial da chuva durante o experimento LBA/TRMM 1999 na Amazônia**. Acta Amaz, v. 37, n. 4, Manaus, 2007. ISSN 0044-5967.

GIGLIO, J. N.; KOBİYAMA, M. **Interceptação da chuva: uma revisão com ênfase no monitoramento em florestas brasileiras**. Rev. Bras. Recur. Hídr., 2013.

GLEICK, P.H. *Water in crisis. A guide to the world's freshwater resources*. Oxford University. Press. 473 pp. 1993.

GRAY, D.M. **Handbook on the principles of hydrology**. Nova York: Water Information Center, 1973. 590 p.

GUERRA, H.C. **Física dos solos**. Campina Grande: UFPB, 2000.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. (Org.). **Abastecimento de água para consumo humano**. 1. ed. Belo Horizonte - MG: Editora da UFMG, 2006, v. 1, p. 860.

HEWLETT, J.D. & A.E. HIBBERT. **Factors affecting the response of small watersheds to precipitation in humid areas**. International Symposium on Forest Hydrology. Pergamon Press: 275-290, 1967.

HIBBERT, A.R. **Forest treatment effects on water yield**. In: SOPPER, W.E.; LULL, H.W. (eds.) *Forest Hydrology*, New York: Pergamon, p.527-543. 1967.

HORIKOSHI, A. S.; FISCH, G. **Balanço hídrico atual e simulações para cenários climáticos futuros no município de Taubaté, SP. Brasil**. Ambi-Água. v. 2, n. 2, p. 33-46. 2007.



HORTON, L.D. **An approach toward a physical interpretation of infiltration capacity.** Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison, v.5, 399-417, 1940.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ (IAPAR.). Disponível em: [http://www.iapar.br/arquivos/File/zip\\_pdf/radiacao\\_solar.pdf](http://www.iapar.br/arquivos/File/zip_pdf/radiacao_solar.pdf). Acesso em 25. Agosto 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual Técnico da Vegetação Brasileira (Série Manuais Técnicos em Geociências Número 1).** Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 1992.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php>>. Acesso em 07. Julho.2015.

KOBIYAMA, M. **Ruralização na gestão de recursos hídricos em área urbana.** Revista OESP Construção, São Paulo: Estado de São Paulo, Ano 5, n. 32, p.112-117, 2000.

KOSTIAKOV, A.N. **On the dynamics of the coefficient of water - percolation in soils and on the necessity for studying it from a dynamic point of view for purposes of ameliation.** Trans. 6th comm. Intern. Soc. Soil Sci., Moscou, Part A., 17-21, 1932.

LEE, R. **Forest Hydrology.** Columbia University Press. 349 p., 1980.

LEVIA JR., D.F.; FROST, E.E. **A review and evaluation of stemflow literature in the hydrologic and biogeochemical cycles of forested and agricultural ecosystems.** J. Hydrol., Amsterdam, v.274, p.1–29, 2003.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo.** São Paulo: Editora Universidade de São Paulo, 2005.

LIMA, W.P., **Função hidrológica da mata ciliar.** Simpósio sobre Mata Ciliar. Fundação Cargill: 25-42., 1995.

LIMA, W. de P. **Impacto ambiental do eucalipto,** Univ. de São Paulo, FAPESP, 306p, 1996.

LIMA, W. de P. **Hidrologia Florestal Aplicada ao Manejo de Bacias Hidrográficas**. 2ª edição – Piracicaba: Universidade Estadual de São Paulo, 2008.

LOPES, P.R.C.; COGO, N.P.; CASSOL, E.A. **Influência da cobertura vegetal morta na redução da velocidade e na distribuição de tamanho dos sedimentos transportados**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.11, p.193-197, 1987.

LORENZI H. **Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Vol 1, 1. ed. Nova Odessa: Editora Plantarum 352p. 1992.

LORENZI, HARRI. **Árvores Brasileiras: Manual de Identificação e Cultivo de Plantas Arbóreas Nativas do Brasil**. Vol 3, 1. ed. Nova Odessa, SP. 384p. 2009.

MACIEL NETTO, A.; ANTONINO, A. C. D.; AUDRY, P.; CARNEIRO, C. J. G.; DALL'OLIO, A. Condutividade hidráulica não saturada de um podzólico amarelo da zona da mata norte de Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 6, p.1221-1228, 2000.

MANFREDINI, F. N.; GUANDIQUE, M. E. G.; MORAIS, L. C. **Análise do programa produtor de águas: no contexto dos projetos de pagamentos por serviços ambientais (PSA) implementados no Brasil**. Revista Iberoamericana de Economía Ecológica, Sorocaba, v. 23, p. 47-62, 2014. Disponível em: Acesso em: 26 setembro de 2017.

MARQUELLI WALDIR A. **Tensiômetros para o Controle de Irrigação em Hortaliças**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2008. (Embrapa Hortaliças. Circular Técnica, 57).

MARTHALER, H.P.; VOGERSANGER, W.; RICHARD, F.; WIERENGA, P.J. **A pressure transducer for field tensiometers**. Soil Science Society of American Journal, Madison, v.47, n.4, p.624-7, 1983.

MMA. GEO Brasil: **Recursos Hídricos**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente; Agência Nacional de Águas; Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, 2007.

MOURA, A.E.S.S.; CORREA, M.M.; SILVA, E.R.; FERREIRA, R.L.C.; FIGUEIREDO, A.C.; POSSAS, J.M.C. **Interceptação das chuvas em um fragmento de floresta da Mata Atlântica na bacia do Prata, Recife, PE**. Revista Árvore, v.33, n.3, p.461-469, 2009.

MURTA, Rogério Mendes; TEODORO, Sônia Martins; BONOMO, Paulo and CHAVES, Modesto Antônio. **Precipitação pluvial mensal em níveis de probabilidade pela distribuição gama para duas localidades do sudoeste da Bahia**. Ciênc. agrotec. [online]. 2005, vol.29, n.5, p. 988-994. ISSN 1413-7054.

OLIVEIRA JUNIOR, J.C.; DIAS, H.C.T. **Precipitação efetiva em fragmento secundário da Mata Atlântica**. Revista Árvore, Viçosa, v.29, n.1, p.9-15, 2005.

PIELOU, E.C. **Fresh Water**. The University of Chicago. Press. 275 pp. 1998.

PARCHEN, Carlos Augusto Petersen. **Desenvolvimento de Metodologia para mensuração de alguns parâmetros de processos hidrológicos de superfície em ambiente florestal**. 2007. Dissertação (Doutor em Ciência Florestais) - Programas de Pós Graduação em Engenharia Florestal, UFPR.

PAULA, R. G. et al **Avaliação do comportamento da umidade do solo em áreas de eucalipto e de floresta nativa**. Taubaté, Rev. Ambiente & Água vol. 8 (suplemento), 2013.

PEREA MARTINS, João E. M. **Gotas em detalhes: Coletor desenvolvido na Unesp registra volume de chuvas, data e horário em que ocorreram**. Pesquisa Online FAPESP, SP, ed. 92, 2003. Disponível em: <<http://www.revistapesquisa.fapesp.br/?art=2295&bd=&pg=1&lg=>> Acesso em: 2 outubro 2017.

RAWLS, W. J.; DAVID, G.; VAN MULLEN, J. A.; WARD, T. J. Infiltration. In: AMERICAN SOCIETY of CIVIL ENGINEERS. **Hydrology Handbook**. 2. ed. New York: (ASCE **Manuals and Report on Engineering Practice**, 28). p.75-124. ASCE, 1996.

REICHARDT.K., **Processos de Transferência no Sistema Solo-Planta-Atmosfera**. Fundação Cargil. 286 p., 1975.

RODRIGUES, A. B.; SOUZA, G. T. A. M.; ANACLETO, L. M. O.; BARBOSA, N. R.; DIAS, V.; TARGA, M. S. **O Florestamento na Conservação da Água em Bacia Hidrográfica**. Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade de Taubaté, UNITAU, RECA, Coleção de Recursos Hídricos, ([HTTP://www.agro.unitau.br/dspace](http://www.agro.unitau.br/dspace)). P. 1-17, 2014.

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

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**.4 ed.,Uberlândia: Ed. da Universidade Federal de Uberlândia, 2001.

ROSA, Roberto. **Introdução ao sensoriamento remoto**. Uberlândia: Ed. UFU, 2007. 248 p.

SALASSIER, Bernardo. **Manual de Irrigação**. UFV, Impr. Univ, 1982.

SALES, L. E. O.; FERREIRA, M. M.; OLIVEIRA, M. S.; CURI, N. Estimativa da velocidade de infiltração básica do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 11, p. 2091-2095, 1999.

SALGUEIRO, João Hipólito Paiva de Britto. **Avaliação de rede pluviométrica e análise de variabilidade espacial da precipitação: Estudo de Caso na bacia do Rio Ipojuca em Pernambuco**, 2005. Disponível em: <[http://www.cprm.gov.br/publique/media/mestra\\_salgueiro.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/mestra_salgueiro.pdf)>. Acesso em: 08 jan. 2016.

SANTOS, EDNON DE LIMA. **As vazões de outorga das bacias hidrográficas dos rios Aguapeí e Peixe**. 2011. 1 CD-ROM. Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2011. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/120994>>.

SANTOS, T. A.; FISCH, G. **Temperatura e precipitação: futuros cenários do município de Taubaté, SP, Brasil**. Revista Ambiente & Água, v. 11, n. 5, p. 1068-1087, 2016.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente - Coordenadoria de Biodiversidade e Recursos Naturais CBRN. **Espécies indicadoras de fitofisionomias na transição Cerrado – Mata Atlântica no Estado de São Paulo**. São Paulo, 2013. 146 p.

SARTORI, A; NETO, F .L; GENOVEZ, A. M. **Classificação hidrológica dos solos brasileiros para a estimativa da chuva excedente com o método do Serviço de Conservação do solo dos Estados Unidos**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Volume 10 n.4 Out/Dez 2005.

SEIXAS, B. L. S. **Fundamentos do manejo e da conservação do solo**. Salvador: Centro Editorial e Didático da UFBA, 1984. 304 p.

SCHULTZ, L. A. **Métodos de conservação de solo e água**. Porto Alegre, 1978.

SILVA, A.M. **Princípios Básicos de Hidrologia**. Departamento de Engenharia. UFLA. Lavras MG. 1995.

SILVA, C.; KATO, E. **Efeito do selamento superficial na condutividade hidráulica saturada da superfície de um solo sob cerrado**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 32, n. 2, p. 213- 220, 1997.

SILVA, D. D.; RAMOS, M. M. **Planejamento e gestão integrada dos recursos hídricos**. Brasília: ABEAS; Viçosa: UFV/DEA, 2001. 89p. (Curso de Uso Racional dos Recursos Naturais e seus Reflexos no Meio Ambiente. Módulo 10).

SILVEIRA, A. L. L. **Ciclo Hidrológico e a Bacia Hidrográfica**. In TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Edusp / ABRH, 1997, 35-51p.

SOARES FILHO, B.S. **Modelagem da dinâmica de paisagem de uma região de fronteira de colonização amazônica**. Tese (Doutorado Departamento de Engenharia de Transportes)-Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 299 p., 1998.

SOUZA, E. R.; FERNANDES, M. R. **Sub-bacias hidrográficas: unidades básicas para o planejamento e a gestão sustentáveis das atividades rurais**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 21, n. 207, p.15-20, nov./dez. 2000.

THIEL, T.J. **Electrical water pressure transducers for field and laboratory use**. Soil Science Society of American Journal, Madison, v.27, n.5, p.601-2, 1963.

THORNTHWAITE, C.W. & MATTER, J.R. **The water balance**. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955. 104 p. Publication in climatology.

TRACOM IMP. EXP. E COM LTDA. **Watermark sensores para monitoramento da umidade do solo**. Disponível em: <<http://www.tracom.com.br/Irrrometer/pdf/watermark.pdf>>. 2004. Acesso em: 14 de setembro 2017.

TRIMBLE, S.W.; WEIRICH, F.H.; HOAG, B.L. **Reforestation and the reduction of water yield on the southern Piedmont since circa 1940**. Water Resources Research, Washington, v.23, p.425-437, 1987.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2ed. Porto Alegre: Editora UFGRS / ABRH, 2001. 943p

TUCCI, C. E. M. 1997. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2.ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, 1997. (Col. ABRH de Recursos Hídricos, v.4).

UNITAU. Universidade de Taubaté, **Plano de Bacias CBH-OS 2000 – 2003** (CPTI 2001) [http://www.agro.unitau.br/una/una\\_plano\\_bacias\\_04.html](http://www.agro.unitau.br/una/una_plano_bacias_04.html). Acesso em 13 de setembro de 2017.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: Mc Graw Hill, 1975, 247p.

WALTON, W.C., 1970. **The World of Water**. Taplinger Publishing Co., New York. 318 p.

WORD VISION (2004). **Manual de Manejo de Cuencas**. 2ª. Edición. Coordinador General: Ing. Carlos Gómez. Visión Mundial El Salvador. San Salvador. 2004. 154p.