

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ – UFPR
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

**DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA PARA MENSURAÇÃO DE ALGUNS
PARÂMETROS DE PROCESSOS HIDROLÓGICOS DE SUPERFÍCIE EM
AMBIENTE FLORESTAL**

**CURITIBA
2007**

CARLOS AUGUSTO PETERSEN PARCHEN

**DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA PARA MENSURAÇÃO DE ALGUNS
PARÂMETROS DE PROCESSOS HIDROLÓGICOS DE SUPERFÍCIE EM
AMBIENTE FLORESTAL**

**Tese apresentada como requisito
parcial à obtenção do Grau de Doutor
em Ciências Florestais do Programa de
Pós-Graduação em Engenharia
Florestal, Setor de Ciências Agrárias da
Universidade Federal do Paraná.**

Orientador:

Prof. Dr. Sylvio Péllico Netto

Co-Orientador:

Prof. Dr. Nivaldo Eduardo Rizzi

**CURITIBA
2007**

À Mazé, minha razão maior nesta existência e propulsora de minhas conquistas, dedico com muito amor e paixão.

Para ela: “O Tango não é uma Dança, é um Jogo de Sedução!”

AGRADECIMENTOS

À Sociedade Brasileira, por ter custeado meus estudos de nível superior, inclusive este Curso de Doutorado;

À EMATER-PR, por acreditar em meu potencial e me propiciar todas as condições de fazer este Curso, e pela compreensão e apoio quando enfrentei sérios problemas pessoais;

Ao Professor Doutor Sylvio Péllico Netto, pela confiança em mim depositada, pela compreensão com os problemas de saúde que tive, pela generosidade e pela orientação segura e firme;

Ao Biólogo Érico Emed Kauano, pelo inestimável apoio e dedicação na implantação do meu experimento, na coleta de dados em toda a condução do mesmo e pela amizade que me propiciou;

Ao Sr. Sérgio Erdelyi, por todo o incentivo e apoio ao meu projeto, desde o início do mesmo, nos propiciando meios para o melhor desenvolvimento deste estudo e também pelo exemplo de ser humano e de ambientalista;

Ao colega de PUC-Pr, Saulo Henrique Weber, pelo precioso auxílio na análise estatística, na elaboração de gráficos e pelas sugestões para este estudo;

Ao amigo e irmão Prof. Renato Tratch, por ter repartido comigo os momentos do ser Professor e do processo de aprendizado, entendendo minhas limitações e preocupações;

Ao colega de PUC-PR e amigo Prof. Airton Rodrigues Pinto Jr., pelo apoio inestimável enquanto Diretor do Curso de Agronomia da PUCPR e também enquanto pessoa;

Aos meus filhos, Charles e Helber, pela compreensão e apoio nos momentos difíceis;

Aos Professores e Funcionários do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da UFPR, pela dedicação e excepcional qualidade;

À Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, pelo entendimento e compreensão frente aos problemas de saúde que enfrentei;

Aos meus alunos, pela renovação de energias e motivação que sempre me trouxeram;

Ao PELD, pelo apoio financeiro a este estudo.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE QUADROS	xi
LISTA DE TABELAS	xii
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xiv
1 INTRODUÇÃO	01
1.1 Hipóteses Norteadoras	10
1.2 Objetivos	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 Precipitação	22
2.2 Infiltração	29
2.3 Escoamento Superficial	46
2.4 Interceptação	53
3 MATERIAL E MÉTODOS	66
3.1 Caracterização do local dos experimentos	66
3.2 Experimento 01 – Infiltração e escoamento superficial	69
3.3 Experimento 02 – Taxa ou velocidade de infiltração	88
3.4 Estudo da Interceptação / gotejamento interno	95
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	98
4.1 EXPERIMENTO 1 – MESAS COLETORAS	98
4.2 EXPERIMENTO 2 – INFILTRÔMETROS	131
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	144
5.1 CONCLUSÕES	144
5.2 RECOMENDAÇÕES	148
6 BIBLIOGRAFIA	150

7	ANEXOS	164
	ANEXO I - Anexos do Experimento 1	165
	ANEXO II - Anexos do Experimento 2	170

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 -	Esquema do ciclo hidrológico	16
FIGURA 02 -	Esquema representativo da bacia hidrográfica	20
FIGURA 03 -	Esquema da partição da precipitação que chega ao solo	30
FIGURA 04 -	Esquema representativo de rio intermitente ou temporário (infiltração influente) e rio permanente ou perene (infiltração efluente).....	31
FIGURA 05 -	Esquema do cilindro infiltrômetro duplo (duplo anel)	38
FIGURA 06 -	Esquema dos fluxos de infiltração no infiltrômetro de cilindro duplo	38
FIGURA 07 -	Esquema do infiltrômetro de aspersão	40
FIGURA 08 -	Esquema de parcelas padrão de infiltração e escoamento superficial	42
FIGURA 09 -	Esquema do permeâmetro a disco	44
FIGURA 10 -	Esquema da interceptação vegetal	55
FIGURA 11 -	Esquema dos componentes da precipitação, da interceptação e do escoamento	57
FIGURA 12 -	Mapa de localização do local dos experimentos	66
FIGURA 13 -	Esquema da toposseqüência da área do experimento	68
FIGURA 14 -	Foto da estrutura retangular acoplada a estrutura triangular	70
FIGURA 15 -	Foto do acoplamento da estrutura triangular fechada com a estrutura retangular	70
FIGURA 16 -	Foto da Estrutura triangular fechada com canos de saída de água	71
FIGURA 17 -	Foto do encaixe dos tubos metálicos com as mangueiras flexíveis	72
FIGURA 17 -	Foto do elemento filtrante de palha de aço desfiada	73
FIGURA 19 -	Foto do tambor de 50 litros utilizado para armazenameto da água de escoamento	74
FIGURA 20 -	Foto das mangueiras colocadas no tambor e travamento do tambor no terreno	75
FIGURA 21 -	Foto do pluviômetro e estaca fixadora	76
FIGURA 22 -	Foto da proveta de 2.000 ml, base plástica e tubo de transporte	77
FIGURA 23 -	Foto do gancho de arame grosso para fixação das mangueiras	81
FIGURA 24 -	Foto das mangueiras fixadas no solo	81

FIGURA 25 - Foto da fixação das mangueiras na vegetação	82
FIGURA 26 - Foto do travamento do tambor no terreno	83
FIGURA 27 - Foto do conjunto de tambores identificados	84
FIGURA 28 - Foto do conjunto de mesas com 4 repetições	84
FIGURA 29 – Foto satélite e esquema da toposseqüência, com locais dos tratamento identificados pelos respectivos números e posição na toposseqüência identificado pelas letras	88
FIGURA 30 – Foto do infiltrômetro de anéis concêntricos	89
FIGURA 31 – Foto do infiltrômetro retangular duplo	90
FIGURA 32 – Foto da colocação do infiltrômetro retangular	92
FIGURA 33 – Foto da colocação do infiltrômetro cilíndrico	93
FIGURA 34 – Foto do infiltrômetro com água e marca de nível	93
FIGURA 35 – Foto do infiltrômetro com água e vareta marcadora de variação de lâmina	94
FIGURA 36 – Gráfico da distribuição da pluviosidade ao longo do experimento	105
FIGURA 37 – Gráfico da pluviometria no tratamento 1 relacionado com a PCD	106
FIGURA 38 – Gráfico da pluviometria no tratamento 2 relacionado com a PCD	107
FIGURA 39 – Gráfico da pluviometria no tratamento 3 relacionado com a PCD	107
FIGURA 40 – Gráfico da pluviometria no tratamento 4 relacionado com a PCD	107
FIGURA 41 – Gráfico da pluviometria no tratamento 5 relacionado com a PCD	108
FIGURA 42 – Gráfico da água escoada em função da pluviometria no tratamento 1	109
FIGURA 43 – Gráfico da água escoada em função da pluviometria no tratamento 2	110
FIGURA 44 – Gráfico da água escoada em função da pluviometria no tratamento 3	110
FIGURA 45 – Gráfico da água escoada em função da pluviometria no tratamento 4	110
FIGURA 46 – Gráfico da água escoada em função da pluviometria no tratamento 5	112
FIGURA 47 – Gráfico do Escoamento (%) em função da pluviosidade (PCD)	114
FIGURA 48 – Gráfico da pluviometria e lâmina de água infiltrada – Tratamento 1	115
FIGURA 49 – Gráfico da pluviometria e lâmina de água infiltrada – Tratamento 2	115
FIGURA 50 – Gráfico da pluviometria e lâmina de água infiltrada – Tratamento 3	116

FIGURA 51 – Gráfico da pluviometria e lâmina de água infiltrada – Tratamento 4	116
FIGURA 52 – Gráfico da pluviometria e lâmina de água infiltrada – Tratamento 5	116
FIGURA 53 – Gráfico da infiltração no Tratamento 1 plotado por grupo de chuva	119
FIGURA 54 – Gráfico da infiltração no Tratamento 2 plotado por grupo de chuva	119
FIGURA 55 – Gráfico da infiltração no Tratamento 3 plotado por grupo de chuva	120
FIGURA 56 – Gráfico da infiltração no Tratamento 4 plotado por grupo de chuva	120
FIGURA 57 – Gráfico da infiltração no Tratamento 5 plotado por grupo de chuva	121
FIGURA 58 – Gráfico das curvas de tendências Tratamento 1 – geral e por grupo	122
FIGURA 59 – Gráfico das curvas de tendências Tratamento 2 – geral e por grupo	123
FIGURA 60 – Gráfico das curvas de tendências Tratamento 3 – geral e por grupo	123
FIGURA 61 – Gráfico das curvas de tendências Tratamento 4 – geral e por grupo	124
FIGURA 62 – Gráfico das curvas de tendências Tratamento 5 – geral e por grupo	124
FIGURA 63 – Gráfico da correlação entre precipitação interna e pluviometria no tratamento 3	125
FIGURA 64 – Gráfico da correlação Tratamento 1 e pluviometria total ...	126
FIGURA 65 – Gráfico da correlação Tratamento 2 e pluviometria total ...	127
FIGURA 66 – Gráfico da correlação Tratamento 4 e pluviometria total ...	127
FIGURA 67 – Gráfico da correlação Tratamento 5 e pluviometria total ...	128
FIGURA 68 – Gráfico da infiltração na área 1 e medição 1 para os dois tipos de infiltrômetros	138
FIGURA 69 – Gráfico da infiltração na área 1 e medição 2 para os dois tipos de infiltrômetros	139
FIGURA 70 – Gráfico da infiltração na área 2 e medição 1 para os dois tipos de infiltrômetros	139
FIGURA 71 – Gráfico da infiltração na área 2 e medição 2 para os dois tipos de infiltrômetros	140
FIGURA 72 – Gráfico da infiltração na área 3 e medição 1 para os dois tipos de infiltrômetros	140
FIGURA 73 – Gráfico da infiltração na área 3 e medição 2 para os dois tipos de infiltrômetros	141
FIGURA 74 – Gráfico da água coletada nos tambores em função dos dados dos pluviômetros	164

FIGURA 75	– Gráfico das Curvas de Tendência de infiltração - Tratamento 1.....	165
FIGURA 76	– Gráfico das Curvas de Tendência de infiltração - Tratamento 2.....	166
FIGURA 77	– Gráfico das Curvas de Tendência de infiltração - Tratamento 3.....	166
FIGURA 78	– Gráfico das Curvas de Tendência de infiltração - Tratamento 4.....	167
FIGURA 79	– Gráfico das Curvas de Tendência de infiltração - Tratamento 4.....	167
FIGURA 80	– Foto do detalhe da lâmina inferior, em vista lateral	168
FIGURA 81	– Foto do detalhe da lâmina inferior, traseira da mesa	168
FIGURA 82	– Foto do detalhe da lâmina inferior, frente da mesa.....	169
FIGURA 83	– Foto do detalhe da lâmina inferior, junção frente / lateral.....	169
FIGURA 84	– Foto 1 do dossel florestal da Floresta Ombrófila Mista	170
FIGURA 85	– Foto 2 do dossel florestal da Floresta Ombrófila Mista	170
FIGURA 86	– Foto da borda da Floresta Ombrófila Mista	171
FIGURA 87	– Foto do Reflorestamento com Pinus	171
FIGURA 88	– Foto do dossel florestal do Reflorestamento com Pinus ...	171
FIGURA 89	– Foto do Reflorestamento com Pinus, detalhes dos troncos	172

LISTA DE QUADROS

QUADRO 01	– Dados coletados no tratamento 1	100
QUADRO 02	– Dados coletados no tratamento 2	101
QUADRO 03	– Dados coletados no tratamento 3	102
QUADRO 04	– Dados coletados no tratamento 4	103
QUADRO 05	– Dados coletados no tratamento 5	104
QUADRO 06	– Volume médio de água de escoamento por tambor e por tratamento	112
QUADRO 07	– Medições na área/determinação 1	132
QUADRO 08	– Medições na área/determinação 2	133
QUADRO 09	– Medições na área/determinação 3	134
QUADRO 10	– Valores de Velocidade de Infiltração Básica com o uso dos Infiltrômetros de Cilindro e Retangular	134
QUADRO 11	– Parâmetros calculados para a Equação Potencial e determinação da velocidade de infiltração instantânea para o tempo de estabilização de infiltração	136
QUADRO 12	– Funções entre tempo de infiltração e lâmina infiltrada ..	142
QUADRO 13	– Tempo máximo de precisão das curvas ajustadas	143

LISTA DE TABELAS

TABELA 01	– Regressões dos dados dos pluviômetros	106
TABELA 02	– Matriz de Correlação entre os tratamentos	109
TABELA 03	– Escoamento superficial em porcentagem em cada tratamento	113
TABELA 04	– Regressão entre dados de pluviômetros e lâminas de água infiltradas	116
TABELA 05	– Funções e R^2 ajustados das curvas gerais de infiltração	118
TABELA 06	– Funções e R^2 ajustados das curvas de infiltração por grupo de chuvas	118
TABELA 07	– Lâmina média e máxima infiltrada em cada tratamento ..	123
TABELA 08	– Correlação entre % interceptação e pluviometria total	127
TABELA 09	– Lâmina interceptada em cada tratamento	129
TABELA 10	– Interceptação para as cinco menores precipitações	130
TABELA 11	– Comparação de peso e consumo de água dos infiltrômetros	137

RESUMO

Este trabalho teve por objeto o desenvolvimento de metodologias alternativas, eficientes e de baixo custo, para utilização em ambiente florestal, com facilidade operacional superior aos meios tradicionais, para aplicação na mensuração da infiltração de água no solo, do escoamento superficial e também auxiliar a determinação de outros parâmetros do ciclo hidrológico. Os estudos foram conduzidos no município de Tijucas do Sul - Paraná, em altitude média de 1.075 m acima do nível do mar e clima local, segundo a classificação de Köppen, designado como **Cfb**. Foram realizados dois experimentos, sendo que o primeiro objetivou a utilização e desenvolvimento da metodologia para determinação da infiltração, escoamento superficial e interceptação vegetal direta, através de mesas ou calhas coletoras de pequeno porte, confeccionada em chapa metálica galvanizada com dimensões internas de 0,98 m de comprimento, 0,27 m de largura e 0,11 m de altura. Foram implantados cinco tratamentos com quatro repetições, sob duas diferentes coberturas florestais – Floresta Ombrófila Mista e plantio de *Pinus spp* -, e sob duas diferentes fisiografias - solo e declividade -, além de tratamento em área sem cobertura de dossel. O segundo experimento objetivou comparar a utilização de infiltrômetro de lâmina de água, de tamanho pequeno, retangular duplo ou de duplo retângulo, com o método padrão do cilindro infiltrômetro duplo ou de duplo anel, sendo realizadas três determinações, em diferentes condições de cobertura vegetal - mata nativa, plantio de *Pinus spp* e bosque plantado em área de solos em recuperação de corte/empréstimo de terra. A utilização dos pluviômetros em cada tratamento mostrou ser eficiente na detecção da pluviometria na região, apresentando excelentes correlações com os dados de uma Plataforma Automática de Coleta de Dados - PCD. Os estudos de infiltração correlacionados com a precipitação mostraram a ocorrência de especificidades em três diferentes grupos de chuva. A comparação das médias de escoamento superficial (Tukey 5%) comprovou a diferença de proteção do dossel florestal e a sensibilidade da metodologia adotada. Os testes de infiltração com infiltrômetros de lâmina de água propiciaram ajustes de curvas específicas de infiltração e comparação da eficiência dos equipamentos utilizados. Os resultados obtidos, submetidos à análise estatística, permitiram concluir que o primeiro experimento apresentou resultados consistentes, sensíveis e confiáveis na determinação da infiltração de água no solo, do escoamento de água superficial e da precipitação interna/interceptação direta. Isso evidencia a eficiência do método para as condições do estudo, bem como baixo custo de implantação e facilidade operacional. Os resultados obtidos com o segundo experimento indicam vantagens operacionais na utilização do infiltrômetro retangular duplo, quando comparado com o método padrão do infiltrômetro cilíndrico de duplo anel.

Palavras-chave: infiltração, escoamento superficial, interceptação, coletores, infiltrômetros, pluviometria.

ABSTRACT

This work aims developing efficient and low cost alternative methodologies in forest environments providing superior operational facilities in relation to the traditional ways for measuring water infiltration in soil, superficial draining besides support in determining others hydrological cycle parameters. The study was conducted in a city called Tijucas do Sul – Paraná State, between 800m and 1350m above sea level with local climate conditions according to Köppen classification **Cfb**. Two experiments were done: the first one aimed the usage and development of methodology for determining superficial draining, infiltration and direct vegetal intercepting through tables or small gutters made of galvanized sheet with the following measures: 0,98m length, 0,27m width and 0,11m height. It was implemented five treatments with four repetitions under two different forest conditions – native forest and *Pinus spp* plantation, two different spaces – soil and declivity besides treatment in area without any forest coverage. The second experiment aimed to compare the usage of a pool of water infiltration meter in small size with the double rectangular shape or the double rectangle to the standard method – infiltration meter in double cylinder or double ring shape. It was implemented three treatments in different forest conditions: native forest, *Pinus spp* plantation and ornamental woods in an environmental recovering area. The pluviometer usage in each of the treatments was as efficient as the Automatic Data Collector Platform in checking the rainwater levels in the region showing excellent co relations. Infiltration studies co related to precipitation showed different characteristics in the three groups of rain. The comparison among the superficial draining averages (Tukey 5%) proved some differences in forest coverage protection and in the sensibility of the methodology adopted. The infiltration test with a pool of water infiltration meter made some specific curve adjustments of infiltration and efficiency comparison in used equipments. The statistical analysis of the results allowed to conclude the first experiment presented consistent, sensitive and reliable results in determining: the water infiltration in soil, the artificial water draining and internal/direct precipitation. Those were evidences of the method efficiency for the study conditions as well as for the low cost of implementation and its operational advantage. The achieved results in the second experiment pointed to operational advantages in using double rectangular infiltration meter when comparing to the standard method – infiltration meter in double ring cylinder.

Key Words: infiltration, superficial draining, interception, collectors, infiltration meters, pluvial.

1 INTRODUÇÃO

Quando existia aparente abundância de água, ela foi tratada como bem livre, sem valor econômico. No entanto, com o crescimento da demanda e com a poluição ambiental, começaram a surgir conflitos entre usos e usuários da água. Com a escassez, a água passou a ser gerida como bem econômico, para o qual se tornou necessário atribuir um justo valor (SETTI *et al.*, 2001).

Segundo Selborne (2001), a água, que foi sempre respeitada e reverenciada pelas civilizações, constituindo-se em um símbolo comum da humanidade, tornou-se, nos tempos atuais, também um símbolo da equidade social, pois a crise da água é fundamentalmente de sua distribuição e de seu uso, e não de sua falta absoluta.

O reconhecimento da água como bem de valor econômico, passível de cobrança, vem da própria Agenda 21, resultado da conferência realizada pela ONU no Rio de Janeiro, em junho de 1992 (OLIVEIRA, 2003).

De qualquer maneira, hoje, os recursos hídricos constituem um bem econômico, finito, vulnerável e precioso, reconhecido como bem comum da humanidade. Gerir esse recurso de forma ambientalmente sustentável, é obrigação básica e de sobrevivência para o bem-estar e qualidade de vida na sociedade, bem como para permitir o desenvolvimento econômico de uma região (CANALI *et al.*, 2000; MEDEIROS *et al.*, 2005; MENINO e MACÊDO, 2005).

Destaca Soares (2004) que existem, de forma clara, as seguintes tendências sobre a questão das águas:

- o aumento da população aumenta a pressão sobre água e terra;
- existe crescente demanda por melhoria do padrão de vida;
- é necessário promover avanços no conhecimento do ciclo hidrológico e da influência do homem sobre este;
- estão emergindo novos problemas, tais como incorporação de terras áridas, ocupação de várzeas, poluição, conflitos sobre a utilização de terras;
- o controle de uso da água passa a ser público;
- a efetivação da consciência ecológica implica em implementar-se mudanças;
- o reconhecimento e a adoção da bacia de drenagem como unidade natural para manejo da água.

Nesse mesmo sentido, Tucci, Hespanhol e Cordeiro Netto (2003) colocam que existe uma identificação de três possíveis cenários de futuro, no que se refere ao uso da água, que são cenários evolutivos:

- o primeiro representa uma simples reprodução no futuro da atual situação de uso e aproveitamento da água;
- o segundo cenário apresenta uma abordagem do recurso hídrico como bem econômico, e se mostra como solução rápida aos problemas associados a um ineficiente aproveitamento da água;
- o terceiro cenário engloba objetivos coletivos de uso e aproveitamento da água, considerando valores sociais e de qualidade de vida. Em parte é uma reação ao cenário anterior, em que a gestão da água se processaria priorizando-se as condicionantes econômicas, financeiras e tecnológicas.

Vários organismos internacionais têm destacado que a questão água deve ser tratada junto com o uso da terra. Nessa ótica, é provável que decisões sobre os usos da terra e da água em uma parte de uma bacia hidrográfica, signifiquem oportunidades ou limitações para os usuários em outra parte dessa bacia. Isso se constitui em argumento a favor de um planejamento integrado, em nível de bacia hidrográfica, de modo a se garantir um uso equânime e sustentável do recurso água (BANCO MUNDIAL, 1992).

No Brasil, em função das dimensões do país, a variabilidade climática anual e sazonal, e a variabilidade da terra e da paisagem, em todo o território brasileiro, são significativas. Essa variabilidade, que deve ser considerada em todos os planejamentos, é a condicionante maior dos recursos hídricos, constituindo-se, para as atividades socioeconômicas, importante fator de sustentabilidade. É também mais um argumento a favor do planejamento integrado em bacias hidrográficas (TUCCI, HESPANHOL e CORDEIRO NETTO, 2003).

A legislação brasileira sobre águas, já considera a bacia hidrográfica como a unidade de planejamento para a gestão dos recursos hídricos, englobando nesse planejamento a formação hidrogeológica. Na bacia hidrográfica fica mais fácil fazer-se o contraponto entre disponibilidades e demandas, fundamentais para o balanço hídrico (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2002; GOMES *et al.*, 2003).

Portanto, para se garantir a manutenção do desenvolvimento sustentável, considerando-se a bacia hidrográfica como a base para o planejamento, deve-se buscar o equilíbrio entre as ações voltadas para o crescimento socioeconômico e a

preservação ambiental. A necessidade de utilização das águas e a sua relativa escassez tornam o conhecimento de parâmetros hidrológicos de fundamental importância para o seu gerenciamento adequado, visando minimizar as restrições e os conflitos pelo seu uso (SETTI *et al.*, 2001; ALENCAR, SILVA e OLIVEIRA, 2006).

Fica evidenciado que, para gerir adequadamente um recurso, em especial um tão essencial e restrito como a água, de modo a permitir um correto planejamento, é imprescindível conhecê-lo a fundo. São necessários estudos e desenvolvimento de sistemas, ferramentas, equipamentos e modelos matemáticos que possam dar suporte aos processos de tomada de decisão, em especial sobre a disponibilidade hídrica, vazões outorgáveis e captação de água (RORIZ, MENDONÇA e TEIXEIRA, 2001; MAGALHÃES, 2005). Existe, portanto, a peremptória necessidade da busca do conhecimento dessa área vital e sensível.

No que se refere a busca do conhecimento, é importante lembrar que é a partir da busca sistematizada do conhecimento científico, sobre uma dada coisa, fato, ou atividade, que se cria o saber, e este, como consequência direta, permite a transformação do conhecimento em aprendizado, em práxis, e contribui para que se evite o erro da falta de planejamento ou do planejamento errado (MEDEIROS *et al.*, 2005).

Sem sombra de dúvida, a questão do conhecimento e do planejamento da utilização dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas, em especial os da água superficial e da água subterrânea, passa também pelo ambiente florestal, entendido aqui como as florestas naturais, em diversos estágios de preservação e os diversos tipos de reflorestamento.

O ambiente florestal é onde se potencializam as possibilidades de captação de água na natureza, sendo a verdadeira “caixa de água” das minas, nascentes, rios e reservatórios de água subterrânea. Em decorrência, conhecer e mensurar os processos de superfície que ocorrem a partir da água de precipitação, nos ambientes florestais, é fundamental para a correta gestão dos recursos hídricos.

Para essa gestão, o conhecimento, transformado em saber, deve suprir as respostas de quanto, como, onde e quando, a água pode ser obtida e, em consequência, pode ser utilizada (MEDEIROS *et al.*, 2005).

A precipitação é variável primeira a ser considerada em qualquer estudo sobre a água em ambientes da natureza, pois é a fonte que abastece todos os reservatórios, incluso aí o solo e o subsolo (MEDEIROS *et al.*, 2005).

A capacidade de infiltração do solo é a segunda variável a ser considerada, pois a água precipitada que não fica retida na vegetação, na serapilheira ou estocada sobre o solo, e que não evaporou antes de atingir o solo, só tem a opção de infiltrar neste ou escoar sobre este. Em infiltrando, constituir-se-á na verdadeira reserva da água que mantém a perenidade de fontes, nascentes e aquíferos (MEDEIROS *et al.*, 2005).

O escoamento superficial, a terceira variável, é dependente da capacidade instantânea de infiltração de água do solo da área estudada. Essa água abastece rapidamente os cursos de água e os reservatórios de superfície – lagos, açudes e barragens. É também a causa energética da erosão hídrica, geológica ou antrópica (MEDEIROS *et al.*, 2005).

A interligação dessas variáveis - precipitação, infiltração e escoamento superficial -, embora sejam básicas em todas as bacias hidrográficas, em qualquer região macroclimática, torna-se essencialmente crítica nas regiões do semi-árido, pois nessas áreas, o planejamento das bacias hidrográficas deve garantir a minimização das perdas de água e maximizar a eficiência de utilização dos recursos hídricos. Pode ser utilizado como exemplo, o uso de cultivo em curvas de nível e os sistemas de terraceamento, que reduzem a erosão e aumentam a oportunidade de infiltração que, associada ao uso de cobertura morta, aumenta a disponibilidade temporal de água no solo para as plantas (CURI *et al.*, 2001).

Isso reforça a necessidade do conhecimento dos processos hidrológicos de superfície, estudados, e mensurados *in situ*, de modo a se ter a realidade local aplicável ao planejamento das propriedades e das bacias hidrográficas.

Outro aspecto a ser analisado e considerado, é o de que a Sociedade, intuindo a importância dos ambientes florestais na correta gestão da água, tem exigido dos proprietários e propriedades rurais que mantenham e/ou reponham as florestas, nas áreas de preservação permanente e na reserva legal, estabelecendo legislação cada vez mais rígida, fiscalização mais intensa e repressão mais eficaz (SELLES, 2001).

Isso faz com que se atribua, por obrigação, ao produtor e proprietário rural que estes sejam, mais que um produtor rural, também um “**produtor de água**”, por manter áreas florestais que reabastecem o reservatório natural do solo e que controlam parte do escoamento superficial (SMA, 2003; MENINO e MACÊDO, 2005).

No entanto, a sociedade continua a consumir água de maneira perdulária, pagando, em especial no caso brasileiro, muito barato pela água tratada de consumo nas cidades ou valor nenhum pela água natural de minas, nascentes e corpos de água.

De modo geral não se reconhece que aqueles proprietários e produtores, plantadores e preservadores de áreas florestais, receberam da sociedade a incumbência de “produzir” um bem precioso e de valor econômico, que todos querem desfrutar, sem reconhecer-lhes o valor intrínseco e o “custo de produção”, atribuído, unilateralmente, a um setor da sociedade – o meio rural brasileiro.

Alerta a esse respeito Magalhães (2005) que na definição da Lei 9433, a água é um recurso natural escasso e dotado de valor econômico, e que a cobrança de seu uso é um instrumento que visa, entre outros objetivos, criar a cultura e o reconhecimento da água como bem econômico, propiciando ao usuário a percepção de seu real valor.

No evento realizado em 08/12/2005 pela SMA – Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, com a denominação – *Encontro Floresta-Água: A cobrança do uso da água e o ressarcimento ao produtor de água* –, a pesquisadora **Helena Carrascosa** (SMA, 2005), que coordena o projeto GEF Mata Ciliar, mostrou que pesquisa realizada nas propriedades rurais de São Paulo, demonstrou que não se recupera floresta ciliar nesse estado porque a maioria das terras que precisam ser reflorestadas estão em propriedades privadas, e os proprietários não acham justo que eles arquem com os custos da restauração, para o bem da coletividade, sem receber em troca algum incentivo ou remuneração vindo da sociedade. Destacou também que existe a falta de instrumentos efetivos para mensurar e monitorar os processos de “produção de água”.

No mesmo encontro, **Ademar Ribeiro**, da UNICAMP – Universidade de Campinas – destacou que dois aspectos devem ser levados em conta para que o processo da preservação da floresta, água e meio ambiente não seja pontual: 1) que a avaliação econômica não seja o único critério; 2) que se considere a escala do projeto e os parâmetros de uso e cobertura sobre o solo (SMA, 2005).

Destacou, ainda, que a questão econômica não pode ser o único critério, porque as técnicas e metodologias existentes são falhas e inconsistentes, que têm limites na mensuração, sendo necessário ampliar e exercitar as técnicas de

valoração. Afirma que não pode ser uma simples análise B/C – Benefício/Custo e que essa relação tem que ser parte de uma avaliação multicritérios (SMA, 2005).

Já o pesquisador **Henrique Chaves**, da UnB - Universidade de Brasília colocou que até agora tem se proposto compensar o “produtor de água” com valores proporcionais a redução da erosão e dos sedimentos transportados pela água, mas que isso não se aplica para a preservação e implantação de florestas (SMA, 2005) e sim para as áreas agrícolas, em especial as do centro-sul do país.

Em suas conclusões, esse pesquisador afirma que a recuperação dos investimentos na preservação ambiental deve vir da cobrança pelo uso da água “produzida”, que isso é permitido pela Legislação da ANA – Agência Nacional de Águas – e é de fácil implementação, mas destaca que se tem apenas parte dos dados necessários para o cálculo de valoração da “produção de água”, e que ainda não se tem certeza de como monitorar e mensurar os processos (SMA, 2005).

Percebe-se, em especial no alerta do pesquisador Henrique Chaves (SMA, 2005), mas corroborado também em muitos outros trabalhos apresentados em todo o Brasil e no próprio direcionamento da ANA, que os esforços empreendidos, até agora, para procurar “remunerar” o produtor de água, estão concentrados na metodologia e abordagem dada pela estimativa relativa dos níveis de abatimento de sedimentação, e pela facilidade da certificação da implementação das práticas e manejos em nível de campo, através de fichas-padrão (CHAVES *et al.*, 2006). Isso, em verdade não contempla o quanto de água total foi gerada, mas apenas e parcialmente, a qualidade da água gerada.

No que se refere à produção de água, o quanto é gerado de água pela atividade florestal, representada pelo saldo positivo do balanço hídrico (quando for o caso) das bacias de abastecimento de corpos de água (rios, lagos, reservatórios de barragens), isso é abordado, de maneira genérica, pelo estudo do balanço hídrico das bacias e microbacias hidrográficas.

Destacam Gomes *et al.* (2003) que os mananciais brasileiros, basicamente são dependentes de águas superficiais que decorrem, essencialmente, de manejo das bacias hidrográficas, que são as captadoras e distribuidoras da água de chuva que chega até elas.

Ainda segundo Gomes *et al.* (2003), a importância da bacia hidrográfica para os recursos hídricos é tal que a Lei 9.433/1997 – Lei das Águas – a define como a unidade básica de planejamento.

Portanto, os mananciais necessitam uma correta gerência, que respeite as condições naturais, econômicas e sociais das bacias que os suportam. A gestão dos recursos hídricos pode ser separada em duas vertentes:

- a do Manejo de Bacias, que trata das inter-relações da água de chuva com os vários componentes da superfície, em especial o escoamento e infiltração e a erosão;
- aquela que considera e analisa a bacia hidrográfica em um imenso reservatório de água, que vai sendo repassada aos cursos d'água de maneira regular ao longo do ano (GOMES *et al.*, 2003).

Destacam esses autores que a primeira abordagem, em termos do produtor de água, é muito perversa, pois trata apenas daquilo que chega instantaneamente ao leito do rio, e que a segunda vertente é muito mais interessante para a sociedade. E se tenta remunerar o produtor de água apenas pela primeira abordagem, quando a segunda é muito mais essencial para a sociedade (GOMES *et al.*, 2003).

É cada vez mais urgente, portanto, mensurar, avaliar e monitorar o que acontece com a água de precipitação efetiva, aquela que chega à superfície do solo, objetivando contribuir para que se desenvolva uma forma efetiva de mensuração da produção de água, e que possibilite a proposta de modelos e formas de remuneração ao produtor de água, que não baseado exclusivamente em parâmetros de manejo e conservação de solos das áreas agriculturáveis, mas que considerem também as áreas florestais.

Com isso concorda o pesquisador Ademar Ribeiro, que destaca existirem dificuldades de mensuração dos parâmetros de “produção de água”, de seu monitoramento e mensuração (SMA, 2005).

Essa percepção já era apresentada por Poggiani (1982), que alertava para a necessidade de pesquisas prioritárias sobre infiltração da água e sua percolação, sobre o armazenamento da água em áreas florestadas e sobre os reflexos das áreas florestais sobre a quantidade e qualidade da água produzida. Ressaltava a necessidade de se acompanhar esses estudos na evolução de algumas bacias hidrográficas experimentais, analisando as conseqüências do seu manejo sobre o regime hídrico.

Nesse mesmo sentido, outros autores destacam que medições *in situ* são de elevada importância na caracterização dos dados necessários para se estudar os

parâmetros de água, em bacias hidrográficas, que permitam a tomada de decisão, inclusive para remuneração da produção de água e da cobrança pelo seu uso. Exemplo disso é a caracterização do movimento da água no solo, em condição de não saturação, tais como: infiltração, escoamento da água de chuva e irrigação, e movimento de solutos e nutrientes (SILVA e GODINHO, 2002).

No entanto, esses tipos de estudos e pesquisas encontram dificuldades de execução, pois os métodos usuais (padrões) para tais determinações requerem semanas de testes e grande quantidade de água, além de pessoal treinado e equipamentos caros (SILVA e GODINHO, 2002).

Como desvantagem mais crítica desses métodos, tem-se o reduzido número de valores pontuais que se pode estimar e que se complica pela variabilidade espacial e temporal das características do solo (SILVA e GODINHO, 2002).

Destaca Oliveira (2003a) que essas dificuldades de medições e mensurações que envolvem os processos de precipitação, evaporação, infiltração, escoamento e outros parâmetros hidrológicos, constituem uma das dificuldades e limitações para a utilização de modelos matemáticos. Alerta o autor que nenhuma metodologia substitui as medições de informações que permitam aferir os parâmetros do modelo utilizado. Quanto menor for a disponibilidade de informações, maiores serão as incertezas dos prognósticos, sendo, portanto, objetivo a ser perseguido, o de se melhorar as formas de coleta de dados, qualitativamente e quantitativamente.

Dentro dessa mesma questão, no que se refere ao comportamento da água precipitada e decorrente infiltração e escoamento superficial, tem sido destacado também a dificuldade de uso das parcelas-padrão, que exigem isolamento de áreas, por produzirem efeitos de bordas que alteram a realidade e que não reproduzem adequadamente o ambiente natural (FRANCO *et al.*, 2002). Além disso, sua implantação em florestas naturais é bastante dificultada e acaba mesmo, se tornando invasiva.

Métodos de alta eficiência para determinação de taxas de infiltração e de água de escoamento superficial (PANACHUKI *et al.*, 2006), como os infiltrômetros de aspersão, se mostram ineficazes para serem aplicados em ambientes florestais, especialmente em medições multi-pontuais, pela baixa portabilidade e difícil transporte dos itens necessários para sua operação, além do custo elevado.

Diante deste aspecto, é importante o estudo de novas metodologias para a determinação da capacidade de infiltração básica (COELHO *et al.*, 2000).

O método a ser selecionado para determinação do comportamento da água na superfície do solo, em especial para uma adequada determinação das características de infiltração de água no solo e do escoamento superficial, deve representar esses fenômenos de forma análoga ao que ocorre na natureza, pois a taxa de infiltração é influenciada pelas condições de superfície e pelo teor de umidade do solo (PRUSKI, RODRIGUES e SILVA, 2001; PANACHUKI *et al.*, 2006).

Destaca Mauro (2003), que dentro desse enfoque, no Brasil esse campo de estudo encontra-se muito pouco explorado. O autor exemplifica as seguintes áreas: a da caracterização da zona ripária; a das medições hidrológicas em microbacias experimentais, com o objetivo de desenvolver modelos específicos de previsão do escoamento direto; a de medições isoladas dos componentes de escoamento ao longo das encostas; a das propriedades hidrológicas do solo nas áreas saturadas; a do aspecto dinâmico da água em zona ripária. Afirma que estudos nesses segmentos são raros e muito necessários.

Como parte de todo esse processo, busca-se, então, o desenvolvimento de dispositivos e metodologias, realmente simples, para determinação das relações que ocorrem com a água que atinge a superfície do solo e também para estudos de movimento de água em solo não saturado.

Essa metodologia deve ser eficiente e eficaz em ambientes florestais, portátil, capaz de ser aplicada em muitos pontos, de custo baixo e simplicidade operacional, com baixo consumo de água e pouca aplicação de mão-de-obra.

Todo conhecimento científico que se buscar nessa área, que possa ser transformado em práxis tecnológica e metodológica, terá importantes repercussões técnicas, econômicas e sociais, conforme descrito anteriormente.

É nesse sentido e com tal intenção que o presente estudo se direciona, esperando contribuir de forma efetiva.

1.1 HIPÓTESES NORTEADORAS

Tem-se, para efeitos deste trabalho, como problema de pesquisa, a constatação de que os métodos padrão para determinação *in situ* dos parâmetros de infiltração e escoamento superficial da água no solo, em especial em ambientes florestais, apresentam limitações e dificuldades de sua utilização (SMA, 2005; SILVA e GODINHO, 2002; FRANCO *et al.*, 2002; PANACHUKI *et al.*, 2006), e que o desenvolvimento de metodologias mais simples e aplicáveis para esse fim, é de fundamental importância (OTONNI FILHO, 2003).

Da mesma forma, a aplicação dos modelos matemáticos de infiltração e de escoamento tem trazido aos pesquisadores a percepção de que na aplicação dos diversos modelos e equações tidas como padrão para tal, tais como a de Equação de Green-Ampt, a do Modelo de Onda Cinemática e mesmo o modelo de Método da Curva Número do Soil Conservation Service, existe dificuldade de se obter uma forma explícita de considerar os efeitos do uso do solo. Tal consideração terá que ser introduzida nos parâmetros intrínsecos do solo mediante aferição destes (LANÇA e RODRIGUES, 2000). Para tal será necessário o desenvolvimento de métodos adequados.

Para os estudos deste trabalho, considera-se a hipótese de que é possível desenvolver um sistema de aferição de infiltração e escoamento de água, para ambientes florestais, com baixo consumo de água e de baixa aplicação de mão-de-obra, desde que se projete o equipamento para que a área ocupada por este seja pequena, e que o mesmo seja confeccionado de material leve e durável e que, simultaneamente, utilize a água da precipitação pluviométrica natural.

A possibilidade de ter-se um equipamento para área pequena é corroborada pelo fato de que os processos instantâneos de superfície ocorrem pontualmente, ou seja, não necessitam de grandes comprimentos ou grandes áreas para se manifestarem. A ocorrência dos fenômenos de superfície de uma bacia hidrográfica é a somatória dos fenômenos que ocorrem no local onde a precipitação toca o solo (SILVEIRA *et al.*, 2000 ; FRANCO *et al.*, 2002; SOARES, 2004).

Isso é válido para o escoamento em regime não permanente, como ocorre no caso do escoamento superficial em solo, derivado do excesso de precipitação pluvial que não foi infiltrada (TUCCI, HESPANHOL e CORDEIRO NETO, 2003; TUCCI, 2005).

No caso de escoamento permanente, como nos cursos de água, as interações são muito mais complexas, não podem ser representadas apenas pelo escoamento pontual, e necessitam de outros estudos (RANZINI *et al.*, 2004), em especial os que exigem modelagem matemática, para os quais, as determinações *in situ*, tal como a Taxa de Infiltração Constante – TIC –, de qualquer maneira, são fundamentais (OTTONI FILHO, 2003).

A possibilidade de trabalhar-se com equipamentos de pequeno porte encontra apoio em diversos estudos:

- ✧ em Vallejo (1982) é descrita metodologia de utilização de “flumes” ou canaletas, que são caixas experimentais desenvolvidas em função dos objetivos traçados. Foram utilizadas canaletas de 0,70 m x 0,40 m x 0,15 m, construídas em chapa metálica, sendo as dimensões definidas em função da área de atuação do simulador de chuvas;
- ✧ em Silva e Kato, (1998), é descrita metodologia para mensurar a infiltração básica de água no solo, onde foram utilizados infiltrômetros de dimensões 2,0m x 1,0 m, com altura de 0,25 m, que foram inseridos no solo a uma profundidade de 0,12 m, com sua maior dimensão voltada para o sentido da declividade. Destacam os autores que, como as taxas de infiltração estão condicionadas às características superficiais do piso florestal, a altura das canaletas é pouco relevante;
- ✧ em Costa *et al.* (1999) encontra-se descrita metodologia onde o tamanho das parcelas, usadas para os teste com o simulador de chuvas, foram de 3 m x 1 m, 2 m x 1m e 1 m x 1 m, devidamente limitadas por chapas de aço nº 18, com 0,25 m de altura, dos quais 0,15 m foram cravados no solo.
- ✧ em Fabian e Ottoni Filho (2000) é descrita metodologia usando-se tabuleiros metálicos de 1,0 x 1,0 m, para estudos de infiltração vertical e capacidade de campo. Os autores destacam a necessidade de ter-se dimensões ainda menores, sugerindo 0,5 m² e colocam que os indicadores observados sugerem que isso é possível em muitos casos;
- ✧ em Pereira (2000), descreve-se metodologia de estudo de escoamento e arrasto de partículas em canais metálicos de 2 metros de comprimento, 1,0 metro de largura e altura de 0,20 m, construídos em chapa metálica nº 16;
- ✧ em Oliveira *et al.* (2000), encontra-se a descrição de metodologia de determinação de infiltração e escoamento superficial, em nível de campo,

constituído de nove parcelas de 1,0 m de largura por 2,0 m de comprimento no sentido do declive. As parcelas foram delimitadas por chapas de flanders, com a finalidade de se individualizar o escoamento superficial. No final da parcela experimental instalou-se uma calha, com a finalidade de se recolher e conduzir o escoamento superficial;

- ✧ em Franco *et al.* (2002), está descrita metodologia de coletores de água de escoamento e de sedimentos transportados, denominados pelos autores de “mesas”, com largura de 0,20 m, que são cravadas no solo em diferentes pontos da área de estudo. Destacam os autores a praticidade operacional e o efeito demonstrativo possibilitado pelo equipamento, colocado como alternativo às parcelas-padrão;
- ✧ em Cassol *et al.* (2004), é descrito experimento realizado no Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, com simulador de chuvas, em parcelas experimentais com área útil de 0,3481 m², com dimensões de 0,59 m por 0,59 m e profundidade de 0,10 m, havendo uma bordadura lateral de 0,20 m de largura;
- ✧ em Bertol (2005), é descrito a utilização de parcelas experimentais constituídas de molduras em chapas metálicas, cada uma com dimensão útil (interna) de 0,99 x 0,97 m, perfazendo uma área de incidência de precipitação de 0,96 m², acopladas a calhas frontais de captação da água de escoamento superficial da parcela. As molduras apresentavam 0,25 m de altura na parede frontal e 0,20 m de altura nas demais paredes e foram introduzidas no solo a uma profundidade de 0,05 m nas porções laterais e traseira, e na parte dianteira foi introduzida em 0,10 m, de modo a evitar que a enxurrada escoasse por debaixo da calha;
- ✧ em Panachuki *et al.* (2006) é descrita metodologia de utilização de infiltrômetros de pequeno porte, cravados no solos, com área de captação de precipitação de 0,70 m², constituído de um dispositivo de formato retangular, construído em chapas de aço galvanizado número 16, que delimitavam a parcela e conduziam a água não infiltrada. A lâmina de escoamento superficial era obtida pela relação entre o volume de água escoado e a área da parcela experimental. A diferença entre a lâmina de água aplicada e a lâmina de escoamento superficial, medida experimentalmente, correspondia à lâmina infiltrada.

Mesmo um equipamento reconhecidamente padrão, para determinação da Taxa de Infiltração Constante - TIC, como o caso dos cilindros infiltrômetros duplos, que apresentam algumas limitações de uso, trabalham com essa premissa, a dos fenômenos pontuais (COSTA *et al.*, 1999).

No caso específico dos cilindros infiltrômetros, é possível minimizar suas dificuldades de operação, pois estas estão relacionadas com o elevado consumo de água, com o peso e dificuldade de transporte do equipamento e da água. Como se trata de um método padrão, é interessante que se busque isso.

Neste caso, trabalha-se com a hipótese de que é possível diminuir o tamanho do equipamento, tornando-o mais portátil e reduzindo o consumo de água, pois prevalece, para efeitos dessa análise, a ocorrência pontual dos fenômenos de infiltração vertical de água no solo.

Isso encontra apoio em Klar (1991), que afirma que os coletores de escoamento ou infiltrômetros podem ou não ser cilíndricos (independentem da forma); propõe trabalhar-se com infiltrômetros de pequenas dimensões e mesmo com “mini-infiltrômetros”, de dimensões reduzidas (tubos de 0,10 m de diâmetro).

Da mesma forma, Ranzini *et al.* (2004) explicita metodologias com cilindros de infiltração de dimensões reduzidas. Também em Naguettini (1999), existe afirmação que as dimensões dos infiltrômetros podem variar muito de tamanho. Rodrigues, Silva e Vieira (2001), descrevem a metodologia que utilizaram para determinação de Taxa de Infiltração, em área de plantio de *citrus*, onde utilizaram cilindros concêntricos, sendo um cilindro interno com 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura; e um cilindro externo com 30 cm de diâmetro por 20 cm de altura, adaptados de canos de PVC rígidos com paredes de 3 mm de espessura.

Já em Ferreira (1997), foi descrita metodologia de utilização de anéis concêntricos confeccionados em aço, tendo o anel interno diâmetro de 10 cm e o anel externo diâmetro de 20 cm, sendo os anéis introduzidos entre 5 e 10 cm no solo.

Com a base teórica, conceitual e aplicações práticas de diversas metodologias, advindas da revisão bibliográfica e da vivência profissional tem-se, para os objetivos deste trabalho, o embasamento suficiente para transformar as hipóteses de trabalho num objeto de pesquisa.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem por objeto o desenvolvimento de uma metodologia alternativa, eficiente e de baixo custo, que possa ser utilizado em ambiente florestal, sem agredir o meio ambiente e com facilidade operacional superior aos meios tradicionais, para ser utilizada na mensuração da infiltração de água no solo, do escoamento superficial e na determinação de outros parâmetros do ciclo hidrológico em ambiente florestal e que possa ser utilizada na valorização e concretização de parâmetros das áreas produtoras de água.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) desenvolver um sistema de determinação da infiltração de água no solo e de escoamento superficial, de custo baixo, alta praticidade e portabilidade, que permita a instalação e operação em ambiente florestal natural ou reflorestado;
- b) testar um infiltrômetro de lâmina de água mais portátil e leve que o infiltrômetro de duplo cilindro, através de comparação entre sistemas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A água é a substância mais presente na superfície do planeta Terra, sendo a única naturalmente nas formas líquida, sólida e gasosa. Em se considerando as formas líquida e sólida da água, ela cobre mais de 2/3 do planeta, e na forma gasosa é constituinte da atmosfera, estando presente em toda parte. 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 (LIMA, 2004; COLLISCHONN, 2005).

Todas as formas de vida necessitam da água para sobreviver, e os processos da natureza são dependentes dela. A quantidade total de água que está presente na Terra atualmente, é a mesma do tempo em que os dinossauros a habitavam, há milhões de anos atrás (COLLISCHONN, 2005).

A água é, portanto, um recurso natural renovável, e essa renovação ocorre através de processo cíclico, denominado de ciclo hidrológico (NAGUETTINI, 1999). Os principais elementos do ciclo hidrológico são a precipitação, a evapotranspiração, o escoamento e o armazenamento da água no solo, em aquíferos e em corpos de água (NAGUETTINI, 1999; BARBOSA, VALERIANO e SCOFIELD, 2005).

O conceito de ciclo hidrológico é um dos fundamentais em Hidrologia, cujo entendimento é de grande importância para os profissionais que lidam com o meio ambiente (COLLISCHONN, 2005). A definição de ciclo hidrológico, descrita em ABID (1978, p.47) é: “...*circulação de água entre a água livre e a atmosfera e desta de volta à forma de água livre, passando por várias fases e processos, tais como precipitação, interceptação, escoamento, infiltração, percolação, armazenamento subterrâneo e evaporação...*”.

O ciclo hidrológico, mais do que uma simples seqüência de processos, constitui-se de um conjunto de fases, as quais representam os diferentes caminhos através dos quais a água circula na natureza (LIMA, 2004).

Dada a complexidade dos fenômenos envolvidos neste processo, o ciclo hidrológico é, usualmente, representado de forma simplificada, sendo desconsideradas ou omitidas as parcelas menos relevantes deste. A Figura 01 apresenta uma simplificação esquemática do ciclo hidrológico.

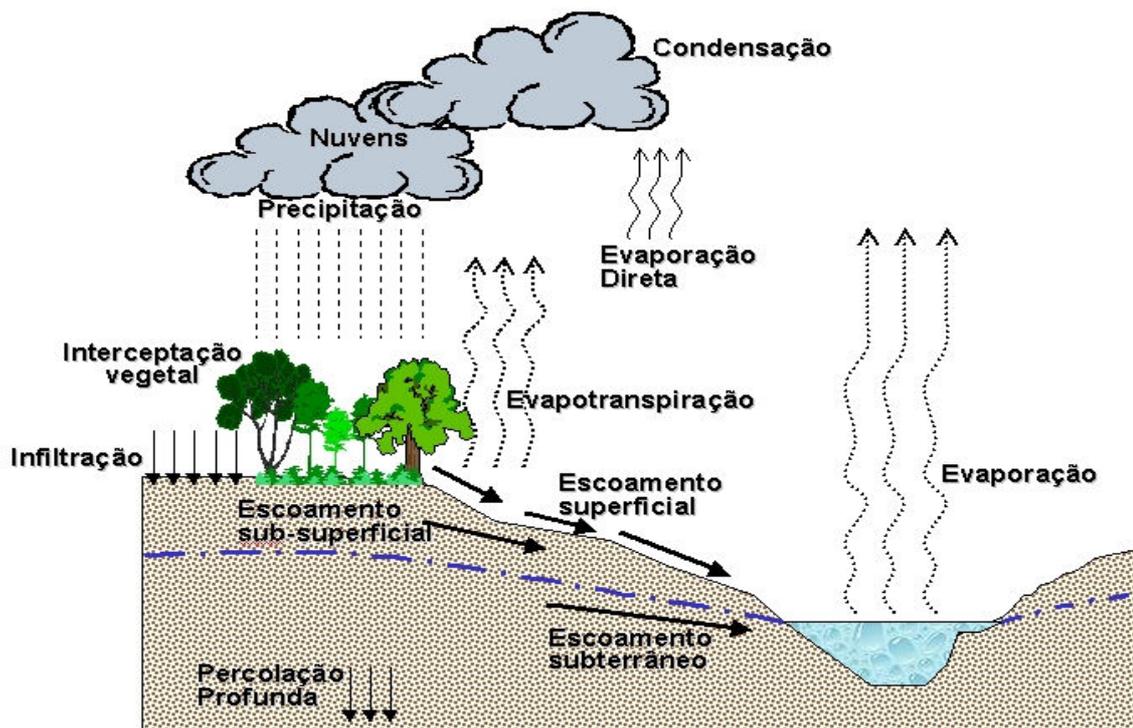


FIGURA 01 – Esquema do ciclo hidrológico

Para permitir o acompanhamento e gerenciamento dos recursos hídricos, é indispensável a mensuração adequada dos elementos que controlam esse ciclo, de modo a se quantificar a água disponível. De acordo com o estudo que está sendo considerado, pode-se simplificar a esquematização do ciclo hidrológico, com os elementos principais da análise ou estudo em foco (MAGALHÃES, 2005).

O ciclo hidrológico também pode ser definido como o processo de recirculação contínua da água entre a atmosfera, continentes e oceanos. A recirculação da água pode ocorrer na fase sólida (granizo, saraiva ou neve), líquida (chuva) ou gasosa (vapor d'água) (INSTITUTO DA ÁGUA, 2003). Quando precipitada sob a forma de chuva, a água ou escoar sobre a superfície, ou infiltra-se no subsolo e aquíferos, atingindo os cursos e corpos de água e os oceanos; ela é também absorvida pelas plantas, retornando à atmosfera pela evaporação e pela transpiração, o que lhe permite o retorno ao ciclo de precipitação. O conhecimento do ciclo hidrológico é fundamental para a realização dos estudos hidrológicos e para o planejamento das atividades humanas, em especial as de gerenciamento dos recursos hídricos (PACHECHENIK, 2004).

Dentro desse conhecimento, é importante inferir que o ciclo hidrológico apresenta duas grandes fases, que determinam a especialização dos estudos hidrológicos correspondentes:

- a constituída pela precipitação, pela evapotranspiração e pelo escoamento superficial, que são o escopo da **Hidrologia de Superfície**;
- a constituída pela infiltração, pela percolação e pelas águas subterrâneas, que são o escopo da **Hidrogeologia** ou **Hidrologia de Subsuperfície** (BRAGA, 2006).

Em termos conceituais, aplica-se o termo “recursos hídricos” para designar as águas destinadas aos diversos usos, consuntivos ou não consuntivos. Quando se quer referir a águas em geral, o termo correto é simplesmente “águas” (SETTI *et al.* 2001).

Segundo Lino e Dias (2003), os recursos hídricos são de usos múltiplos. Embora o abastecimento público seja tratado como prioritário diante das outras demandas, a água tem muitas outras utilizações importantes, tais como o abastecimento industrial, a irrigação, a dessedentação de animais, o lazer, a aqüicultura, a geração de energia elétrica, a navegação, a conservação da biodiversidade e até mesmo a recepção e diluição de efluentes tratados.

Em decorrência, pode conceituar-se o gerenciamento de recursos hídricos, idealmente, como sendo um processo dinâmico, ambientalmente sustentável, que, baseado numa adequada administração da oferta das águas, trata da organização e compatibilização dos diversos usos setoriais das mesmas, buscando que todas as estruturas e sistemas operem de forma harmônica e integrada, maximizando os benefícios possíveis (NAGUETTINI, 1999).

Apresentam Lino e Dias (2003), que existe uma relação de interdependência entre a floresta e o ecossistema aquático, e que a degradação ou escassez de um perturba profundamente a existência e a qualidade do outro. Porém, as bases científicas e a dimensão desta relação não são amplamente conhecidas e avaliadas. Isso ocasiona, segundo esses autores, erros de expectativa e até em fragilidade de argumentos nas propostas de uma gestão integrada dos dois recursos. Colocam também que a maneira mais fácil de entender a relação floresta-água é conhecendo o ciclo hidrológico na floresta.

Esse é o escopo de estudo da hidrologia florestal, que trata do movimento da água em ambientes de floresta, sejam naturais ou de plantações comerciais. O

balanço de água nesses ambientes é dependente da precipitação, da interceptação de água pelo dossel, do escoamento lateral, da infiltração da drenagem profunda e da evapotranspiração. Com exceção da precipitação, os outros processos sofrem bastante influência da densidade de plantas, do tipo e características de solo, do comportamento fisiológico da planta e da estrutura e arquitetura do dossel (ALMEIDA e SOARES, 2003).

Dos elementos constitutivos do ciclo hidrológico, dois são os que devem, especialmente, ter correto manejo nas bacias hidrográficas: a infiltração da água e o escoamento superficial. No entanto, será necessário, para tal, envolver medidas de controle de todos os recursos naturais e ambientais, além das aptidões socioeconômicas (WADT *et al.*, 2004).

Destaca Millar (1978) que, dentro do ciclo hidrológico, o balanço da água superficial adquire muita importância, e que esse balanço pode ser explicado pela equação geral:

$$\text{Chuva} = \text{infiltração} + \text{escoamento} + \text{evaporação}$$

Segundo Soares, Almeida e Penchel (1997) os modelos usualmente utilizados para se compreender o balanço hídrico de uma área vegetada, pressupõe fluxos de entrada e de saída e a variação no estoque de água no solo. Os principais componentes do modelo são:

- a **precipitação**, que é a entrada de água no sistema;
- a **interceptação**, que é a parte da precipitação retida no dossel; é proporcional ao Índice de Área Foliar – IAF;
- a **evaporação da interceptação** de parte da água retida pelo dossel florestal (desde que haja energia suficiente para tal no processo);
- a **precipitação efetiva**, que é a diferença entre a precipitação e a interceptação, que se constitui na entrada líquida de água no solo;
- o **escoamento superficial** – runoff –, que ocorre quando o solo não consegue infiltrar toda a precipitação efetiva;
- a **drenagem profunda**, que coloca a água fora do alcance do sistema radicular, quando o solo fica completamente saturado de água;
- a **transpiração da vegetação**, que é a principal saída de água do sistema;

- a **evaporação de água do solo**. Todas as etapas e fluxos do balanço hídrico podem ser determinados e parametrizados por modelos já consagrados (SOARES, ALMEIDA e PENCHEL, 1997).

Segundo Rennó e Soares (2000), a principal entrada de água no sistema solo-planta é a precipitação. Colocam os autores, que em existindo uma cobertura vegetal sobre o solo, a água da chuva é primeiramente interceptada pelo dossel (a água poderá também atingir diretamente o solo ou corpos d'água) de onde pode ser evaporada, dependendo das condições ambientais.

Da partição da precipitação que chega até a superfície do solo, parte é infiltrada e parte pode escoar pela superfície do solo. A água que infiltrou irá se redistribuir ao longo do perfil de solo e pode mesmo chegar ao lençol freático; simultaneamente, a água pode estar sendo evaporada pela superfície ou retirada do solo pelas raízes e transpirada pelas folhas do dossel (RENNÓ e SOARES, 2000).

O conhecimento e o estudo dos processos de superfície, que ocorrem imediatamente após a precipitação alcançar o solo, destacando-se aí o processo de infiltração e decorrente processo de escoamento superficial, é de grande importância prática, pois em grande parte determina o balanço de água na zona das raízes e o escoamento superficial e deflúvio da bacia hidrográfica (LINO e DIAS, 2003).

Destaca Pinto (2003), que em especial em áreas em que ocorrem nascentes de água, o uso adequado da terra – adequação a capacidade de uso –, e as práticas de manejo e conservação de solos adquirem significativa importância, para que possam ocorrer a interceptação da água da chuva, para que se reduza a quantidade e a velocidade do escoamento superficial e para que se aumente a infiltração, possibilitando a recarga do lençol freático e contribuindo, em decorrência, para a manutenção e perenização do fluxo das nascentes.

Desse modo, o estudo desses processos e de suas interfaces com as propriedades físicas do solo é muito importante para a eficiente gestão das águas, do correto manejo e conservação de solos, e condução das explorações agropecuárias e florestais (REICHARDT, 1990; PANACHUKI *et al.*, 2006).

Destaca Costa (1997) que a precipitação é o componente mais bem documentado da hidrologia de superfície, enquanto que os outros componentes são conhecidos e determinados com menor precisão, sendo importante garantir-se que os modelos e metodologias adotados para estudos nessa área, estimem

corretamente a partição da precipitação que chega à superfície, mesmo que os dados disponíveis sejam considerados apenas como indicadores.

Na relação floresta-água, a cobertura florestal influi positivamente sobre a hidrologia do solo, melhorando os processos de infiltração, percolação e armazenamento da água, e diminuindo o escoamento superficial. Nessa ação, é muito importante a participação da vegetação herbácea e da manta orgânica, que normalmente recobrem o solo florestal, desempenhando papel fundamental na dissipação da energia das gotas das chuvas e na redução da velocidade de escoamento, o que contribui também para a diminuição de processos erosivos (LIMA, 1986)

Para efeitos do presente trabalho, é importante qualificar o termo “bacia hidrográfica”, definido por Tucci (2002) e por Cardoso *et al.* (2006) como sendo uma área geográfica de captação natural da água da precipitação e que converge todos os escoamentos para um único ponto de saída ou exutório, sendo composta basicamente de um conjunto de superfícies de escoamento – vertentes – e de uma rede de drenagem formada por cursos d’água que confluem até resultar um leito único no exutório. A Figura 02 traz a representação dessa definição.

Outra definição é a de Lino e Dias (2003), que definem a bacia hidrográfica como toda a área de captação natural da água da chuva que escoam superficialmente para o rio ou um seu tributário, sendo que seus limites são definidos pelo relevo, considerando-se como divisores de água as cotas mais elevadas do terreno. Portanto, a depender do relevo, a bacia hidrográfica pode apresentar diferentes formas, variando de estreita e alongada a larga e curta.

Destacam Salbego e Tucci (2003) que o conceito de bacia hidrográfica tem sido expandido e utilizado também como unidade de gestão da paisagem para fins de planejamento ambiental.

Na perspectiva especial do estudo hidrológico, o conceito de bacia hidrográfica tem o significado de uma área definida topograficamente, constituindo um conjunto de terras drenadas por um curso de água ou um sistema conectado de cursos de água, tal que toda a vazão efluente seja descarregada através de uma simples saída, denominada exutório (PACHECHENIK, 2004).



FIGURA 02 – Esquema representativo da Bacia Hidrográfica
Fonte: CECÍLIO e REIS, 2006

Do ponto de vista físico, a bacia hidrográfica pode ser considerada ainda como um sistema, onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado pelo exutório, sendo consideradas perdas intermediárias os volumes evaporados, transpirados e infiltrados profundamente (MENDIONDO e TUCCI, 1997; TUCCI, 2000; SALBEGO e TUCCI, 2003). Nessa perspectiva, portanto, a bacia hidrográfica transforma uma entrada concentrada no tempo (precipitação) em uma saída relativamente distribuída no tempo (escoamento) (COLLISCHONN, 2005).

Além de ser uma área definida topograficamente, a bacia hidrográfica é também, dentro da natureza, uma estrutura relativamente simples, o que facilita a aplicação de modelos matemáticos para simulações em estudos de recursos hídricos (PACHECHENIK, 2004).

Destacam ainda Cardoso *et al.* (2006), que na bacia hidrográfica os principais componentes – solo, água, vegetação e fauna – apresentam interação constante e dinâmica, apresentando resposta aos estímulos e interferências naturais e antrópicas, afetando os ecossistemas como um todo. Na bacia hidrográfica, os recursos hídricos são os indicadores primeiros das condições dos ecossistemas, demonstrando efeitos do desequilíbrio nas interações dos diversos componentes.

No que se refere a bacia hidrográfica e suas inter-relações com as florestas, destacam Arcova, Cicco e Rocha (2003) que a cobertura florestal é estreitamente relacionada com o ciclo hidrológico de uma bacia hidrográfica, pois interfere no movimento da água em diversos compartimentos do sistema, incluindo-se aí as saídas para a atmosfera e para os cursos de água.

O conjunto de conhecimentos da hidrologia, portanto, é útil e indispensável para nortear as atividades florestais dentro de um programa de manejo integrado de solos e água em bacias hidrográficas (GOMES *et al.*, 2003).

Para tal, deve ser monitorado um conjunto de variáveis hidrogeomorfológicas, com o objetivo de identificar os processos hidrológicos, através de um conjunto de equipamento e métodos apropriados (BATEIRA *et al.*, 2006).

Como em qualquer ramo da hidrologia, na hidrologia florestal o foco central é a água, mas a esfera operacional são as áreas florestadas (LIMA, 2004).

2.1 PRECIPITAÇÃO

Precipitação é definida, em hidrologia, como a água que chega do meio atmosférico, não importando o estado físico em que se encontre, e que atinge a superfície terrestre (ABID, 1978; TUCCI, 2000; OLIVEIRA JUNIOR e DIAS, 2005).

A água da atmosfera (vapor) constitui a água precipitável. Se todo o vapor atmosférico se precipitasse na forma líquida (chuva), essa precipitação corresponderia a 25,5 mm de lâmina, uniformemente distribuída sobre toda a superfície da esfera terrestre. O reservatório de vapor atmosférico é repostado continuamente pela evaporação e é descarregado pela precipitação, sendo esta a única fonte renovável de água doce para a superfície. A precipitação média no planeta é de aproximadamente 940 mm por ano. Cerca de 70 % da precipitação retorna diretamente à atmosfera pela evapotranspiração (LIMA, 2004)

Segundo Cecílio e Reis (2006) e Instituto da Água (2003), a precipitação atmosférica pode ocorrer sob as formas de garoa, chuva, neve, granizo, saraiva, geada ou orvalho:

- **garoa** é a precipitação líquida uniforme, com gotas de diâmetro inferior a 0,5 mm, apresentando, em geral, baixa intensidade ($<1\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$);
- **chuva** é a precipitação na forma líquida, com gotas de diâmetro superior a 0,5 mm.

- **granizo** é a precipitação ocorrida sob forma de pedras de gelo de grande diâmetro (> 5 mm);
- **saraiva** é a precipitação ocorrida sob forma de pedras de gelo de pequeno diâmetro (< 5 mm);
- **neve** é a precipitação de cristais de gelo, formados a partir do vapor de água atmosférico, em temperaturas muito baixas, inferiores a 0° C;
- **geada** é a precipitação advinda da condensação do vapor em superfícies sólidas que se resfriam durante a noite (folhas, por exemplo), ocorrendo a formação de cristais de gelo nestes objetos;
- **orvalho** é a precipitação em forma de gotas de água, advindas da condensação do vapor em superfícies sólidas que se resfriam durante a noite (folhas, por exemplo).

A precipitação, portanto, faz a ligação entre a fase atmosférica e a fase terrestre do ciclo hidrológico. Ela configura a entrada do sistema hidrológico, sendo, por consequência, a única forma de entrada de água em uma bacia hidrográfica (CECÍLIO e REIS, 2006). Assim sendo, a precipitação representa a principal entrada de água no ambiente de interação vegetação/solo. Usualmente, a precipitação que atinge efetivamente o solo é representada em termos de lâmina d'água (uma lâmina de 1 milímetro de chuva é equivalente a 1 litro de água distribuído em 1 metro quadrado do terreno) (RENNÓ e SOARES, 2000 ; DAEE, 2006).

Quantifica-se a chuva pela altura (lâmina) de água caída e acumulada sobre uma superfície plana. A quantidade da chuva é avaliada por meio de aparelhos chamados pluviômetros e pluviógrafos (PEDRAZZI, 2004).

As precipitações pluviométricas - chuvas -, desde o instante em que atingem a superfície da terra são, sob o ponto de vista da quantidade, a principal fonte de água para o uso do homem (LIMA, 2004).

Segundo DAEE (2006) e Cecílio e Reis (2006) as principais grandezas características das medidas pluviométricas são:

- **Altura pluviométrica:** medidas realizadas nos pluviômetros e expressas em *mm*. Representa a lâmina d'água que se formaria sobre o solo como resultado de uma determinada precipitação, se não houvesse escoamento, infiltração ou evaporação da água precipitada.
- **Duração:** período de tempo entre o início e o término da precipitação, expresso geralmente em horas ou minutos.

- **Intensidade da precipitação:** é a relação entre a altura pluviométrica e a duração da chuva expressa em mm/hora ou mm/minuto. Uma chuva de 1mm/minuto corresponde a um volume de 1 litro/minuto caindo sobre uma área de 1 m².

Os **pluviômetros** são aparelhos utilizados para medir as precipitações, sem registrar os eventos ocorridos, apenas acumulando a água precipitada. Os dados são coletados por um operador, normalmente uma vez ao dia (pela manhã). O valor medido num dia t+1 é transferido para o dia t, pois a maior parte do tempo ocorreu no dia anterior. Isto pode ser fonte de erro de processamento de dados. Apresenta algumas limitações: o totalizador de um dia não permite conhecer como a precipitação se distribui ao longo do dia e possibilita a ocorrência de erros como os de anotações, de somar a medição de precipitações altas (superiores a 20 mm), etc. (TUCCI, 2005; PEDRAZZI, 2006; DAEE, 2006).

Já os **pluviógrafos** são equipamentos automáticos, que registram todos os eventos de precipitação pluviométrica, relacionando-os com o transcorrer do tempo, que podem ser necessários quando não há operadores ou se tem dificuldade de acesso e/ou ainda quando se necessita conhecer a distribuição da precipitação dentro de cada período de tempo (TUCCI, 2005; PEDRAZZI, 2006). Podem ser de dois tipos:

- **Sensores:** com cubas basculantes ou reservatório com sifão;
- **Registradores:**
 - **mecânicos:** tambor com relógio e pena sobre papel milimetrado;
 - **eletrônicos;**
- **Transmissão:** coleta por observador ou equipe de campo; transmissão por rádio, satélite e celular, dependendo da distância e custos (TUCCI, 2005; PEDRAZZI, 2006).

Os aparelhos mecânicos apresentam maior custo de processamento e erros. Os equipamentos digitais sofrem de interferências e, principalmente, impactos dos raios (TUCCI, 2005; PEDRAZZI, 2006).

Destaca Reichardt (1990), que o tamanho da “boca” ou abertura de captação do pluviômetro, em tese, não influencia na altura de lâmina captada, podendo existir pluviômetros de diferentes dimensões. Alerta, no entanto, que áreas de captação muito pequenas podem trazer erros e que os muito grandes não são práticos.

Embora a mensuração das precipitações seja um processo relativamente simples e fácil, os erros a ela associados também ocorrem com facilidade, podendo atingir valores de até 10% (CECÍLIO e REIS, 2006).

Em geral, segundo Cecílio e Reis (2006), os principais erros ocorridos em medições de precipitação são devidos a:

- obstruções físicas tais como árvores, edifícios, muros, etc.;
- perda, por evaporação, de parte da precipitação captada nos pluviômetros;
- perda de parte da precipitação por aderência (tensão superficial) às paredes dos recipientes e provetas medidoras;
- erros de leitura na medição do volume da água coletada;
- respingos da chuva de dentro para fora ou de fora para dentro do recipiente.

Quando se faz um estudo de planejamento em longo prazo do uso dos recursos hídricos de uma ou mais bacias hidrográficas, a precipitação é um dado básico (BARBOSA, VALERIANO e SCOFIELD, 2005).

Caracteristicamente, esta apresenta grande variação temporal e espacial. Devido a sua capacidade de propiciar infiltração e escoamento superficial, a precipitação pluviométrica é a mais importante para a hidrologia de clima temperado e tropical (OLIVEIRA JUNIOR e DIAS, 2005).

A precipitação, ao atingir uma região da bacia hidrográfica, comporta-se em função das características do seu meio físico. Ao atingir uma superfície, computar-se-á em função da sua altitude, declividade e orientação da vertente da área (BARBOSA, VALERIANO e SCOFIELD, 2005).

Quando ocorre precipitação pluviométrica, parte dela é interceptada pela vegetação, parte chega ao solo, infiltrando, sendo armazenada em depressões da superfície do terreno e ainda escoando até os cursos de água. (ALENCAR *et al.*, 2006).

Em continuando a precipitação, após o preenchimento dessas depressões, ocorrerá o escoamento superficial propriamente dito. A água que escoar sobre a superfície do solo, sem infiltrar, formará o escoamento superficial, que irá se juntar ao escoamento de base, para abastecer cursos e corpos de água (CHOW, MAIDMENT e MAYS, 1988).

De um modo geral, apenas 25% da precipitação anual se torna disponível para o escoamento dos rios (LIMA, 2004).

A cobertura ou dossel florestal exerce decisiva influência sobre a precipitação pluviométrica e, em decorrência, sobre todo o ciclo hidrológico de uma bacia hidrográfica, influenciando a dinâmica da água em vários compartimentos e etapas do sistema, inclusive nas saídas para a atmosfera e para os corpos e cursos de água (ARCOVA *et al.*, 2003).

Uma das principais influências do dossel florestal ocorre 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 – interceptação – e em seguida evaporada para a atmosfera. A água não interceptada alcança o piso como gotejamento direto ou precipitação interna e como fluxo que escoar pelo tronco das árvores (ARCOVA *et al.*, 2003).

A água que foi interceptada e evaporada, não contribui na alteração da umidade do solo, devendo ser subtraída, para efeito da precipitação efetiva, da quantidade total de chuva que cai sobre a área (topo do dossel florestal). A liteira (serapilheira ou litter), restos vegetais que cobrem o solo, pode também impedir que a água da chuva chegue até o solo (RENNÓ e SOARES, 2000).

A somatória dos fluxos hídricos que penetram no dossel florestal e chegam ao solo, denominada de precipitação efetiva, é responsável pela água do solo e pela alimentação dos cursos e corpos de água (LEOPOLDO e CONTE, 1985; REICHARDT, 1990; RENNO e SOARES, 2000).

Hershfield (1964) define que a precipitação efetiva é mensurada pela diferença entre a precipitação e as perdas por escoamento superficial e por percolação profunda. Para área de produção agroflorestal, segundo Sampaio *et al.* (2000), a precipitação efetiva é definida como sendo a precipitação total menos o escoamento superficial e a evaporação.

Portanto, pode ser inferido que precipitação efetiva, no seu sentido mais amplo, significa a precipitação útil ou utilizável; entretanto, este conceito pode variar bastante, de acordo com a área de interesse do estudo ou do pesquisador (BERNARDO, 1995; SAMPAIO *et al.*, 2000).

Segundo Bernardo (1995), existem vários métodos para se determinar a precipitação efetiva, tais como o Método de Balanço de Umidade no Solo, Método do Lisímetro, Método do U.S. Bureau of Reclamation, Método do Serviço de Conservação de Solos dos EUA, além de vários modelos matemáticos, sendo que o

pesquisador deverá escolher aquele que melhor se adapte às necessidades de seu estudo.

Alguns modelos matemáticos referentes aos processos de superfície, que ocorrem a partir da precipitação, denominam de “abstração inicial da precipitação” à parcela da precipitação total que ocorre anteriormente à precipitação efetiva, referindo-se àquela quantidade de chuva produzida desde o seu início até que haja início de escoamento superficial. Pode-se dizer que esta parcela infiltrou no solo ou foi retida pela vegetação e obstáculos no terreno (MELLO *et al.*, 2003).

Conhecer a quantidade de precipitação que entra no sistema é importante, bem como é fundamental conhecer a velocidade com que isto acontece. Chuvas de grandes intensidades (grandes volumes precipitados em intervalos de tempo curtos) tendem a provocar escoamentos superficiais de grande intensidade, mesmo em solos não saturados, pois o volume de água que atinge a superfície do solo pode superar a taxa infiltração deste (RENNÓ e SOARES, 2000).

Também é de importância, no que se refere à precipitação, a mensuração de sua distribuição espacial. A distribuição temporal e espacial das chuvas pode induzir a erros, que podem ser superiores aos parâmetros de ajustes de qualquer metodologia de simulação de ocorrências numa determinada área. A chuva é, caracteristicamente, um fenômeno contínuo no espaço, mas as determinações pluviométricas são feitas apenas em alguns pontos do terreno. A extrapolação dos dados observados para toda a área deve ser feita de maneira bastante criteriosa, pois independente do modelo de interpolação utilizado, os resultados da distribuição espacial de dados pontuais é influenciado decisivamente pela quantidade e distribuição dos pontos de medição (RENNÓ e SOARES, 2000).

Ao se estudar a precipitação em um ambiente florestal, onde se necessite de dados locais e pontuais precisos e, em especial, se necessite medir quanto da precipitação total ocorrida chega ao solo, será necessário instalar-se pluviômetros ou pluviógrafos em posição que ultrapassem a altura da copa (dossel), de modo a medir a precipitação que chega ao topo da floresta, na área de estudo (FERREIRA, LUIZÃO e DALLAROSA, 2005).

Alternativa, encontrada em vários autores, é o de se colocar os pluviômetros ou pluviógrafos em clareiras, próximas ao local de estudo, em quatro ou mais diferentes locais, o que pode causar alguma imprecisão (CASTILHO, 2000).

Deve ser especialmente considerado o que coloca Tucci (2000), alertando que precipitação que atravessa a vegetação deve ser medida por metodologia e equipamentos especiais, colocados abaixo das árvores e distribuídos de tal forma a obter uma representatividade espacial dessa precipitação. Para tanto, serão necessários muito mais equipamentos para mensurar esse parâmetro, que para medir a precipitação total. Isso se deve à grande variabilidade encontrada nos espaços e nas características da vegetação.

Segundo Castilho (2000), para se quantificar apenas a precipitação que chega ao solo, sem considerar o que ocorre com esta depois e obter-se, por diferença da precipitação total, o quanto foi interceptado e retido pela cobertura vegetal, é usual a utilização de calhas coletoras impermeáveis, que são conectadas a tanque ou tambores de armazenamento.

Essas calhas, colocadas ao nível do solo, ligeiramente acima da vegetação rasteira, são distribuídas na área de estudo, de modo a representar a diversidade da cobertura vegetal. As calhas têm medidas variáveis, entre 0,10 m a 0,20 m de largura e de 1,0 m a 2,0 m de comprimento e altura (paredes laterais) entre 0,05 m e 0,10 m. Calcula-se, para cada calha, a lâmina de água diária que atinge o solo, dividindo-se o volume de água armazenada (litros) pela área da respectiva calha coletora (em metros quadrados). Subtraindo-se da precipitação incidente diária a lâmina de água que chega ao solo, são obtidos valores da precipitação interceptada (CASTILHO, 2000).

A Figura 03 mostra o esquema quantitativo e temporal de partição da precipitação que chega efetivamente ao solo, em valores médios.

Embora seja, compreensivamente, englobado na precipitação pluviométrica total, é necessário considerar, para efeitos do balanço hídrico e estudos hidrológicos, a chamada “precipitação oculta”, que pode ocorrer em determinadas situações (ANIDO, 2002).

Esse tipo de precipitação pode ocorrer em função de elevadas e constantes umidades numa área com variações térmicas expressivas, que provocam a condensação de neblina da cobertura vegetal, resultando numa precipitação interna ao dossel, na forma de gotejamento e de escoamento pelos troncos, o que implica em um ganho de água no sistema. Em algumas situações, em especial nas florestas de serras e montanhas, essa precipitação pode atingir valores muito significativos.

Sua determinação exige uma metodologia específica e sensível, para promover a separação da precipitação advinda das chuvas (ANIDO, 2002).

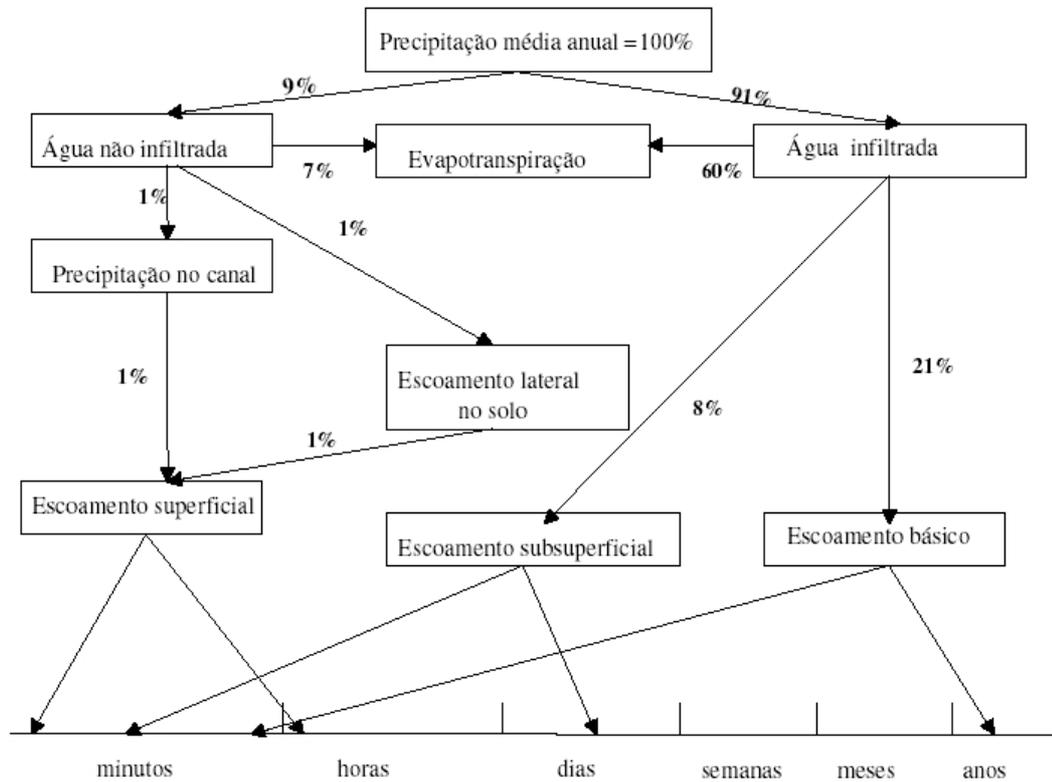


FIGURA 03 – Esquema da partição da precipitação que chega ao solo, valores médios
Fonte: SOARES, 2004

2.2 INFILTRAÇÃO

A infiltração é a partição da precipitação pluviométrica que atinge o solo e nele infiltra, sendo o fenômeno mais importante para a formação do volume de água de escoamento superficial, pois toda água que não infiltrar irá causar esse escoamento (MILLAR, 1978; MAGALHÃES, 2005). Compreender o processo da infiltração e representá-lo de maneira adequada, é fundamental para os estudos referentes a hidrologia (MAGALHÃES, 2005).

A infiltração pode ser definida como o fenômeno pelo qual a água passa da superfície para o interior do solo (ABID, 1978). É um processo superficial que ocorre na interface terra-ar e se manifesta nas camadas superficiais do solo. Inicialmente seu valor é elevado, diminuindo com o tempo, até se tornar constante, o que

significa que o solo está saturado (MAGALHÃES, 2005; ALVES SOBRINHO *et al.*, 2003).

O processo de infiltração é muito complexo, mesmo estabelecendo a premissa de que o solo apresenta condições homogêneas e umidade antecedente uniforme. Quando ocorre a precipitação, existe, normalmente, um período inicial durante o qual toda a água infiltra no solo. À medida que a água vai se infiltrando, a capacidade de infiltração decresce, e em determinado momento, fica menor que a intensidade de precipitação. Quando isso ocorre, a água começa a acumular-se sobre a superfície do solo e o escoamento superficial pode ocorrer. Uma das maiores dificuldades dos estudos hidrológicos é o de estabelecer a representação e a predição deste instante e também do declínio que irá ocorrer na taxa de infiltração (MEIN e LARSON, 1973).

O volume de água que infiltra no terreno é mais adequadamente representado pela espessura (lâmina) de água infiltrada (mm, cm), visto que a capacidade inicial de infiltração supera em muito a capacidade final em solo inicialmente seco. Já a quantidade de água que infiltra em um determinado tempo representa a velocidade ou taxa de infiltração, é representada por uma lâmina infiltrada em determinado tempo (cm.h^{-1} ou mm.h^{-1}) (KLAR, 1991).

Entre os diversos parâmetros componentes do ciclo hidrológico, a infiltração é dos mais importantes, pois, a partir da precipitação, determina a quantidade de água que fica disponível para as plantas, o escoamento superficial e o abastecimento dos lençóis freáticos (SILVA e KATO, 1998).

É importante recordar que o balanço de água na zona radicular é determinado pela infiltração e pela retenção de água no solo. Portanto, o conhecimento dos processos de infiltração, distribuição e armazenamento de água no solo, e suas relações com as propriedades do solo, constituem um conjunto de fundamental importância para que se planeje e pratique o eficiente manejo de solo, água e plantas (SILVA, 2003).

A infiltração também é o fenômeno que origina algumas das principais características hidrológicas dos cursos de água. Os rios perenes, que apresentam fluxo de água relativamente constante durante todo o ano, mesmo durante os períodos de baixa precipitação pluviométrica, têm suas vazões mantidas pelo fluxo advindo de água subterrânea armazenada no lençol freático e nos aquíferos. Esses rios têm seu leito e lâmina de água média abaixo do nível freático e o processo de

transferência de água do nível freático para o nível do curso de água é denominado de *infiltração efluente*. Os cursos de água intermitentes, que fluem somente em épocas de ocorrência de precipitações pluviométricas, têm seus leitos e lâminas de água situadas acima do nível freático, sendo abastecidos apenas pela água de escoamento superficial ou do escoamento subsuperficial raso. Normalmente apresentam fluxos de água muito variáveis, com grandes cheias ou pequenas vazões. Estando situados acima do nível freático, ocorre a transferência de água destes cursos de água para o lençol freático, processo que é denominado de *infiltração influente* (GODOY, 2005). Isso é esquematizado na Figura 04.

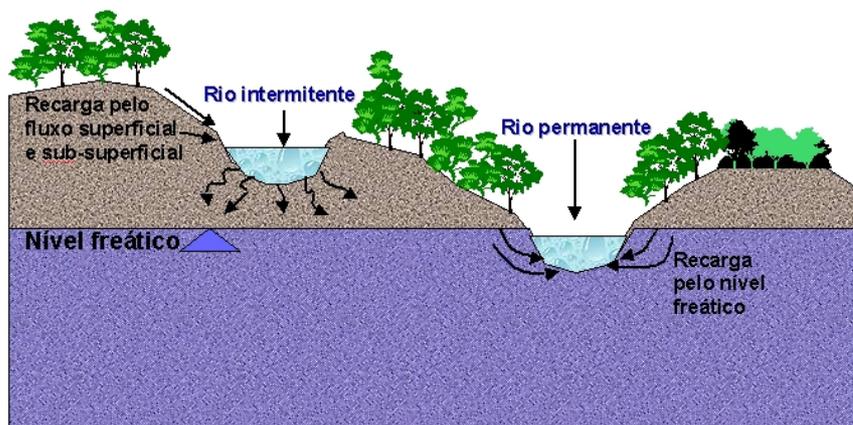


FIGURA 04 -Esquema representativo de rio intermitente ou temporário (infiltração influente) e rio permanente ou perene (infiltração efluente). Adaptado de Godoy (2005).

A determinação de dados de infiltração contribui, além do estudo do balanço hídrico e da hidrologia de modo geral, também para a correta gestão do recurso água. Por exemplo, a obtenção de dados em campo, como medições de infiltração da água em diferentes solos, relacionados com respectivos usos e ocupações, possibilita estimar a área de cobertura florestal necessária para compensar as perdas de água por escoamento superficial na bacia hidrográfica (BORGES *et al.*, 2005).

Em dados médios, de toda a água de chuva que precipita sobre a superfície terrestre (continentes e ilhas) 37,4% ficam retidos na terra; desse percentual, aproximadamente metade infiltra em direção ao lençol freático. Em muitos estudos,

esse dado é considerado para estimar as perdas ocorridas em uma área, comparando-se com o percentual que deveria ter-se infiltrado (BORGES *et al.*, 2005)

A capacidade de infiltrar água de um solo está relacionada com a permeabilidade, parâmetro este que reflete a relação entre a infiltração e o deflúvio e está diretamente relacionado à estrutura do solo, preparo do solo, erosão, aeração, umidade inicial e absorção de água (SILVA, 2003; BORGES *et al.*, 2005; LANÇA e RODRIGUES, 2000).

A quantidade de água infiltrada pelos diversos tipos de solos pode variar muito, dependendo da declividade e da permeabilidade da superfície. Por sua vez, a permeabilidade depende da textura e da estrutura do solo e da cobertura vegetal acima deste (BRANCO, 1998).

Em termos conceituais, infere-se que os solos possuem uma capacidade de infiltração máxima e, teoricamente, apenas nas condições em que água proveniente da precipitação supera esta capacidade é que ocorrerá escoamento superficial. No geral, isto não acontece e a taxa de infiltração real costuma ser menor que a capacidade de infiltração (LINHARES, 2006).

O processo de infiltração define a entrada de água no solo. O movimento da água dentro do perfil do solo denomina-se percolação. Nessa ótica, a infiltração é um processo de superfície, ao passo que a percolação é um processo interno ao solo e dependente das características deste. No entanto, os dois processos estão decisivamente interligados, já que a infiltração não pode ocorrer se não existir percolação da água dentro do solo (LIMA, 2004).

Segundo ABREU *et al.* (2000), as principais propriedades que determinam a quantidade e o movimento da água no solo são o potencial matricial, o conteúdo de água do solo (umidade) e a condutividade hidráulica do solo.

Paz e Oliveira (2006) afirmam que, no início da infiltração, quando o solo ainda está relativamente seco, existe um gradiente de potencial de umidade grande, o que propicia uma taxa de infiltração elevada. Com o transcurso do tempo de precipitação, o solo fica encharcado, o gradiente de potencial é reduzido e a capacidade de infiltração diminui. Com o molhamento e o passar do tempo, as argilas se expandem e diminuem o diâmetro dos poros e, em consequência, a taxa de infiltração diminui gradualmente até estabilizar em um patamar em que se mantém praticamente constante. Em solos arenosos, por existir pouca quantidade

de argila, esse fenômeno não é tão significativo, estando mais associado a estabilidade de agregados estruturais do solo.

A esse respeito, Bernardo (1995) afirma que a variação da taxa de infiltração devida a variação de umidade, desaparece geralmente depois de 60 minutos do início da precipitação ou aplicação de lâmina de água.

Os fatores que afetam a capacidade de infiltração de água no solo, segundo Paz e Oliveira (2006) são:

- **condições intrínsecas do solo:** cobertura vegetal, estado de agregação das partículas do solo, compactação pela maquinaria agrícola e erodibilidade;
- **condições extrínsecas do solo:** textura; adensamento de perfis, flora e a fauna do solo, conteúdo de água;
- **condições de aplicação de água:** duração da aplicação de água, carga hidráulica, qualidade e a temperatura.

Em sendo o solo um ente tridimensional e heterogêneo, a condutividade e o movimento da água são dependentes da variabilidade espacial do solo e da posição no relevo. Em estudos de campo, sob condições naturais, considera-se o fluxo como um fenômeno de equilíbrio dinâmico (ABREU *et al.*, 2000).

A taxa de infiltração expressa a lâmina de água infiltrada no solo por unidade de tempo, e é uma variável importante para quantificar o fenômeno da infiltração (ABID, 1978; MAGALHÃES, 2005).

A estimativa da taxa de infiltração no solo é fundamental para determinar a separação da precipitação que atinge o solo em infiltração e escoamento superficial, com todas as interfaces decorrentes, que são informações básicas no manejo e gestão da água, para todas as finalidades (LIMA e SILANS, 1999).

Em termos de manejo e conservação de solos, a mensuração da capacidade e taxa de infiltração de água no solo é importante parâmetro na avaliação da qualidade estrutural de um solo, indicando a situação da porosidade, da cobertura vegetal, do tipo de manejo adotado e, indiretamente, de outros parâmetros físicos do solo (CRUZ *et al.*, 2003).

Nos testes de infiltração a campo, segundo Magalhães (2005), verifica-se que a curva de variação da taxa de infiltração, ao longo do tempo, apresenta um decréscimo até atingir um valor assintótico, que equivale à condutividade hidráulica saturada, representativa da camada superficial do solo. Este valor é denominado de Taxa de Infiltração Constante – TIC.

É importante diferenciar os conceitos de **capacidade de infiltração**, também denominada infiltração potencial, e de **taxa de infiltração real**. Capacidade de infiltração representa a capacidade do solo de infiltrar água pela sua superfície, inferindo que haverá constante disponibilidade de água para penetrar nesse solo. Já taxa de infiltração real depende das características do solo e, simultaneamente, da distribuição temporal da chuva, pois é esta o suprimento de água que potencialmente poderá vir a infiltrar. Só poderá existir coincidência entre as curvas de taxa de infiltração potencial e real quando a taxa de precipitação mantiver-se sempre acima da curva de infiltração potencial (ABID, 1978; MAGALHÃES, 2005).

Encontra-se em Magalhães (2005), três formas conceituais de quantificar infiltração:

- **controlada pela condutividade** - quando a intensidade de precipitação é menor que a condutividade hidráulica de saturação, toda água precipitada infiltra no solo, pois a condutividade hidráulica de saturação é o menor valor da curva de infiltração potencial. Para essas condições, a taxa de infiltração real é igual à intensidade de chuva, e o escoamento superficial é nulo;
- **controlada pela intensidade de chuva** - situação em que a intensidade de precipitação varia, estando as vezes acima da curva de infiltração potencial e as vezes abaixo dela. A taxa de infiltração real será igual à intensidade da chuva quando esta for inferior à curva de infiltração potencial;
- **controlada pela curva de infiltração potencial** – ocorre quando a intensidade de chuva é sempre maior do que a curva de infiltração potencial, sendo a taxa de infiltração real igual à curva de infiltração potencial. A taxa de escoamento superficial pode ser calculada pela diferença entre a intensidade de chuva e a taxa de infiltração potencial.

As principais grandezas características das medidas de infiltração são:

- **Velocidade de infiltração**: quantidade de água que atravessa a unidade de área da superfície do solo por unidade de tempo (mm.h^{-1} , cm.h^{-1});
- **Infiltração acumulada**: quantidade total de água infiltrada durante um determinado intervalo de tempo (mm ou cm) (SOUZA, 2006).

Os dados de infiltração de água no solo, em especial os de capacidade de infiltração e de infiltração acumulada, relacionados com os dados de precipitação, são utilizados no desenvolvimento de modelos de descrição ou simulação do processo de infiltração de água no solos. Para adequada modelagem do movimento

de água no solo, ela deve ser obtida a partir de uma correta modelagem do processo de infiltração, sendo isso também válido para a modelagem da parte da água precipitada que não infiltra no solo, que constitui o escoamento superficial (CECÍLIO *et al.*, 2003).

Paz e Oliveira (2006) descrevem taxas médias de infiltração para alguns grupos de textura de solo, em solos saturados de água:

Argiloso: $< 5 \text{ mm.h}^{-1}$

Solo Franco-argiloso: $5 \text{ a } 10 \text{ mm.h}^{-1}$

Solo Franco: $10 \text{ a } 20 \text{ mm.h}^{-1}$

Solo Franco-arenoso: $20 \text{ a } 30 \text{ mm.h}^{-1}$

Solo Arenoso: $> 30 \text{ mm.h}^{-1}$

Segundo Silva e Kato (1998), existem diversos modelos para descrever a infiltração de água no solo. Fisicamente um dos mais bem fundamentados, é o modelo de Richard, no qual o fluxo de água no perfil do solo é determinado, principalmente, pelo gradiente de potencial matricial (ψ), com relação à profundidade do solo (Z). No entanto, sabe-se que ψ é uma função da umidade (θ) e que essa função, pelo fenômeno da histerese, não é unívoca, o que dificulta seu uso em estudos hidrológicos. Já o modelo de Green-Ampt, também embasado fisicamente e na suposição de que o solo assemelha-se a um feixe de microtubos, fornece a velocidade de infiltração instantânea em função de parâmetros físicos do solo e do total infiltrado.

Segundo Silva e Kato (1998), foram Mein & Larson (1973) que integraram a equação proposta por Green-Ampt, nos limites de integração próprios, conforme a duração da chuva. Com isso, o modelo de Green-Ampt passou a ser conhecido como modelo de Green-Ampt modificado por Mein & Larson (GAML), o qual fornece o total infiltrado, de acordo com a intensidade das chuvas e sua duração, sendo esse modelo, na década passada, utilizado por numerosos pesquisadores.

Destacam Cecílio *et al.* (2003), que o modelo de Green-Ampt apresenta como desvantagem na simulação do processo de infiltração, o fato de seus parâmetros de entrada não representarem fielmente as condições reais de ocorrência da infiltração.

Afirmam Pruski, Rodrigues e Silva (2001), que existe relativa facilidade de mensurar a precipitação e o escoamento superficial, mas que a infiltração e o

armazenamento superficial constituem-se, em muitas situações, em variáveis de difícil quantificação.

Com o objetivo da estimativa da taxa de infiltração de água no solo, são amplamente utilizados infiltrômetros, equipamentos destinados a medir a capacidade de infiltração, dado utilizado para a determinação das características hidrodinâmicas do solo, relacionadas com a infiltração (LIMA e SILANS, 1999).

Segundo Lanzasova (2005), vários métodos têm sido criados e testados para a determinação da infiltração da água no solo. Segundo o autor, basicamente três diferentes tipos de infiltrômetros são utilizados para a determinação da infiltração:

- os que utilizam a diferença entre a água aplicada e a água escoada superficialmente;
- os que mantêm a água confinada numa determinada área, proporcionando uma carga hidráulica sobre a superfície do solo;
- os que permitem a determinação da infiltração a partir dos dados de escoamento superficial.

A esse respeito, Paixão *et al.* (2004), afirmam que a determinação da infiltração tem sido bastante estudada, mas que até agora não se chegou a um parecer geral sobre qual é o melhor método para sua determinação. Destacam que entre as propriedades físicas do solo, a infiltração é uma das mais importantes, especialmente quando se estudam fenômenos que estão ligados ao movimento de água no solo.

Segundo Panachuki *et al.* (2006), para uma adequada mensuração do fenômeno de infiltração de água no solo, devem ser utilizados métodos que representem o processo de forma análoga e proporcional ao que ocorre na natureza, pois a infiltração é basicamente determinada pelas condições de superfície desse solo e pelo conteúdo de umidade do mesmo.

Afirmam Coelho, Miranda e Duarte (2000) que existem várias metodologias para se determinar a infiltração de água no solo, dentre as quais se destacam: o infiltrômetro de anéis concêntricos (cilindro infiltrômetro duplo) e o infiltrômetro de aspersores (IAS).

Já Lima e Silans (1999), afirmam que embora não exista padronização dos sistemas de medição da infiltração, são utilizados principalmente infiltrômetros duplo-anel, (cilindro infiltrômetro duplo) ou simples-anel (cilindro infiltrômetro simples); a vantagem do primeiro sobre o segundo é de minimizar as infiltrações laterais,

mantendo o fluxo na direção vertical. A sua desvantagem é uma operação mais complicada, principalmente porque necessita de maiores volumes de água.

Destaca Souza (1991), que a utilização do infiltrômetro de anel é um método indicado para se traçar a curva de infiltração de água de um solo, sendo muito utilizado em projetos de irrigação por aspersão, em especial de sistemas autopropelidos.

No mesmo sentido, Targa *et al.* (2006), afirma que a utilização do infiltrômetro de duplo anel é básico para a determinação da infiltração potencial, que é um dos dados de entrada do Método do Número Curva do Serviço de Conservação de Solos dos Estados Unidos (Soil Conservation Service) para modelagem de infiltração e escoamento, um dos mais utilizados em estudos de hidrologia de superfície.

A determinação da infiltração com o infiltrômetro de cilindro duplo ou de duplo anel consiste em se utilizar dois anéis concêntricos, confeccionados em metal, sendo o maior com diâmetro de 0,50 m e o menor com diâmetro de 0,25 m, ambos com altura de 0,30 a 0,40 m, e que são cravados no solo pelo menos 0,15 m, concentricamente, cujo esquema é apresentado na Figura 05 (KLAR, 1988; BERNARDO, 1995; PAZ e OLIVEIRA, 2006; SOUZA, 2006).

Os dois cilindros são cheios de água, até obter-se uma lâmina (altura) de 0,10 a 0,15 m de água. A determinação da infiltração é realizada medindo-se a altura de água infiltrada no cilindro menor (interno) em tempos sucessivos de leituras. O cilindro externo tem a função de eliminar a infiltração lateral do cilindro interno, permitindo que neste se tenha apenas o fluxo vertical de água na camada superficial do solo (PAIXÃO *et al.* 2004; OTTONI, 2005; RANZINI *et al.*, 2004).

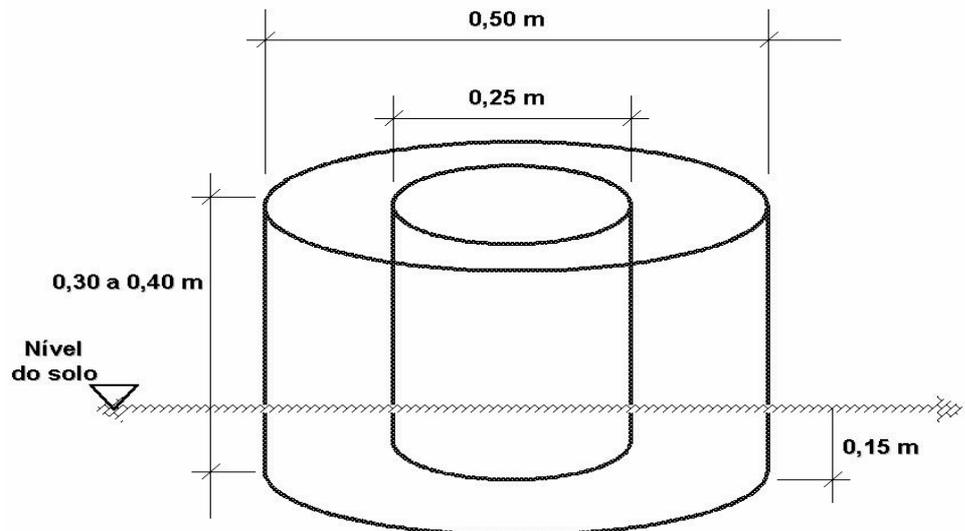


FIGURA 05 – Esquema do Cilindro Infiltrômetro Duplo (duplo anel)

Afirma Ferreira (1997) que a utilização dos dois anéis, garante que os resultados obtidos representem apenas a taxa de infiltração da água gravitacional no solo.

No entanto, Zuquette e Palma (2006) colocam que mesmo o infiltrômetro de duplo anel sofre forte influência da infiltração horizontal, em especial em solos muito secos, devido ao forte gradiente hidráulico de pressão, entre o solo úmido sob os cilindros e o solo seco circundante, pois os anéis são cravados poucos centímetros (15 cm) no terreno (ver Figura 06)

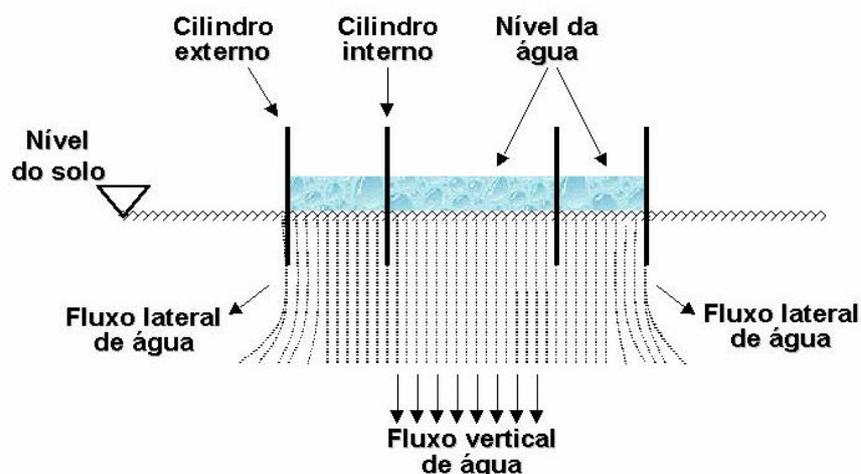


FIGURA 06 – Esquema de fluxos de infiltração no infiltrômetro de cilindro duplo
Adaptado de CECÍLIO e REIS, 2006

Na utilização dos infiltrômetros de duplo anel, destaca Ottoni (2005), que quando as diferenças entre as taxas de infiltração passam a ser mínimas, considera-se atingida a taxa de infiltração constante – TIC –, sendo esta calculada pela média das três últimas leituras obtidas.

Destacam alguns autores que os métodos de determinação da infiltração que não consideram o impacto da gota da chuva no solo, como, por exemplo, o de infiltrômetros de anel ou cilíndricos podem superestimar a infiltração da água, originando problemas no dimensionamento de projetos de gestão de água e manejo conservacionista de solo (CRUZ *et al.*, 2003; PANACHUKI *et al.*, 2006).

Alguns estudos têm sido realizados, com o auxílio de simuladores de chuva portáteis e de placas metálicas, que cercam a parcela experimental para conduzir a água de escoamento até um tanque de armazenamento (CASSOL, 1986; CECÍLIO e REIS, 2006).

Ao descrever essa mesma metodologia, Alves Sobrinho e Marchetti (2003) e Paz e Oliveira (2006) colocam que o simulador de chuvas aplica taxas pré-determinadas de precipitação, em tempos fixos.

Silva e Kato (1998) acrescentam que a captação da precipitação é realizada com a utilização de 4 pluviômetros colocados junto ao vértice da mesa ou calha coletora. Nesse caso, a lâmina de água infiltrada corresponde ao total precipitado menos o total escoado.

Em experimento descrito por Alves Sobrinho e Marchetti (2003), a lâmina de escoamento superficial é determinada pela relação entre o volume de água escoado e a área de 0,70 m² da parcela teste que recebe a precipitação. A lâmina de água infiltrada é calculada pela diferença entre a lâmina de água aplicada e a lâmina de escoamento superficial, em cada intervalo de tempo. Os valores de taxa de infiltração são obtidos pela relação entre lâmina infiltrada e tempo de infiltração considerado. Embora seja um método rápido e de baixo consumo de água, sua aplicação em ambientes florestais é operacionalmente muito difícil, em especial quando se tem que repetir a determinação em diferentes locais.

Em geral, quando se utiliza o infiltrômetro de aspersão para determinação da infiltração de água no solo, são menores os valores estimados para a taxa de infiltração estável, em relação aos obtidos com outros métodos (PANACHUKI *et al.*, 2006). Na Figura 07 é apresentado o esquema da utilização do infiltrômetros de aspersão.

Costa *et al.* (1999) realizaram estudos em um Latossolo do município de Lavras, MG, comparando a determinação da infiltração de água pelas metodologias do infiltrômetro de anéis concêntricos (cilindro infiltrômetro duplo) e simulador de chuvas (infiltrômetro de aspersão); foram utilizadas três repetições, sendo que a velocidade básica de infiltração de cada metodologia, indicou valores de $21,90 \text{ mm.h}^{-1}$ para o simulador de chuvas e de $47,22 \text{ mm.h}^{-1}$ para o cilindro infiltrômetros duplo; concluíram os autores que o valor da capacidade de infiltração determinada pelo simulador de chuvas é menor que o obtido com os anéis de infiltração, devido à ação combinada da chuva e do escoamento superficial.

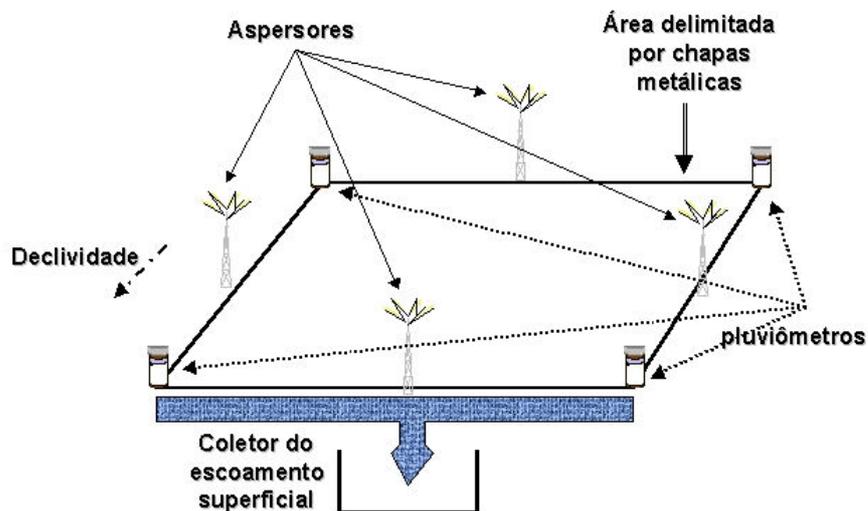


FIGURA 07 – Esquema do Infiltrômetro de Aspersão

No mesmo sentido, Coelho *et al.* (2000), trabalhando num Nitossolo em Campinas, SP, comparando os dois tipos de infiltrômetros, concluíram que:

- em relação aos valores de capacidade ou taxa de infiltração obtida por infiltrômetro de aspersores, constatou-se que a média aritmética dos valores de infiltração da água no solo, obtida por infiltrômetros de anéis concêntricos, superestimou a capacidade de infiltração do terreno;
- quando se comparou a média geométrica e a moda dos valores de infiltração da água no solo, obtidas pela metodologia do infiltrômetro de anéis concêntricos, com alta densidade de amostragem, com os obtidos pelo infiltrômetros de aspersão, os valores se aproximaram bastante;

- o uso do infiltrômetro de anéis concêntricos na determinação da taxa de infiltração de água no solo requer um número razoável de repetições, para o estabelecimento de um valor confiável.

Encontra-se em Cruz *et al.*, (2003) que os valores da taxa de infiltração devem ser analisados com cuidado, pois o infiltrômetro de cilindros duplos, apresenta, geralmente, resultados superiores aos do infiltrômetro de aspersão, que utiliza chuva artificial.

Brito *et al.* (1996), em estudo comparando a capacidade de infiltração entre os dois métodos, em condições de solo com cobertura morta, obtiveram resultados em que o infiltrômetro de duplo anel apresentou valores 2,5 vezes maiores que os obtidos com o infiltrômetro de aspersão.

Cecílio e Reis (2006) colocam que os valores da taxa de infiltração estável obtidos pela metodologia do infiltrômetro de anéis concêntricos, em geral apresentam valores de 1,5 a 6 vezes maiores que aqueles obtidos com a metodologia de simuladores de chuva, dependendo do tipo de solo e de seu uso.

Outro método bastante utilizado, especialmente em áreas de produção agrícola, é o de parcelas-padrão de determinação do escoamento superficial, que permitem, por diferença entre a lâmina precipitada e a água escoada, que se obtenha a infiltração ocorrida (CARDOSO *et al.*, 2004; SILVA, 2004).

Quando se trabalha com simulador de chuvas nessas parcelas, pode-se obter os parâmetros de taxa e de velocidade de infiltração, mas pode-se também trabalhar com chuvas naturais, o que exige que se automatize a coleta e registro da intensidade de precipitação e da vazão da água de escoamento (CARDOSO *et al.*, 2004; SILVA, 2004).

Destaca Mendes (2006), que grande variedade de tipos e formas de parcelas-padrão são descritas e encontradas na literatura. Alerta o autor que aspectos como o tamanho das parcelas e as estruturas de estocagem do escoamento superficial, devem ser especialmente considerados no planejamento dos estudos de perdas de água e solo, para evitar perdas de registro de determinados eventos, por ocorrer transbordamento. Destaca ainda o mesmo autor que a utilização de parcelas-padrão para estudos de perdas de água e solo, serve também para demonstrar indicadores dos efeitos dos escoamentos superficiais, em comparação entre diferentes coberturas vegetais, e a evolução desses processos ao longo das pendentes.

Normalmente essas parcelas-padrão têm tamanho variável, entre 10 a 35 metros de comprimento e 2 a 12 metros de largura, com o comprimento no sentido da declividade. As laterais de cada parcela são cercadas com tábuas de madeira ou lâminas metálicas, com 0,30 a 0,40 m de altura, sendo que 0,15 a 0,20 m são enterrados no solo; na extremidade mais baixa de cada parcela, o fluxo é afunilado, pelas tábuas ou lâminas laterais até caixas coletoras de enxurrada (SOUZA e TUBELIS, 2001; CARDOSO *et al.*, 2004; TARGA *et al.*, 2006).

A Figura 08 mostra o esquema de parcelas com medidas de 10 metros de comprimento por 2 metros de largura.

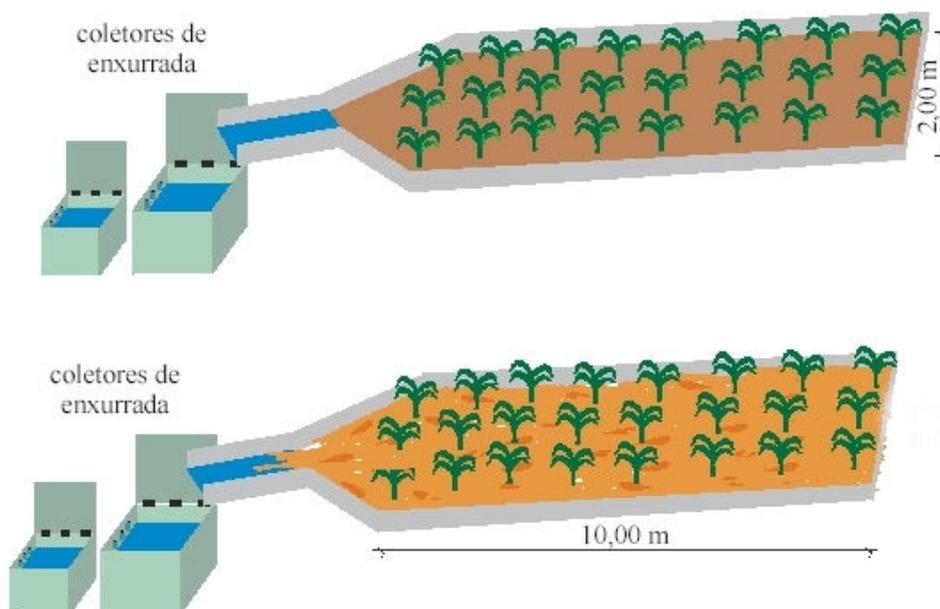


FIGURA 08 – Esquema de parcelas-padrão de infiltração e escoamento superficial. Fonte: SILVA, 2004

No entanto, para estudos em ambientes florestais, a utilização de parcelas-padrão apresenta limitações, pelo seu custo elevado, pela morosidade e dificuldade de instalação e operacionalização, o que faz com que esse método seja pouco utilizado. A utilização de simuladores de chuva em ambientes florestais naturais é muito difícil, sendo uma prática não adotada (CARDOSO *et al.*, 2004).

Uma aplicação prática da utilização da metodologia utilizadas nas parcelas-padrão, na atividade florestal, é encontrada nos estudos de perdas de água e arraste

de sedimentos nas estradas, carreadores e aceiros, sob condições de chuva natural (MACHADO *et al.*, 2003).

Também são utilizados equipamentos denominados infiltrômetros ou permeômetros a disco, que possibilitam estudar alguns parâmetros relacionados com o processo de infiltração. A esse respeito, descrevem Borges *et al.*, (1999, p.2083-2084):

O processo de infiltração é caracterizado por dois parâmetros: a sorvidade (S0) e a condutividade hidráulica (K0). O valor de S0 é associado à fase inicial da infiltração. Nessa fase, a infiltração é praticamente independente dos efeitos gravitacionais e geométricos. Os valores S0 e K0 na camada superficial do solo definem a partição dos aportes externos de água (precipitação, irrigação), afetando assim tanto o armazenamento de água no solo, como o escoamento superficial; é importante considerar que os macroporos são funcionais quando o solo está muito próximo à saturação, sendo capazes de transportes preferenciais de água e substâncias químicas de forma rápida durante o processo de infiltração. Por causa da natureza frágil dos macroporos é necessária a realização de medidas de infiltração *in situ*, usando técnicas que minimizem as perturbações do solo. Do ponto de vista mais prático, pode-se avaliar a importância dos macroporos sobre a infiltração em condições de inundação através da diferença entre S0 e K0 a um potencial matricial y_0 , próximo à saturação, e S e K medidos à saturação. O processo de infiltração pode ser estudado utilizando-se dispositivos chamados permeômetros a disco. Técnicas baseadas nesses permeômetros são de grande interesse, pois permitem determinar simultaneamente, S0 e K0 *in situ*, de forma simples e rápida, minimizando as perturbações no solo.

O permeômetro a disco é constituído, basicamente, de um anel oco, rígido, com uma das faces fechada e a outra delimitada com uma membrana de náilon de malha 20 μm , acoplado a um tubo cilíndrico de alimentação de água com carga constante e um reservatório de reposição automática de água ao tubo de carga constante. O disco é colocado em contato completo com a camada de solo que se pretende estudar, normalmente com nivelamento da área de contato e/ou com a colocação de uma pequena camada de areia fina (BORGES *et al.*, 1999). A Figura 09 apresenta o esquema de um permeômetro a disco.

Segundo Silva e Godinho (2002), o infiltrômetro ou permeômetro de disco permite a determinação *in situ* da condutividade hidráulica de um solo não saturado, consumindo pouca água e exigindo pouco tempo para determinação (em torno de duas horas para cada teste), com a vantagem adicional de poder dispensar instrumentos para determinação da umidade ou tensão da água nas diferentes camadas do solo. Sua principal desvantagem é o transporte difícil em condições de florestas.

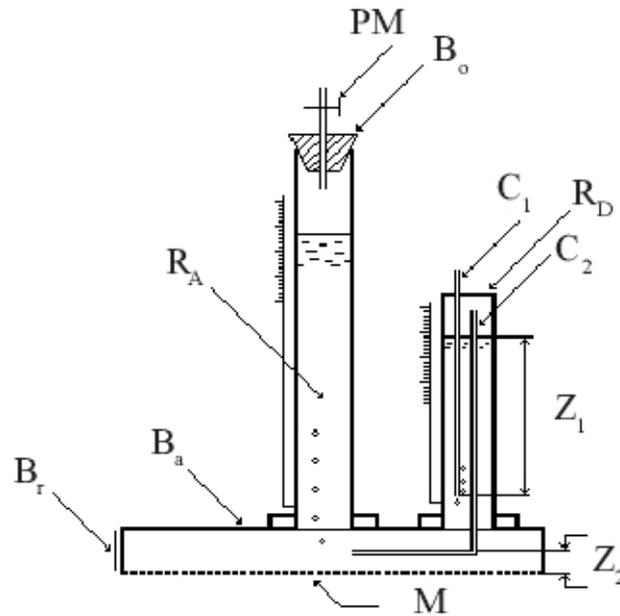


FIGURA 09 - Esquema do permeâmetro a disco: **B_a** - base de contato com o solo; **M** - membrana constituída por uma tela de tecido de náilon presa por um bracelete de borracha (**B_r**); **R_A** - reservatório de alimentação fechado no seu topo por uma rolha de borracha (**B_o**) na qual está acoplado um pequeno tubo munido de um duto flexível e de uma pinça de Mohr (**PM**); **R_D** - reservatório lateral de despressurização; **C₁** - tubo capilar para regular o valor do potencial de fornecimento de água ao nível de membrana; **C₂** - tubo capilar que realiza a comunicação entre este reservatório e a base do permeâmetro.

Fonte: BORGES *et al.*, 1999

Os pesquisadores Pott e Maria (2003) compararam diferentes métodos de determinação *in situ* da taxa de infiltração constante, na superfície do solo, sendo utilizado um infiltrômetro de aspersão, um permeâmetro, um infiltrômetro de tensão e, finalmente, um infiltrômetro de pressão, similar ao infiltrômetro de tensão. Verificaram que no uso do infiltrômetro de aspersão foram observados os menores valores de infiltração básica, possivelmente devido ao impacto desagregador das gotas de chuva na superfície do solo. Concluíram esses autores que os métodos se comportaram de forma diferente em cada tipo de solo, e que os diferentes métodos de avaliação determinam diferentes valores de taxa infiltração constantes para um mesmo tipo de solo.

Outro método de determinação *in situ* dos parâmetros de infiltração, é o da câmara de fluxo desenvolvida por Fabian e Ottoni Filho (FABIAN e OTTONI FILHO, 2000). Esse equipamento consiste num cilindro de aço inox com 80 cm de diâmetro,

80 cm de altura e 1 mm de espessura, com reforço estrutural externo em cantoneira de ferro, que é totalmente cravado por pressão hidráulica, com auxílio de contrapesos e de uma mesa de cravação.

Em função do tamanho e do método de instalação, a câmara de fluxo reduz os principais inconvenientes apresentados pelo infiltrômetro de duplo anel, relacionados ao tamanho dos anéis, à percolação horizontal e à alteração da estrutura superficial do solo quando se crava os anéis através de pancadas (FABIAN e OTTONI FILHO, 2000).

Esse método tem uso aconselhado quando se pretende desenvolver estudos *in situ* de fenômenos de transferência vertical em solo. Destacam os autores que em alguns testes comparativos da câmara de fluxo com infiltrômetro de duplo anel, eles obtiveram resultados mostrando que a infiltração pelo método da câmara de fluxo foi cerca de 4 vezes inferior ao obtido com o método do infiltrômetro de anel (FABIAN e OTTONI FILHO, 2000; OTTONI, 2005).

Um método descrito e classificado como clássico por Reichardt (1990), para determinação da infiltração vertical, consiste em cercar uma área plana, quadrada, de 9 a 100 m², com um dique de placas metálicas cravadas 15 cm no chão e com 15 cm de altura acima do solo, no qual é mantida uma lâmina de água de 2 a 10 cm de altura, por adição contínua de água. O autor coloca que esse método é equivalente ao método dos cilindros concêntricos, para os quais recomenda a mesma altura de lâmina de água. Ottoni (2005) utiliza a mesma metodologia para determinação da capacidade de campo de solos e estudo de infiltração vertical.

Em termos ideais, para os estudos de infiltração e escoamento superficial, se deve trabalhar com precipitações naturais – chuvas. No entanto, Silva *et al.* (2001) alertam que estudos confiáveis com precipitação natural requerem um longo tempo de medidas, para que se possa obter uma amostragem representativa de eventos de precipitação. A ocorrência irregular da chuva natural constitui-se em outra dificuldade, pois impede a coleta de dados durante a sua ocorrência. Como forma para possibilitar estudos em períodos mais curtos e maior controle das intensidades de precipitação, tem-se utilizado precipitações artificiais produzidas por simuladores de chuva (SILVA *et al.*, 2001).

Outro item importante nos estudos de infiltração é considerar a grande variabilidade espacial da taxa de infiltração, que acompanham a variabilidade espacial dos fatores físicos e edafo-vegetativos do solo. Chichota, Lier e Roja

(2003), estudando essa variabilidade em um Argissolo Vermelho de textura média, observaram dependência espacial da taxa de infiltração em distâncias de 3,5 m a partir de um ponto de observação.

Também a esse respeito, Abreu *et al.* (2003) destacam que existe essa grande variabilidade, e que são encontradas variações da taxa de infiltração em função da posição do solos na paisagem. Destacam ainda que, mesmo em solos aparentemente homogêneos, como solos de várzeas, são encontradas variações significativas das taxas de infiltração, oriundas da heterogeneidade deposicional no terreno.

Segundo Lima e Silans (1999), vários estudos sobre variabilidade espacial das propriedades hidrodinâmicas do solo de parcelas agrícolas, ou de vertentes de bacias hidrográficas, indicaram que os solos, mesmo de aparência homogênea, apresentam considerável variabilidade espacial no que se refere às suas propriedades físicas. A consequência dessa variabilidade sobre a resposta hidrológica de uma parcela não está ainda bem entendida, mas deve ser considerada na amostragem.

2.3 ESCOAMENTO SUPERFICIAL

O escoamento superficial corresponde a parcela do ciclo hidrológico relacionado ao deslocamento das águas sobre a superfície do solo. O conhecimento deste processo é de fundamental importância, pois a maioria dos estudos hidrológicos está ligada ao aproveitamento da água superficial e à proteção contra os fenômenos provocados pelo seu deslocamento (PRUSKI, RODRIGUES e SILVA, 2001; CECÍLIO e REIS, 2006).

Ciclo de escoamento é o termo descritivo que se aplica ao segmento do ciclo hidrológico que ocorre entre a precipitação e o deflúvio (MILLAR, 1978).

Essa parcela do ciclo hidrológico é constituída pela água precipitada que alcança a superfície do solo e que não infiltrando, percorre diversos caminhos até chegar às linhas de drenagem e cursos de água. O escoamento superficial é, portanto, a combinação do fluxo na superfície com escoamento em pequenos canais que constituem a drenagem de uma área ou bacia hidrográfica (MEDEIROS *et al.*, 2005; TUCCI, 2005).

O escoamento superficial pode também ser simplesmente definido como o escoamento de água que ocorre sobre a superfície do piso florestal, derivado da água precipitada que não infiltrou. Constitui uma resposta rápida à precipitação e cessa pouco tempo depois dela (INSTITUTO DA ÁGUA, 2003; TUCCI, 2005). Numa bacia grande, parte do escoamento sub-superficial pode se transformar em escoamento superficial, nas zonas mais baixas (TUCCI, 2005).

Carpi Júnior (2001) apresenta que podem ser distinguidas diversas categorias de escoamento superficial: o escoamento generalizado sobre uma vasta superfície, na forma de uma película ou lençol, e os escoamentos concentrados e lineares. Nos dois casos, podem também ser subdivididos em regime de escoamento laminar e regime de escoamento turbulento.

O ciclo de escoamento pode ser descrito, segundo UFB/GRH (2004) e Pruski, Rodrigues e da Silva (2001), em três fases:

- No início de uma precipitação, parte da água é interceptada pela vegetação, e a chuva que chega ao chão é infiltrada no solo. Exceto pela parcela de chuva que cai diretamente sobre o curso de água, não existe nenhuma contribuição para o escoamento nesta fase. Parte da água interceptada pela vegetação e serapilheira é evaporada;
- Com a continuidade da precipitação, a capacidade de retenção da vegetação e serapilheira são esgotadas, e a água chega ao solo. Com a persistência da precipitação, a capacidade de infiltração do solo pode ser excedida, e a água inicialmente se acumula em depressões rasas, as quais vão se unindo, formando um filme de água sobre o solo e iniciam seu movimento como escoamento superficial, na direção de uma linha de drenagem preferencial e cursos de água. Se a chuva continuar, o escoamento superficial ocorrerá de forma contínua, na direção de um rio;
- Quando a precipitação pára, o escoamento superficial rapidamente cessa, a evaporação e a infiltração continuam a retirar água do piso florestal. Os cursos de água agora estão com nível mais alto do que no início da precipitação.

O escoamento é regido por leis físicas e representado quantitativamente pelas variáveis: vazão, profundidade e velocidade. Para descrever o processo de escoamento, são utilizadas equações de conservação de massa, energia e quantidade (CARVALHO e TUCCI, 2003).

Os escoamentos podem ser classificados como escoamentos permanentes e não permanentes. O escoamento permanente ocorre quando o gradiente da velocidade e do nível são nulos, não existindo variação de estado no sistema. O escoamento não permanente considera a variação no tempo e no espaço das variáveis do sistema. Esta situação ocorre na maioria dos problemas hidrológicos de escoamento superficial e de rios e canais (CARVALHO e TUCCI, 2003).

No que se refere ao volume total de água que chega num curso ou corpo de água, parte dele é formado pelo escoamento superficial e parte pelo afluxo de água do subsolo; no entanto, o escoamento superficial resultante da água não infiltrada das precipitações, é o principal componente na formação de cheias, no aumento de vazões dos cursos de água e no armazenamento em tanques, açudes e barragens (ALENCAR *et al.*, 2006).

A quantidade ou volume de água que vai compor o escoamento superficial está na dependência de qual é a máxima capacidade de saturação do solo nos diferentes pontos da área ou bacia de captação, pois não existe homogeneidade do nível de saturação em todos os pontos. Isso também está na dependência das precipitações pluviométricas anteriores, que umedecem o solo, e que podem estabelecer áreas saturadas de água, o que propicia a formação do escoamento superficial nas chuvas mais intensas que venham a ocorrer em seqüência (GBUREK e SHARPLEY, 1998).

Destacam Souza, Lombardi Neto e Tubelis (1995), que o escoamento superficial é um dos elementos que mais merecem atenção no manejo dos recursos hídricos em pequenas bacias hidrográficas. Às vezes existe a necessidade de maximizá-lo e utilizá-lo para armazenar o maior volume possível de água nos reservatórios; em outras situações, é fundamental que se favoreça a infiltração da água no solo, armazenando mais água no solo, para atender as necessidades hídricas das culturas, reduzindo as perdas de água por escoamento e minimizando o processo de erosão do solo.

A água de escoamento superficial é a principal responsável pelo transporte de sedimentos para a rede de drenagem e para os cursos e corpos de água, sendo agente causal de um dos maiores poluentes das águas – os sedimentos – que, além do efeito próprio, servem como catalisadores, carreadores e agentes fixadores para outros poluentes. Por isso, seu estudo e compreensão dos fenômenos envolvidos

têm significância para a sociedade e para o meio ambiente (CARVALHO *et al.*, 2000).

Destaca Ross (1997), que os fenômenos relacionados à drenagem superficial (escoamento) e sub-superficial de uma área, estão decisivamente ligados à forma do relevo, pois esta define a rede de drenagem. Assim sendo, as formas de determinação/medição dos parâmetros deve também considerar essas relações. Isso é buscado através de modelos matemáticos.

Segundo Souza e Tubelis (2001), trabalhando com diferentes sistemas de manejo em culturas agrícolas, o escoamento superficial é determinado por fatores bioclimáticos e fisiográficos. Os primeiros são estabelecidos em função da quantidade, intensidade, duração e distribuição da precipitação, das condições antecedentes da umidade do solo, da interceptação pela cobertura vegetal e da demanda atmosférica. Já os fatores fisiográficos são influenciados pela extensão, pela forma, pelas condições da superfície do solo e pela declividade da bacia.

Os autores Mediondo e Tucci (1997) destacam que existe uma geração significativa de escoamento superficial, quando é atingido um estado de água no solo próximo à saturação, e isso ocorre mesmo sem que a intensidade de precipitação ultrapasse a capacidade de infiltração. Em grande parte, isso se deve ao aumento do potencial de pressão com a profundidade, nos lugares com pequena declividade, o que facilita a saturação nas camadas superficiais. Isto ocorre mesmo quando pequenos volumes de água agregam-se ao perfil pela infiltração ou pelo escoamento sub-superficial a pouca profundidade.

Soares (2004) propõe uma classificação dos componentes do escoamento e do armazenamento, alertando que esses componentes da vazão de uma bacia hidrográfica ficam, pelo menos temporariamente, armazenados na bacia:

- **interceptação:** água retida no dossel vegetal;
- **retenção na superfície:** filme de água que molha a superfície do solo antes de começar a ocorrer fluxo superficial (em geral menor que 0,5 mm).
- **detenção na superfície:** é a água retida pela resistência da superfície (rugosidade) ao fluxo lateral (em declive), permitindo que grande parte da água se infiltre;

- **retenção na superfície do solo de florestas:** é a precipitação que fica retida na liteira, húmus e matéria orgânica em fermentação, constituindo perda por interceptação;
- **detenção na superfície do solo de florestas:** retém a maior parte de pancadas de chuva para infiltração posterior, significando uma redução substancial no deflúvio, sendo dos maiores benefícios hidrológicos da floresta (do ponto de vista da regularização de vazão e enchentes);
- **armazenamento em depressões:** é a água que fica estocada em depressões na superfície do solo;
- **umidade do Solo:** pode ser separada em água detida (pequenos períodos) e água retida na manta de solo. O estoque de água na manta de solo desempenha papel muito importante na quantificação e distribuição temporal do deflúvio e do escoamento básico;
- **água subterrânea:** pode permanecer na bacia durante anos, porém em zonas saturadas ao longo dos cursos d'água, pode fluir rapidamente como vazão;
- **estoque do canal:** é a água disponível no canal num dado instante, variando bastante durante e após as chuvas.

O escoamento em uma bacia hidrográfica recebe a denominação genérica de “runoff”, que se refere a todos os processos que culminam com fluxo no canal perene de primeira ordem de uma dada bacia. Segundo Soares (2004), a palavra “runoff” não discrimina os vários processos e comportamentos temporais da água numa bacia, sendo necessária uma terminologia mais precisa para descrever os componentes do fluxo de água. O autor relaciona os seguintes termos usados para classificar e descrever o complexo processo de runoff:

- **precipitação no canal (C_p)** - é a fração da chuva precipitada diretamente no canal de drenagem da bacia. Normalmente a área recebendo C_p é da ordem de 1 % da área total da bacia;
- **escoamento lateral no solo (R_s)** - é a fração da vazão derivada da precipitação que não infiltra na superfície do solo propriamente dito, escoando sobre a superfície para a linha de drenagem mais próxima;
- **escoamento superficial (C_p+R_s)** - a distinção importante é que escoamento superficial não infiltra;

- **escoamento sub-superficial** (R_i) - refere-se a parte da vazão do canal que vem de fontes subsuperficiais, mas que verte um curso de água tão rapidamente que compõe a vazão obtida em um dado evento de chuva;
- **deflúvio** ($Q_s = C_p + R_s + R_i$) - é o termo usado para descrever as características de ocorrência de inundação de bacias hidrográficas;
- **escoamento básico** (R_g) – constitui-se do afluxo de água dos aquíferos subterrâneos para os cursos e corpos de água. Em áreas de floresta de terra firme e bem drenadas, cerca de 85% do volume de água recebido pela drenagem é escoamento básico;
- **vazão do canal** (Q) - é vazão, ou taxa de escoamento, obtida em um dado canal natural, através de uma estação de medição. É a somatória dos termos apresentados anteriormente: $Q = R_G + R_i + R_S + C_p$;
- **vazamento profundo de uma bacia** (L) - refere-se às perdas de água ocasionada por falhas geológicas profundas, cavernas ou rios subterrâneos, que não são passíveis de serem registradas em uma estação de medição da vazão de saída de água da bacia;
- **fluxo abaixo do leito do canal** (U) - também é fluxo não medido, que ocorre em sedimentos de vales e material carregado e depositado no fundo;
- **coleta de água de uma bacia** (WY) - total de água coletada num período de tempo. É igual à diferença entre a precipitação total e a soma da evapotranspiração e variação de armazenamento: $WY = P_g - ET - \Delta S$; em termos de componentes de fluxo, tem-se: $WY = Q + U \pm L$.

O coeficiente de escoamento superficial ou coeficiente de deflúvio, ou ainda, coeficiente de “runoff”, é definido como a razão entre o volume de água escoado superficialmente e o volume de água precipitado. Pode ser referente a uma chuva isolada ou a um intervalo de tempo com várias precipitações (UFB/GRH, 2004).

Em se conhecendo o coeficiente de “runoff” para uma determinada chuva intensa, de duração conhecida, é possível estimar o escoamento superficial de outras chuvas de intensidades diferentes, desde que a duração seja a mesma. Essa análise pode ser usada para se prever a vazão de uma enchente provocada por uma chuva intensa (UFB/GRH, 2004).

As determinações do escoamento superficial advindos da precipitação pluviométrica natural são essenciais para o entendimento e quantificação de processos hidrológicos e da erosão hídrica (SILVA *et al.*, 2001).

Afirma Ribeiro Neto (2006) que o escoamento superficial, dentre os processos de superfície do ciclo hidrológico, é o componente mais importante e de difícil determinação *in situ*, em virtude dos muitos fatores intervenientes, tais como o tipo de solo, a cobertura vegetal, o teor antecedente de umidade do solo e a topografia do terreno.

O estudo *in situ* dos processos hidrológicos de superfície, permite determinar o escoamento superficial, útil para avaliação de inundações e do volume de recarga de um aquífero, por exemplo. Ao se determinar os parâmetros do escoamento superficial e os correlacionar com a precipitação efetiva, pode-se também avaliar a infiltração. Muitos equipamentos utilizados para a mensuração do escoamento superficial permitem também a determinação da infiltração ocorrida (TUCCI, 2005).

Silva *et al.* (2001), trabalhando com simulador de chuvas de braços rotativos, sobre parcelas de 4 m², colocam que o processo de selamento superficial devido ao impacto das gotas da chuva é acelerado, reduzindo a taxa de infiltração de água no solo já nos primeiros eventos de precipitação, produzindo, conseqüentemente, altos valores de vazão de escoamento superficial, e que o aumento da cobertura vegetal sobre o solo minimiza esse efeito. Trabalhando-se com diferentes coberturas de solos e diferentes intensidades de precipitação, chegou-se as seguintes conclusões:

- para as intensidades de precipitação adotadas, com o aumento de cobertura sobre o solo, diminui as perdas de água por escoamento superficial;
- a vazão máxima de escoamento superficial cresce com o aumento da intensidade de precipitação e com a diminuição da cobertura sobre o solo;
- independentemente do percentual de cobertura sobre o solo, o efeito cumulativo da energia cinética provoca aumento das perdas de água;
- proporcionalmente, os maiores valores de lâmina escoada ocorrem nas menores intensidades de precipitação;
- nas condições do estudo, a cobertura sobre o solo apresentou influência maior do que a intensidade de precipitação nas perdas de água.

Em estudos de escoamento superficial, Freitas (2003) pesquisando no Parque do Grumari, na cidade do Rio de Janeiro, encontrou valores de escoamento superficial na ordem de 1,3% da precipitação em parcela sob cultivo de bananal, 1,0% em área de regeneração natural de mata e 0,8% em área de floresta nativa.

Trabalhando com plantação de seringueira, em São Paulo, Mendes *et al.* (1992), constataram que o escoamento superficial representou, na situação estudada, em média 15,6% da chuva. Destacam que, em se considerando eventos de chuva que ocorreram imediatamente após outros de dias de chuva, em situações de umidade superficial do solo maiores (umidade antecedente), estas perdas alcançaram valores máximos de até 50% da precipitação total.

Entre as aplicações práticas das determinações *in situ* do escoamento e da infiltração, destaca Borges *et al.* (2005), que a obtenção de dados em campo, como medições desses parâmetros, em diferentes solos e respectivos usos e ocupação, permite estimar a área de cobertura florestal necessária para compensar as perdas de água por escoamento superficial na bacia hidrográfica.

Utilizando essa perspectiva, Rocha e Kurtz (2001) elaboraram a metodologia “Florestamentos Compensatórios para Retenção de Água em Microbacias” – FCRAM –, que possibilita determinar os valores das perdas de água e dimensionar o reflorestamento compensatório dessas perdas.

2.4 INTERCEPTAÇÃO

Interceptação é o processo de retenção de água acima da superfície do solo, constituindo um volume de precipitação que é retido ou armazenado pela vegetação, e eventualmente perdido por evaporação (ABID, 1978). Dependendo do tipo de cobertura vegetal e das características da precipitação, sua influência no balanço hídrico pode-se tornar significativo e, sob certas condições, as perdas por interceptação podem atingir 25% da água precipitada (OLIVEIRA e TUCCI, 2003; LIMA, 2004).

Diante disso, a interceptação da precipitação propiciada pela cobertura vegetal desempenha importantes efeitos nos processos hidrológicos, geomorfológicos e pedológicos no sistema vertente, destacando-se: influência no tempo de concentração, ou seja, tempo decorrido entre o início da precipitação e início do escoamento superficial; redução da energia cinética das gotas de chuva; participação na dinâmica do balanço de água da vertente em sentido amplo, entre outros (THOMAZ, 2005).

Em áreas com vegetação florestal, segundo Magalhães (2005) a interceptação vegetal pode ser dividida em três componentes principais:

- **interceptação na copa das árvores:** as folhas das árvores e outros vegetais, isoladamente ou em conjunto, podem reter parcela da precipitação pluviométrica. Isso é devido a geometria dos vegetais, tendo, por exemplo, a maioria das bromélias, e também a superfície das folhas, que retém água por tensão superficial;
- **interceptação nos galhos e troncos:** parte da precipitação flui acompanhando galhos e troncos das árvores. Esta segunda parcela pode representar de 1 a 15% do total da água que não é retida sobre a folhagem. Uma parte dessa água fica retida nos galhos e troncos, e parte chega ao solo;
- **interceptação sobre raízes, vegetação rasteira e serapilheira:** a serapilheira é constituída de restos de folhas, galhos e matéria orgânica em geral, que se acumula sobre a superfície do solo em matas e florestas. A serapilheira, a vegetação rasteira e as raízes superficiais das árvores também podem promover a interceptação de parte da chuva que cai sobre o solo. Uma complexidade adicional para essa análise se deve ao fato que após a decomposição do material orgânico da serapilheira, o mesmo passa a fazer parte do horizonte orgânico do solo – Horizonte O – (EMBRAPA, 2006). A partir deste momento essa camada passa a fazer parte da camada superficial do solo, e ocorre, portanto, infiltração, e não mais interceptação (MAGALHÃES, 2005).

A Figura 10 esquematiza a interceptação vegetal.

Toda a precipitação é interceptada pela cobertura vegetal até o momento em que o total precipitado se iguala à lâmina de interceptação potencial, que é a parcela que realmente a cobertura pode reter, representada basicamente pelo molhamento e retenção de filmes de água por tensão superficial (PRUSKI, RODRIGUES e SILVA, 2001).

Nesse sentido, a interceptação é segmento importante do ciclo hidrológico, responsável por parcela significativa de movimentação de água desse ciclo; além disso, muitas vezes as taxas de evaporação da água interceptada podem ser maiores que a própria taxa de transpiração, indicando que o processo de interceptação não pode ser desprezado no balanço hídrico de uma bacia (LINHARES, 2006).

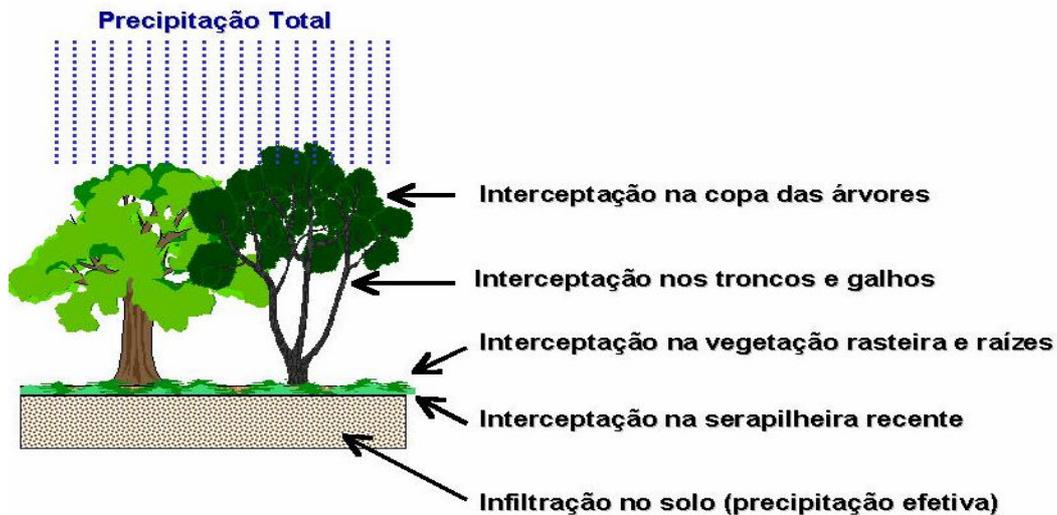


FIGURA 10 – Esquema da Interceptação Vegetal. Adaptado de Magalhães, 2005.

Segundo Oliveira Júnior e Dias (2005), a interceptação pela cobertura florestal, provoca a redistribuição da água da chuva, pois as copas das árvores formam um sistema de amortecimento, direcionamento e retenção das gotas que chegam ao piso florestal, afetando a dinâmica dos processos de escoamento superficial e de infiltração.

A esse mesmo respeito, coloca Price (1982) que a infiltração propiciada pela água que escoar lentamente pelo tronco é muito importante e significativa, em especial em solos secos, pois o processo de infiltração é facilitado e ocorre localmente, com menores perdas.

Tudo isso favorece o abastecimento da água, pois a variação de vazão ao longo do ano é reduzida, ocorrendo ainda o retardamento dos picos de cheia. A floresta atua no ciclo hidrológico de maneira significativa, pois proporciona melhores condições de infiltração da água da chuva (OLIVEIRA JÚNIOR e DIAS, 2005).

Também é importante lembrar-se das implicações ecológicas da precipitação efetiva, aquela que atravessa o dossel e chega ao solo, como, por exemplo, a entrada de nutrientes no ecossistema pela água precipitada. Parte desses nutrientes são trazidos da própria atmosfera e outra parte do dossel, podendo representar uma quantidade significativa para o crescimento e desenvolvimento da floresta (TONELLO *et al.*, 2004).

Apresenta Lima (2004) que, pela interceptação, a floresta reduz o total de precipitação que atinge a superfície do solo, podendo chegar a cerca de 25 % de redução da precipitação anual. Durante períodos sem chuva, a transpiração e a

evaporação direta da água do solo compõem o consumo total de água por uma superfície vegetada. Nos períodos chuvosos a interceptação também passa a fazer parte das perdas de água do sistema. Precipitações pequenas, de 5 mm por exemplo, será quase toda retida pelas copas e de lá evaporada diretamente. Aproximadamente a mesma quantidade de chuva (5 mm) será perdida de uma precipitação maior, mas a proporção de perda desta última será, evidentemente, menor.

Quando se inicia a chuva, a água molha a superfície das folhas, sendo que uma certa quantidade dessa água fica aderida a grande superfície foliar existente na floresta. Em continuando a precipitação, a capacidade de interceptação é ultrapassada, e toda a água que chega as folhas e caules passa a escoar; simultaneamente, ocorrem perdas contínuas por evaporação diretamente das folhas úmidas. Em existindo vento, o processo pode ser acelerado, aumentando as perdas por evaporação (OLIVEIRA e TUCCI, 2003).

A Figura 11 mostra esquematicamente os componentes da precipitação e da interceptação. Em média, 85% da precipitação incidente atingem o solo atravessando a vegetação da floresta e 1 a 2% escoam pelos troncos. A diferença (13 a 14%) é a interceptação (OLIVEIRA e TUCCI, 2003).

A interceptação pela cobertura florestal representa importante parcela da água que cai sob a forma de chuva, retornando parte desta à atmosfera por evaporação, contribuindo, diretamente, para a massa de vapor de água precipitável na atmosfera (FERREIRA, LUIZÃO e DALLAROSA, 2005).

Em regiões em que ocorrem maiores variações climáticas, ou seja, em latitudes mais elevadas, a vegetação pode apresentar uma significativa variação da cobertura vegetal no decorrer do ano, o que interfere diretamente com a interceptação. A época do ano também pode caracterizar alguns tipos de cultivos que apresentam as diferentes fases de crescimento e colheita (TUCCI, 2005).

Segundo Tucci (2000) e Castilho, (2000) os conceitos mais comumente usados em estudos de interceptação são:

- **Interceptação:** processo de retenção temporária da precipitação pelas copas das árvores, de onde é redistribuída em água que pinga no solo, água que escoam pelo tronco e água que volta à atmosfera por evaporação;

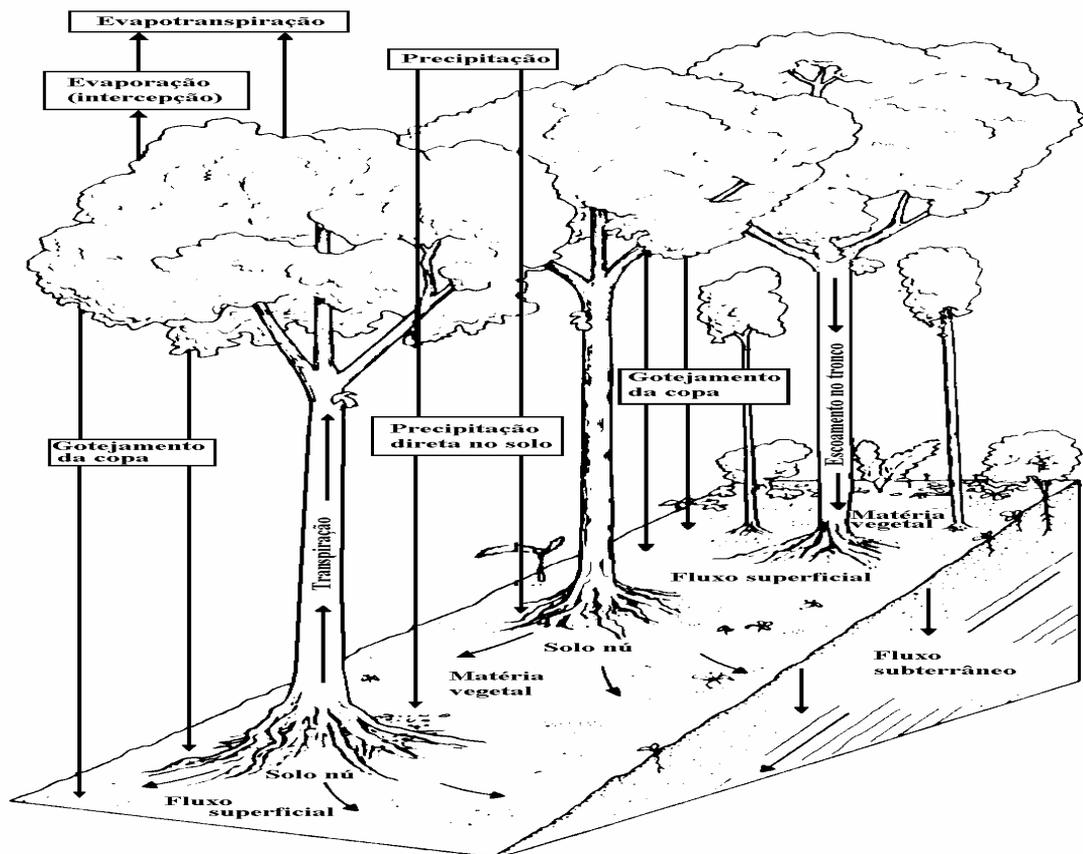


FIGURA 11 – Esquema dos componentes da precipitação, da interceptação e do escoamento. Fonte: (OLIVEIRA e TUCCI, 2003).

- **Precipitação Incidente (PI):** quantidade de precipitação acima das copas das árvores;
- **Precipitação Interna (PL):** precipitação que chega ao solo, diretamente pelas aberturas da copa ou pingando do dossel florestal;
- **Escoamento pelo Caule (EC):** água que, depois de interceptada pelo dossel florestal, atinge o solo escoando pelos caules/troncos;
- **Precipitação Efetiva (PE):** precipitação (água) que efetivamente chega ao solo: $PE = PL + EC$;
- **Perda por Interceptação (PP):** água interceptada aderida fortemente ou que evapora diretamente das copas, sem chegar ao solo. Não é medida diretamente, mas calculada por diferença entre componentes: $PP = PI - (PL + EC)$.

O processo de interceptação de chuvas, segundo Tucci (2000) e Castilho (2000) depende dos seguintes fatores:

- **características da precipitação** - intensidade da precipitação, volume precipitado e chuva antecedente;

- **condições climáticas**, em especial a intensidade do vento;
- **tipo e densidade da vegetação**.

Normalmente, os estudos sobre interceptação são trabalhosos e onerosos, exigindo a instalação de vários pluviômetros e/ou pluviógrafos para medição da precipitação interna e de coletores para mensurar o escoamento do caule (TUCCI, 2000; CASTILHO, 2000).

A quantificação da precipitação incidente é realizada através de equipamentos localizados em clareiras próximas às áreas de interesse, ou colocados imediatamente acima da cobertura vegetal, devendo apresentar suficiente precisão para evitar resultados falsos. A distribuição dos equipamentos depende da vegetação e do tipo de precipitação local e do grau de precisão desejado; os maiores problemas ocorrem em locais onde a vegetação tem altura considerável (TUCCI, 2000; CASTILHO, 2000).

Para medir a interceptação, segundo Lima (1998), é necessário quantificar vários componentes, que são explicitados da seguinte equação: $I = P - P_i - E_t$ onde:

- I** = perda por interceptação (mm)
- P** = precipitação incidente (mm)
- P_i** = precipitação interna (mm)
- E_t** = escoamento pelo tronco (mm).

Essa quantificação e os equipamentos utilizados na mensuração estão descritos a seguir:

- **Medição de P** – pluviômetros/pluviógrafos colocados numa clareira de abertura tal que se possa, a partir do pluviômetro, obter um visada de 45° em direção radial livre de copas, ou então colocados imediatamente acima da linha da copa;
- **Medição de P_i** – pluviômetros comuns (interceptômetros) ou calhas. A precipitação interna apresenta alta variabilidade, o que requer a utilização de vários interceptômetros, a fim de que se possa obter uma correta estimativa desta variação; os equipamentos devem ser distribuídos de modo a se obter uma boa representatividade espacial desta variável. Normalmente isso significa utilizar cerca de dez vezes mais equipamentos para a medição da precipitação que atravessa a vegetação do que para a precipitação total;

- **Medição de Et** - colocação de canaletas bem vedadas ao redor do tronco da árvore, de onde a água que escoar é coletada em um reservatório. Em florestas naturais com grande número de espécies e com grande número de árvores pequenas, a medição de Et é muito difícil, pois representa uma parcela pequena do total precipitado (de 1 a 15%), e em muitos casos está dentro da faixa de erros de amostragem das outras variáveis. Esta medição somente é viável para vegetação com tronco de magnitude razoável;
- **Perda por Interceptação:** diferença entre a precipitação incidente (P) e a precipitação efetiva ($PE = P_i + E_t$) 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 (TUCCI, 2000; CASTILHO, 2000; LIMA, 2004; TUCCI, 2005).

Para minimizar os problemas das medições, descreve Lima (2004) que em um experimento de interceptação foi colocada uma lona plástica sobre toda a superfície da área da parcela experimental, sendo a lona cuidadosamente colocada e vedada ao redor de todos os troncos. Coletando-se toda a água captada na lona plástica, capta-se, simultaneamente, o escoamento pelos troncos e a precipitação interna, medindo-se a precipitação efetiva que chega ao piso da floresta.

Os autores Lima e Leopoldo (1998) e Ferreira, Luizão e Dallarosa (2005), destacam a necessidade de ter-se vários coletores de precipitação interna para se conseguir resultados mais acurados, e de que os coletores devem ser deslocados de lugar, de forma casualizada, depois de determinado tempo, de modo a se tentar abranger a variabilidade encontrada no dossel florestal. Alertam que a inflexão de alguns ramos ou a presença de determinadas estruturas podem causar a estocagem excessiva de água em alguns coletores, que devem então ser mudados de local, para evitar distorções de medidas.

Silans, Marinho e Barbosa (2002) descrevem metodologia para medir a quantidade de chuva que atravessa a vegetação sem ser interceptada mais aquela que drena das folhas, pedúnculos e galhos, com a instalação, abaixo do dossel florestal, de uma calha com aproximadamente 10 cm de largura e três metros de comprimento. A calha apresenta uma ligeira inclinação para que a água captada seja conduzida ao coletor de um pluviógrafo digital. O volume recolhido pelo pluviógrafo, a cada 20 minutos, é convertido em altura precipitada em mm.

Almeida e Soares (2003), afirmam que sendo a interceptação calculada pela diferença entre a precipitação total e a água que chega ao piso florestal, torna-se

indispensável que a medição da precipitação que chega ao topo do dossel florestal – precipitação total – seja medida com precisão, sendo o melhor método para tal, aquele em que a precipitação real (total) venha a ser medida por pluviômetros/pluviógrafos colocados logo acima da cobertura vegetal, fixados em estrutura adequada para tal. Silans, Marinho e Barbosa (2002) descrevem que em seu experimento foi utilizado uma torre com 8 metros de altura, erguida no meio da vegetação, ultrapassando a linha das copas, para coletar a precipitação total através de pluviógrafo.

Entre as diversas metodologias, Berté *et al.* (2003), em trabalho realizado no litoral do estado do Paraná, utilizaram pluviômetro padrão em clareira próxima das parcelas amostrais para mensurar a precipitação total; a água que atravessou o dossel foi medida pelo uso de interceptômetros do tipo canaleta de PVC, mantidas por suportes a 1,0 metro de altura acima da superfície do piso florestal, sendo as canaletas ligadas a tambores de plásticos, para a estocagem da água no período entre as leituras/medições.

Descreve Mendes (2006), em trabalho realizado no município de Bom Jardim-RJ, que as mensurações da precipitação que atravessa a cobertura florestal foram realizadas a cada evento pluviométrico, calculados a partir de 12 pluviômetros, distribuídos aleatoriamente sob as copas das coberturas vegetais nas parcelas experimentais. Esses pluviômetros foram construídos a partir de garrafas PET de 2,0 litros, colocados em estacas de bambu a 1,5 m da superfície do terreno. Os valores da precipitação em cada parcela eram obtidos pela média simples dos 12 coletores, calculados em milímetros, e transformados em taxas em relação ao percentual de precipitação.

Já Thomaz (2005), descreve metodologia semelhante, onde trabalhando em capoeira de cerca de 8 anos de regeneração, utilizou 7 coletores, montados com garrafas plásticas, do tipo PET, de 2,0 litros, e na floresta secundária utilizou 5 coletores, sendo os mesmos distribuídos numa área de aproximadamente 100 m². A área de captação dos coletores apresentou média aproximada de 95 cm², dimensão próxima a do pluviômetro padrão utilizado em área sem cobertura vegetal para coletar a precipitação total. A altura dos coletores, em relação ao solo, variou entre 0,50 metros (capoeira) a 1,0 metro (capoeira e floresta secundária), estabelecidos em função da presença de vegetação herbácea, principalmente na capoeira. A precipitação fora da cobertura vegetal foi medida em dois pluviômetros, sendo um

confeccionado em garrafa PET, distante aproximadamente 80 metros da capoeira e 300 metros da área com floresta secundária e um pluviômetro padrão, distanciando aproximadamente 200 metros da floresta secundária e 500 metros da capoeira. A precipitação total era calculada pela média de chuva acumulada nos dois pluviômetros.

Outra metodologia é descrita por Scheer (2006), trabalhando com capoeira e floresta secundária no município de Guaraqueçaba-Pr; para tal foram confeccionados pluviômetros, cada constituído basicamente por um funil de polietileno, com diâmetro de 12,5 cm e área de coleta (boca) de 123 cm², conectado a um recipiente plástico de 5 litros. Em clareira próxima às unidades experimentais, foram instalados 6 pluviômetros para mensurar a precipitação total. Para amostrar a precipitação interna na capoeira, foram escolhidas cinco parcelas, e instalados 15 coletores, sendo três em cada uma das parcelas. Já para a floresta, foi estabelecida uma linha transversal de 15 coletores, com espaçamento de 3,0 metros entre cada um.

Rutter *et al.* (1971), desenvolveram um modelo de cálculo de interceptação com forte fundamentação física, que se baseia em dados horários, calculando a interceptação a partir dos incrementos da precipitação que efetivamente atinge o solo, da evaporação estimada em cada período e da capacidade de armazenamento efetiva das folhas, galhos e troncos. Esse modelo é considerado muito eficiente, mas exige, para a coleta de dados do modelo, instrumentação automatizada e registradores para se ter as relações tempos/precipitações internas e externas.

Relata Lima (2004), que a interceptação vem sendo estudada em diversos países. Nesses estudos verificou-se que uma plantação de coníferas (*Pinus canariensis*), de idade aproximada de 28 anos, apresentou perdas por interceptação que variaram de 17 a 28%. Em observações durante dois anos numa área florestada nos Estados Unidos, encontrou-se perdas por interceptação de 19% em pinheiros e 25% em florestas de espécie latifoliada. Estudando-se interceptação em uma plantação de *Pinus sylvestris*, de 19 anos de idade, foi encontrado valor de 32% de perdas. Em estudo com floresta natural de latifoliadas mistas, o valor da perda por interceptação encontrado foi de 12%. Diversos trabalhos mostram que coníferas interceptam mais do que latifoliadas, de modo geral, tendo sido também verificado que as perdas por interceptação tendem a aumentar com a idade do povoamento florestal.

Em pesquisas realizadas na região ocidental dos Andes venezuelanos, zona de ocorrência de “Bosque Pluvial Montano Bajo Tropical”, Valcarcel (1985) encontrou que, de uma precipitação anual de 1.576 mm, as perdas por interceptação atingiram 19%; o escoamento pelos troncos representou 0,7%; a precipitação interna representou 80%; o escoamento superficial alcançou 0,95%; 37% infiltraram e o restante ficou retido na vegetação rasteira e serapilheira.

Apresenta Shuttleworth (1993), que a interceptação em florestas apresenta variações na ordem de 10 a 30% da precipitação total, sendo tal fato decorrente da variação de intensidade e da duração da chuva. Destaca que em chuvas convectivas, características de florestas tropicais, com precipitações intensas e de curta duração, apresentam variações de 10 a 18% de interceptação sobre a precipitação total ocorrida. Já em eventos de menor intensidade e maior duração, associados a chuvas frontais, encontram-se variações de interceptação na ordem de 20 a 30% da precipitação total.

Trabalhando com plantação de seringueira, no interior de São Paulo, Mendes *et al.* (1992), obtiveram valores médios de interceptação pelo dossel florestal da ordem de 5% da precipitação total.

Trabalhando com *Pinus sylvestris*, em diferentes densidades de copa, Lorens e Gallart (2000) encontraram que a interceptação devido às copas variou de 1,2 a 2,7 mm.

Em estudo próprios, Lima (2004) concluiu que a interceptação média para o eucalipto, aos 6 anos de idade, foi de 12,2%; para pinheiros com a mesma idade, a interceptação média foi de 6,6%.

Em outros trabalhos, em florestas no interior de São Paulo, Lima (1998) constatou que cerca de 95% da precipitação interna pode ser explicada pela precipitação total. Constatou ainda que valores de precipitações inferiores a cerca de 1,4 mm são totalmente interceptados pela cobertura vegetal e devolvidos à atmosfera por evaporação, o que é relativamente próximo ao obtido em outros experimentos realizados no mesmo local. Destaca o autor, que em experimentos realizados no Chile com *Pinus*, estimou-se uma capacidade de retenção da copa de 2,1 mm. Verificou-se, ainda, que apenas eventos de chuvas com valores médios superiores a 4,2 mm permitiram os registros do escoamento pelo tronco para as condições do seu experimento.

Comparando os resultados encontrados nos experimentos de São Paulo com outros estudos, Lima (1998) destaca que resultados diferentes têm sido encontrados. Segundo o autor, essas diferenças demonstram a influência particular de cada ecossistema, onde o tipo de vegetação, características climatológicas locais e, principalmente, a intensidade e intervalo entre precipitações, além do grau de umidade da cobertura vegetal, condicionam diretamente a partição da precipitação. Destaca o autor que as repartições das precipitações como um todo, em uma cobertura florestal, não podem ser consideradas como mantendo uma proporção constante da precipitação do local durante todo o ano.

Isso é comprovado em trabalhos realizados em Floresta Atlântica, no município de Cunha, estado de São Paulo, por Arcova, Cicco e Rocha (2003). Os autores encontraram que no período chuvoso, a precipitação que chegou ao piso florestal equivaleu a 85% da precipitação total incidente na área. Já no período pouco chuvoso, em média 72% da precipitação penetrou no dossel. Em uma das medições, somente 53,7% das chuvas transpassaram a cobertura das copas. Destacam os autores que a água chegou ao piso florestal, majoritariamente, pela precipitação interna, sendo que o escoamento pelos troncos não ultrapassou 0,3% da precipitação total. Os percentuais de interceptação foram elevados na estação pouco úmida, com valor médio estimado em 26% da precipitação no aberto. Na estação das chuvas os percentuais foram reduzidos, sendo a média de 16%.

No mesmo trabalho foi constatado que em termos da precipitação anual, a contribuição do fluxo de água escoado pelo tronco das árvores para a precipitação efetiva – aquela que chega ao piso florestal – foi de apenas 4,8 mm (0,27% da precipitação interna), valor este pouco significativo e até mesmo desprezível quando comparada com a participação dessa precipitação interna, que alcançou 1.802,9 mm. Já a interceptação, que atingiu 412 mm, apresenta um valor significativo, uma vez que a evapotranspiração, calculada pelo método do balanço hídrico, foi da ordem de 539 ± 100 mm, o que indica que a interceptação tem grande importância no total das perdas evaporativas da microbacia (ARCOVA, CICCO e ROCHA, 2003).

Nos estudos realizados por Thomaz (2005), trabalhando com capoeira em regeneração, tendendo a floresta secundária, e também em floresta secundária com predomínio de *Araucaria angustifolia*, no município de Guarapuava, Região Centro-Sul do Paraná, foram encontrados resultados médios de precipitação interna

equivalente a 77% da precipitação total e perdas por interceptação da ordem de 23% dessa precipitação.

Destaca o autor que nesses estudos obteve-se que a resposta hidrológica foi positiva, isto é, houve aumento da precipitação interna à medida do aumento da precipitação total. A maior interceptação alcançada foi de 50%, que ocorreu na menor classe de chuva (<2,5 mm); a menor interceptação foi de 13,8%, tendo ocorrido na maior classe de chuva (THOMAZ, 2005).

Trabalhando com vegetação de capoeira e de floresta secundária, Scheer (2006) relata que para a capoeira registrou-se maior interceptação da precipitação pluviométrica em comparação com a floresta secundária, atingindo em média 15% para a capoeira e 12,4% para a floresta secundária, embora as diferenças não tenham sido estatisticamente significativas. Concluiu o autor que os valores de interceptação encontrado em seus estudos estão um pouco abaixo dos descritos na literatura, geralmente apresentados entre 18 e 35,6%.

Trabalhando em áreas de regeneração natural de floresta atlântica, Miranda (1992) encontrou valores totais dos fluxos de escoamento pelos troncos na ordem de 1,8 % da precipitação total.

Oliveira Júnior e Dias (2005), em trabalho realizado em floresta de regeneração natural recente, em Mata do Paraíso, município de Viçosa-MG, obtiveram que de uma precipitação total de 1.039,5 mm, em média 80% se transformou em precipitação interna, 1,7% escoou pelos troncos e 18,3% foi retido como interceptação.

Trabalhando na floresta Amazônica, Ubarana (1993) relata que em estudo realizado em Ji-Paraná/RO, obteve uma perda por interceptação de 12,5% da precipitação total, com uma precipitação interna de 1257,82 mm, o que equivale à 85,26% da precipitação total e que o escoamento pelos troncos contribuiu com 2,12% desse total; em estudo realizado em Marabá/PA, ocorreram 13% de perdas por interceptação e o escoamento pelo tronco representou apenas 0,8% da precipitação interna, que atingiu 86,2% da precipitação total de 879,18 mm. As aberturas (céu aberto) no dossel foram de 8% no primeiro estudo e de 4% no segundo.

Encontra-se em ARACRUZ (1996), que em estudos próprios realizados no Espírito Santo, com plantio homogêneo de eucalipto, com 8 anos de idade, o escoamento pelos troncos medido foi da ordem de 1% de uma precipitação anual

total de 1.285 mm. A interceptação total medida foi de 8% da mesma precipitação total.

Em experimento realizado em uma área de floresta ciliar, com vegetação característica do tipo “cerradão”, em Botucatu-SP, Lima e Leopoldo (1998) concluíram que, em média, de uma precipitação total de 1.899 mm, as parcelas de água de chuva que foram perdidas por interceptação corresponderam a 37,6%; a escoada pelo tronco correspondeu a 0,9%; a precipitação interna correspondeu a 61,5% e precipitação efetiva correspondeu 62,4%, todas as parcelas referenciadas à precipitação total.

Apresenta Tonello *et al.* (2004) que em florestas plantadas com *Pinus* encontra-se variações de interceptação acentuadas, mas que de forma geral, a precipitação interna (efetiva, aquela que atinge o piso florestal) varia de 69,3 a 93,4 % da precipitação total. Já em plantações de *Eucalyptus*, a precipitação efetiva (interna), varia de 85,7 até 89,2 %. Uma tendência observada é a diminuição da precipitação efetiva de chuvas com o aumento da idade, em princípio explicado pelo aumento da cobertura pelo dossel.

Segundo Thomas (2005), verifica-se na literatura a diversidade de ecossistemas e a significativa variabilidade nos valores de interceptação alcançada em cada tipo de cobertura vegetal. Destaca o autor, que embora no Brasil exista grande diversidade de ecossistemas, em muitos deles existem poucos ou nenhum estudo em relação à capacidade de interceptação da chuva. Esta escassez de pesquisa pode ser estendida ao ecossistema de Floresta com Araucária na Região Centro-Sul do Estado do Paraná.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DOS EXPERIMENTOS

Os experimentos foram conduzidos no município de Tijucas do Sul, situado no Sul do Estado do Paraná, distante cerca de 68 Km de Curitiba pela BR-116, sentido sul, quase na divisa com o Estado de Santa Catarina (Figura 12); está localizado no primeiro planalto paranaense, com geologia predominante de rochas ígneas intrusivas, em especial granitos, intercalados com áreas pequenas oriundas de rochas sedimentares, em especial arenitos, argilitos e siltitos e poucas rochas metamórficas, oriundas de metamorfismo de contato com batólitos e diques de adiabásio.



FIGURA 12 – Mapa de localização do local do Experimento (seta)

A área experimental está localizada no Sistema Ecológico VIVAT Floresta, situada entre as Coordenadas Geográficas de latitudes 25°45' - 26°00' S e longitudes 49°20' - 49°05' W, com altitudes variando entre 800 m e 1.350 m acima do nível do mar. A área originalmente pertencia a Empresa Panagro Empreendimentos Florestais Ltda, tendo sido cedida em comodato à Pontifícia Universidade Católica do Paraná para implantação conjunta do VIVAT Floresta (LIEBSCH e ACRA, 2004; GANHO e MARINONI, 2006).

A topografia é bastante variável, com ocorrência de áreas suavemente onduladas até áreas montanhosas, fortemente onduladas, com colinas amplas e de topos arredondados. O clima local, segundo a classificação de Köppen é designado como **Cfb**, definido como subtropical úmido mesotérmico, com verão fresco. O mês mais frio apresenta temperatura média inferior a 18°C e o mais quente, temperatura média inferior a 22°C. A área experimental apresenta precipitações regulares todos os meses do ano, com precipitação média anual de 1.400 mm; está sujeito a geadas severas e não apresenta, em anos normais, estação seca, (LIEBSCH e ACRA, 2004; GANHO e MARINONI, 2006).

Em função da topografia variável e da alternância de rochas, existe uma forte variabilidade de solos. No levantamento de solos realizado na área experimental, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006), constatou-se nas regiões de topografia mais plana (plano a suave ondulado) que predominam Argissolos Vermelho-Amarelo Distrófico Típico, textura franco-argilosa, com profundidade média e taxas de infiltração média (5 a 10 mm.h⁻¹). Nas áreas de meia encosta, com declividades entre 15 e 25%, predomina a Associação de Cambissolo Háptico Distrófico Típico com Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico Câmbico, textura franco-argilosa, também com profundidade média e taxas de infiltração média (5 a 10 mm.h⁻¹). Nas áreas mais próximas aos topos das colinas, com declividades superiores a 25%, predomina a Associação Cambissolo Háptico Distrófico Típico com Neossolo Litólico Distrófico Típico, com eventuais afloramentos de rochas, normalmente solos muito rasos e taxas de infiltração média, mas com rápida saturação do perfil. A topossequência da área é mostrada na Figura 13.

A vegetação natural da área é da formação Floresta Ombrófila Mista. Na área experimental existem fragmentos com vegetação primária (floresta nativa), fragmentos naturais em estágio avançado de regeneração e também reflorestamento com *Pinus taeda*.

Dentro dessa área, também está localizado um dos sítios de pesquisa do PELD – Pesquisas Ecológicas de Longa Duração (PELD – Site 9 – CNPQ), com previsão de estudos até 2009, sendo que o presente trabalho também faz parte do projeto maior do PELD, denominado “Conservação e Manejo Sustentável de Ecossistemas Florestais”.

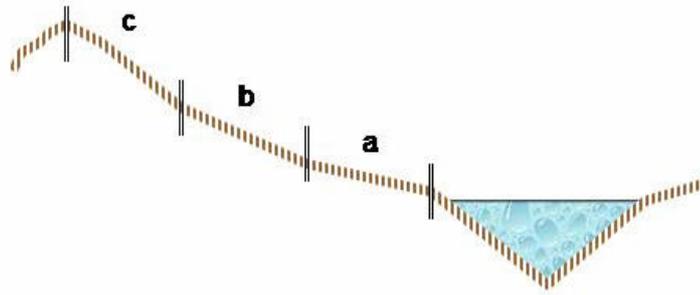


FIGURA 13 – Topossequência da área do experimento: **a)** Argissolos Vermelho-Amarelo Distrófico Típico; **b)** Associação de Cambissolo Háplico Distrófico Típico com Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico Câmbico; **c)** Associação Cambissolo Háplico Distrófico Típico com Neossolo Litólico Distrófico Típico, com eventuais afloramentos de rochas

Dois dos tratamentos deste estudo foram instalados em um fragmento florestal nativo, remanescente da Floresta Ombrófila Mista, que embora tenha sofrido corte seletivo de árvores no passado, encontra-se em fase bastante avançada de sucessão natural, tendendo ao equilíbrio dinâmico, apresentando altura de copa dominante superior a 15 metros de altura e tendo como espécie mais abundante no sistema o pinheiro-bravo, seguido da guaçatunga e da imbuia. Em termos de percentagem de cobertura de copa (56%), predominam a imbuia, o pinheiro bravo, a araucária, a capororoca e a guaçatunga. A redução da incidência de luz solar direta propiciada por esse dossel florestal, em dia sem nuvens, medida por luxímetro padrão às 11 horas e 30 minutos (média de 20 determinações), é da ordem de 95%. No anexo 1.4, apresenta-se as Figuras de nº 84 a 86, com detalhes fotográficos da floresta descrita acima.

O tratamento de aferição foi instalado em uma área sem cobertura de mata, apenas com vegetação rasteira, a qual foi removida para a instalação das repetições.

Os outros dois tratamentos foram instalados num reflorestamento com *Pinus taeda*, com 25 anos de idade, que já sofreu três desbastes, apresentando uma densidade média de 450 árvores por hectare. A redução da incidência de luz solar direta propiciada por esse dossel florestal, em dia de céu sem nuvens, medida por luxímetro padrão, às 11 horas e 30 minutos (média de 20 determinações), é da ordem de 92%. No anexo 1.4, apresenta-se as Figuras de nº 87 a 89, com detalhes fotográficos do reflorestamento descrito.

3.2 Experimento 01 – Infiltração e escoamento superficial

Este experimento destinado a atender ao objetivo “a” deste estudo (ver item Objetivos Específicos), visou o desenvolvimento da metodologia para determinação da infiltração e escoamento superficial, através de mesas ou calhas coletoras, de pequeno porte, apropriadas ao uso em ambientes florestais, sob condições de chuva natural.

Essas calhas ou mesas coletoras e seus periféricos foram projetadas para servir em condições de difícil instalação de outros equipamentos, com praticidade, facilidade de transporte, baixo consumo de água, pequena aplicação de mão-de-obra e baixo custo. A metodologia foi testada até obter-se um procedimento prático, eficiente e eficaz de instalação e operação.

Os recursos financeiros para aquisição das mesas coletoras, das mangueiras, dos pluviômetros e das provetas foram oriundos do apoio do Projeto PELD (PELD-Site9-CNPQ). As estacas e elementos de fixação dos pluviômetros foram custeadas pela PANAGRO Ltda e a mão-de-obra para instalação das unidades e das leituras e medições nas unidades experimentais foram oriundas da Pontifícia Universidade Católica do Paraná – PUC/PR e da PANAGRO Ltda. Todos os demais custos foram absorvidos pelo pesquisador.

3.2.1 Equipamentos

a) Mesa ou calha coletora

Para atingir as finalidades e objetivos deste experimento, foi projetada uma mesa ou calha coletora de escoamento superficial, que é a parcela não infiltrada no solo ou retida pela serapilheira. Basicamente essa mesa coletora é constituída de uma estrutura retangular confeccionada em chapa metálica galvanizada (lata) de 1,1 mm de espessura, retângulo esse com as dimensões internas de 0,98 m de comprimento, 0,27 m de largura e 0,11 m de altura, acoplado, de forma comunicante, a uma estrutura triangular fechada em cima, em baixo e no vértice (Figura 14).

Esta estrutura triangular recebe e concentra a água captada na área delimitada pelo retângulo coletor e a dirige para dois canos metálicos, com diâmetro

externo de 12,7 mm (antiga medida de $\frac{1}{2}$ polegada), localizados junto à base do vértice dessa estrutura. A estrutura triangular é fechada para não captar diretamente a água de precipitação. As Figuras nº 15 e 16 mostram a estrutura descrita.

Para dar suficiente rigidez a estrutura retangular, em toda a borda superior e inferior foi dobrada com 1 cm de largura, em forma de L na base e em forma de C (c retangular) no topo. Isso aumentou as dimensões totais da estrutura em dois centímetros no comprimento e na largura. Nos anexos, são apresentadas também as Figuras 80 a 83, com detalhamento da borda inferior (base), que contém uma lâmina de 0,02 m, que penetra o solo e evita que a água escoe por baixo da mesa coletora.



FIGURA 14 – Foto da estrutura retangular acoplada a estrutura triangular



FIGURA 15 – Foto do acoplamento da estrutura triangular fechada com a estrutura retangular

Com a técnica construtiva adotada, a estrutura como um todo ficou bem rígida e resistente, sem apresentar deformações no transporte e na instalação, e com peso pequeno – 9,3 Kg –, o que facilita o transporte em condições de floresta e trilhas no interior dela.

As emendas foram realizadas por dobradura (sobreposição) com encaixe sob pressão, com preenchimento prévio em massa plástica e rebites de pressão de tamanho pequeno.



FIGURA 16 – Foto da estrutura triangular fechada com canos de saída de água

Na colocação dos dois canos metálicos de condução de água, foram utilizados anéis metálicos externos, pressionando massa plástica vedante e soldados para garantir a rigidez e manter-se à prova de vazamento.

Todas as emendas foram esmerilhadas e, quando necessário, preenchidas com massa plástica, eliminando-se qualquer rebarba ou pontas que pudessem machucar os operadores durante o transporte ou instalação

Na ponta da estrutura triangular, na sua parte inferior, onde a água captada é concentrada, foram colocados dois canos metálicos, um de cada lado do triângulo, (ver Figura 17), onde eram encaixadas duas mangueiras plásticas de polietileno (PVC flexível) e que conduziam a água captada até o ponto de coleta ou de medição, no caso deste experimento, um tambor de plástico semi-rígido de 50 litros.

Com o diâmetro externo dos tubos metálicos das mesas coletoras de 12,7 mm e comprimento de 60 mm, tornou-se muito prático acoplar as mangueiras de

polietileno flexível (tubo preto), sem necessidade de fixar braçadeiras, bastando encaixar, sob pressão, os tubos flexíveis diretamente nos canos metálicos, sendo que estes ficaram firmemente fixados, mesmo sob forte calor.



FIGURA 17 – Foto do encaixe dos tubos metálicos com as mangueiras flexíveis

Para efetuar a filtragem da água, evitando que folhas ou materiais grosseiros fossem transportados para dentro dos tubos, causando obstruções ao fluxo de água, na ponta da estrutura triangular, foram colocadas duas esponjas de palha de aço, abertas e desfiadas para aumentar o seu volume. Isso evitava também a entrada de insetos, répteis e anfíbios, pois o ambiente escuro e protegido da estrutura triangular constitui-se em ambiente de abrigo para tais tipos de animais (Figura 18).

Cada mesa recebeu um número de identificação, pintado em tinta esmalte branca, na superfície superior da estrutura triangular de captação de água.

b) Tubos condutores de água – mangueiras flexíveis

Para cada mesa coletora utilizou-se dois tubos flexíveis (mangueiras), que conduziam a água coletada até os tambores de armazenamento.

Embora aumentasse o custo, a utilização de duas saídas de água era mais indicada, pois, principalmente em ambientes naturais, no interior de florestas ou

reflorestamento, onde nem sempre é possível obter-se um perfeito nivelamento longitudinal, tinha-se assim mesmo garantido o perfeito escoamento de água; também se garantia a possibilidade de correta captação de água no caso de entupimento de um dos tubos.



FIGURA 18 – Foto do elemento filtrante de palha de aço desfiada

O tubo flexível utilizado foi o tubo preto de polietileno, para céu aberto (a prova de radiação solar), com diâmetro interno de 12,7 mm (antiga bitola de ½ polegada), por ser de baixo custo e resistir bem em ambientes abertos.

O comprimento dos tubos flexíveis (mangueira) era estabelecido em função da declividade do terreno, pois os tambores plásticos foram colocados na superfície do terreno (não enterrados), o que exigia uma distância tal que o topo do tambor de armazenamento de água ficasse abaixo do nível da saída de água da mesa coletora. Neste experimento, a distância média foi de 12 metros, o que exigiu, em média, 25 metros de mangueira por mesa coletora.

Os tubos flexíveis foram comprados em rolos de 100 metros, que possuem tamanho e peso compatíveis para que uma pessoa possa transportá-los em trilhas e ambientes florestais.

c) Tambores de armazenamento de água

Cada mesa coletora estocava a água escoada em um tambor. Foram utilizados tambores plásticos, tipo “bombonas”, com capacidade de 50 litros, tendo sido comprados tambores usados, anteriormente utilizados com produtos de limpeza e perfumaria e que foram limpos com jatos de água pressurizada, em diversas lavagens.

O volume de 50 litros foi determinado em função do potencial de captação de água da mesa coletora, pois se toda a água de uma precipitação de 100 mm fosse captada, mesmo assim só se atingiria (potencialmente) 26,5 litros de água armazenada.

Os tambores utilizados eram fechados, com duas tampas plásticas rosqueáveis, estrutura rígida e duas alças para transporte (Figura 19).



FIGURA 19 – Foto do Tambor de 50 litros utilizado para armazenamento da água de escoamento

Os tambores foram colocados deitados, sobre uma das laterais mais largas, e uma das tampas rosqueáveis foi retirada, para a introdução das duas mangueiras de condução da água (Figura 20), sendo que estas foram introduzidas até alcançarem o

fundo do tambor, prevenindo que pudessem escapar de dentro dele, em caso de alguma movimentação eventual do tambor ou das mangueiras, causada pelo trânsito de pessoas ou animais.



FIGURA 20 – Foto das mangueiras colocadas no tambor e travamento do tambor no terreno

Das duas tampas rosqueáveis, selecionava-se, para receber as mangueiras, aquela que permitisse a passagem simultânea das duas mangueiras plásticas, sem “estrangulá-las”, cuidando-se para que elas ficassem ligeiramente pressionadas, dificultando que escapassem do interior do tambor.

d) Pluviômetro e estaca fixadora

Em cada unidade (mesa coletora), foi colocado um pluviômetro do seu lado, fixado em uma estaca de madeira.

Foram utilizados pluviômetros plásticos de leitura direta, da marca J.Prolab, fabricados em São José dos Pinhais-Pr, com capacidade de registro de precipitações de até 130 mm (Figura 21).

Cada pluviômetro foi colocado imediatamente ao lado da mesa coletora, fixado em uma estaca de madeira de pinus, de dimensões de 1,80 m de altura, 0,11 m de largura e 0,025 m de espessura.



FIGURA 21 – Foto do pluviômetro com sua estaca fixadora

Como o pluviômetro era de fixação por encaixe, foram colocados, para tal, dois parafusos de cabeça redonda, separados horizontalmente entre si por 0,07 m, e colocados a 0,08 m do topo da estaca, de modo a garantir que a superfície coletora de água do pluviômetro ficasse ligeiramente acima do topo da estaca quando fixado. Para garantir o correto espaçamento entre parafusos, na prática utilizou-se um dos pluviômetros como “molde”, e marcado na estaca a posição central de cada parafuso fixador do pluviômetro.

Todas as estacas, já com os parafusos, foram pintadas com tinta a óleo de cor amarela, para se destacar, facilitando a localização de cada unidade no meio da floresta, bem como para aumentar a durabilidade no ambiente úmido das florestas e reflorestamentos.

e) Proveta de aferição de volume captado de água

Para medir o volume de água captada e armazenada nos tambores, foi utilizada proveta de laboratório, com volume de 2.000 ml e marcação de 10 em 10 ml, da marca VIDROLABOR.

Essa proveta (de vidro) possui uma base plástica bastante grande (Figura 22), o que facilita sua colocação sobre o solo e o aprisionamento com os pés, o que é

muito importante para permitir se despejar a água do tambor dentro da proveta sem que esta venha a tombar.



FIGURA 22 – Foto da Proveta de 2000 ml, base plástica e tubo de transporte

Da mesma forma, o tamanho da “boca” dessa proveta é bastante adequado para receber a água de uma das aberturas dos tambores plásticos. Isso permitia, de maneira muito prática e eficiente, que uma única pessoa pudesse fazer as leituras (medições) do experimento.

Para permitir o transporte da proveta nas trilhas, no meio do mato, sem risco de acidentes com ela, e mantendo as mãos livres, foi confeccionado um estojo protetor, montado com cano de PVC rígido para água, soldável, de diâmetro interno de 100 mm, com uma das pontas fechadas com tampão soldável de PVC, tendo sido feito dois furos no tubo, para fixação de uma alça, feita de corda de nylon, o que permitia se carregar o estojo nas costas, como se fosse uma mochila ou pendurado no ombro.

Para evitar que a proveta pudesse cair do estojo, se esse fosse virado de “cabeça para baixo”, foi feito um pequeno furo na base plástica da proveta e fixado

uma fina corda de nylon, que depois de colocado a proveta no estojo, era amarrada a alça de transporte.

f) Proveta de aferição dos pluviômetros

Para garantir melhor precisão da medição da precipitação captada pelos pluviômetros, o volume de água foi medido também por proveta de precisão, com capacidade de 10 ml e graduação de 0,5 ml.

Pelo pequeno tamanho dessa proveta, ela era transportada no bolso de camisa ou colete de serviço.

g) Ferramentas e materiais para instalação das mesas coletoras

Para permitir a correta instalação das mesas coletoras, cinco equipamentos são fundamentais: uma enxada de lâmina pequena; uma cortadeira simples, com lâmina reta de 0,10 a 0,15 m de largura (utilizadas em colocação de mourões); um ancinho de mão, utilizado em jardinagem, com três ou quatro dentes rígidos; um martelo pesado ou marreta pequena (máximo 2 Kg); um alicate com cortador de arame grosso.

Para facilitar o transporte no ambiente de trilhas e árvores, as ferramentas (enxada e cortadeira) utilizadas tinham cabo curto.

Para a instalação das unidades, levava-se também um rolo de fitilho plástico para embalagens ou do tipo utilizado em enxertia ou amarrio de mudas, destinados a imobilização dos tubos plásticos, bem como um rolo de arame grosso (diâmetro de 1,5 mm) para se fazer os ganchos de fixação dos tubos plásticos.

Para cortar as mangueiras e fitilhos, utilizava-se uma faca, de porte grande (faca grande, do tipo usado para carne ou churrasco) e um canivete, bem afiados.

Foram necessárias três pequenas estacas de madeira (0,20 m de comprimento) para cada mesa coletora, sendo que estas estacas eram cortadas no próprio mato, de galhos caídos, com o auxílio de um facão.

3.2.2 Procedimentos de Instalação

a) Instalação das mesas coletoras

Em se chegando a área escolhida (escolhida conforme descrito no item 3.2.4) para instalação das mesas coletoras e sua distribuição no terreno, o primeiro passo consistia em escolher os locais de assentamento das mesas coletoras.

Observava-se a não existência de raízes superficiais de árvores e buscava-se o solo mais regular possível em termo de nivelamento transversal e horizontal (desconsiderada a declividade), pois a mesa exige um contato uniforme com o solo em todo o seu perímetro.

Escolhido o local, colocava-se a mesa coletora sobre o solo, com o vértice apontando para o sentido da declividade dominante, verificando-se seu contato inicial com o solo.

Quando a camada de serapilheira era muito espessa, como no caso do reflorestamento com pinus, era necessário removê-la e, neste caso, esta era cuidadosamente reservada ao lado, no mesmo alinhamento (sentido) em que se encontrava, para reposição após a fixação da mesa.

Quando a mesa estava em contato com o solo, era observado se toda a borda inferior, em todo o perímetro, estava em contato com o solo, se não existiam torrões ou pequenas elevações que impediam o correto nivelamento das bordas. Se existiam, eram removidas, com o auxílio de uma faca ou mesmo da enxada, cuidadosamente manejada para evitar revolvimento do solo.

Obtido o nivelamento desejado, pressionava-se a mesa coletora, com as mãos, utilizando-se o peso do corpo, até que a borda inferior, na parte dobrada em “L” ficasse perfeitamente nivelada com a superfície do solo e que a lâmina da base (ver nos anexos as Figuras 80 a 83) ficasse completamente cravada no solo.

Se alguma raiz impedia o nivelamento da mesa, ela era cortada, passando-se a cortadeira reta rente a parede externa da mesa coletora, num movimento de cima para baixo.

Utilizava-se, então, as três pequenas estacas de madeira (0,20 m de comprimento), cortadas no próprio mato. Primeiramente duas estacas eram fixadas no solo, junto ao vértice da mesa, encaixando-as no encontro dos tubos metálicos com as chapas metálicas da estrutura triangular para pressioná-la.

Essas estacas objetivavam impedir que a mesa viesse a se deslocar para frente ou lados. Depois se fixava outra estaca no centro da traseira da estrutura retangular, na parte externa da borda traseira, pressionando fortemente a estrutura metálica. Isso garantia que a mesa coletora não sofresse deslocamento em qualquer sentido.

Utilizava-se então o ancinho de jardinagem para riscar (escarificar) toda a área de solo interna a mesa, apenas na sua camada superficial, de modo a remover qualquer selamento de solo que pudesse ter existido quando da manipulação da mesa, da faca ou da enxada.

Nos casos em que a serapilheira era removida, recolocava-se a mesma, cuidando-se para que as bordas inferiores da mesa ficassem perfeitamente recobertas.

Cuidava-se, de forma especial, para que não fosse pisado no solo na área interna da mesa coletora, causando deformações não naturais no solo e alterando a taxa de infiltração.

b) Colocação das mangueiras

Estando a mesa coletora fixada, media-se a distância do vértice da mesa até o local onde eram fixados os tambores plásticos e cortava-se dois pedaços de mangueira, com cerca de 10% a mais do que a medida aferida, pois a mangueira apresentava curvas, acompanhando o terreno e desviando-se da vegetação e ainda necessitava adentrar até o fundo de cada tambor.

Passava-se então sabão em barra nos tubos metálicos, e encaixava-se, sob pressão, as extremidades das duas mangueiras nos respectivos tubos metálicos. É interessante observar que se as medidas dos tubos metálicos estiverem corretas, não será necessário utilizar-se braçadeira ou outro elemento de fixação. Se for necessário fixar, um meio eficiente, barato e rápido é o de utilizar arame recozido, de construção civil, que será cortado e fixado ao redor do tubo, por torção das extremidades, com o uso de um alicate.

Logo após a saída das mangueiras dos tubos, elas eram fixadas ao solo, com o auxílio de dois ganchos, feitos com o arame grosso. Para acelerar o processo, esses ganchos eram preparados previamente e levados prontos, mas também

podiam ser facilmente feitos no próprio local, sendo essa providência necessária algumas vezes (Figura 23).



FIGURA 23 – Foto do gancho de arame grosso para fixação das mangueiras

Esticava-se então as mangueiras, até o local dos tambores de armazenamento de água. Era necessário manter a mangueira rente ao solo, e para tal, utilizavam-se os fitilhos para amarrar na vegetação e/ou os ganchos feitos de arame (Figuras 24 e 25).



FIGURA 24 – Foto das mangueiras fixadas no solo pelos ganchos



FIGURA 25 – Foto da fixação das mangueiras na vegetação, utilizado fitilhos

Deve ser lembrado que, como essas mangueiras não trabalham em secção plena (afogado ou secção molhada total), era necessário que ao longo do comprimento, cada ponto mais distante da mesa coletora estivesse em cota inferior a todos os pontos anteriores, de modo a garantir o escoamento total de toda a água captada, sem que as mangueiras “estocassem” água.

Esticadas as mangueiras até ao local do tambor de armazenamento e estando este em sua posição definitiva, fazia-se o corte das sobras de mangueira, na medida certa para que chegassem ao fundo do tambor.

c) Instalação dos tambores

A escolha do local de colocação do tambor de armazenamento da água coletada era função da declividade do terreno, pois como ficava sobre a superfície do solo, era necessário garantir que a entrada de água no tambor estivesse efetivamente abaixo do nível da saída de água da mesa coletora, e isso era garantido, em cada declividade, pelo distanciamento da mesa coletora.

Uma vez determinado o local de colocação do tambor, eram fixadas ao solo, na parte traseira de cada tambor (no sentido do declive), pequenas estacas de madeira, ou utilizado outro anteparo natural encontrado no terreno, tais como pedaços de madeira travados na vegetação, pedras, e mesmo apoiando em árvores existentes, de modo a evitar eventual escorregamento do tambor pela superfície do terreno (Figura 26).



FIGURA 26 – Foto do travamento do tambor no terreno

É importante que se preste atenção nesse detalhe, pois como os tambores estão na superfície e a serapilheira molhada é escorregadia, durante as chuvas, a probabilidade de movimentação deles é bastante grande, especialmente quando volumes de água maiores são captados, aumentando o peso e, conseqüentemente a energia potencial do sistema pode superar, em intensidade, a força de atrito do tambor sobre o solo ou serapilheira, provocando o escorregamento.

Na superfície virada para cima de cada tambor, pintava-se, com tinta esmalte branca, o número de identificação correspondente a mesa coletora (Figuras 26 e 27).

c) Instalação dos pluviômetros

Imediatamente ao lado de cada mesa coletora, era instalada a estaca fixadora e o pluviômetro.

Cada estaca era cravada no solo, até ficar com altura livre de 1,5 m acima do solo. Para tal utilizava-se uma pequena prancha de madeira, com 0,02 m de espessura, colocada sobre topo da estaca e martelava-se a prancha com uma marreta de ferro de 2 Kg, de cabo curto (marreta de pedreiro). A função dessa prancha era de impedir que se martelasse diretamente sobre o topo da estaca, pois isso causaria a deformação do topo dela, o que dificultaria a correta fixação do pluviômetro.



FIGURA 27 – Foto do conjunto de tambores identificados

Depois de fixada a estaca, a mesma recebia um número pintado com tinta esmalte branca, correspondendo ao mesmo número da mesa coletora e do respectivo tambor. O pluviômetro era então encaixado nos parafusos fixadores da estaca.

O conjunto das repetições de um dos tratamentos é apresentado na Figura 28.



FIGURA 28 – Foto do conjunto das mesas com 4 repetições

3.2.3 Procedimentos de coleta de dados

a) Precipitação interna da floresta, do reflorestamento e pluviometria da área aberta

As leituras da pluviometria eram feitas, sempre que possível, após os eventos de chuva, mas nem sempre isso era viável, em especial nos finais de semana (por não ter quem fizesse a leitura) ou quando chovia no final da tarde e/ou na noite de um dia e tornava a chover no dia seguinte logo pela manhã. Assim sendo, as leituras podem representar um ou mais eventos sucessivos de chuva.

A precipitação era medida de forma direta, pela leitura na escala impressa no pluviômetro (em mm) e de forma indireta pela medição de volume precipitado através de proveta graduada (em ml).

Para efetuar a leitura, retirava-se o pluviômetro de seus encaixes e expunha-se a face com a escala impressa à luz, com o cuidado de manter o nivelamento horizontal, e lia-se diretamente a lâmina captada.

Vertia-se então o conteúdo de água na proveta graduada e fazia-se a leitura do volume armazenado, dado que era, posteriormente, utilizado para ser transformado em lâmina, através de cálculos simples, realizado em planilha eletrônica, com a precipitação sendo calculada em função da área de captação do pluviômetro e do volume captado, resultando a altura média real da lâmina de água captada, em mm.

Em existindo divergência de mensuração entre a leitura direta no pluviômetro e a obtida por cálculos, prevalecia a calculada a partir da aferição com a proveta graduada.

Como os pluviômetros estavam instalados sob copas de árvores, o que ocasionava a queda de materiais diversos sobre eles, utilizava-se a água remanescente da proveta para lavá-los, se eliminado resíduos por acaso encontrados.

É importante observar, em experimentos deste tipo, se algum dos pluviômetros está apresentando medições muito superiores aos demais. Isso normalmente indica que há um “gotejador” no dossel imediatamente acima do pluviômetro, que pode ser um galho projetado para baixo, uma bromélia ou outro ponto concentrador de água. Quando isso ocorrer, é necessário trocar a estaca e o pluviômetro de local, pois em caso contrário os dados ficarão incoerentes e inexatos.

Neste experimento, isto pode ser observado em dois dos coletores, durante o período de ajustes, quando ainda não se havia iniciado a coleta de dados.

b) Água de escoamento superficial

A medição da água captada era realizada sempre que se fazia a leitura da pluviometria, sendo sua execução bastante simples. Para maior agilidade era realizada por duas pessoas, mas em algumas vezes, era realizada por apenas uma pessoa.

Para tal, retiravam-se as duas mangueiras de dentro do bocal de abertura, cuidando-se que toda água escoasse da mangueira para dentro do tambor.

Com uma pessoa segurando a proveta ou com a mesma presa pelos pés, despejava-se a água do tambor na proveta.

Pelo formato da bombona, era necessário que se verificasse se toda ela foi realmente esvaziada, sacudindo-se o tambor. Em existindo algum volume residual, movimentava-se a bombona, na vertical, para que o restante da água escoasse.

A leitura era realizada diretamente na escala da proveta e, conforme o volume armazenado, às vezes era necessário fazer-se a somatória de várias leituras, pois a capacidade da proveta era de apenas 2.000 ml.

Um cuidado especial, pelo ambiente de floresta, era o de verificar-se, antes de manejar os tambores, se algum animal, em especial cobras e aranhas, não estava abrigado junto aos tambores. Uma técnica eficiente era o de bater-se algumas vezes no tambor, com o auxílio de uma vara de madeira, pois o som oco e grave espantava qualquer animal. Isso era realizado como rotina de segurança durante todo o experimento.

c) Manutenção da mesa coletora

Em cada medição, era necessário verificar se algum galho ou plantas caídas, tais como as bromélias, não estava obstruindo a superfície da mesa. Quando isso ocorria, eram removidas.

Como a estrutura coberta do vértice da mesa era um possível abrigo para animais, a cada visita as mesas coletoras, se efetuava várias pequenas pancadas no metal com o auxílio de uma vara de madeira, para espantar eventuais “hóspedes”.

Verificava-se também a correção do encaixe das mangueiras e se estas continuavam paralelas ao solo.

3.2.4 Delineamento

Foram selecionados 5 locais, que podem ser considerados análogos a tratamentos, sendo doravante tratados como tal, utilizando-se os seguintes critérios:

- dois tipos de vegetação: Floresta Ombrófila Mista e Reflorestamento com *Pinus taeda*;
- dois tipos de relação solo/paisagem, ou seja, duas diferentes posições na toposseqüência em cada tipo de vegetação;
- uma área descoberta (sem dossel), e solo nú;
- as áreas de floresta e reflorestamento deveriam ter um trilha próxima, que permitisse o transporte manual dos equipamentos e ferramentas e que facilitasse as medições, mesmo sob condições de clima adversas.

Selecionada previamente uma região, com o auxílio de mapas de solos e de ocupação/vegetação e imagens geoprocessadas, escolhia-se, aleatoriamente, uma pequena área para instalação do experimento. Os tratamentos ficaram assim localizados e identificados pela vegetação e relevo e posição na toposseqüência (ver Figura 29):

- Tratamento 1: Floresta Ombrófila Mista, relevo plano, posição **a** na toposseqüência, declividade de 5%;
- Tratamento 2: Floresta Ombrófila Mista, relevo de meia encosta, posição **b** na toposseqüência, declividade de 26%;
- Tratamento 3: Área aberta (sem dossel florestal), relevo suave ondulado, posição **a** na toposseqüência, declividade de 9%;
- Tratamento 4: Reflorestamento com pinus, relevo ondulado, posição **b** na toposseqüência, declividade de 18%;
- Tratamento 5: Reflorestamento com pinus, relevo forte ondulado, posição **c** na toposseqüência, declividade 38%;

Cada tratamento (local) era constituído de 4 repetições. Cada repetição do experimento era composto por uma mesa coletora e seus periféricos (o pluviômetro

colocado na estaca fixadora, os tubos de condução de água e o tambor de coleta e armazenamento de água).

Antes de iniciarem-se as medições para este experimento, todas as unidades ficaram instaladas por dois meses (fevereiro e março de 2006), para observação e busca de solução de problemas eventualmente ocorridos, bem como para estabilização e correta recomposição da camada de serapilheira, que sofrera alterações na instalação dos equipamentos. As coletas de dados ocorreram entre abril e dezembro de 2006.

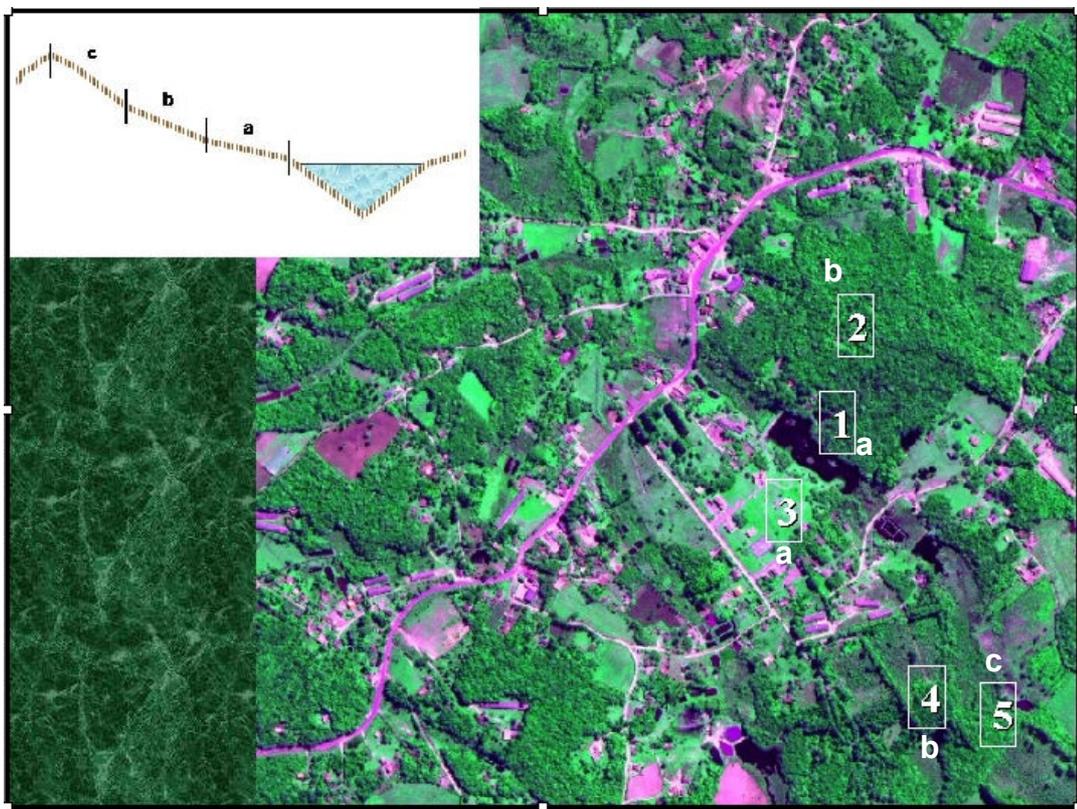


FIGURA 29 – Foto satélite e esquema da toposseqüência, com locais dos tratamento identificados pelos respectivos números e posição na toposseqüência identificado pelas letras

3.3 Experimento 02 – Taxa de infiltração

Este experimento destinado a atender ao objetivo **b** deste estudo (ver item Objetivos Específicos), comparou a utilização de infiltrômetro de lâmina de água de tamanho pequeno, retangular, com o método padrão do cilindro infiltrômetro duplo ou de duplo anel.

Como o infiltrômetro de duplo possui tamanho e peso grandes, que dificultavam seu transporte e instalação, em especial em ambientes florestais, além de consumir um volume grande de água, que é de difícil transporte em muitos ambientes florestais, projetou-se um equipamento de pequeno porte, com menor peso, e formato que facilitasse o transporte e que demandasse menor consumo de água.

3.3.1 Equipamentos

a) Infiltrômetro de anéis concêntricos

O Infiltrômetro de anéis concêntricos era constituído de dois cilindros metálicos, abertos, cada um confeccionado em chapa metálica de aço carbono, com 2,0 mm de espessura, formatada em calandra (colocada em formato circular) e com emenda única, soldada interna e externamente. Um dos cilindros tinha diâmetro de 0,50 m e altura de 0,40 m, e o outro apresentava diâmetro de 0,30 m e altura também de 0,40 m (Figura 30). Ambos foram pintados com fundo fosfatizante (base antiferrugem). O peso total dos dois cilindros infiltrômetros duplos é de 30,0 Kg



FIGURA 30 – Foto do Infiltrômetro de anéis concêntricos

b) Infiltrômetro retangular duplo

O infiltrômetro retangular testado era constituído de duas caixas metálicas retangulares, abertas em cima e em baixo, confeccionadas em chapa de aço carbono, com espessura de 2 mm, dobrada em três vértices e com apenas um vértice soldado, interna e externamente, para garantir melhor resistência.

A primeira caixa tinha dimensões de 0,30 m de lado e 0,35 m de altura; a segunda tinha dimensões de 0,15 m de lado e 0,35 m de altura (Figura 31).

Todo o metal foi pintado com fundo fosfatizante (base antiferrugem). O peso total das duas peças retangulares é de 15,6 Kg, quase 50% a menos que o infiltrômetro de anéis concêntricos.

c) Ferramentas para instalação

Para instalar tanto o infiltrômetro de anéis concêntricos como o infiltrômetro retangular, foram necessários os seguintes equipamentos;

- marreta de pedreiro de cabo curto, com 4 Kg;
- cortadeira de lâmina reta de 0,15 a 0,20 m (cortadeira de colocar mourões)
- tábua de madeira de 0,02 m de espessura, 0,20 m de largura e 0,70 m de comprimento.



FIGURA 31 – Foto do infiltrômetro Retangular Duplo

d) Equipamentos e materiais para leituras/medições

Como era necessário medir a altura de lâmina infiltrada, foi utilizado instrumental que permitisse medir a variação de uma lâmina de água no transcorrer de determinado tempo.

Foram utilizados: régua plástica graduada em mm, com 0,50 m de comprimento; régua plástica graduada em mm, com 0,30 m de comprimento; flutuador de isopor; fita métrica de costura (plástica); barbante grosso; um vidro de esmalte de unha branco e um pano de chão de tecido grosso (pano de limpeza) de no mínimo 0,50 x 0,30 m.

Foi necessário transportar água limpa para o local, em tambores ou bombonas, e garantir-se o reabastecimento dela. O consumo de água ocorria em função do tipo de solo e do grau de umidade natural desse solo. Neste experimento gastou-se, no ponto de máximo consumo, 600 litros na determinação com o modelo cilíndrico e 200 litros com o modelo retangular.

3.3.2 – Instalação dos Infiltrômetros

Escolhia-se um local livre de obstáculos que pudessem impedir a penetração dos equipamentos, tais como pedras e raízes. Em seguida, o local era limpo de materiais que flutuassem, tais como folhas, galhos e serapilheira, com cuidado para não compactar o solo ou destruir sua estrutura original. Um cuidado fundamental observado era o de jamais pisar no solo na área interna dos infiltrômetros.

A instalação iniciava-se, independente do tipo de infiltrômetro, pela peça maior, que era a externa. Apoiava-se o cilindro ou o retângulo no solo, colocava-se a tábua de madeira em cima e martelava-se a tábua com a marreta, de modo a cravar a peça no solo. Ia-se mudando a tábua de local, bem como o ponto das batidas, de modo a garantir uma homogênea penetração no solo, que devia ser de no mínimo 0,15 m (em todos os pontos).

Atingido a penetração desejada da peça maior (externa), centralizava-se a peça menor no centro da peça maior (equidistante em todos os pontos) e repetia-se o processo de penetração até que a peça menor nivelasse, no seu topo, com a peça externa. As Figuras 32 e 33 mostram a colocação dos infiltrômetros por percussão.

Com o auxílio da régua, no ponto onde a cota maior (nível mais alto) do solo interno encostava na parede metálica, fazia-se uma marca bem visível com o esmalte de unha, nas paredes internas das duas peças, a 0,05 m do chão e uma outra a 0,15 m do chão.

3.3.3 Operação e determinação

Para iniciar a operação, as duas peças, dos infiltrômetros de anéis concêntricos ou dos retangulares, eram abastecidos de água, tanto na peça interna quanto na peça externa, até a altura que superasse ligeiramente a marca de 0,15 m feita nas paredes metálicas.

Sempre que a infiltração baixava a lâmina de água até a marca de 0,05 m, era necessário reabastecer a água, até que a lâmina novamente superasse ligeiramente a marca de 0,15 m, isso em ambas as peças (interna e externa) (Figura 34).

Para abastecer a água, colocava-se o pano de limpeza dobrado em dois e se despejava a água, cuidadosamente, em cima dele. Isso evitava o revolvimento e compactação do solo. Também era colocado um pequeno pedaço de madeira, para amortecer ainda mais o impacto da água despejada. Depois de abastecido, o pano e a madeira eram retirados.



FIGURA 32 – Foto da colocação do infiltrômetro retangular



FIGURA 33 – Foto da colocação do infiltrômetro de anéis concêntricos

A função da água no infiltrômetro externo era o de promover o fluxo lateral e radial de infiltração de água, resultando que no interno se tivesse exclusivamente o fluxo vertical propiciado pela porosidade do solo.

Na aplicação do método, se realizava a medição da variação da lâmina de água em um determinado período de tempo fixo, sempre no infiltrômetro interno. Adotou-se o tempo fixo de 15 minutos em todas as situações.



FIGURA 34– Foto do Infiltrômetro de anéis concêntricos com água e marca de nível

Como alternativa a metodologia utilizada, pode-se adotar a marcação de consumo fixo de uma determinada lâmina, por exemplo, 0,02 ou 0,03 m e anotar-se o tempo gasto para infiltrar essa lâmina.

No caso deste experimento, utilizou-se um flutuador de isopor com uma fina vareta acoplada, e a partir de uma tábua colocada no topo dos infiltrômetros, mediu-se a variação de altura dessa vareta no tempo determinado (Figura 35), sendo utilizado um formulário com as colunas de tempo e lâmina para registro das medições.



FIGURA 35 – Foto do infiltrômetro retangular com água e vareta marcadora de variação de lâmina

Posteriormente, utilizando-se uma planilha eletrônica, efetuava-se as operações e convertia-se os dados para centímetros ou milímetros por hora de infiltração, que permitiram gerar os gráficos das determinações.

Encerrava-se a avaliação quando se obtia duas a três medições iguais, ou seja, duas a três lâminas iguais no mesmo período de tempo ou dois a três tempos iguais para a mesma lâmina infiltrada. Essa estabilização representava a Taxa de Infiltração Constante (TIC) desse solo, que não mais é influenciada pela umidade do solo, pois ele encontra-se completamente saturado.

Neste experimento, o tempo máximo de condução do experimento para obter essas leituras foi de 120 minutos, mas as determinações foram realizadas no primeiro dia de tempo bom, logo após chuvas, que garantiram um solo molhado e possibilitaram menor consumo de água e menor tempo de experimentação. Um solo

muito seco provocaria elevado consumo de água, o que dificultaria a aplicação do método, especialmente em ambientes florestais, onde é difícil transportar água.

Para acelerar a saturação do solo pela água, antes de do início das medições, carregava-se os infiltrômetros com água em toda a sua capacidade e permitia-se a completa absorção da lâmina de água. Isso propiciava mais precisão nas medições e que se atingisse a estabilização de taxa de infiltração mais rapidamente.

3.3.4 Delineamento

Realizou-se este experimento em três situações, sendo a primeira no local 4, no reflorestamento com pinus, a segunda no local 1, na Floresta Ombrófila Mista, e a terceira em um bosque próximo ao local 3 (ver Figura 29), bosque este implantado em uma área onde o solo está em recuperação de corte (foi área de empréstimo de terra, ficando exposto o Horizonte B desse solo), constituído de replantio de árvores nativas diversas com espaçamento de 4 x 4 m, 25 anos de idade e altura de copa média de 7,5 m; desse modo, cada área apresentava situações de solos, topografia e vegetação florestal, completamente diferentes entre si.

Em cada área selecionou-se, por apresentar solo livre de impedimentos, dois pontos muito próximos, de modo a garantir-se que estivessem na mesma posição de declividade e no mesmo tipo de solo; em cada ponto foi instalado um dos modelos de infiltrômetros duplos.

Iniciava-se a determinação e, depois de concluída em ambos os infiltrômetros, eles era invertidos de local, e reiniciava-se o processo.

Cada área tinha, então, duas determinações para cada tipo de infiltrômetro.

3.4 Avaliação da Interceptação / gotejamento interno

Embora não fosse o conjunto dos experimentos inicialmente projetado para incluir estudos de interceptação da precipitação pluviométrica, os equipamentos utilizados e as possibilidades de coleta de dados permitem que se analise, de forma parcial, também esse componente do ciclo hidrológico.

Assim sendo, optou-se por incluí-lo também como parte do Experimento 1, estudando-se apenas a precipitação interna, ou seja, quanto da precipitação total

chega ao solo, diretamente pelos espaços vazios do dossel florestal, ou por gotejamento oriundo das copas (folhas e galhos).

Não se avaliou, diretamente, o escoamento pelos troncos, embora essa partição seja indispensável para que se possa estudar a interceptação de maneira completa. Como existem muitos trabalhos que estabelecem valores médios para o escoamento pelos troncos, em diferentes situações e coberturas florestais, eles serão adotados na análise dos resultados.

Para a coleta dos dados de precipitação total, este experimento contou com duas fontes, sendo a primeira os dados de uma Plataforma de Coleta de Dados (PCD) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, classificada como do tipo agrometeorológica, que se acha colocado exatamente dentro na área do experimento, no alto de um dos morros da VIVAT Floresta, acima do dossel florestal, registrando automaticamente e com precisão todos os dados de precipitação.

A segunda fonte são os pluviômetros do Tratamento 3 (local 3) do Experimento 1, pois estes estão localizados a céu aberto, em uma área plana, quase no centro geométrico da área onde estão localizados os experimentos 1 e 2.

Na PCD, que é uma estação meteorológica automatizada, os dados de pluviometria são registrados, de forma acumulada, a cada três horas, o que impossibilita ter-se a real intensidade de precipitação, mas que permite obter-se, com precisão, a informação da precipitação acumulada entre duas datas e/ou períodos determinados.

Na comparação com a precipitação interna da Floresta Ombrófila Mista e do reflorestamento com pinus, padronizou-se a adoção da precipitação acumulada entre a última leitura de dados até o horário da nova medição. Isso englobava, muitas vezes, mais de um evento de chuva, não sendo possível, entretanto, separá-los.

Também a precipitação registrada pelos quatro pluviômetros colocados na área aberta (Tratamento 3), tinham os dados de precipitação acumulada registrados nos mesmo períodos em que se obtinham os dados da PCD.

A precipitação interna da área de Floresta Ombrófila Mista e de reflorestamento com pinus era a mesma determinada para o experimento com as mesas coletoras e determinação de infiltração e escoamento superficial, e representava a parcela da precipitação total que atingia o piso florestal através de gotejamento ou incidência direta.

A interceptação parcial (IP), no âmbito deste estudo, foi obtida pela diferença entre a precipitação total (PT), dado fornecido pela PCD e a precipitação interna (PI), mensurada pelos pluviômetros dos blocos experimentais na Floresta Ombrófila Mista e no reflorestamento com pinus. Para efeitos deste estudo, a interceptação parcial é denominada simplesmente de “interceptação”.

Todos os demais dados e informações para este experimento foram os mesmos descritos para o Experimento 1, não existindo necessidade de descreve-los novamente.

3.5 Observação Geral

É importante destacar que, conforme pode ser visualizado nos dados de precipitação pluvial, as chuvas do período foram de baixa e média intensidade, bastante espaçadas entre si, não tendo sido registradas, no período experimental, chuvas concentradas, ou seja, todas elas ocorreram em tempos (duração) de precipitação mais longos. Foi uma situação climática atípica, caracterizada por ser um ano de seca intensa e predominância de chuvas leves, o que não é o normal da região.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para facilitar o entendimento, a discussão será apresentada separada por experimento (1 e 2). Serão apresentados gráficos e dados da regressão ou do teste de médias, conforme a análise realizada, objetivando maior clareza na compreensão dos dados e da discussão.

4.1 EXPERIMENTO 1 – MESAS COLETORAS

A - CUSTOS DAS UNIDADES

Apresenta-se a seguir os custos diretos das unidades experimentais, com base nos preços de dezembro de 2005.

a) Custos das unidades para estudos de escoamento e infiltração (por repetição):

- confecção das calhas (unidade)	R\$ 60,00
- tubos flexíveis - 25 m por unidade	R\$ 8,75
- tambor plástico (unidade)	R\$ 10,50
- palha de aço (unidade)	R\$ 0,85
- pluviômetro (unidade)	R\$ 7,50
- arame grosso – 2,0 m por unidade	R\$ 1,20
- fitilho de amarrão – 5,0 m por unidade	R\$ 0,20
- estacas fixadoras (unidade)	R\$ 3,00
- valor total por repetição	R\$ 92,00

b) Custos dos infiltrômetros:

- Infiltrômetro de anel duplo – R\$ 220,00
- Infiltrômetro retangular duplo – R\$ 90,00

e) Custos Gerais (equipamentos usados em todas as unidades):

- Proveta graduada de 2.000 ml com base plásticas (unidade) – R\$ 65,00
- Proveta graduada de 10 ml (unidade) – R\$ 5,00
- Estojo de transporte da proveta de 2.000 ml (unidade) – R\$ 15,00

Embora não se esteja aqui apresentando custos de mão-de-obra, seu cálculo é possível, pois na instalação das calhas ou mesas coletoras e todos os seus periféricos, trabalhando-se em três pessoas, utilizou-se um tempo médio de duas horas para instalar as quatro repetições de cada bloco, o que significa uma aplicação média de 1,5 horas/homem por unidade (repetição) instalada. Esse tempo não incluiu o transporte de todo o material para o local selecionado de instalação, que havia sido realizado no dia anterior.

Incluindo-se o transporte dos materiais da sede da VIVAT Floresta até os locais na floresta e no reflorestamento, as 24 unidades (repetições), foram instaladas em dois dias, num total de 16 horas de trabalho, o que significou uma equivalência de 2 horas/homem de trabalho por repetição (unidade) instalada.

A equipe de trabalho era constituída do pesquisador e de dois trabalhadores operacionais.

B – DADOS GERAIS DO EXPERIMENTO 1

Os dados (Quadros 01 a 05) foram coletados entre abril e dezembro de 2006 e estão apresentados em ordem crescente de precipitações ocorridas (de cima para baixo). Para entendimento das diversas colunas, seguem-se as seguintes convenções:

- **T** = Tambor, volume de água de escoamento superficial coletada em cada repetição. O número precedente representa a repetição a que se refere o dado;
- **P** = Pluviômetro, lâmina de água de precipitação coletada em cada repetição. O número precedente representa a repetição a que se refere o dado;
- **PCD** = Plataforma de Coleta de Dados – precipitação medida na plataforma automática de coleta de dados da área do experimento.
- **Água captada por mesa** = volume de precipitação que chegou até a superfície do solo dentro da mesa coletora;
- **Nº ordem da leitura** = representa o número de ordem de aquisição de dados (ordem das leituras de precipitações).

B.1 TRATAMENTO 1

PCD	01 T	01 P	02 T	02 P	03 T	03 P	04 T	04 P	Média Pluviôm	Média Tambor	Água Captada por mesa	Nº ordem da leitura
mm	ml	mm	ml	mm	ml	mm	ml	mm	mm	ml	ml	
1,3	0	1	0	0,9	0	0,9	0	0,7	0,88	0,00	232,40	6
2	0	1,5	0	1,5	0	1,4	0	1,4	1,45	0,00	385,12	7
3,5	0	2,5	0	2,5	0	3	0	2,8	2,70	0,00	717,12	3
5	140	4	140	4,2	120	4,5	140	4,1	4,20	135,00	1115,52	1
5,55	140	4,8	145	4,5	135	4,6	145	4,5	4,60	141,25	1221,76	4
6	25	5	26	5	30	4,9	26	5,1	5,00	26,75	1328,00	17
9,75	80	8,5	90	8,8	75	8,8	65	8,7	8,70	77,50	2310,72	14
9,45	170	8,3	180	8,5	140	8,7	180	8,5	8,50	167,50	2257,60	19
11,3	160	9,9	140	10,5	135	10,8	150	10	10,30	146,25	2735,68	2
12,5	240	11,5	260	11,8	230	11,5	280	11,7	11,63	252,50	3087,60	12
16,3	200	15	280	15,7	180	15,9	220	15,5	15,53	220,00	4123,44	24
14,2	160	13,2	120	15	150	13,5	150	13,8	13,88	145,00	3685,20	9
20	940	18,5	840	19	1040	19,5	940	18,5	18,88	940,00	5013,20	8
23,9	1610	22,5	1530	22,1	1570	22,7	1460	22,5	22,45	1542,50	5962,72	20
29,5	1230	26,8	1340	27,7	1300	26,8	1390	27,5	27,20	1315,00	7224,32	5
30,3	1600	28	1500	28,5	1480	28,3	1730	28,1	28,23	1577,50	7496,56	13
32	1680	29,2	1830	29,5	1700	28,8	1890	29,2	29,18	1775,00	7748,88	18
31	1490	29	1300	28	1590	29,5	1470	29	28,88	1462,50	7669,20	10
35,2	1590	31,5	1540	32,9	1690	31,5	1710	33,4	32,33	1632,50	8585,52	21
39,3	1620	38,5	1440	38	1780	38,1	1610	38,9	38,38	1612,50	10192,40	11
30,5	1880	26,8	1800	25,8	2100	28,3	2000	25,8	26,67	1945,00	12184,40	23
55,3	2390	51	2600	51,7	2130	49,9	2710	49,8	50,60	2457,50	13439,36	15
57	2250	51,7	2410	52,5	2460	52	2500	52,5	52,18	2405,00	13857,68	22
62	2690	58,2	2250	55,8	2770	58	2510	57,5	57,38	2555,00	15238,80	16

QUADRO 01 – Dados coletados no tratamento 1

B.2 TRATAMENTO 2

PCD	05 T	05 P	06 T	06 P	07 T	07 P	08 T	08 P	Média Pluviôm	Média Tambor	Água captada por mesa	Nº ordem da leitura
mm	ml	mm	ml	mm	ml	mm	ml	mm	mm	ml	ml	
1,3	0	0,8	0	0,6	0	0,9	0	0,7	0,75	0,00	199,20	6
2	0	1	0	1,5	0	1,3	0	1,1	1,23	0,00	325,36	7
3,5	0	2,4	0	2,5	0	2,5	0	2,2	2,40	0,00	637,44	3
5	80	4	100	3,8	120	3,5	85	3,8	3,78	96,25	1002,64	1
5,55	85	4,3	80,5	4,5	89,5	4,7	81	4,4	4,48	84,00	1188,56	4
6	21	4,9	22	4,6	44	5	22	5,3	4,95	27,25	1314,72	17
9,45	60	8,8	80	8,4	85	8,1	75	8,3	8,40	75,00	2231,04	19
9,75	135	8,8	141	8,6	139	8,8	141	8,7	8,73	139,00	2317,36	14
11,3	140	10,5	140	10,5	130	9,8	95	9,5	10,08	126,25	2675,92	2
12,5	150	11,2	139	11	148	11,3	144	11,5	11,25	145,25	2988,00	12
14,2	160	12,5	145	11,8	140	12,5	130	12	12,20	143,75	3240,32	9
16,3	152	14,8	150	15	160	14,5	160	14,5	14,70	130,00	3904,32	24
20	1180	19,3	1160	19	1260	19,5	1190	19,5	19,33	1197,50	5132,72	8
23,9	1370	22,2	1315	23	1515	23,8	1240	22,5	22,88	1360,00	6075,60	20
31	1470	28	1225	29	1280	28	1255	29	28,50	1307,50	7569,60	10
29,5	1295	28	1305	28,6	1340	29	1295	29	28,65	1308,75	7609,44	5
30,3	1345	28,7	1340	28,5	1425	29	1385	29,5	28,93	1373,75	7682,48	13
35,2	1255	31,5	1215	29,9	1310	30	1305	30,5	30,48	1271,25	8094,16	21
32	2305	30,5	2700	29,5	2470	31	2485	31	30,50	2490,00	8100,80	18
39,3	1650	41	1750	42	1890	42	1725	42,5	41,88	1753,75	11122,00	11
30,5	1720	28,3	1855	28,8	1770	28,8	1890	28,8	28,67	1808,75	12715,60	23
55,3	2280	51	2195	51,2	2125	52	2250	51	51,30	2212,50	13625,28	15
57	2300	53	2265	53	2505	53	2245	53,5	53,13	2328,75	14110,00	22
62	2445	58	2450	58,5	2410	58	2670	58	58,13	2493,75	15438,00	16

QUADRO 02 – Dados coletados no tratamento 2

B.3 TRATAMENTO 3

PCD	09 T	09 P	10 T	10 P	11 T	11 P	12 T	12 P	Média Pluviôm	Média Tambor	Água captada por mesa	Nº ordem da leitura
mm	ml	mm	ml	mm	ml	mm	ml	mm	mm	ml	ml	
1,3	0	1,4	0	1,5	0	1,4	0	1,3	1,40	0,00	370,44	6
2	0	1,9	0	2,2	0	2,1	0	2,3	2,13	0,00	562,28	7
3,5	0	3,5	0	3,3	0	3,5	0	3,1	3,35	0,00	886,41	3
5	160	4,8	120	5	160	4,5	140	5	4,83	145,00	1276,70	1
5,55	165	5,5	135	5,5	150	5,4	170	5,4	5,45	155,00	1442,07	4
6	325	6,3	335	5,8	310	6	290	5,7	5,95	315,00	1574,37	17
9,45	475	10,8	465	10	460	9,5	500	9,5	9,95	475,00	2632,77	19
9,75	590	10	575	9,9	500	10	515	10	9,98	545,00	2639,39	14
11,3	490	10,8	520	10,5	480	10,5	490	10,7	10,63	495,00	2811,38	2
12,5	490	12	440	12	460	12	490	12,2	12,05	470,00	3188,43	12
14,2	500	13	485	13	535	13	565	12,2	12,80	521,25	3386,88	9
16,3	680	17	605	17	590	17,2	710	17,5	17,18	646,25	4544,51	24
20	2780	21,3	2100	21,1	2640	21,5	2700	21,7	21,40	2555,00	5662,44	8
23,9	2450	24,2	2140	22,5	2400	24,3	2550	24	23,75	2385,00	6284,25	20
29,5	2755	27,5	2110	27,5	2350	28	2575	27,5	27,63	2447,50	7309,58	5
30,3	2800	29,5	2915	29,8	2430	29,5	2795	29,5	29,58	2735,00	7825,55	13
31	3115	31	3290	31	3510	29,8	3710	31	30,70	3406,25	8123,22	10
35,2	2790	32,2	2676	32,7	2590	31,8	2905	33,1	32,45	2740,25	8586,27	21
30,5	3760	35,0	3400	34,0	3240	35,5	3620	35,0	34,87	3505,00	9227,93	23
39,3	2710	36	2995	36,3	2495	36,1	2535	36,2	36,15	2683,75	9565,29	18
49,7	2675	46,5	3515	45,5	3470	46	3720	46,8	46,20	3345,00	12224,52	11
55,3	4395	51,5	3875	51,3	4085	51,5	4175	51,5	51,45	4132,50	13613,67	15
57	7975	55	7430	55,7	7295	55,8	7110	55,5	55,50	7452,50	14685,30	22
62	4930	61,5	5020	59,8	4880	61	4830	61,5	60,95	4915,00	16127,37	16

QUADRO 03 – Dados coletados no tratamento 3

B.4 TRATAMENTO 4

PCD	13 T	13 P	14 T	14 P	15 T	15 P	16 T	16 P	Média Pluviôm	Média Tambor	Água captada por mesa	Nº ordem da leitura
mm	ml	mm	ml	mm	ml	mm	ml	mm	mm	ml	ml	
1,3	0	0,9	0	1	0	0,9	0	1	0,95	0,00	251,37	6
2	0	1,5	0	1,3	0	1,6	0	1,8	1,55	0,00	410,13	7
3,5	0	2,8	0	3	0	2,7	0	2,9	2,85	0,00	754,11	3
5	0	4	0	4,1	0	4,5	40	4,3	4,23	10,00	1117,94	1
5,55	0	4,7	0	5	0	4,9	0	4,5	4,78	0,00	1263,47	4
9	60	8	40	7,8	40	8,2	65	7,9	7,98	51,25	2110,19	9
9,45	60	8	60	8,2	40	8,2	60	8,5	8,23	55,00	2176,34	18
9,75	25	7,2	20	9	70	9	40	9	8,55	38,75	2262,33	14
11,3	35	10,5	30	10	45	9,5	60	9,7	9,93	42,50	2626,16	2
12,5	60	11,2	100	11,5	40	10,9	60	10,8	11,10	65,00	2937,06	12
16,3	100	15,2	115	14,9	60	14,7	80	13,9	14,68	88,75	3883,01	23
20	1790	18,1	1400	18	1110	18	1650	18,5	18,15	1487,50	4802,49	8
23,9	1780	24	1020	21,3	1440	20,1	1740	21,3	21,68	1495,00	5735,21	19
29,5	1320	26,9	1390	27,2	1450	28	1490	27,5	27,40	1412,50	7250,04	5
30,3	1520	30	1425	26,6	1510	30	2400	27	28,40	1713,75	7514,64	13
31	1650	30	1680	26,5	1560	30	1630	28	28,63	1630,00	7574,18	10
32	1605	29,5	1650	28	1580	29,2	1960	29	28,93	1698,75	7653,56	17
35,2	1990	32,7	1995	29,5	2040	30	2200	32	31,05	2056,25	8215,83	20
39,3	2120	38	2520	42	2630	40	2540	38	39,50	2452,50	10451,70	11
30,5	2620	28,3	2660	28,3	2590	27,8	2690	27,3	27,92	2640,00	12469,28	22
55,3	2720	50,5	2695	52,8	2680	55,5	2710	53	52,95	2701,25	14010,57	15
57	1920	52,3	2010	53	2110	53,7	2270	54	53,25	2077,50	14089,95	21
62	2800	59,8	2690	58,5	2700	59,7	2745	59,9	59,48	2733,75	15737,09	16

QUADRO 04 – Dados coletados no tratamento 4

B.5 TRATAMENTO 5

PCD	17 T	17 P	18 T	18 P	19 T	19 P	20 T	20 P	Média Pluviôm	Média Tambor	água captada por mesa ml	Nº ordem da leitura
mm	ml	mm	ml	mm	ml	mm	ml	mm	mm	ml		
1,3	0	1	0	0,9	0	1,1	0	0,9	0,98	0,00	257,99	6
2	0	1,6	0	1,7	0	1,6	0	1,5	1,60	0,00	423,36	7
3,5	0	3,1	0	2,9	0	2,8	0	2,9	2,93	0,00	773,96	3
5	40	4,5	40	3,9	40	4,7	60	4,1	4,30	45,00	1137,78	1
5,55	0	4,7	0	4,5	0	4,8	0	4,5	4,63	0,00	1223,78	4
9	60	8	45	8,2	40	8,1	65	7	7,83	52,50	2070,50	9
9,45	110	8,4	120	8,5	160	8,5	110	8,3	8,43	125,00	2229,26	18
9,75	160	8,8	140	9,2	100	8,2	120	8,5	8,68	130,00	2295,41	14
11,3	120	10,5	150	9,8	160	10	120	10,5	10,20	137,50	2698,92	2
12,5	80	10,9	100	11,3	115	11,5	80	11,8	11,38	93,75	3009,83	12
16,3	205	15	190	15,2	245	15,3	210	15,5	15,25	212,50	4035,15	23
20	1000	18,8	1345	18	1180	18,5	990	18	18,33	1128,75	4848,80	8
23,9	1100	21,5	1140	21,5	1100	21,3	1170	21,4	21,43	1127,50	5669,06	19
29,5	880	26,9	870	27,3	915	27,1	820	28	27,33	871,25	7230,20	5
30,3	1800	29	1750	28,5	1540	29	1580	28,4	28,73	1667,50	7600,64	13
32	1200	29,7	1490	28,5	1195	29,5	1010	29	29,18	1223,75	7719,71	10
31	1775	29,6	2000	29,1	1765	29,9	1900	30	29,65	1860,00	7845,39	17
35,2	2160	33	2420	35	2630	30	2360	32	32,50	2392,50	8599,50	20
39,3	2390	41	2620	40	2650	40	2750	40	40,25	2602,50	10650,15	11
30,5	2320	28,3	2300	27,6	2275	27,5	2120	26,8	27,55	2253,75	12370,05	22
55,3	2400	53,1	2100	54	1920	52,5	2320	52,8	53,10	2185,00	14050,26	15
57	2250	54,3	1720	55,9	1860	53,5	2020	53	54,18	1962,50	14334,71	21
62	2630	59,7	2650	59,8	2270	60	2380	60,5	60,00	2482,50	15876,00	16

QUADRO 05 – Dados coletados no tratamento 5

C – PLUVIOSIDADE

Para permitir a observação e melhor compreensão da distribuição das chuvas registradas durante o período de estudo, apresenta-se a seguir o gráfico (Figura 36) referentes a pluviometria ocorrida em cada tratamento, e também a comparação com os dados coletados pela PCD.

C.1 - Pluviosidade (PCD e pluviômetros nos tratamentos em função do tempo)

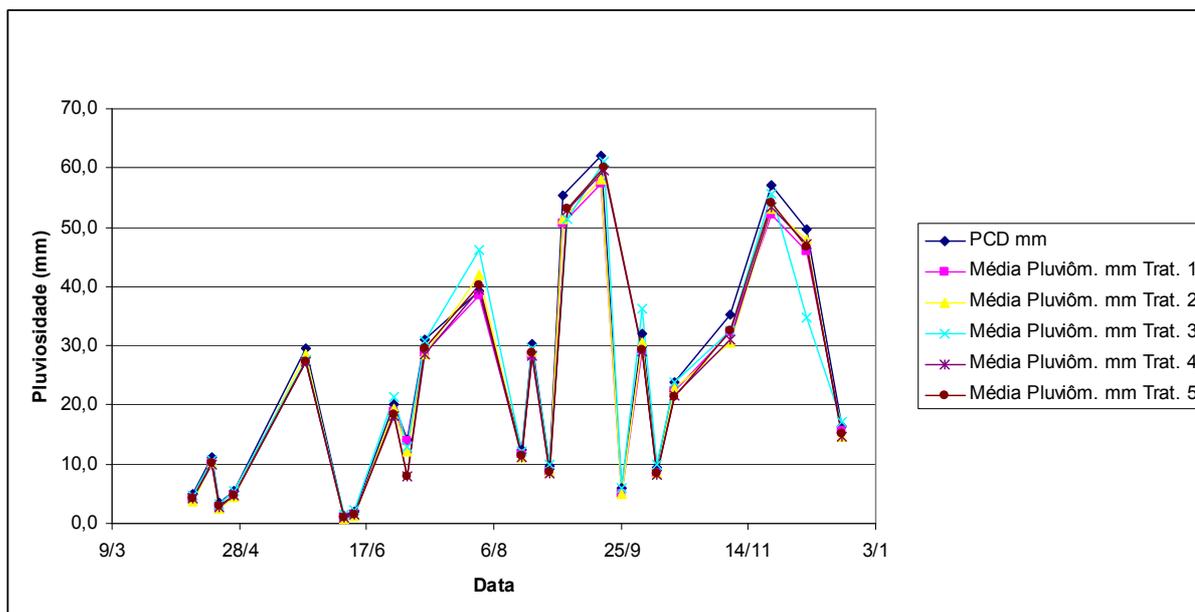


FIGURA 36 – Distribuição da pluviosidade durante o transcorrer do experimento

Percebe-se que as chuvas do período tiveram uma distribuição bastante irregular, e que não existiram chuvas de grande intensidade (acima de 70 mm). Isso se deveu ao fato de que o ano de 2006 ainda foi um ano de forte estiagem, que se prolongou do inverno de 2005 até o verão 2006/2007.

Após plotadas a curva geral de infiltração de água no solo observou-se, visualmente, a tendência de distribuição dos pontos (valores de infiltração) em três grupos, correspondentes a determinadas pluviometrias. Assim sendo, para permitir uma melhor análise dos dados de infiltração obtidos, as chuvas foram divididas em três grupos de pluviometria, considerados uniformes, pela distribuição observada, para as condições deste experimento:

- Grupo de chuvas leves: 0 a 18 mm
- Grupo de chuvas médias: 18 a 40 mm
- Grupo de chuvas pesadas: mais de 40 mm

C.2 - Análise das relações entre dados da PCD e Pluviômetros

Nessa análise relacionou-se os dados coletados pela PCD com os dados coletados pelos pluviômetros, de modo a comparar a acuracidade das precipitações medidas por esses pluviômetros.

Para cada tratamento, apresentou-se inicialmente os dados da análise de regressão (Tabela 06) e em seguida a distribuição dos pontos e plotagem da curva ajustada (Figuras 37 a 41).

Os dados estão relacionados da seguinte maneira:

- X – PCD (mm)
- Y – média dos 4 pluviômetros plásticos (mm)

TABELA 01 – Regressões dos dados dos pluviômetros comparados com dados da PCD

Tratamentos	Função	R ² ajustado
Tratamento 1	$Y = -0,16 + 0,9302x$	0,9982
Tratamento 2	$Y = -0,63 + 0,9600x$	0,9945
Tratamento 3	$Y = 0,44 + 0,9536x$	0,9943
Tratamento 4	$Y = -0,78 + 0,9611x$	0,9957
Tratamento 5	$Y = -0,70 + 0,9698x$	0,9972

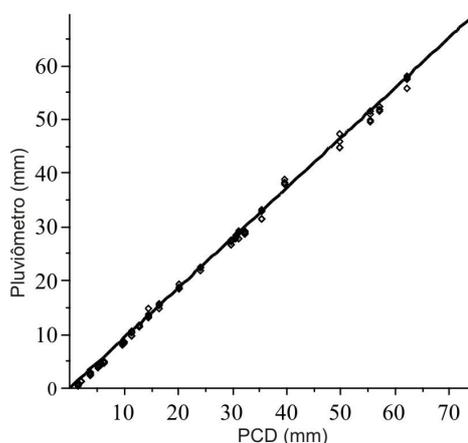


FIGURA 37 - Gráfico da relação entre pluviosidade no Tratamento 1 com a precipitação medida na PCD

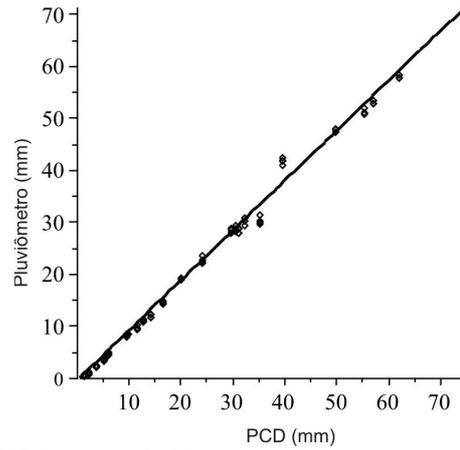


FIGURA 38 – Gráfico da relação entre pluviosidade no Tratamento 2 com a precipitação medida na PCD

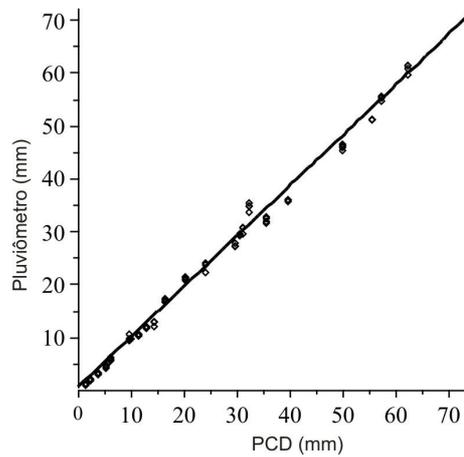


FIGURA 39 – Gráfico da relação entre pluviosidade no Tratamento 3 com a precipitação medida na PCD

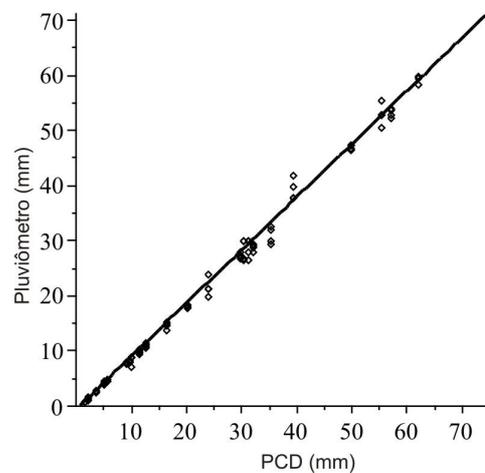


FIGURA 40 – Gráfico da relação entre pluviosidade no Tratamento 4 com a precipitação medida na PCD

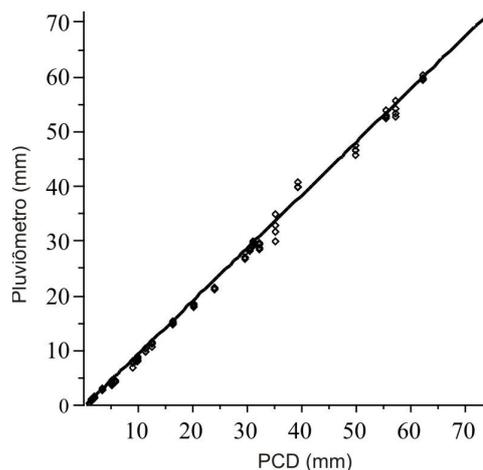


FIGURA 41 – Gráfico da relação entre pluviosidade no Tratamento 5 com a precipitação medida na PCD

A análise dos dados de pluviômetros e sua comparação com os dados da PCD, conforme pode ser observado na Tabela 01 e nos gráficos mostrados anteriormente permitem inferir que existe uma excelente correlação dos pluviômetros instalados nos diversos tratamentos do experimento com os dados pluviométricos coletados pela Plataforma de Coleta de Dados.

Ainda sobre os dados pluviométricos da metodologia proposta, é importante analisar-se a matriz de correlações (Tabela 02) entre a pluviometria do tratamento 3 (sem cobertura vegetal) e a pluviometria em todos os demais tratamentos, que demonstra existir relação excelente, o que permite utilizar-se esses dados (do tratamento 3) como referência segura para as análises proposta neste estudo.

TABELA 02 - Matriz de correlação (R^2 ajustado) entre os tratamentos

	<i>Trat. 3</i>	<i>Trat. 1</i>	<i>Trat. 2</i>	<i>Trat. 4</i>	<i>Trat. 5</i>
Tratamento 3	1				
Tratamento 1	0,992252	1			
Tratamento 2	0,996008	0,99823	1		
Tratamento 4	0,992092	0,996763	0,997473	1	
Tratamento 5	0,991629	0,996808	0,996931	0,999757	1

Isso permite afirmar que os dados dos pluviômetros do Tratamento 3 podem ser usados como referência, e que os valores obtidos representam, de maneira

significativa, a realidade das precipitações pluviométricas ocorridas no período, em cada um dos tratamentos. Com isso, a eficiência na comparação de cada tratamento, no que se refere às precipitações captadas pelos pluviômetros fica comprovada e valida a utilização dos pluviômetros em estudos nas condições em que este foi realizado; apresenta-se como vantagem adicional, o baixo custo do equipamento.

D – ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Nesta análise, apresenta-se inicialmente a distribuição de todos os volumes de água de escoamento superficial captadas por cada repetição, em cada tratamento, relacionando-os com a precipitação efetivamente ocorrida, mensurada pela PCD, sendo posteriormente apresentada a análise estatística, avaliada pelo Teste de Tukey (5%).

Testou-se as médias dos dados obtidos com a medição da água de escoamento superficial por ser a medição direta (primária) mais importante, resultante direto do funcionamento das mesas coletoras, pois os demais dados são obtidos a partir de cálculos que utilizam esse dado e os dados dos pluviômetros.

D.1 - Escoamento 1 - água coletada nos tambores em função da pluviosidade medida na PCD (Figuras 42 a 46). As convenções adotadas são:

- Eixo X – pluviometria PCD (mm)
- Eixo Y – Escoamento em cada repetição (ml)

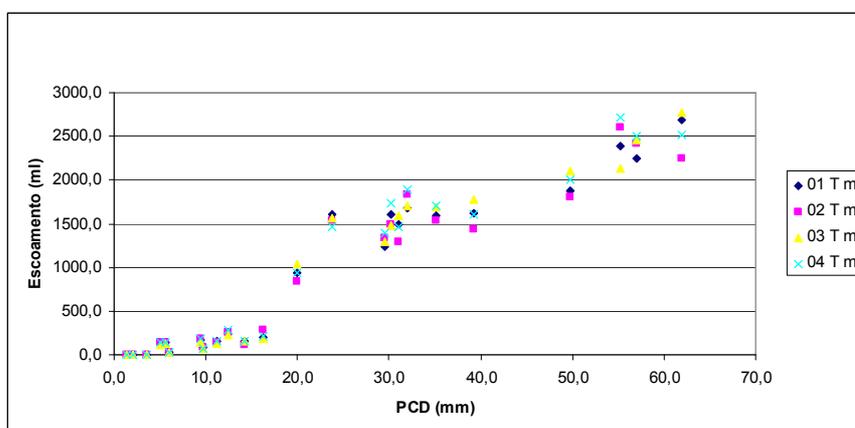


FIGURA 42 – Gráfico de água escoada em função da pluviometria no tratamento 1

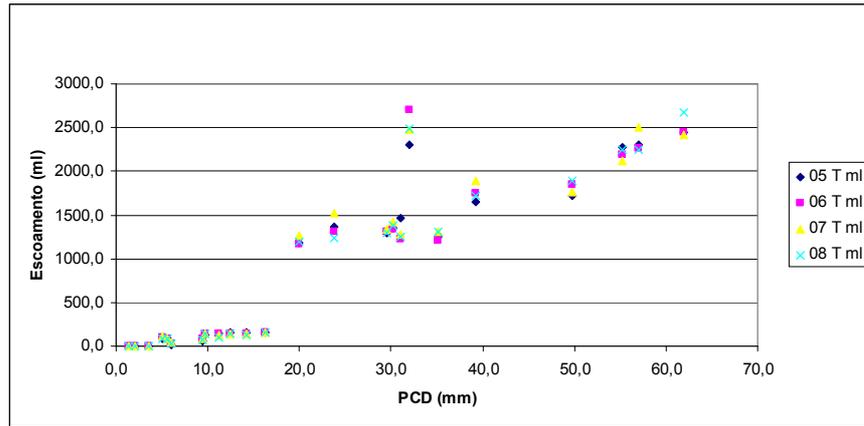


FIGURA 43 – Gráfico de água escoada em função da pluviometria no tratamento 2

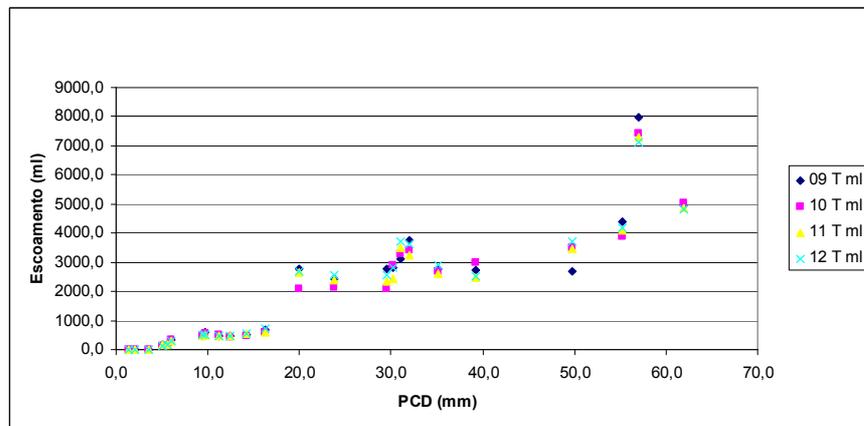


FIGURA 44 – Gráfico de água escoada em função da pluviometria no tratamento 3

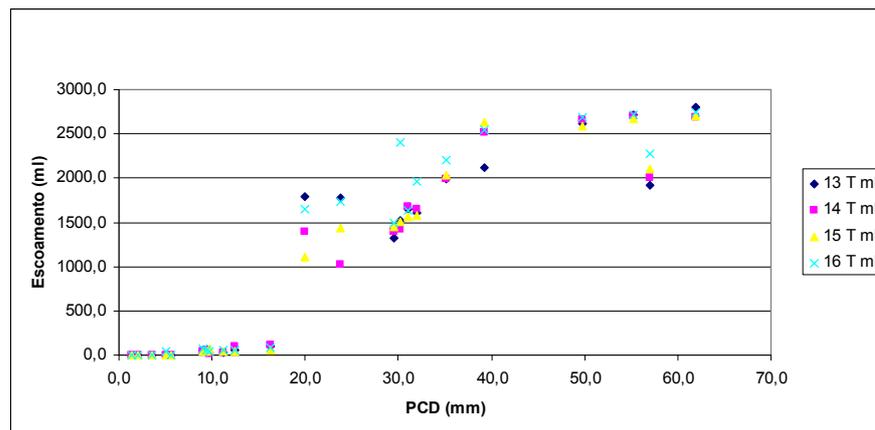


FIGURA 45 – Gráfico de água escoada em função da pluviometria no tratamento 4

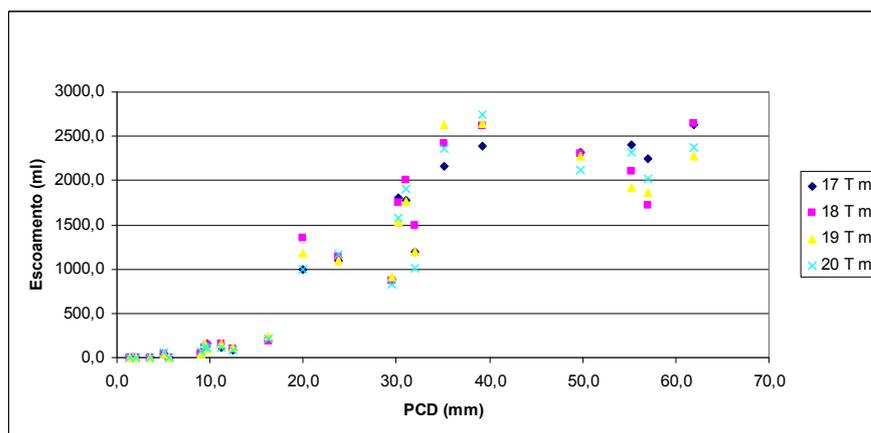


FIGURA 46 – Gráfico de água escoada em função da pluviometria no tratamento 5

D.2 – Análise do volume médio de água de escoamento em função do tratamento

	Trat. 1 (ml)	Trat. 2 (ml)	Trat. 3 (ml)	Trat. 4 (ml)	Trat. 5 (ml)
tambor 1	891	863	1880	967	907
tambor 2	870	870	1805	940	927
tambor 3	912	894	1801	947	886
tambor 4	931	874	1883	1057	887
Total	3605	3503	7371	3912	3608
Média	901	875	1842	978	902
Origem de variação	gl	SQ	MQ	Fcalc	Ftab
Entre os tratamentos	4	2781967	695491,8	559,71	3,06
Dentro dos tratamentos	15	18639,02	1242,602		
Total	19	2800606			

Comparações	Tukey 5%		
T1 T2	0,19	4,23	não significante
T1 T3	6,94	4,23	significante
T1 T4	0,57	4,23	não significante
T1 T5	0,01	4,23	não significante
T2 T3	7,12	4,23	significante
T2 T4	0,75	4,23	não significante
T2 T5	0,19	4,23	não significante
T3 T4	6,37	4,23	significante
T3 T5	6,93	4,23	significante
T4 T5	0,56	4,23	não significante

QUADRO 06 – Volume médio de água de escoamento por tambor e por tratamento, com análise de significância de médias pelo Teste de Tukey (5%)

Fica evidenciado que o Tratamento 3 (testemunha), por ter propiciado maior escoamento superficial, em função da ausência de cobertura vegetal (viva e morta), diferencia-se significativamente dos demais tratamentos. Os demais tratamentos não se diferenciam entre si, possivelmente por que a presença das copas (dossel) e de serapilheira produz efeitos de proteção muito semelhantes, reduzindo o escoamento superficial e, em decorrência, aumentando a infiltração de água no solo.

A metodologia utilizada tem sensibilidade suficiente para mensurar as variações demonstradas, nas condições em que este estudo foi realizado, sendo que os dados obtidos indicam consistência de resultados, o que está de acordo com o apresentado com diversos autores (COSTA *et al.*,1999; FABIAN E OTTONI FILHO, 2000; PEREIRA, 2000; OLIVEIRA *et al.*,2000; FRANCO *et al.*,2002; CASSOL *et al.*, 2004, BERTOL, 2003, PANACHUKI *et al.*, 2006) de que calhas coletoras de pequeno porte apresentam viabilidade de aplicação nos estudo dos fenômenos pontuais de hidrologia de superfície.

D.3 - Percentagem de escoamento

A Tabela 03 mostra o percentual máximo e médio de escoamento superficial ocorrida em cada tratamento. Esse percentual é calculado sobre a lâmina precipitada diretamente na mesa coletora, medida pelos pluviômetros em cada tratamento e repetição. A coluna pluviometria mostra a média das precipitações ocorridas em cada tratamento, durante todo o transcorrer do estudo.

TABELA 03 – Escoamento superficial em porcentagem em cada tratamento

Trat.	Pluviometria (mm)	Escoamento médio %	Escoamento máximo %
Trat. 1	20,8	11,5	25,9
Trat. 2	21,0	10,8	30,7
Trat. 3	21,9	22,9	50,7
Trat. 4	20,5	11,1	31,0
Trat. 5	20,7	10,5	27,8
Média	20,9	13,4	33,2

Evidencia-se que no Tratamento 3, com solo desprotegido de vegetação rasteira e sem dossel para interceptação e amortecimento da pluviosidade, o escoamento médio foi o cerca de 100% maior que os dos demais tratamentos, sendo que o escoamento máximo superou aos demais tratamentos com valores entre 63% e 95% maiores.

O máximo escoamento observado no tratamento 3, que foi de 50,7%, representou um perda equivalente a metade de uma precipitação ocorrida, que foi de 55,5 mm, ocorrida no dia 23 de novembro de 2006.

Apresenta-se a seguir algumas comparações entre as percentagens de água escoada, em função das precipitações medidas na PCD e nos pluviômetros de cada tratamento (Figura 47). O eixo X representa os dados pluviométricos da PCD, e o eixo Y representa o percentual dessa precipitação que se transformou em escoamento.

Os dados observados estão coerentes com o tipo de cobertura vegetal (dossel) e com a cobertura morta (serapilheira), e mostram que os equipamentos utilizados têm sensibilidade para as situações apresentadas neste estudo. Todos os dados analisados mostram consistência com as precipitações ocorridas e estão de acordo com dados apresentados, de estudos em condições similares, por autores como Mendes *et al.* (1992), Silva *et al.* (2001), Borges *et al.* (2005) e outros.

E – INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO

A infiltração de água no solo é calculada, neste estudo, pela diferença entre o volume de água que a mesa coletora capta em cada precipitação (precipitação medida pelos pluviômetros) e o volume de água que chega ao tambor.

Foram realizadas as análises de regressão, para verificação se os dados de infiltração guardam relação com a precipitação em cada tratamento. Para permitir uma melhor análise, depois de realizada uma regressão única por tratamento (curva geral), essa análise foi realizada novamente por grupo de chuva (leve, média ou pesada).

Inicialmente, na Tabela 04, são apresentados os parâmetros da regressão entre os pluviômetros (eixo X) e a lâmina de água infiltrada (eixo Y) e depois as plotagens dos pontos e da curva ajustada. As figuras 48 a 52 apresentam a plotagem das curvas.

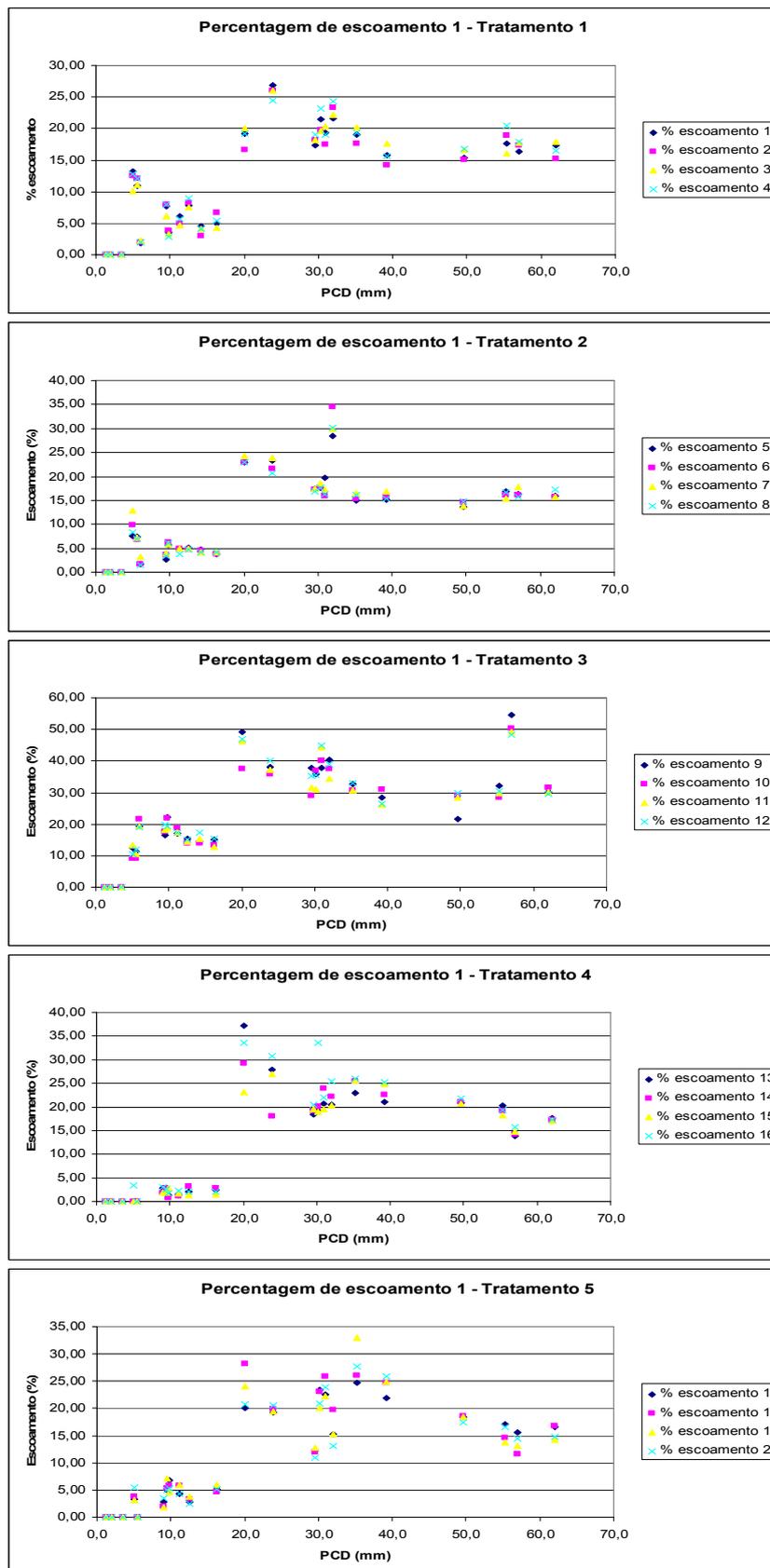
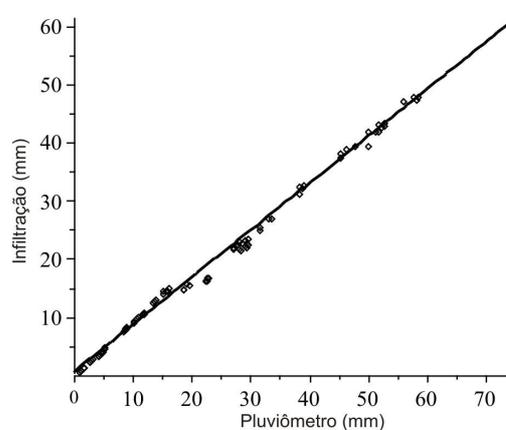
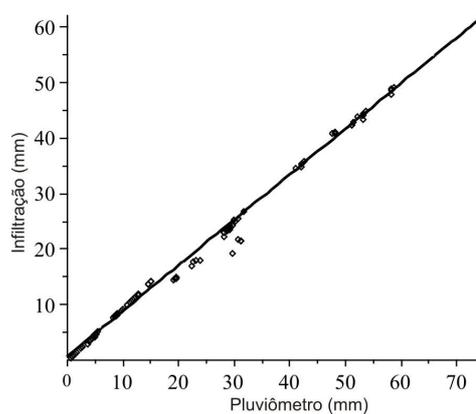


FIGURA 47 – Gráficos da relação entre percentual de escoamento e pluviosidade medida pela PCD

TABELA 04 – Regressão entre dados de pluviômetros e lâminas de água infiltrada

Tratamento	Função	R ² ajustado
Tratamento 1	$y = 0,599 + 0,8087 x$	0,9954
Tratamento 2	$y = 0,500 + 0,8197 x$	0,9931
Tratamento 3	$y = 1,480 + 0,6173 x$	0,9495
Tratamento 4	$y = 0,650 + 0,7908 x$	0,9899
Tratamento 5	$y = 0,510 + 0,8131 x$	0,9901

**FIGURA 48** – Gráfico da relação entre pluviometria e lâmina de água infiltrada – Tratamento 1**FIGURA 49** – Gráfico da relação entre pluviometria e lâmina de água infiltrada – Tratamento 2

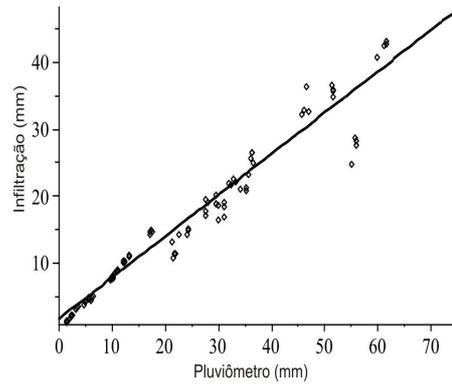


FIGURA 50– Gráfico da relação entre pluviometria e lâmina de água infiltrada – Tratamento 3

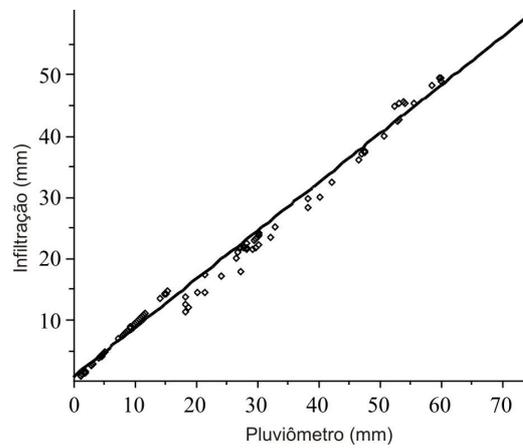


FIGURA 51– Gráfico da relação entre pluviometria e lâmina de água infiltrada – Tratamento 4

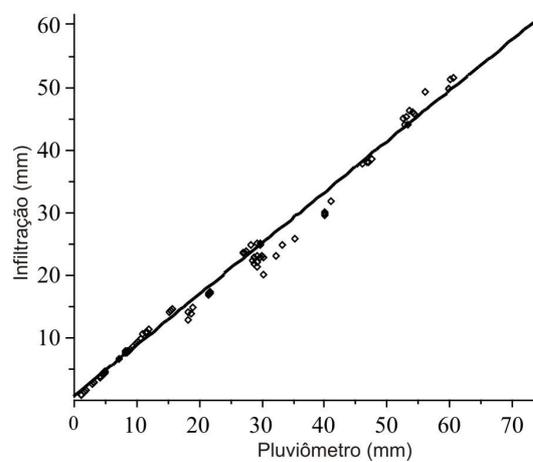


FIGURA 52– Gráfico da relação entre pluviometria e lâmina de água infiltrada – Tratamento 5

Para permitir uma melhor visualização e análise da infiltração de água no solo, relacionada com os dados dos pluviômetros, separou-se a relação entre infiltração e pluviometria nos três grupos de chuva anteriormente descritos, para testar as relações sob essa situação, pois as particularidades das precipitações ocorridas no período experimental agruparam as precipitações em três grupos. Além da análise de regressão, apresenta-se também a plotagem dos três grupos para cada tratamento.

A seguir serão apresentadas as Tabelas 05 e 06, que contém as funções com os coeficientes de determinação (R^2 ajustados). As curvas gerais de infiltração e por grupos de chuva form separadas, de modo a possibilitar a visualização dos ajustes obtidos em cada situação.

A divisão das chuvas nos três grupos e a análise em separado das relações entre precipitação e infiltração decorrentes, (Figuras 53 a 57 e Tabela 06) evidenciou o melhor ajuste para o grupo de chuvas leves, e isso pode ser explicado pelo fato que a infiltração se comporta de maneira mais regular com chuvas de baixa intensidade, pois não existe um colapso do sistema poroso dos solos e boa parte da precipitação é absorvida pela serapilheira, pelo molhamento desta, sem significar efetiva infiltração no solo e também pelo molhamento inicial do solo, sem que se inicie o processo de transmissão hidráulica pelos poros.

Percebe-se também que para o Tratamento 3, o grupo de chuvas pesadas apresenta uma dispersão irregular, que compromete a correlação entre a precipitação e a infiltração para esse grupo. Isso pode ser explicado pelo fato de que, estando nesse tratamento o solo descoberto e sem cobertura de dossel, o impacto da gota de chuva provoca selamento superficial, que se comporta de maneira irregular, de acordo com o tamanho de gotas, intensidade de precipitação, tempo total de precipitação, umidade antecedente do solo e energia cinética da água de escoamento superficial, entre outros fatores menos relevantes.

Para as precipitações do grupo de chuvas leves, mesmo neste Tratamento 3 existe uma excelente correlação entre precipitação e infiltração, o que é explicado pelo fato de que, normalmente, chuvas de baixa intensidade não causam colapso do sistema poroso dos solos e nem provocam selamento superficial, além do fato de que estando a camada superficial seca, existe o processo de molhamento da mesma, que absorve uma quantidade de água, que em baixas lâminas de precipitação pode ser bastante significativo.

Percebe-se, pela análise das representações gráficas, que o grupo de chuvas médias apresenta um comportamento diferente, em especial nos tratamentos 4 e 5 (Figuras 51 e 52), que provoca um paralelismo de curva com a curva do grupo de chuvas leves (mesma inclinação), mas com uma interceptação diferente do eixo Y, que ocorre em coordenada vertical (valor Y) menor que a do primeiro grupo.

TABELA 05 – Funções e R^2 ajustados das curvas gerais de infiltração

Tratamento	Função	R^2 ajustado
Tratamento 1	$y = 0,599 + 0,8087x$	0,9954
Tratamento 2	$y = 0,500 + 0,8197x$	0,9931
Tratamento 3	$y = 1,480 + 0,6173x$	0,9495
Tratamento 4	$y = 0,650 + 0,7908x$	0,9899
Tratamento 5	$y = 0,520 + 0,8131x$	0,9901

TABELA 06 – Funções e R^2 ajustados das curvas de infiltração por grupo de chuvas

Tratamento	Função	R^2 ajustado
Tratamento 1 – leve	$y = -0,18 + 0,9460x$	0,9980
Tratamento 1 – média	$y = -2,46 + 0,8892x$	0,9972
Tratamento 1 – pesada	$y = 1,55 + 0,7987x$	0,9573
Tratamento 2 – leve	$y = 1,55 + 0,9548x$	0,9994
Tratamento 2 – média	$y = -1,22 + 0,8400x$	0,8309
Tratamento 2 – pesada	$y = 1,55 + 0,8100x$	0,9871
Tratamento 3 – leve	$y = 1,55 + 0,7987x$	0,9943
Tratamento 3 – média	$y = -5,36 + 0,8238x$	0,8812
Tratamento 3 – pesada	$y = 1,55 + 0,4248x$	0,1163
Tratamento 4 – leve	$y = 1,55 + 0,9736x$	0,9997
Tratamento 4 – média	$y = -2,47 + 0,8567x$	0,9449
Tratamento 4 – pesada	$y = 1,55 + 0,9902x$	0,9686
Tratamento 5 – leve	$y = 1,55 + 0,9435x$	0,9991
Tratamento 5 – média	$y = -1,19 + 0,7487x$	0,8410
Tratamento 5 – pesada	$y = -11,0 + 1,0466x$	0,9801

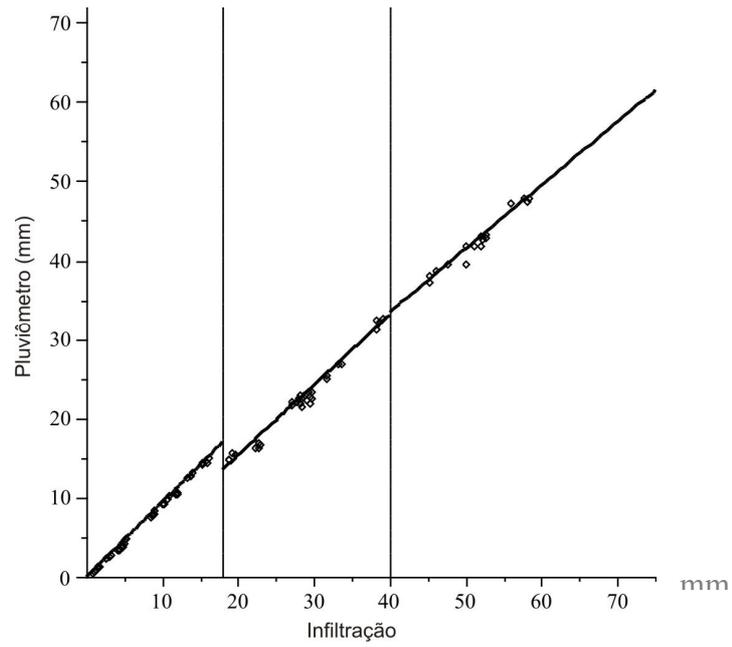


FIGURA 53 – Gráfico da infiltração no Tratamento 1 plotado por grupo de chuva

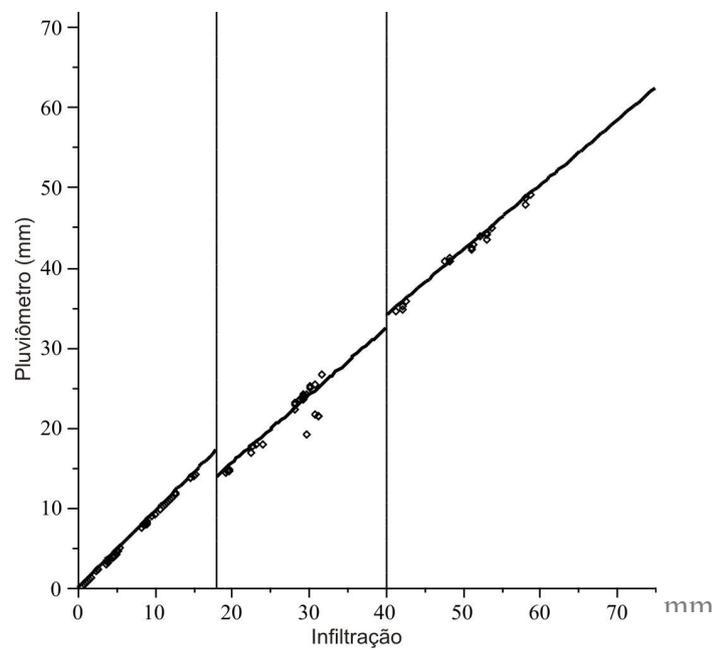


FIGURA 54 – Gráfico da infiltração no Tratamento 2 plotado por grupo de chuva

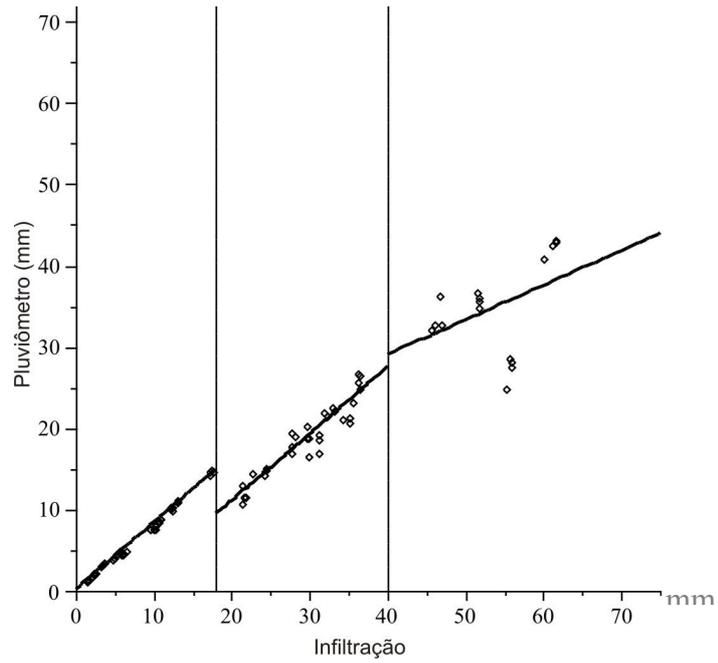


FIGURA 55 – Gráfico da infiltração no Tratamento 3 plotado por grupo de chuva

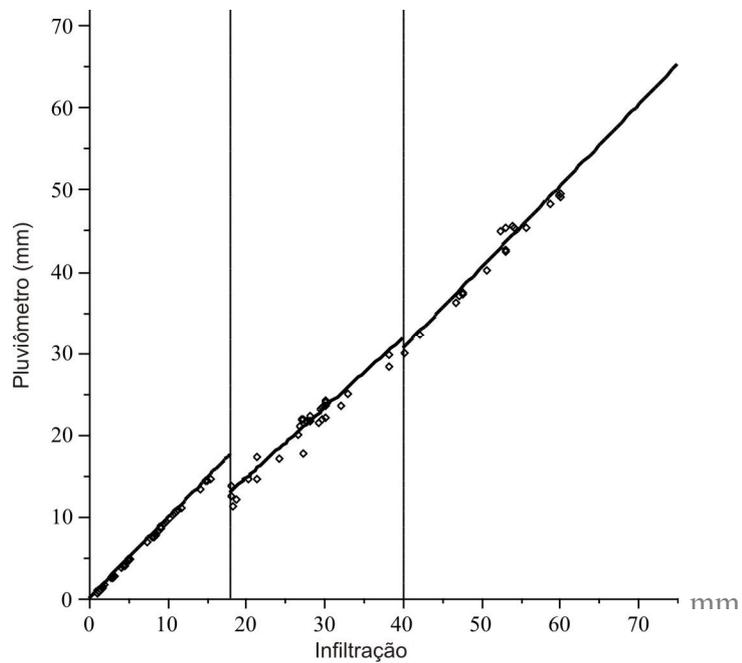


FIGURA 56 – Gráfico da infiltração no Tratamento 4 plotado por grupo de chuva

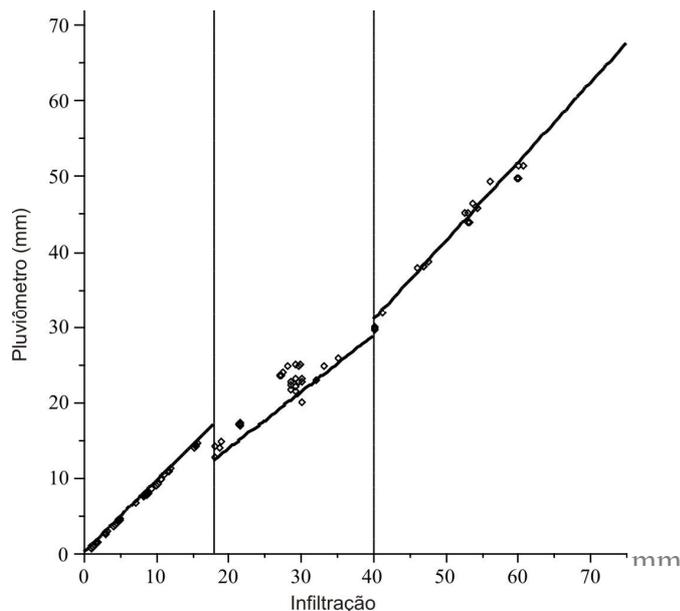


FIGURA 57 – Gráfico da infiltração no Tratamento 5 plotado por grupo de chuva

Essa diferença ocorre entre as chuvas de 18 mm e de 20 mm, quando há uma descontinuidade na infiltração. Para as condições locais e de condução deste experimento, essa tendência parece indicar a ocorrência de um fenômeno relacionado a física de solo e condutividade hidráulica, possivelmente de transmissão de água através do sistema poroso, onde depois de haver o molhamento da camada superficial do solo, inicialmente existe uma forte interação das forças de tensão superficial, capilaridade, hidratação e cargas elétricas dentro dos poros, que se transforma pouco a pouco em condução hidráulica gravitacional, através de caminhos preferenciais, com alguns poros funcionando como tubos de transmissão da água para a franja freática.

É importante destacar que a metodologia utilizada tem consistência e sensibilidade suficiente para estudos dessa natureza.

A Tabela 07 apresenta os valores médios e máximos de infiltração de água no solo, em cada tratamento, bem como a pluviosidade média em cada tratamento.

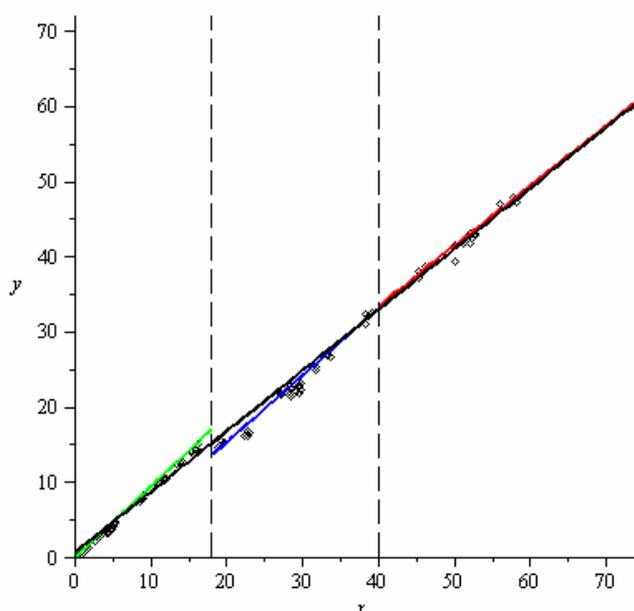
No Tratamento 3, a infiltração média foi menor que a dos demais tratamentos entre 11% e 16% e esses mesmo percentuais se repetem na comparação da lâmina máxima infiltrada.

TABELA 07 – Lâmina média e máxima infiltrada em cada tratamento

Tratamentos	Pluviosidade média - mm	Lâmina média infiltrada - mm	Lâmina máxima infiltrada - mm
1	20,8	17,4	47,9
2	21,0	17,8	48,9
3	21,9	14,9	42,4
4	20,5	16,8	49,1
5	20,7	17,3	50,6
Média	20,9	16,8	47,8

Esses dados estão coerentes com as condições de cobertura vegetal e cobertura morta de cada tratamento, demonstrando consistência e sensibilidade da metodologia adotada, para as condições em que este estudo foi realizado.

Para permitir uma melhor visualização do que ocorre com a infiltração em cada grupo de chuva são apresentadas a seguir (Figuras 58 a 62), em conjunto para cada tratamento, as curvas de tendência geral da infiltração de água nos solos e a curva específica de cada grupo de cada grupo de chuvas, (cor preta: curva geral de tendência; cor verde: grupo de chuvas leves; cor azul: grupo de chuvas médias; cor vermelha: grupo das chuvas pesadas). O eixo X representa a pluviometria em cada tratamento e o eixo Y representa a lâmina infiltrada.

**FIGURA 58** – Gráfico das curvas de tendência no Tratamento 1 - geral e por grupo

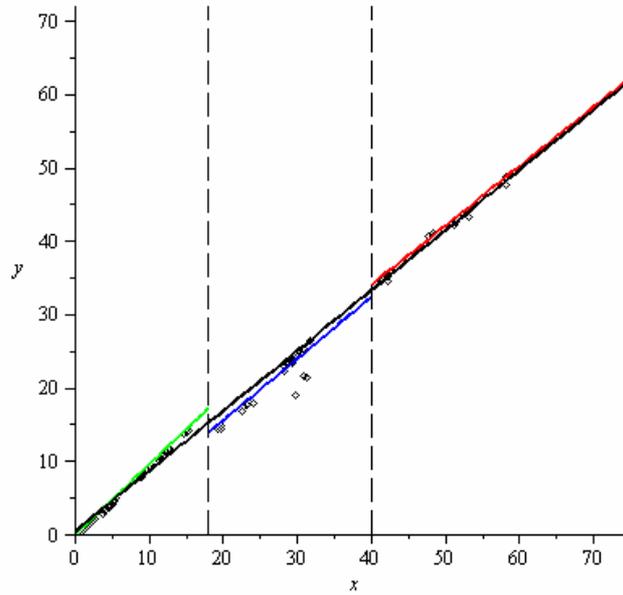


FIGURA 59 – Gráfico das curvas de tendência no Tratamento 2 - geral e por grupo

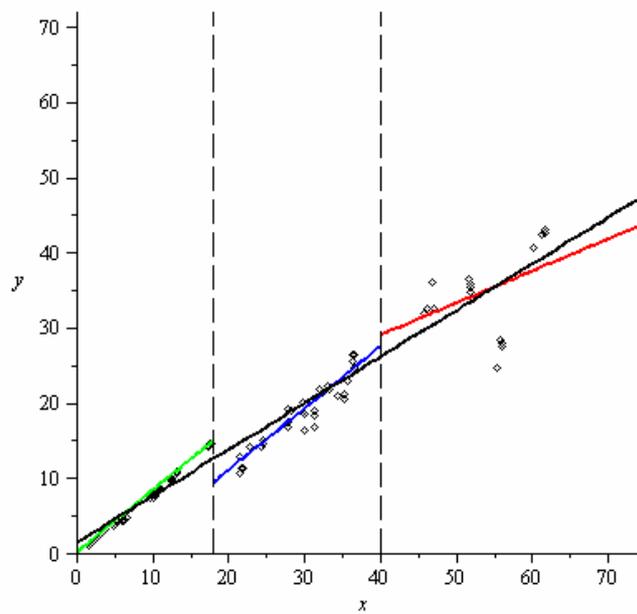


FIGURA 60– Gráfico das curvas de tendência no Tratamento 3 - geral e por grupo

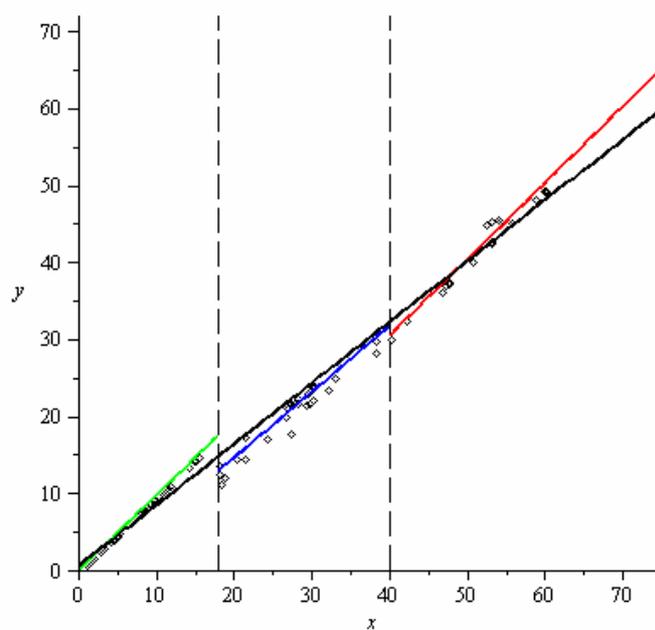


FIGURA 61 – Gráfico das curvas de tendência no Tratamento 4 - geral e por grupo

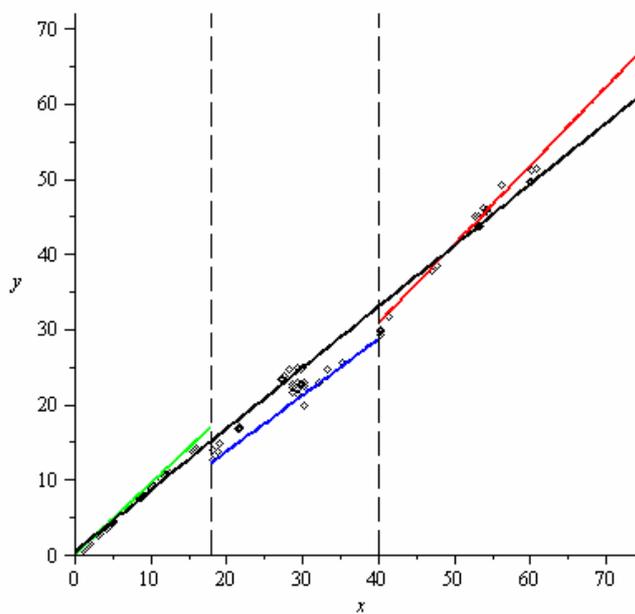


FIGURA 62 – Gráfico das curvas de tendência no Tratamento 5 - geral e por grupo

F – ANÁLISE DA INTERCEPTAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO PELO DOSSEL

Nesta análise, considerou-se a interceptação como a lâmina de água que não se tornou precipitação abaixo do dossel florestal, ou seja, é a diferença entre a lâmina efetivamente precipitada (precipitação total), medida pelos pluviômetros do Tratamento 3 e a lâmina precipitada, captada pelos pluviômetros em cada tratamento (Interceptação = precipitação total – precipitação medida nos tratamentos 1, 2, 4 e 5). Calculada a lâmina interceptada, foi realizada a análise de regressão para cada um dos tratamentos, em função da pluviosidade obtida no Tratamento 3, para se analisar a existência ou não de relação entre essas variáveis.

A Figura 63 abaixo mostra a matriz de correlação com a plotagem dos valores pluviométricos em cada tratamento (eixo Y) relacionada com a pluviometria do tratamento 3 (eixo X), ou seja, relaciona a precipitação interna de cada tratamento (T1, T2, T4 e T5) com a pluviometria a céu aberto (T3).

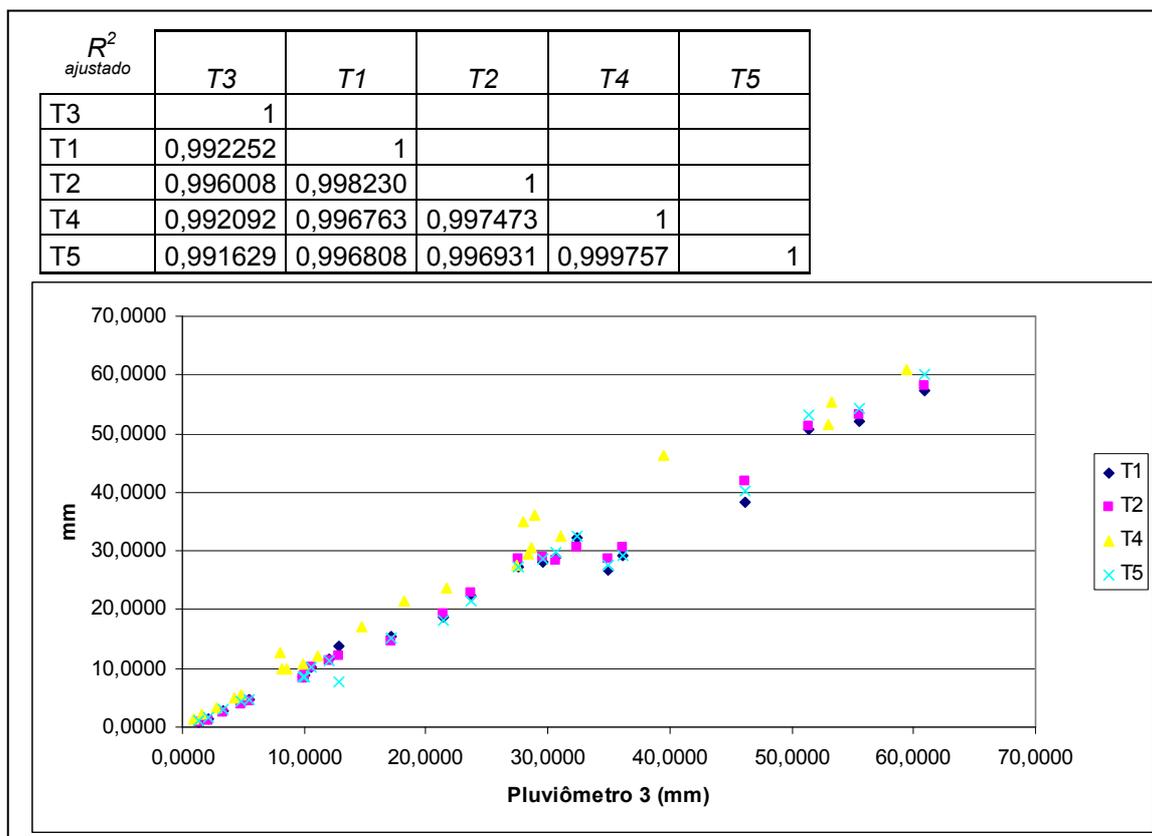


FIGURA 63 – Gráfico da relação entre precipitação interna e precipitação total

Apresenta-se a seguir a análise de correlação entre a interceptação em porcentagem, que representa quanto da chuva total ficou retida pelo dossel em relação a pluviometria no tratamento 3 (Tabela 08) e a plotagem das curvas ajustadas (Figuras 64 a 67).

TABELA 08 – Correlação entre % interceptação e pluviometria total

Tratamentos	Função	R ² ajustado
1	$y = 0,0594 + \frac{0,4520}{x}$	0,5135
2	$y = 0,0518 + \frac{0,6561}{x}$	0,8057
4	$y = 0,0963 + \frac{0,3162}{x}$	0,2872
5	$y = 0,0850 + \frac{0,3058}{x}$	0,2358

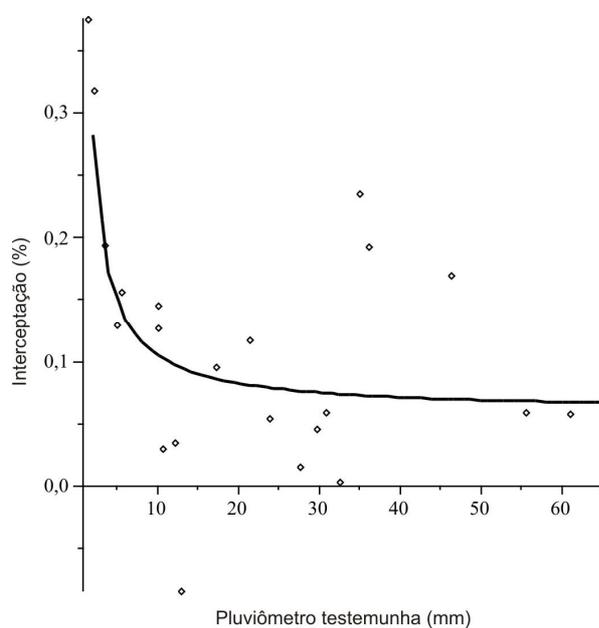


FIGURA 64 – Gráfico da correlação entre interceptação no Tratamento 1 e pluviometria total

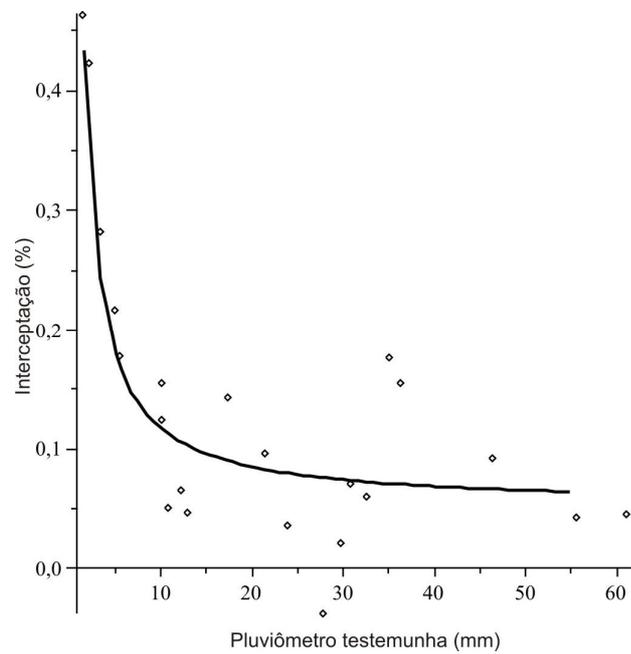


FIGURA 65 – Gráfico da correlação entre interceptação no Tratamento 2 e pluviometria total

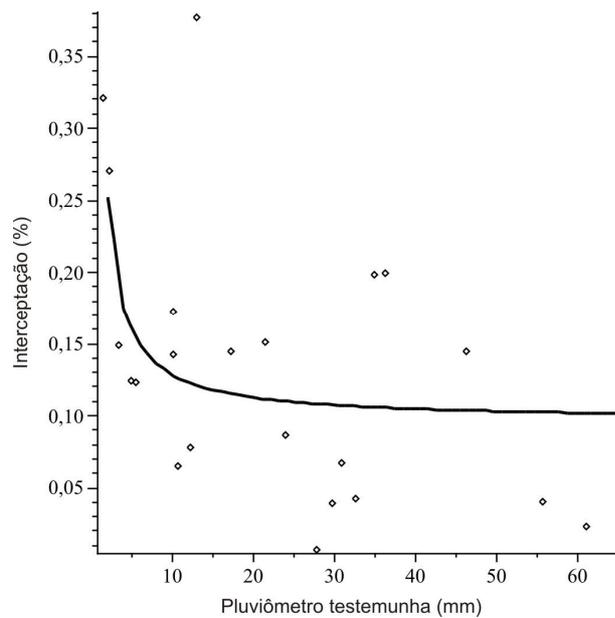


FIGURA 66 – Gráfico da correlação entre interceptação no Tratamento 4 e pluviometria total

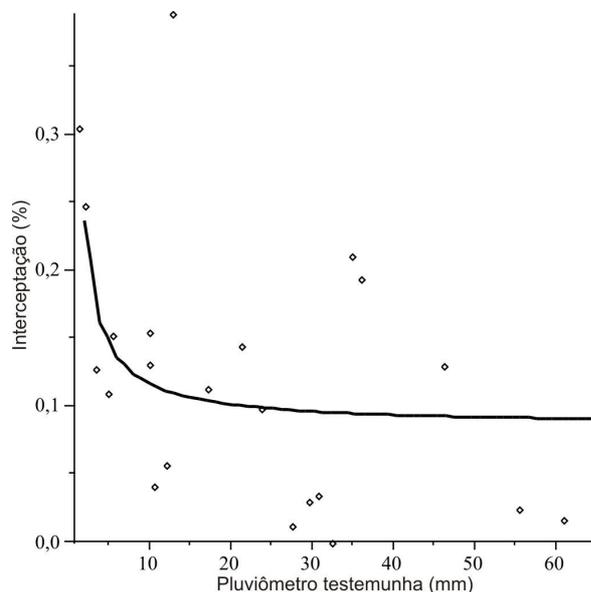


FIGURA 64 – Gráfico da correlação entre interceptação no Tratamento 5 e pluviosidade total

Observa-se na análise da interceptação que apenas o Tratamento 2 apresenta uma boa correlação entre a lâmina interceptada (mm) e a precipitação pluviométrica medida no tratamento 3 (testemunha, pluviômetros à céu aberto), o que se deve a alguns fatores identificáveis:

- existe um limite de lâmina interceptável, que é característico de cada dossel. A partir de determinado limite superior de lâmina de água, não existe aumento da interceptação, mesmo aumentado a precipitação pluviométrica;
- a umidade antecedente no dossel provoca variações na interceptação;
- o vento exerce influência no comportamento de cada chuva, tanto no sentido de evaporar mais água do dossel e, por consequência aumentar a interceptação, como no aspecto de balançar vigorosamente as folhas e galhos, aumentando a precipitação interna e, por decorrência, diminuindo a interceptação total. A exposição diferente ao vento em cada tratamento pode, em tese, levar a diferentes percentuais de interceptação;
- a existência de alguns valores negativos de interceptação demonstra a existência de precipitações localizadas, que podem ser decorrentes da

- orografia propiciada pelo relevo da região, ou ainda, a existência de estruturas vegetais gotejadoras e concentradoras do fluxo de água sobre determinados pluviômetros, sendo esta segunda opção menos provável, pela relativa homogeneidade de dados entre as quatro repetições de cada tratamento;
- a especificidade do tratamento 2 pode ser também analisada sobre o ponto de vista de que está localizado na área mais declivosa de toda a área do experimento, o que pode submetê-la a um ângulo específico de atingimento por precipitações onde ocorram ventos.

Os dados das médias e dos valores máximos de lâminas interceptadas em cada tratamento estão mostrados na Tabela 09 apresentada a seguir.

TABELA 09 – Lâmina de água interceptada em cada Tratamento

Tratamentos	Média (mm)	Máxima (mm)	Média da precipitação %	Máxima da precipitação %
1	1,7	4,8	7,6	32,7
2	1,5	4,0	6,7	42,3
4	1,7	3,8	10,8	26,9
5	1,4	3,0	9,5	25,0
Média das médias	1,6	3,9	8,7	31,7

Observa-se que a lâmina média interceptada pelo dossel, de todos os tratamentos, foi de apenas 1,6 mm e que a lâmina máxima, na média, foi de 3,9 mm, que são valores pequenos frente a outras grandezas envolvidas no ciclo hidrológico, tais como a evaporação direta, a evapotranspiração, a infiltração, o escoamento superficial e outros.

Destacam diversos autores que, da lâmina total precipitada, cerca de 1 a 2%, apesar de inicialmente interceptadas pelo dossel, retornam ao solo através do escoamento pelos troncos e caules (UBARANA, 1993; OLIVEIRA e TUCCI, 2003; OLIVEIRA JÚNIOR E DIAS, 2005).

O valor médio de interceptação observado nos tratamentos 1 e 2 (Floresta Ombrófila Mista), que foi de 7,1% e nos tratamentos 4 e 5 (plantio de pinus), que foi de 10,1%, estão de totalmente de acordo com estudos realizados para o mesmo tipo

de vegetação em condições semelhantes às encontradas neste estudo (ARACRUZ, 1996; LIMA, 2004; SCHEER, 2006), o que pode ser indicativo da correta sensibilidade do método utilizado para as condições em que foi realizado este estudo.

Fica evidenciado que quanto menor a precipitação, maior percentualmente é a interceptação. No que se refere às condições deste estudo em especial, ocorreram muitas chuvas de baixa intensidade e lâminas pequenas, o que provoca uma distorção nas médias de percentagem de interceptação, sendo, portanto, mais apropriado considerar-se as médias e máximas de lâminas interceptadas (em mm).

A interceptação máxima na Floresta Ombrófila Mista (Tratamentos 1 e 2) mostrou-se superior a interceptação máxima observada no reflorestamento de Pinus (Tratamentos 4 e 5) em percentuais que variam de 26% a 33%, sendo, em média 29% maior, o que está coerente com a arquitetura de copa do pinus e heterogeneidade da copa da Floresta Ombrófila Mista.

No entanto, a lâmina média interceptada varia, em média, em apenas 6,5% para mais na Floresta Ombrófila Mista, o que indica, em tese, que para baixas precipitações, as interceptações comportam-se de maneira muito semelhante nos dois tipos de cobertura vegetal estudadas. Isso pode ser observado na Tabela 10 abaixo, que mostra o comportamento da lâmina interceptada (média de 4 repetições) para as cinco menores precipitações ocorridas.

TABELA 10 – Interceptação para as cinco menores precipitações medidas pela PCD

PCD (mm)	Trat. 1 (mm)	Trat. 2 (mm)	Trat. 4 (mm)	Trat. 5 (mm)
1,3	0,4	0,6	0,4	0,3
2,0	0,6	0,8	0,5	0,4
3,5	0,8	1,1	0,7	0,6
5,0	0,8	1,2	0,8	0,7
5,6	1,0	1,1	0,8	0,9

É importante destacar que, para se evitar os problemas com orografia e com valores de interceptações negativos, em estudos futuros, semelhantes a este, sugere-se os pluviômetros/pluviógrafos sejam instalados imediatamente acima do

dossel florestal, nos pontos onde estão instalados, sob o dossel, os pluviômetros captadores da precipitação interna, o que daria maior acuracidade aos estudos realizados.

No entanto, essa alternativa apresenta custo muito elevado e dificuldades operacionais muitas vezes intransponíveis, sendo necessário pesar a relação custo/benefício, pois a metodologia utilizada neste estudo revelou-se consistente, sensível e aplicável à maior parte das necessidades de estudos de hidrologia florestal neste segmento específico.

4.2 EXPERIMENTO 2 - INFILTRÔMETROS

Neste experimento, foi testada a utilização, em ambientes florestais, do Infiltrômetro de Anéis Concêntricos, que é considerado como aplicação padrão para determinação da Taxa de Infiltração Constante – TIC, juntamente com um equipamento alternativo, um infiltrômetro retangular duplo, de menor tamanho, peso e consumo de água por determinação.

As determinações ocorreram em três locais, conforme descrito no item Materiais e Métodos, sendo a determinação 1 realizada o local 4, a determinação 2 realizada no local 1 e a determinação 3 realizada em uma área próxima ao local 3 (ver Figura 29).

Os Quadros 07, 08 e 09 apresentam os dados das medições referentes a determinação da Taxa de Infiltração Constante – TIC, pelo uso do Infiltrômetro de Anéis Concêntricos e do Infiltrômetro retangular duplo, conforme descrito anteriormente no item Material e Métodos. Em cada determinação eram realizadas duas medições, sendo que a medição 1 era realizada com os dois equipamentos próximos e condução simultânea e a medição 2 consistia na inversão dos equipamentos, um ocupando exatamente o local anterior do outro e reiniciando-se as medições.

O Quadro 10 apresenta a comparação das Taxas de Infiltração Constante – TIC, de modo a possibilitar a visualização das diferenças apresentadas por esses valores.

Embora o objetivo não fosse o de estabelecer comparações estatísticas entre os equipamentos e entre áreas (tratamentos), percebe-se que ambos os

equipamentos apresentam sensibilidade às variações de local/solo e que, com exceção da medição 1 da determinação 1, em todas as demais medições o infiltrômetro retangular apresenta valores de medição inferiores ao do infiltrômetro cilíndrico.

Medição 1			
Equipamento: anéis conc.		Equipamento: retangular	
n°	mm/hora	n°	mm/hora
1	380,0	1	1500
2	400,0	2	816
3	328,0	3	548
4	332,0	4	444
5	320,0	5	352
6	324,0	6	344
7	320,0	7	344
TIC	321,3	TIC	346,7
Tempo de teste: 120 minutos		Tempo de teste: 120 minutos	
Medição 2			
Equipamento: anéis conc.		Equipamento: retangular	
n°	mm/hora	n°	mm/hora
1	128	1	100
2	108	2	112
3	96	3	80
4	92	4	72
5	88	5	72
6	88	6	72
TIC	89,3	TIC	72,0
Tempo de teste: 100 minutos		Tempo de teste: 100 minutos	

QUADRO 7 – Medições na Determinação 1, no Pinus, relevo ondulado.

Isso também é evidenciado pelos valores obtidos na determinação 3, onde nos dois equipamentos e nas duas medições, obteve-se valores bastante menores que nas duas outras áreas, o que está coerente por ser uma área de corte (empréstimo de solo) que está em recuperação, apesar de apresentar um bosque com cerca de 25 anos de implantado. A dificuldade de infiltração dessa área era visível nos dias de chuva, devido à ocorrência de empoçamentos de água quando ocorriam chuvas de maior duração e intensidade, persistentes por muitas horas, após cessar a ocorrência da precipitação.

Evidencia-se também, pela observação dos dados apresentados, o fato de que a medição 2, nas três áreas, apresenta valores menores que a medição 1, nos dois tipos de equipamentos.

Esse fato pode ser explicado pelo processo de condução da água nos poros do solo. Durante a medição 1, mantendo-se uma carga hidráulica no infiltrômetro, estabelece-se um fluxo de água constante nos poros, que se estabiliza ao atingir-se a Taxa de Infiltração Constante – TIC.

Medição 1			
Equipamento: anéis conc.		Equipamento: retangular	
n°	mm/hora	n°	mm/hora
1	608	1	420
2	524	2	388
3	480	3	316
4	428	4	276
5	420	5	260
6	388	6	264
7	368	7	260
8	368	8	264
TIC	374,7	TIC	262,7
Tempo de teste: 130 minutos		Tempo de teste: 130 minutos	
Medição 2			
Equipamento: anéis conc.		Equipamento: retangular	
n°	mm/hora	n°	mm/hora
1	192	1	92
2	140	2	72
3	112	3	64
4	112	4	64
5	116	5	64
6	112	6	64
-	-	7	64
TIC	113,3	TIC	64,0
Tempo de teste: 100 minutos		Tempo de teste: 120 minutos	

QUADRO 08 – Medições Determinação 2, na Floresta Ombrófila Mista, relevo plano.

Nesse momento, os poros preferenciais de condução de água funcionam como “tubos hidráulicos”, com secção plena e pressão positiva, provocada pela lâmina de água do infiltrômetros, fato esse que mantém a sua estabilidade estrutural (FERREIRA, 1997).

Ao se mudar os equipamentos de local, os poros são favorecidos para não permanecer completamente saturado de água, o que permite que o próprio peso do solo molhado, agindo sobre as estruturas enfraquecidas pelo molhamento excessivo, provoque o colapso de parte dos poros e caminhos preferenciais da água, o que reduz a quantidade de água que pode ser infiltrada na mesma unidade de tempo, ou seja, reduz-se a TIC. A própria operação de colocar-se novamente água nos equipamentos, possibilita a ocorrência de peso e impacto que ajudarão a comprometer ainda mais o sistema poroso inicial.

Medição 1			
Equipamento: anéis conc.		Equipamento: retangular	
n°	mm/hora	n°	mm/hora
1	84	1	92
2	76	2	72
3	74	3	64
4	72	4	64
5	72	5	64
6	72	6	64
7	72	7	64
TIC	72,0	TIC	64,0
Tempo de teste: 120 minutos		Tempo de teste: 120 minutos	
Medição 2			
Equipamento: anéis conc.		Equipamento: retangular	
n°	mm/hora	n°	mm/hora
1	72	1	36
2	68	2	32
3	68	3	36
4	64	4	36
5	64	5	36
6	68	6	36
7	64	-	-
TIC	65,3	TIC	36,0
Tempo de teste: 120 minutos		Tempo de teste: 100 minutos	

QUADRO 09 – Medições na Determinação 3 (Bosque em área de empréstimo de solo, relevo plano)

No entanto, essa sistemática torna a infiltração mais próxima do que ocorre com a chuva natural ou artificial, onde há o molhamento progressivo do solo, o enfraquecimento das estruturas e o colapso parcial da porosidade, pelo entupimento superficial dos mesmos.

		Infiltrômetros	
		Anéis concêntr. mm/h	Retangular mm/h
Determ. 1	Medição 1	321,3	346,4
	Medição 2	89,3	72,0
Determ. 2	Medição 1	374,7	262,7
	Medição 2	113,3	90,7
Determ. 3	Medição 1	72,0	64,0
	Medição 2	65,3	36,0

QUADRO 10 – Valores de Taxa de Infiltração Constante com o uso dos Infiltrômetros de Anéis Concêntricos e Retangular

Isso pode ser inferido, a partir da constatação de que uso de infiltrômetros de lâmina de água, tal como o Infiltrômetro de Anéis Concêntricos superestima, numa determinação singular, a real Taxa de Infiltração Constante – TIC – ou a real Velocidade de Infiltração Básica – VIB – de um solo (CRUZ *et al.*, 2003; PANACHUKI *et al.*, 2006).

Para tentar minimizar esse efeito, diversos autores propuseram o desenvolvimento de equações que tentam eliminar o efeito da coluna de água e, basicamente, todas elas são desenvolvidas a partir da análise de regressão da infiltração acumulada (lâmina infiltrada acumulada a cada intervalo de tempo considerado, em todo o tempo de medição) relacionada com o tempo acumulado em cada intervalo acumulado, sendo as mais utilizadas a **Equação Potencial** e a **Equação de Kostiakov-Lewis** (BERNARDO, 1995).

Segundo Bernardo (1995), a equação de Kostiakov-Lewis exige a determinação de uma constante a mais, referente ao tipo de solo, o que a torna mais difícil de ser ajustada aos dados de campo.

Assim sendo, optou-se, neste estudo, pela Equação Potencial para analisar os valores de Velocidade de Infiltração – VI – dos dados obtidos, segundo a metodologia descrita por Bernardo (1995), ou seja, pela transformação dos dados de infiltração acumulada (Y) e tempo acumulado (X) para uma escala logarítmica.

Por essa equação tem-se que:

$$VI = a.n.T^{n-1}, \text{ onde:}$$

- a = constante dependente do solo, determinada pela interseção da curva no eixo Y
- n = constante do solo, determinada pela declividade da reta
- T = tempo de infiltração em minutos
- VI = velocidade de infiltração instantânea, em cm/min

Essa equação tem uma limitação, pois à medida que o tempo de infiltração tende ao infinito o valor da VI tende a zero, o que não ocorre na prática. Isso limita seu uso em tempos curtos (BERNARDO, 1995). Para efeitos práticos, neste estudo, considerou-se como tempo máximo, aquele em que ocorreu a estabilização da infiltração, ou seja, quando se obteve a VIB .

Como a técnica padrão não estabelece a troca de equipamentos, apresenta-se no Quadro 11 os dados referentes apenas a medição 1 de cada equipamento.

		Infiltrômetro anéis concêntricos					Infiltrômetro retangular				
		a	n	T	VI para tempo T (mm/h)	VIB (mm/h)	a	n	T	VI para tempo T (mm/h)	VIB (mm/h)
Deter. 1	Med. 1	1,05	0,54	105	40,8	321,3	1,75	0,74	60	267,2	346,4
Deter. 2	Med. 1	1,6	0,63	105	108	374,7	1,4	0,46	90	34	262,7
Deter. 3	Med. 1	0,21	0,12	75	0,34	72	0,29	0,11	45	0,65	64

QUADRO 11 – Parâmetros calculados para a Equação Potencial e determinação da velocidade de infiltração instantânea para o tempo de estabilização de infiltração

Percebe-se que a aplicação da Equação Potencial reduz, para o mesmo tempo onde se obteve a estabilização da infiltração (VIB), os valores de taxa de infiltração, reduzindo o efeito da coluna de água.

No entanto, as determinações 1 e 2 da Tabela 21, são exatamente as mesmas utilizadas para o experimento com as mesas coletoras (Experimento 1 deste trabalho), sendo a Determinação 1 correspondente ao local 4 no experimento das mesas coletoras e a Determinação 2 corresponde ao local 1 desse mesmo experimento. Nesse experimento observou-se que, mesmo com chuvas de baixa precipitação, já a partir de 5 mm, tem-se escoamento superficial, o que demonstra,

na prática, para as condições em que ambos os experimentos foram realizados, que os valores obtidos pelo uso dos infiltrômetros cilíndricos e retangulares, quer sejam de VIB ou de VI, ou ainda da Taxa de Infiltração Constante – TIC – são superestimados em muitas vezes, mesmo com o ajuste promovido pela Equação Potencial.

Isso está coerente com o que afirma Ferreira (1997), de que na utilização dos infiltrômetros de lâmina de água, os resultados obtidos representam apenas a capacidade de infiltração da água gravitacional no solo e não a efetiva Taxa de Infiltração de água de um solo.

É importante destacar que na medição 2, com o solo completamente saturado de água, os valores da TIC são reduzidos em percentuais que variam entre 20% e 56% no equipamento cilíndrico e entre 27% e 90% no equipamento retangular, o que faz, nas condições em que o experimento foi conduzido, que a superestimação dos valores de TIC seja menor do que na primeira medição, com o solo em condições normais de umidade.

Embora as equações que determinam a Velocidade de Infiltração a partir dos dados de infiltração acumulada não tenham sido desenvolvidas para a condição estabelecida na medição 2, poderá ser interessante promover seu ajuste empírico, em especial das constantes referentes ao solo, de modo a testar se os valores obtidos se aproximarão mais da realidade de campo. Essa é uma possibilidade que, pelas vantagens operacionais do infiltrômetro retangular, deve ser testada e desenvolvida.

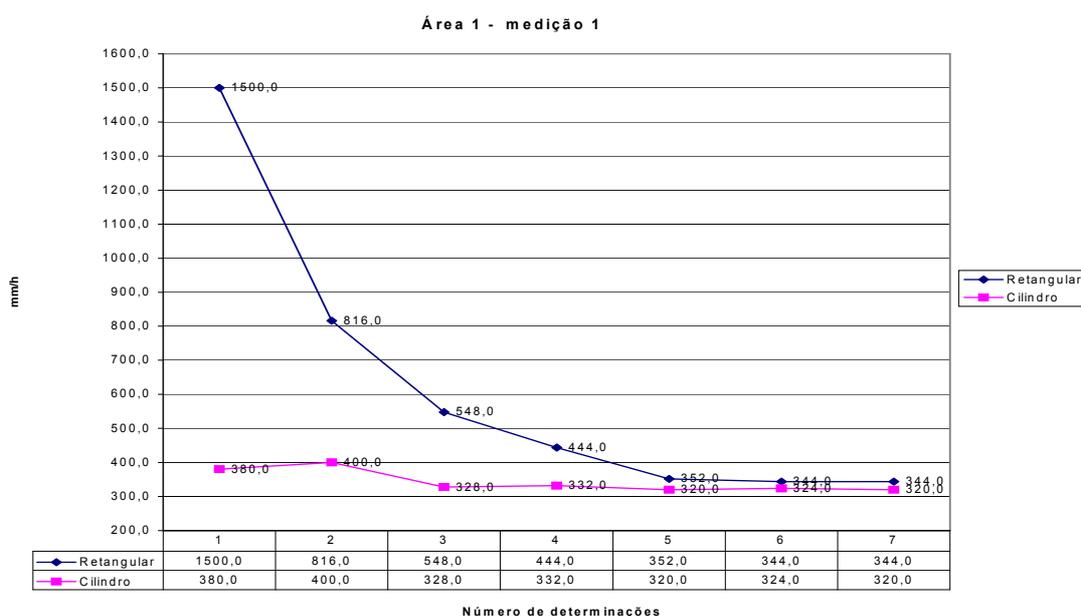
Dentro das aplicações de utilização dos infiltrômetros de lâmina, uma das principais é a comparação da VIB ou da TIC entre diferentes solos ou diferentes tratamentos de manejo de solos, como forma de avaliação da capacidade de infiltração em diferentes situações (KLAR, 1988; REICHARDT, 1990; BERNARDO, 1995; PAZ e OLIVEIRA, 2006; SOUZA, 2006). Para essa aplicação específica, o infiltrômetro retangular mostra-se capaz de propiciar as mesmas comparações que o infiltrômetro cilíndrico, com a vantagem de menor peso para transporte e menor consumo de água. Isso pode ser observado na Tabela 11, apresentada a seguir .

TABELA 11 – Comparação de peso e consumo de água dos infiltrômetros

Equipamento	Peso total dos infiltrômetros	Consumo máximo de água por determinação
Anéis Concêntricos	30,0 Kg	600 litros
Retangular	15,6 Kg	200 litros

O infiltrômetro retangular apresenta sensibilidade para traçar as curvas de infiltração e a obtenção da VIB/TIC, o que está coerente com o colocado pelos autores Klar (1991), Ferreira (1997), Naguettini (1998), Rodrigues, Silva e Vieira (2001) e Ranzini *et al.* (2004), que afirmam serem eficazes equipamentos infiltrômetros de lâmina de água, de porte reduzido e formas diversas.

Analisando-se os dados obtidos no experimento e comparando-se com o apresentado na Tabela 11 acima, é possível inferir vantagens na utilização do infiltrômetro retangular, nas condições em que foi desenvolvido este experimento. Em especial nas condições de ambientes florestais, essa vantagem se acentua sobremaneira, pelas dificuldades de transporte do equipamento e da água necessária para obter as medições. As Figuras 68 a 73 apresentam, a seguir, a visualização do comportamento da infiltração em cada área, equipamento e medição. São apresentados graficamente todos os pontos obtidos até o estabelecimento de infiltração constante, que representa a VIB/TIC.

**FIGURA 68** – Gráfico da infiltração na determinação 1 (pinus, relevo ondulado) e medição 1 para os dois tipos de infiltrômetros

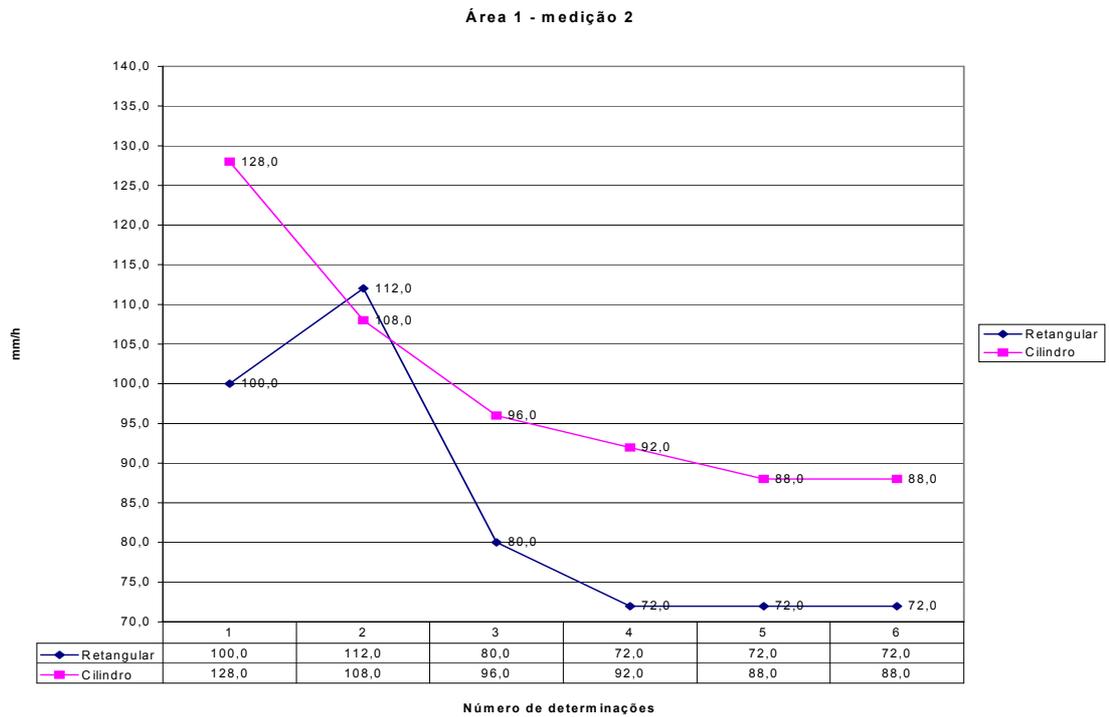


FIGURA 69 – Gráfico da infiltração na determinação 1 (pinus, relevo ondulado), medição 2 para os dois tipos de infiltrômetros.

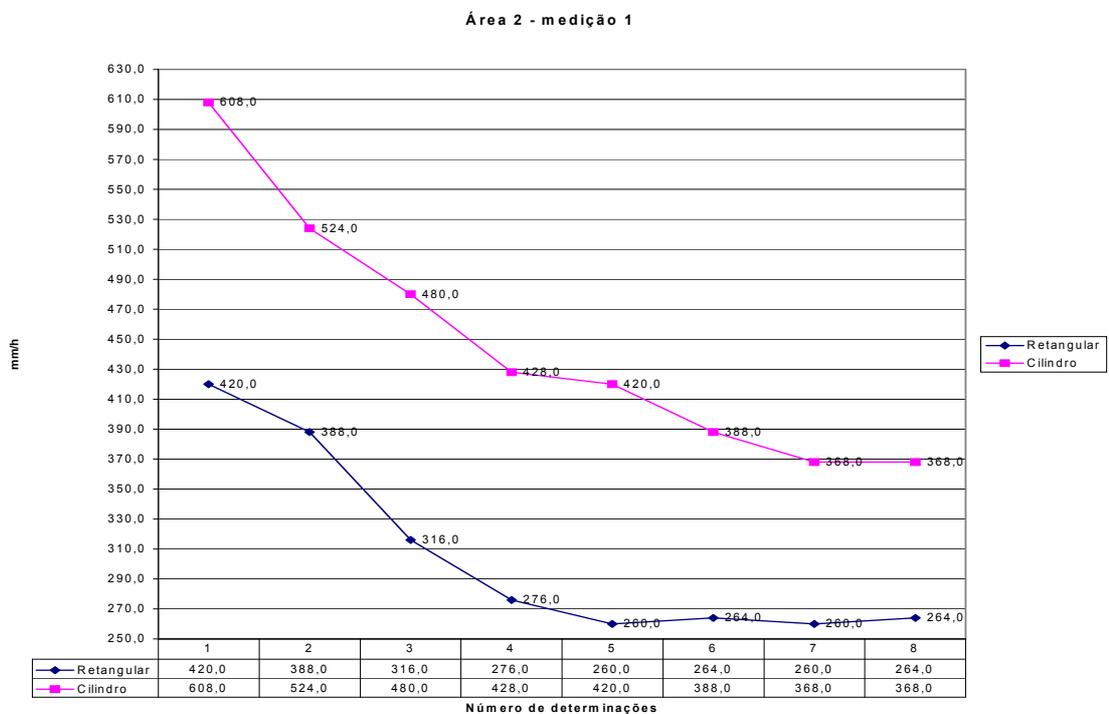


FIGURA 70 – Gráfico da infiltração na Determinação 2 (Floresta Ombrófila Mista, relevo plano), medição 1 para os dois tipos de infiltrômetros.

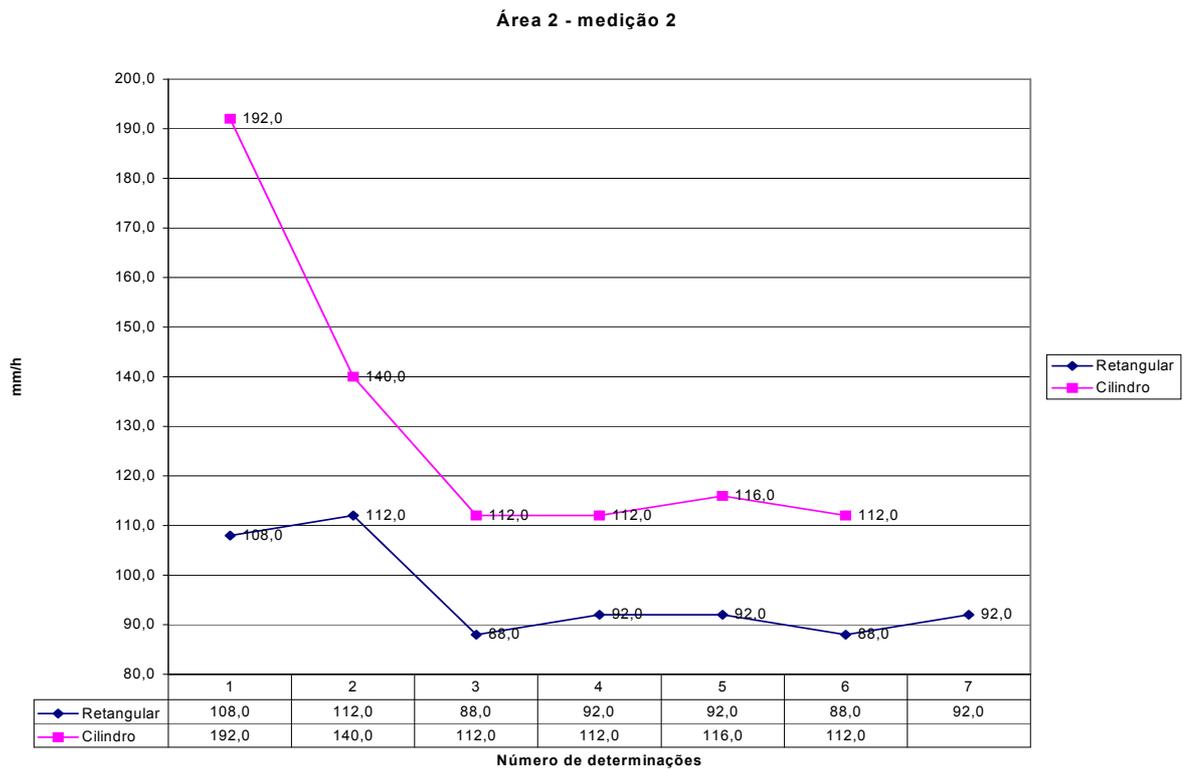


FIGURA 71 – Gráfico da infiltração na Determinação 2 (Floresta Ombrófila Mista, relevo plano), medição 2 para os dois tipos de infiltrômetros.

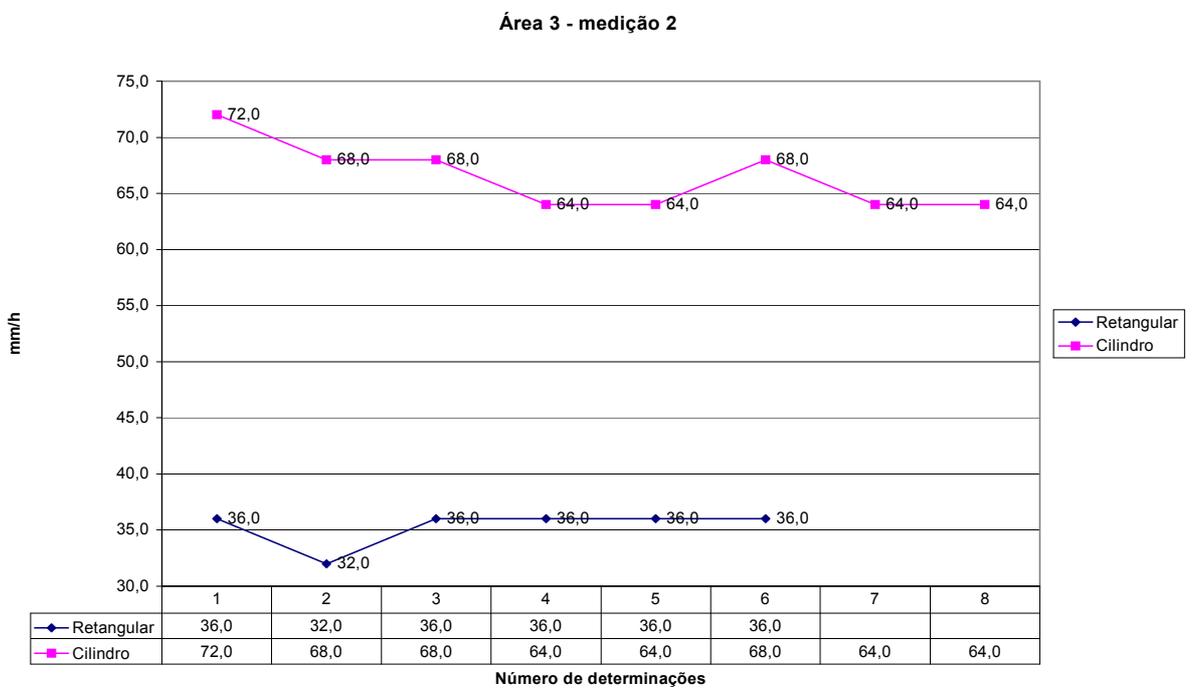


FIGURA 72 – Gráfico da infiltração na Determinação 3 (bosque, área de empréstimo de solos, relevo plano), medição 1 para os dois tipos de infiltrômetros.

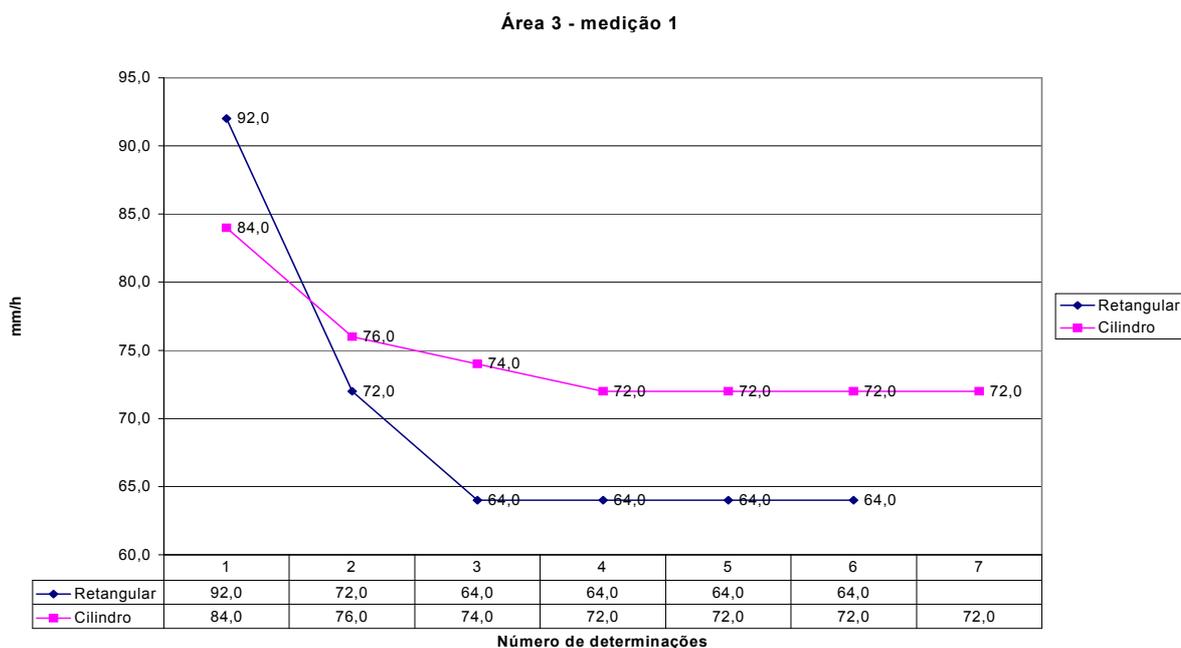


FIGURA 73 – Gráfico da infiltração na Determinação 3 (bosque, área de empréstimo de solos, relevo plano), medição 1 para os dois tipos de infiltrômetros.

No Quadro 12, estão apresentados os dados das curvas ajustadas, que explicam a relação entre tempo e infiltração, obtidos nas condições deste experimento. No Anexo II estão apresentadas também as plotagens das referidas curvas, para possibilitar a visualização das curvas de infiltração ajustadas obtidas pela utilização dos dois equipamentos em cada determinação/área.

Destaca-se que na determinação 3, medição 2, equipamento retangular, houve uma estabilidade dos resultados do experimento, tendo gerado uma distribuição retangular dos pontos, não cabendo ajuste nem de modelo matemático nem de regressão linear para o caso. Salienta-se que esse fato deve ter ocorrido em função da completa saturação de água no solo na 2ª medição, neste solo em especial, pela sua baixa condutividade hidráulica.

Na determinação 1, medição 2 do equipamento retangular, e na determinação 2, medição 1 do equipamento retangular, foi possível melhorar o ajuste através da alteração da função, sendo mostrado os dois ajustes possíveis em cada situação.

Tendo em vista que a infiltração se estabiliza, mas as funções permitem aplicação de valores de tempo cada vez maiores, destaca-se que a aplicação das curvas deve ocorrer no intervalo de tempo maior que zero e menor ou igual ao

primeiro tempo onde houve a estabilização da VIB, o que é apresentado no Quadro 13.

Determinação/Área	Medição	Método	Função	R ² ajustado
Determinação 1 - Pinus, relevo ondulado	1	Cilindro	$y = 306,09 + 1512,19 \cdot \frac{1}{x}$	0,8537
	1	Retangular	$y = 105,21 + 20893,19 \cdot \frac{1}{x}$	0,9962
	2	Cilindro	$y = 79,82 + 741,39 \cdot \frac{1}{x}$	0,9829
	2	Retangular	$y = 63,35 + 783,14 \cdot \frac{1}{x}$	0,8763
	2	Retangular (melhorado)	$y = 5,37 + 244,09 \cdot \frac{1}{x^{0,3}}$	0,9222
Determinação 2 - Floresta Ombrófila Mista, relevo plano	1	Cilindro	$y = 354,28 + 4137,82 \cdot \frac{1}{x}$	0,9063
	1	Retangular	$y = 236,93 + 3049,57 \cdot \frac{1}{x}$	0,8561
	1	Retangular (melhorado)	$y = 151,95 + 1091,89 \cdot \frac{1}{x^{0,5}}$	0,9051
	2	Cilindro	$y = 89,86 + 1499,07 \cdot \frac{1}{x}$	0,9497
	2	Retangular	$y = 85,50 + 425,17 \cdot \frac{1}{x}$	0,7229
Determinação 3 - Bosque, área de empréstimo de solo, relevo plano	1	Cilindro	$y = 69,20 + 217,62 \cdot \frac{1}{x}$	0,9830
	1	Retangular	$y = 55,61 + 528,54 \cdot \frac{1}{x}$	0,9557
	2	Cilindro	$y = 63,57 + 129,26 \cdot \frac{1}{x}$	0,6774
	2	Retangular	Distribuição retangular	

QUADRO 12 – Funções entre tempo de infiltração (X) e lâmina infiltrada (Y)

Determinação 1 - Pinus, relevo ondulado	Medição 1	Cilíndrico	75 minutos
		Retangular	90 minutos
	Medição 2	Cilíndrico	75 minutos
		Retangular	60 minutos
Determinação 2 - Floresta Ombrófila Mista, relevo plano	Medição 1	Cilíndrico	90 minutos
		Retangular	75 minutos
	Medição 2	Cilíndrico	45 minutos
		Retangular	45 minutos
Determinação 3 - Bosque, área de empréstimo de solo, relevo plano	Medição 1	Cilíndrico	60 minutos
		Retangular	45 minutos
	Medição 2	Cilíndrico	60 minutos
		Retangular	-

QUADRO 13 – Tempo máximo de precisão das curvas ajustadas

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 CONCLUSÕES

5.1.1 Experimento 1

a) Pluviosidade:

- A utilização dos pluviômetros plásticos mostrou-se adequada aos estudos de ciclo hidrológico, similares a este trabalho, pois a análise de regressão comprovou que os equipamentos dos tratamentos mostram excelentes correlações com os dados precisos do sistema automatizado da Plataforma de Coleta de Dados (PCD). Da mesma forma, os dados dos pluviômetros a céu aberto apresentaram uma excelente correlação com os dados da PCD (R^2 ajustado de 0,9943), demonstrando que podem, efetivamente, representar a pluviometria total de uma área experimental e servirem como tratamento testemunha nesses estudos. As análises de regressão mostraram a adequabilidade dos dados obtidos, comprovando que o equipamento utilizado tem sensibilidade para estudos deste tipo o que, aliado ao baixo custo de aquisição e instalação, o recomendam para uso em estudos análogos;

b) escoamento superficial:

- O conjunto da mesa coletora, mangueira e tambor, associado aos dados de precipitação interna em cada tratamento, mostrou-se muito eficiente na determinação do escoamento superficial, o que foi demonstrado pela análise de significância de médias (Tukey 5%). Os dados mostraram consistência e sensibilidade para determinar como se comportou o escoamento superficial de uma área, permitindo conhecer e mensurar como esse fenômeno de hidrologia de superfície se comporta em função da pluviometria interna e total de uma área de floresta. A análise estatística e avaliação gráfica permitem afirmar que o conjunto de equipamentos é eficiente e eficaz em estudos de escoamento superficial, em ambiente florestal, com escopo similar ao deste estudo;

c) infiltração de água no solo:

- Os dados de regressão linear da infiltração de água no solo em função da precipitação pluviométrica interna de cada tratamento (R^2 ajustado variando de 0,9495 a 0,9954), demonstraram ser possível, para as condições específicas deste estudo, estimar a infiltração de água no solo em função da pluviometria, sob condições de chuva natural, nos limites de pluviometria obtidos no experimento, permitindo afirmar que o conjunto de equipamentos é eficiente e eficaz em estudos de infiltração de água no solo em ambiente florestal, em estudos e aplicações com escopo similar ao deste estudo. A comparação com os dados do experimento 2 demonstrou que a metodologia representa muito melhor os parâmetros de infiltração de água no solo, quando comparado com o método padrão de infiltrômetros de lâmina de água. É importante ainda destacar que a sensibilidade e consistência da metodologia proposta permitiram o estabelecimento de três grupos de chuvas e a análise da infiltração em específico para cada um desses grupos de chuva. Isso demonstrou, através da análise de regressão, que existem comportamentos diferenciados para os grupos de chuva leve, média e pesada. Destacam-se, em especial as chuvas até 18 mm, onde ocorreu uma correlação excelente entre chuva e infiltração (R^2 ajustado variando de 0,9943 a 0,9991) e a descontinuidade existente para chuvas entre 20 mm e 40 mm. Tais possibilidades de avaliação comprovaram a eficiência e eficácia da metodologia adotada de coleta de dados e de avaliação estatística. Pela metodologia adotada, todos os estudos de significância e de regressão linear apresentam a mesma consistência e sensibilidade, tanto para o escoamento superficial, quanto para a infiltração de água no solo, sendo válidas as conclusões de uma situação (escoamento) para a outra (infiltração) e vice-versa;

d) Interceptação:

- A matriz de correlação entre a pluviometria a céu aberto e a pluviometria abaixo de cada dossel florestal (R^2 ajustado variando de 0,9916 a 0,9997),

comprovou que é possível a utilização desses dados, com segurança, para se mensurar a precipitação interna do dossel comparada com a pluviometria total da área experimental, o que permite sua utilização nos estudos de interceptação vegetal e de precipitação efetiva em ambientes florestais, com baixo custo, consistência e sensibilidade adequados à maior parte dos estudos dessa área;

e) conclusões gerais do experimento 1:

- Verificou-se que a mesa/calha coletora, com seus periféricos (pluviômetros, mangueiras e tambor de captação), mostrou-se eficiente, consistente e sensível na determinação dos fenômenos pontuais de hidrologia florestal de superfície, referentes à precipitação interna ao dossel, a lâmina ou volume de água infiltrada no solo e volume de água de escoamento superficial. Pode ser afirmado que a metodologia proposta, para as condições experimentais adotadas, é eficiente e confiável, e que a hipótese de trabalho foi comprovada com sucesso. A aplicação realizada e o embasamento teórico obtido na revisão bibliográfica permitem também afirmar que o equipamento e metodologia de aplicação podem ser utilizados em estudos similares, em ambientes de floresta, e mesmo em áreas de agropecuária, destacando-se ainda como fatores positivos a portabilidade, a facilidade de instalação, a facilidade de obtenção/aquisição, a durabilidade e o baixo custo por unidade. Os equipamentos e a metodologia podem também ser utilizados como elementos de monitoramento, em períodos longos, para contemplar a sazonalidade das precipitações pluviométricas, dos processos de água (fenômenos de superfície) em áreas de preservação permanente, de reserva legal e de reflorestamentos, de modo a contribuir para o estabelecimento de parâmetros para mensuração da “produção e estocagem” de água nas propriedades rurais, o que é fundamental para que se estabeleça mecanismo de remuneração daquele proprietário que contribua para a produção de água, através de florestas, pois se a Lei Federal 9.433/1997 prevê o pagamento pelo uso das águas, a contrapartida deverá ser a de remunerar quem contribui para sua produção. E, para isso, é preciso monitorar e mensurar parâmetros. A análise dos parâmetros de utilização de simuladores de chuva,

descritos no item de “Revisão Bibliográfica” e o desempenho das mesas/calhas coletoras sob condições de chuva natural, indicam ainda a possibilidade de aplicação da metodologia desenvolvida neste estudo, para utilização em coletores acoplados em infiltrômetros de aspersão, ou seja, sob condições de chuva simulada, o que aumenta o leque de possibilidades de utilização dos equipamentos desenvolvidos. É importante destacar que, com aumento significativo do custo por unidade, é possível automatizar toda a coleta de dados dos equipamentos, com a aplicação de pluviógrafos em substituição aos pluviômetros e com a colocação de um “flume” de registro automático de vazão (acoplado a registrador de dados – datalog) em substituição ao tambor coletor de água de escoamento.

5.1.2 Experimento 2

- foi possível aferir, pelos dados obtidos, e pelos ajustes das curvas de infiltração, que o infiltrômetro retangular duplo tem possibilidades de aplicações similares ao método padrão do infiltrômetro cilíndrico duplo, na comparação da Taxa de Infiltração Constante (TIC);
- pelo peso muito menor que o infiltrômetro cilíndrico duplo (45% a menos), pelo menor tamanho e pelo consumo muito menor de água por medição (até 3 vezes menor), o infiltrômetro retangular duplo apresenta vantagens efetivas para uso dentro de florestas, em especial para os estudos comparativos, apesar de ainda ser necessário a determinação dos parâmetros empíricos das Equações de Velocidade de Infiltração, que foram inicialmente desenvolvidas para o cilindro infiltrômetro duplo;
- os equipamentos testados (cilíndrico e retangular) apresentaram curvas de infiltração muito diferentes na segunda medição, quando comparado com a primeira, o que demonstra que a taxa de infiltração calculada por essa maneira é dependente da umidade anterior do solo, em especial quando essa atinge a saturação completa. Isso abre possibilidades que merecem ser avaliadas quanto ao aperfeiçoamento da aplicação de infiltrômetros de lâmina de água. Demonstrou também que o infiltrômetro retangular oferece sensibilidade similar ao do infiltrômetro cilíndrico;

- é importante destacar que as curvas de infiltração relacionadas com a precipitação, determinadas pela metodologia descrita no Experimento 1, se estabelecidas por medições de longo prazo, para se trabalhar com precipitações pluviométricas naturais (no mínimo de 12 meses, para atravessar todas as fases climáticas do ano), ou ainda pela aplicação de chuvas artificiais (simuladores de chuva), podem substituir, com vantagem, as curvas de infiltração estabelecidas a partir dos dados obtidos por infiltrômetros de lâmina de água;
- com as limitações de uso e aplicações específicas de infiltrômetros de lâmina de água, também a hipótese de trabalho para este experimento foi comprovada, pois o uso do infiltrômetro retangular duplo mostrou-se eficiente e consistente para as aplicações de comparação entre solos ou tratamentos na determinação da Taxa de Infiltração Constante, com as demais vantagens advindas do menor tamanho, peso e menor consumo de água.

5.2 RECOMENDAÇÕES

Como praticamente todos os modelos matemáticos que contemplam o escoamento superficial em bacias hidrográficas e a produção de água nessa área estão embasados nos dados gerais de precipitação e deflúvio, com a limitante de não poderem estabelecer relações efetivas para áreas específicas da bacia, torna-se muito interessante relacionar os dados de hidrologia de superfície de uma área específica de contribuição, como, por exemplo, a produção de água em uma linha de drenagem, fonte, vertente ou curso de água.

Nesse sentido, a metodologia desenvolvida no presente estudo, para os fenômenos de superfície (escoamento e infiltração relacionado com a precipitação pluviométrica), se correlacionados com a produção de água na fonte, vertente, curso de água ou linha de drenagem, e com os dados de solo e cobertura vegetal, poderá contribuir para o estabelecimento de parâmetros efetivos para mensuração da produção de água, por medição direta ou pelo desenvolvimento de modelos matemáticos específicos, que considerem a realidade local (parte da bacia hidrográfica) e que poderia abranger áreas de contribuição específicas e pequenas,

tais como reservas legais, áreas de preservação permanente, reflorestamentos, propriedades rurais, pequenas bacias hidrográficas de 1ª ordem e outras.

A aplicação da metodologia desenvolvida neste estudo, utilizada para gerar parâmetros de análise do balanço hídrico de uma determinada área florestal, também poderá permitir que se mensure qual o “saldo” de água resultante por essa área (diferença entre a água infiltrada e toda a água retida ou evapotranspirada na área de estudo), que por certo será utilizada na perenização de corpos de água ou recarga de aquíferos. Com base nesse “saldo”, poderão ser propostos parâmetros de remuneração do “produtor de água”, ou seja, aquele proprietário que, pelo correto manejo dos recursos naturais, em especial os florestais, gera “excedente de água” para o bem comum da Sociedade. Isso poderia ser relacionado para a produção de água de superfície ou contribuição total, incluindo a recarga de aquíferos.

O equipamento desenvolvido apresenta potencial para utilização em áreas agrícolas e pecuárias, sendo desejável que seja testado nessas condições específicas, em especial em diferentes tipos de solos e diferentes manejos desses solos.

Quanto ao infiltrômetro retangular duplo, é necessário estabelecer estudos para correlacionar as lâminas de água infiltrada e a taxa de infiltração (TIC) obtida por esse método, com a efetiva taxa de infiltração obtida por infiltrômetros de aspersão (chuva simulada), de modo a obter os parâmetros que permitam o ajuste de modelos matemáticos, de modo que ele também possa ser utilizado como padrão, alternativamente ao método do infiltrômetro cilíndrico duplo, frente as vantagens operacionais que apresenta.

Evidencia-se a necessidade de se estabelecer métodos práticos de mensuração da efetiva produção de água pelos proprietários rurais, que venham a contribuir para o estabelecimento de políticas públicas e sociais que remunerem efetivamente àqueles que recebem a incumbência de serem os “guardiões” e “produtores” desse bem natural precioso, indispensável e que tem valor econômico, que é a água doce, a água potável.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABID. **Dicionário de Termos Técnicos de Irrigação e Drenagem**. 1ª ed. Brasília, DF: Assoc. Bras. de Irrigação e Drenagem. 1978. 613 p.

ABREU, S.L.; WOHLBERG, E.; GONÇALVES, C.; SILVEIRA, M.; REICHERT, J.; REINERT, D.J. Propriedades hídricas afetadas por sistema de manejo de um argissolo. In: XIII Congresso Brasileiro de Manejo e Conservação de Solos e Água, Ilhéus-BA, agosto 2000. **Anais...** Ilhéus, BA, 2000.

ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; BLUME, E. Variabilidade espacial de propriedades físico-hídricas do solo, da produtividade e da qualidade de grãos de trigo em Argissolo Franco Arenoso sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria v.33, n.2 p.275-282, mar-abr, 2003.

ALENCAR, D. B.; SILVA, C.; OLIVEIRA, C. A. Influência da precipitação no escoamento superficial em uma microbacia hidrográfica do Distrito Federal. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.1, p.103-112, jan./abr. 2006

ALMEIDA, A. C. e SOARES, J. V. Comparação entre uso de água em plantações de *Eucalyptus grandis* e floresta ombrófila densa (mata atlântica) na Costa Leste do Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.27, n.2, p.159-170, 2003

ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A.C.; SOUZA, L. C. F.; GONÇALVES, M.C.; CARVALHO, D. F. de. Infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, vol. 7 n. 2, mai./ago., 2003.

ANIDO, N. M. R. **Caracterização hidrológica de uma bacia experimental visando identificar indicadores de monitoramento ambiental**. Piracicaba-SP, 2002. Dissertação (Mestrado), Escola Superior Luiz de Queiroz.

ARACRUZ. Projeto Monitoramento de Microbacia: relatório das atividades realizadas em 1995. Vitória, ES, 1996. 76 p. Disponível em http://www.aracruz.com.br/minisites/microbacia/shared/relatorio_1995.pdf. Acesso em 11/01/2007.

ARCOVA, F. C.; CICCIO, V.; ROCHA, P. A. Precipitação efetiva e interceptação das chuvas por floresta de mata atlântica em uma microbacia experimental em Cunha, São Paulo. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.27, n.2, p.257-262, 2003

BANCO MUNDIAL. **Libro de Consulta para Evaluación Ambiental – Volume II: Lineamentos Sectoriales**. Washington, DC: Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento, 1992. 276 p.

BARBOSA, J. P. S.; VALERIANO, M.; SCOFIELD, G. B. Cálculo do excedente hídrico no alto curso do Rio Paraíba do Sul, SP. In: XII Simpósio Brasileiro de

Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005. **Anais...** INPE, 2005. p. 2463-2470.

BATEIRA, C.; SEIXAS, A.; PEREIRA, S.; HERMENEGILDO, C.; CANCELA, M. Áreas experimentais de monitorização do funcionamento hidrodinâmico de vertentes organizadas em patamares agrícolas. Porto, PT: Universidade do Porto – TERRISC, 2006. 10p. Disponível em http://www.conselldemallorca.net/mediambient/terrisc/divulgation_porto.doc>. Acessado em 07/10/2006.

BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. 6ª ed. Viçosa, MG: Imprensa da Universidade - UFV, 1995. 657 p.

BERTÉ, L.; MARQUES, R.; PIAZZA, G. E. ; SCHWARZBACH, J. Contribuição de Floresta Atlântica em regeneração para a deposição de nitrogênio e potássio através da água da chuva. In: Seminário Nacional Degradação e Recuperação Ambiental, 2003, Foz do Iguaçu. **Anais...** Seminário Nacional sobre Degradação e Recuperação Ambiental - Perspectiva Social. Curitiba: FUPEF, 2003.

BERTOL, O. J. **Contaminação da água de escoamento superficial e da água percolada pelo efeito de adubação mineral e adubação orgânica em sistema de semeadura direta**. Curitiba, PR, 2003. Tese (Doutorado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

BORGES, E.; ANTONINO, A. C.; DALLÍOLIO, A.; AUDRY, P.; CARNEIRO, C. J. Determinação da condutividade hidráulica e da sorvidade de um solo não-saturado utilizando-se permeâmetro a disco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 11, p. 2083-2089, nov. 1999

BORGES, M. J. ; PISSARA, T. C.; VALERI, S. V.; OKUMURA, E. M. Reflorestamento compensatório com vistas à retenção de água no solo da bacia hidrográfica do Córrego Palmital, Jaboticabal, SP. **Scientia Forestalis** n. 69, p.93-103, dez. 2005.

BRAGA, A. C. O. **Métodos Geométricos Aplicados: Módulo Hidrogeologia**. 1ª ed. Rio Claro: IGCE/DGA/UNESP, 2006. 91 p.

BRANCO, S. M. **Água, origem, uso e preservação**. 9ª ed. São Paulo: Moderna, 1998. 72 p.

BRITO, L. T. L.; LOUREIRO, B. T.; DENICULI, W.; RAMOS, M.M. & SOARES, J. M. Influência do método na determinação da velocidade de infiltração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 20: 503-507, 1996.

CANALI, G. V.; CORREIA, F. N.; LOBATO, F.; MACHADO, E. S. **Water Resouces Management – Brazilian and European Trends and Approaches**. Porto Alegre, RS: ABRH, 2000. 346 p.

CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, vol. 30, n. 2 - Viçosa Mar./Apr. 2006

CARDOSO, D. P.; SILVA, M. L.; CURI, N.; SÁFADI, T.; FONSECA, S.; FERREIRA, M. M.; MARTINS, S. G.; SÁ, J. J.; MARQUES, M. Erosão hídrica avaliada pela alteração na superfície do solo em sistemas florestais. **Scientia Florestalis**, n.66, p.25-37, dez. 2004.

CARPI JÚNIOR, S. **Processos erosivos, recursos hídricos e riscos ambientais na bacia do rio Mogiguaçu**. Rio Claro-SP, 2001. Tese (Doutorado), Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Estadual Paulista

CARVALHO, F. S. C. e TUCCI, C. E. M. **Fundamentos do escoamento não permanente**. Porto Alegre: UFRGS/IPH, 2003.

CARVALHO, N. O. ; FILIZOLA JÚNIOR, N.; SANTOS, P. M. C.; LIMA, J. E. F. W. **Guia de práticas sedimentométricas**. 1ª ed. Brasília; ANEEL/ANA, 2000. 154 p.

CASSOL, E. A. **Erosão dos solos – influência do uso agrícola, do manejo e preparo dos solos**. Porto Alegre-RS: IPRN, 1986. 40 p.

CASSOL, E. A.; CANTALICE, J. R. B.; REICHERT, J. M.; e MONDARDO, A. Escoamento superficial e desagregação do solo em entressulcos em solo franco-argilo-arenoso com resíduos vegetais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 7, p. 685-690, jul. 2004.

CASTILHO, C. P. G. **Interceptação de chuvas na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* ssp.)** Campinas-SP, 2000. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas.

CECÍLIO, R. A.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; MARTINEZ, M. A. Modelagem da infiltração de água no solo sob condições de estratificação utilizando-se a equação de Green-Ampt. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 3, p. 415-422, 2003.

CECÍLIO, R. A. e REIS, E. F. **Apostila didática: manejo de bacias hidrográficas**. Alegrete, ES: Editora Universidade Federal do Espírito Santo - Centro de Ciências Agrárias - Departamento de Engenharia Rural, 2006. 73 p.

CHAVES, M. L.; BRAGA JÚNIOR, B.; DOMINGUES, A. F.; SANTOS, D. G. **Quantificação dos Benefícios e Compensações do “Programa do Produtor de Água” (ANA): II. Aplicação da Metodologia**. Brasília, DF: ANA – Agência Nacional de Águas (no prelo), 2006.

CICHOTA, R.; JONG VAN LIER, Q.; ROJAS, C. A. L. Variabilidade espacial da taxa de infiltração em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** vol. 27, n. 5, Viçosa Sept./Oct. 2003

CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. **Applied hydrology**. New York: McGraw-Hill, 1988. 572 p.

COELHO, R. D.; MIRANDA, J. H.; DUARTE, S. N. Infiltração da água no solo: parte I - infiltrômetro de anéis versus infiltrômetro de aspersores. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p.137-141, 2000.

COLLISCHONN, W. **Alguns Fundamentos de Hidrologia**. 1ª ed. Porto Alegre, RS: IPH-UFRGS. 2005. 69 p.

COSTA, E. L.; SILVA, A. M.; COLOMBO, A.; ABREU, A. R. Infiltração de água em solo, determinada por simulador de chuvas e pelo método dos anéis. Campina Grande, PB: **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, n. 2, p.131-134, 1999.

COSTA, P. N. F. **Verificação do modelo de circulação geral da atmosfera do CPTEC/COLA: ciclo hidrológico e processos de superfície**. São José dos Campos, 1997. Dissertação (Mestrado), Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE.

CRUZ, A. C. R.; PAULETTO, E. A.; FLORES, C. A.; SILVA, J. B. Atributos físicos e carbono orgânico de um argissolo vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:1105 -1112, 2003.

CURI, R. C.; CURI, W. F.; SILVA, P. C. M.; ALBUQUERQUE, S. O. Planejamento integrado do uso da água em propriedades rurais: considerações. In: 3º Simpósio Brasileiro de captação de Água de Chuva no Semi-Árido, Petrolina, 2003. **Anais...** Petrolina-PE, 21-23 nov. 2001.

DAEE. **Hidrologia e Hidráulica: Conceitos Básicos e Metodologia**. 2ª ed. São Paulo, SP. Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo. 2006. 98 p.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2ª ed. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2006. 306 p.

FABIAN, A. J. e OTTONI FILHO, T. B. Determinação de capacidade de campo in situ ou através de equações de regressão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.5 p. 1029-1036, maio 2000.

FERREIRA, C. G. Erosão hídrica em solos florestais. **Revista da Faculdade de Letras-Geografia I**, vol. XII/XIII, Porto/PT, p.145-244, 1997.

FERREIRA, S. J. F.; LUIZÃO, F. J.; DALLAROSA, R. L. G. Precipitação interna e interceptação da chuva em floresta de terra firme submetida à extração seletiva de madeira na Amazônia Central. **Acta Amazônica**: V. 35(1) p. 55-62, 2005.

FRANCO, F. S.; COUTO, L.; CARVALHO, A. F.; JUCKSCH, I.; FERNANDES FILHO, E.I.; SILVA, E.; MEIRA NETO, J. A. Quantificação de erosão em sistemas agroflorestais e convencionais na zona da mata de Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 26, n. 6, p.751-760, 2002.

FREITAS, M. M. **Funcionalidade Hidrológica dos Cultivos de Banana e Territorialidades na Paisagem do Parque Municipal de Grumari – Maciço da Pedra Branca–RJ**. Rio de Janeiro, 2003. Tese (Doutorado), Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

GANHO, N. G. e MARINONI, R. C. A variabilidade espacial das famílias de Coleoptera (Insecta) entre fragmentos de Floresta Ombrófila Montana (Bioma Araucária) e plantação de *Pinus elliottii* Engelmann, no Parque Ecológico Vivat Floresta, Tijucas do Sul, Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**. 23 (4):1159-1167, dezembro 2006.

GBUREK, W. J.; SHARPLEY, A. L. Hidrologic controls on phosphorus loss from upland agricultural watersheds. **J. Environ. Qual.**, 27: p. 267-277, 1998.

GODOY, L. C. Apostila de Geologia. Ponta Grossa: UEPG/Dep. Geociências, 2005 137 p. Disponível em <http://www.geotema.com.br/downloads.htm>. Acessado em 10/04/2007.

GOMES, M. A.; BORGES, S. J. ; FRANCO, I. C.; Corrêa, J. L. P. Tecnologias apropriadas à revitalização da capacidade de produção de água de mananciais. In: **Trabalhos Técnicos sobre água da 33ª ASSEMAE**. Santo André, SP, Julho de 2003

HERSHFIELD, D. M. Effective rainfall and irrigation water requirements. **Journal of the Irrigation and Drainage**. New York, v. 90, p. 33-47, 1964.

INSTITUTO DA ÁGUA. A água, a Terra e o Homem: o ciclo da água. Lisboa, PT: Instituto da Água, 2003. 20 p. Disponível em: <http://www.inag.pt/inag2004/port/divulga/pdf/Agterrahomweb.pdf>. Acessado em 01/11/2006.

KLAR, A. E. **A água no sistema solo-planta-atmosfera**. 2ª ed. São Paulo: Nobel, 1988. 408 p.

KLAR, A. E. **Irrigação – Freqüência e quantidade de aplicação**. 1ª ed. São Paulo: Nobel, 1991. 156 p.

LANÇA, R. M. e RODRIGUES, A. C. Apresentação de um modelo distribuído de precipitação/escoamento superficial. Lisboa, PT: Associação Portuguesa de Recursos Hídricos. Trabalho apresentado no Congresso da Água, 2000. 14p. Disponível em <http://www.aprh.pt/congressoagua2000/comunic/33.pdf>. Acessado em 06/03/2007

LANZANOVA, M. E. **Atributos físicos do solo em sistemas de culturas sob plantio direto na integração lavoura-pecuária**. Santa Maria, RS, 2005. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo/UFSM.

LEOPOLDO, P. R.; CONTE, M. L. Repartição da água de chuva em cobertura vegetal com características de cerradão. In: Simpósio Brasileiro de Hidrologia e

Recursos Hídricos e Simpósio Internacional de Recursos Hídricos em Regiões Metropolitanas, 6., 1985, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABRH, 1985. v. 3. p. 212-220.

LIEBSCH, D. e ACRA, L. A. Riqueza de espécies de sub-bosque de um fragmento de Floresta Ombrófila Mista em Tijucas do Sul, PR. **Ciência Florestal**, v. 14 (1):67-76. 2004.

LIMA, C. A. e SILANS, A. P. Variabilidade espacial da infiltração de água no solo. **Revista da Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n.12, p.2311-2320, dez. 1999

LIMA, P. de A. e LEOPOLDO, P. R. Interceptação de chuva em mata ciliar na região central do estado de São Paulo. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, SP. v. 14 (3):25-33, 1998.

LIMA, W. de P. O Papel Hidrológico da Floresta na Proteção dos Recursos Hídricos. **Revista Silvicultura**, V.41, p.59-62. 1986.

LIMA, W. de P. **Curso de Hidrologia Florestal**. Piracicaba, SP: Editora USP/ESALQ – Departamento de Ciências Florestais, 2004. 320 p.

LINHARES, C. A. **Influência do desflorestamento na dinâmica da resposta hidrológica na Bacia do Rio Ji-Paraná/RO**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Especiais-INPE, 2006. 217 p.

LINO, C. e DIAS, H. **Águas e florestas da mata atlântica: por uma gestão integrada**. São Paulo: Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, 2003. 132 p.

LLORENS, P. e GALLART, F. A simplified method for forest water storage capacity measurement. Amsterdam: **Journal of Hydrology**, v. 240, n. 1-2, p.131-144, 2000.

MACHADO, C. C.; GARCIA, A. R.; SILVA, E.; FONTES, A. M. Comparação de taxas de erosão em estradas florestais estimadas pelo modelo WEPP (Water Erosion Prediction Project) modificado em relação a medições experimentais. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 27, n. 3, p. 295-300, 2003.

MAGALHÃES, L. P. C. **Modelo Integrado para Simulação de Sistemas Hídricos**. Rio de Janeiro, 2005. Dissertação (Mestrado), COPPE/UFRJ/Engenharia Civil.

MAURO, F. **Vazão e qualidade da água em manancial degradado do cinturão verde de Ilha Solteira – SP**. Ilha Solteira-SP, 2003. Dissertação (Mestrado), Recursos Hídricos, Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira-UNESP.

MEDEIROS, J. D. F.; SANTOS, N. C. F.; GUEDES, F. X.; SANTOS, M. de F. **Análise da precipitação e do escoamento superficial na bacia hidrográfica do rio Piranhas-Açu-RN**. 1ª ed. Natal, RN: EMPARN, 2005. 32 p.

MEIN, R. G.; LARSON, C. L. Modeling infiltration during a steady rain. **American Geophysical Union**, Washington, v. 9, n. 2, p. 384-394. 1973.

MELLO, C. R.; LIMA, J. M.; SILVA, A. M.; LOPES, D. Abstração inicial da precipitação em microbacia hidrográfica com escoamento efêmero. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 3, p. 494-500, 2003

MENDES, C. A. R. **Erosão Superficial em Encosta Íngreme sob Cultivo Perene e com Pousio no Município de Bom Jardim-RJ**, 2006. Tese (Doutorado), Engenharia Civil, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

MENDES, M. E. G; VILLAGRA, M. M.; SOUZA, M. D.; BACCHI, O. O. S.; REICHARDT, K. Relações hídricas em seringal no município de Piracicaba. **Scientia Agrícola**, Piracicaba-SP, 49 (1) 103-109, 1992.

MENDIONDO, E. M. e TUCCI, C. E. M. Escalas hidrológicas. II: diversidade de processos na bacia vertente. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, ABRH, v. 2, n. 1, p. 59-122, 1997.

MENINO, I. B. e MACÊDO, L. **Água e solo: riqueza da propriedade rural**. 1ª ed. João Pessoa, PB: Emepa, 2005. 75 p.

MILLAR, A. A. **Drenagem de Terras Agrícolas: bases agrônômicas**. São Paulo; McGraw-Hill, 1978. 276 p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Recursos Hídricos: Conjunto de Normas Legais**. 1ª ed. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, 2002. 141 p.

MIRANDA, J. C. **Interceptação das Chuvas pela Vegetação Florestal e Serrapilheira nas Encostas do Maciço da Tijuca: Parque Nacional da Tijuca-RJ**. Rio de Janeiro, 1992. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

NAGUETTINI, M. **Engenharia de Recursos Hídricos**. 1ª ed. Belo Horizonte, MG: Universidade Federal de Minas Gerais – Escola de Engenharia - DEHRH, 1999. 252 p.

OTTONI, M. V. **Classificação Físico-Hídrica de Solos e Determinação da Capacidade de Campo in situ a partir de Testes de Infiltração**. Rio de Janeiro, 2005. Dissertação (Mestrado), COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

OTTONI FILHO, T. B. Uma classificação físico-hídrica dos solos. **R. Bras. Ci. Solo**, 27: 211-222, 2003.

OLIVEIRA, C. M. e TUCCI, C. E. M. **Hidrologia I – Interceptação**. Porto Alegre, RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul – IPH, 2003.

OLIVEIRA, G. C. **Gestão de Recursos Hídricos: os fatores que influenciam no planejamento**. Taubaté, 2003. Dissertação (Mestrado), UNITAU, Departamento de Economia, Universidade de Taubaté.

OLIVEIRA, L. C. **O Papel do Monitoramento e da Previsão de Vazões no Gerenciamento de Bacias Hidrográficas**. Rio de Janeiro, 2003 a. Dissertação (Mestrado), Engenharia Civil, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. C. e DIAS, H. C. T. Precipitação efetiva em fragmento secundário de Mata Atlântica. **Revista Árvore**, Vicosa-Mg, v.29, n.1, p. 9-15, 2005.

OLIVEIRA, L. F.; MARTINEZ, M. A.; PRUSKI, F. F.; RUIZ, H. A.; LIMA, L. A. Transporte de solutos no solo e no escoamento superficial: I - desenvolvimento do modelo e simulação do movimento de água e escoamento superficial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 63-69, 2000.

PACHECHENIK, P. E. **Caracterização Hidrológica e da Fragilidade Ambiental na Bacia do Rio das Pedras, Guarapuava – PR**. Curitiba, PR, 2004. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

PAIXÃO, F. J. R.; ANDRADE, A. R. S.; AZEVEDO, C. A.; SILVA, J. M.; COSTA, T. L.; FEITOSA, R. M. Estimativa da Infiltração da água no solo através de modelos empíricos e funções não lineares. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 5, n. 1, 1º Semestre, 2004.

PANACHUKI, E. ; ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A. C. T.; CARVALHO, D. F.; URCHEI, M. A. Avaliação da infiltração de água no solo, em sistema de integração agricultura-pecuária, com uso de infiltrômetro de aspersão portátil. **Acta Sci. Agron**. Maringá, v. 28, n. 1, p. 129-137, Jan-Mar. 2006.

PAZ, V. P.; OLIVEIRA, A. S. Infiltração de água no solo. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA / NEAS – Núcleo de Engenharia de Água e Solo. 2006. Disponível em: <http://www.neas.ufba.br/downloads.html>. Acessado em 01/03/2007

PEDRAZZI, J.C. **Introdução a Hidrologia**. 1ª ed. Sorocaba, SP: FACENS, 2004. 105 p.

PEREIRA, S. B. **Desprendimento e arraste do solo em decorrência do escoamento superficial**. Viçosa-MG, 2000. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa.

PINTO, L. V. A. **Caracterização física da sub-bacia do Ribeirão Santa Cruz, Lavras, MG e propostas de recuperação de suas nascentes**. Lavras-MG, 2003. Dissertação (Mestrado), Engenharia Florestal, Universidade Federal de Lavras.

POGGIANI, F. O reflorestamento no Nordeste Brasileiro: conseqüências ecológicas. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v.3, n.10, p.85-98, Jun.1982.

POTT, C. A. e DE MARIA, I. C. Comparação de métodos de campo para determinação da velocidade de infiltração básica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, pp. 19-27, 2003.

PRICE, N. W. A comparison of water balance components in natural and plantation forest in El Salvador, Central America. Costa Rica: **Turrialba**, v. 32, p. 399-416, 1982.

PRUSKI, F. F.; RODRIGUES, L. N.; SILVA, D.D. Modelo hidrológico para estimativa do escoamento superficial em áreas agrícolas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.2, p.301-307, 2001.

RANZINI, M.; RIGHETTO, A. M.; LIMA, W. P.; GUANDIQUE, M. E. G.; ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V. Processos hidrológicos de uma microbacia com Mata Atlântica, na região da Serra do Mar, SP. **Scientia Florestalis**, n.66, p.108-19, dez. 2004.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. 1ª ed. São Paulo: Manole, 1990. 188 p.

RENNÓ, C. D. e SOARES, J. V. **Modelos Hidrológicos para Gestão Ambiental – Relatório Técnico Parcial**. Campinas, SP: INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais / Programa de Ciência e Tecnologia para Gestão Ambiental. 2000.

RIBEIRO NETO, A. **Simulação Hidrológica na Amazônia: Rio Madeira**. Rio de Janeiro, 2006. Tese (Doutorado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.

ROCHA, J. S. M. e KURTZ, S. M. **Manejo integrado de bacias hidrográficas**. 4. ed. Santa Maria,RS: Edições UFSM/CCR, 2001. 181 p.

RODRIGUES, S. C.; SILVA, J. B.; VIEIRA, W. C. Análise das características de materiais superficiais em função da aplicação de lodo estabilizado em área de cultivo de *citrus*, em Araguari (MG). **Caminhos de Geografia**, 2(4), p. 55-72, jun/ 2001.

RORIZ, G. M.; MENDONÇA, A. S.; TEIXEIRA, E. C. Desenvolvimento de sistema de suporte à decisão para definição de vazões de outorga de recursos hídricos. In: IV DIÁLOGO INTERAMERICANO DE GERENCIAMENTO DE ÁGUAS, 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: SRH-MMA, 2001.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia, ambiente e planejamento**. 4ª ed. São Paulo: Contexto, 1997. 87 p.

RUTTER, A. J., KERSHAW, K. A., ROBINS, P. C., MORTON, A. J. A predictive model of rainfall interception in forests: I - Derivation of the model from observations in a plantation of Corsican pine. **Agriculture Meteorology**, 9. p. 367-384. 1971.

SALBEGO, A. G. e TUCCI, C. E. M. **Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica – Apostila de Aula e Hidrologia I**. Porto Alegre, RS: UFRGS/IPH – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. 2003.

SAMPAIO, S. C.; CORRÊA, M. M.; VILAS BOAS, M. A.; OLIVEIRA, L. F. C. Estudo da precipitação efetiva para o município de Lavras, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 210-213, 2000.

SELBORNE, L. A ética do uso da água doce: um levantamento. Brasília: UNESCO, **Cadernos UNESCO Brasil**, Vol. 3, 2001.

SELLES, I. M.; RIKER, F.; RIOS, J. P. V.; BINDER, W. **Revitalização de rios - orientação técnica**. Rio de Janeiro: SEMADS - Cooperação Técnica Brasil - Alemanha, Projeto PLANÁGUA-SEMADS/GTZ, 2001. 76 p.

SETTI, A. A; LIMA, J. E. F. W.; CHAVES, A. G. M.; PEREIRA, I. C. **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**. 2ª ed. Brasília: ANEEL; ANA, 2001. 207 p.

SCHEER, M. B. **Ciclagem de nutrientes em um trecho de floresta ombrófila densa aluvial em regeneração, Guaraqueçaba, PR**. Curitiba-PR, 2006. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

SHUTTLEWORTH, W. J. Evaporation. In: Maidment, D.R. (Editor in Chief). **Handbook of Hydrology**, 1ª ed., Cap. 4, New York, EUA: McGraw-Hill, 1993.

SILANS, A. M. B.; MARINHO, L. S.; BARBOSA, F. de A. Interceptação da chuva pela vegetação da Caatinga. In: VI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2002, **Anais...** Maceió, 2002.

SILVA, C. L. e KATO, E. Avaliação de modelos para previsão da infiltração de água em solos sob cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 7, 1998.

SILVA, D. D.; PAIVA, K. W. N.; PRUSKI, F. F.; SCHAEFER, G. R.; AMORIM, R. S. escoamento superficial para diferentes intensidades de chuva e porcentagens de cobertura num podzólícovermelho amarelo com preparo e cultivo em contornos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.21, n.1, p.1222, jan. 2001.

SILVA, F. A. M. **Parametrização e modelagem do balanço hídrico em sistema de plantio direto no cerrado brasileiro**. Campinas-SP, 2004. Tese (Doutorado), Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas.

SILVA, L. S. e GODINHO, F. V. Infiltrômetro de disco para determinação da condutividade hidráulica de solo não-saturado. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v.26, n.3, p.585-588, mai./jun., 2002.

SILVA, V. R. **Propriedades físicas e hídricas em solos sob diferentes estados de compactação**. Santa Maria-RS, 2003. Tese (Doutorado), Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria.

SILVEIRA, M. J.; WOHLBERG, E. V.; GONÇALVES, C. C.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. **Influência da intensidade da chuva, horizonte e declividade do solo nas perdas de água**. Santa Maria, RS; UFSM. 2000.

SMA. Relatório do Encontro Floresta-Água: a cobrança do uso da água. São Paulo: SMA-Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 2005. Disponível em <http://sigam.ambiente.sp.gov.br/Sigam2/Repositorio/126/Documentos/04> - Resumo do Encontro 08.12.2005. pdf. Acessado em 27/02/2007.

SOARES, J. V. **Introdução a Hidrologia de Florestas**. 1ª ed. São José dos Campos, SP: INPE-Divisão de Sensoriamento Remoto, 2004. 83 p.

SOARES, J. V.; ALMEIDA, A. C.; PENCHEL, R.M. Balanço hídrico de plantações de eucalipto a partir da estimativa de transpiração pelo método de Penman-Monteith. In: CONFERÊNCIA IUFRO SOBRE SILVICULTURA E MELHORAMENTO DE EUCALIPTOS, 3., 1997, Salvador. **Anais...** Salvador: EMBRAPA/ SIF/ IPEF, 1997.

SOUZA, J. L.; LOMBARDI NETO, F.; TUBELIS, A. Estimativa e análise do escoamento superficial em solo descoberto e cultivado com a sucessão soja e trigo, sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 3, p. 77-84, 1995.

SOUZA, J. L. e TUBELIS, A. Correlação escoamento superficial-precipitação em solos submetidos a diferentes sistemas de manejo. In: 3º Simpósio Brasileiro de captação de Água de Chuva no Semi-Árido. **Anais...** Petrolina, PE. 21-23 nov. 2001.

SOUZA, F. N. **Guia prático de irrigação por aspersão**. 2ª ed. São Paulo: Ícone, 1991. 69 p.

SOUZA, R. O. R. M. **Roteiros de Aulas: Irrigação e Drenagem**. Belém: Universidade Federal Rural da Amazônia/ICA/DCEE. 2006. 53 p.

TARGA, M.; BATISTA, G. T.; CÍCERO, C. M.; DIAS, N. W. Metodologia para avaliação dos processos hidrológicos e de sedimentação na bacia hidrográfica experimental do Ribeirão do Itaim, município de Taubaté, no Vale do Rio Paraíba do Sul-Estado de São Paulo. **Recursos Hídricos** (1):1-14. Repositório Ciências Agrárias, Universidade de Taubaté, 2006.

THOMAZ, E. L. Avaliação de interceptação e precipitação interna em capoeira e floresta secundária em Guarapuava-PR. **GEOGRAFIA - Revista do Departamento de Geociências da Universidade Estadual de Londrina**, v. 14, n. 1, jan./jun. 2005.

TONELLO, K. C.; CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; SILVA, A. P.; ALVES, M. R.; OLIVEIRA JUNIOR, J. C. Precipitação efetiva em plantios de Pinus. **Revista Árvore**, nº 83 (14), agosto de 2004.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia - ciência e aplicação**. 2ª ed. Porto Alegre: Editora da Universidade: UFRGS/ABRH, 2000. 943 p.

TUCCI, C. E. M. **Impactos da variabilidade climática e uso do solo sobre os recursos hídricos**. 1ª ed. Brasília, DF: Agência Nacional das Águas. 2002. 150 p.

TUCCI, C. E. M. Apostila de Hidrologia. Porto Alegre: UFRGS/IPH, 2005. Disponível em <http://www.iph.ufrgs.br>. Acessado em 08/11/2006

TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; CORDEIRO NETTO, O. **Gestão da água no Brasil**. 2ª ed. Brasília: UNESCO, 2003. 192 p.

UBARANA, V. N. **Experimentos observacionais e modelagem das perdas por interceptação da precipitação na Floresta Amazônica**. São José dos Campos, 1993. Dissertação (Mestrado), Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE.

UFB/GRH. **Apostila de Hidrogeologia**. 1ª ed. Salvador, BA: Ed. da Universidade Federal da Bahia – GRH, 2004. 76 p.

VALCARCEL, R. **Balço Hídrico no ecossistema florestal e sua importância conservacionista na região ocidental dos Andes Venezuelanos**. In: EMBRAPA/CNPF, Documento 16. Curitiba-PR: EMBRAPA/CNPF. 1985. p. 32-35

VALLEJO, L. R. **A influência do “litter” na distribuição das águas pluviais**. Rio de Janeiro, 1982. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Geografia.

WADT, P. G.; OLIVEIRA, L. C.; OLIVEIRA, T. K. ; CAVALCANTE, L. M. **Sistema de Aptidão das Terras para Recuperação Ambiental: uma Metodologia de Planejamento Ambiental**. 1ª ed. Rio Branco, AC: EMBRAPA-Acre, 2004. 36 p.

ZUQUETTE, L. V. e PALMA, J. B. Avaliação da condutividade hidráulica em área de recarga do aquífero Botucatu. **Revista da Escola de Minas**, Ouro Preto, 59 (1): 81-87, jan. mar. 2006

ANEXOS

ANEXO I - ANEXOS DO EXPERIMENTO 1

ANEXO I.1 – DISTRIBUIÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

São apresentadas graficamente, na Figura 74, as distribuições da água de escoamento superficial, coletadas nos tambores em função dos dados dos pluviômetros em cada um dos tratamentos.

Estão plotados no eixo X as lâminas de água de cada precipitação, medida em cada pluviômetro do tratamento, e no eixo Y os volumes de água de escoamento captado por cada uma das repetições.

- X - 01 P, 02 P, 03 P, 04 P (mm)
- Y – 01 T, 02 T, 03 T, 04 T (ml)

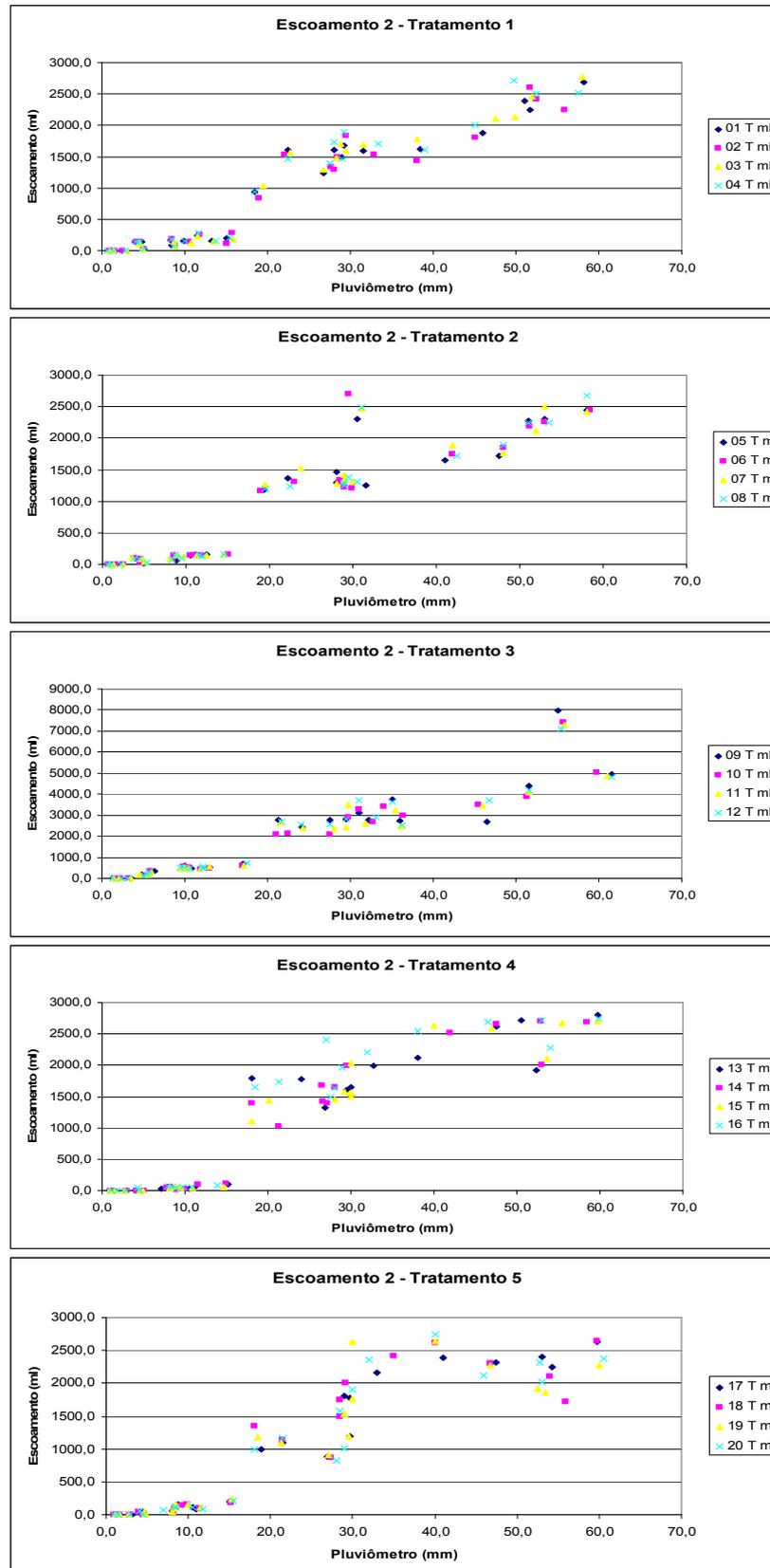


FIGURA 74 - Gráficos da água coletada nos tambores em função dos dados dos pluviômetros

ANEXO I.2 – CURVAS DE TENDÊNCIA PARA INFILTRAÇÃO

São apresentadas, em conjunto para cada tratamento, as curvas de tendência para infiltração, de cada grupo de chuvas, sendo na cor verde o grupo de chuvas leves, em azul o grupo de chuvas médias e em vermelho o grupo das chuvas pesadas. A apresentação gráfica conjunta permite visualizar como seria a tendência da curva se fosse considerado apenas cada grupo de chuva individualmente.

Os gráficos estão apresentados nas Figuras de 75 a 79. O eixo X representa a pluviometria em cada tratamento e o eixo Y representa a lâmina infiltrada.

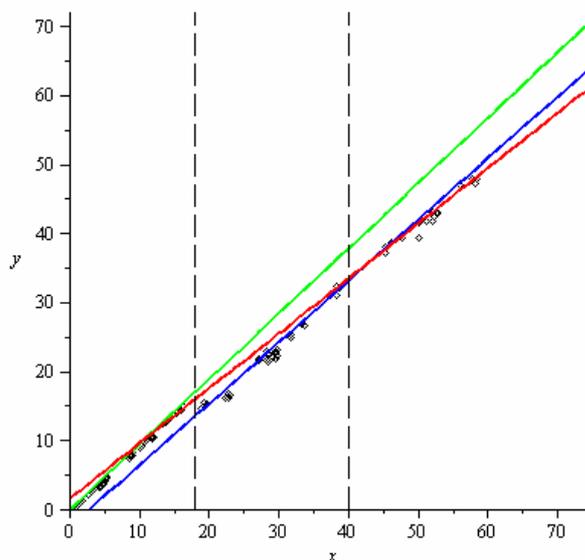


FIGURA 75 – Gráfico das Curvas de Tendência de Infiltração - Tratamento 1

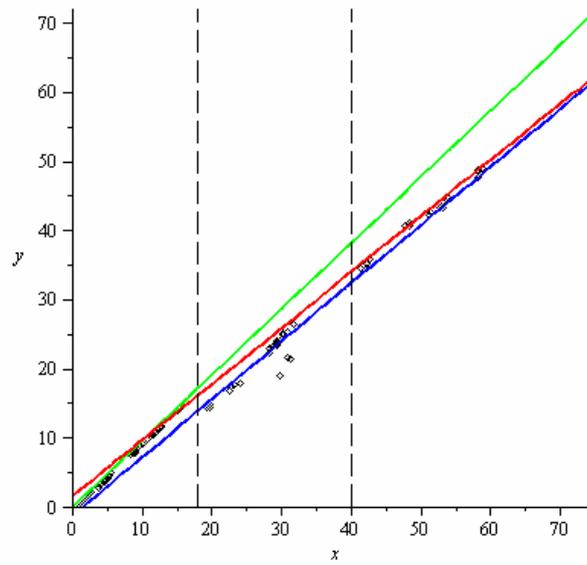


FIGURA 76 – Gráfico das Curvas de Tendência de Infiltração - Tratamento 2

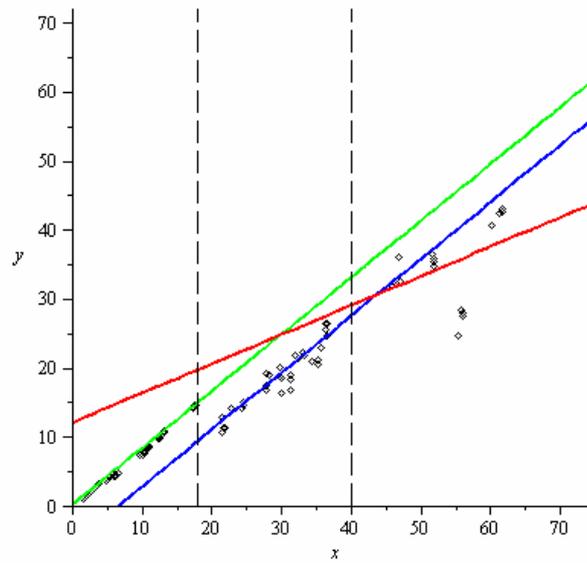


FIGURA 77 – Gráfico das Curvas de Tendência de Infiltração - Tratamento 3

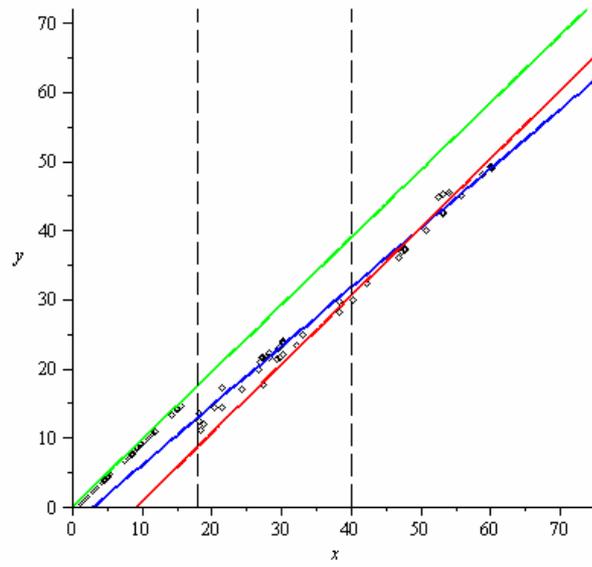


FIGURA 78 – Gráfico das Curvas de Tendência de Infiltração - Tratamento 4

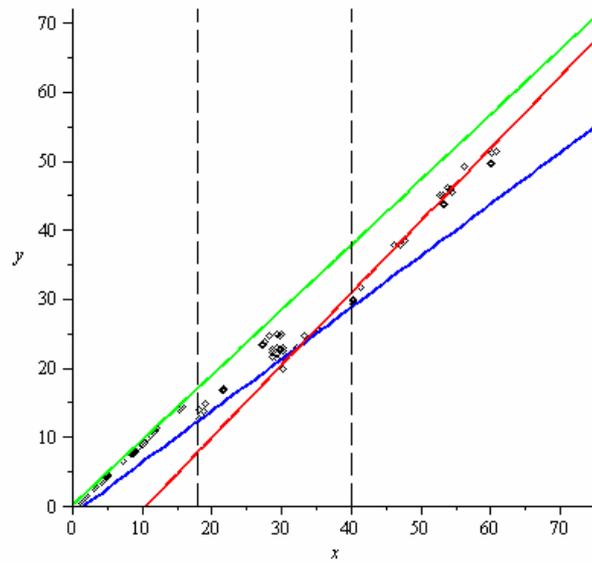


FIGURA 79 – Gráfico das Curvas de Tendência de Infiltração - Tratamento 5

ANEXO I.3 – DETALHES CONSTRUTIVOS DA MESA COLETORA

A mesa coletora, para evitar a perda de água pela sua base (borda inferior), possui uma lâmina de 0,02 m de comprimento, que contorna sua base. Essa lâmina, que tem a espessura da chapa galvanizada, fica cravada no chão, impedindo que a água crie caminhos por baixo da mesa coletora. Em solos consolidados, tais como os de ambiente florestal, esse comprimento de lâmina é suficiente, mas em solos agrícolas (solos soltos e preparados com equipamentos) pode ser necessário que essa lâmina tenha até 0,05 m de altura. As figuras de 80 a 83 mostram detalhes dessa lâmina, para facilitar a construção do equipamento.



FIGURA 80 – Foto do detalhe da lâmina inferior, em vista lateral



FIGURA 81 – Foto do detalhe da lâmina inferior, traseira da mesa



FIGURA 82 – Foto do detalhe da lâmina inferior, frente da mesa



FIGURA 83 – Foto do detalhe da lâmina inferior, junção frente/lateral

ANEXO 1.4 - DETALHES (PERFIS) DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA E DO REFLORESTAMENTO COM PINUS

As Figuras de 84 a 89 mostram detalhes da Floresta Ombrófila Mista e do Reflorestamento com pinus, sob cujas coberturas (dossel) foram implantados os Tratamentos 1 e 2 (Floresta Ombrófila Mista) e os tratamentos 4 e 5 (reflorestamento com pinus).

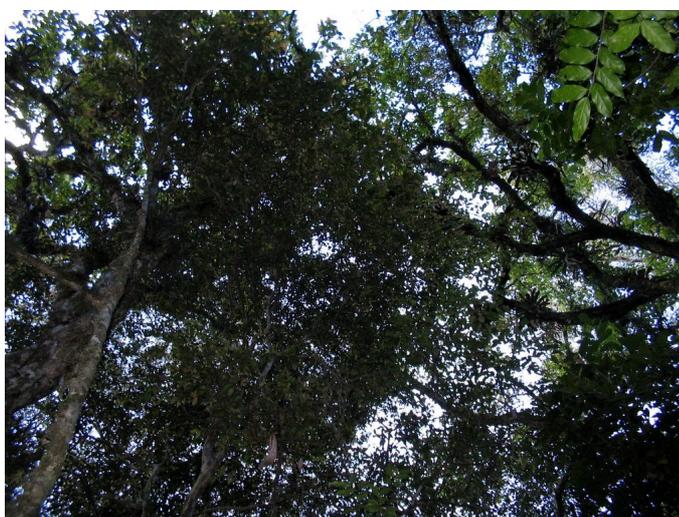


FIGURA 84 – Foto 1 do dossel florestal da Floresta Ombrófila Mista



FIGURA 85 – Foto 2 do dossel florestal da Floresta Ombrófila Mista



FIGURA 86 – Foto da borda da Floresta Ombrófila Mista



FIGURA 87 – Foto do Reflorestamento com Pinus

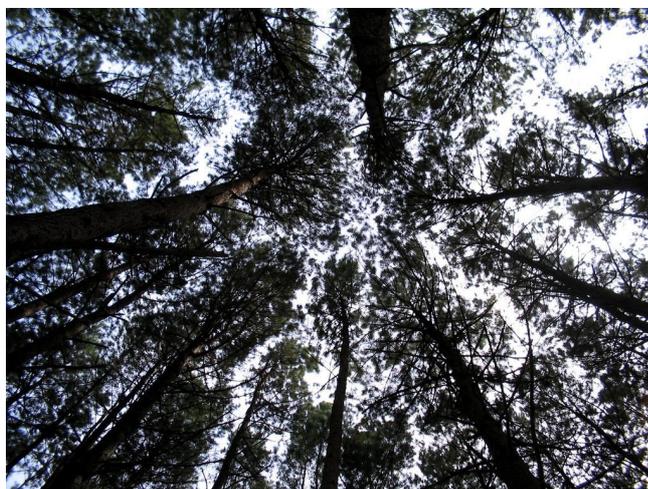


FIGURA 88 – Foto do dossel florestal da Reflorestamento com pinus



FIGURA 88 – Foto do Reflorestamento com Pinus, detalhes dos troncos

ANEXO II – ANEXOS DO EXPERIMENTO 2

ANEXO II.1

São apresentadas as curvas ajustadas e os modelos de regressão que explicam o comportamento de cada uma das medições/determinações realizadas na determinação da curva de infiltração de água no solo.

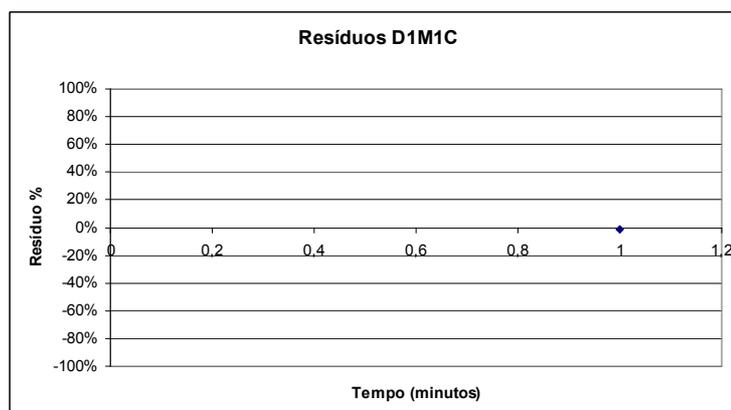
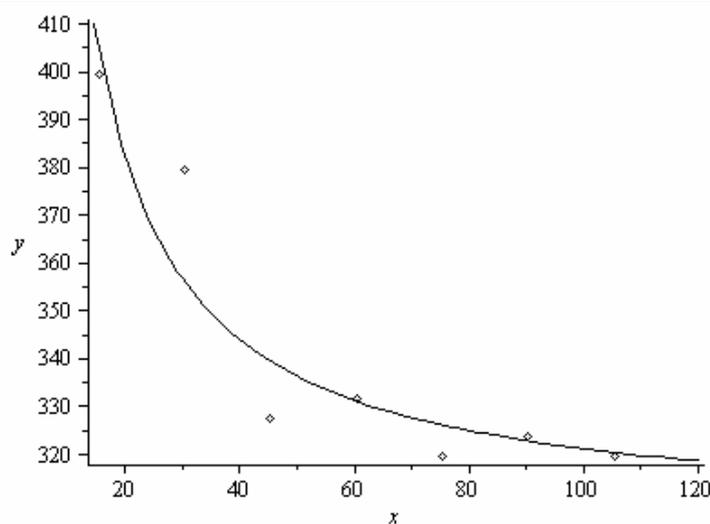
O Eixo X representa a pluviometria (mm) e o eixo Y representa a taxa de infiltração (mm).

1) Determinação 1
Medição 1
Cilindro

$$y = a + b \cdot \frac{1}{x}$$

$$y = 306,09 + 1512,19 \cdot \frac{1}{x}$$

Regression Statistics					
Multiple R	0,937073578				
R Square	0,878106891				
Adjusted R Square	0,853728269				
Standard Error	12,47306693				
Observations	7				
ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	1	5603,827292	5603,827292	36,01954615	0,001843897
Residual	5	777,8869935	155,5773987		
Total	6	6381,714286			



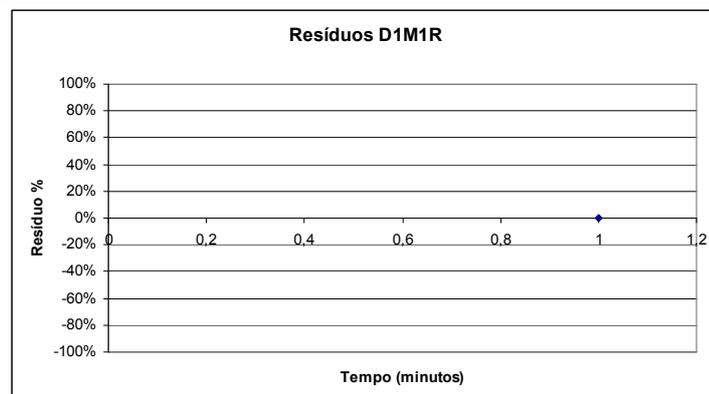
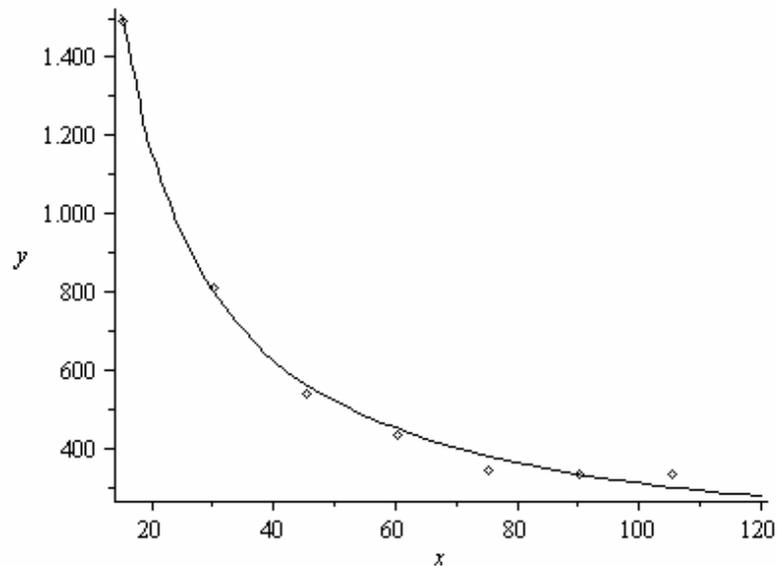
Alterando o modelo para $y = a + b \cdot \frac{1}{x^c}$, com c variando entre 0,4 a 2 observou-se que o R^2 ajustado passou de 0,8777 para 0,7368, onde conclui-se que a melhora não é suficientemente expressiva para justificar a proposição de um novo modelo.

2) Determinação 1
Medição 1
Retangular

$$y = 105,21 + 20893,19 \cdot \frac{1}{x}$$

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,99841462
R Square	0,996831753
Adjusted R Square	0,996198104
Standard Error	26,07673726
Observations	7

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	1069742,876	1069742,876	1573,16002	1,92052E-07
Residual	5	3399,981129	679,9962259		
Total	6	1073142,857			

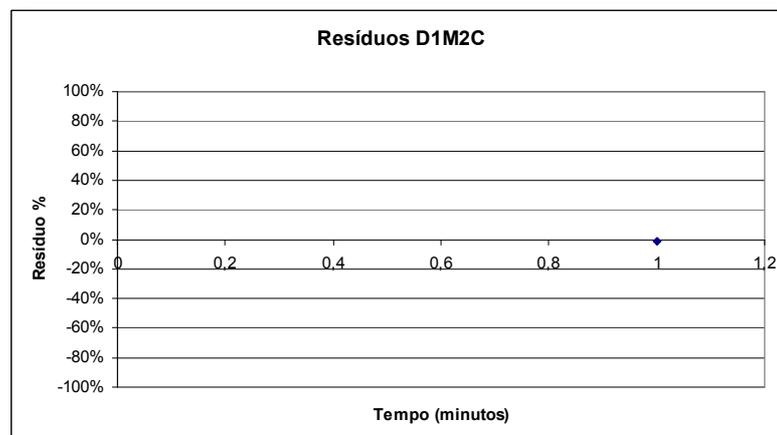
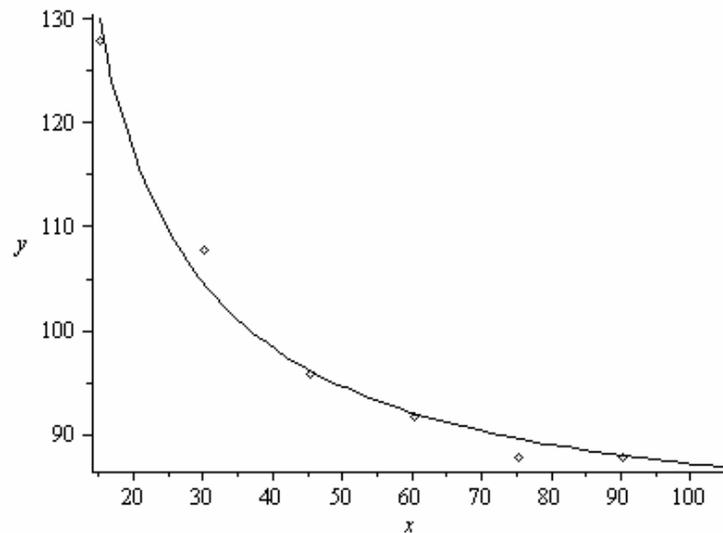


3) Determinação 1
Medição 2
Cilindro

$$y = 79,82 + 741,39 \cdot \frac{1}{x}$$

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,993150067
R Square	0,986347056
Adjusted R Square	0,98293382
Standard Error	2,03727638
Observations	6

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	1199,39802	1199,39802	288,9770992	7,02217E-05
Residual	4	16,6019802	4,15049505		
Total	5	1216			

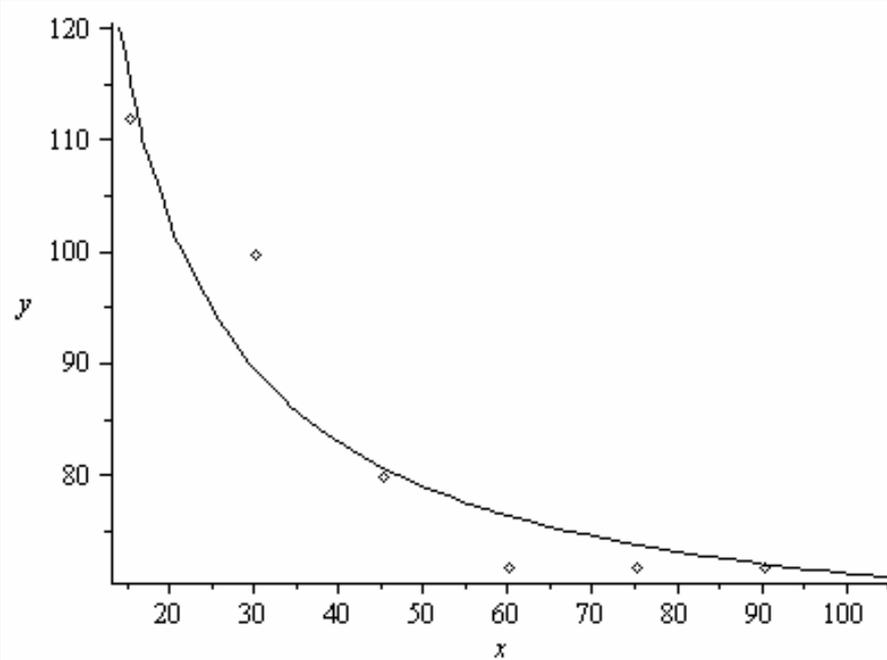


4) Determinação 1
Medição 2
Retangular

$$y = 63,35 + 783,14 \cdot \frac{1}{x}$$

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,949215149
R Square	0,901009398
Adjusted R Square	0,876261748
Standard Error	6,06287969
Observations	6

ANOVA	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	1338,299293	1338,299293	36,40787637	0,003803162
Residual	4	147,0340405	36,75851014		
Total	5	1485,333333			

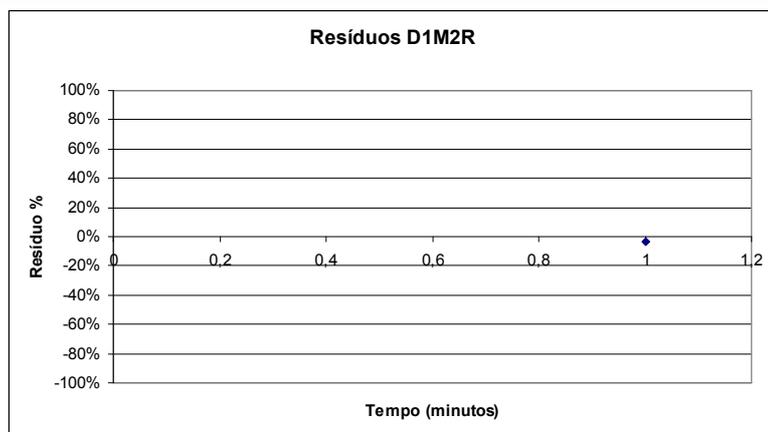
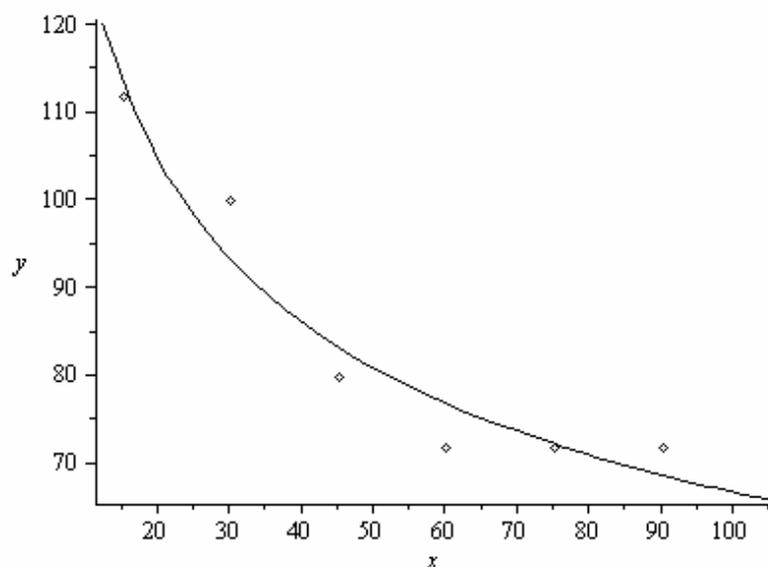


5) Determinação 1
Medição 2
Retangular (alteração do modelo)

$$y = 5,37 + 244,09 \cdot \frac{1}{x^{0,3}}$$

Regression Statistics	
Multiple R	0,968392497
R Square	0,937784027
Adjusted R Square	0,922230034
Standard Error	4,806543923
Observations	6

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	1392,921875	1392,921875	60,29217182	0,001482763
Residual	4	92,41145795	23,10286449		
Total	5	1485,333333			



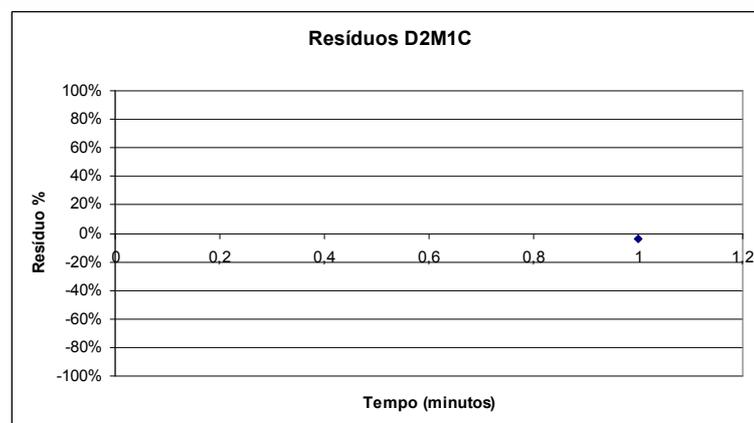
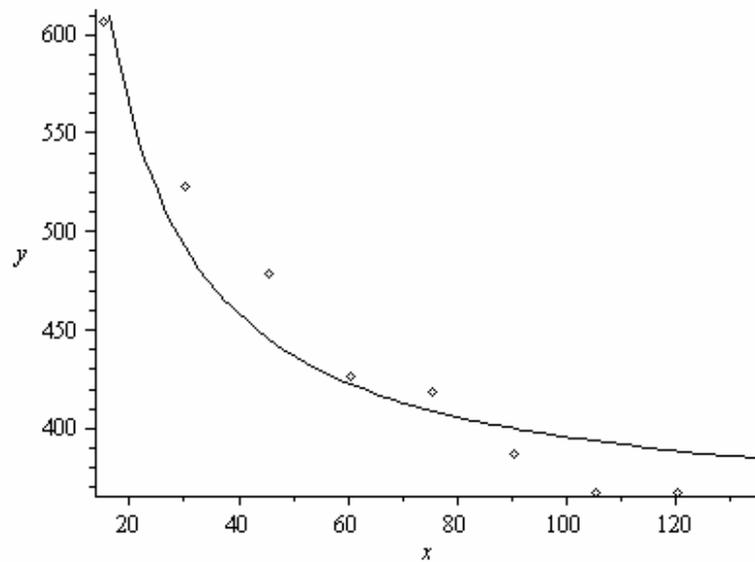
A alteração do modelo de $y = a + b \cdot \frac{1}{x}$ para $y = a + b \cdot \frac{1}{x^c}$, com $c = 0,3$ resultou em uma melhoria no R^2 ajustado (de 0,876 para 0,922).

6) Determinação 2
Medição 1
Cilindro

$$y = 354,28 + 4137,82 \cdot \frac{1}{x}$$

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,958985534
R Square	0,919653254
Adjusted R Square	0,906262129
Standard Error	25,87164394
Observations	8

ANOVA	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	45967,94824	45967,94824	68,67632838	0,000167223
Residual	6	4016,05176	669,34196		
Total	7	49984			

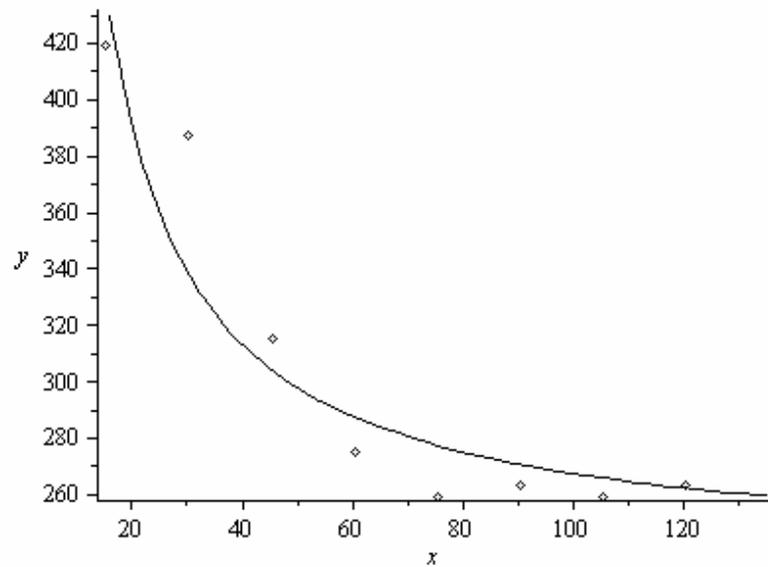


7) Determinação 2
Medição 1
Retangular

$$y = 236,93 + 3049,57 \cdot \frac{1}{x}$$

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,936318796
R Square	0,876692888
Adjusted R Square	0,856141703
Standard Error	24,19292785
Observations	8

ANOVA	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	24968,21345	24968,21345	42,65899383	0,000615173
Residual	6	3511,786549	585,2977581		
Total	7	28480			

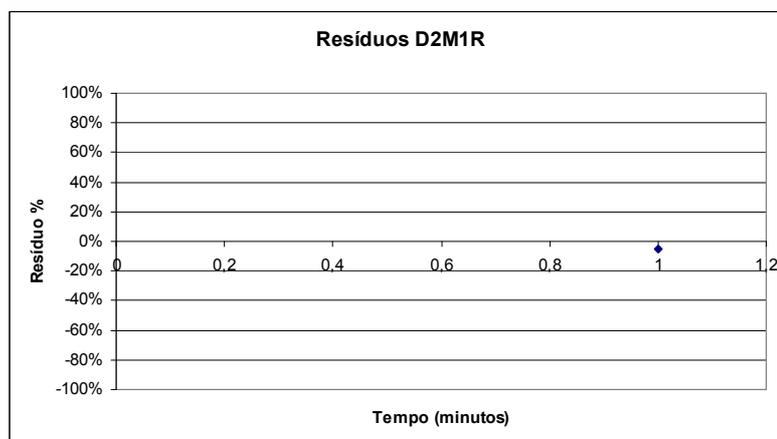
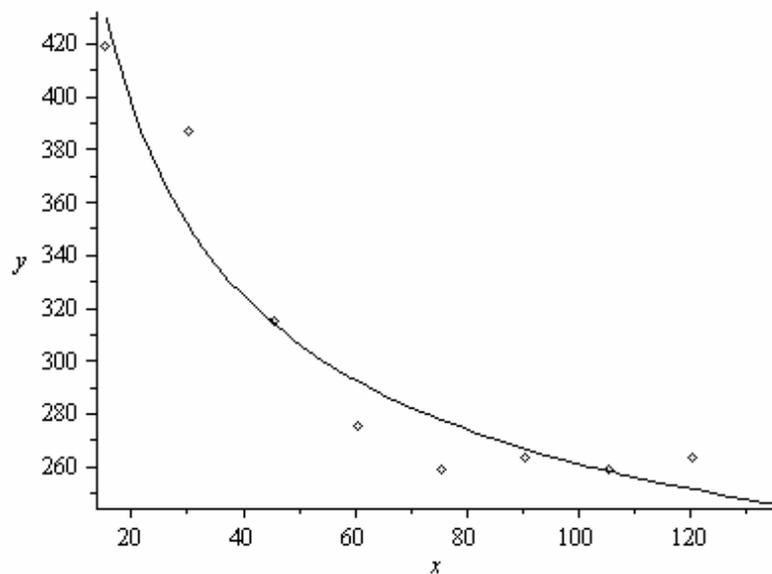


8) Determinação 2
Medição 1
Retangular (alteração do modelo)

$$y = 151,95 + 1091,89 \cdot \frac{1}{x^{0,5}}$$

Regression Statistics	
Multiple R	0,958464407
R Square	0,918654019
Adjusted R Square	0,905096355
Standard Error	19,64999381
Observations	8

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	26163,26646	26163,26646	67,75902196	0,000173609
Residual	6	2316,733539	386,1222566		
Total	7	28480			



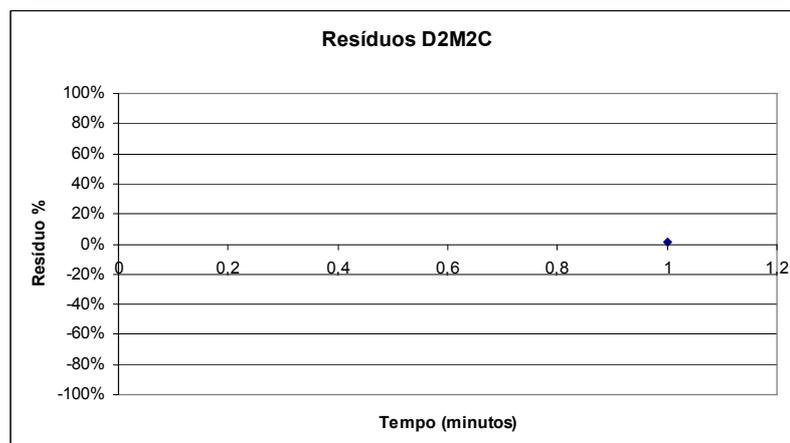
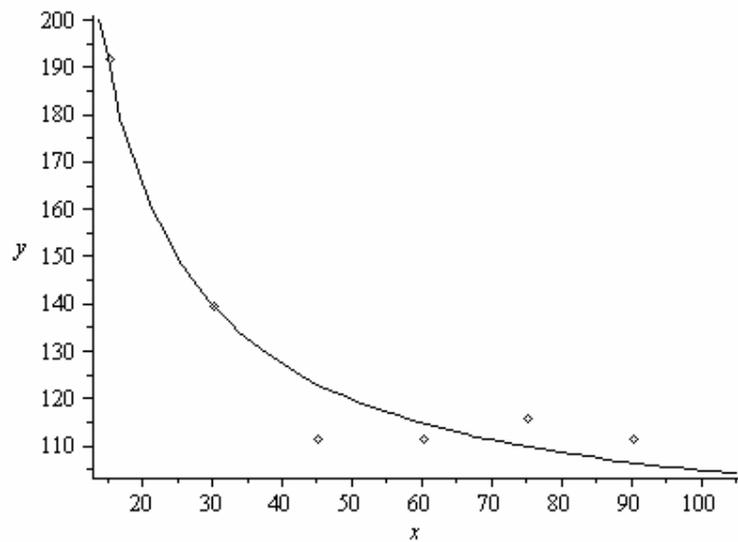
A alteração do modelo de $y = a + b \cdot \frac{1}{x}$ para $y = a + b \cdot \frac{1}{x^c}$, com $c = 0,5$ resultou em uma melhoria no R^2 ajustado (de 0,8561 para 0,9051).

9) Determinação 2
Medição 2
Cilindro

$$y = 89,86 + 1499,07 \cdot \frac{1}{x}$$

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,979661353
R Square	0,959736367
Adjusted R Square	0,949670459
Standard Error	7,171476846
Observations	6

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	4903,613013	4903,613013	95,34523373	0,000616284
Residual	4	205,7203206	51,43008015		
Total	5	5109,333333			

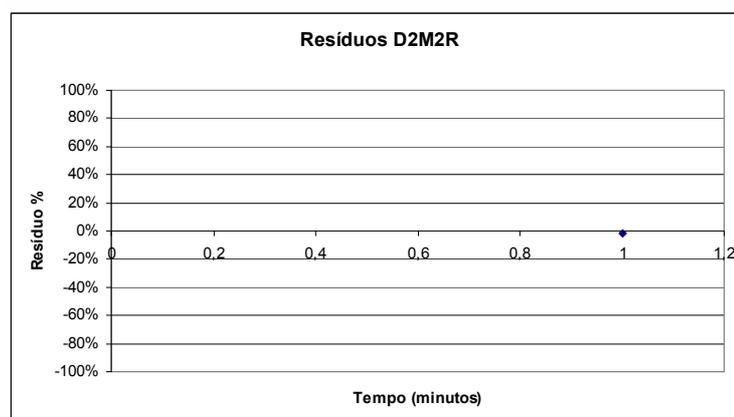
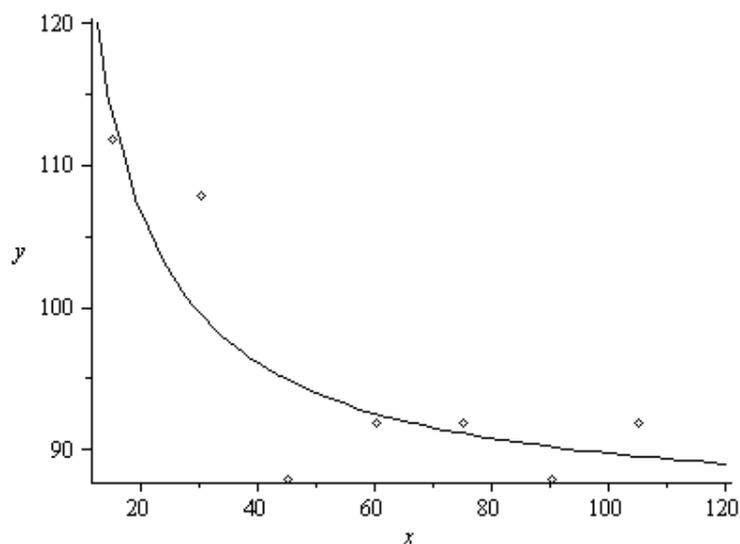


10) Determinação 2
Medição 2
Retangular

$$y = 85,50 + 425,17 \cdot \frac{1}{x}$$

Regression Statistics	
Multiple R	0,876964282
R Square	0,769066353
Adjusted R Square	0,722879623
Standard Error	5,157863527
Observations	7

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	442,9822192	442,9822192	16,65124078	0,009534309
Residual	5	133,0177808	26,60355616		
Total	6	576			



Alterando o modelo para $y = a + b \cdot \frac{1}{x^c}$, com c variando entre 0,2 a 2 observou-se que o R^2 ajustado atingiu um máximo de 0,73, do que conclui-se que a melhora não é suficientemente expressiva para justificar a proposição de um novo modelo.

11) Determinação 3

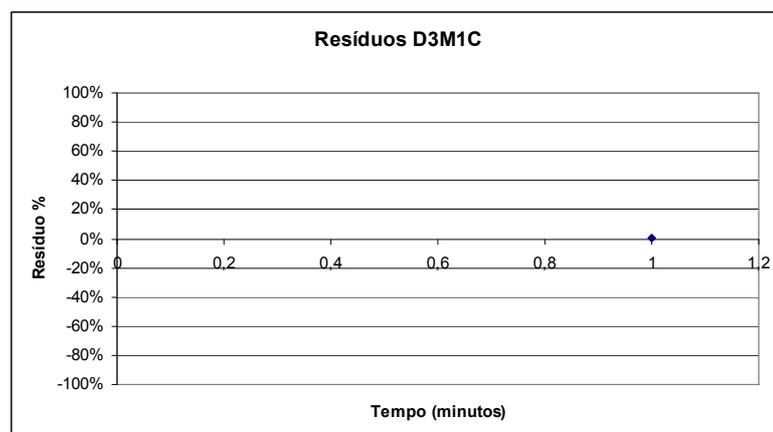
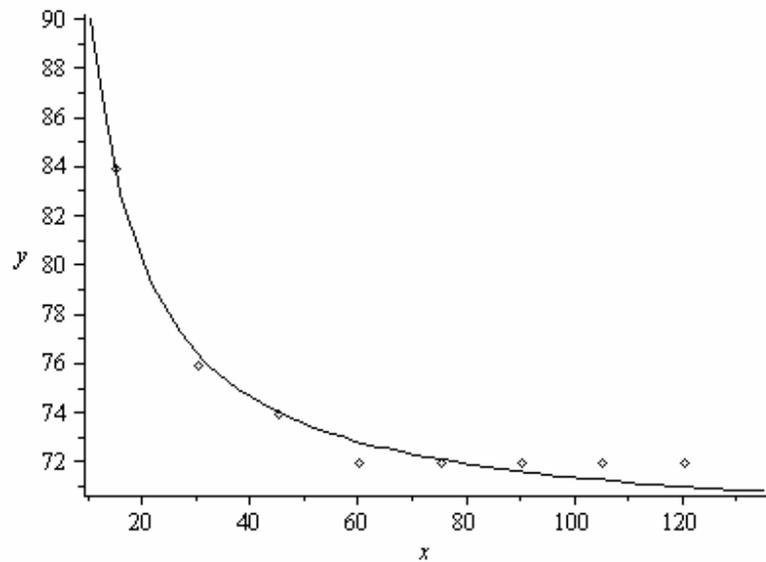
Medição 1

Cilindro

$$y = 69,20 + 217,62 \cdot \frac{1}{x}$$

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,992915602
R Square	0,985881393
Adjusted R Square	0,983057672
Standard Error	0,576534775
Observations	7

ANOVA	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	116,052324	116,052324	349,142587	8,08278E-06
Residual	5	1,661961736	0,332392347		
Total	6	117,7142857			

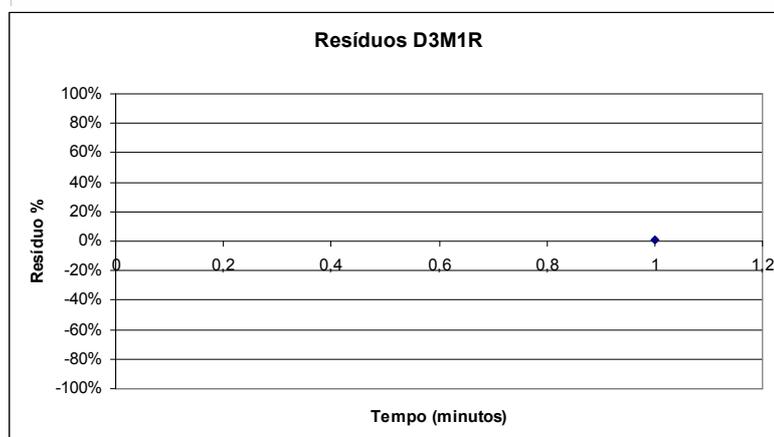
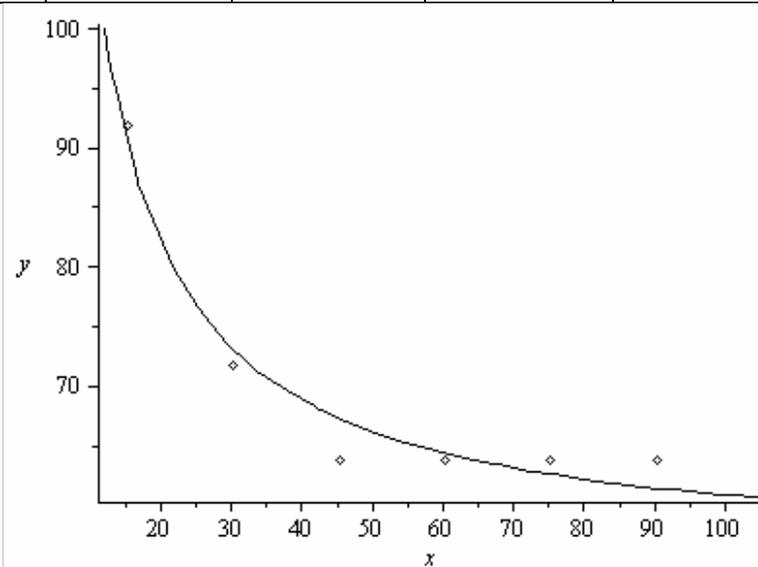


12) Determinação 3
Medição 1
Retangular

$$y = 55,61 + 528,54 \cdot \frac{1}{x}$$

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,982107671
R Square	0,964535477
Adjusted R Square	0,955669346
Standard Error	2,36714905
Observations	6

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	609,5864215	609,5864215	108,7887722	0,000477339
Residual	4	22,4135785	5,603394625		
Total	5	632			

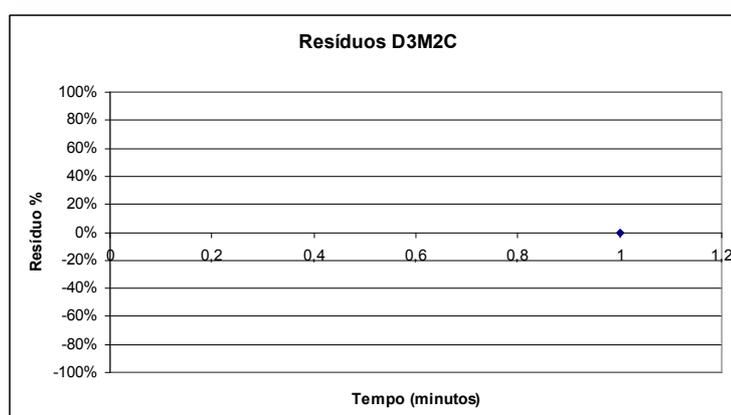
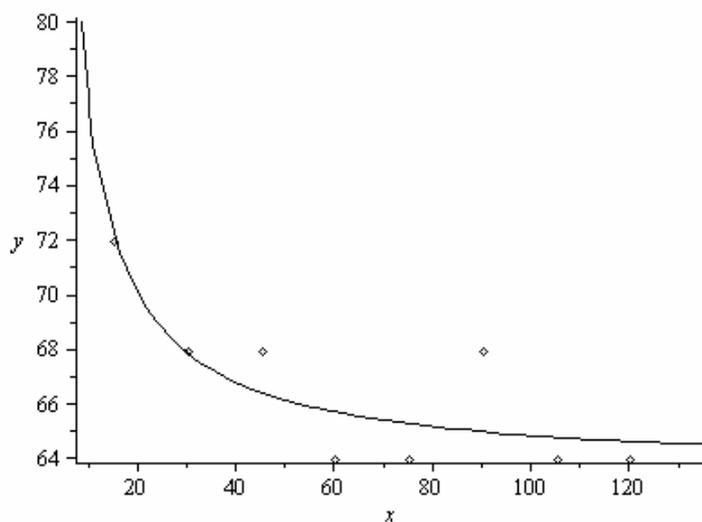


13) Determinação 3
Medição 2
Cilindro

$$y = 63,57 + 129,26 \cdot \frac{1}{x}$$

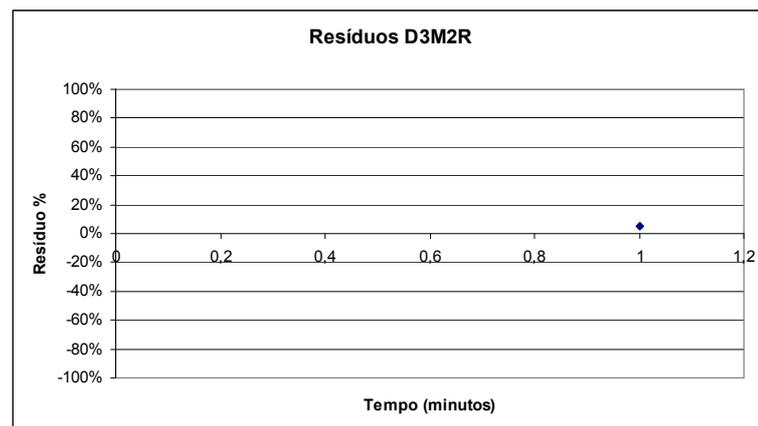
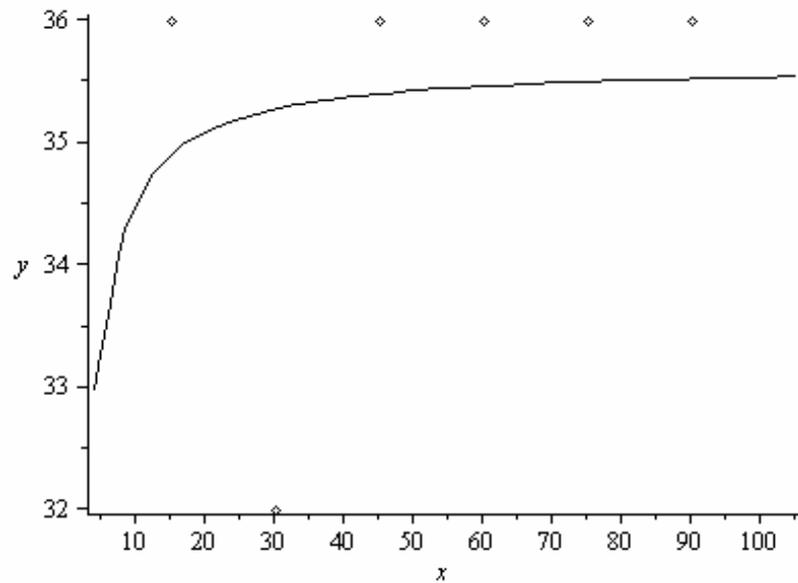
Regression Statistics	
Multiple R	0,850565874
R Square	0,723462307
Adjusted R Square	0,677372691
Standard Error	1,690430763
Observations	8

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	44,85466302	44,85466302	15,6968614	0,007435336
Residual	6	17,14533698	2,857556163		
Total	7	62			



Alterando o modelo para $y = a + b \cdot \frac{1}{x^c}$, com c variando entre 0,2 a 2 observou-se que o R^2 ajustado não aumenta, do conclui-se que a proposição de um novo modelo é inapropriada.

14) Determinação 3
Medição 2
Retangular



Houve uma estabilidade dos resultados do experimento, tendo gerado uma distribuição retangular dos pontos, não cabendo ajuste nem de modelo matemático nem de regressão linear para o caso. Salienta-se que esse fato deve ter ocorrido em função da completa saturação de água no solo na 2ª medição, neste solo em especial, pela sua baixa condutividade hidráulica.