

**ALBERT EINSTEIN SPÍNDOLA SARAIVA DE MOURA**

**INTERCEPTAÇÃO DAS CHUVAS EM UM FRAGMENTO DE FLORESTA  
ATLÂNTICA E AVALIAÇÃO DE MODELOS DE PREDIÇÃO DE VAZÃO NA  
BACIA DO PRATA, RECIFE-PE**

**ALBERT EINSTEIN SPÍNDOLA SARAIVA DE MOURA**

**INTERCEPTAÇÃO DAS CHUVAS EM UM FRAGMENTO DE FLORESTA  
ATLÂNTICA E AVALIAÇÃO DE MODELOS DE PREDIÇÃO DE VAZÃO NA  
BACIA DO PRATA, RECIFE-PE**

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal Rural de  
Pernambuco, como parte das  
exigências do Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia  
Agrícola, para obtenção do título  
de Mestre em Engenharia  
Agrícola.

**Orientador:**

**MARCUS METRI CORREA**

**Recife, maio de 2007**

**ALBERT EINSTEIN SPÍNDOLA SARAIVA DE MOURA**

**INTERCEPTAÇÃO DAS CHUVAS EM UM FRAGMENTO DE FLORESTA  
ATLÂNTICA E AVALIAÇÃO DE MODELOS DE PREDIÇÃO DE VAZÃO NA  
BACIA DO PRATA, RECIFE-PE**

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal Rural de  
Pernambuco, como parte das  
exigências do Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia  
Agrícola, para obtenção do título  
de Mestre em Engenharia  
Agrícola.

**APROVADA: 29 de maio de 2007**

---

Prof. Phd Abelardo Antônio Assunção Montenegro

---

Prof. Dr. Fernando Cartaxo Rolim Neto

---

Prof. Dr. Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira

---

Prof. Dr. Marcus Metri Correa  
(Orientador)

“A coisa mais bela que podemos experimentar é o mistério. Essa é a fonte de toda a arte e ciências verdadeiras.”.

*Albert Einstein*

À Deus,  
À minha família,  
Aos meus amigos por  
iluminarem minha vida.

**DEDICO**

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>12</b>
2.1 Interceptação vegetal .....	12
2.2 escoamento superficial .....	18
2.3 Modelagem .....	19
a) Método da curva número (CN) .....	21
b) Método Racional .....	24
c) Método Racional Modificado .....	25
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>27</b>
3.1 Caracterização da área de estudo .....	27
3.2 Precipitação Total (PT) .....	33
3.3 Precipitação Interna (PI) .....	34
3.3 Escoamento pelo tronco (Esc Tr) .....	35
3.4 Interceptação (I) .....	38
3.5 Escoamento superficial laminar no interior da mata (Esc sup) .....	39
3.6 Escoamento superficial da bacia .....	40
3.7 Modelagem .....	41
3.8 Umidade do Solo .....	43
3.9 Armazenamento temporário de água de chuva no solo (At solo) e no ecossistema (At eco) .....	43
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>45</b>
4.1 Interceptação florestal .....	45
4.2 Armazenamento temporário de água de chuva no ecossistema (At Eco) e no solo (At Solo) .....	55
4.3 Escoamento Superficial .....	56
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>66</b>

<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>67</b>
<b>ANEXO I.....</b>	<b>74</b>
<b>ANEXO II.....</b>	<b>75</b>
<b>ANEXO III.....</b>	<b>77</b>
<b>ANEXO IV .....</b>	<b>78</b>
<b>ANEXO V .....</b>	<b>79</b>
<b>ANEXO VI .....</b>	<b>80</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 01</b> Localização da Bacia do Prata na Zona da Mata do Estado de Pernambuco .....	<b>18</b>
<b>Figura 02</b> Carta planialtimétrica da bacia do Prata em Recife – PE .....	<b>20</b>
<b>Figura 03</b> Carta de drenagem da Bacia do Prata .....	<b>21</b>
<b>Figura 04</b> Curva hipsométrica da Bacia do Prata .....	<b>22</b>
<b>Figura 05</b> Divisões pedológicas e localização da parcela experimental na Bacia do Prata .....	<b>23</b>
<b>Figura 06</b> Vista parcial do pluviógrafo automático instalado na estação meteorológica da UFRPE .....	<b>25</b>
<b>Figura 07</b> Interceptômetro instalado no interior da mata .....	<b>25</b>
<b>Figura 08</b> Distribuição dos interceptômetros na área experimental .....	<b>26</b>
<b>Figura 09</b> Sistema coletor de água escoada pelo tronco das árvores do estrato superior .....	<b>27</b>
<b>Figura 10</b> Esboço da projeção vertical da copa de duas árvores divididas em sub-áreas .....	<b>28</b>
<b>Figura 11</b> Sistema coletor de água escoada pelo tronco das árvores do sub-bosque .....	<b>29</b>
<b>Figura 12</b> Vista parcial do sistema coletor do escoamento superficial laminar no interior da mata com a cobertura plástica da Calha .....	<b>30</b>
<b>Figura 13</b> Estação limimétrica instalada na seção de deságüe da bacia .....	<b>31</b>
<b>Figura 14</b> Vista parcial dos vertedores da seção retangular (A) e seção mista (B).....	<b>31</b>
<b>Figura 15</b> Variabilidade espacial das chuvas dentro da parcela pluviométrica	<b>38</b>
<b>Figura 16</b> Curva de regressão dos valores de precipitação interna em função da precipitação total .....	<b>39</b>
<b>Figura 17</b> Curva de regressão dos valores de escoamento pelo tronco em função da precipitação total .....	<b>39</b>
<b>Figura 18</b> Curva de regressão dos valores de escoamento pelo sub-bosque em função da precipitação total .....	<b>40</b>
<b>Figura 19</b> Relação entre a interceptação (I) e a precipitação total .....	<b>40</b>

<b>Figura 20</b>	Curva de regressão dos valores de escoamento pelo tronco em função da precipitação interna .....	<b>44</b>
<b>Figura 21</b>	Relação entre o escoamento pelo tronco e a área basal de cada árvore .....	<b>45</b>
<b>Figura 22</b>	Relação entre o escoamento pelo tronco e o diâmetro à 1,30m do solo (DAP) .....	<b>45</b>
<b>Figura 23</b>	Escoamento superficial observado na parcela experimental .....	<b>48</b>
<b>Figura 24</b>	Correlação entre o escoamento superficial e a precipitação efetiva .....	<b>49</b>
<b>Figura 25</b>	Vazão observada na secção de deságüe da bacia e suas respectivas precipitações .....	<b>49</b>
<b>Figura 26</b>	Vazão estimada pelo método racional com valor de C tabelado e suas respectivas precipitações .....	<b>50</b>
<b>Figura 27</b>	Vazão estimada pelo método racional com valor de C tabelado e vazão observada .....	<b>50</b>
<b>Figura 28</b>	Vazão estimada pelo método racional com valor de C médio estimado e vazão observada .....	<b>51</b>
<b>Figura 29</b>	Correlação entre a vazão com C médio estimado e a vazão observada no linígrafo .....	<b>52</b>
<b>Figura 30</b>	Comparação entre a vazão observada e as estimadas pelo método Racional com coeficiente de retardamento proposto por Euclides (1987) e Pinto (1975).....	<b>53</b>
<b>Figura 31</b>	Comparação entre a vazão observada e a estimada pelo método racional com coeficiente redutor proposto pelo CCN (1991) .....	<b>53</b>
<b>Figura 32</b>	Vazão estimada pelo método racional tradicional e modificações ..	<b>54</b>
<b>Figura 33</b>	Vazão estimada pelo método CN e vazão observada no linígrafo ..	<b>55</b>
<b>Figura 34</b>	Vazão estimada pelo método CN e pelo método Racional tradicional e modificado	

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 01</b> Taxas de infiltração mínimas usadas na identificação do grupo hidrológico do solo .....	<b>14</b>
<b>Tabela 02</b> Eventos de precipitação interna que superaram a precipitação total .....	<b>37</b>
<b>Tabela 03</b> Interceptação média (%) para altura de chuvas menores que 8mm e maiores que 20mm .....	<b>43</b>
<b>Tabela 04</b> Repartição das chuvas para o total precipitado durante todo o período de estudo .....	<b>46</b>
<b>Tabela 05</b> Armazenamento temporário de água no ecossistema (%) relativo à precipitação total.....	<b>46</b>
<b>Tabela 06</b> Armazenamento temporário de água no solo em diferentes profundidades .....	<b>47</b>

## **1. INTRODUÇÃO**

A floresta Atlântica é uma das regiões com maior biodiversidade do mundo que abrangia uma área de cerca de 1,1 milhão de quilômetros quadrados na época do descobrimento do Brasil, restando hoje menos que 8% da área original. A luta pela preservação de seus remanescentes é de grande importância para a melhoria da qualidade de vida de futuras gerações. A sua biodiversidade, a torna uma fonte inesgotável de pesquisas, principalmente nas áreas de botânica, biologia, medicina e zoologia. Apesar deste reconhecimento a floresta Atlântica apresenta, em todos os estados brasileiros, um quadro bastante preocupante.

A Mata de Dois Irmãos, uma das poucas áreas remanescentes da floresta Atlântica no Estado de Pernambuco, pode ser considerada um patrimônio biológico incalculável que, a partir de janeiro de 1987, passou à categoria de Reserva Ecológica Municipal. Inseridos dentro da Reserva Ecológica de Dois Irmãos, os açudes do Meio, do Prata e Dois Irmãos compõem a bacia hidrográfica do Prata. Atualmente é gerenciada concomitantemente pela Companhia Pernambucana de Saneamento - COMPEA, para reforço ao abastecimento de água da cidade do Recife, e Horto de Dois Irmãos, para área de lazer e zoológico.

A cobertura vegetal, que em quase sua totalidade é composta pela floresta Atlântica, intercepta parte das chuvas que precipitam na bacia favorecendo o processo da evaporação e, conseqüentemente, diminuindo a quantidade de água que chega ao solo. Apesar dessa perda de água ter início já na copa das árvores, a presença da floresta é um fator positivo, pois ela diminui a velocidade da dinâmica do fluxo de água na bacia, favorecendo os reservatórios de água existente, contribuindo também, com grande quantidade de matéria orgânica que é incorporada ao solo.

A Bacia do Prata é um lugar de importância histórica, por marcar o início dos trabalhos visando ao abastecimento público de água em Pernambuco, além de servir como um modelo representativo de um ecossistema de mata atlântica, servindo como base de estudo para pesquisas de conservação e utilização racional desse ecossistema.

Apesar de ser uma bacia hidrográfica de grande importância, poucos estudos hidrológicos têm sido realizados na bacia do Prata de forma mais

específica, onde se considera com mais ênfase as condições locais no qual ela se encontra. Dessa forma, é extremamente importante conhecer parâmetros que sirvam como base para auxiliar nos estudos hidrológicos atuais e futuros, a fim de promover um melhor aproveitamento dos seus recursos naturais e contribuir para melhor preservar o meio ambiente.

Como ferramenta de auxílio para estudar os parâmetros hidrológicos pode-se utilizar modelos matemáticos, com a finalidade de reduzir os custos e minimizar o tempo de estudo com resultados confiáveis.

O presente estudo tem como objetivo estudar a repartição das chuvas em um fragmento de floresta Atlântica e avaliar os modelos de predição de vazão na bacia do Prata.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### ***2.1 Intercepção vegetal***

A cobertura florestal tem uma importância significativa dentro do contexto do balanço hídrico de um determinado local e pode, significativamente, alterar o mecanismo de entrada de água na superfície do solo. O formato da cobertura vegetal, área foliar, e mais controversamente discutido, a estrutura da casca são considerados fatores chaves para a capacidade de armazenamento de água no dossel, que podem afetar a intercepção das chuvas. A queda dessas chuvas sobre vales ou terrenos montanhosos pode seguir diversos caminhos no movimento colina em direção aos cursos d'água. No entanto, o tipo, extensão e condições de vegetação exercem uma marcada influência nos modelos de deposição e quantidade das precipitações pluviais que alcançam a superfície do solo. Então, toda modificação de uma cobertura florestal decorrente da intervenção do homem ou do seu desenvolvimento natural afeta a quantidade de água que chega ao solo e sua reserva (Lima & Nicolielo, 1983; Brooks et al.,1991; Huber & Oyarzún, 1992; Gash et al., 1995 e Van Dijk & Bruijnzeel, 2001).

Uma das principais influências da floresta ocorre já no recebimento das chuvas pelas copas das árvores, quando se dá o primeiro fracionamento da água, onde uma parte é temporariamente retida pela massa vegetal e em seguida evaporada para a atmosfera, processo denominado de intercepção. O restante alcança o solo por precipitação interna ou pelo escoamento de água pelo tronco das árvores (Arcova et al, 2003).

Denomina-se precipitação interna à chuva que atinge o piso florestal, incluindo as gotas que passam diretamente pelas aberturas entre as copas e gotas que respigam do dossel. Já a fração da chuva que é retida temporariamente pelas copas juntamente com aquela que atinge diretamente os troncos e que posteriormente escoam chegando ao solo, é denominada escoamento pelo tronco. A soma da precipitação interna e escoamento pelo tronco é denominado de precipitação efetiva, sendo esta a parcela da chuva responsável pela água do solo, absorção através das raízes, transpiração das plantas e, também, pela alimentação dos rios (Arcova et al., 2003; Leopoldo & Conte, 1985).

Por outro lado, a água que fica temporariamente retida na massa vegetal e em seguida é evaporada contribui para a evapotranspiração. De acordo com Calder (1990), a evaporação da precipitação interceptada e a transpiração de uma floresta podem representar uma grande perda de água em uma bacia hidrográfica. Lima (1993) considera a interceptação da água das chuvas, em regiões de regime de chuvas leves, porém contínuas e freqüentes, como a principal componente na representação da parcela do consumo total de água por uma floresta, suplantando a transpiração pelas árvores.

O conhecimento do tamanho de cada uma das três frações na repartição das chuvas, interceptação, precipitação interna e escoamento pelo tronco, será um complemento indispensável para se obter um valor preciso do balanço hídrico numa floresta (Jiménez et al., 1996). A quantidade de água envolvida nesses três processos é variável e depende de fatores relacionados, tanto com a vegetação quanto pelas condições climáticas na qual a floresta está inserida (Leopoldo & Conte, 1985). Por isso são necessários estudos particulares para cada situação exclusiva. Fatores experimentais também influenciam os resultados encontrados nos estudos destes processos, dificultando a comparação de resultados entre os locais (Castro et al., 1983).

De acordo com Bruijnzeel (1990), em termos genéricos, pode-se dizer que em florestas tropicais de 75 a 96% da precipitação total transforma-se em precipitação interna, entre 1 e 2% é convertida em escoamento pelo tronco e entre 4,5 e 24% são interceptadas pelas copas das árvores. Azevedo (1995) observou que as percentagens de precipitação interceptada são funções da densidade da população de árvores, sendo sempre maiores nas espécies resinosas de folhas permanentes do que nas folhosas caducifólias.

Apesar da grande importância que uma floresta exerce dentro do contexto do balanço hídrico local, ainda não são muitos os estudos sobre a repartição das chuvas por floresta atlântica. Quando o balanço da água de uma floresta é descrito, a interceptação não pode ser tratada como uma fração que é simplesmente subtraída da precipitação, mas os fluxos de água associados com os processos de umedecimento e secagem têm de ser quantificados (Jetten, 1996).

Nalon & Vellardi (1993) verificaram que em períodos caracterizados por apresentar regime de chuvas com baixas magnitudes, intensidade e frequência, registram-se as menores taxas de penetração e, conseqüentemente, maiores taxas de interceptação. Segundo os mesmos autores, um período pouco chuvoso permite que as folhas das árvores sequem entre duas chuvas consecutivas, aumentando a sua capacidade de retenção de água que é conduzida, em parte, pelo tronco até o solo.

Arcova et al. (2003), em estudo realizado numa floresta Atlântica, verificaram que as perdas por interceptação entre os períodos, chuvoso e pouco chuvoso, foram diferenciadas, com tendência de maiores valores no período menos chuvoso. Diferenças na interceptação entre períodos de chuvas também foram verificadas por Coelho Netto et al., (1986) e Nalon & Vellardi, (1992).

Llorens et al. (1997) dividiram os eventos de chuva em três classes (I; II; e III). Classe I - Longos eventos de chuva com baixa intensidade e condições atmosféricas úmidas. Estes eventos produzem baixas taxas de interceptação, com uma média em torno de 15%. Classe II – Pequenos eventos com alta intensidade de chuva e condições atmosféricas secas. Produzem as mais baixas taxas de interceptação com média de 13%. Classe III – médios eventos de chuva com alta intensidade e condições atmosféricas muito secas. Produzem as mais altas taxas de interceptação com média de 49%.

Em estudo realizado em floresta de *Pinus sylvestris*, Llorens et al. (1997) encontraram valor relativo médio de interceptação igual a 24% da precipitação total. Nesse estudo os autores constataram que a interceptação diminuiu de mais de 50% para eventos menores que 8 mm a 15% para eventos maiores que 20 mm, e permaneceu constante para os maiores eventos.

Na repartição das chuvas, a maior parcela de contribuição é encontrada na precipitação interna. Marin et al. (2000) observaram grande variabilidade das precipitações internas, quando comparadas às medidas realizadas dentro de uma mesma sub-parcela, e pequena variação quando comparada as médias de sub-parcelas diferentes. Segundo Tucci (1993), a interceptação da chuva pelo dossel depende de vários fatores: características da precipitação e condições climáticas, tipo e densidade da vegetação e

época do ano. Ferreira et al. (2005) observaram que um dos fatores que mais contribuiu para a diferença nos resultados da precipitação interna e da interceptação da chuva, ou seja, na variabilidade dos dados, foi a estrutura florestal muito heterogênea.

Por causa da grande variabilidade na precipitação interna devido à estrutura florestal, muitas leituras são necessárias para estudar interceptação em floresta, pois a maior quantidade de água registrada em alguns coletores é decorrente de fluxo de água concentrado em pontos de inflexão de ramos. Por este motivo, há necessidade de vários coletores de medições na amostragem da precipitação interna, além de uma casualização na reposição por longo período de tempo, que seria o procedimento indicado para proporcionar estimativas mais precisas da precipitação interna em florestas tropicais, onde a mudança de posição dos coletores após transcorridos alguns eventos de chuva, tem um efeito positivo para reduzir o erro padrão das estimativas (Ford & Deans, 1978; Lloyd & Marques-Filho, 1988; Kellman & Roulet, 1990; Jetten, 1996; Marin, 2000).

Parte da precipitação que chega ao solo por meio do escoamento pelo tronco, é dependente de uma série de fatores relativos à espécie vegetal. Franken et al. (1982) salientaram que além da quantidade e intensidade das chuvas, a rugosidade do tronco, características morfológicas do vegetal, idade do povoamento, diâmetro do tronco e posição da espécie dentro do ecossistema influenciam o escoamento de água pelo tronco. Huber & Oyarzún (1990) observaram altos valores de escoamento pelo tronco em povoamento de *Pinus radiata*, com volume superior à média de outras coníferas. Os mesmos autores atribuíram essa diferença à distribuição geométrica e convergência dos ramos. Huber & Oyarzún (1992) observaram que a forma irregular dos ramos dificulta o escoamento pelo tronco, uma vez que a água escorrida pelos mesmos se desprende antes de alcançar o tronco.

Aboal et al. (1999) concluíram que árvores com maior área de copa, não dominada por seus vizinhos e com cascas mais lisas, proporcionam a coleta de maiores volumes de escoamento pelo tronco. Diferenças entre as espécies ocorreram principalmente devido à aspereza da casca. Os mesmos autores verificaram que o escoamento pelo tronco representou 10% da precipitação total, durante grandes eventos de chuva.

Lima (1998) supôs que a abundância de plantas trepadeiras, que contornam os troncos das árvores nas proximidades das copas, deve favorecer o desvio de parte de água que seria destinada ao escoamento pelo tronco. A presença de espécies com cascas espessas, ásperas e fendidas, poderiam constituir-se, também, em empecilho ao escoamento, por funcionarem como uma “esponja” na absorção de água. A ocorrência de líquens no tronco, provavelmente contribui para a evaporação de parte do fluxo de água, que sob condições normais seria escoado. A existência de árvores com troncos retorcidos e inclinados, e o entrelaçamento dos galhos das árvores vizinhas devem contribuir, da mesma forma, para o aumento do gotejamento. Vieira & Palmier (1997) constataram uma relação direta do volume escoado com o diâmetro do tronco, isto é, quanto maior o diâmetro da árvore maior a quantidade de água escoada.

Návar & Bryan (1990), realizando experimento com espécies arbustivas do semi-árido do nordeste do México, constataram que o atraso no tempo inicial do escoamento pelo tronco depende da rugosidade do ramo, da quantidade e taxa de fluxo no ramo, acúmulo de líquens e fungos, bem como da quantidade de precipitação e intensidade, além da temperatura da precipitação e, principalmente, do grau de umidade do ramo. Os mesmos autores observaram que muitas variações no escoamento pelo tronco podem ser explicadas pela posição e ângulo dos ramos, ou seja, árvores com ramos apontados para cima produzem escoamento pelo tronco de valores mais elevados e com maior velocidade na sua condução, do que árvores que têm seus ramos apontados para baixo ou na posição horizontal. Návar (1993) afirmou que a área do ramo que afeta a interceptação de água de chuva, bem como o seu ângulo, determinam a eficiência do afunilamento e, provavelmente, se combinam para explicar a variabilidade de escoamento pelo tronco em espécies onde as folhas não contribuem para geração do escoamento.

Giacomin & Trucchi (1992) constataram que no período em que as árvores perdiam as folhas, eram registrados os mais elevados valores de escoamento pelo tronco, exceto para a classe de precipitação de 1 a 5 mm. Segundo os referidos autores, a folhagem das árvores favorecia a

concentração de água, dificultando o umedecimento dos ramos que conduziam água em direção ao tronco.

Em geral, o escoamento pelo tronco representa uma parcela menor que 2% (Leopoldo et al., 1987; Ubarana, 1996; Charles, 1998; Lima, 1998 e Oliveira Junior & Dias, 2005). Segundo Johnson (1990), o escoamento pelo tronco é desprezível quando determinado como porcentagem das precipitações incidentes.

Ferreira et al. (2005) determinaram a perda por interceptação apenas pela diferença entre a precipitação total e a precipitação interna, desprezando o escoamento pelo tronco. No entanto, alguns autores consideram o volume escoado pelo tronco como um mecanismo de auto-abastecimento resultante da distribuição localizada e significativa ao redor dos troncos bastante importantes, principalmente durante a época do ano com poucas precipitações (Price, 1982; Huber & Oyarzún, 1990).

De acordo com Kellman & Roulet (1990) árvores jovens do estrato superior e arbustos podem ser mais efetivos no escoamento pelo tronco. Os mesmos autores verificaram também que essa camada inferior contribui cerca de dez vezes mais do que a camada superior na quantidade de água escoada pelo tronco.

Por conta do escoamento pelo tronco poder ser pequeno em termos de volumes e porcentagens, talvez esta seja uma das razões pela qual tenha recebido pouca atenção (Taniguchi et al., 1996). No entanto, algumas vezes, grandes quantidades de escoamento pelo tronco foram registradas, ou altas porcentagens em relação à precipitação total, como a observada por (Slatyer, 1965; Hewirtz, 1986 e Lloyd & Marques, 1988 ). O primeiro autor chegou a observar um valor extremo de 42%.

Carlyle-Moses (2004), após ter utilizado apenas 4 árvores, chama a atenção em seu estudo para um maior número de amostras devido à importância quantitativa e a alta variabilidade do escoamento pelo tronco.

Hanchi & Rapp (1997) recomendaram projetos que levem em consideração a área basal e o diâmetro à 1,30 m do solo (DAP) das árvores estudadas.

## **2.2 Escoamento superficial**

A existência de água nos continentes deve-se à precipitação. Assim, da precipitação que atinge o solo, parte fica retida quer seja em depressões quer seja como película em torno de partículas sólidas. Quando a precipitação preenche as pequenas depressões do solo, a capacidade de retenção da vegetação foi ultrapassada e foi excedida a taxa de infiltração, começando a ocorrer o escoamento superficial. Inicialmente, formam-se pequenos filetes que escoam sobre a superfície do solo até se juntarem em corredeiras, canais e rios. O escoamento ocorre sempre de um ponto mais alto para outro mais baixo, sempre das regiões mais altas para as regiões mais baixas até o mar.

O escoamento superficial corresponde ao segmento do ciclo hidrológico relacionado ao deslocamento das águas sobre a superfície do solo. A maioria dos estudos hidrológicos está ligada ao aproveitamento da água superficial e à proteção contra os fenômenos provocados pelo seu deslocamento (Pruski et al. 2004).

O escoamento superficial é um dos primeiros fatores a ser alterado quando a cobertura vegetal de uma bacia é modificada e, conseqüentemente, a produção de sedimentos (Santos, 2000).

Vários são os fatores que influenciam o escoamento superficial (Pruski et al., 2004):

### **Agroclimáticos**

O escoamento superficial tende a crescer com o aumento da intensidade, da duração da precipitação e da área abrangida pela precipitação, a qual constitui a principal forma de entrada de água no ciclo hidrológico.

A cobertura e os tipos de uso do solo, além de seus efeitos sobre as condições de infiltração da água no solo, exercem importante influência na interceptação da água advinda da precipitação. Quanto maior a porcentagem da cobertura vegetal e rugosidade da superfície do solo, menor o escoamento superficial.

A evapotranspiração também representa importante fator de retirada de água do solo. Portanto, quanto maior a evapotranspiração, menor será a

umidade do solo e, quando há ocorrência de precipitação, conseqüentemente, maior será a taxa de infiltração e menor o escoamento superficial.

### **Fisiográficos**

Quanto maior a área e a declividade da bacia, maior deverá ser a vazão máxima de escoamento superficial que ocorrerá na secção de deságüe da bacia, e quanto mais a forma da bacia aproximar-se do formato circular, mais rápida deverá ser a concentração do escoamento superficial e, conseqüentemente, maior deverá ser a sua vazão máxima.

Quanto às condições de superfície, dentre os fatores que mais influenciam o escoamento superficial, podem-se citar:

- Tipo de solo: interfere diretamente na taxa de infiltração da água no solo e na capacidade de retenção de água sobre a sua superfície;
- Topografia: além de influenciar a velocidade do escoamento da água sobre o solo, interfere também na capacidade de armazenamento de água sobre este, sendo as áreas mais declivosas geralmente com menor capacidade de armazenamento superficial do que as mais planas;
- Rede de drenagem: rede de drenagem muito densa e ramificada permite a rápida concentração do escoamento superficial, favorecendo, conseqüentemente, à ocorrência de elevadas vazões sobre a superfície do solo; e
- Obras hidráulicas presentes nas bacias: enquanto as obras destinadas à drenagem ocasionam aumento da velocidade de escoamento da água na bacia, as obras destinadas à contenção do escoamento superficial resultam em redução da vazão máxima em uma bacia.

### **2.3 Modelagem**

Basicamente, a modelagem matemática consiste em representar matematicamente o que acontece na natureza a partir de um modelo conceitual, idealizado com base nos dados de observação do sistema real. O objetivo dessa modelagem é, então, compreender o sistema e prever situações futuras, algumas vezes também reproduzir o passado, para direcionar as ações e decisão (Machado, 2002).

De acordo com Woolhiser & Brakensiek (1982), os modelos podem ser classificados como materiais ou conceituais. O modelo material representa um sistema físico que é assumido para ser significativamente mais simples do que o sistema idealizado e é também assumido para ter propriedades similares à esse sistema. Modelos conceituais são representações matemáticas do sistema físico idealizado, que tem a propriedade estrutural importante do sistema físico real. Esses modelos são baseados em tratamento teórico ou empírico dos processos e mecanismos que influenciam o sistema físico real. Enquanto modelos empíricos omitem as leis da Física, que estão relacionadas no processo do sistema e usam dados observados para formular as relações dos sistemas, modelos teóricos usam leis físicas para desenvolver um grupo de algoritmos para o sistema físico idealizado.

Chow (1998) divide os modelos teóricos em determinísticos e não determinísticos. Os modelos não determinísticos são expressos em termos probabilísticos ou estocástico e definem o sistema físico com resultado incerto e aleatório. Modelos estocásticos, entretanto, têm alguns componentes que são aleatórios com a probabilidade direta do domínio do espaço e tempo, e suas saídas podem ser expressas em termos de média e variação de probabilidade. Modelos determinísticos ignoram o impacto das perturbações atribuídas à aleatoriedade nos parâmetros do sistema e definem o sistema físico como ele ocorre em um dado grupo de eventos governados por um resultado identificável.

Os modelos determinísticos podem ainda ser divididos em concentrados e distribuídos. Um modelo é dito concentrado quando seus parâmetros e variáveis apresentam variação com o tempo, sendo a variabilidade espacial representada por um valor médio, o que é uma simplificação muito grande da realidade. Os modelos distribuídos subdividem a bacia em elementos que são considerados homogêneos quanto às propriedades avaliadas, representando, além da variação temporal, a variabilidade espacial do sistema físico (Machado, 2002).

A utilização de modelos não apresenta somente vantagens. Faz-se necessário o conhecimento de suas limitações e dos problemas relativos a essa ferramenta, para realização de trabalhos sérios com base no seu uso. Uma das alternativas para contornar esse problema, é a partir da proposição

de uma descrição do sistema real, que o represente na escala do objeto do estudo. Essa representação deve basear-se em conhecimento técnico de alto nível, adquirido em pesquisas básicas, que facilitem a descrição dos processos envolvidos. Mediante essa abordagem, torna-se possível a proposição de modelos matemáticos que represente o problema de forma mais eficiente e, posteriormente, sua transcrição para a linguagem computacional, viabilizando o comportamento da dinâmica desse sistema pela simulação de cenários alternativos, muitos deles ainda não testados em cenário real (Machado, 2002 e Pessoa et al., 1997). O último autor afirma que a crescente demanda no uso, proposição e validação dos modelos matemáticos e simuladores, cada vez mais próximos da realidade, reside nas vantagens obtidas com o emprego dessa técnica, a saber: baixo custo, velocidade, informação completa, criação de cenários diversificados e proposição de cenários ideais. Podemos destacar: (a) Método da Curva Número, (b) Método Racional e (c) Método Racional Modificado.

#### ***a) Método da curva número (CN)***

O Método da Curva Número ou Método CN foi desenvolvido pelo Serviço de Conservação de Solos (Soil Conservation Service – SCS) do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (United States Department of Agriculture – USDA), e tem sido um dos principais métodos aplicados à microbacias hidrográficas no Brasil (Tucci, 2001). Por este método pode-se estimar a lâmina de escoamento superficial a partir de dados de precipitação e de outros parâmetros da bacia (Pruski et al., 2006). Genovez (2001) reforça afirmando que o método avalia o escoamento superficial causado por determinada chuva, sobre uma área específica, utilizando dados de solo e da cobertura vegetal. Para tanto, são definidas condições de umidade antecedente da bacia. Essas condições são também chamadas de condições de saturação do solo, e neste método elas se dividem em três níveis, dependentes da chuva total ocorrida em um período máximo de 5 dias antecedentes à determinação do armazenamento. Segundo Ponce (1989), períodos maiores podem ser utilizados (2 semanas), porém não acrescentam precisão ao método.

As condições de umidade antecedente são assim definidas: (Genovez, 2001)

**Condição I:** apresenta baixo potencial de run off. Situação na qual os solos da bacia estão secos, porém não até o ponto de murchamento das plantas, com umidade suficiente para serem arados e cultivados.

**Condição II:** apresenta médio potencial de run off. Nesta situação os solos da bacia estão com umidade média, sendo este o caso em que as condições da bacia precederam a ocorrência de cheias em numerosos casos.

**Condição III:** apresenta alto potencial de run off. Nesta condição o solo se apresenta praticamente saturado em consequência das chuvas ocorridas nos cinco dias anteriores.

O valor de CN é encontrado para uma condição de umidade antecedente II, devendo este ser ajustado para as condições I e III se for necessário. O Anexo I mostra os valores de CN para condição II e os seus respectivos ajustes para as condições I e III.

Os tipos de solo definidos pelo SCS-USDA são quatro, A, B, C e D, e podem ser identificados de três maneiras: através de suas características, do levantamento realizado no município ou da taxa de infiltração. Estão descritos a seguir da seguinte forma (Genovez, 2001):

#### ***Quanto às suas características***

**Grupo A** – solos com baixo potencial de escoamento superficial, alta taxa de infiltração, mesmo quando completamente úmidos, são solos muito permeáveis. Neste grupo estão incluídos os solos arenosos profundos com pouco silte e argila.

**Grupo B** – solos com moderada taxa de infiltração quando completamente úmidos, são menos profundos ou menos compactos que o grupo A, porém com infiltração média superior e menos permeável que o anterior.

**Grupo C** – são solos pouco profundos, que geram escoamento superficial acima da média e com infiltração inferior à média. Apresentam camada de impedimento e considerável percentagem de argila.

**Grupo D** – são solos pouco profundos e de camada impermeável, com infiltração muito baixa, gerando muito escoamento superficial.

### **Quanto à taxa de infiltração**

Os solos podem ser classificados de acordo com a taxa de infiltração, porém, na literatura encontram-se diferentes valores atribuídos às classes de solo. A tabela 01 mostra valores de taxa de infiltração atribuídos às classes de solo por diferentes autores.

Tabela 01. Grupo hidrológico do solo em função das taxas de infiltração mínimas

Autor	Grupos de solo definido pelo SCS-USDA			
	D	C	B	A
SCS (1972)*	< 5,1	5,1 – 20,3	20,3 – 127,0	> 127,0
Leven e Stender (1967)*	< 20,3	20,3 – 63,5	63,5 – 127,0	> 127,0
UFSS (sem data)*	< 12,7	12,7 – 31,8	31,8 – 76,2	>76,2
Miller et al. (1973)*	< 2,0	2,0 – 3,8	3,8 – 7,6	> 7,6
Estgate (1977)*	< 4,6	4,6 – 9,9	9,9 – 30,0	> 30,0
Musgrave (1973)*	< 5,6	5,6 – 11,9	11,9 – 25,4	> 25,4
Pruski et al. (1997a)*	< 3,0	3,0 – 40,0	40,0 – 190,0	> 190
McCuen (1982) **	< 1,3	1,3 – 3,8	3,8 – 7,6	7,6 – 11,4

Fonte: (\*) Hawkins, citado por Pruski et al. (2004) (\*\*) McCuen, citado por Genovez (2001)

### **Quanto ao levantamento realizado no município**

Vai depender dos resultados obtidos no levantamento, no qual são associados os grupos hidrológicos com as classes de solo. Lombardi Neto et al. (1989) apresentaram resultados que diferem em muito daqueles apresentados na definição dos tipos de solo do SCS, pois, embora alguns solos apresentassem a mesma textura, teriam comportamentos diferentes dos solos americanos com relação à infiltração e à produção de escoamento superficial.

A equação inicial (Equação 01) é baseada em tendências observadas em coletas locais de dados. Então, ela é uma equação empírica, ao invés de uma equação baseada em parâmetros físicos. Depois da avaliação empírica das tendências no banco de dados, podem ser definidas as abstrações iniciais como uma porcentagem do potencial máximo de retenção de água, após ter iniciado o escoamento superficial.

$$ES = \left( \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} \right) \quad [01]$$

Em que ES é o escoamento superficial,  $I_a$  é a abstração inicial e S o potencial máximo de retenção de água após o início do escoamento superficial.

A abstração inicial é toda perda que ocorre antes do escoamento superficial. Ela inclui a água retida nas depressões da superfície e a água interceptada pela vegetação, evaporação e infiltração.  $I_a$  é altamente variável, mas conforme dados de muitas pequenas bacias agrícolas,  $I_a$  foi aproximado pela equação 02 (Rawls et al., 1996).

$$I_a = 0,2S \quad [02]$$

Woodward et al. (2001) indicam que a justificativa inicial para estabelecer que  $I_a = 0,2S$  não está clara em sua formulação inicial, e com base em investigações de 307 bacias e parcelas propõem o valor de abstração inicial igual a 5% da infiltração potencial máxima.

### ***b) Método Racional***

Este método permite a determinação da vazão máxima de enchente, diferentemente do método CN, que permite a obtenção do hidrograma de projeto. Segundo Genovez (2001) a origem de sua fórmula é um pouco obscura, sendo mencionada pela primeira vez na literatura americana em 1889 por Emil Kuiching.

É um método onde se pode estimar a vazão máxima de escoamento superficial a partir de dados de chuva para pequenas bacias que, segundo a literatura, apresenta área variável de 50 a 500 ha.

Este método foi originalmente desenvolvido para estimar a vazão máxima de escoamento superficial em pequenas bacias urbanas, cuja proporção de área impermeável é grande, ou seja, para condições em que o valor do coeficiente de escoamento superficial (C) se aproxime da unidade. O uso do método em áreas agrícolas é mais apropriado para bacias que não excedem a 200 ha (Smedema & Rycroft, 1983).

De acordo com Pruski (2004), o Método Racional está fundamentado nos seguintes princípios básicos:

- a) As precipitações deverão ter alta intensidade e curta duração, sendo a vazão máxima de escoamento superficial aquela que ocorre quando a duração da chuva for igual ao tempo de concentração da bacia ( $t_c$ ), situação em que toda a área da bacia deverá contribuir com o escoamento superficial na seção de deságüe. Ao considerar essa igualdade, admite-se que a bacia é suficientemente pequena para que esta situação ocorra. Em pequenas bacias a condição crítica acontece devido às chuvas de curta duração e alta intensidade. A consideração das chuvas com duração superior ao  $t_c$  causaria também a redução da vazão máxima, pois a tendência natural da intensidade da chuva é inversamente proporcional à sua duração. O método não considera que em um tempo inferior ao tempo de concentração ( $t_c$ ) a intensidade maior da precipitação possa causar vazão de escoamento superficial maior do que aquela com duração igual ao  $t_c$ .
- b) A precipitação igual ao  $t_c$  ocorre, uniformemente, ao longo de toda a bacia;
- c) Dentro de um curto período de tempo, a variação na taxa de infiltração não deverá ser grande. Geralmente admite-se que durante o evento extremo o solo encontra-se saturado e, portanto, com a taxa de infiltração estável, que ocorre após longo tempo de infiltração e corresponde à condição mais favorável à ocorrência de escoamento superficial; e
- d) Utilização de um único coeficiente de escoamento superficial, estimado com base nas características da bacia.

### ***c) Método Racional Modificado***

Procurando-se utilizar o método racional de forma adequada para as diversas condições existentes, que diferem das condições originais na qual o método foi desenvolvido, inúmeras modificações foram propostas para adaptar o método a outras condições de estudo. Uma das modificações é a

utilização do *coeficiente de retardamento* ( $\phi$ ) que procura corrigir o fato de o escoamento superficial sofrer um retardamento em relação ao início da precipitação. Euclides (1987) em trabalho realizado no Sul de Minas Gerais ajustou uma equação, com coeficiente de correlação igual a 0,70, que permite estimar o valor de  $\phi$  em função da área da bacia. Pinto et al. (1975) estimaram o valor de  $\phi$  em função da área da bacia e também da sua declividade. Outra modificação é a utilização do *coeficiente de distribuição das chuvas* ( $f$ ), que segundo Raudkivi (1979), em pequenas bacias a vazão é proporcional a área da bacia. Para áreas de até 1500 km<sup>2</sup> a vazão é proporcional à  $A^{0,75}$  e para áreas acima de 1500 km<sup>2</sup> à  $A^{0,50}$ .

CCN (1991), citado por Steffen & Rondon (2000) apresentou uma modificação na fórmula tradicional, na qual a área da bacia está elevada a um coeficiente denominado coeficiente redutor, cujo valor é igual à unidade para bacias com área até 50 ha e 0,9 para bacias com área superior.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização da área de estudo

O experimento foi desenvolvido na Bacia do Prata, localizada entre as coordenadas 286.000 E, 9.113.000 S e 284.000 E, 9.116.000 S. Ao Norte faz limite com a bacia do rio Beberibe e ao oeste com a bacia do rio Camaragibe. Apresenta três reservatórios superficiais, conhecidos como açudes do Meio, do Prata e Dois Irmãos. De acordo com Figueiredo et al. (2005) e Silvestre et al. (1998), apesar da pressão exercida pela população urbana nos seus arredores, constitui-se num dos remanescentes da Mata Atlântica do Estado de Pernambuco, sendo considerada mata primária e/ou mata em estado avançado de regeneração, tratando-se de área de preservação ambiental, rica em biodiversidade. Na figura 01 é mostrada a localização da Bacia do Prata na Zona da Mata do Estado de Pernambuco.

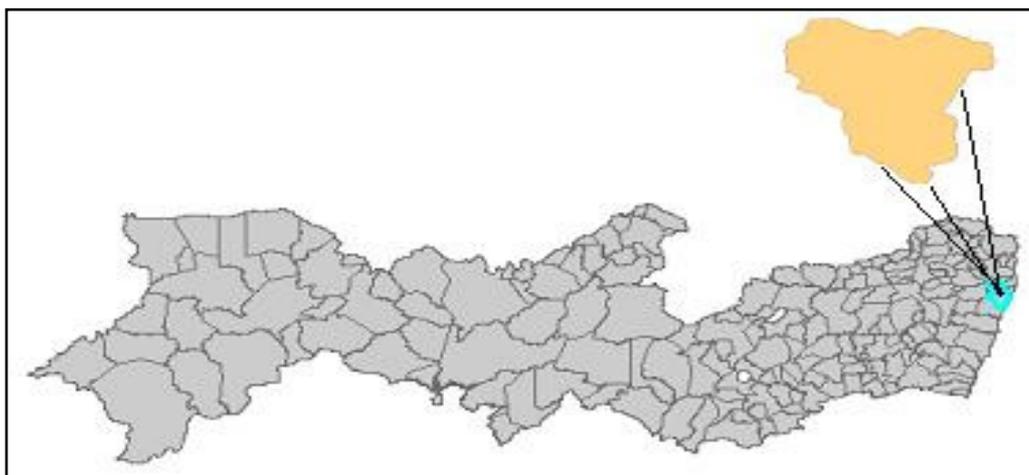


Figura 01 – Localização da Bacia do Prata na Zona da Mata do Estado de Pernambuco

De acordo com a classificação de Koppen, o clima do local enquadra-se no tipo As', denominado tropical quente-úmido com temperatura anual situando-se na faixa de 25,4°C, precipitação pluviométrica média anual de 2457mm, com chuvas de outono-inverno, caracterizando-se por dois períodos distintos de regime pluviométrico: uma estação seca ou de estiagem, que se prolonga de setembro a fevereiro (primavera-verão) e uma estação chuvosa de março a agosto (outono-inverno) (INMET, 1992).

De acordo com Figueiredo et al. (2005), a Bacia do Prata apresenta um perímetro de 6,5 km e área total de 1,86 Km<sup>2</sup>, dos quais 5,5 % são de espelho

d'água, correspondendo a 50 % dos 387,4 hectares do Parque Estadual Dois Irmãos.

O coeficiente de compacidade é de 1,33 e fator de forma de 0,45, indicando que a bacia está pouco sujeita a enchentes. O principal curso d'água que percorre a bacia tem 2,020 km de extensão; a bacia é de quarta ordem com densidade de drenagem de 6,87 km/km<sup>2</sup>. De acordo com o valor da densidade de drenagem, observa-se que a bacia apresenta uma alta transmissibilidade, o que demonstra que o terreno apresenta um bom grau de infiltração. É apresentada nas figuras 02 e 03, respectivamente, a delimitação da área da bacia experimental com as curvas de nível e as linhas de drenagem.

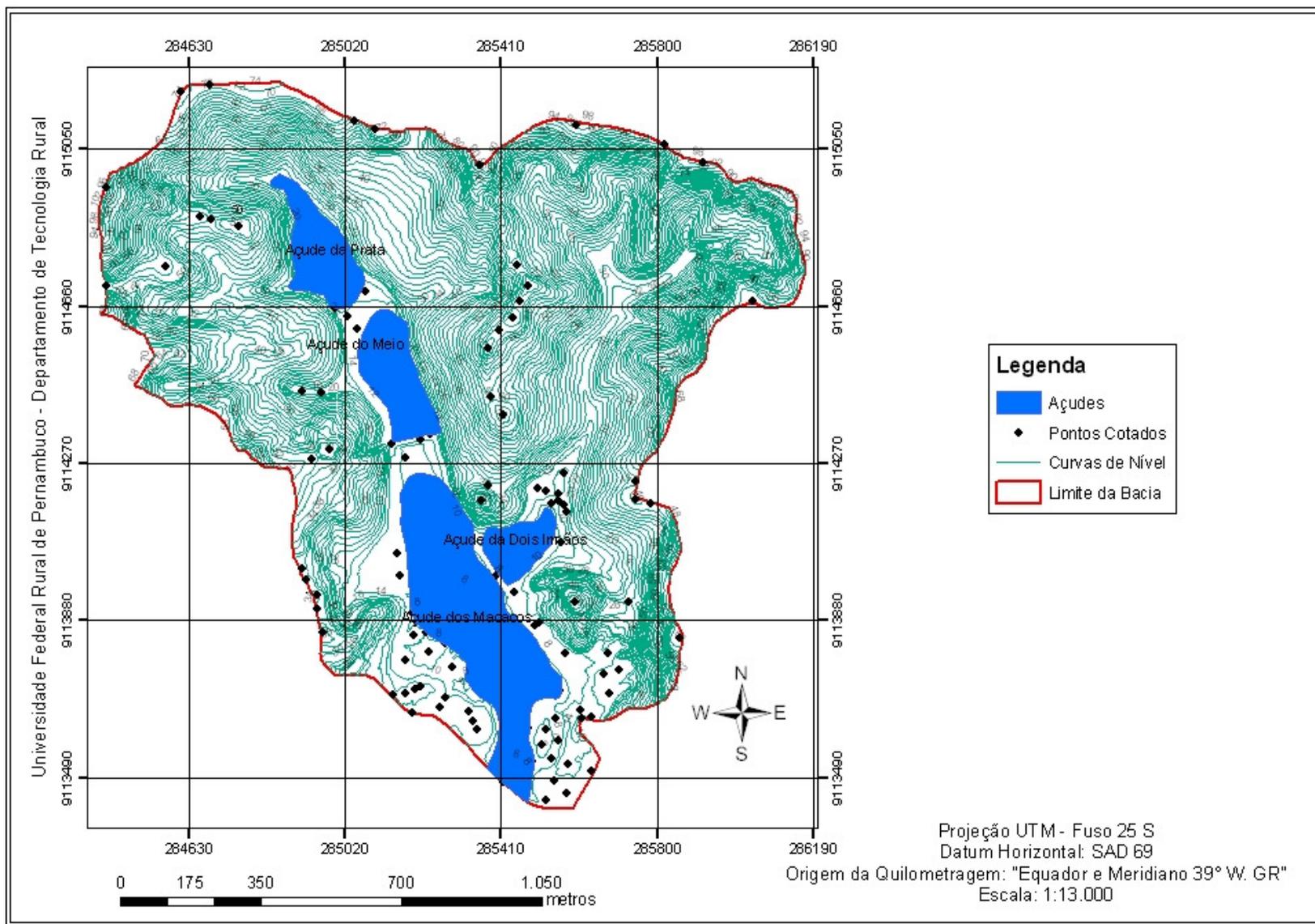


Figura 02 – Carta planialtimétrica da Bacia do Prata em Recife – PE. Fonte: CALDAS (2007)

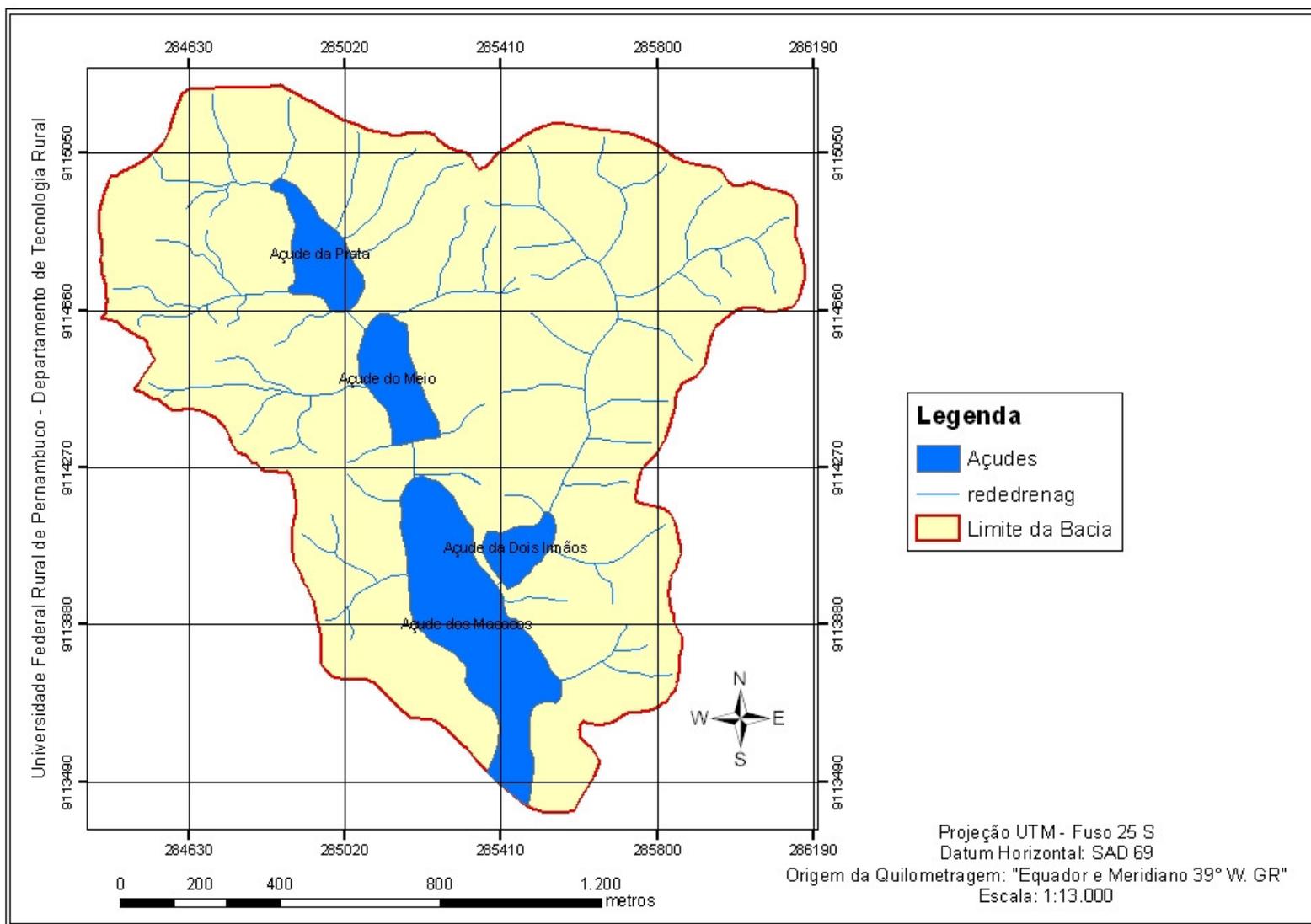


Figura 03 – Carta de drenagem da Bacia do Prata. Fonte: CALDAS (2007)

O relevo da bacia hidrográfica em estudo varia de plano a montanhoso, com altitude variando de 8 m a 106 m. A declividade média é de aproximadamente 33%. A Curva hipsométrica da bacia é apresentada na figura 04, onde se percebe que a altitude mediana é de 58 metros. O tempo de concentração ( $t_c$ ) da bacia é de aproximadamente 51 minutos, e foi estimado utilizando-se a equação de Kirpich (Equação 03).

$$t_c = 57 \times L^{1.155} \times H^{-0.385}$$

[03]

Onde:

$T_c$  – tempo de concentração, min;

L – comprimento do talvegue, Km;

H – diferença de cotas entre o ponto mais distante e o exutório da bacia, m.

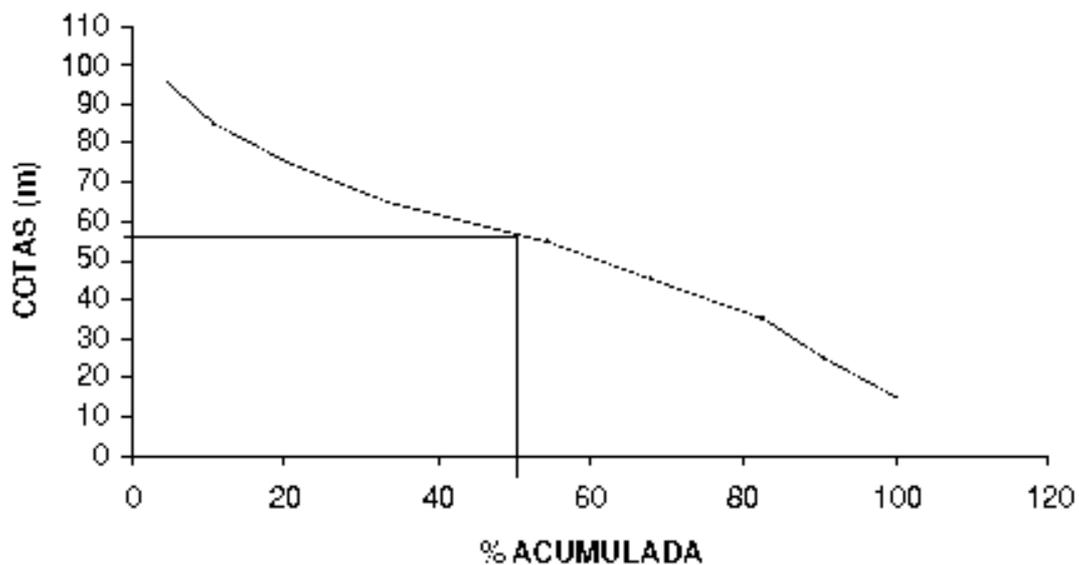


Figura 04. Curva hipsométrica da Bacia do Prata

A pedologia da bacia é composta por latossolos (LA1, LA2, LA3, LA4 E LA5); argissolos (PA1, PA2, PA3, PA4); neossolo quartzarênico (RQ) e tipo de terreno + gleissolo melânico tb (TT), (ver anexo II). A figura 05 mostra a Bacia do Prata e suas divisões pedológicas.

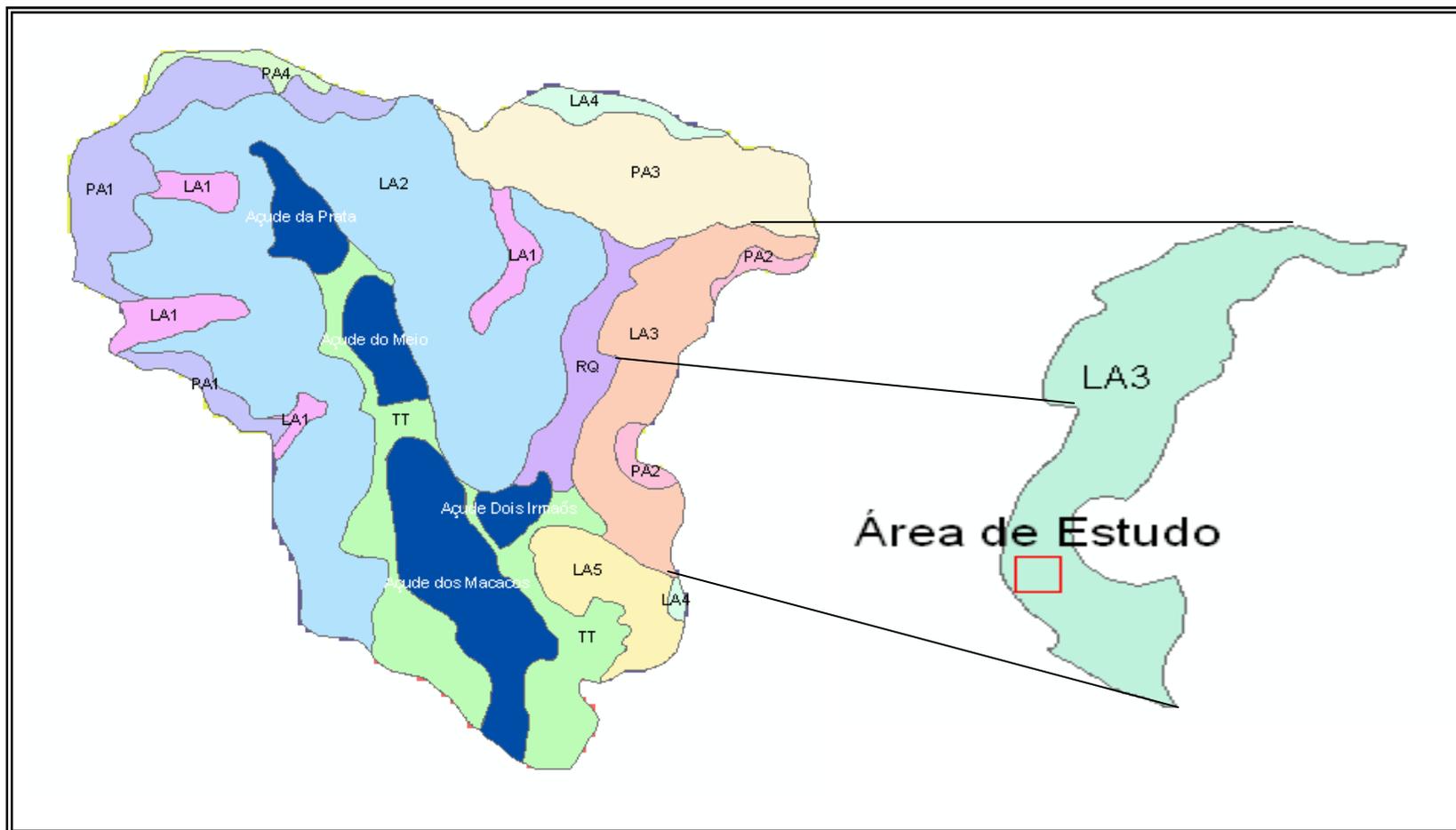


Figura 05 – Divisões pedológicas e localização da parcela experimental na Bacia do Prata. Fonte: CALDAS (2007)

A identificação das espécies vegetais presentes na área de estudo, foi realizada pelo Departamento de Engenharia Florestal da UFRPE. Os materiais utilizados para auxiliar a caracterização das espécies foram: podão, tesoura de poda, faca e máquina fotográfica. Foram identificadas, tanto as espécies vegetais que estavam sendo usadas para quantificação do escoamento da água de chuva pelo tronco, quanto as espécies vizinhas.

Devido ao fato deste fragmento ser uma área perturbada, ou seja, não apresentar mais suas características originais, a fitossociologia da área trabalhada foi baseada na sua regeneração natural e nas espécies desenvolvidas, contudo a mesma não apresenta em sua totalidade as espécies pioneiras de mata atlântica, pois sofrera por vários anos ação antrópica.

O trabalho foi conduzido durante um ano hidrológico, correspondente ao período de maio de 2006 a abril de 2007. A área em estudo foi instrumentada de modo a permitir o levantamento de informações inerentes às seguintes características: interceptação, precipitação total, precipitação interna, escoamento pelo tronco do estrato superior e do sub-bosque e escoamento superficial no interior da mata e na seção de deságüe da bacia. As coletas dos dados foram realizadas após um ou mais eventos de chuva natural, exceto a determinação da umidade do solo, que foi em intervalo mensal.

### ***3.2 Precipitação Total (PT)***

A precipitação total foi determinada por meio da utilização de um pluviógrafo automático modelo TB4-L de Báscula da Campbell Scientific, com resolução de 0,254mm e capacidade de acumulação de 0 à 700mm/h de pluviosidade (Figura 06). Cada pluviógrafo é dotado de um datalogger, que registra a lâmina acumulada com intervalo de uma hora. No entanto, o mesmo está programado para quando ocorrer um evento de chuva, realizar a leitura num intervalo de tempo de 05 minutos. O pluviógrafo foi instalado na estação experimental da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) em local aberto, a uma distância de aproximadamente 1200 m da parcela experimental.



Figura 06. Vista parcial do pluviógrafo automático instalado na Estação Meteorológica da UFRPE

### ***3.3 Precipitação Interna (PI)***

Para a determinação da PI, foram utilizados 24 interceptômetros, construídos com tubos de PVC de 100mm de diâmetro e área de captação igual a 78,54 cm<sup>2</sup>. Os interceptômetros foram montados a partir de das seguintes peças: redução de PVC de 100 para 75mm de diâmetro; luva de PVC de 100mm de diâmetro; funil de 75mm de diâmetro, as quais foram organizadas de forma que se assemelhassem à estrutura de um pluviômetro oficial (Figura 7).



Figura 07. Interceptômetro instalado no interior da mata.

Os interceptômetros foram instalados no interior da Mata Atlântica, obedecendo a um espaçamento de 10m, nivelados e colocados a uma altura de 1,50m do solo, determinando uma distribuição em malha de 50 x 30m. A malha foi distribuída no interior da mata, junto às árvores selecionadas para quantificação do escoamento pelo tronco. Após 5 coletas mudou-se, em 1m, a posição de cada interceptômetro, de modo que, cada um ocupou 4 pontos diferentes no interior da mata. A PI média de cada coleta foi obtida através da média aritmética do volume coletado nos 24 interceptômetros. Na figura 08 é mostrado o esquema de distribuição dos interceptômetros na área experimental.

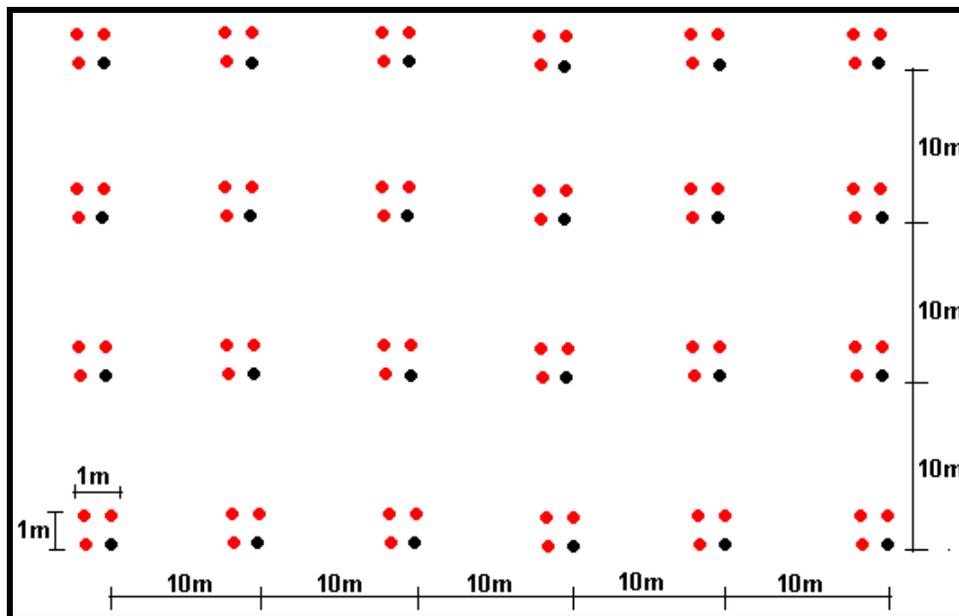


Figura 08. Distribuição dos interceptômetros na área experimental

### **3.3 Escoamento pelo tronco (Esc Tr)**

Para a quantificação do escoamento pelo tronco selecionou-se 20 árvores, sendo estas as mais altas e com o diâmetro à 1,30m do solo (DAP) acima de 20cm, as quais foram envolvidas por um segmento de mangueiras plásticas de  $\frac{3}{4}$  de polegadas, cortadas no sentido longitudinal, constituindo-se em calhas coletoras do montante escoado. As calhas foram fixadas sob a forma de espiral, acompanhando a circunferência dos troncos das árvores, onde a vedação do contato mangueira-tronco deu-se por meio da utilização de massa adesiva própria para calafetação (Figura 09). Desta forma, o

volume da água de chuva captada foi conduzida até um funil plástico, fixado no tronco da árvore, e canalizada por mangueira para um recipiente armazenador (Lima, 1976; Leopoldo & Conte, 1985 e Lima, 1998).



Figura 09. Sistema coletor de água escoada pelo tronco das árvores do estrato superior

De posse do volume de precipitação armazenado, determinou-se a lâmina média do montante escoado pelo tronco através da relação entre o volume total escoado e o somatório das áreas de captação das 20 árvores. Para se determinar a área de captação de cada árvore traçaram-se, através de projeção vertical da copa ao solo, pelo menos quatro linhas passando pelo tronco (eixo), até as extremidades da projeção, perpendiculares entre si, duas a duas, de forma que a área total de captação foi obtida pelo somatório das áreas triangulares geradas pela ligação entre os pontos extremos das linhas (Marin et al., 2000). Na figura 10 é mostrado o esboço de duas projeções verticais divididas em sub-áreas triangulares, cuja área de captação de cada árvore foi determinada pela equação 03.

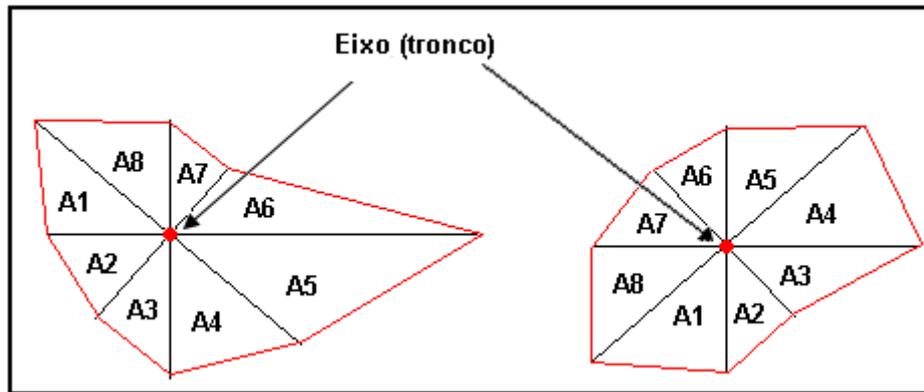


Figura 10. Esboço da projeção vertical da copa de duas árvores divididas em sub-áreas

$$A_{Arv} = \sum_{i=1}^n A_i \quad [03]$$

Em que  $n$  é o número de sub-áreas, sendo adotado um valor mínimo igual a 8.

A superfície total de captação da área estuda foi obtida pela equação 04.

$$A_{Total} = \sum_{i=1}^{20} A_{Arv} \quad [04]$$

Para quantificar o escoamento pelo sub-bosque (Esc SB) utilizou-se 10 árvores de menor porte, com diâmetro à 1,30m do solo (DAP) acima de 5 cm e menor que 20cm e altura superior aos interceptômetros (1,5m). Na construção do sistema coletor usou-se massa *durepox*, fixando-a ao redor do tronco, constituindo um formato de concha, que direcionou o fluxo escoado para um funil, ligado ao recipiente armazenador por meio de uma mangueira (Figura 11). A lâmina escoada foi determinada seguindo a mesma metodologia usada na determinação da lâmina escoada pelas árvores do estrato superior.



Figura 11. Sistema coletor de água escoada pelo tronco das árvores do sub-bosque

### 3.4 Interceptação (I)

Após a obtenção dos dados, procedeu-se à estimativa das perdas por interceptação empregando-se a equação utilizada por Lima (1998) (Equação 05) com uma modificação (Equação 06), no qual, considerou-se também, o escoamento pelo sub-bosque.

$$I = PT - (PI + Esc\ Tr) \quad [05]$$

$$I = PT - (PI + Esc\ Tr + Esc\ SB) \quad [06]$$

onde:

I = perda por interceptação (mm);

PT = precipitação total (mm);

PI = precipitação interna (mm);

Esc Tr = escoamento pelo tronco (mm);

Esc SB = escoamento pelo sub-bosque (mm).

Os dados de precipitação interna, escoamento pelo tronco, escoamento pelo sub-bosque e interceptação foram submetidos à análise de regressão. A partir da equação de regressão, colocando-se o valor da ordenada maior que zero ( $Y > 0$  ou  $PI > 0$ ), obteve-se a capacidade de retenção de água da copa,

ou seja, valor médio correspondente à altura de chuva média necessária para que se inicie a precipitação interna. O mesmo procedimento foi atribuído ao escoamento pelo tronco.

### **3.5 Escoamento superficial laminar no interior da mata (Esc sup)**

A quantificação do escoamento superficial foi obtida pela construção de um sistema coletor com área de 36 m<sup>2</sup>, introduzido no interior da mata. Na parte superior e nas bordaduras laterais do coletor, a delimitação foi feita utilizando-se tábuas de 6m de comprimento por 0,30m de altura. Na extremidade inferior colocou-se uma calha, de PVC, que conduziu o montante escoado para um reservatório, onde foram realizadas as respectivas leituras (Figura 12). Para evitar que a precipitação interna atingisse a calha diretamente, superestimando o volume de água escoado superficialmente, e também, impedir o impacto direto das gotas de chuva na área em que se retirou parte da cobertura orgânica natural do solo para colocação da calha, colocou-se uma lona plástica sobre a calha a 0,50 m de altura do solo (Figura 13). Os valores coletados, em mililitros, foram transformados em milímetros de altura de água em função da área do sistema coletor.



Figura 12. Vista parcial do sistema coletor do escoamento superficial laminar no interior da mata com a cobertura plástica da calha.

### 3.6 Escoamento superficial da bacia

Na secção de controle da bacia, instalou-se uma estação linimétrica (Figura 13), na qual estão acoplados dois sensores de medição de vazão devido à bifurcação do talvegue principal. Os sensores são linígrafos automáticos da Campbell Scientific, do tipo pressão submersível, modelo CS420-L, que foram instalados a montante dos vertedores em poços tranquilizadores, para registrar a lâmina d'água escoada de forma automática, sendo a leitura realizada a cada 20 minutos (Figura 14).



Figura 13. Estação linimétrica instalada na seção de deságüe da bacia



A



B

Figura 14. Vista parcial dos vertedores da seção retangular (A) e seção mista (B)

### 3.7 Modelagem

Para se estimar o escoamento superficial através dos dados de precipitação, utilizaram-se dois métodos: O método da Curva Número e o método Racional. O método racional foi utilizado tanto pela forma tradicional, quanto por modificações propostas na literatura. Comparou-se o escoamento estimado pelos métodos indiretos com o escoamento observado diretamente na secção de deságüe.

O escoamento superficial através do Método Racional foi estimado utilizando-se a Equação 07.

$$Q_{\max} = \frac{C i_m A}{360} \quad [07]$$

Em que:

$Q_{\max}$  – vazão máxima de escoamento superficial,  $m^3 s^{-1}$ ;

C – coeficiente de escoamento superficial, adimensional;

$i_m$  – intensidade máxima média de precipitação,  $mm h^{-1}$ ;

A – área da bacia, ha.

Utilizaram-se dois valores no coeficiente de escoamento superficial (C), sendo um dos valores recomendado pela *Soil Conservation Service* (Anexo III) e outro obtido na própria bacia de estudo por meio de hidrogramas (IV).

A estimativa da vazão através do método racional modificado apresentado por Franco (1975) (equação 08) foi obtida pelo produto entre o Método Racional convencional, o coeficiente de retardamento proposto por Euclides (1987) (Equação 09) e por Pinto et al. (1975) (Equação 10) e o coeficiente de distribuição das chuvas (f).

$$Q_{\max} = \phi \left( \frac{C i_m A}{360} \right) f \quad [08]$$

Em que  $\phi$  é o coeficiente de retardamento, adimensional.

$$\phi = 0,278 - 0,00034 A \quad [09]$$

$$\phi = \frac{1}{\sqrt[3]{100A}} \quad [10]$$

Em que (n) é um fator que depende da declividade da bacia

Para o estudo considerou-se o valor de n igual a 6, porque a declividade média da bacia é superior a 1% (ver Anexo V).

O coeficiente de distribuição das chuvas (f) não foi levado em consideração para aplicação do Método Racional Modificado porque a área da bacia é pequena.

Para estimar a vazão através da modificação proposta pelo CCN (1991) utilizou-se a Equação 11. Nesta ocasião, considerou-se o coeficiente redutor (D) igual a 0,9, porque a bacia tem área acima de 50 ha.

$$Q_{\max} = \left( \frac{C_i A^D}{360} \right) \quad [11]$$

Na estimativa da lâmina escoada pelo método CN utilizou-se a Equação 12.

$$ES = \frac{(PT - 0,2S)^2}{(PT + 0,8S)} \quad [12]$$

Em que:

ES – escoamento superficial, mm;  
PT – precipitação total, mm;  
S – infiltração potencial, mm.

A Equação 12 representa a relação chuva-escoamento superficial, quando a precipitação é maior que 20% de S. Uma vez que, ao analisar o comportamento verificado nas bacias experimentais estudadas, o SCS-USDA evidenciou que as abstrações iniciais correspondiam a 20% de S. Para as precipitações menores ou iguais a 0,2S, o escoamento superficial estimado é zero.

O valor de S foi estimado a partir da relação obtida pelo SCS-USDA (Equação 13).

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad [13]$$

Em que CN é o número da curva, cujo valor pode variar de 1 a 100, e depende do uso e manejo da terra, do grupo de solo, da condição hidrológica e da umidade antecedente do solo. (Anexo VI).

Para aplicação dos métodos, utilizaram-se chuvas que precipitaram-se em todo intervalo de 1 h dentro do seu tempo de duração.

Também foram comparados os dois Métodos, Racional e CN, entre si. Como o Método Racional fornece a vazão de pico de uma bacia, utilizou-se a lâmina máxima estimada pelo método CN, obtida no intervalo de 1 h, para os mesmos eventos de chuva.

### **3.8 Umidade do Solo**

Amostras de solo foram coletadas mensalmente em diferentes pontos, localizados no interior da área de estudo nas profundidades de 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm, com auxílio de um trado. Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em latas de alumínio e conduzidas ao Laboratório de Física do Solo da UFRPE, onde, seguindo-se a metodologia proposta pela EMBRAPA (1997), pôde-se determinar a umidade do solo.

### **3.9 Armazenamento temporário de água de chuva no solo (At solo) e no ecossistema (At eco)**

Seguindo a metodologia de Leopoldo et al. (1985), o armazenamento temporário de água de chuva no ecossistema foi determinado pela diferença entre a precipitação total e o escoamento superficial, por meio da equação 14.

$$A_t \text{ eco} = PT - ES \quad [14]$$

Em que:

$A_t \text{ eco}$  = armazenamento temporário de água de chuva no ecossistema, mm;  
PT = precipitação total, mm;  
ES = escoamento superficial, mm.

A quantidade de água de chuva retida temporariamente no solo foi determinada pelo produto entre a umidade atual, à base de volume, e a profundidade da camada estudada (Equação 15).

$$A_t \text{ solo} = \theta_v \cdot H \quad [15]$$

Em que:

$A_t \text{ solo}$  = armazenamento temporário de água no solo, mm;  
 $\theta_v$  = umidade atual à base de volume,  $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ ;  
 $H$  = profundidade da camada, mm;

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Intercepção florestal

Na área experimental observou-se uma boa diversidade de espécies vegetais arbóreas, das quais foram usadas na quantificação do escoamento de água de chuva pelo tronco as seguintes: Cabelo de cutia (*Banara nítida*); Visgueiro (*Parkia pendula* (Willd.) Benth. Ex walp.); Cupiuba vermelha (*Goupia glabra* Aubl); Amescla-de-cheiro (*Protium heptaphyllum* March); Conduru (*Brosimum paraense* Huber); Imbiriba (*Eschweilera ovata* Miers); Laranjinha (*Casearia gossypiospermum* Rehder); Quiri (*Brosimum discolor* Schott); Cabatan de leite (*Thyrsodium spruceanum* Benth); Sambaqui (*Schefflera morototoni* (Aubl.) Maguire); Sabiazeira (*Miconia ferruginata* DC); Cocão (*Pogonophora schomburgkiana* Miers); Camboatan de rego (*Cupania revoluta* Radlk);

Além das espécies acima citadas, também foram observadas outras espécies próximas a área experimental: Amora (*Helicostylis tomentosa* (Poepp. Et Endler.) Rusby); Jaguarana (*Macrosamanea pedicellaris* DC); Cupiuba (*Tapirira guianensis* Aubl.); Gameleira (*Ficus* sp.); Imbaúba preta (*Cecropia hololeuca* Miq); Pitiá (*Aspidosperma* sp); Banana de papagaio (Angélica) (*Himatanthus bracteatus* DC); Pau darco roxo (*Tabebuia heptaphylla* (vellozo) Toledo); Sucupira mirim (*Bowdichia virgilioides* Kunth); Leiteiro (*Pouteria grandiflora* A. DC.); Ingá de porco (*Sclerolobium densiflorum* benth); Ipê branco (*Tabebuia roseo-alba* (Ridl.) Sand.).

Das espécies encontradas, observou-se maior ocorrência de: Amescla de cheiro (*Protium heptaphyllum* March); Cunduru (*Brosimum paraense* Huber); Cocão (*Pogonophora schomburgkiana* Miers ex Benth); Cupiuba (*Tapirira guianensis* Aubl.); Imbiriba (*Eschweilera ovata* Miers); Caboatã de leite (*Thyrsodium spruceanum* Benth).

Dos registros de chuva obtidos, observou-se uma variação de precipitação total de 1 a 147 mm. Com as leituras dos 24 interceptômetros instalados no interior da mata, calculou-se a média aritmética da precipitação. Como era esperado, na maioria dos eventos de chuva observou-se precipitação total superior à precipitação interna. No entanto, em alguns eventos, pôde-se verificar que a precipitação interna média foi superior à

precipitação total, o que em tese seria impossível de acontecer devido à interceptação das chuvas promovida pela cobertura florestal, porque parte da precipitação total é evaporada e parte atinge o solo através do escoamento pelo tronco e gotejamento. No entanto, a distância entre a área de coleta da precipitação interna e o pluviógrafo automático, que mede a precipitação total, e a diferença de altitude entre esses dois pontos, podem ter contribuído para tal ocorrência, devido à variabilidade espacial das chuvas. Na tabela 02 estão apresentados os eventos de precipitação interna média que superaram a precipitação total.

Tabela 02. Eventos de precipitação interna (PI) que superaram a precipitação total (PT)

PT (mm)	PI (mm)	%
92,5	98,7	6,8
27,2	31,1	14,5
11,2	12,5	12,2
147,6	150,8	2,2
5,1	6,2	21,1
3,6	3,7	4,2

Bega et al. (2005) estudando a variabilidade de chuvas diárias em cinco pluviômetros cujas distâncias entre si variaram de 257 a 3900 m e as altitudes de 29 a 57m, observou que à medida que a distância entre os pluviômetros aumentou, diminuiu o coeficiente de correlação dos dados de chuva, revelando que a precipitação pluvial depende das posições onde se localizam os pluviômetros. Os mesmos autores afirmam que efeito provocado pela diferença de altitude é maior que o efeito provocado pela distância entre os pluviômetros num mesmo nível. Camargo et al. (1999), verificando os dados diários de precipitação pluvial de 19 estações meteorológicas, também concluiu que há grande variabilidade espacial nas precipitações, visto os baixos valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

Quando os pluviômetros foram analisados individualmente observou-se que aproximadamente 35% das leituras de precipitação interna superaram a precipitação total. Na figura 15 é mostrada a distribuição das chuvas, em percentagem, no interior da malha retangular delimitada pelos interceptômetros.

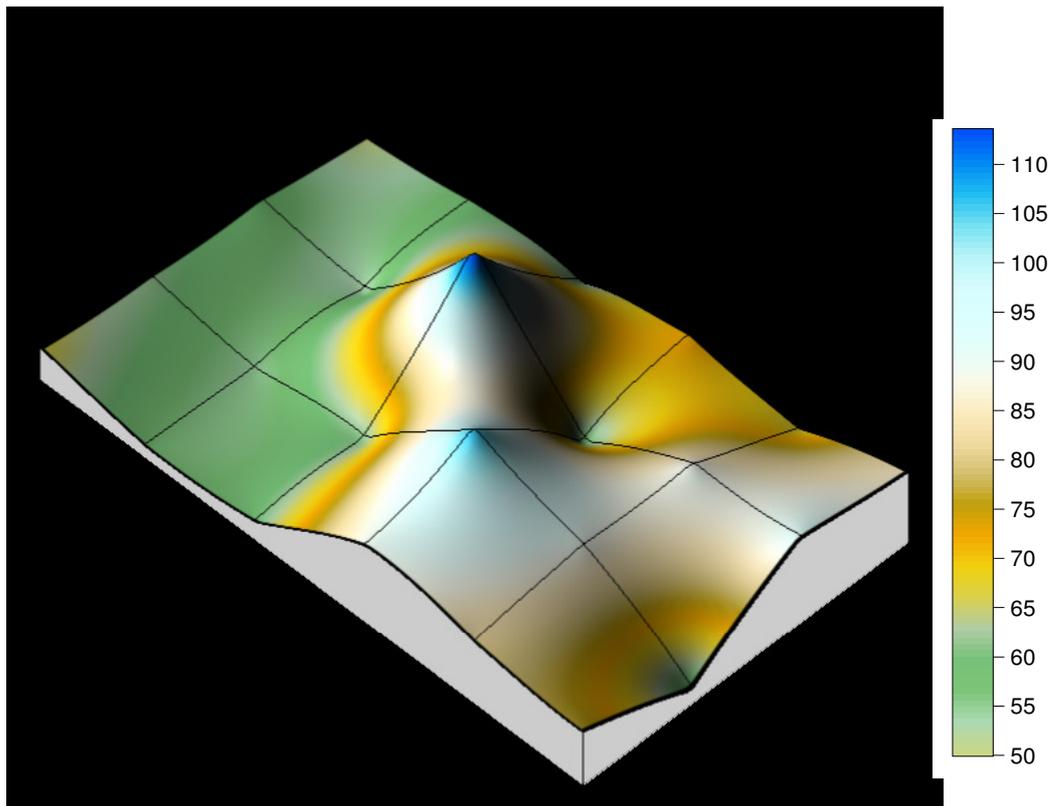


Figura 15. Variabilidade espacial das chuvas (%) dentro da parcela pluviométrica.

Nota-se em alguns pontos há picos e em outros, depressões. Portanto, além da distância e das diferentes altitudes existente entre os dois locais de coleta, é preciso mencionar a desuniformidade da cobertura vegetal devido à ocorrência de diferentes espécies e o entrelaçamento dos galhos das árvores.

Da mesma forma que ocorreu um aumento da precipitação interna proveniente, provavelmente, da chuva concentrada que gotejou diretamente nos interceptômetros, pode, por outro lado, ter ocorrido uma diminuição do volume coletado em alguns pluviômetros. Isto, talvez, possa ser justificado pelo fato das depressões ocorrerem sempre próximas aos picos, o que nos leva a crer que, a água que deveria atingir os locais onde estão as depressões percorreu caminhos preferências atingindo os locais onde estão situados os picos. Também, verificou-se que em aproximadamente 28% das coletas a precipitação interna apresentou valor relativo à precipitação total menor que 70%.

Esses valores reforçam ainda mais as considerações de Kellman e Roulet (1990) que indicaram a necessidade de se implantar um grande

número de interceptômetros e movimentá-los dentro da área estudada a fim de minimizar o erro provocado pelas condições adversas.

Os dados de precipitação interna, escoamento pelo tronco, escoamento pelo sub-bosque e interceptação, submetidos à análise de regressão, se encontram nas figuras 16, 17, 18 e 19, respectivamente.

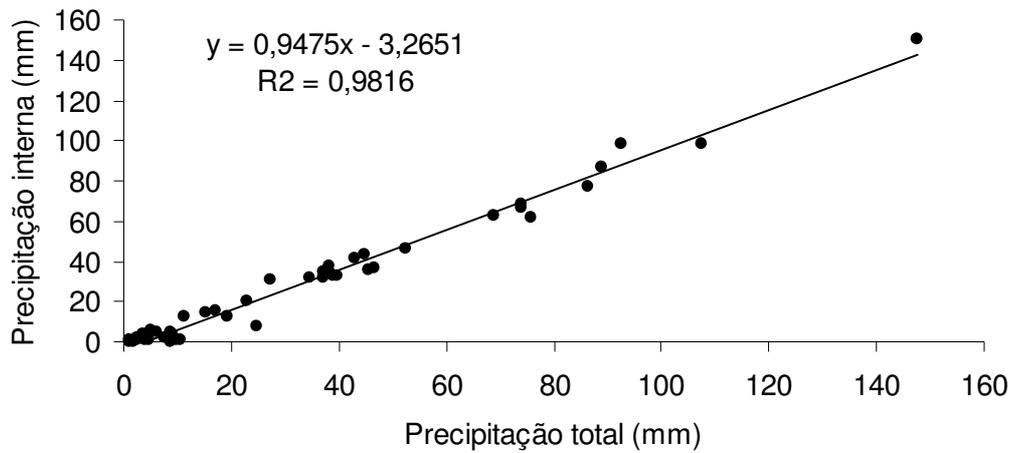


Figura 16. Curva de regressão dos valores de precipitação interna em função da Precipitação total.

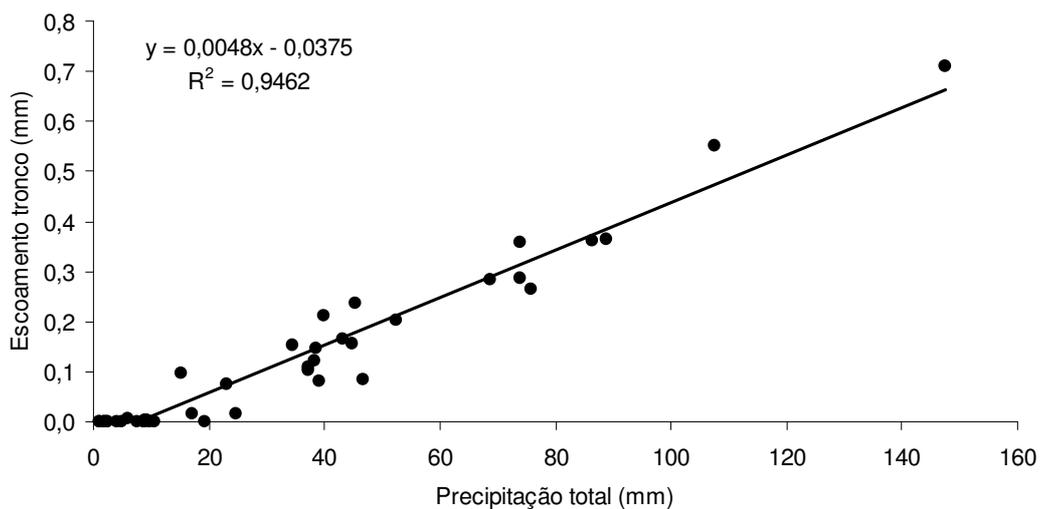


Figura 17. Curva de regressão dos valores de escoamento pelo tronco em função da Precipitação total.

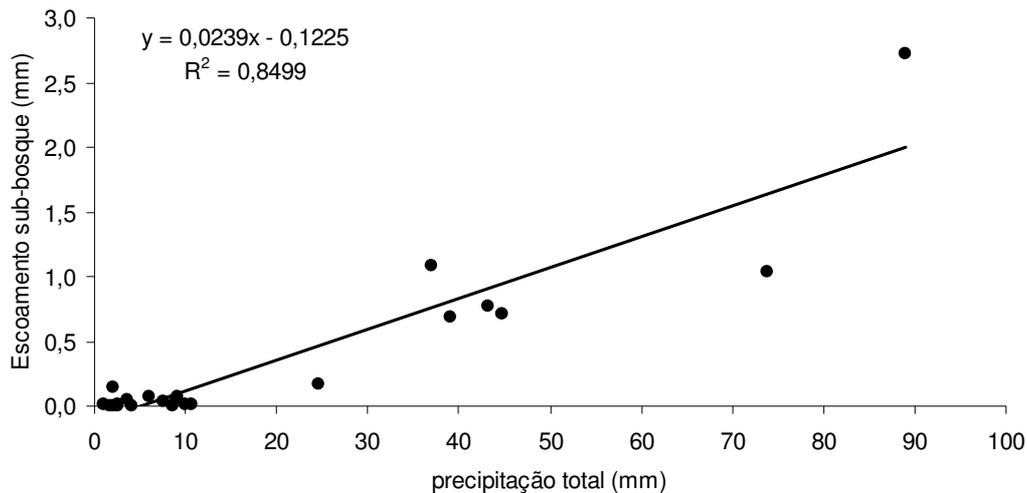


Figura 18. Curva de regressão dos valores de escoamento pelo sub-bosque em função da Precipitação total.

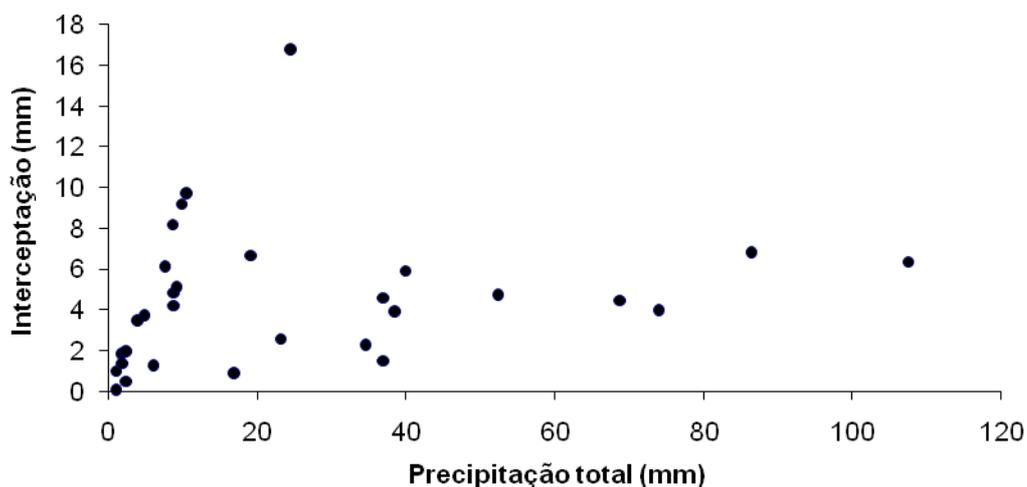


Figura 19. Relação entre a interceptação e a precipitação total.

De acordo com análise de regressão, aproximadamente, 99%, 95% e 84% dos dados de precipitação interna, escoamento pelo tronco e escoamento pelo sub-bosque, respectivamente, puderam ser explicados pela precipitação total. Exceto a interceptação, todos os outros processos avaliados apresentaram alta correlação com a precipitação total. A interceptação apresentou baixa correlação com a precipitação total. Nota-se também que alguns eventos de chuva, de mesma magnitude, apresentam resultados distintos de precipitação interna, escoamento pelo tronco e interceptação. Essa variação talvez possa ser justificada pela interferência de

outros fatores, tais como: intensidade de chuva, grau de umidade da cobertura, velocidade do vento, característica da vegetação e intervalo entre chuvas. Aston (1979), Jordan & Heuvelop (1981), Lima (1981), Leopoldo & Conte (1985), Singh (1987) e Neal et al. (1993), citados por Lima (1998), constataram que as repartições das chuvas em uma cobertura florestal não podem ser consideradas uma proporção constante da precipitação local durante todo o ano. Arcova et al. (2003), estudando uma floresta Atlântica no Estado de São Paulo, também observaram variação na correlação da precipitação interna, escoamento pelo tronco e interceptação com a precipitação total, quando consideraram os períodos chuvoso e pouco chuvoso. No entanto, observou-se que essa variação foi mais acentuada na interceptação, onde os valores de  $R^2$  encontrados foram, respectivamente, 0,8117 e 0,5806 para os períodos chuvosa e pouco chuvoso.

A repartição das chuvas em interceptação, precipitação interna, escoamento pelo tronco e precipitação efetiva correspondeu, respectivamente, a 12,7, 84,9, 0,4 e 87,3% do total precipitado.

Em relação à figura 19, nota-se que em alguns eventos a interceptação foi próxima, ou igual a zero. Isso pode ter ocorrido porque em alguns eventos, a precipitação interna foi próxima, igual ou superior a precipitação total, devido à variabilidade das chuvas no interior da mata, já explicada anteriormente. Como a interceptação é resultado da diferença entre a precipitação total e o somatório do escoamento pelo tronco com a precipitação interna, então, seu valor se aproxima de zero, à medida que a precipitação interna se aproxima da precipitação total.

Os valores de precipitação interna e escoamento pelo tronco observados nesse estudo foram semelhantes aos apresentados por Arcova et al. (2003) que, em estudo realizado numa floresta Atlântica, observaram que a precipitação interna e o escoamento pelo tronco equivalem a 81,2% e 0,2% da precipitação total, respectivamente. Os mesmos autores constataram que a interceptação foi igual a 18,6% da precipitação total, sendo este resultado superior ao obtido neste estudo. Este fato pode ter ocorrido porque foram utilizadas apenas as árvores com diâmetro superior a 10 cm. No entanto, vegetais com diâmetro inferior a 10 cm poderiam estar acima dos interceptômetros superestimando a interceptação, uma vez que tal escoamento

não foi levado em consideração no cálculo da precipitação efetiva. Portanto haveria uma redução no valor da interceptação que, por sua vez, se aproximaria mais do valor observado no presente estudo.

Dietz et al. (2006) também apresentou percentagem de escoamento pelo tronco semelhante ao obtido no presente estudo, com valor menor que 1% da precipitação total, e precipitação interna inferior com percentual de 70%.

Percentual semelhante de precipitação interna relativo à precipitação total também foi observado por Oliveira Junior e Dias (2005) que obtiveram valor de 80% e Ferreira et al. (2005) com valores que variaram de 74,2 a 87,1%. A mesma semelhança não foi observada por Lima (1998) e Dietz et al. (2006), que encontraram valores de 61,5% e 70%, respectivamente.

Quando se compara os percentuais de escoamento pelo tronco, nota-se valores foram inferiores aos obtidos por Oliveira Junior & Dias (2005) e Lima (1998), que observaram percentagens correspondentes a 1,7 e 0,9%, respectivamente. Apesar desses valores serem maiores que o do presente estudo, eles ainda representam uma parcela muito pequena do total precipitado. Ainda em relação aos mesmos autores, nota-se, também, valor de interceptação acima do observado no presente estudo, no entanto, ele se revela de forma mais acentuada, sendo igual a 18,3 e 37,6%, respectivamente.

Vale ressaltar, nesse momento, que o escoamento pelo tronco representa uma parcela muito pequena da precipitação total quando comparado com os outros parâmetros. Este valor apesar de parecer insignificante, ele promove uma distribuição localizada da precipitação ao redor do tronco, sendo favorável à planta, principalmente, nos períodos menos chuvosos.

Os diferentes resultados obtidos pelos autores ocorrem porque cada ecossistema tem sua característica particular e isso diferencia cada processo de interceptação. De modo geral, os resultados obtidos nesse trabalho encontram-se dentro da margem dos obtidos na literatura.

O presente estudo revelou perdas por interceptação florestal bastante acentuada para as menores classes de chuva. A interceptação foi inversamente proporcional à altura da chuva, ou seja, à medida que a altura da chuva aumentou a interceptação diminuiu. Estes resultados também foram

observados por Llorens et al. (1997), Nalon e Vellardi (1993), Viville et al. (1993) e Molicová e Hubert (1994).

É mostrada na tabela 03 a variabilidade da interceptação média para alturas de chuva maior que 20mm e menor que 8mm.

Tabela 03. Interceptação média (%) para altura de chuvas menores que 8mm e maiores que 20mm

<b>Classe de chuva</b>	<b>Interceptação (%)</b>
< 8 mm	62,02
> 20 mm	12,14

Os valores médios de precipitação total necessários para que ocorra precipitação interna e escoamento pelo tronco são, respectivamente, 3,45 e 7,2 mm. Precipitações inferiores a 3,45 mm são totalmente interceptadas pela cobertura vegetal e devolvidas à atmosfera por evaporação.

Arcova et al. (2003); Oliveira Junior & Dias (2005) e Lima (1998) apresentaram as equações de regressão, onde, seguindo a mesma metodologia acima, pôde-se verificar valores inferiores de precipitação total capaz de gerar precipitação interna, sendo estes iguais a, respectivamente, 0,62, 1,28 e 1,41mm. Com relação ao escoamento pelo tronco, apenas Arcova et al. (2003) apresentaram resultado semelhante (6,96mm) ao obtido nesse estudo. Valor superior (11,34mm) e inferior (4,14mm) foi apresentado por Oliveira Junior & Dias (2005) e Lima (1998), respectivamente. A estimativa desse valor, tomando como variável independente à precipitação interna, figura 20, evidenciou que o escoamento pelo tronco se tornará presente a partir de 4,2mm de precipitação interna.

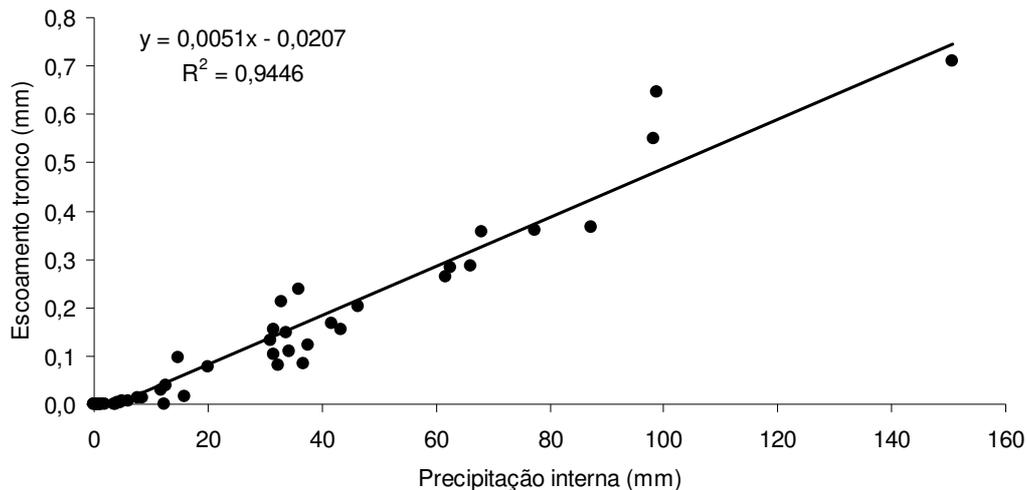


Figura 20. Curva de regressão dos valores de escoamento pelo tronco (ETr) em função da precipitação interna (PI).

Vários fatores contribuíram para que a precipitação total média necessária para gerar precipitação interna fosse menor que a apresentada pelos demais autores, inclusive a percentagem da área estudada coberta pelas árvores, pois a precipitação interna também é resultado das gotas de chuva que atingem o solo diretamente sem esbarrar na cobertura vegetal. No entanto, a percentagem de área coberta pelas árvores é um dos fatores que também determina a quantidade de água de chuva que atinge o solo diretamente, podendo afetar, conseqüentemente, a dinâmica do escoamento superficial que atinge a rede hidrológica, e o processo de infiltração que favorece os lençóis subterrâneos. Então, locais onde chuvas de pequena magnitude geram precipitação interna, nem sempre oferecem melhores contribuições hídricas quando comparados com outras áreas onde o início da precipitação interna se dá após uma chuva de maior magnitude.

Verificou-se que chuvas com mesma altura em épocas distintas produziram resultados diferentes. Diversos fatores podem ter influenciado esses resultados, dos quais podemos citar as condições climáticas, intensidade das chuvas e o intervalo entre as chuvas. Neal et al (1993), citado por Lima (1998) constataram que as repartições das precipitações em uma cobertura florestal não podem ser consideradas uma proporção constante da precipitação do local durante todo o ano.

O escoamento pelo tronco não apresentou boa correlação com a área basimétrica (Figura 21) e com o diâmetro a 1,30m do solo (DAP) (Figura 22). Este resultado está de acordo com o observado por Loustau et al. (1992). Isto indica que outros fatores podem ter influenciado o escoamento pelo tronco, onde podemos citar, entre outros, a ocorrência de diferentes espécies vegetais na área. Espécies com cascas espessas, ásperas e fendidas podem contribuir para absorção da água que escoam pelo tronco. A presença de líquens, plantas trepadeiras e o entrelaçamento dos galhos das árvores vizinhas também alteram o volume de água escoada, pois sofrem mais com a ação da evaporação e com os desvios do fluxo, nesse caso, promovendo aumento do gotejamento.

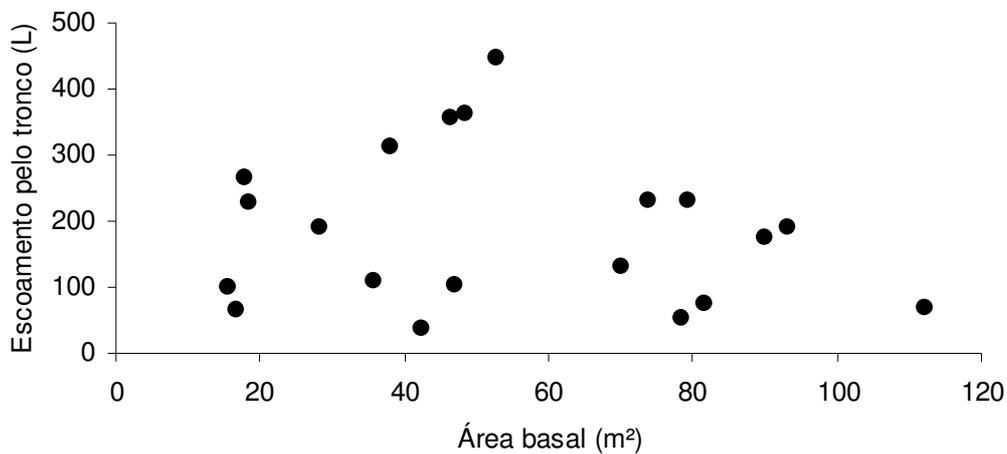


Figura 21. Relação entre o escoamento pelo tronco e a área basimétrica de cada árvore.

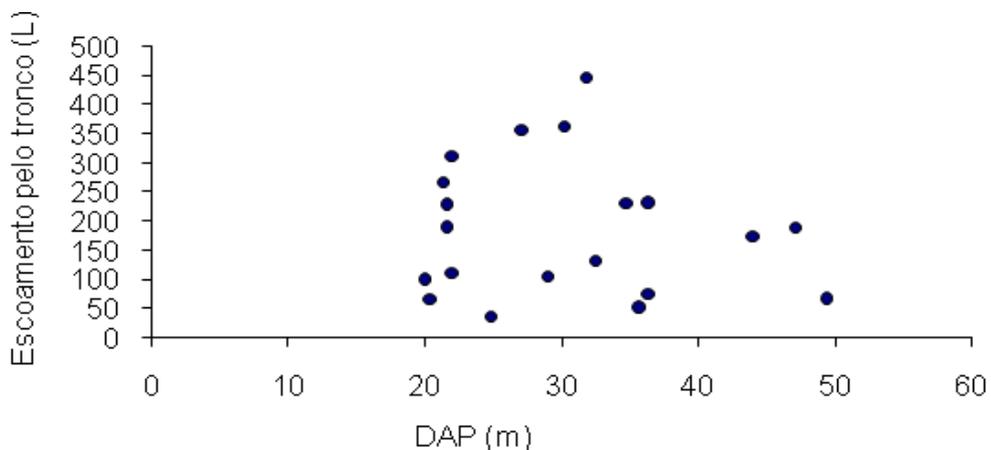


Figura 22. Relação entre o escoamento pelo tronco e o diâmetro a 1,30m do solo (DAP).

O processo de interceptação não ocorreu apenas nas copas do estrato superior, mas também nos estratos inferiores, que distribuí mais lentamente a água de chuva interceptada em direção ao solo. O volume de água escoada pelo sub-bosque apresentou valor médio quatro vezes acima do escoado pelas árvores do estrato superior. O valor absoluto do escoamento pelo sub-bosque aumentou a medida que aumentaram os valores da precipitação incidente sobre a cobertura vegetal.

Através da tabela 04 pode-se verificar a repartição das chuvas para o total precipitado durante todo o período de estudo.

Tabela 04. Repartição das chuvas para o total precipitado durante todo o período de estudo

	<b>PT</b>	<b>PI</b>	<b>Esc Tr</b>	<b>Esc SB</b>	<b>PE</b>	<b>I</b>
<b>%</b>	100	84,9	0,4	2,0	87,3	12,7

#### **4.2 Armazenamento temporário de água de chuva no ecossistema (At Eco) e no solo (At Solo)**

São apresentadas na tabela 05 as percentagens mensais de armazenamento temporário de água no ecossistema.

Tabela 05. Armazenamento temporário de água no ecossistema (%) relativo à precipitação total

	<b>Mai</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Out</b>	<b>Nov</b>	<b>Dez</b>	<b>Jan</b>	<b>Fev</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>
<b>A<sub>t</sub> eco (%)</b>	99,6	99,8	99,9	99,9	100	100	99,2	99,12	99,9	99,71	99,8	99,7

O armazenamento temporário de água no ecossistema correspondeu a uma parcela muito alta da precipitação total, atingido, de forma geral, quase 100% do precipitado. Esses valores são superiores aos obtidos por Lima (1998) e Leopoldo et al. (1985), que encontraram valores relativos de 93,4% e 97%. As diferenças observadas são possíveis, visto que este parâmetro depende da interceptação promovida pela cobertura vegetal, da intensidade e altura das chuvas, da declividade da parcela experimental, da altura da

camada de matéria orgânica na superfície do solo (serrapilheira), da umidade do solo e do tipo de solo.

O armazenamento temporário de água no solo em diferentes camadas não apresentou grandes variações entre si. Na tabela 06 é mostrado o armazenamento temporário de água em diferentes camadas de solo.

Tabela 06. Armazenamento temporário de água no solo (mm) em diferentes profundidades

Prof (cm)	Armazenamento temporário de água no solo (mm)											
	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr
0-20	35,8	38,4	34,1	38,9	17,7	8,9	14,8	15,9	17,0	29,6	20,1	33,4
20-40	31,9	30,2	33,3	31,0	20,6	9,9	15,4	17,5	19,3	31,5	20,5	30,1
40-60	37,7	38,8	35,3	32,5	18,4	9,8	15,8	17,5	21,9	33,3	21,8	35,0
60-80	35,9	36,5	36,2	32,4	21,6	10,6	15,4	19,1	23,3	33,9	24,5	33,2
80-100	31,9	32,3	34,2	31,9	23,4	10,1	15,6	20,2	24,0	36,5	24,8	30,6

#### **4.3 Escoamento Superficial**

O escoamento superficial observado na parcela experimental se apresentou de forma tímida, revelando valores muito baixos. Esse comportamento pode ter ocorrido por consequência das condições favoráveis em que a parcela experimental foi implantada. Além de o solo possuir alta taxa de infiltração, a cobertura vegetal e a serrapilheira retardaram o movimento da água, promovendo mais tempo para a água infiltrar no solo. Vale salientar, que o montante escoado na parcela experimental é proveniente apenas do escoamento em entressulco. Na figura 23 são mostrados os valores de escoamento superficial para os eventos extremos de chuva observados durante o período de estudo.

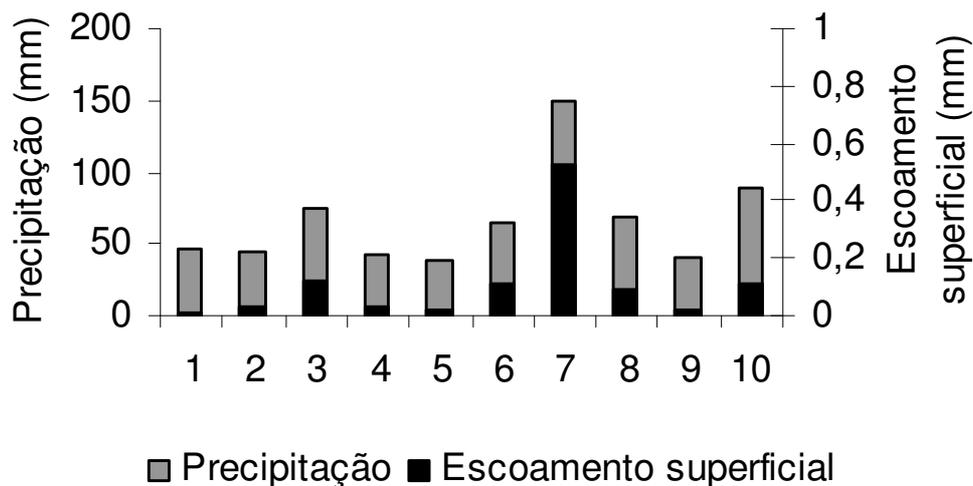


Figura 23. Escoamento superficial observado na parcela experimental.

Martins et al. (2003) observaram valor anual médio de escoamento superficial igual 10,46, 9,09 e 20,26mm para diferentes solos em mata nativa, cujas taxas de permeabilidade são 15,83, 35,35 e 53,03  $\text{mm h}^{-1}$ , respectivamente. No presente trabalho, não foi possível obter um valor anual de escoamento. No entanto, a lâmina total dos eventos mostrados na figura 23 corresponde a 1,1mm, referente a apenas dez eventos. Apesar da tendência normal de haver um aumento na lâmina total anual pra fins de comparação com os valores obtidos por Martins et al. (2003), sabe-se que a permeabilidade média do solo do presente estudo está em torno de 160  $\text{mm.h}^{-1}$ , o que poderá, conseqüentemente, não aumentar a lâmina total escoada de forma significativa, podendo, este resultado, ser representativo da área estudada.

Os dados de precipitação efetiva e escoamento superficial submetidos à análise de regressão, apresentou um comportamento linear com  $R^2 = 0,775$  (Figura 24). Nesse caso, a boa correlação ocorreu, principalmente, em função das chuva de baixa magnitudes que geraram escoamento muito próximo de zero.

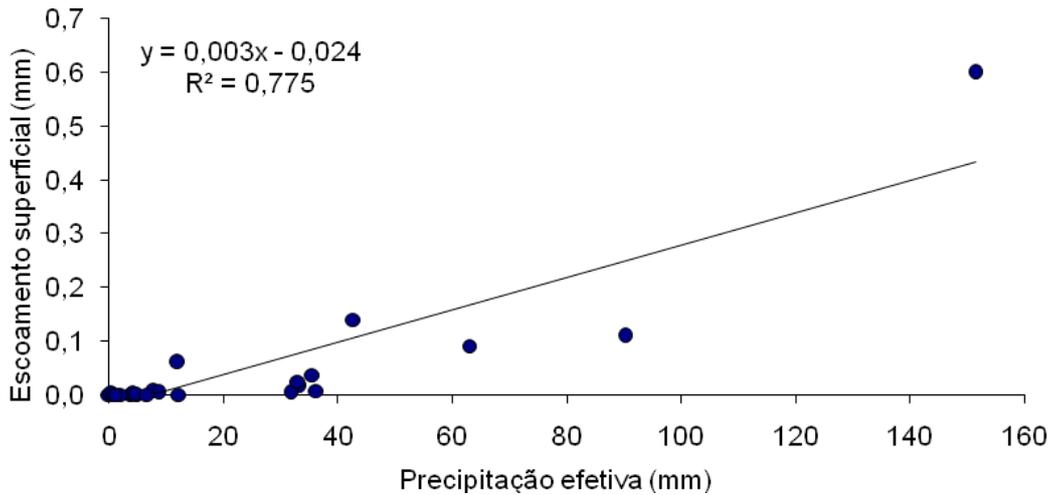


Figura 24. Correlação entre o escoamento superficial laminar observado e a precipitação efetiva.

O escoamento superficial observado na secção de deságüe da bacia é mostrado na figura 25, juntamente com a precipitação correspondente. Neste caso estão presentes apenas os valores máximos observados em cada hidrograma.

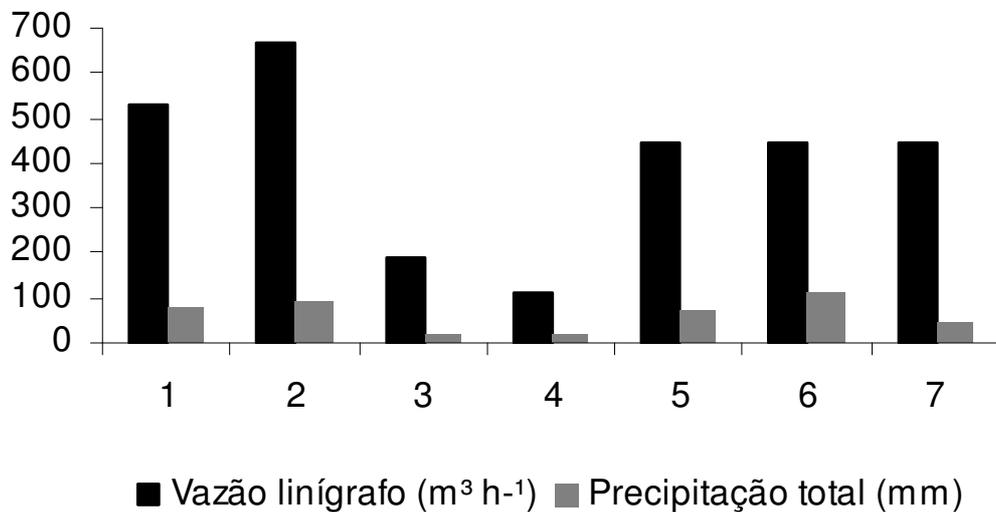


Figura 25. Vazão observada na secção de deságüe da bacia e suas respectivas precipitações.

Para a aplicação do método racional determinou-se o valor do coeficiente de escoamento superficial (C), via anexo III, sendo este igual a

0,3. Na figura 26 é mostrada a vazão de pico estimada pelo método racional, com o parâmetro C, e as precipitações correspondentes.

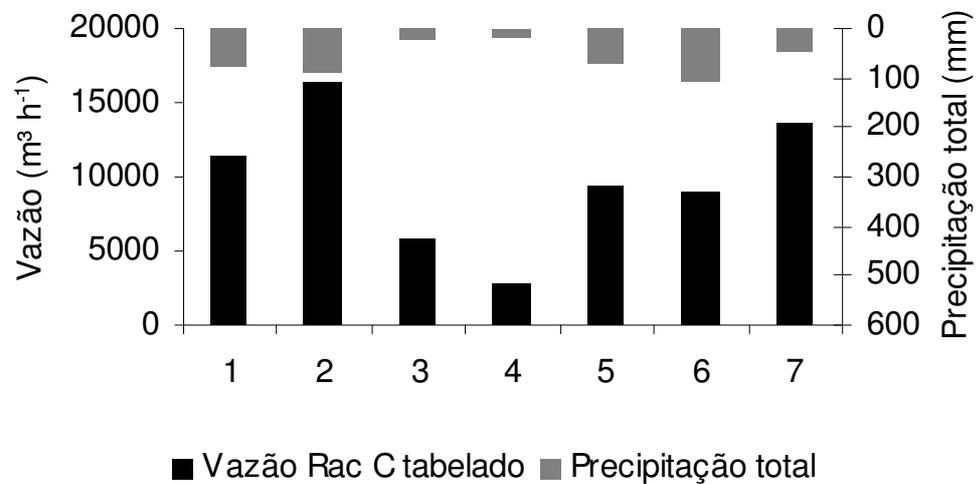


Figura 26. Vazão estimada pelo método racional com valor de C tabelado e suas respectivas precipitações.

Comparando os valores estimados com os observados, nota-se que o método racional, com C tabelado, superestimou o escoamento superficial em aproximadamente oito vezes seu valor. Na figura 27 são mostrados os valores de escoamento obtido com C tabelado e observado.

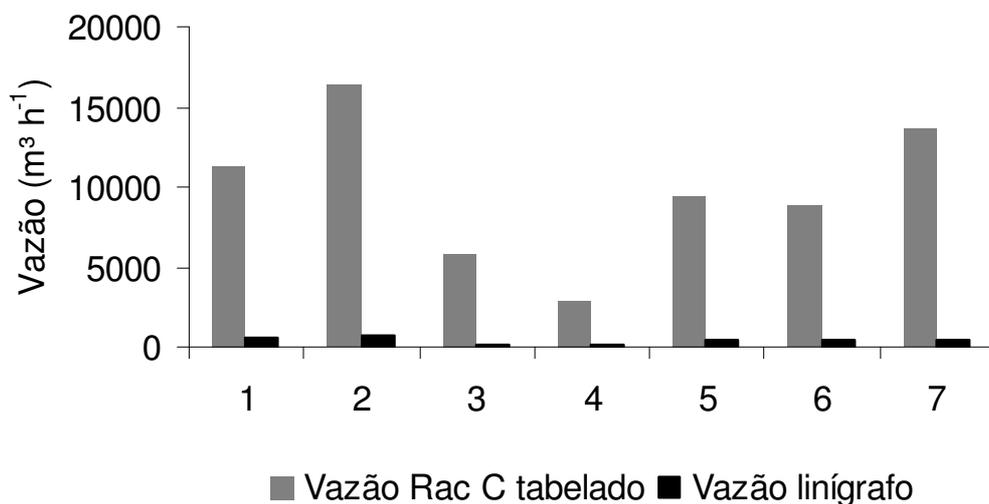


Figura 27. Vazão estimada pelo método racional com valor de C tabelado e vazão observada.

As superestimativas promovidas pelo método racional convencional são, provavelmente, consequência do valor de C utilizado, da ausência do

coeficiente de retardamento, e/ou da ausência do coeficiente de distribuição das chuvas que, geralmente, não se usa para pequenas bacias hidrográficas.

Através de hidrogramas locais obteve-se o valor médio de C, que corresponde a 0,0234. Este valor é menor que o valor encontrado nas tabelas. Como o método racional utiliza o produto entre C, I e A, e neste caso, a área e a intensidade são constantes, o valor estimado diminuiu em relação ao da vazão com C tabelado. Apesar do valor de C estimado ser menor, a vazão também foi superestimada. Na figura 28 é mostrada a vazão estimada com o C médio estimado e a vazão observada.

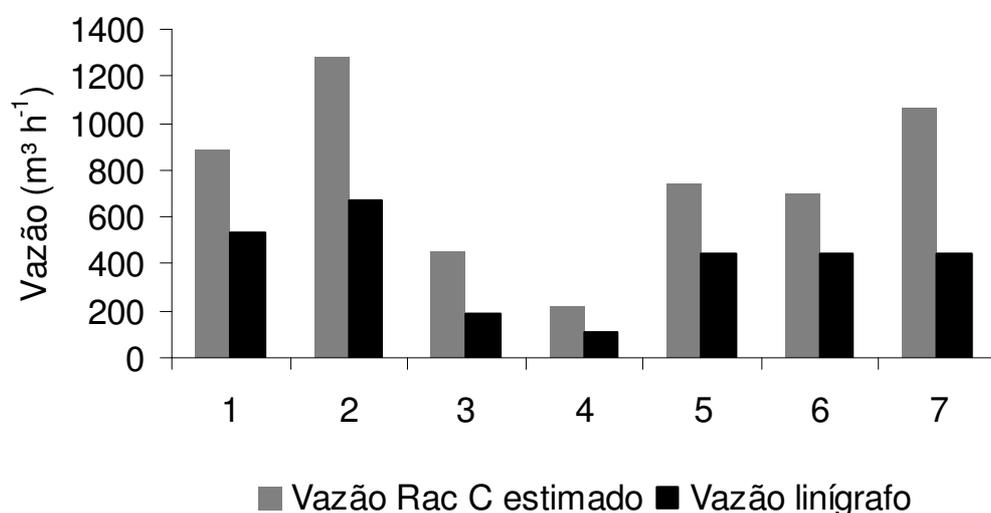


Figura 28. Vazão estimada pelo método racional com valor de C médio local e vazão observada.

Submetendo-se os dados à análise de regressão, nota-se que há boa correlação entre a vazão estimada com C médio estimado e a vazão observada, onde  $R^2 = 0,8726$ . Na figura 29 é mostrada a correlação entre a vazão estimada com C médio local e a vazão observada.

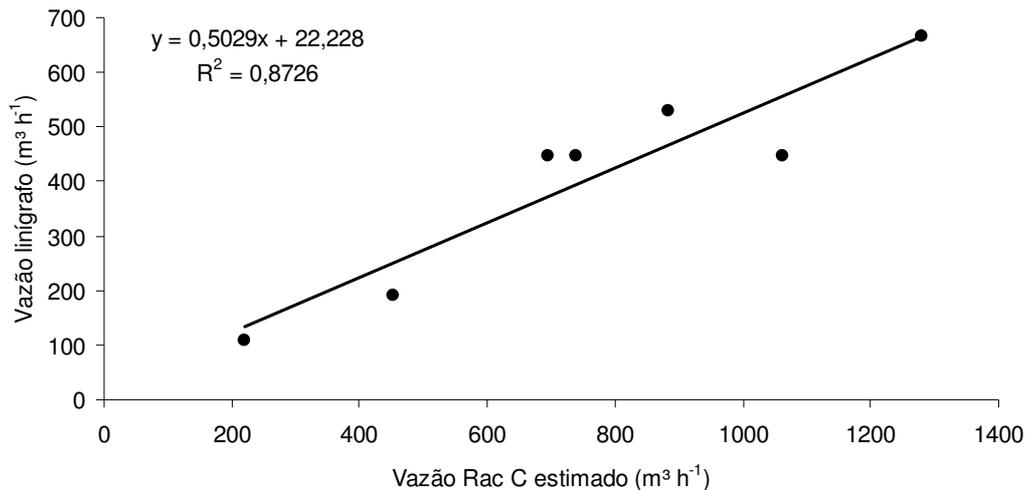


Figura 29. Correlação entre a vazão estimada com C médio estimado e a vazão observada.

Apesar da vazão estimada com C médio também superestimar a vazão observada, houve uma notável redução no erro relativo médio, que atingiu valores de aproximadamente 29%.

Ajustando-se os valores estimados de acordo com a equação linear vista na figura 29, pôde-se estimar a vazão observada, de forma que aproximadamente 82% dos resultados possam ser explicados pela vazão estimada. Após os devidos ajustes, o erro relativo médio diminuiu para aproximadamente 17%.

A relação entre a vazão observada e a vazão com C médio forneceu um coeficiente médio de ajuste igual a 0,5295, onde o produto deste, com a vazão estimada pelo método com C médio estimado, resultou em valores mais próximos ao observado, com erro relativo médio de aproximadamente 14%.

Aplicando-se o método racional modificado com coeficiente de retardamento proposto por Euclides (1987) e Pinto et al. (1975), observa-se que ambos superestimaram o escoamento observado, com erro relativo médio de 433% e 382%, respectivamente. Na figura 30 é mostrada a vazão estimada, com coeficiente de retardamento proposto por Euclides (1987), Pinto et al. (1975) e a vazão observada.

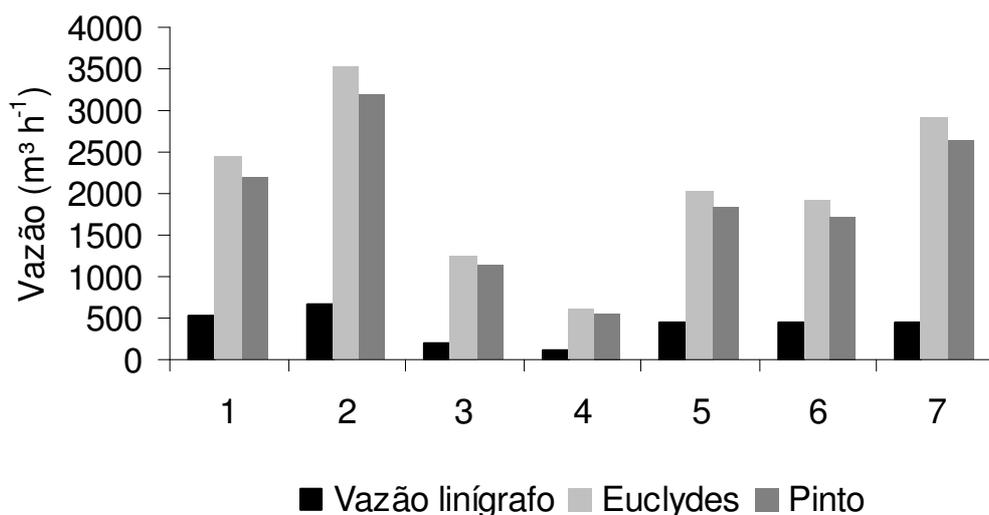


Figura 30. Comparação entre a vazão observada e as estimadas pelo método racional com coeficiente de retardamento proposto por Euclides (1987) e Pinto (1975).

Quando se utiliza o coeficiente redutor (D) de 0,9 para estimar a vazão, nota-se, também, que o método superestima a vazão observada. Na figura 31 é mostrada a vazão estimada utilizando-se o coeficiente redutor proposto pelo CCN (1991) e a vazão observada.

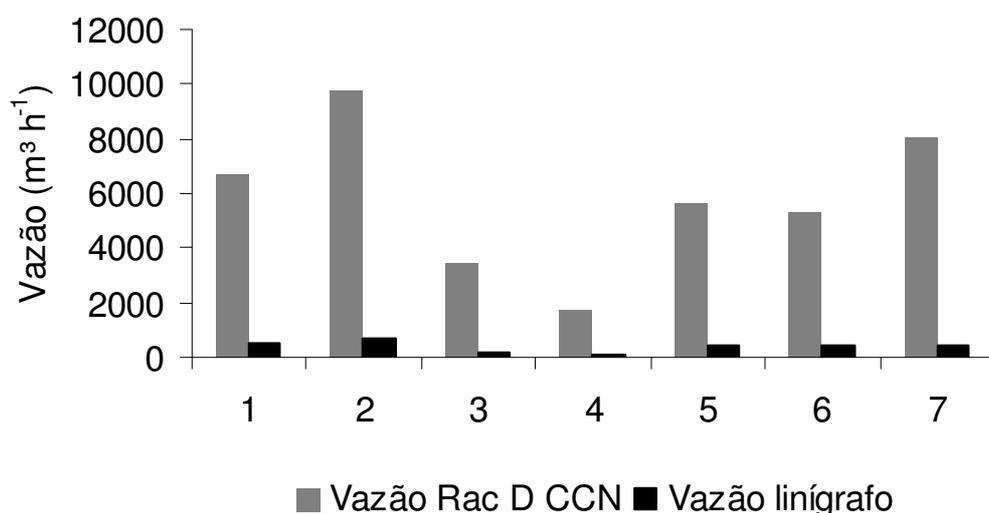


Figura 31. Comparação entre a vazão observada e a estimada pelo método racional com coeficiente redutor proposto pelo CCN (1991).

Entre as vazões estimadas pelo método racional tradicional e pelos métodos modificados, todas elas superestimaram a vazão observada, sendo

mais acentuada a vazão estimada pelo método Racional tradicional com C tabelado. Por outro lado, encontra-se a vazão estimada com coeficiente de escoamento médio local apresentando menor erro relativo.

É mostrada na figura 32 a vazão observada e as vazões estimadas pelo método Racional tradicional e modificado.

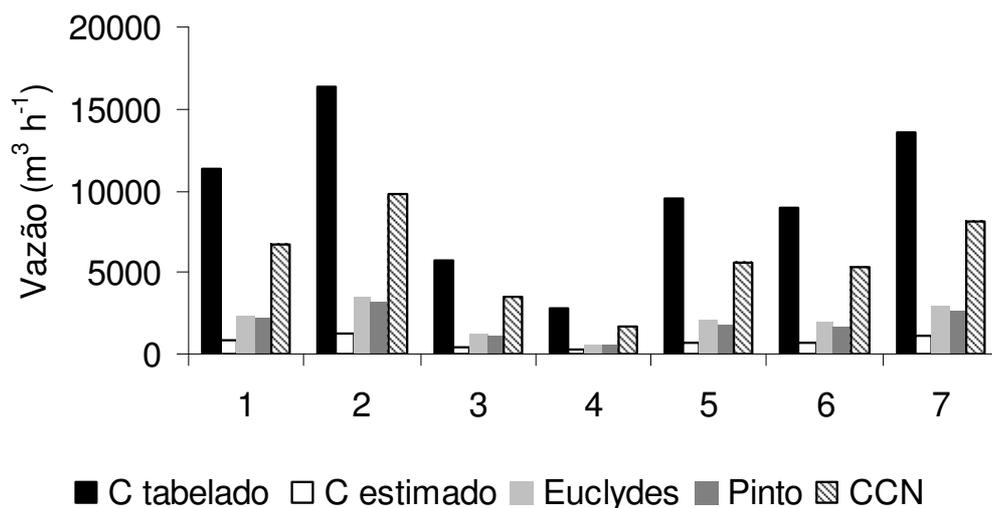


Figura 32. Vazão estimada pelo método racional tradicional e suas modificações.

Para as condições locais que a bacia do Prata está inserida, nota-se através do método CN que somente chuvas com elevada magnitude serão capazes de gerar escoamento superficial para as condições de umidades antecedente e estação do ano mais favoráveis ao escoamento. No entanto, considerando os mesmos eventos de chuva usado no método racional, somente dois geraram escoamento superficial. Apesar de 4 dos eventos terem sido superiores a 63,6 mm, dois deles ocorreram em condições de umidade antecedente menos favorável ao escoamento, ou seja, no período em que o solo estava menos úmido, favorecendo a infiltração. Na figura 33 podemos observar que o método CN superestimou a vazão, quando comparada à observada no linígrafo, para as chuvas que geraram escoamento superficial e, logicamente, subestimou as demais vazões por que foi igual a zero. Este resultado não está de acordo com o obtido por Hernández (2005) que constatou que o modelo CN subestimou a vazão da

bacia. Isto pode ter ocorrido porque o modelo considera que a taxa de abstração inicial corresponde a 20% do potencial máximo de infiltração. No entanto, esse valor pode variar de bacia para bacia, ou até mesmo, na mesma bacia em épocas diferentes, uma vez que a interceptação promovida pela cobertura florestal é variável em função, também, das diferentes estações do ano.

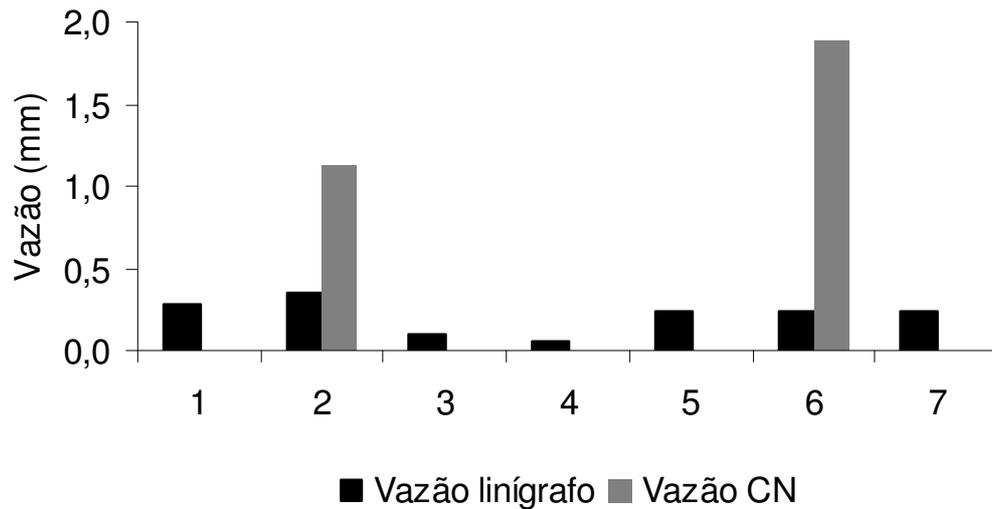


Figura 33. Vazão estimada pelo método CN e vazão observada no linígrafo

Comparando-se os valores obtidos pelo método CN com os demais, obtidos pelo método Racional tradicional e suas modificações, nota-se, através da figura 34, que o método que superestimou a vazão observada no linígrafo de forma mais acentuada foi o Racional tradicional, ou seja, o método no qual o valor do coeficiente de escoamento superficial é tabelado, aproximadamente 0,3.

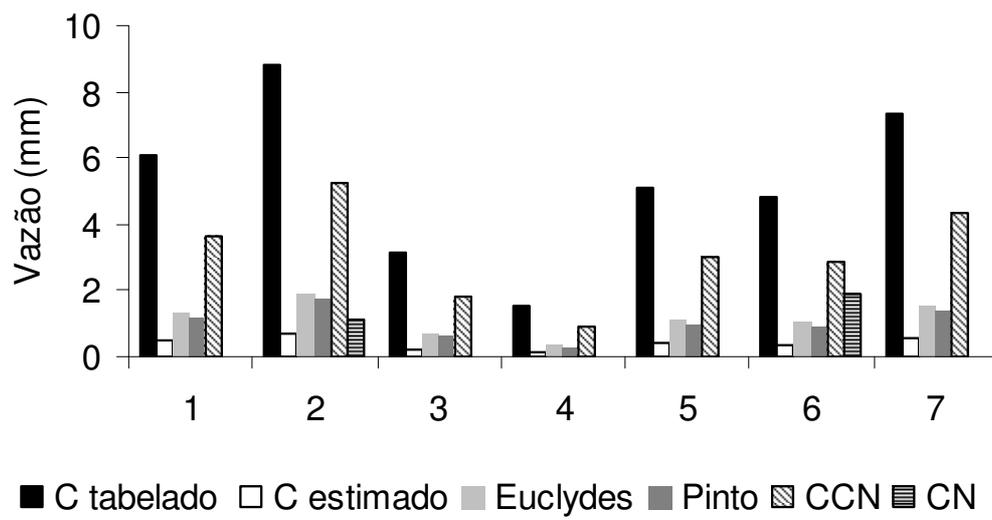


Figura 34. Vazão estimada pelo método CN e pelo método Racional tradicional e modificado.

## 5 CONCLUSÃO

Com base nos resultados apresentados pode-se concluir que:

A repartição das chuvas em precipitação interna, escoamento pelo tronco e escoamento pelo sub-bosque, durante todo o período de estudo foi igual a 84,9, 0,4 e 2,0%, respectivamente;

A precipitação efetiva correspondeu a 87,3% da precipitação total;

A interceptação promovida pela cobertura florestal correspondeu a 12,7% da precipitação total;

Todos os métodos avaliados superestimaram a vazão quando comparada à observada no linígrafo.

A maior superestimativa foi promovida pelo método Racional tradicional com C tabelado ( $C = 0,3$ ) e a menor pelo método Racional com C estimado através de hidrogramas ( $C = 0,0234$ ), com erro relativo médio de 29%;

O fator de ajuste igual a 0,5295 aplicado no método Racional com C estimado através de hidrogramas, promoveu estimativas com erro relativo médio de 14%.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABOAL, J.R., MORALES, D., HERNANDEZ, M., JIMÉNEZ M.S. The measurement and modelling of the variation of stemflow in a laurel forest in Tenerife, Canary Islands. **Journal of Hydrology** (Amsterdam). V. 221, p. 161–175, 1999.

ARCOVA, F. C. S. et al. Precipitação efetiva e interceptação das chuvas por floresta de mata atlântica em uma microbacia experimental em Cunha, São Paulo. **Revista Árvore**, v. 27, n. 2, p. 257-262, 2003.

AZEVEDO, O. O ramo florestal do ciclo hidrológico. **Infiltração Florestal**. n.9, p.28-34, 1995.

BEGA, R.M.; VIEIRA, S.R.; MARIA, I.C.; DECHEN, S.C.F.; CASTRO, O.M. Variabilidade espacial das precipitações pluviais diárias em uma estação experimental, em pindorama, SP. **Bragantia**, Campinas, v.64, n.1, p.149-156, 2005

BROOKS, K. N., FFOLLIOTT, P. F., GREGERSEN, H. M., THAMES, J. L. Hydrology the management of watersheds. Ames: Iowa State University Press; 1991. 391p.

BRUIJNZEEL, L. A. The hydrological cycle in moist tropical forest. In: BRUIJNZEEL, L. A. **Hydrology of moist tropical forests and effects of conversion: a state of knowledge review**. Amsterdam: IAHS, 1990. p. 5-38.

CALDAS, A. M. **Solos, antropização e morfometria da microbacia do Prata, Recife-PE**. 2007. P.134. Dissertação mestrado. Universidade Federal rural de Pernambuco.

CALDER, I.R., 1990. **Evaporation of Uplands**, Wiley, New York 144 pp.

CAMARGO, M.B.P.; HUBBARD, K.G. Spatial and temporal variability of daily weather variables in sub-humid and semiarid areas of the United States high plains. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 93, p. 141-148, 1999.

CASTRO, P. S. et al. Interceptação da chuva por mata natural secundária na região de Viçosa, MG. **Revista Árvore**, v. 7, n. 1, p. 76-89, 1983.

CARLYLE-MOSES D.E. Throughfall, stemflow, and canopy interception loss fluxes in a semi-arid Sierra Madre Oriental matorral community. **Journal of Arid Environments**, v.58 p.181–202, 2004-

CCN, Planejamento e Engenharia S/C Ltda. Metodologia de cálculo regional de vazões máximas para córregos urbanos. In: **Plano Diretor de drenagem: Campo Grande - MS**. Campo Grande, 1991.

CHARLES, C.M.F. **Medición y estimación de los componentes de la interceptación en cuatro comunidades representativas del nordeste de México**. 1998. Tesis de Maestría en Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León.

CHOW, V.T. e MAIDMENT, D.R. **Applied hydrology**. New York. McGraw-hill book, 1988. 572p.

COELHO NETTO, A. L.; SANCHE, M.; PEIXOTO, M. N. O. Precipitação e interceptação florestal em ambiente tropical montanhoso, Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Engenharia**, v. 4, n. 2, p. 55-71, 1986.

DIETZ, J.; HOLSHER, D.; LEUSCHNER, C. e HENDRAYANTO. Rainfall partitioning in relation to forest structure in differently managed montane forest stands in Central Sulawesi, Indonesia. **Forest Ecology and management**, 237. p.170-178, 2006

EUCLYDES, H.P. **Saneamento agrícola**. Atenuação das cheias: metodologia e projeto. Belo Horizonte: **Ruralminas**, 1987. 320p.

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*". **Revista Acta Amazônica**, v.35, n.1, p.55-62, 2005.

FIGUEIREDO, A.C.; ROLIM NETO, F. C; PARAHYBA, R.B.V.; CORRÊA, M.M.; SILVA, E.R.; BEZERRA, G.C.T. Aspectos morfológicos dos solos da bacia do prata no parque de dois irmãos em Recife-PE. In: XXX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2005, Recife. **Anais...Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2005. v. 1. p. 1-4.

FORD, E.D., DEANS, J.D. The effects of canopy structure on stemflow, throughfall and interception loss in a young Sitka spruce plantation. **Journal Applied Ecology**. 15, 905–917, 1978.

FRANCO, E.J. **Dimensionamento de bacias de detenção das águas pluviais com base no método racional**. 2004. 143p. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Paraná (UFPR).

FRANKEN, W; LEOPOLDO, P.R., MATSUI, E.; RIBEIRO, M.N.G.. Interceptação das precipitações em floresta amazônica de terra firme. **Acta Amazonica**, 12 (suplemento): 15-22, 1982.

GASH, J.H.C., LLOYD, C.R., LACHAUD, G. Estimating sparse forest rainfall interception with an analytical model. **Journal of Hydrology** (Amsterdam). 170, 79–86, 1995.

GENOVEZ, A.M. 2001: In SILVEIRA, A.; MENDONÇA, A.S.; TUCCI, C.E.M.; SILVEIRA, G.L.; CABRAL, J.; KOIDE, S.; SIMÕES, S.J.C. e MONTENEGRO,

S.M.G.L. Hidrologia aplicada à pequenas bacias hidrográficas. Porto Alegre: ABRH,2003. cap. 3, p. 33-108.

GIACOMIN, A., TRUCCHI, P. Rainfall interception in a beech coppice. **Journal of Hydrology** (Amsterdam), v.137, p.141-7, 1992.

HANCHI, A., RAPP, M. Stemflow determination in forest stands. **Forest Ecology and Management**, v.97, p231–235, 1997.

HANSON, C.L.; GHEBHARDT, K.A., JOHNSON, G.L.; McFARLAND, M.J.; SMITH, J.A. In: Precipitation. **Hydrology Handbook**. 2 ed. New York. Heggen, 1996. cap 02, p. 5-74

HERNÁNDEZ, E.B. Estimación del escurrimiento en una ladera de alta pendiente reforestada con *Pinus tenuifolia*, usando el método del Número de la Curva. **Revista Florestal Venezolana**, v.49, n.1, p.45-59, 2005

HEWIRTZ, S.T. Infiltration-excess caused by stemflow in a cyclone-prone tropical rainforest. **Earth Surface Process Landforms**, v.11, p.401–412, 1986.

HUBER, A. M., OYARZEÚN, C. E. Variaciones anuales en un bosque adulto de *Pinus radiata*. **Turrialba**, v. 40, p.503-508, 1990.

HUBER, A. M., OYARZÚN, C. E. Redistribución de las precipitaciones en un bosque siempreverde del sur de Chile. **Turrialba**, v.42, p. 192-9, 1992.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia (1992). **Normas Climatológicas (1961 – 1990)**. Brasília: SPI/EMBRAPA. 84p.

JETTEN, V. G. Interception of tropical rain forest: performance of a canopy water balance model. **Hydrology Process**, v.10, p.671-85, 1996.

JIMÉNEZ, M.S., CERMÁK, J., KUCERA, J., MORALES, D., Laurel forests in Tenerife, Canary Islands: the annual course of sap flow in *Laurus* trees and stand. **Journal of Hydrology**, n.183, p.307–321. 1996

JOHNSON, R. G. The interception, throughfall and stemflow in a forest in Highland Scotland and the comparison with other upland forests in the U.K. **Journal of Hidrology** (Amsterdam), v.118, p.281-7, 1990.

KELLMAN, M., ROULET, N. Stemflow and throughfall in a tropical dry forest. **Earth Surface Processes Landforms**, v.15, p.55-61, 1990.

LEOPOLDO, P. R.; CONTE, M. L. Repartição da água de chuva em cobertura vegetal com características de cerrado. 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.

LEOPOLDO, P.R.; FRANKEN, W.; SALATI, E. RIBEIRO, M.N. Towards a water balance in the Central Amazonian region. **Experientia**, v.43, n.3, p.222-233, 1987.

LIMA, P. R. A. **Retenção de água de chuva por mata ciliar na região central do estado de São Paulo**. 1998. 186p. Dissertação mestrado. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas. Botucatu.

LIMA, W. P. Hidrologia de plantações de eucaliptos. In: LIMA, W.P. **Impacto ambiental do eucalipto**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1993. p. 51-137.

LIMA, W. P., NICOLIELO, N. Precipitação efetiva e interceptação em florestas de pinheiros tropicais e em reserva de cerrado. **Instituto de Pesquisa e Estudo Florestal**, v.24, p.43-6, 1983.

LIMA, W. P. Interceptação da chuva em povoamentos de eucalipto e de pinheiro. **Instituto de Pesquisa e Estudo Florestal**, v.13, p.75-90, 1976.

LLORENS, P., POCH, R., LATRON J., GALLART F. Rainfall interception by a *Pinus sylvestris* forest patch overgrown in a Megiterranean mountainous abandoned area I. Monitoring design and results down to the event scale. **Journal of Hydrology**. (Amst), v.199, p.331-345, 1997.

LLOYD, C.R., MARQUES FILHO, A.DE.O. Spatial variability of throughfall and stemflow measurements in Amazonian rain forests. **Agri. Forest. Meteorology**. 42, 63–73, 1988

LOUSTAU, D.; BERBIGIER, P.; GRANIER, A.; EL HADJ MOUSSA, F. Interception loss, throughfall and stemflow in a maritime pine stand. I. Variability of throughfall and stemflow beneath the pine canopy. **Journal of Hydrology**. 138, 449–467, 1992

MACHADO R. E. **Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento**. 2002. 152p. Tese de doutorado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, ESALQ/USP.

MARTINS, S. G., SILVA, M. L. N., CURI, N., FERREIRA, M. M., FONSECA, S., MARQUES, J. J. G. S. M. Perdas de solo e água por erosão hídrica em sistemas florestais na região de Aracruz (ES). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.395-403, 2003.

MOLICOVÁ, H., HUBERT, P. Canopy influence on rainfall fields' microscale structure in tropical forests. **Journal Applied Meteorology**., v.33, p.1464-7, 1994.

NALON, M. A.; VELLARDI, A. C. V. Interceptação na floresta secundária das encostas da Serra do Mar, região de Cubatão, SP. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS, 2., 1992, São Paulo. **Anais...** São

Paulo: 1992. **Revista do Instituto Florestal**, v. 4, p. 894-899. (Edição Especial).

NALON, M. A., VELLARDI, A. C. V. Estudo do balanço hídrico nas escarpas da serra do mar, região de Cubatão, SP. **Revista do Instituto Florestal.**, v.5, n.1, p.39-58, 1993.

NÁVAR, J., BRYAN, R. Interception loss and rainfall redistribution by three semi-arid growing shrubs in northeastern Mexico. **Journal of Hydrology** (Amsterdam), v.115, p.51-63, 1990.

NÁVAR, J.,. The causes of stemflow variation in three semi-arid growing species of northeastern Mexico. **Journal of Hydrology**. v.145, p.175–190 1993.

NEAL, C., ROBSON, A. J., BHARDWAJ, C. L., CONWAY, T., JEFFERY, H. A., NEAL, M., RYLAND, G. P., SMITH, C. J., WALLS, J. Relationships between precipitation, stemflow and throughfall for a lowland beech plantation, Black Wood, Hampshire, southern England: findings on interception at a forest edge and the effects of storm damage. **Journal of Hydrology**. (Amsterdam), v.146, p.221-33, 1993.

OLIVEIRA JÚNIOR, J.C. & DIAS, H.C.T. Precipitação efetiva em fragmento secundário da mata atlântica. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.29, n.1, p.9-15, 2005.

PESSOA, M.C.P.Y., LUCHIARI, A.J., FERNANDES, E.N.; LIMA, M.A. Principais modelos matemáticos e simuladores utilizados para análise de impactos ambientais das atividades agrícolas. Jaguariúna: EMBRAPA, CNPMA, 1997. 83p. (EMBRAPA. CNPMA. Documentos, 8).

PINTO, N.L.S. (1975) - **Vazão de dimensionamento de bueiros**, Rio de Janeiro: IPR, Publ. 478, 1975, 56p.

PONCE, V.M. **Engineering Hydrology**: principles and practices. New Jersey: Prentice-Hall, 1989. 640p.

PRICE, N. W. A comparison of water balance components in natural and plantation forests in el Salvador, **Central America**. Turrialba, v.32, p.399- 416, 1982.

PRUSKI, F.F., BRANDÃO, V.S., SILVA, D.D. **Escoamento superficial**. 2 ed. Viçosa, UFV, 2004. 87p.

RECIFE, PREFEITURA DA CIDADE DO. **ATLAS** ambiental da cidade do Recife. Recife: SEPLAM, 2000. 151p.

SANTOS C.A.G., SUZUKI K., WATANABE M., SRINIVASAN, V.S. **Influência do tipo da cobertura vegetal sobre a erosão no semi-árido paraibano**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.4, n.1, p.92-96, 2000

SILVESTRE, A.N. & CARVALHO, P.V. Van den Berg da C. Bacia do Prata: Aspectos qualitativos da água. In: **Reserva ecológica de Dois Irmãos: Estudos em um remanescente de Mata Atlântica em área urbana**. Machado, I., Lopes, A., Porto, K. (editores). Recife, Editora Universitária UFPE, 1998. p. 51-64.

SLATYER, R.O. Measurement of precipitation, interception by arid plant community (*Acacia aneura* F. Muell). **Arid zone research**, v.25, p.181–192. 1965.

SMEDEMA, L.K., RYCROFT, D.W. Land drainage: planning and design of agricultural drainage systems. New York: Cornell University Press, 1983. 376p.

STEFFEN, J.L. e RONDON, M.A.C. Determinação da vazão de projeto em bacias urbanas. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000. **Anais**.

TANIGUCHI, M., TSUJIMURA, M., TANAKA, T. Significance of stemflow in groundwater recharge.1: evaluation of the stemflow contribution to recharge using a mass balance approach. **Hydrology Process**. V.10, p71–80, 1996

MARIN, C.T.T; W. BOUTEN, W.; SEVINK, J. Gross rainfall and its partitioning into throughfall, stemflow and evaporation of intercepted water in four forest ecosystems in western Amazonia. **Journal of Hydrology**, v.237, p.40–57, 2000.

TUCCI, C.E.M. Interceptação. In: Tucci, C. E. M., (org), **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre, ABRH/Editora da Universidade/UFRGS, EDUSP. p.243-252, 1993.

TUCCI, C.E.M. Escoamento superficial. In: Tucci, C.E.M. (org.) **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: ABRH/Editora UFRGS. p.391-441., 2001.

UBARANA, V.N.. Observation and modelling of rainfall interception loss in two experimental sites in Amazonian forest. In: Gash, J.H.C.; Nobre, C.A.; Roberts, J.M.; Victoria, R.L. (Eds), **Amazonian deforestation and climate**. Chichester, John Willey, 1996, p. 151-162.

VAN DIJK, A.I.J.M. e BRUIJNZEEL, L.A.,. Modelling rainfall interception by vegetation of variable density using an adapted analytical model. Part 1. Model description. **Journal of Hydrology**. v.247, p.230–238, 2001.

VIEIRA, C. P., PALMIER, L. R. Separação da precipitação em uma área florestada na região metropolitana de Belo Horizonte. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 12, 1997, Vitória. **Anais ...** Vitória: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1997. p.1-7.CD-ROM.

WOODWARD D.E., R.HAWKINS, R. JIANG, A. HJELMFELT Jr, J. VAN MULLEM y QUAN, Q. D. 2001. Runoff curve number method: examination of the initial abstraction ratio. In: <http://class.et.byu.edu/ce531/Papers/CNInitialAbstraction.pdf>

WOOLISHER, D.A.; BRAKENSIEK, D.L. Hydrologic System Synthesis. In: HANN, C.T.; JOHNSON, H.P.; BRAKENSIEK, D.L. (Ed.) **Hydrologic Modeling of Small Watershed**, St, Joseph: ASAE, 1982. p.3-16. (ASAE Monograph)

## ANEXO I

**Número da curva de escoamento superficial CN para as condições de umidade antecedentes I, II e III**

CONVERSÕES E CONSTANTES PARA O CASO $A_i = 0,2S$				
NUMERAÇÃO DAS CURVAS PARA AS CONDIÇÕES DE SATURAÇÃO			Valores de S para a curva II (cm)	Valores de P onde começa a curva II ( $A_i$ ) (cm)
I	II	III		
100	100	100	0	0
87	95	99	1,3	0,3
78	90	98	2,8	0,6
70	85	97	4,5	0,9
63	80	94	6,4	1,3
57	75	91	8,6	1,7
51	70	87	10,9	2,2
45	65	83	13,7	2,7
40	60	79	16,9	3,4
35	55	75	20,8	4,2
31	50	70	25,4	5,1
27	45	65	31	6,2
23	40	60	38,1	7,6
19	35	55	47,2	9,5
15	30	50	59,2	11,9
12	25	45	76,2	15,2
9	20	39	101,6	20,3
7	15	33	144,8	28,7
4	10	26	228,6	45,7
2	5	17	482,6	96,5
0	0	0	Infinito	Infinito

## ANEXO II

### LEGENDA DOS SOLOS DA BACIA DO PRATA

- LA1 – LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico A moderado textura média fase floresta subperenifólia relevo plano e suave ondulado.
- LA2 – LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico textura média relevo suave ondulado a forte ondulado + ARGISSOLO AMARELO Distrófico latossólico textura média/argilosa fase relevo ondulado e forte ondulado, ambos A moderado fase floresta subperenifólia (70% +30%).
- LA3 - Associação de: LATOSSOLO AMARELO Distrófico textura média + ARGISSOLO AMARELO Distrófico latossólico textura média/argilosa, ambos A moderado fase floresta subperenifólia relevo ondulado e forte ondulado (70% +30%).  
Inclusão: ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico A moderado fase floresta subperenifólia relevo ondulado e forte ondulado.
- LA4 – Associação de: LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico textura argilosa fase relevo suave ondulado e plano + ARGISSOLO AMARELO Distrófico latossólico textura média/argilosa fase relevo ondulado e forte ondulado, ambos A moderado fase floresta subperenifólia (60% + 40%).  
Inclusão: ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico A moderado textura média/argilosa fase floresta subperenifólia relevo suave ondulado.
- LA5 – Associação de: LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico textura argilosa relevo plano e suave ondulado + ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico textura média/argilosa fase relevo ondulado e forte ondulado + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico textura média/argilosa fase relevo plano e suave ondulado, todos A moderado fase floresta subperenifólia (45% + 35% + 20%).  
Inclusão: ARGISSOLO AMARELO Distrófico latossólico textura média/argilosa fase relevo ondulado e forte ondulado, ambos A moderado fase floresta subperenifólia.
- PA1 – Associação de: ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico e ARGISSOLO AMARELO Distrófico Latossólico fase relevo ondulado e forte ondulado + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico fase relevo plano e suave ondulado, todos A moderado textura média/argilosa fase floresta subperenifólia (80% + 20% ).
- PA2 – Associação de: ARGISSOLO AMARELO Distrófico latossólico e típico + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico, todos A moderado textura média/argilosa fase floresta subperenifólia relevo plano e suave ondulado (70% + 30% ).

- PA3 – Associação de: ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, ambos A moderado textura média/argilosa fase floresta subperenifólia relevo plano e suave ondulado (60% +40%).  
Inclusão: ARGISSOLO AMARELO Distrófico latossólico A moderado textura média/argilosa, fase floresta subperenifólia relevo suave ondulado.
- PVA – Associação de: ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico + ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico, todos A moderado textura média/argilosa fase floresta subperenifólia relevo ondulado e forte ondulado (55% + 45%).  
Inclusão: LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico A moderado textura média fase floresta subperenifólia relevo ondulado e forte ondulado
- RQ – Associação de: NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico + LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico textura média, ambos A moderado fase floresta subperenifólia relevo suave ondulado e plano (70% +30%).
- TT – Tipo de terreno (constituído de construções) + GLEISSOLO MELÂNICO Tb Distrófico organossólico textura arenosa fase campos de várzea relevo plano (85% + 15%).

### ANEXO III

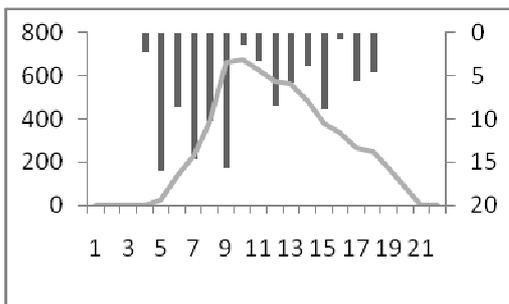
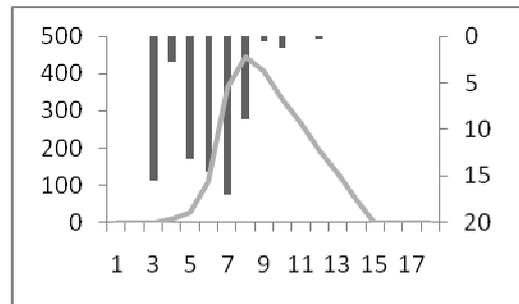
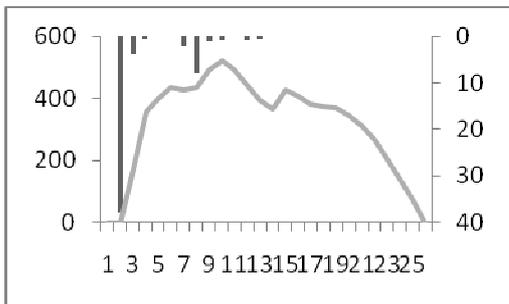
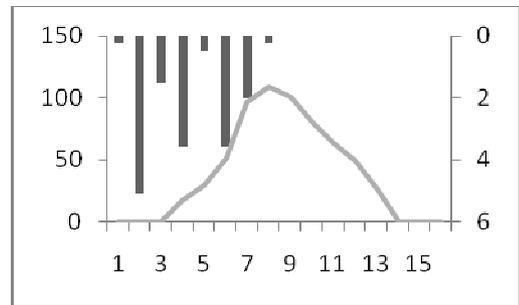
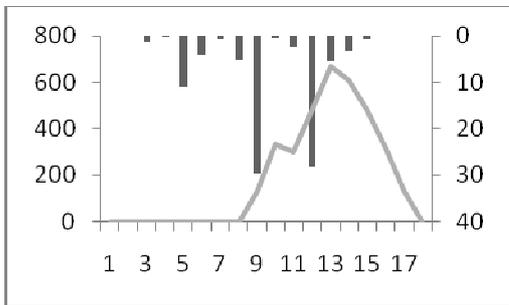
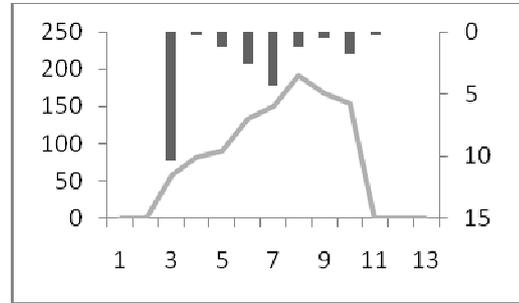
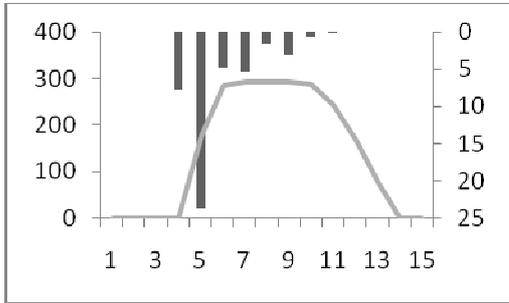
Valores de coeficiente de escoamento superficial (C) recomendado pelo *Soil Conservation Service* – USDA

Fonte: Pruski et al. (2004)

Tipo de cobertura do solo	Declividade (%)	Textura do solo		
		Arenosa	Franca	Argilosa
Floresta	0 – 5	0,10	0,30	0,40
	5 – 10	0,25	0,35	0,50
	10 - 30	0,30	0,50	0,60
Pastagens	0 – 5	0,10	0,30	0,40
	5 – 10	0,15	0,35	0,55
	10 - 30	0,20	0,40	0,60
Terras cultivadas	0 – 5	0,30	0,50	0,60
	5 – 10	0,40	0,60	0,70
	10 - 30	0,50	0,70	0,80

## ANEXO IV

Hidrogramas utilizados para estimativa do coeficiente de escoamento superficial(C).



■ Precipitação (mm)    — Escoamento superficial (m³ h<sup>-1</sup>)

■ Precipitação (mm)    — Escoamento superficial (m³ h<sup>-1</sup>)

## ANEXO V

Valores de n em função da declividade para determinação do Coeficiente de Retardamento apresentado em Pinto et al. (1975)

<b>Declividade da bacia (%)</b>	<b>n</b>
< 0,5	4
0,5 – 1	5
>1	6

Fonte: Franco (2004)

## ANEXO VI

Número da curva de escoamento superficial para os grupos hidrológicos solo-cobertura (para a condição de umidade antecedente da bacia II e  $A_i = 0,2 S$ )

Uso do solo ou cobertura	Defesa contra erosão	Condições para infiltração	Grupo hidrológico do solo			
			A	B	C	D
Arado, quase sem cobertura vegetal			77	86	91	94
Plantações em linhas (pomares, café, etc)	SR	Más	72	81	88	91
	SR	Boas	67	78	85	89
	C	Más	70	79	84	88
	C	Boas	65	75	82	86
	C & T	Más	66	74	80	82
	C & T	Boas	62	71	78	81
Plantações de cereais	SR	Más	65	76	84	88
	SR	Boas	63	75	83	87
	C	Más	63	74	82	85
	C	Boas	61	73	81	84
	C & T	Más	61	72	79	82
	C & T	Boas	59	70	78	81
Semeação densa, como das leguminosas e dos pastos em rodízio	SR	Más	66	77	85	89
	SR	Boas	58	72	81	85
	C	Más	64	75	83	85
	C	Boas	55	69	78	83
	C & T	Más	63	73	80	83
	C & T	Boas	51	67	76	80
Pastagens		Más	68	79	86	89
		Médias	49	69	79	84
		Boas	39	61	74	80
	C	Más	47	67	81	88
	C	Médias	25	59	75	83
	C	Boas	6	35	70	79
Campos naturais permanentes		Médias	30	58	71	78
Reflorestamento		Más	45	66	77	83
		Médias	36	60	73	79
		Boas	25	55	70	77
Dependência da sede da fazenda e chácara			59	74	82	86
Estrada de terra		Más	72	82	87	89
		Boas	74	84	90	92
Floresta		Muito pobre	56	75	86	91
		Pobre	46	68	78	84
		Média	36	60	70	76
		Boa	26	52	62	69

Fonte: Genovês (2001)