

---

# Processos Hidrológicos

CST 318 / SER 456

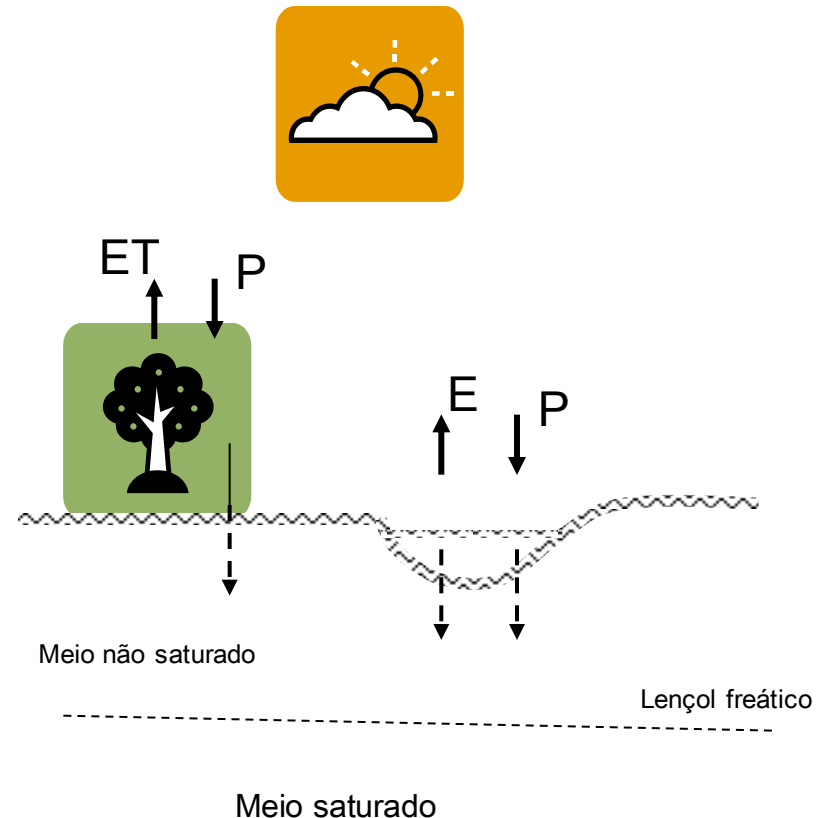
Tema 3 - Interceptação  
ANO 2017

Camilo Daleles Rennó  
Laura De Simone Borma  
<http://www.dpi.inpe.br/~camilo/prochidr/>

# Conceitos

## INTERCEPTAÇÃO

- Retenção de parte da precipitação acima da superfície do solo
- Pode ocorrer em superfícies naturais (florestas) ou antropizadas (edifícios e construções em geral)
- Ênfase do curso: **interceptação vegetal**
- Função: retenção e acúmulo de uma parcela de água que, ao invés de infiltrar ou escoar, eventualmente atingindo os corpos hídricos, retorna para a atmosfera sob a forma de vapor d'água
- Qual a importância da vegetação da dinâmica da água em uma bacia?



# Importância da Vegetação

---

- **Influencia no comportamento da vazão ao longo do ano**
  - Favorece a infiltração da água no solo
  - Retarda e atenua o pico de cheias
- **Influencia nos processos biogeoquímicos**
  - Uma série de **nutrientes** presentes nas folhas e nos troncos são **lixiviados** para o solo a partir do escoamento pelas folhas e, em especial, a partir do **escoamento pelos troncos** (Leal et al., 2016)
  - Como o escoamento pelos troncos compreende, em geral, uma parcela muito pequena da precipitação, esse comportamento tem sido negligenciado em muitos estudos (a medida do escoamento pelo tronco só é viável com troncos de magnitude razoável)

# Interceptação vegetal

## Conceito

- A chuva que cai sobre uma bacia hidrográfica florestada é naturalmente fracionada em 3 parcelas
  - Parte é interceptada e armazenada pela vegetação e evapora
  - Parte escoar pelos troncos
  - Parte atinge a superfície do solo (diretamente ou depois de escoar pelas folhas)
- O processo de interceptação **redistribui a água de chuva**, e parte do volume incidente não chega ao solo
- Primeiro processo hidrológico pelo qual a chuva passa, por vezes referido como '**perda por interceptação**'
- Deve ser levado em conta
  - No gerenciamento dos recursos hídricos
  - Nos modelos chuva-vazão (Savenije, 2004)
- Frequentemente negligenciado devido às dificuldades de medição e grande variabilidade espacial e temporal



# Valores

- Em alguns casos, o volume interceptado não é desprezível
- Percentuais interceptados
  - 36% - florestas no Chile
  - 22,4% - sequoias nos EUA
  - 22% - coníferas do Himalaia
  - 37% - vegetação ripária em cerrado
  - 22,6% - floresta amazônica
  - 20,6% - Mata Atlântica



# Histórico

- **Horton (1919)** → um dos primeiros trabalhos notáveis no estudo da interceptação
- Estabeleceu as primeiras suposições sobre o processo:
  - O volume das perdas por interceptação é função da **capacidade de armazenamento da vegetação (S)**, da **intensidade da chuva** e da **evaporação** durante o evento
  - O percentual das perdas por interceptação **decrece com a intensidade de chuva**
  - Os volumes **escoados pelo tronco** são **significativos**, mas seu **percentual em relação à chuva é pequeno**



# Histórico

## ❑ Hibbert (1967)

- ❑ Importante revisão sobre os efeitos do manejo florestal na **produção de água**:
  - ❑ A redução da cobertura florestal aumenta e
  - ❑ o estabelecimento da cobertura vegetal reduz

## ❑ Bosh & Hewlett (1982)

- ❑ Confirmaram os efeitos do aumento/redução da produção hídrica ocasionados pela redução/aumento da cobertura vegetal
- ❑ Não investigaram os mecanismos envolvidos

## ❑ Hewlett (1982)

- ❑ Suposições existentes até então sobre o papel da interceptação no balanço hídrico não eram suficientemente boas e **o processo necessitava ser medido em diferentes regiões, climas e tipos de floresta**

- ❑ Desde então, houve esforços para medição da interceptação em florestas em diferentes partes do mundo

## ❑ 1994 - **Simpósio Internacional de Hidrologia Florestal**, em Tóquio (Ohta et al., 1994)

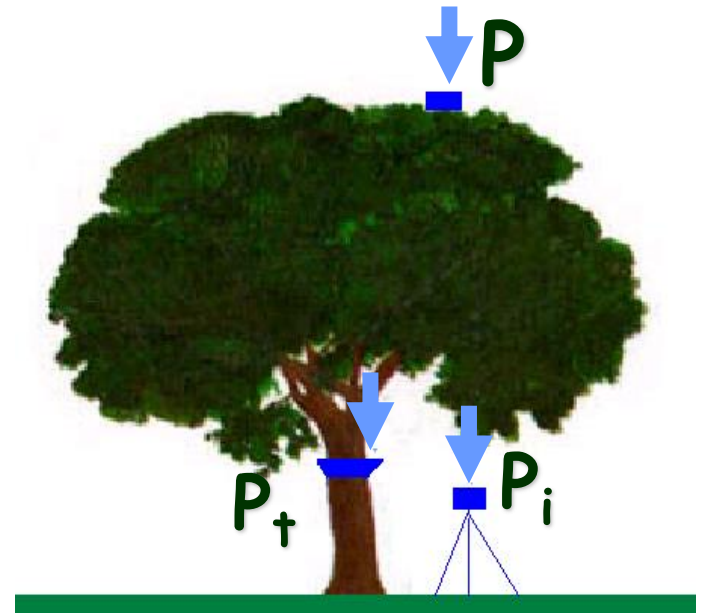
- ❑ Interceptação discutida sob o enfoque da **modelagem**

# Grandezas características

- ❑ **Precipitação incidente (P)** - quantidade de chuva medida acima do dossel ou em terreno aberto, adjacente à floresta
- ❑ **Precipitação interna, transprecipitação ou throughfall ( $P_i$ )** - chuva que atravessa o dossel florestal, englobando as gotas que passam diretamente pelas aberturas das copas e as gotas que respingam da água retida nas copas
- ❑ **Escoamento pelo tronco ou stemflow ( $P_t$ )** - água de chuva que, após ser retida pela copa, escoam pelo tronco em direção à superfície do terreno



$$\text{Precipitação efetiva} \Rightarrow P_e = P_i + P_t$$





# Valores de redistribuição das chuvas por tipo de clima

Região	<i>I</i> (%)	<i>Tf</i> (%)	<i>Sf</i> (%)	Referência
Tropical	13,3–22,6	76,8–86	0,6	Cuartas et al. (2007)
	–	–	0,6–13,6	Levia Jr. & Frost (2003)
	7,2	91	1,8	Lloyd & Marques (1988)
	14,5	82	3,5	Manfroi et al. (2004)
	12–17	82–87	0,9–1,5	Tóbon Marin et al. (2000)
Temperada	26,7–42,4	–	–	Gash et al. (1980)
	30,6–68,4	30,6–65,2	1–7,6	Horton (1919)
	12–14	74–76	12	Kuraji et al. (2001)
	–	–	0,9–20	Levia Jr. & Frost (2003)
	11–36	64–87	0,3–3,4	Oyarzún et al. (2011)
Árida e semi-árida	22,4	75,1	2,5	Reid & Lewis (2009)
	–	–	0,8–45	Levia Jr. & Frost (2003)
	13	81	6	Medeiros et al. (2009)
	27,2	27–69,7	0,6–5,6	Návar & Bryan (1990)

$I = 7,2$  a  $22,6\%$

$Pt = 0,6$  a  $13,6\%$

$I = 11$  a  $68,4\%$

$Pt = 0,3$  a  $20\%$

$I = 13$  a  $27,2\%$

$Pt = 0,6$  a  $45\%$

Tabela 1 - Alguns valores de interceptação (*I*), chuva interna (*Tf*) e escoamento de tronco (*Sf*) registrados nas regiões tropicais, temperadas, áridas e semi-áridas.

Percentuais em relação à chuva total.

# Alguns locais de medida para o Brasil



# Fatores condicionantes da interceptação

- ❑ Os estudos de redistribuição da chuva pela vegetação mostraram que o processo é altamente heterogêneo
- ❑ É notável que os valores de interceptação, chuva interna e escoamento pelo tronco variam entre as regiões climáticas, mas também entre estudos em uma mesma região
- ❑ Essa variabilidade está em acordo com a suposição de Horton (1919) (entre outros) de que a interceptação depende das características da chuva (condições meteorológicas) e da vegetação



# O processo

---

**I - Intercepção** - fração de chuva que é evaporada diretamente da copa, não atingindo o solo, dada por:

$$I = S + E \text{ (hipótese de Horton)}$$

Sendo:

**S - capacidade de retenção do dossel (ou da folha)** - quantidade de água que pode ser retida temporariamente na copa (ou folha), antes do início dos processos de  $P_i$  e  $P_t$

**E - evaporação da água retida na copa**

**S e E** - grandezas que variam ao longo do tempo



# Capacidade de armazenamento (S)

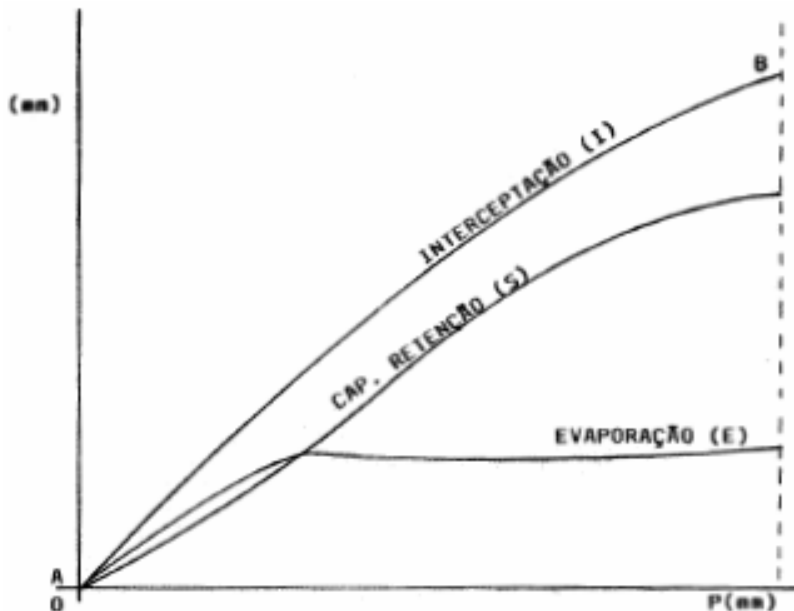
- ❑ No início da chuva, ocorre o armazenamento de água na folha e no dossel (S)
- ❑ Somente depois de S ter atingido seu ponto máximo, começam os processos de escoamento pelo tronco (Pt) e precipitação interna (Pi)
- ❑ Capacidade de armazenamento (S) é um aspecto importante do processo:
  - ❑ Equilíbrio entre a tensão superficial e a gravidade e depende:
    - Do tipo de folha (vegetação)
    - Das forças externas (clima)
      - Temperatura*: influencia na viscosidade da água
      - Vento*: quebra as forças de adesão
      - Intensidade da precipitação*: influencia nas forças de adesão
- ❑ Maiores valores de S ocorrem nas seguintes condições
  - ❑ Espécies com folhas grandes e rugosas
  - ❑ Baixa temperatura do ar
  - ❑ Ausência de ventos
  - ❑ Baixa intensidade de precipitação



Equilíbrio entre tensão superficial e gravidade

# Evolução de E e S

- ❑ **Ponto A** - Início da chuva - E representa o componente principal da perda por interceptação
- ❑ **Entre A e B** - À medida em que a chuva continua, a evaporação tende a diminuir devido à alteração das condições microclimáticas (temperatura, gradiente de pressão de vapor, disponibilidade de energia) enquanto a folha passa a reter mais água.
- ❑ **Ponto B** - S atinge seu máximo e, se a chuva continuar, o aumento de I ocorre devido à continuação da evaporação, porém a taxas menores que as iniciais.



Hipótese - interceptação cresce **exponencialmente** com P até o momento em que S atinge seu máximo. A partir daí, a taxa fica constante e equivalente à taxa de evaporação

O vento pode aumentar a taxa de evaporação

# Fatores condicionantes da interceptação

## ❑ Condições meteorológicas

### ❑ Precipitação

❑ Altura

❑ Duração

❑ Intensidade

❑ Vento

❑ Temperatura

❑ Umidade do ar

❑ Período do ano (estação seca ou chuvosa)

## ❑ Características da vegetação

### ❑ Folha

❑ Tamanho

❑ Forma

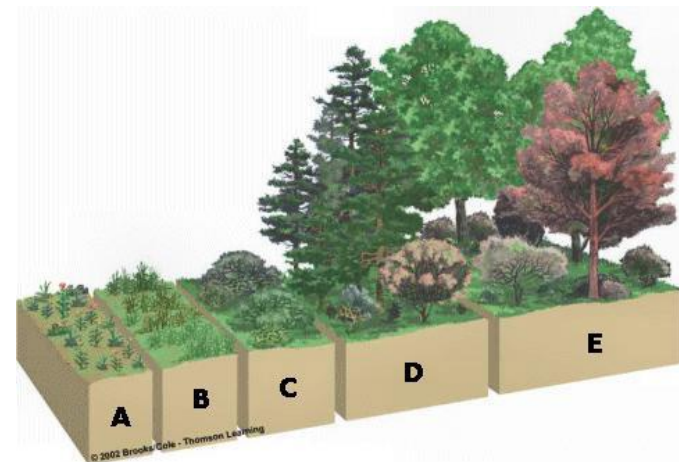
❑ Rugosidade

❑ Espécie

❑ Bioma

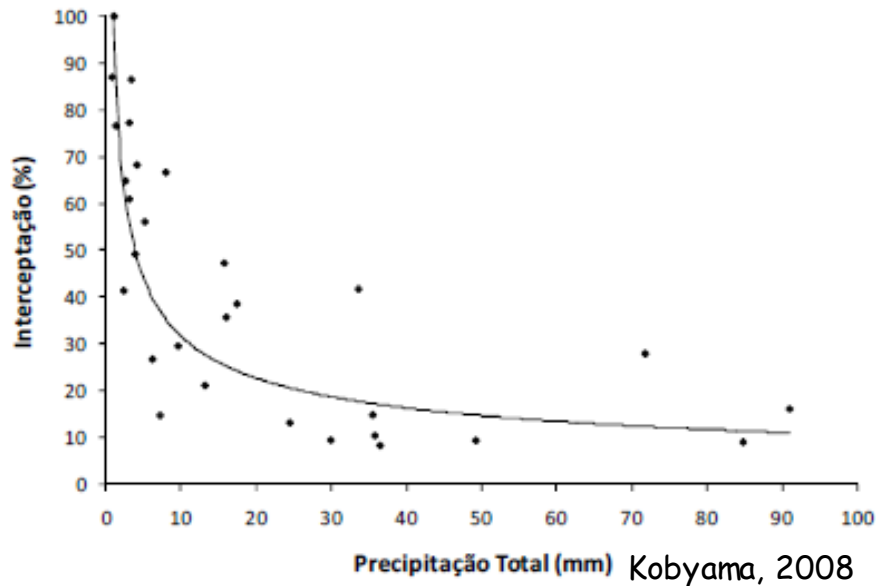
❑ Sazonalidade

❑ Densidade



# Influência do clima

## Interceptação x precipitação



- Quanto maior a chuva, menor a interceptação (em termos percentuais)
- Quanto maior a intensidade de chuva, menor a interceptação, para igual volume precipitado: energia com que as gotas de chuva atingem a folha e possível ação vento
- [Kuraji et al. \(2001\)](#): o percentual de perdas por interceptação foi maior no ano com mais eventos de chuva e menor volume total precipitado
- [Cuartas et al. \(2007\)](#): maior quantidade interceptada ocorre nos anos mais secos



# Fatores condicionantes do escoamento pelo tronco

- ❑ **Características da chuva:** em geral, o escoamento pelo tronco **aumenta com a magnitude e diminui com a intensidade da chuva**
- ❑ **Vento:** tende a aumentar o escoamento pelo tronco devido à ação sobre a copa
- ❑ **Variabilidade entre espécies:** estrutura da copa (quantidade, geometria e área projetada dos galhos), características da casca (porosidade, fisiologia, composição química, textura, capacidade de retenção de água e taxa de secagem)
  - ❑ Espécies de tronco liso - 5 a 8% da precipitação incidente
  - ❑ Espécies de casca rugosa - 1 a 2% (ou menos) da precipitação incidente
- ❑ **Variabilidade inter-específica:** árvores mais velhas, em aeral, produzem menos escoamento pelo tronco



# Medida da interceptação



# Medida da interceptação

- A medida da interceptação é feita de forma indireta, pela diferença da precipitação total e a parcela de chuva drenada através das folhas e troncos

**Entrada** = chuva total ( $P$ )

**Saída** = chuva interna ( $P_i$ ) e escoamento pelo tronco ( $P_+$ )

**Diferença** = interceptação

$$I = P - P_i - P_+ \Rightarrow \text{medida indireta}$$

Variáveis a serem medidas:

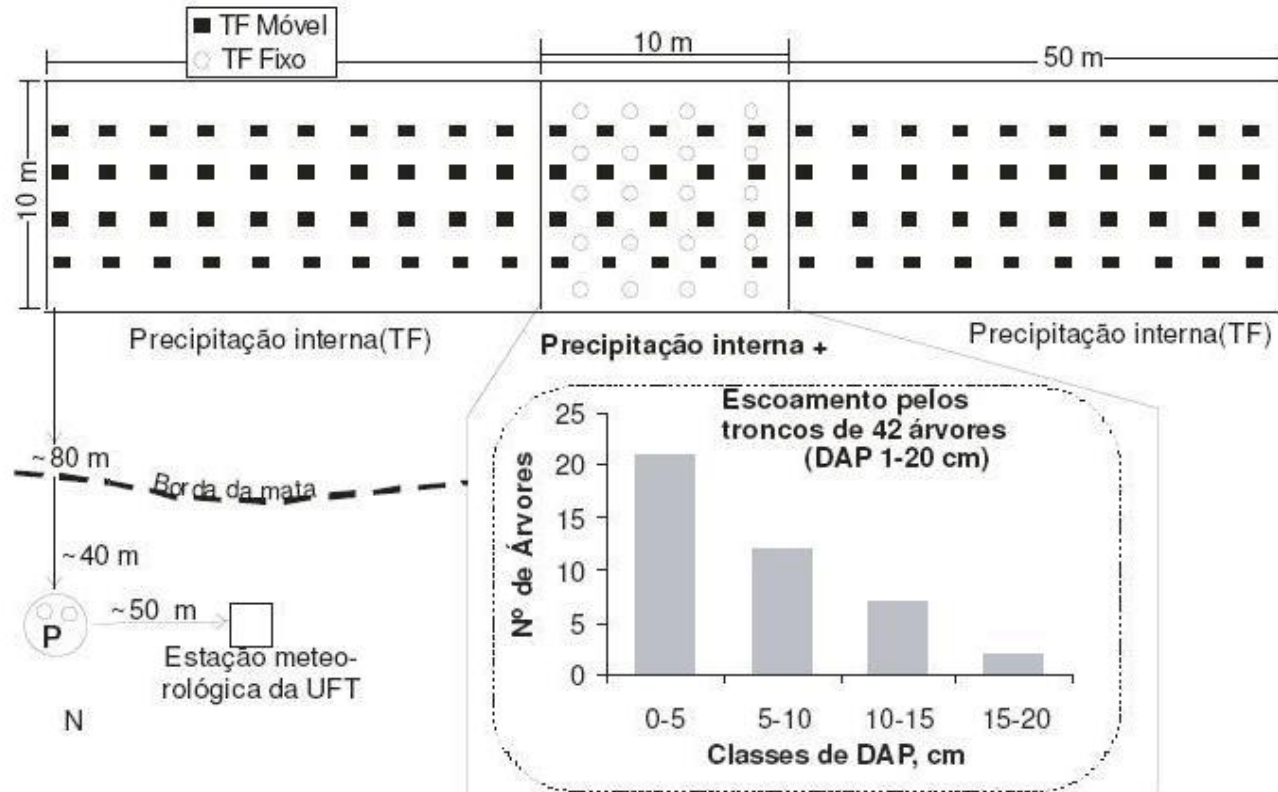
$P$  - precipitação total (externa)

$P_i$  - precipitação interna

$P_+$  - escoamento pelo tronco

É necessário usar cerca de 10 vezes mais equipamentos para medição da precipitação que atravessa a vegetação do que para a precipitação total

# Exemplo de layout



Coletores móveis minimizam o problema da variabilidade interna

# Medida da precipitação interna - $P_i$

---

Podem ser utilizados pluviômetros comuns (interceptômetros) e/ou calhas

## Pluviômetros

- podem conduzir a erros - grande variabilidade espacial da precipitação interna
- alternativa - vários pluviômetros + relocação periódica dentro da parcela

## Calhas

- possuem maior área de captação
- as chuvas coletadas devem ser conduzidas a um pluviômetro
- zinco ou plástico/tamanho varia conforme a necessidade
- borda dobrada para dentro, para evitar perda por respingos

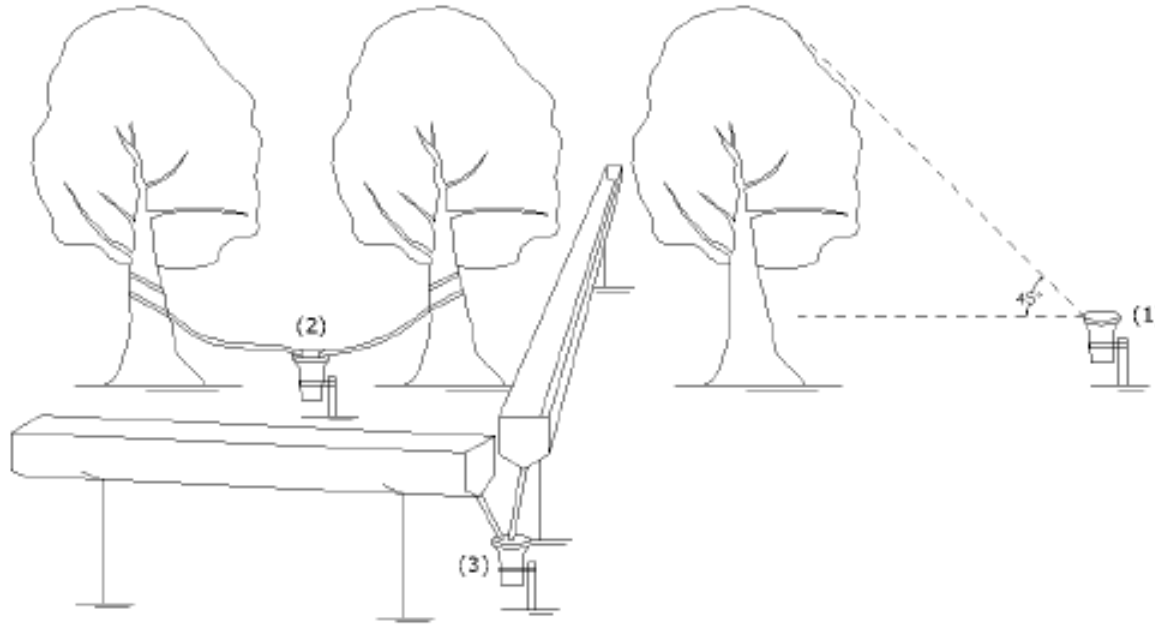
Ideal: Calhas + pluviômetros

# Medida da precipitação interna - $P_i$



**Figura 5.4.** (a) Instalação de calha para coleta de chuva interna. (b) Detalhe de mangueiras que ligam a calha ao pluviógrafo do tipo bácia. (c) Limpeza da casca para instalação de mangueiras de coleta de escoamento de tronco. (d) Área com medição instalada de chuva interna e escoamento de tronco.

# Medida de $P$ , $P_i$ e $P_t$



**Figura 5.2.** (1) Pluviógrafo medindo chuva externa. (2) Pluviógrafo medindo escoamento de tronco. (3) Pluviógrafo medindo chuva líquida coletada pelas calhas.

- (1) pluviógrafo medindo chuva externa,**
- (2) Pluviógrafo medindo escoamento de tronco e**
- (3) pluviógrafo medindo chuva líquida coletada pelas calhas**

# Medida do escoamento pelo tronco ( $P_t$ )

- ❑ Utilização de uma calha bem vedada em torno da árvore (colar)
- ❑ Chapa final de metal ou mangueira cortada ao meio
- ❑ Uso de pregos e cola de silicone
- ❑ Medição pode ser feita individualmente ou em grupo
- ❑ Coleta em um reservatório
- ❑ Floresta com grande número de árvores pequenas - medição é difícil

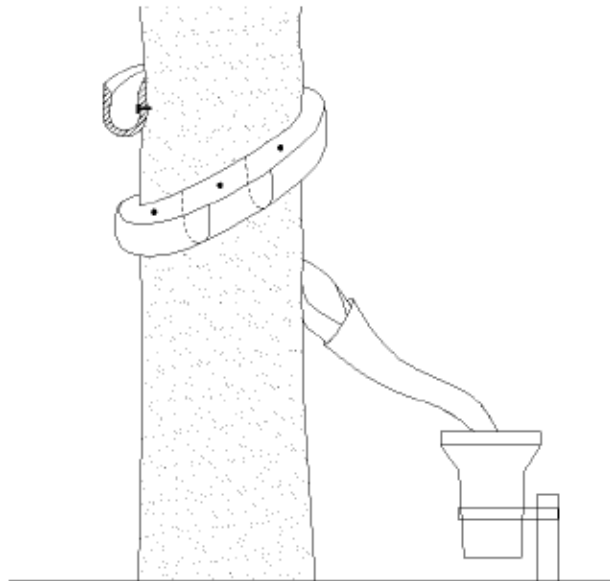


Figura 5.3. Detalhe de colar no tronco e tubo condutor até pluviômetro.



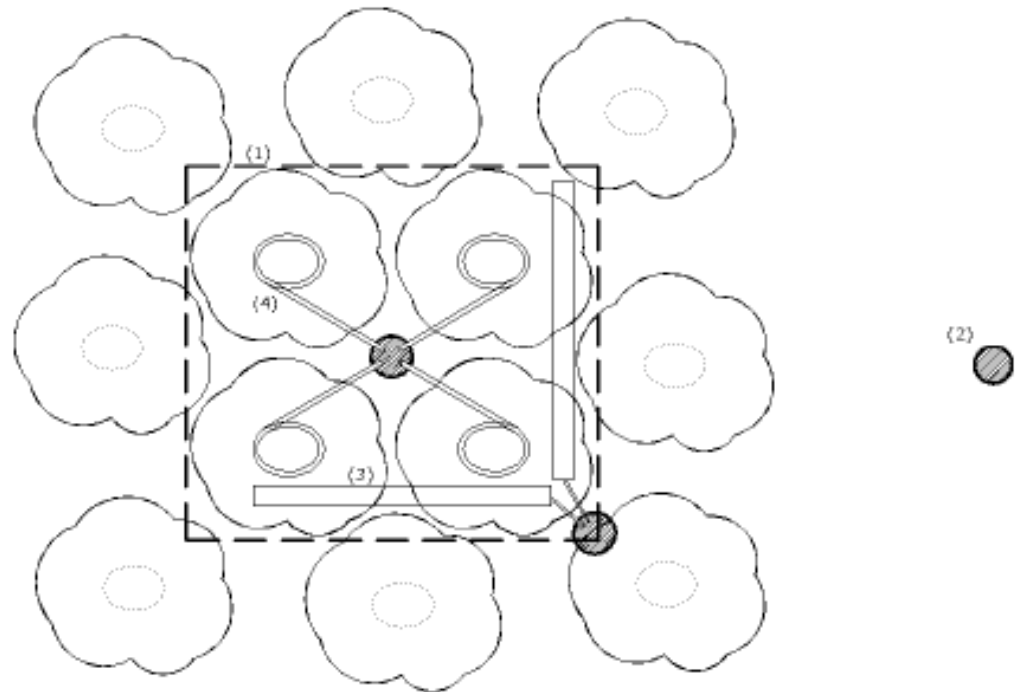
# Medida do escoamento pelo tronco - $P_i$

---

- ❑ Medem-se diversas árvores em uma parcela e utilizam-se cerca de 5 a 10 parcelas em uma floresta, distribuídas ao acaso
- ❑ Como é feita a transformação do volume de água coletada em cada árvore para a unidade mm de altura de água?
- ❑ R: Mede-se  $P_+$  em todas as árvores de uma parcela pequena e calcula-se o volume total interceptado em relação à área da parcela [ $L^3/L^2$ )]

# Croquis

- (1) Área de cálculo para escoamento pelo tronco e pelo dossel
- (2) Pluviômetro para medida da chuva externa
- (3) Calha para medição da chuva interna
- (4) Colar para medição do escoamento pelo tronco



- ❑ Primeiro passo: transformar os volumes medidos em mm
- ❑  $P_i$ : dividir o volume de água coletado pela área de coleta da calha, projetada em planta (p.e. litros/m<sup>2</sup>)
- ❑  $P_+$ : dividir o volume escoado pelo tronco pela área de influência aproximada das copas das árvores (p.e. litros/m<sup>2</sup>)

# Estimativa da interceptação

---

## □Equação de Horton (1919)

$$I = S + (A_v/A).E.t_r$$

Onde:

$I$  - quantidade interceptada (mm)

$S$  - capacidade de armazenamento da vegetação (mm)

$A_v$  - área da vegetação

$A$  - área total

$E$  - taxa de evaporação (mm/h)

$t_r$  - duração da precipitação em horas

# Estimativa de S

- ❑ O índice de área foliar (IAF) é a relação entre a área das folhas - todas as folhas - da vegetação de uma região e a área projetada no solo
- ❑ Um valor de IAF igual a 2, por exemplo, significa que cada  $m^2$  de área de solo está coberto por uma vegetação em que a soma das áreas das folhas individuais é de  $2m^2$

Tipo de cobertura	IAF	Fonte
Coníferas	6	Bremicker (1998)
Floresta decídua	6 *	Bremicker (1998)
Soja irrigada	7,5*	Fontana et al. (1992)
Soja não irrigada	6,0*	Fontana et al. (1992)
Floresta amazônica	6 a 9,6*	Honzák et al. (1996)
Pastagem amazônica (estiagem)	0,5	Roberts et al. (1996)
Pastagem amazônica (época úmida)	3,9	Roberts et al. (1996)
Savana Africana (região semi-árida -Sahel)	1,4*	Kabat et al. (1997)
Cerrado (estiagem)	0,4	Miranda et al. (1996)
Cerrado (época úmida)	1,0	Miranda et al. (1996)

# Equação com base no IAF

- A lâmina interceptada durante um evento de chuva pode ser estimada com base no valor do IAF para uma dada vegetação através da equação

$$S = F_i \times IAF$$

Onde:

S - capacidade de armazenamento da folha (mm)

$F_i$  - parâmetro de interceptação ( $F_i = 0,1$  a  $0,7$ mm)

Exemplo: Um evento de chuva de 15mm atinge uma bacia com cobertura vegetal de floresta. Qual é a capacidade de armazenamento da vegetação, considerando-se que  $F_i = 0,2$  e  $IAF = 6$ ?

$$S = 0,2 \times 6 = 1,2\text{mm (capacidade de interceptação)}$$

Como a chuva foi de 15mm, a capacidade total de armazenamento foi atingida. Portanto, 1,2mm é o total precipitado e 13,8mm é a precipitação que atinge a superfície do solo (precipitação interna)