

# PROCESSOS HIDROLÓGICOS EM DIFERENTES MODELOS DE PLANTIO DE RESTAURAÇÃO DE MATA CILIAR EM REGIÃO DE CERRADO<sup>1</sup>

Karine Baldo de GÊNOVA<sup>2,3</sup>  
Eliane Akiko HONDA<sup>2</sup>  
Giselda DURIGAN<sup>2,4</sup>

## RESUMO

A restauração de florestas ciliares tem sido recomendada como a melhor estratégia visando à proteção dos recursos hídricos e à recuperação da biodiversidade. No entanto, quase nada se conhece sobre o papel hidrológico das florestas plantadas e seus efeitos protetores. O presente estudo teve como objetivo analisar comparativamente alguns modelos de plantio de mata ciliar em região de cerrado, para verificar se diferem quanto ao seu papel na interceptação da água das chuvas e em sua influência na umidade do solo, com reflexos sobre a função protetora da floresta. Foram coletados, durante cinco meses, dados pluviométricos no interior de quatro modelos de plantio aos dezessete anos (um plantio misto com espécies de cerrado e três plantios puros, com *Pinus elliottii*, *Tapirira guianensis* e *Anadenanthera falcata*) e em área aberta para comparação. Para análises de umidade, foram coletadas amostras compostas da camada superficial do solo (0 a 20 cm) em cada uma das parcelas. Houve variação na porcentagem da água das chuvas interceptada pelas copas entre os diferentes modelos, com o maior valor no plantio puro de *Tapirira guianensis* (30,8%), espécie latifoliada perenifólia e com a maior densidade de árvores. No outro extremo, o plantio de *Anadenanthera falcata*, uma espécie caducifólia de folhas muito pequenas, reteve apenas 12,5% da água das chuvas. A umidade do solo, como era esperado, foi inversamente proporcional à interceptação. Não se observou correlação entre a biomassa florestal e a interceptação ou umidade do solo.

Palavras-chave: hidrologia florestal; recuperação; florestas ripárias; interceptação; umidade do solo.

## ABSTRACT

Riparian forest restoration has been reported as the most efficient strategy to protect water resources and to recover biodiversity. However, few is known about the hydrological functioning of the planted forests and their protective effect. Some different riparian forest restoration models were analyzed 17 years after planting, to verify the hypothesis that different forest structure and composition are correlated to different hydrological processes. Rain interception along five months and soil humidity (0-20 cm) were analyzed under a mixed stand with native species, three pure stands (*Pinus elliottii*, *Tapirira guianensis* and *Anadenanthera falcata*) and also in an open area (control). The highest interception rate (30.8%) was observed in the pure stand of *Tapirira guianensis*, which is evergreen and has the highest density. On the opposite, the deciduous stand of *Anadenanthera falcata* intercepted only 12.5% of the precipitation. Soil humidity, as expected, was inversely proportional to the interception. No correlation was observed between basal area (biomass) and interception or soil humidity.

Key words: hydrology; riparian forests; restoration; rain interception; soil humidity.

(1) Aceito para publicação em dezembro de 2007.

(2) Floresta Estadual de Assis, Instituto Florestal, Caixa Postal 104, 19802-970, Assis, SP, Brasil. E-mail: florestassis@gmail.com

(3) Bolsista de Iniciação Científica do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq.

(4) Bolsista de Produtividade do CNPq.

## 1 INTRODUÇÃO

A preocupação com a conservação e a recuperação da cobertura florestal ao longo dos rios é relativamente recente no Brasil e tem sido objeto de discussões amplas e freqüentes, abordando aspectos técnicos, científicos, conservacionistas e da legislação correlata.

A legislação brasileira protege, de forma permanente, uma faixa de terra e o ecossistema a ela associado, cuja largura mínima deve ser de 30 m a partir da margem dos rios. De fato, essas áreas têm características ecológicas e hidrológicas distintas, que justificam um tratamento diferenciado dos demais terrenos, mediante a extensa gama de influências que esta faixa exerce sobre os corpos de água, tanto do ponto de vista biótico quanto abiótico.

Espera-se, portanto, que as florestas ciliares plantadas venham, após algum tempo, a oferecer os mesmos benefícios atribuídos às matas ciliares naturais.

A presença de vegetação protetora às margens dos corpos de água é essencial para o funcionamento hidrológico harmonioso das bacias hidrográficas, pois influencia a produção hídrica, tanto na quantidade e regime de fluxo, como na qualidade da água gerada. A faixa de mata ciliar é, portanto, uma área crítica, onde se justifica maior atenção na ocasião do planejamento do manejo e recuperação de bacias hidrográficas, assim como para a formulação de políticas governamentais de meio ambiente e gerenciamento de recursos hídricos.

A reconhecida importância do ecossistema ripário tem motivado ações e pesquisas visando facilitar sua restauração, que trouxeram avanços significativos no conhecimento sobre o assunto em anos recentes, destacando-se obras de síntese, como Rodrigues & Leitão Filho (2000), Ribeiro *et al.* (2001), Kageyama *et al.* (2003) e Galvão & Silva (2005).

Estudos específicos têm sido, geralmente, voltados para o conhecimento da flora das florestas ripárias e para a experimentação de modelos de restauração, essencialmente baseados no crescimento e sobrevivência das árvores plantadas. Para a região em que foi desenvolvido o presente estudo, destacam-se os trabalhos de Durigan & Silveira (1999), Pulitano (2003), Pulitano *et al.* (2004), Silveira (2001), Silveira & Durigan (2004) e Melo (2004).

Austin & Gaywood (1994) estudaram as relações existentes entre a distribuição das populações de espécies arbóreas e as variáveis ambientais que podem afetar tal distribuição. Vários estudos têm sido realizados para quantificar a influência das variáveis ambientais na distribuição das populações naturais de espécies arbóreas. Em tais estudos, a heterogeneidade ambiental, associada a tipos de solo e suas propriedades, tais como drenagem, variáveis topográficas, capacidade de armazenamento de água, fertilidade, granulometria, textura, dinâmica e inundações (Rodrigues *et al.*, 1989; Johnston, 1992; Medley, 1992; Oliveira-Filho *et al.*, 1994a, b, c; Oliveira-Filho *et al.*, 1997; Pendry & Proctor, 1997; Sabatier *et al.*, 1997), vem sendo utilizada para explicar variações nas comunidades vegetais.

Em florestas ripárias em região de cerrado, Van den Berg & Oliveira-Filho (1999) verificaram que as propriedades físicas, químicas e a umidade do solo, seja em razão do gradiente topográfico ou da dinâmica de enchentes, normalmente variam em relação ao distanciamento do curso d'água e aproximação dos limites da floresta com o campo limpo circundante, sendo que os níveis de umidade do solo apresentam comportamento previsível ligado às propriedades físicas do solo, topografia da área e distribuição da precipitação pluviométrica.

A precipitação é a água proveniente do vapor de água da atmosfera, depositada na superfície terrestre sob qualquer forma, como chuva, granizo, orvalho, neblina, neve ou geada. Em escala global, a principal fonte de umidade para precipitação é proveniente dos oceanos, e não mais que 10% da precipitação nos continentes pode ser atribuída à evaporação continental (Linsley *et al.*, 1982). Dessa forma, a simples presença de vegetação florestal em área restrita não determina a ocorrência de chuvas.

A vegetação tem papel preponderante na perda evaporativa, que é a parcela da precipitação que retorna à atmosfera e, portanto, não pode ser considerada componente do recurso hídrico. A perda evaporativa é composta principalmente pela transpiração e interceptação.

A transpiração tem origem fisiológica e, como tal, sofre controle ambiental e biológico. Ocorre quando não existe água livre disponível para evaporação na superfície da folha e é de difícil manejo, pois sendo um processo conservativo (Roberts, 1983), sob as mesmas condições de clima e solo, não varia muito em função do tipo de vegetação.

A interceptação ocorre enquanto a copa está úmida, pois é o processo físico de evaporação da água da chuva retida pela folhagem. Compõe a parcela da chuva que retorna à atmosfera antes de alcançar o solo, sendo função da disponibilidade energética do ambiente, da frequência e da duração das chuvas, e também das condições da vegetação. Por ocorrer em uma taxa superior à transpiração (Stewart, 1981) e por ser fortemente influenciada pelas condições da vegetação, é um item importante a ser considerado no gerenciamento da água, pois é um componente do balanço hídrico passível de manejo.

A interceptação é quantificada obtendo-se a diferença entre a precipitação medida no aberto e o somatório da precipitação interna da floresta com o escoamento pelo tronco. Em florestas tropicais esses dois componentes são de difícil medição, devido à grande variabilidade espacial que apresentam.

O escoamento pelo tronco é a parcela da precipitação que, após interagir com a copa, atinge o solo escorrendo pelo tronco, representando uma parcela pequena do balanço hídrico anual – cerca de 0,2% a 3,0% (Nalon & Vellardi, 1992; Fujieda *et al.*, 1997; Oliveira Júnior & Dias, 2005), razão pela qual geralmente os pesquisadores o têm relegado a segundo plano.

A precipitação interna, também chamada de “transprecipitação”, é um componente cuja determinação é mais freqüente, apesar das dificuldades inerentes à sua grande variabilidade espacial dentro da floresta. Sua ordem de grandeza, em pesquisas realizadas no Brasil, varia ao redor de 80% (Lima & Nicolielo, 1983; Cicco *et al.*, 1986/1988; Fujieda *et al.*, 1997; Arcova *et al.*, 2003; Oliveira Júnior & Dias, 2005) do balanço hídrico anual. Quanto maior a biomassa da vegetação em uma bacia hidrográfica, maior é a chance da água interagir com a folhagem, aumentando a interceptação e diminuindo a quantidade de chuva que chega ao solo. Por consequência, menor será a vazão da bacia hidrográfica. De fato, após extensa revisão bibliográfica, Bosch & Hewlett (1982) verificaram o aumento da produção hídrica após execução de operações silviculturais que diminuíram a cobertura florestal.

Os estudos mencionados, que tratam de relações entre a comunidade vegetal e as variáveis ambientais são, regra geral, baseados em ecossistemas naturais. Faltam análises hidrológicas para os

plantios experimentais de restauração, que possam testar a sua eficácia em proteger os recursos hídricos. Faltam também estudos que demonstrem as relações ecológicas entre a floresta plantada e o ambiente, que possam prever o futuro dos plantios de restauração e compreender os fatores determinantes do êxito dos processos naturais de sucessão, que poderão assegurar a perpetuidade das florestas formadas.

O objetivo do presente estudo foi analisar comparativamente alguns modelos de plantio de mata ciliar em região de cerrado quanto ao seu papel na interceptação da água das chuvas e umidade do solo. Supõe-se que diferentes modelos de plantio resultarão em processos hidrológicos distintos, com reflexos sobre a função protetora da floresta.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

A Floresta Estadual de Assis está localizada na região oeste do Estado de São Paulo, sob as coordenadas 22° 35' S e 50° 22' W, a uma altitude média de 562 m. O solo na área experimental é do tipo Neossolo Quartzarênico (Areia Quartzosa Hidromórfica), com lençol freático superficial a pouco profundo. A área está em uma zona de transição entre os tipos climáticos Cwa e Cfa, segundo a classificação de Köppen, sujeita a geadas esporádicas, com precipitação anual média de 1.300 mm.

O plantio experimental onde foi desenvolvido o estudo foi instalado em 1989, ocupando área de 16.308 m<sup>2</sup>, em torno das nascentes e ao longo da margem direita do córrego do Barro Preto, pequeno tributário da Bacia do Paranapanema. As parcelas estão distribuídas dentro dos limites da faixa de preservação permanente estabelecida pela lei (30 m a partir da margem do córrego).

As técnicas de preparo de solo, de plantio e de condução das mudas foram descritas por Durigan & Silveira (1999), que efetuaram análise comparativa dos modelos de plantio aos nove anos, sob o ponto de vista da sobrevivência e crescimento das árvores.

Embora o plantio experimental compreendesse inicialmente nove tratamentos, foram analisados no presente estudo apenas os quatro de melhor desempenho silvicultural, descritos a seguir:

- 1- plantio puro de *Tapirira guianensis* Aubl.;
- 2- plantio puro de *Anadenanthera falcata* (Benth.) Speg.;
- 3- plantio puro de *Pinus elliottii* Engelm var. *densa* Little & Dormann., e
- 4- plantio misto com seis espécies nativas de matas ciliares em região de cerrado, organizadas em módulos sucessionais (módulos formados por uma espécie climácica no centro e espécies pioneiras e secundárias ao redor): *Anadenanthera falcata*, *Tapirira guianensis*, *Cedrela odorata* L.; *Calophyllum brasiliense* Cambess.; *Prunus myrtifolia* (L.) Urb. e *Solanum pseudoquina* A. St.-Hill.

Cada um dos tratamentos foi caracterizado estruturalmente, visando correlacionar os dados de interceptação da chuva e umidade do solo com as características da floresta.

Foram utilizados os seguintes descritores de estrutura:

- área basal: mediu-se o diâmetro à altura do peito (DAP a 1,30 m acima do nível do solo) de todas as árvores dentro da área útil de cada parcela (175,5 m<sup>2</sup>), convertendo-se os valores para m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>;
- cobertura de copas na estação chuvosa: utilizaram-se quatro fotos do dossel para cada modelo de plantio, obtidas com câmera digital com a objetiva direcionada para cima, perpendicularmente ao solo. Sobre cada foto projetou-se uma grade de 100 pontos regularmente distribuídos, contando-se as interseções correspondentes a 1) folha ou 2) céu aberto. A cobertura, expressa em porcentagem, foi obtida pela média do número de pontos correspondentes a “folhas” nas quatro fotografias, para cada tratamento;

- fenologia foliar: os modelos de plantio foram caracterizados quanto à deciduidade das espécies que os compõem (perenifólia, caducifólia ou semi caducifólia), com base na literatura (Lorenzi, 1992, 1998);
- densidade de árvores plantadas: calculada a partir do número de árvores plantadas sobreviventes no interior da parcela de amostragem;
- densidade de regenerantes: obtida a partir da contagem de todos os indivíduos de espécies lenhosas em regeneração no interior da parcela, com altura a partir de 50 cm.

A precipitação foi tomada no interior de parcelas reflorestadas e, também, em área adjacente, sem cobertura florestal, como controle.

Na área aberta (controle), a precipitação total ( $P_a$ ) foi medida em cinco pluviômetros. A precipitação interna, ou transprecipitação ( $P_i$ ) dos modelos florestais, foi medida em dez pluviômetros por tratamento, distribuídos ao acaso e mudados de lugar após cada evento chuvoso.

Os pluviômetros utilizados são recipientes de polietileno com 15 cm de profundidade e abertura superficial circular com 9,2 cm de diâmetro, fixados a 50 cm acima do nível do solo, com estacas de PVC. Os volumes de precipitação foram medidos no campo em mililitros e, com base nas dimensões do recipiente, posteriormente convertidos em altura pluviométrica através da equação (1).

$$\text{Precipitação (mm)} = \text{volume medido (mL)} \times 0,1504 \quad (1)$$

Foi quantificada a água recolhida nos pluviômetros em 14 eventos chuvosos, durante cinco meses, no período de agosto de 2006 a janeiro de 2007.

O cálculo da interceptação foi feito segundo a equação (2).

$$\text{Interceptação (\%)} = 100 (P_a - P_i) P_a^{-1} \quad (2)$$

onde:  $P_a$  = precipitação total (mm), medida a céu aberto  
 $P_i$  = transprecipitação (mm), medida sob o dossel.

GÊNOVA, K. B. de; HONDA, E. A.; DURIGAN, G. Processos hidrológicos em diferentes modelos de plantio de restauração de mata ciliar em região de cerrado.

A determinação da umidade do solo foi realizada em cada um dos quatro modelos de plantio e em uma área controle (sem árvores plantadas), mediante coleta de duas amostras compostas por cinco amostras simples em cada uma das épocas de coleta: estação seca e estação chuvosa. Cada amostra composta pesava cerca de 300 gramas.

A operação de coleta de todas as amostras foi efetuada dentro de um intervalo de

tempo de uma hora, para minimizar o efeito de eventuais alterações que pudessem acontecer em função de diferenças no horário de coleta.

A coleta de solos correspondente à estação seca foi efetuada no dia 31/08/06, após longo período de estiagem (FIGURA 1). A coleta de solos correspondente à estação úmida foi efetuada no dia 12/01/2007, sendo que o registro pluviométrico nos quinze dias que antecederam a coleta foi de 305 mm.

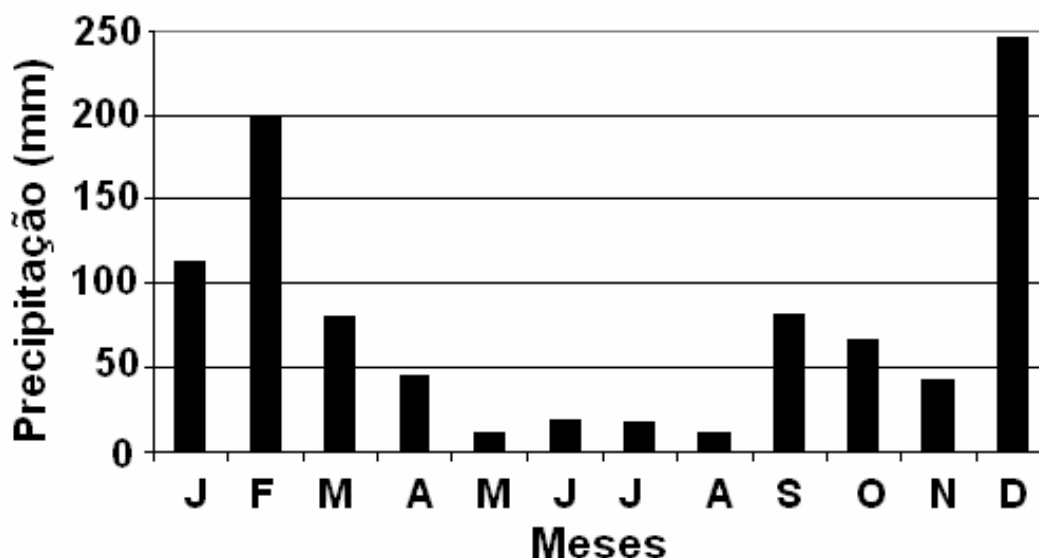


FIGURA 1 – Precipitação pluviométrica mensal do ano de 2006 nas parcelas do plantio experimental.

As amostras para análise de umidade foram pesadas em balança analítica eletrônica imediatamente após a abertura de cada embalagem, para determinação do peso úmido.

Após a pesagem, as amostras foram secas em estufa de ar forçado a 40 °C por algumas horas e, em seguida, colocadas em estufa aquecida a 105-110 °C para obtenção do peso seco e determinação da umidade, conforme o método descrito no Manual de Métodos de Análises de Solo (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, 1997).

Para compreender a correlação entre a interceptação em função do volume de chuva em cada evento, foram construídas equações de regressão linear.

Efetuu-se análise de correlações de Pearson entre as características estruturais da floresta e os dados de interceptação e umidade do solo.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Há uma grande variação estrutural entre os plantios comparados, em termos de área basal, densidade das árvores sobreviventes após 17 anos, cobertura de copas e deciduidade do dossel (TABELA 1), que certamente acarreta efeitos distintos sobre a água da chuva e umidade do solo.

TABELA 1 – Densidade, área basal, cobertura de copas (estação chuvosa) e deciduidade em diferentes modelos de plantio de mata ciliar, Assis, SP.

Modelo	Densidade plantadas (ind.ha <sup>-1</sup> )	Área basal (m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> )	Cobertura das copas (%)	Deciduidade do dossel	Densidade de regenerantes (ind.ha <sup>-1</sup> )
Controle	0	0	0	–	1766
<i>Tapirira guianensis</i>	2222	13,3	72	Perenifólio	8547
<i>Pinus elliottii</i>	1994	63,2	78	Perenifólio	2336
Misto	1197	11,8	78	Semi Caducifólio	3191
<i>Anadenanthera falcata</i>	1368	16,6	79	Caducifólio	5812

Durante o período compreendido entre 28 de agosto de 2006 a 03 de janeiro de 2007 foram medidas 14 chuvas, que variaram de um valor mínimo de 3,9 mm até um máximo de 111,3 mm, totalizando 529,8 mm.

A TABELA 2 contém a distribuição e a frequência das classes de tamanho das chuvas observadas no período, assim como os valores médios de transprecipitação nos diferentes tratamentos.

TABELA 2 – Frequência das classes de volume de chuva observada no período e valores médios de transprecipitação em diferentes modelos de plantio de mata ciliar na Floresta Estadual de Assis, SP.

Classes de volume de chuva (mm)	Frequência	Transprecipitação (mm)			
		<i>Tapirira guianensis</i>	<i>Pinus elliottii</i>	Misto	<i>Anadenanthera falcata</i>
00,0 – 09,9	2	4,4	2,6	3,9	4,2
10,0 – 19,9	2	8,1	9,3	10,0	11,2
20,0 – 29,9	1	21,8	21,0	26,0	24,4
30,0 – 39,9	4	26,6	27,2	32,2	33,6
40,0 – 49,9	2	31,9	34,8	39,4	39,7
50,0 – 59,9	1	36,6	37,8	46,2	50,9
≥ 60,0	2	56,3	63,2	76,2	72,0

GÊNOVA, K. B. de; HONDA, E. A.; DURIGAN, G. Processos hidrológicos em diferentes modelos de plantio de restauração de mata ciliar em região de cerrado.

A relação entre a precipitação total e a transprecipitação nos diferentes tratamentos pode ser representada por equações de regressão linear simples, todas apresentando alto coeficiente de determinação (equações 3, 4, 5 e 6), ou seja, alta correlação positiva entre volume de chuva e transprecipitação. Quanto maior o coeficiente angular da equação, mais próximos serão os valores de acréscimo da transprecipitação em função dos valores correspondentes de acréscimo na precipitação total.

$$P_{i\text{ Tapirira}} (\text{mm}) = 0,6443 P_a + 1,7868 \quad (R^2 = 0,9855) \quad (3)$$

$$P_{i\text{ Pinus}} (\text{mm}) = 0,7309 P_a + 0,0085 \quad (R^2 = 0,9923) \quad (4)$$

$$P_{i\text{ misto}} (\text{mm}) = 0,8735 P_a - 0,1994 \quad (R^2 = 0,9932) \quad (5)$$

$$P_{i\text{ Anadenanthera}} (\text{mm}) = 0,8165 P_a + 2,2313 \quad (R^2 = 0,9845) \quad (6)$$

Todas as equações obtidas no presente estudo possuem coeficiente angular menor ao calculado por Nalon & Vellardi (1992) para floresta ombrófila densa na em Cubatão, SP, por Lima & Nicolielo (1983) em florestas implantadas de *Pinus* sp. entre os 10 e 13 anos de idade em Agudos, SP, e por Lima (1976) em florestas implantadas de *Eucalyptus saligna* Smith e *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* entre os dois e três anos de idade em Piracicaba, SP.

Valor intermediário aos coeficientes angulares da equação linear obtida no plantio de *Tapirira guianensis* e *Pinus elliottii* foi calculado por Lima & Nicolielo (1983) em vegetação de cerrado. O coeficiente angular calculado por Cicco *et al.* (1986/88) em floresta ombrófila densa secundária foi também intermediário em relação aos coeficientes angulares das equações lineares obtidos neste estudo para o plantio de *Pinus elliottii* e o plantio misto. Em floresta estacional semidecidual localizada em Viçosa, MG, Oliveira Júnior & Dias (2005) obtiveram coeficiente angular da equação que se coloca entre os valores obtidos para o plantio misto e *Anadenanthera falcata*. Desta forma, os valores de coeficiente angular das equações lineares calculadas no presente estudo encontram-se dentro dos limites obtidos por diversos autores da região Sudeste do Brasil.

Foram verificadas diferenças na retenção da água das chuvas pela copa das árvores entre diferentes tratamentos (TABELA 3 e FIGURA 2), com a maior interceptação (*Tapirira guianensis*) sendo praticamente o triplo da menor (*Anadenanthera falcata*). A interceptação é crescente do plantio de *Anadenanthera falcata* para o plantio Misto, seguidos de *Pinus elliottii* e *Tapirira guianensis*, este último tendo retido em suas copas 30,8% da água das chuvas no período de estudo.

TABELA 3 – Valores de precipitação total, transprecipitação e interceptação em mm e em relação à precipitação total no período experimental, em diferentes modelos de plantio de mata ciliar na Floresta Estadual de Assis, SP. Valores seguidos da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

	Controle	<i>Tapirira guianensis</i>	<i>Pinus elliottii</i>	Misto	<i>Anadenanthera falcata</i>
Precipitação Total ( $P_a$ ), em mm	529,8	529,8	529,8	529,8	529,8
Transprecipitação ( $P_i$ ), em mm	529,8	366,4	387,3	460,0	463,8
Transprecipitação ( $P_i$ ), em % de P	100,0	69,2	73,1	86,8	87,5
Interceptação(I), em % de P	0,0	30,8 <sup>a</sup>	26,9 <sup>a</sup>	13,2 <sup>b</sup>	12,5 <sup>b</sup>

GÊNOVA, K. B. de; HONDA, E. A.; DURIGAN, G. Processos hidrológicos em diferentes modelos de plantio de restauração de mata ciliar em região de cerrado.

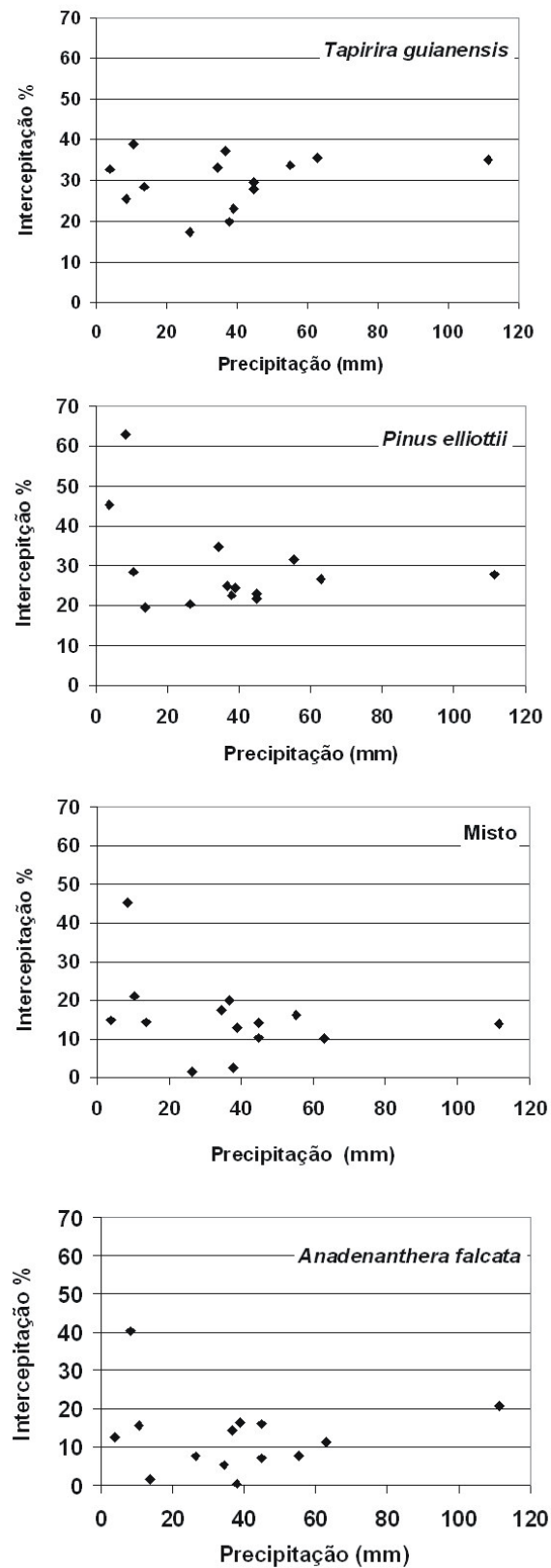


FIGURA 2 – Intercepção da chuva (%) pela copa das árvores nos diferentes modelos de plantio de mata ciliar (Assis, SP), em função do volume de chuva em cada evento chuvoso.



Em revisão bibliográfica efetuada sobre o processo de interceptação, Lima (1976) afirma que muitos estudos indicam maior interceptação da água da chuva por florestas de coníferas em comparação com florestas de folhosas. Lima (1976), porém, estudando florestas implantadas de *Eucalyptus saligna* e *Pinus caribaea* var. *caribaea* entre os dois e três anos de idade, obteve maiores valores de interceptação em plantios de eucalipto (12,2 %) do que no pinheiro (6,6 %). A explicação do autor para essa conclusão foi de que as plantações de *Pinus* eram jovens, com as copas mal começando a se tocar. Lima & Nicolielo (1983) também notificam valores menores de interceptação em floresta implantadas de *Pinus* sp. entre os 10 e 13 anos de idade, de 12,0 % no plantio de *P. oocarpa* Schiede, e 11,7 % para *P. caribaea* Morelet var. *hondurensis*, contra 27,3 % no cerradão. No presente estudo, uma folhosa (*Tapirira guianensis*) também apresentou interceptação superior à conífera, ainda que a biomassa da floresta de *Pinus elliottii* fosse muito superior.

Provavelmente, fatores relacionados com a área foliar, formato e textura das folhas e, adicionalmente, a folhagem do subosque, que não foi contabilizada na avaliação de cobertura de copas, podem ter contribuído para esse resultado. Não se pode descartar a hipótese de que as árvores muito mais altas do *Pinus* possibilitam a entrada de chuva lateral, aumentando a precipitação interna.

A quantidade de água que alcança o solo no plantio de *Anadenanthera falcata* é aproximadamente 18,5 % maior que no plantio de *Tapirira guianensis*. O reflexo dessa diferença é observado na umidade do solo na estação seca, que é ligeiramente superior no plantio puro de *Anadenanthera falcata*, seguido do plantio misto, *Pinus elliottii* e, por último, *Tapirira guianensis*. A umidade do solo, nesse período, é maior na área sem árvores do que em qualquer dos tratamentos de plantio, já que nesta área toda a água da chuva atinge o solo e não há transpiração das árvores. Na estação chuvosa, porém, o solo é igualmente úmido em todos os tratamentos (FIGURA 3).

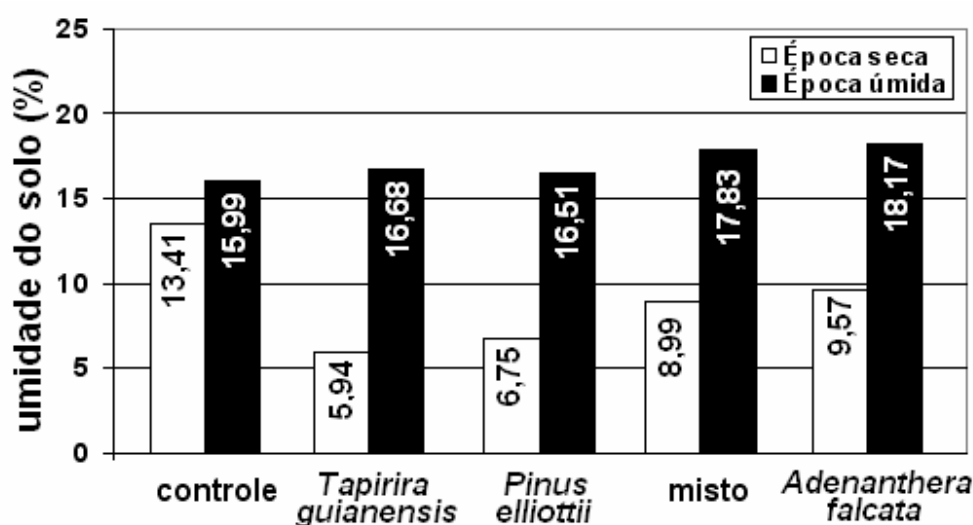


FIGURA 3 – Umidade do solo em época seca e em época úmida em diferentes modelos de plantio de restauração da mata ciliar em Assis, SP.

Com base nesses resultados e à luz da teoria da Área Variável de Afluência (Hewlett & Hibbert, 1967), pode-se afirmar que, à época chuvosa, pela igual facilidade em se saturar, todos os plantios encontram-se identicamente sujeitos a serem áreas de geração de deflúvio, o que pode causar diminuição da sua resistência mecânica e predispondo-os igualmente à degradação. Na época seca, porém, as diferenças na umidade do solo entre os plantios podem vir

a gerar diferenças na resistência à degradação no solo em função do conteúdo de umidade do solo, resultando em maior resistência à degradação sob o plantio de *Tapirira guianensis* ou sob o *Pinus elliottii*. Por outro lado, as diferenças na umidade do solo podem resultar em diferenças na disponibilidade de água, fator agravado por se tratar de época seca, período crítico em relação à disponibilidade de recurso hídrico na região de estudo.

Considerando uma precipitação anual de 1.300 mm e aplicando as equações 3, 4, 5 e 6, serão obtidos valores de transprecipitação de 839,4 mm, 950,2 mm, 1.135,8 mm e 1.063,7 mm, respectivamente, para os plantios de *Tapirira guianensis*, *Pinus elliottii*, plantio misto e *Anadenanthera falcata*, o que significa 224,3 mm a mais de água no solo neste último

modelo de restauração, em relação ao primeiro. Esses fatores devem ser considerados pelo gerenciador da bacia hidrográfica na ocasião do seu planejamento, pois a análise de correlações (TABELA 4) mostra claramente que a interceptação e a umidade do solo são inversamente correlacionadas, ou seja, quanto maior a interceptação, menor a umidade do solo.

TABELA 4 – Correlações de Pearson entre parâmetros estruturais de vegetação, interceptação da chuva e umidade do solo na estação seca, em plantio de mata ciliar em região de Cerrado, Assis, SP.

	Densidade plantadas (ind.ha <sup>-1</sup> )	Área basal (m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> )	Cobertura das copas (%)	Densidade de regenerantes (ind.ha <sup>-1</sup> )	Umidade do solo (%)
Densidade (ind.ha <sup>-1</sup> )	1	–	–	–	–
Área basal (m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> )	0,5907	1	–	–	–
Cobertura (%)	0,8404	0,4989	1	–	–
Regenerante (ind.ha <sup>-1</sup> )	0,6175	-0,2135	0,4535	1	–
Umidade (%)	<b>-0,9857</b>	-0,5707	<b>-0,8975</b>	-0,5709	1
Interceptação (%)	<b>0,9682</b>	0,6077	0,7022	0,5495	<b>-0,9421</b>

Negrito:  $p < 0,05$ .

Célula cinza:  $p < 0,01$ .

Embora fosse esperada uma maior interceptação no plantio de *Pinus elliottii*, com elevada área basal, indicando alta biomassa, foi o plantio puro de *Tapirira guianensis* que interceptou a maior porcentagem de água da chuva (TABELA 3). Não se constatou correlação significativa entre área basal e umidade do solo ou interceptação.

A correlação direta entre interceptação e biomassa, correntemente mencionada na literatura, pode ser válida apenas quando são comparadas florestas com composição florística semelhante, em que a cobertura do dossel é diretamente proporcional à biomassa.

Entre os parâmetros estruturais, a densidade de árvores foi o fator mais estreitamente relacionado com a perda evaporativa das chuvas e a menor umidade do solo. Constatou-se, também, que nos dois tratamentos em que as árvores são perenifólias há maior interceptação da chuva e é menor a umidade do solo.

#### 4 CONCLUSÕES

Com base nas análises de interceptação da chuva, comprovou-se a hipótese de que modelos de plantio baseados em diferentes espécies arbóreas exercem função consideravelmente distinta nos processos hidrológicos, especialmente pela grande diferença na interceptação da água das chuvas. A quantidade de chuva interceptada não está diretamente relacionada com a biomassa da floresta, uma vez que a maior retenção de água pelas copas foi observada no plantio puro de *Tapirira guianensis* e não no plantio de *Pinus elliottii*, cuja biomassa é muito superior à dos plantios com essências nativas. Maior interceptação implica redução na precipitação real que chega ao solo e isso, por si só, explica os resultados obtidos para umidade do solo. Para a precipitação média anual local de 1.300 mm e com base na equação 3, sob o plantio de *Tapirira guianensis* é como se a chuva tivesse sido de apenas 839,4 mm.

GÊNOVA, K. B. de; HONDA, E. A.; DURIGAN, G. Processos hidrológicos em diferentes modelos de plantio de restauração de mata ciliar em região de cerrado.

Aparentemente, algumas características estruturais e ecológicas do dossel exercem influência sobre os processos hidrológicos em plantios de recuperação da mata ciliar. Maior interceptação e menor umidade do solo tendem a ocorrer em florestas perenifólias, especialmente naquelas com alta densidade de árvores.

## 5 AGRADECIMENTOS

A Edison Adriano Berto, Édson Damasceno e Luiz Sérgio Console pela colaboração na coleta de amostras de solo e água, ao Químico Aleicho Agnaldo Sachete pelo auxílio nas análises de laboratório, ao Eng. Florestal Antônio Carlos Galvão de Melo pela contribuição nas análises estatísticas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V.; ROCHA, P. A. B. Precipitação efetiva e interceptação das chuvas por floresta de Mata Atlântica em uma microbacia experimental em Cunha - SP. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 257-262, 2003.

AUSTIN, M. P.; GAYWOOD, M. J. Current problems of environmental gradients and species response curves in relation to continuum theory. **J. of Vegetation Science**, Grangärde, v. 5, n. 4, p. 473-482, 1994.

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

CICCIO, V.; ARCOVA, F. C. S.; SHIMOMICHI, P. Y.; FUJIEDA, M. Interceptação das chuvas por floresta natural secundária de Mata Atlântica. **Silvic. S. Paulo**, São Paulo, v. 20/22, p. 25-30, 1986/88.

DURIGAN, G.; SILVEIRA, E. R. Recomposição da mata ciliar em domínio de cerrado, Assis, SP. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 56, p.135-144, 1999.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

FUJIEDA, M. *et al.* Hydrological processes at two subtropical Forest catchments: the Serra do Mar, São Paulo, Brazil. **J. of Hydrology**, Amsterdam, v. 196, p. 26-46, 1997.

GALVÃO, A. P. M.; SILVA, V. P. **Restauração florestal: fundamentos e estudos de caso**. Colombo: Embrapa Florestas, 2005. 143 p.

HEWLETT, J. D.; HIBBERT, A. R. Factors affecting the response of small watershed to precipitation in humid areas. In: SOPPER, W. E.; LULL, H. W. (Ed.). **International Symposium of Forest Hydrology**. Oxford: Pergamon Press, 1967. p. 527-543.

JOHNSTON, M. H. Soil-vegetation relationships in a tabonuco forest community in the Luquillo Mountains of Puerto Rico. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v. 8, p. 253-263, 1992.

KAGEYAMA, P. Y. *et al.* (Org.). **Restauração ecológica de ecossistemas naturais**. Botucatu: FEPAF, 2003. 340 p.

LIMA, W. P. Interceptação da chuva em povoamentos de eucalipto e de pinheiro. **IPEF**, Piracicaba, n. 13, p. 75-90, 1976.

LIMA, W. P.; NICOLIELO, N. Precipitação efetiva e interceptação em florestas de pinheiros tropicais e em reserva de cerrado. **IPEF**, Piracicaba, n. 24, p. 43-46, 1983.

LINSLEY Jr., R. K.; KOHLER, M. A.; PAULHUS, J. L. H. **Hydrology for engineers**. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 1982. p. 47-133.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**. Nova Odessa: Plantarum, 1992. v. 1, 343 p.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. Nova Odessa: Plantarum, 1992. v. 2, 368 p.

MEDLEY, K. E. Patterns of forest diversity along the Tana river, Kenya. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v. 8, p. 353-371, 1992.

MELO, A. C. G. **Reflorestamentos de restauração de matas ciliares: análise estrutural e método de monitoramento no Médio Vale do Paranapanema (SP)**. 2004. 141 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

NALON, M. A.; VELLARDI, A. C. Interceptação na floresta secundária das encostas da Serra do Mar, região de Cubatão, SP. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS, 2., São Paulo, 1992. **Anais...** São Paulo: UNIPRESS, 1992. p. 894-899. (**Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v. 4, n. único, pt. 3, 1992, Edição especial).

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

OLIVEIRA-FILHO, A. T. *et al.* Differentiation of streamside and upland vegetation in an area of montane semideciduous forest in southeastern. **Flora**, Amsterdam, v. 189, p.1-19, 1994a.

\_\_\_\_\_. Effect of flooding regime and understory bamboos on the physiognomy and tree species composition of a tropical semideciduous forest in Southeastern Brazil. **Vegetatio**, Dordrecht, v. 113, p. 99-124, 1994b.

\_\_\_\_\_. Estrutura fitossociológica e variáveis ambientais em um trecho da mata ciliar do córrego dos Vilas Boas, Reserva Biológica do Poço Bonito, Lavras (MG). **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 67-85, 1994c.

\_\_\_\_\_. Tree species distribution along soil catenas in a riverside semideciduous forest in southeastern Brazil. **Flora**, Amsterdam, v. 192, p. 47-64, 1997.

PENDRY, C. A.; PROCTOR, J. Altitudinal zonation of rain forest on Bukit Belalong, Brunei: soils, forest structure and floristics. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v. 13, p. 221-241, 1997.

PULITANO, F. M. **Análise da estrutura e funcionamento de reflorestamento de mata ciliar aos 18 e 29 anos após plantio, no município de Cândido Mota – São Paulo**. 2003. 141 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

\_\_\_\_\_.; DURIGAN, G.; DIAS, L. E. A mata ciliar da Fazenda Cananéia: estrutura e composição florística em dois setores com idades diferentes. In: VILAS BÔAS, O.; DURIGAN, G. **Pesquisas em conservação e recuperação ambiental no oeste paulista**: resultados da cooperação Brasil/Japão. São Paulo: Páginas & Letras, 2004. p. 419-445.

RIBEIRO, J. P.; FONSECA, C. E. L.; SILVA, J. C. S. (Org.). **Cerrado**: caracterização e recuperação de matas de galeria. Brasília, DF: Embrapa Cerrados, 2001. 899 p.

ROBERTS, J. Forest transpiration: a conservative hydrological process. **J. of Hydrology**, Amsterdam, v. 66, p. 123-141, 1983.

RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. F. **Matas ciliares**: conservação e recuperação. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo: Fapesp, 2000. 320 p.

RODRIGUES, R. R. *et al.* Estudo florístico e fitossociológico em um gradiente altitudinal de mata estacional mesófila semidecídua na Serra do Japi, Jundiá, SP. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 12, p. 71-84. 1989.

SABATIER, D. *et al.* The influence of soil cover organization on the floristic and structural heterogeneity of a Guianan rain forest. **Plant Ecology**, Dordrecht, v. 131, p. 81-108, 1997.

SILVEIRA, E. R. **Recuperação de mata ciliar do córrego Tarumã (Tarumã, SP)**: aspectos ambientais de quatro modelos florestais dez anos após o plantio. 2001. 84 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

\_\_\_\_\_.; DURIGAN, G. Recuperação da matas ciliares: estrutura da floresta e regeneração natural aos 10 anos em diferentes modelos de plantio na Fazenda Canaçu, Tarumã, S.P. In: VILAS BÔAS, O.; DURIGAN, G. **Pesquisas em conservação e recuperação ambiental no oeste paulista**: resultados da cooperação Brasil/Japão. São Paulo: Páginas & Letras, 2004. p. 347-370.

STEWART, J. B. Evaporation from forest. In: IUFRO WORLD CONGRESS, 17., 1981, Kyoto. **Proceedings....** Tokyo: IUFRO, 1981. p. 129-138.

VAN DEN BERG, E.; OLIVEIRA-FILHO, A. T. Spatial partitioning among tree species within an area of tropical montane gallery Forest in south-eastern Brazil. **Flora**, Amsterdam, v. 194, p. 249-266, 1999.