

# APLICAÇÃO DO MODELO DE RUTTER NA INTERCEPTAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO PELA VEGETAÇÃO DA FLORESTA TROPICAL DE CAXIUANÃ, PARÁ.

L.L. OLIVEIRA<sup>1a</sup>, R. FERREIRA DA COSTA<sup>1b</sup>, A.C.L. COSTA<sup>2</sup>, F.A.S. SOUSA<sup>1c</sup>, A.P. BRAGA<sup>3</sup>

<sup>1a</sup> Meteorologista, Mestranda em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande – Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas – UFCG - UACA, Av. Aprígio Veloso, 882 Bloco CL, Bodocongó, Campina Grande, PB, CEP 58109-970, Tel. (83) 3310-1054, [leidianeoli@gmail.com](mailto:leidianeoli@gmail.com);

<sup>1b</sup> Meteorologista, Doutorando em Meteorologia, UFCG - UACA, Campina Grande, PB, [rfcostampe@gmail.com](mailto:rfcostampe@gmail.com);

<sup>1c</sup> Meteorologista, Prof. Doutor, UFCG - UACA, Campina Grande, PB, [fassis@dca.ufcg.edu.br](mailto:fassis@dca.ufcg.edu.br)

<sup>2</sup> Meteorologista, Prof. Doutor, Departamento de Meteorologia, CG – UFPA, Belém, PA, [lola@ufpa.br](mailto:lola@ufpa.br)

<sup>3</sup> Meteorologista, INMET, Brasília, DF, [alan\\_meteoro@yahoo.com.br](mailto:alan_meteoro@yahoo.com.br)

Apresentado no XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 02 a 05 de julho de 2007 – Aracaju – SE

**RESUMO:** Este estudo foi realizado na Estação Científica Ferreira Penna, na Floresta Nacional de Caxiuanã, Melgaço, Pará, Brasil (01° 42' 30"S; 51° 31' 45"W; 60 m altitude) no Leste da Amazônia. É uma área com floresta de terra firme, vegetação densa e dossel com altura média de 35 m e algumas árvores emergentes acima de 50 m, e densidade variando de 450 a 550 árvores por hectare. Os objetivos foram de quantificar as estimativas da interceptação por modelagem numérica, no período de março a dezembro de 2004. A interceptação obtida das medidas de campo foi de 248 mm, correspondendo a 21,5% da precipitação total incidente acima do dossel de 1153,4 mm. As estimativas de interceptação foram simuladas com bom nível de eficiência, utilizando o modelo de RUTTER. O modelo de RUTTER superestimou em apenas 0,5% (1,1 mm) do total acumulado da interceptação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Amazônia, Modelagem numérica.

## APPLICATION OF THE RUTTER'S MODEL IN THE RAINFALL INTERCEPTION BY VEGETATION IN CAXIUANÃ RAINFOREST, PARÁ STATE.

**ABSTRACT:** This study was carried out in the Ferreira Penna Scientific Station, into the Caxiuanã National Forest, Melgaço, Pará, Brazil (01° 42' 30"S; 51° 31' 45"W; 60 m a.s.l.) in the Eastern Amazonia. It is a lowland forest area with closed vegetation and canopy average 35 m high and some trees with 50 m high, the species density between 450 and 550 plants per hectare. The aims were to quantify the estimations for numerical modelling, from March to December of 2004. The rainfall interception obtained in the field measures was 248 mm corresponding 21.5% of total precipitation above canopy which was 1153.4 mm. The rainfall interception estimations were simulated within a good level using RUTTER's model. The RUTTER model overestimated only 0.5% (1.1 mm) for accumulated rainfall interception.

**KEYWORDS:** Amazônia, Numerical modeling.

**INTRODUÇÃO:** A modelagem numérica e as medidas reais feitas no campo são duas técnicas usadas para se obter a interceptação, a utilização de valores observados experimentalmente é mais confiável. Porém, há sérias dificuldades operacionais e financeiras para se instalar um experimento desta natureza. Principalmente em áreas florestais. Por esta razão, a utilização de modelos é frequentemente necessária para se quantificar a

interceptação. O ciclo hidrológico tem diversas componentes, porém uma delas é comumente desprezada, a interceptação da precipitação pela vegetação (*I*). A *I* tem grande importância no balanço hídrico, principalmente em áreas com florestas de grande porte. Para NOBRE *et al.* (1991) as evidências observacionais disponíveis sugerem que a Amazônia é altamente eficiente na reciclagem da água na atmosfera, a substituição da floresta por pastagens não manteria a elevada taxa de evapotranspiração. FISCH *et al.* (1998) reconhecem as dificuldades da realização de um balanço hídrico preciso para a região Amazônica, devido à descontinuidade espacial e temporal das medidas de precipitação, a inexistência de medidas simultâneas de vazões fluviais, o desconhecimento do armazenamento de água no solo etc. A influência da vegetação no recebimento e redistribuição das chuvas é significativa dentro do contexto do balanço hídrico de um determinado local. A falta de informação de *I* pode induzir a erros nas medidas reais das quantidades de água que contribuirão para a reposição da umidade disponível no solo, comprometendo o cálculo do balanço hídrico. Entre os trabalhos sobre *I* destaca-se o de HORTON (1919). RUTTER *et al.*, (1971 e 1975) apresentaram um modelo fisicamente fundamentado baseado em dados horários, sendo que este surgiu como sendo o modelo mais apropriado para descrever o processo de *I*. É executado através da entrada de variáveis controladoras do processo de evaporação e parâmetros morfológicos da vegetação.

Entre janeiro de 1992 e julho de 1994 VALENTE *et al.* (1997) estudaram a *I* em duas parcelas, sendo uma de eucalipto (*Eucalyptus globulus Labill*) e a outra com pinheiro (*Pinus Pinaster*) na região central de Portugal, eles também aplicaram o modelo de RUTTER para estimar a *I*. O presente estudo teve o objetivo de aplicar o modelo numérico de RUTTER com dados meteorológicos horários, descrevendo seus passos para a estimativa da *I* na Floresta Nacional (FLONA) de Caxiuanã, Pará, Brasil, no ano de 2004.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O estudo foi desenvolvido em uma floresta tropical úmida de terra firme que está localizada na FLONA de Caxiuanã, no município de Melgaço, Pará, onde funciona a Estação Científica Ferreira Penna (ECFPn) (01° 42' 30"S; 51° 31' 45"W; 62 m de altitude), uma descrição detalhada da área experimental está em OLIVEIRA (2007).

A região de Caxiuanã tem uma distribuição regular das chuvas durante todo o ano. Porém, há uma sazonalidade definida. Climatologicamente, o período chuvoso está compreendido de dezembro a junho, enquanto o seco vai de agosto a novembro. Para o ano de 2004, o total anual precipitado foi de 2359,4 mm, cerca de 400 mm (20,4%) acima da média do período de 1996 a 2003 que foi de 1959,7 mm. Durante o período chuvoso de 2004 ocorreram 1845 mm, representando 78,2% das chuvas, enquanto no período seco, o total precipitado foi de 514,4 mm, ou 21,8% do total anual. O mês mais chuvoso em 2004 foi março com 474 mm, e o seco foi agosto com 40 mm. Para SOUZA (2003) as precipitações no Leste da Amazônia sofrem as influências dos Oceanos Atlântico e Pacífico no primeiro trimestre do ano, estando estas precipitações acima da média relacionadas com os eventos de La Niña. O clima da FLONA de Caxiuanã, pela classificação de Köppen é do tipo tropical quente e úmido e subtipo climático "Am" com uma curta estação seca. A temperatura média do ar oscila em torno de 26,7° C, com mínimos de 22° C e máximos 32° C (FERREIRA DA COSTA *et al.*, 2003).

Foram 40 coletas utilizadas para os cálculos da *I*, entre 18 de março e 30 de dezembro de 2004. Uma área com um hectare, representativa da floresta tropical de terra firme, foi dividida em subparcelas de 10 m X 10 m, com cem posições possíveis de coleta, seguindo o proposto por LLOYD e MARQUES FILHO (1988).

**Descrição do modelo RUTTER para estimativa da interceptação (*I*):** Foi utilizado o modelo de RUTTER (RUTTER *et al.* 1971 e 1975) que é um modelo fisicamente fundamentado, baseado essencialmente nos cálculos dinâmicos dos balanços hídricos do

dossel e dos troncos (Equações 1 e 2, respectivamente). Esse modelo tem sido o mais utilizado para estimativa de  $I$  e aplicado em diversos tipos de florestas.

$$(1 - p - p_t) \int P dt = \int D dt + \int E dt + \Delta C \quad (1)$$

$$p_t \int P dt = ESC + \int E_t + \Delta C_t \quad (2)$$

Sendo:  $p$  o coeficiente de precipitação livre direta;  $p_t$  a parcela de chuva que escoo pelos galhos e tronco;  $P$  a precipitação total incidente acima do dossel;  $E$  a taxa de evaporação da água interceptada pelo dossel;  $D$  a drenagem;  $\Delta C$  a variação da quantidade de água armazenada no dossel;  $ESC$  o escoamento pelos troncos;  $E_t$  a taxa de evaporação da água armazenada nos troncos;  $\Delta C_t$  a variação da quantidade de água armazenada nos troncos. O modelo requer que sejam definidos alguns parâmetros referentes à morfologia da vegetação. Na Tabela 1 são apresentados os valores utilizados na modelagem para a FLONA de Caxiuanã.

Tabela 1 - Valores dos parâmetros da vegetação utilizados para a modelagem de  $I$  na FLONA de Caxiuanã, durante quarenta coletas semanais no ano de 2004

	Definição	Unidade	valor
$C_t$	Quantidade de água armazenada no tronco	mm	1,293
$S_c$	Capacidade de armazenamento do dossel	mm	1,6
$S_t$	Capacidade de armazenamento da superfície dos troncos	mm	0,1387
$p$	Coeficiente de precipitação livre direta	-	0,8127
$p_t$	Proporção de chuva que escorre pelos galhos e tronco	-	0,0222
$b$	Taxa de aumento da drenagem com a variação de $C$	-	5,25
$D_s$	Drenagem quando ( $C = S$ ).	mm min <sup>-1</sup>	0,0014

Os valores de  $b$  e  $D_s$  são os propostos por LLOYD e MARQUES FILHO (1988). O valor de  $p$  foi obtido da regressão linear de  $P \times PI$ , enquanto que  $p_t$  originou-se de  $P \times ESC$ .

**RESULTADOS E DISCUSSÃO: Valores medidos:** Nas 40 coletas realizadas semanalmente durante o ano de 2004, os totais de  $P$  e  $I$  foram de 1153,4 mm e 248 mm, respectivamente ( $I = 21,5\%$  de  $P$ ). Como descrito anteriormente, alguns parâmetros da vegetação local, necessários para os modelos, foram obtidos das medidas realizadas em campo, que originaram os seguintes modelos matemáticos;  $PI = 0,8127(P) - 1,2993$  com  $R^2$  0,9559;  $PE = 0,8349(P) - 0,9539$  com  $R^2$  0,9539;  $ESC = 0,0222(P) - 0,1387$  com  $R^2$  0,5581;  $I = 0,1651(P) + 1,438$  com  $R^2$  0,4475.

**Modelo de RUTTER:** Como a região da FLONA de Caxiuanã apresenta uma grande quantidade de precipitação e esse conteúdo é dividido regularmente durante todo ano, com uma sazonalidade definida, o passo inicial para se estimar  $I$  é o conhecimento dessa quantidade de água precipitada. Durante todo o ano de 2004, foram registrados cerca de 2360 mm de precipitação considerando todos os eventos de  $P$  com qualquer volume de água.

Para a aplicação do modelo de RUTTER é necessário se fazer várias considerações. Uma delas é a determinação da capacidade de armazenamento de água pelo dossel vegetal ( $S_c$ ), isto é, a quantidade de água que o dossel pode armazenar antes de atingir a saturação quando se inicia o gotejamento da água excedente. Para a FLONA de Caxiuanã o valor da capacidade de armazenamento do dossel, obtido da equação de regressão linear entre a  $P$  e a  $PI$ , sendo  $S_c = 1,6$  mm (ver Tabela 1). Desse modo, sabendo-se que o dossel atingiu a saturação com eventos de  $P$  maiores que 1,6 mm h<sup>-1</sup>, foram selecionados no grupo total de eventos de chuva somente aqueles superiores a esse valor.

Um conjunto de 343 eventos durante todo o ano de 2004, que produziam um volume total de 2019,4 mm de chuva representando 85,6% da precipitação de todas as intensidades

registradas no mesmo período. A aplicação do modelo de RUTTER com todas as considerações necessárias para as características específicas da FLONA de Caxiuana e os parâmetros descritos anteriormente resultaram em uma estimativa de  $I$  muito boa quando se consideraram os totais acumulados da  $I$  medida e estimada (Figura 1A). Entre 18 de março e 30 de dezembro de 2004, o modelo de RUTTER superestimou  $I$  desde o início até aproximadamente a metade do período (agosto), quando estimou  $I$  com uma precisão melhor até meados de outubro, desse momento em diante, passou a subestimar  $I$ , até quase o final do período, quando eventos de  $P$  com grande intensidade ocorreram e provocaram um melhor ajuste do modelo de RUTTER novamente.

O modelo de RUTTER aplicado na FLONA de Caxiuana gerou uma superestimativa de apenas 0,5% ou 1,1 mm, da  $I$  medida, para o total acumulado (248 mm) em quarenta coletas semanais. Essa excelente simulação para o valor acumulado, não significa que o modelo de RUTTER simulou a  $I$  tão bem para todos os dados semanais, visto que houve uma superestimativa mais acentuada durante o período de março a agosto, após esse período passou a subestimar os valores medidos.

Em uma análise geral para todo o período estudado, o modelo de RUTTER estimou  $I$  de maneira excelente. A correlação entre os valores de  $I$  medidos e estimados pelo modelo de RUTTER ( $y = 0,8145(x) + 36,76$  com  $R^2=0,9829$ ), durante as quarenta semanas estudadas em 2004, demonstrou uma boa estimativa de  $I$  (Figura 1B).

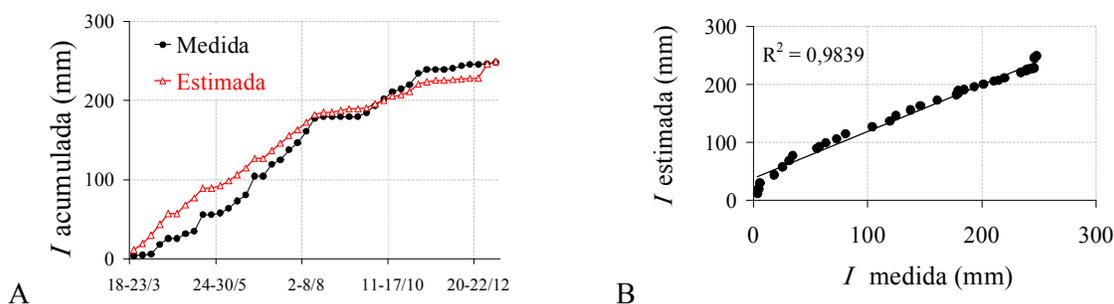


Figura 1 – (A) Interceptação acumulada medida (círculos cheios) e estimada pelo modelo de Rutter (triângulos vazados). (B) Correlação entre os valores acumulados das interceptações medida e estimada para a FLONA de Caxiuana, entre março e dezembro de 2004

Na comparação do modelo de RUTTER aplicado em outras regiões (Tabela 2), observa-se que os resultados obtidos para a FLONA de Caxiuana estão dentro de um intervalo aceitável de eficiência.

Os estudos escolhidos para a comparação dos resultados do modelo de RUTTER, foram; um para *pinus sylvestris*, com superestimativa de 7,4% de  $I$  medida (GASH e MORTON, 1978); outro para a vegetação de *pinus pinaster* com um valor estimado 29,1% maior que o medido (VALENTE *et al.*, 1997), nesse mesmo trabalho, porém para uma área com *eucalyptus globulus*, o modelo de RUTTER superestimou  $I$  em 39,6%; o melhor resultado comparativo foi para uma floresta tropical na Indonésia (ASDAK *et al.*, 1998) quando se superestimou  $I$  em 6,4% do medido.

Tabela 2 - Comparação entre os resultados obtidos pela aplicação do modelo de RUTTER para estimativa de  $I$  em diferentes tipos de vegetação

Tipo de vegetação	$I$ (mm)		Diferença		Autor
	medid a	estimad a	(mm)	(%)	
<i>Pinus sylvestris</i>	245,0	263,0	18,0	7,4	GASH e MORTON (1978)

<i>Pinus pinaster</i>	153,8	198,5	44,7	29,1	VALENTE <i>et al.</i> (1997)
<i>Eucalyptus globulus</i>	100,8	140,7	39,9	39,6	VALENTE <i>et al.</i> (1997)
Floresta tropical	94,0	88,0	6,0	6,4	ASDAK <i>et al.</i> (1998)
Floresta tropical	247,97	249,11	1,1	0,5	Este estudo

**CONCLUSÕES:** É possível simular com bom nível de eficiência as perdas por interceptação da precipitação pela vegetação (*I*), para a região tropical da FLONA de Caxiuanã, utilizando o modelo de RUTTER. A aplicação do modelo de RUTTER superestimou o valor medido de *I* durante a maior parte do período analisado, entre março e setembro, passando a subestimar as medidas realizadas de outubro a dezembro de 2004. Para o total acumulado em todo estudo o modelo de RUTTER gerou uma superestimativa de apenas 0,5% (1,1mm) do valor de *I* medido. Os resultados medidos na FLONA de Caxiuanã estão em concordância com outros estudos realizados que aplicaram o modelo de RUTTER para a estimativa de *I*.

**AGRADECIMENTOS:** Os autores Leidiane Oliveira e Rafael Costa agradecem a CAPES as bolsas de Pós-graduação em Meteorologia na UFCG. Agradecem também aos colegas envolvidos nas atividades de campo em Caxiuanã em especial ao João de Athaydes Jr. e Paulo Henrique Gonçalves.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:** ASDAK, C.; JARVIS, P.G.; GARDINGEN, P.V. Modelling rainfall interception in unlogged and logged forest areas of Central Kalimantan, Indonesia. *Hydrol. Earth Sys. Sci. Discuss.* v.2, n. 2-3, p. 211–220, 1998. FERREIRA DA COSTA, R.; COSTA, A.C.L.; MEIR, P.; MALHI, Y. ; BRAGA, A.P.; GONÇALVES, P.H.L.; SILVA JUNIOR, J.A.; SOTTA, E.D.; VALE, R.L.; GRACE, J.; FISHER, R.A. **Projeto LBA/Esecaflor em Caxiuanã: características, atividades e resultados.** In: Seminário de 10 anos de atividades da Estação Científica Ferreira Penna, Caxiuanã, Pará. Belém, 2003. FISCH, G.; MARENGO, J.A.; NOBRE, C.A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. *Acta Amazônica*, v. 28, n. 2, p. 101–126, 1998. GASH, J.H.C. e MORTON, A.J. An application of the Rutter model to the estimation of the interception loss from Thetford Forest. *J. Hydrol.*, n. 38, p. 49-58, 1978. HORTON, R. E. Rainfall interception. *Month. Weath. Rev.*, vol. 47, n. 9, p. 603-623, 1919. LLOYD, C.R.; MARQUES FILHO, A.O. Spatial variability of throughfall and stemflow measurements in Amazonian rainforest. *Agric. For. Meteor.*, v.42, p.63-73, 1988. NOBRE, C.A.; SELLERS, P.J.; SHUKLA, J. Amazonian deforestation and regional change. *J. Climate*, v.4, p.957-988, 1991. OLIVEIRA, L.L. **Avaliação da interceptação da precipitação pela vegetação na floresta nacional de Caxiuanã, Pará.** 2007. 123p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Campina Grande, PB. RUTTER, A.J., KERSHAW, K.A., ROBINS, P.C., MORTON, A.J. A predictive model of rainfall interception in forests, i derivation of the model from observations in a plantation of corsican pine. *Agric. Meteor.*, 9, p. 367-384, 1971. RUTTER, A.J., MORTON, A.J., ROBINS, P.C. A predictive model of rainfall interception in forests, ii generalization of the model and comparison with observations in some coniferous and hardwood stands. *J. Appl. Ecol.*, 14, P.567-588. 1975. SOUZA, E.P.P. **Relações entre as anomalias de TSM do Atlântico e Pacífico e as precipitações na Amazônia oriental.** 2003. 78p. Dissertação de mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais INPE, São José dos Campos, SP (INPE-11435 - TDI/955). VALENTE, F.; DAVID, J.S.; GASH, J.H.C. Modelling interception loss for two sparse eucalypt and pine forest in central Portugal using reformulated Rutter and Gash analytical models. *J. Hydrol.*, n190, p141-162, 1997.