

Estimativa da transpiração em seringueira

The estimate of rubber transpiration

José Holanda Campelo Júnior¹

Resumo - O objetivo do presente trabalho foi avaliar o desempenho de um modelo empírico e de um modelo de simulação matemática para estimar a transpiração diária em seringueira, em condições de disponibilidade plena de água no solo. A transpiração foi medida durante dois anos, a intervalos variáveis de um a onze dias, em mudas de seringueira do clone GT1, cultivadas em lisímetros de nível constante, nos quais a superfície do solo foi encoberta com material impermeável. O modelo empírico consistiu em uma equação de regressão linear múltipla, tendo como variáveis independentes a Evapotranspiração de Referência e a Área Foliar. O modelo de simulação matemática se baseou no padrão geométrico descrito por CHARLES-EDWARDS & THORNLEY (1973) e na adaptação do modelo introduzido por THORPE et al. (1978), para determinação da fotossíntese e da transpiração instantâneas de uma planta isolada. A comparação entre valores medidos e calculados revelou que o modelo matemático apresentou desempenho superior ao modelo empírico para estimar a transpiração da seringueira.

Palavras-chave: transpiração, seringueira, simulação

Abstract - The aim of this study was to evaluate the performance of empiric and mathematical daily transpiration model for rubber plants, in illimited soil water conditions. The transpiration was measured for two years by water table lysimeters with sealed surface and GT1 rubber plants, at 1 to 11 day time intervals. The empiric model was a multiple linear regression equation between tranpiration and reference evapotranspiration and leaf area. The mathematical model was based on CHARLES-EDWARDS & THORNLEY (1973) light interception model and THORPE et al. (1978) photosynthesis and transpiration model of an isolated tree. The results alowed verify that mathematical model performance was more reliable.

Key words: transpiration, rubber, simulation

Introdução

A seringueira [*Hevea brasiliensis* (Willd. Ex ADR de Juss.) Muell. Arg.] é uma planta de ciclo perene, de origem tropical, cultivada e utilizada de modo extrativo, com a finalidade de produção de látex.

A produção de látex com a seringueira pode apresentar um padrão de sazonalidade associado às

deficiências de água para a transpiração (ORTOLANI et al., 1996).

A sangria efetuada no tronco da seringueira, para a obtenção do látex, é normalmente realizada antes do amanhecer, de modo a aproveitar os momentos de maior turgor da planta, o que evidencia a relação entre a deficiência hídrica e o fluxo de látex. Além disso, a produção de látex pela seringueira pode

¹Eng.º Agr.º, Dr., UFMT, Departamento de Solos e Engenharia Rural, 78060-900 Cuiabá, MT. Bolsista do CNPq.

ser reduzida em consequência do efeito da deficiência hídrica sobre a fotossíntese (CASTRO & VIRGENS FILHO, 1987).

A deficiência hídrica para as culturas agrícolas pode ser identificada de diversos modos. Entretanto, é recomendável que a própria deficiência e o seu efeito sobre a produção sejam quantificados de forma relativa, tomando como referência o consumo em condições em que não haja restrição de água no solo para as plantas (DOORENBOS & KASSAN, 1979).

Alguns trabalhos recentes têm demonstrado que a necessidade de água das plantas podem ser satisfatoriamente estimadas utilizando modelos empíricos nos quais a área foliar e a demanda evaporativa atmosférica são variáveis independentes (VILLA NOVA et al., 1996; CASEIRO et al., 1997; ALBUQUERQUE et al., 1997).

Para espécies perenes, considerando a possibilidade de irrigação localizada e o espaçamento utilizado no plantio, a determinação das necessidades de água para cada planta pode ser uma informação importante para o manejo da cultura. Além disso, no caso de um modelo matemático, existe a possibilidade de expansão do modelo de uma planta isolada, de modo a envolver uma fileira de árvores, ou mesmo um dossel contínuo, bastando incluir o espaçamento das árvores de modo compatível com a direção e com as dimensões da copa (CHARLES-EDWARDS & THORPE, 1976; JOHNSON & LAKSO, 1991).

A extração de látex da seringueira é, portanto, condicionada pela deficiência hídrica que é estabelecida em função da transpiração, do tamanho da árvore e da disponibilidade de água no solo.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o desempenho de um modelo empírico e de um modelo de simulação matemática para estimar a transpiração diária em mudas de seringueira, em condições de disponibilidade plena de água no solo.

Material e métodos

As mudas de seringueira utilizadas no presente estudo pertenciam ao clone GT1, e foram enxertadas em 12/09/96. A partir de dezembro de 1996 as mudas foram transplantadas para vasos de PVC onde o lençol freático foi mantido a 0,50m da superfície do solo, que foi encoberta com material impermeável, de modo a impedir a evaporação da água e permitir a determinação da transpiração das plantas.

O nível do lençol freático nos vasos de PVC foi mantido na profundidade estabelecida, por meio de vasos comunicantes, num conjunto de três lisímetros de nível constante (A, B e C).

No primeiro ano de observação, cada lisímetro consistiu de um conjunto formado por um sistema de alimentação de água e de três vasos com capacidade de 15 l, com as respectivas mudas. No início do segundo ano, os lisímetros foram modificados, passando-se a medir a transpiração com apenas duas mudas em cada conjunto, formado com vasos de 100 l, para onde as mudas foram novamente transplantadas.

Os lisímetros foram instalados na Fazenda Experimental da Universidade Federal de Mato Grosso, situada em Santo Antônio do Leverger, ao lado da Estação Agroclimatológica Padre Ricardo Remetter, com latitude de 15°51,3'S e longitude de 56°42,2'W.

As medidas de transpiração foram realizadas através do registro manual do volume de água necessário para reabastecer o reservatório de alimentação de cada lisímetro a intervalos variáveis, de 1 a 11 dias, às 12GMT, à medida que era observada a necessidade de reposição de água no reservatório de alimentação dos lisímetros (5 litros).

A área foliar das plantas foi determinada mensalmente, utilizando-se as medidas de comprimento e maior largura de todos os folíolos e uma equação de regressão previamente calibrada, na qual a área foliar foi obtida por meio de integração numérica das medidas de largura dos folíolos de 1 em 1 cm, em folhas de plantas do mesmo clone.

O intervalo de medida adotado para determinar a área foliar foi equivalente ao tempo necessário para que uma folha de seringueira seja considerada morfológica e fisiologicamente madura (MORAES, 1977; CASTRO & VIRGENS FILHO, 1987; WEBSTER & PAARDEKOOPEL, 1989).

No intervalo entre duas medidas consecutivas de área foliar, o valor da área foliar foi estimado para cada dia por meio de interpolação linear.

A intervalos mensais, foram efetuadas medidas das copas das plantas, determinando-se a maior e menor altura da copa, bem como a distância horizontal entre as extremidades, nas direções leste-oeste e norte-sul. As dimensões das copas no intervalo entre as medidas foram obtidas também por interpolação linear.

As medidas de radiação global incidente, temperatura e umidade do ar e de velocidade dos vento utilizadas no presente estudo corresponderam aos registros da Estação Agroclimatológica Padre Ricardo Remetter, no período de 01/01/97 a 31/12/98.

O modelo empírico utilizado consistiu em uma equação de regressão linear múltipla, tendo como variável dependente a transpiração medida, e como variáveis independentes a Evapotranspiração de Referência e a Área Foliar.

O modelo de simulação utilizado se baseou no padrão geométrico descrito por CHARLES-EDWARDS & THORNLEY (1973) e na adaptação do modelo introduzido por THORPE et al. (1978), para determinação da fotossíntese e da transpiração de uma planta isolada (ver Apêndice).

As informações de entrada do modelo de simulação foram a latitude do local, a data, a área foliar, as dimensões da copa, a radiação global incidente acumulada durante o dia, e os valores médios diários da temperatura e umidade do ar e da velocidade do vento.

Os procedimentos de cálculo do modelo consistiram em estimar a radiação solar absorvida por uma planta isolada e efetuar seu balanço de energia, no qual o fluxo de calor latente fornecesse a transpiração.

Para estimar a absorção da radiação solar, a copa foi definida como um elipsóide de revolução de densidade foliar uniforme e foi dividida em 64 elementos de volume. Em seguida foram calculados a área foliar, o volume e as coordenadas do centro de cada elemento de volume. A radiação solar direta e difusa absorvida por cada elemento de volume foi estimada considerando a quantidade e direção do fluxo de radiação solar, e assumindo que o ângulo de inclinação das folhas se distribui de maneira aleatória e que as folhas não apresentam azimute preferencial.

Como o modelo de absorção da radiação de ondas curtas levou em consideração a altura e o azimute do sol, os valores calculados de radiação solar absorvida foram instantâneos, sendo necessária a integração dos valores diurnos horários, para se obter os valores diários. Desse modo, procedeu-se o cálculo da absorção para dias inteiramente limpos e dias inteiramente encobertos. Posteriormente, em função da radiação global medida diariamente, cada dia de observação foi dividido em uma fração F, em que o céu estaria encoberto, e uma fração 1-F, em que o céu estaria limpo (De WIT, 1965).

A emissão efetiva atmosférica de radiação de onda longa foi calculada em função da temperatura obtida no abrigo meteorológico padrão. O balanço de energia das plantas isoladas, incluindo a emissão de radiação e os fluxos de calor sensível e de calor latente, foram calculados através de um processo iterativo, onde foram utilizadas estimativas empíricas da resistência estomática, com base no fluxo de luz incidente, e da resistência aerodinâmica, com base na velocidade do vento, na projeção vertical da copa e na dimensão das folhas.

A estimativa da radiação solar incidente instantânea em dias inteiramente limpos e inteiramente nublados ao longo do ano, no local do experimento, foi obtida em função da altura angular do sol e dos valores apresentados por De WIT (1965).

Para efeito de comparação entre valores calculados e valores observados, os dados obtidos com a simulação dia a dia foram agrupados segundo os intervalos de medida da transpiração.

Resultados e discussão

A área foliar das mudas de seringueira variou de 0,0572 a 1,7183m²/planta. Nos dois anos de observação, verificou-se uma brusca elevação em julho-agosto e a queda de algumas folhas durante o primeiro semestre de cada ano, principalmente em maio-junho.

De acordo com MORAES (1977) e com CASTRO & VIRGENS FILHO (1987), até o terceiro ano de crescimento, a evolução da área foliar na seringueira apresenta um padrão já conhecido, através de lançamentos sucessivos, seguidos de períodos de repouso. A partir do terceiro ano, a seringueira passa a apresentar uma periodicidade anual, caracterizada pela abscisão foliar. No presente estudo, portanto, uma abscisão foliar parcial foi observada ainda no primeiro ano, podendo ser uma característica do material genético utilizado.

As condições meteorológicas em que as observações foram realizadas (Figuras 1 e 2), apresentaram variações que incluem as condições típicas da maior parte da área geográfica onde a seringueira é cultivada. Durante o período estudado, a irradiância global diária variou de 2,54 a 25,65MJ/m². Os valores médios diários de temperatura variaram de 15,2°C a 33,1°C. A umidade relativa média diária variou de 96% a 33%. O maior valor de velocidade média diária do vento foi de 17,0km/h, mas foram registrados dois dias de calmaria. Além disso, é importante mencionar que os dados meteorológicos registrados apresentaram o comportamento característico do local (CAMPELO JÚNIOR et al., 1997; CAMPELO JÚNIOR, 1998).

Após o início do período de estudo, constatou-se a morte de uma das mudas do lisímetro C. A substituição por uma muda do mesmo clone com a mesma idade só foi possível no início de maio de 1997. Desse modo, os dados obtidos no período de janeiro a abril do primeiro ano, se referem somente aos lisímetros A e B.

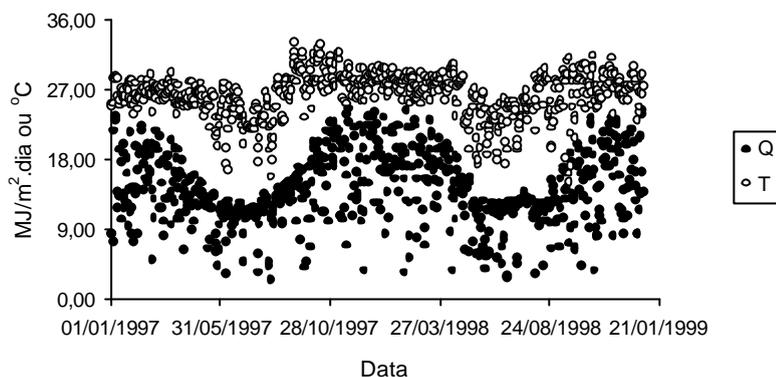


Figura 1. Irradiância solar global (Q), em MJ/m².dia, e temperatura do ar (T), em °C, em Santo Antônio do Leverger (MT), em 1997 e 1998.

Em meados de julho de 1997, foi constatado um aumento de consumo de água no lisímetro B, cuja causa só foi identificada como vazamento, no início do mês seguinte. As alternativas empregadas para solucionar o problema não tiveram êxito. Situação semelhante ocorreu com o lisímetro C em outubro do mesmo ano, sem que fosse possível sanar a dificuldade.

Em função do crescimento das mudas, as medidas foram interrompidas nos três lisímetros em novembro de 1997, para se efetuar o transplante das mudas para vasos com maior capacidade. A fim de permitir o pleno restabelecimento das plantas, os registros só foram retomados em abril de 1998.

É necessário ressaltar que os intervalos de medida não foram os mesmos nos três lisímetros em função de (i) problemas observados nos lisímetros B e C; (ii) do consumo de água ter sido diferenciado para cada lisímetro; e (iii) devido ao procedimento

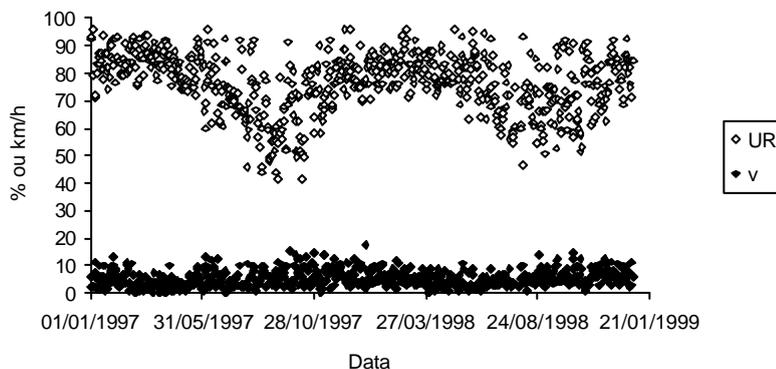


Figura 2. Umidade relativa do ar (UR), em %, e velocidade do vento (v), em km/h, em Santo Antônio do Leverger (MT), em 1997 e 1998.

adotado de determinar a transpiração à medida que se tornasse necessário repor a água do reservatório de abastecimento dos lisímetros.

Considerando que os dados de transpiração medida poderiam eventualmente refletir algum problema não detectado no campo, procedeu-se a verificação da consistência das medidas. Para tanto, os dados observados nos lisímetros foram comparados entre si, dois a dois, utilizando os intervalos de medida comuns. As comparações foram realizadas com o auxílio de gráficos cartesianos, plotando-se os pontos correspondentes às medidas de um lisímetro contra outro.

Em seguida, foram progressivamente eliminados os pontos mais dispersos, até obter um coeficiente de determinação superior a 0,9 entre duas medidas. Desse modo, foram descartados da análise os dados dos três lisímetros nos períodos onde um deles apresentou dados inconsistentes com os outros dois.

Ao longo dos dois anos, a transpiração medida apresentou um valor mínimo de 60,0ml/dia.planta e um valor máximo de 2075ml/dia.planta, mostrando uma tendência crescente, acompanhando o crescimento das mudas. Além disso, à medida que a transpiração foi crescendo, foi sendo observado que as medidas passaram a mostrar uma oscilação cada vez maior (Figura 3).

Os parâmetros da equação de regressão linear múltipla entre transpiração (T em ml/planta.dia), e a evapotranspiração de referência (ET_0 em mm/dia) e a área foliar (AF em m²), como variáveis independentes, foram obtidos usando o lisímetro A, com os dados de 107 períodos de observação, resultando em:

$$T = -24,97 + 77,11ET_0 + 572,24AF$$

com coeficiente de determinação de 0,76.

Para validar o modelo empírico, foram utilizados 138 dados dos lisímetros B e C e as estimativas de transpiração obtidas pela aplicação da equação de regressão linear múltipla, aos 82 períodos de observação de B e aos 56 períodos de observação de C.

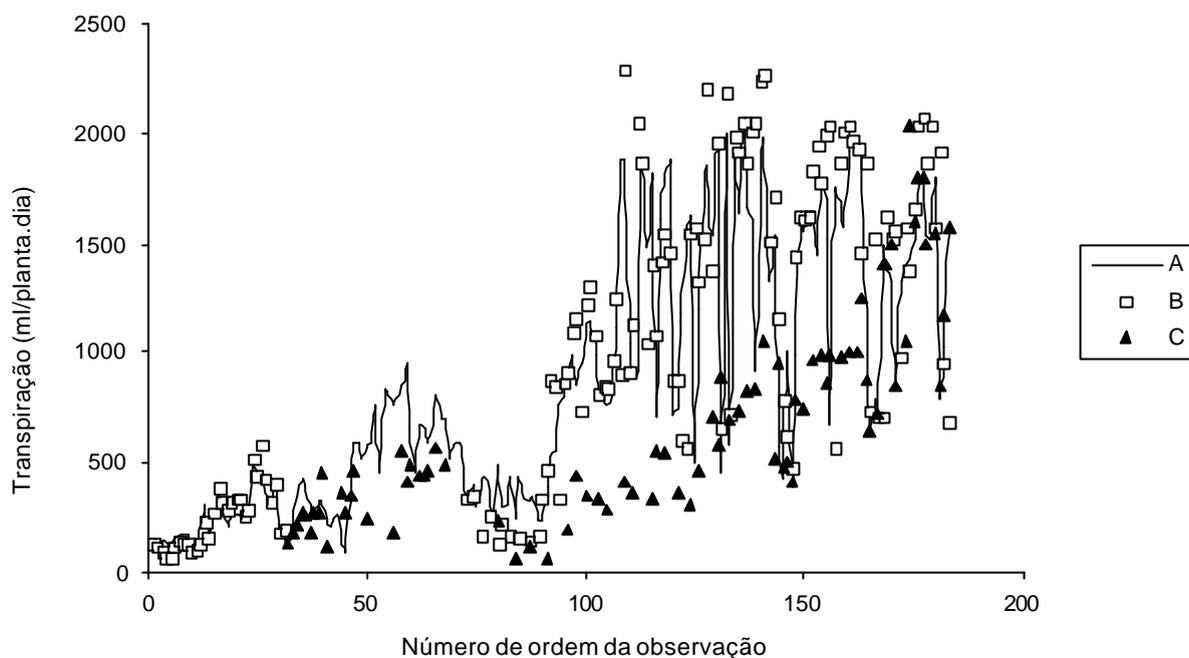


Figura 3. Transpiração observada em mudas de seringueira cultivadas em três lisímetros (A, B e C), em Santo Antônio do Leverger (MT), em 1997 e 1998.

Os valores de transpiração estimados pelo modelo de simulação para os dados meteorológicos e das plantas foram comparados aos 245 valores medidos com os três lisímetros.

A Tabela 1 apresenta alguns indicadores do desempenho dos dois modelos estudados no presente trabalho, usando dados calculados e observados, de acordo com as recomendações de WILLMOTT (1982) e de CAMARGO & SENTELHAS (1997).

Na Tabela 1, é possível observar que o desempenho do modelo de simulação foi superior ao modelo empírico, tanto no que diz respeito à precisão (r), quanto à exatidão (d). Utilizando o critério proposto por CAMARGO & SENTELHAS (1997), o desempenho encontrado com o modelo de simula-

ção pode ser classificado como bom, enquanto o desempenho do modelo empírico pode ser considerado mediano.

Considerando que a evapotranspiração de referência foi estimada pelo método de Penman, as variáveis meteorológicas foram comuns aos dois modelos. Portanto, a forma como essas variáveis foram consideradas deve ser uma das causas do melhor desempenho do modelo de simulação. Além disso, é necessário considerar que a área foliar, o volume e a projeção vertical da copa, a resistência estomática e a dimensão característica das folhas foram empregados no modelo de simulação, mas a única variável da planta empregada no modelo empírico foi a área foliar.

A comparação entre os dois modelos pode também ser efetuada utilizando-se a Figura 3 e a Figura 4, nas quais se encontram somente os dados utilizados para validação.

Na Figura 4, é possível verificar que a dispersão dos pontos se distribuiu aleatoriamente ao longo da linha 1:1, quando a transpiração foi calculada com o modelo de simulação, mostrando que não ocorreram tendências para subestimar ou para superestimar a transpiração da seringueira, em toda a extensão da faixa de observação.

Tabela 1 Índice de Concordância (d), Coeficiente de Correlação (r) e Índice de Desempenho (c) de modelos de estimativa da transpiração da seringueira, medida em três lisímetros de nível constante.

Parâmetro	Modelo Empírico	Modelo de Simulação
d	0,89	0,90
r	0,68	0,81
c	0,61	0,73

Na Figura 5, observa-se que, para valores de transpiração medida superiores a 1000 ml/planta.dia, os dados calculados pelo modelo empírico para os lisímetros B e C foram subestimados pela equação obtida com os dados observados no lisímetro A. Como os valores medidos nos lisímetros B e C foram da mesma ordem de grandeza das medidas obtidas com o lisímetro A, a causa mais provável desse problema deve estar associada aos demais aspectos da planta não utilizados no modelo empírico, mas considerados no modelo de simulação.

Considerando que a radiação solar incidente é uma das principais variáveis do modelo de simulação e a principal fonte de energia para a transpiração, os resultados obtidos no presente trabalho reforçam a validade do modelo de interceptação da radiação solar já avaliado, satisfatoriamente, para totais diários da radiação fotossinteticamente ativa por CAMPELO JÚNIOR et al. (1996).

Conclusões

O modelo de simulação matemática testado para estimar a necessidade de água para transpiração de mudas de seringueira apresenta melhor desempenho do que o modelo empírico.

O modelo empírico apresenta a tendência de subestimar a transpiração, para valores superiores a 1000ml/planta.dia.

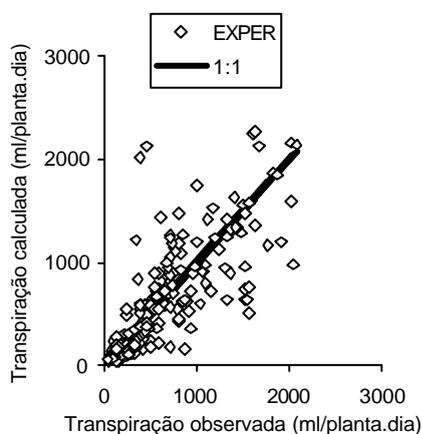


Figura 4. Transpiração observada em seringueira e transpiração calculada por modelo de simulação matemática, adaptado de THORPE et al. (1978). Os losangos representam os resultados obtidos no presente estudo e a reta, a linha 1:1.

Referências bibliográficas

- ALBUQUERQUE, P.E.P., KLAR A.E., GOMIDE, R.L. Estimativa da evapotranspiração máxima do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em função do índice de área foliar e da evaporação da água do tanque classe A. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 2, p. 183-187, 1997.
- CAMARGO, A.P., SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.
- CAMPELO JÚNIOR, J. H. Relação sazonal entre radiação solar global e insolação no sudoeste da amazônia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 2, p. 193-199, 1998.
- CAMPELO JÚNIOR, J.H., MENDONÇA, E.,D., MENDONÇA, M.M.D. et al. Interceptação de luz pela seringueira. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 21-28, 1996.
- CAMPELO JÚNIOR, J.H., SANDANIELO, A., CANEPPELE, C. et al. Climatologia. In: **Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai – PCBAP/Projeto Pantanal/Plano Nacional do Meio Ambiente**. Brasília : PNMA, 1997. 3 v. Em 7 t., v. 3. p. 296-334.

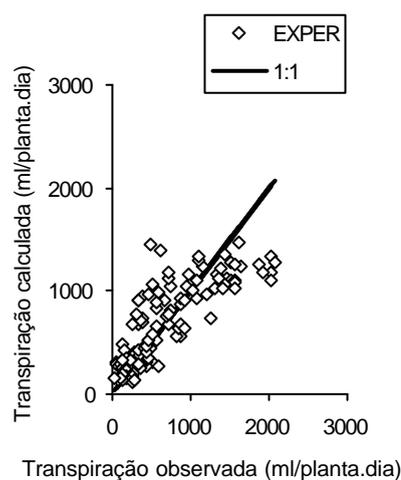


Figura 5. Transpiração observada em seringueira em dois lisímetros e transpiração calculada por equação de regressão linear múltipla, obtida com dados de outro lisímetro (modelo empírico). Os losangos representam os resultados obtidos no presente estudo e a reta, a linha 1:1.

- CASEIRO, F.T.C., CAMPELO JÚNIOR, J.H., PRIANTE FILHO, N. Evapotranspiração máxima e coeficiente de cultura do milho (*Zea mays* L.) no período seco em Santo Antônio do Leverger. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 2, p. 177-182, 1997.
- CASTRO, P.R.C., VIRGENS FILHO, A.C. Ecofisiologia da Seringueira. In: CASTRO, P.R.C. FERREIRA, S.O., YAMADA, T. (ed.). **Ecofisiologia da Produção Agrícola**. Piracicaba: POTAFOS, 1987. 249 p. p. 165-184.
- CHARLES-EDWARDS, D.A., THORNLEY, J.H.M. Light interception by an isolated plant – A simple model. **Annals of Botany**, London, v. 37, p. 919-928, 1973.
- CHARLES-EDWARDS, D.A., THORPE, M.R. Interception of diffuse and direct-beam radiation by a hedgerow apple orchard. **Annals of Botany**, London, v. 40, p. 603-613, 1976.
- De WIT, C.T. **Photosynthesis of Leaf Canopies**. Wageningen : Center for Agricultural Publications and Documentation, 1965. 57 p.
- DOORENBOS, J., KASSAN, A.H. **Yield response to water**. Rome : FAO, 1979. 193 p. (Irrigation and Drainage Paper, 33)
- JOHNSON, R.S., LAKSO, A.N. Approaches to modeling light interception in orchards. **HortScience**. Alexandria, v. 26, n. 8, p. 1002-1004, 1991.
- MORAES, V.H.F. Rubber. In: ALVIN, P.T., KOZŁOWSKI, T.T. (ed.) **Ecophysiology of Tropical Crops**. New York : Academic Press, 1977. 502 p. p. 315- 332.
- ORTOLANI, A.A., SENTELHAS, P.C., CAMARGO, M.B. et al. Modelos agrometeorológicos para estimativa da produção anual e sazonal de látex em seringueira. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 147-150, 1996.
- THORPE, M.R., AUGER, S., BERGER, Aet al. Photosynthesis and transpiration of na isolated tree; model and validation. **Plant, Cell and Environment**. London, v. 1, p. 269-277, 1978.
- VILLA NOVA, N.A., PEREIRA, A.R., BARBIERI, V. Evapotranspiration as a function of leaf area index and class A pan evaporation. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 2, p.35-37, 1996.
- WEBSTER, C.C., PAARDEKOOPE, E.C. The Botany of Rubber Tree. In: WEBSTER, C.C., BAULKILL, W. J. (ed.). **Rubber. Essex: Longman Scientif & Technical**, 1989. 614 p. p. 57-84.
- WILLMOTT, C.J. Some comments on the evaluation of model performance. **Bulletin American Meteorological Society**. Boston, v. 63. n. 11. p. 1309-1313, 1982.

APÊNDICE

Equações utilizadas no modelo matemático:

a) Para determinar a radiação solar absorvida pelas mudas:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{(z-f)^2}{c^2} = 1$$

$$\frac{xq - xp}{\text{sen } q \cdot \cos f} = \frac{yq - yp}{\text{sen } q \cdot \text{sen } f} = \frac{zq - zp}{\text{sen } q}$$

$$Ip = Iq \cdot \exp(-0,5 \cdot k \cdot F \cdot s)$$

$$V = \frac{4}{3} \cdot p \cdot a \cdot b \cdot c \quad F = \frac{A}{V} \quad k = \frac{0,5}{\text{sen } q} \quad s = \frac{zq - zp}{\cos q}$$

b) Para determinar a transpiração pelo balanço de energia:

$$rs = 200 \cdot (1 + b/Q) \quad ra = 60 \cdot \left(\frac{A}{p}\right)^{0,56} \cdot \left(\frac{l}{v}\right)^{0,5} \quad re = rs + 2 \cdot ra$$

$$L = 1,06 \cdot s \cdot T^4 - 119 \quad H = r \cdot cp \cdot \frac{\Delta T}{ra} \quad LE = \frac{r \cdot cp}{g} \cdot \frac{\Delta e}{re}$$

Símbolos utilizados nas equações:

x =coordenada no eixo X (Direção N-S), em m; y =coordenada no eixo Y (Direção E-W), em m; z =coordenada no eixo Z (Direção vertical), em m; f =coordenada do centro da copa no eixo Z , em m; a =comprimento do semi-eixo da copa na direção X , em m; b =comprimento do semi-eixo da copa na direção Y , em m; c =comprimento do semi-eixo da copa na direção Z , em m; x_p =coordenada do ponto P no eixo X , em m; x_q =coordenada do ponto Q no eixo X , em m; y_p =coordenada do ponto P no eixo Y , em m; y_q =coordenada do ponto Q no eixo Y , em m; z_p =coordenada do ponto P no eixo Z , em m; z_q =coordenada do ponto Q no eixo Z , em m; I_p =irradiância no ponto P, situado no interior da copa, em W/m^2 ; I_q =irradiância no ponto Q, situado na superfície externa da copa, em W/m^2 ; K =coeficiente de extinção da radiação; F =densidade foliar, em m^2/m^3 ; s =comprimento da trajetória da radiação no interior da copa, em m; V =volume da copa, em m^3 ; A =área foliar, em m^2 ; Q =irradiância solar global acima da copa, em W/m^2 ; p =projecção vertical da copa, em m^2 ; v =velocidade do vento, em m/s; r_s =resistência estomática, em s/m; r_a =resistência aerodinâmica, em s/m; r_e =resistência equivalente, em s/m; L =irradiância atmosférica acima da copa, em W/m^2 ; T =temperatura do ar, em $^{\circ}K$; H =densidade de fluxo de calor sensível, em W/m^2 ; c_p = calor específico do ar= $1005 J/kg.^{\circ}C$; LE =densidade de fluxo de calor latente, em W/m^2 ; l =dimensão característica da folha, em m; θ =altura angular do sol, em graus; ϕ =azimute do sol, em graus; β =irradiância solar global acima da copa, em W/m^2 , na qual a resistência estomática corresponde à metade da resistência estomática mínima; ρ =massa específica do ar, em kg/m^3 γ =constante psicrométrica, em $kPa/^{\circ}C$ σ =constante de Stephan-Boltzman= $5,67 \times 10^{-8} W/m^2.^{\circ}K^4$; ΔT =Diferença entre a temperatura do ar e a temperatura da copa, em $^{\circ}K$; Δe =Diferença entre a pressão de vapor atual e a pressão de vapor saturante do ar, em kPa;

