



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros



Parametrização de equações clássicas de estimativa da radiação atmosférica de ondas longas no interior de uma estufa de polietileno para Botucatu-SP

Enzo Dal Pai¹; Lucas Carvalho Lenz²; Alexandre Dal Pai³; João Francisco Escobedo⁴

¹Agrônomo, Prof. Associado, Depto. de Engenharia Rural, FCA/UNESP Botucatu – SP, Fone: (14)3880-7162, edalpai@fca.unesp.br

²Agrônomo, aluno de mestrado, Depto. de Engenharia Rural, FCA/UNESP Botucatu – SP, lcenz@fca.unesp.br

³Físico, Prof. Associado, Depto. de Engenharia Rural, FCA/UNESP Botucatu – SP, adalpai@fca.unesp.br

⁴Físico, Professor, Depto. de Engenharia Rural, FCA/UNESP Botucatu – SP, escobedo@fca.unesp.br

RESUMO: Objetivou-se neste trabalho a modelagem da radiação de ondas longas atmosféricas no interior de uma estufa agrícola de polietileno. O conhecimento das ondas longas é de vital importância na determinação do saldo de radiação e conseqüentemente da lâmina a ser irrigada. A modelagem foi feita com 13 modelos de estimativa de radiação de ondas longas existentes na literatura. Todos estes modelos estimam a radiação solar de ondas longas em função da temperatura do ar T_a e pressão atual de vapor e_a , e só tem validade para dias de céu completamente limpo (sem nuvens). Modelos com estas características são rotineiramente chamados de modelos clássicos. Foram feitas medidas das radiações de ondas longas e ondas curtas no interior de uma estufa plástica de polietileno (100 micra) no intervalo de um ano. Com estes dados os 13 modelos tiveram seus parâmetros originais ajustados (valores de erros residuais minimizados) para o interior da estufa. Dos 13 modelos ajustados, oito apresentaram bom desempenho, evidenciado por um elevado coeficiente de correlação (valores de r^2 maiores que 0,9). Três modelos apresentaram desempenho inferior ao primeiro grupo de modelos, com valores de r^2 próximos a 0,75; e em dois modelos o ajuste dos coeficientes não foi viável.

PALAVRAS-CHAVE: onda longa atmosférica, estufa de polietileno, modelagem.

Parameterization of classical equations to estimate the atmospheric long wave radiation inside a polyethylen greenhouse in Botucatu

ABSTRACT: The objective of this work is modeling the atmospheric longwave radiation within an agricultural greenhouse polyethylene. Knowledge of the long wave is of vital importance in determining the radiation balance and therefore the amount to be irrigated. The modeling was done with 13 long wave radiation estimation models existing in the literature. All these models estimate the solar radiation long waves as a function of air temperature (T_a) and vapor pressure (e_a) and is only valid for full days of clear skies (no clouds). Models of this kind are routinely called classic models. Measurements were made of the long-wave and short-wave radiation inside a plastic greenhouse polyethylene (100 microns) within one year. With these data, the 13 models had their original parameter set (residual error minimized values) into the greenhouse. Of the 13 adjusted models, eight had good performance, evidenced by a high correlation coefficient (r^2 values greater than 0.9). Three models showed lower performance to the first group of models, with r^2 values close to 0.75; and two models fit the coefficients is not feasible

KEY WORDS: atmospheric long wave, greenhouse, modeling.

INTRODUÇÃO

A radiação de ondas longas atmosféricas (no inglês downward long-wave $LW\downarrow$) é a energia irradiada pela atmosfera e seus constituintes e tem sentido descendente. Tem esse nome, pois sua irradiância está em uma faixa do espectro distante da faixa do espectro da luz solar (ondas curtas). Esta radiação é originada do aquecimento da atmosfera. A determinação de sua intensidade, sua sazonalidade e sua modelagem são importantes para estudos nas áreas de: Meteorologia, Engenharia Civil, Arquitetura e Ciências Agrárias. Tem ganhado importância atualmente na área Energética, pois o conhecimento de sua magnitude permite a racionalização do uso da energia.

As estufas de polietileno levam à obtenção de produtos de alta qualidade e podem alcançar aumento de produtividade em torno de 30% a 50% maior em relação ao ambiente externo, como mostram estudos com pepino, pimentão, feijão e tomate (Galvani et al, 2000; Cunha et al, 2003; Souza & Escobedo, 1997; Heldwein et al, 2010; Carvalho et al, 2005). No Brasil, o uso de estufas de polietileno apresenta diversas funções considerando a extensão e localização geográfica. Nas regiões Sul e Sudeste, por exemplo, a estufa de polietileno atua como regulador térmico, diminuindo o efeito danoso causadas em algumas culturas por baixas temperaturas e geadas. Em regiões onde as temperaturas são elevadas, como na região do Nordeste e Centro-Oeste as estufas de polietileno proporcionam alterações microclimáticas por meio de variações das radiações solares global, difusa, fotossinteticamente ativa (PAR), temperatura, umidade e balanço de energia, entre outras. Simultaneamente, a estufa de polietileno minimiza efeitos adversos dos ventos fortes e chuvas intensas e de granizos, que normalmente provocam danos às plantas, não só fisiológicos como mecânicos, além de diminuir a incidência de pragas (Khoshnevisan et al, 2013).

A relativa complexidade na medição de $LW\downarrow$, é devido à sua natureza térmica, onde sua medida é afetada pela temperatura do próprio aparelho de medição, fato que obriga que haja posteriores correções da medida (Blonquist Jr. et al., 2009). Devido a este fato, há escassez de estações que meçam rotineiramente essa radiação. No Brasil a medida da radiação solar global (radiação de ondas curtas) é rotineira, porém dados disponíveis de ondas longas são raros. Esta escassez de dados ainda resulta em poucos trabalhos de pesquisa publicados com a $LW\downarrow$ no Brasil.

Devido à indisponibilidade de dados, a maioria dos trabalhos é na área de modelagem, objetivando gerar uma equação de estimativa da $LW\downarrow$ na falta de sua medida. A maioria dos modelos propostos que são usados até hoje são modelos que usam a temperatura do ar e a pressão de vapor d'água como entrada de dados. Os modelos de estimativa da $LW\downarrow$ que utilizam apenas temperatura do ar e pressão de vapor d'água são comumente chamados de "Modelos Clássicos". Tais modelos foram os primeiros propostos (Ångström propôs seu primeiro modelo de ondas longas atmosféricas em função da temperatura do ar e umidade relativa em 1918), porém modelos propostos atualmente em função de temperatura e umidade frequentemente também recebem esta denominação. O objetivo deste trabalho foi desenvolver modelos de previsão da irradiância $LW\downarrow$ em Botucatu com base nos modelos clássicos em função de medidas de temperatura e umidade relativa para o interior de uma estufa de polietileno.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Estação de Radiometria Solar de Botucatu-SP, Departamento de Recursos Naturais da Faculdade de Ciências Agrárias de Botucatu – Campus Lageado, da UNESP no período de 01/03/2008 a 28/03/2009.

A Fig. 1a mostra uma fotografia da estufa utilizada no trabalho. Área de 168m², tipo túnel alto, com cobertura de polietileno (100µm). Suas dimensões: 24m de comprimento, 7m de largura, 2m de pé direito e 1,7 m de altura da concavidade.

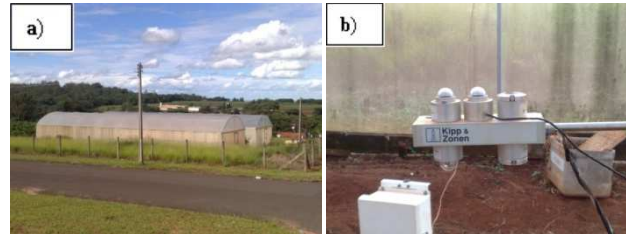


Figura 1 - a) Estufa vista de fora; **b)** Saldoradiômetro CNR1 Net Radiometer.

O clima de Botucatu (latitude de 22o54' S, longitude de 48o27' W e altitude de 786 m) é classificado como Cwa (critérios de KÖPPEN), temperado quente (mesotérmico), o verão é quente e úmido e o inverno é seco (Cunha et al, 1999). O dia mais longo (solstício de verão) tem 13,4 horas em dezembro, e o mais curto (solstício de inverno) tem 10,6 horas em junho.

Para a medida da radiação de ondas longas atmosféricas foi utilizado um saldo-radiômetro modelo CNR1 da Campbell Scientific. Este aparelho (Fig. 1b) tem a capacidade de medir as quatro componentes ao mesmo tempo: tem dois sensores capazes de medir a radiação no espectro de ondas curtas, um medindo a irradiância global (voltado para cima) e outro medindo a irradiância refletida (voltado para baixo); e dois sensores sensíveis no espectro de ondas longas, um medindo a irradiância de ondas longas atmosféricas (voltado para cima) e outro medindo a irradiância de ondas longas terrestres (voltado para baixo). Na Fig. 1b a calibração da onda curta global está sendo realizada. A calibração das ondas curtas, ondas longas, temperatura e umidade foram aferidas no início e no final do experimento CPM sensores referenciais. Durante o experimento o equipamento foi instalado na região central da estufa para evitar possíveis interferências espaciais e multireflexões. Para o acompanhamento da temperatura e da umidade relativa do ar foi utilizado um sensor tipo HMP45C da marca Vaisala. Na aquisição dos dados foi utilizado um datalogger da marca Campbell CR21X, operando na frequência de 0,2 Hz e armazenando médias de 5 minutos ou 300 segundos.

A irradiância $I_{LW\downarrow}$ pode ser estimada por modelos empíricos, que de acordo com Brunt (1932), são formulações que se ajustam aos dados, sem que tenha havido uma justificativa teórica precisa para sua utilização. Desde o trabalho de Ångström (1918), surgiram muitas destas parametrizações, principalmente envolvendo a $I_{LW\downarrow}$ com a temperatura e a umidade do ar (modelos clássicos), medidas em abrigo meteorológico. Estas parametrizações são construídas visando a sua aplicação em estimativas simples e rápidas. Também se prestam para avaliações de níveis climatológicos da radiação. A seguir explicitam-se os modelos empíricos, doravante denominados modelos paramétricos clássicos ajustados para situação de céu aberto (sem nuvens). Na Tabela 1 são apresentados 13 modelos encontrados na literatura e que serão utilizados posteriormente neste trabalho.

Tabela 1. Equações de alguns modelos de estimativa de $I_{LW\downarrow}$ clássicos, com sua respectiva numeração para este trabalho, Autores e ano da publicação.

Autor(es)	Coef. Originais		
1 - Ångström 1918 $I_{LW\downarrow} = [A - (B * 10^{-C * ea})] * \sigma * T^4$	A= 0,82 B= 0,25 C= 0,168	8 - Idso 1981 $I_{LW\downarrow} = A + [B * ea * \exp(\frac{1500}{T})] * \sigma * T^4$	A= 0,7 B= 0,000595
2 - Brunt 1932 $I_{LW\downarrow} = [A + (B * \sqrt{ea})] * \sigma * T^4$	A= 0,52 B= 0,065	9 - Prata 1996 $I_{LW\downarrow} = 1 - (1 + w) * \exp[-(A + B * w)^{0.5}] * \sigma * T^4$	A= 1,2 B= 3,0
3 - Anderson 1954 $I_{LW\downarrow} = [A + (B * \sqrt{10 * ea})] * \sigma * T^4$	A= 0,68 B= 0,036	10 - Dilley & O'Brian 1998 $I_{LW\downarrow} = A + [B * (\frac{T}{273,16})^6] + (C * \sqrt{18,6 * \frac{w}{25}})$	A= 59,38 B= 113,7 C= 96,96
4 - Swinbank 1963 $I_{LW\downarrow} = (A * T^2) * \sigma * T^4$	A= 9,2*10 ⁻⁶	11 - Crawford & Duchon 1999 $I_{LW\downarrow} = A + \left\{ B * [sen(m + 2) * (\frac{\pi}{6}) * (\frac{ea}{T})^{\frac{1}{7}}] * \sigma * T^4 \right\}$	A= 1,22 B= 0,06
5 - Idso & Jackson 1969 $I_{LW\downarrow} = \{1 - A * \exp[B * (273 - T)^2]\} * \sigma * T^4$	A= 0,261 B= -0,0007	12 - Niemalä 2001 $I_{LW\downarrow} = \{A + [B * (ea - 2)]\} * \sigma * T^4$	A= 0,72 B= 0,009
6 - Brutsaert 1975 $I_{LW\downarrow} = \left[A * \left(\frac{ea}{T}\right)^{\frac{1}{7}} \right] * \sigma * T^4$	A= 1,24	13 - Iziomon et al., 2003 $I_{LW\downarrow} = \left\{ 1 - \left[A * \exp\left(\frac{-B * ea}{T}\right) \right] \right\} * \sigma * T^4$	A= 0,35 B= 10,0
7 - Satterlund 1979 $I_{LW\downarrow} = \left\{ A * \left[1 - \exp\left(-ea^{\frac{T}{B}}\right) \right] \right\} * \sigma * T^4$	A= 1,08 B= 2016		

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 são apresentados os modelos e seus valores encontrados para Botucatu-SP:

Tabela 2. Coeficientes dos Modelos clássicos originais, seguindo a mesma numeração da Tabela 1.

Autor(es)	Coef. Ajustados	R ²	
1 - Ångström 1918	A= 1,02 B= 0,24 C= 0,213	0,94	11 - Crawford & Duchon 1999 A= -- B= --
2 - Brunt 1932	A= 0,81 B= 0,087	0,94	12 - Niemalä 2001 A= 0,94 B= 0,023
3 - Anderson 1954	A= 0,81 B= 0,027	0,94	13 - Iziomon et al., 2003 A= -3,84*10 ⁻⁹ B= -1,1*10 ⁻⁷
4 - Swinbank 1963	A= 1,3*10 ⁻³	-	
5 - Idso & Jackson 1969	A= 0,003*10 ⁻² B= 7,6075*10 ⁻⁸	0,77	
6 - Brutsaert 1975	A= 1,30	0,93	
7 - Satterlund 1979	A= 0,25 B= 423	0,94	
8 - Idso 1981	A= 0,7 B= 0,000445	0,93	
9 - Prata 1996	A= -- B= --	--	
10 - Dilley & O'Brian 1998	A= -886,55 B= 25360758.3 C= 637,29	0,93	

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

O ajuste de parâmetros locais, realizado com a minimização dos erros residuais foi realizado nos treze modelos “clássicos” da literatura. É possível notar que alguns modelos tiveram melhor ajuste em relação a outros. Os modelos de Ångström (1918), Brunt (1932), Anderson (1954), Satterlund (1979) e Niemalä (2001) apresentaram maiores valores de correlação. Estes modelos utilizam a pressão de vapor e_a . A presença do vapor d’água na atmosfera altera sua emissividade, provavelmente por isso o ajuste ter sido melhor em modelos que necessitem da pressão atual de vapor (modelos empíricos). Os modelos de Idso e Jackson (1969) e Iziomon et al., (2003) apresentaram baixos coeficientes de correlação. O modelo de Idso e Jackson (1969) usa apenas a temperatura, sendo um modelo com maior embasamento físico, talvez por isso o baixo nível de ajuste. Nos modelos de Swinbank (1963), Crawford e Duchon (1999) e Prata (1996) o ajuste não foi possível, não havendo maneira de se reduzir erros. O modelo de Swinbank (1963) usa apenas temperatura, sendo um modelo com embasamento físico e não empírico, enquanto Crawford e Duchon(1999) usa a sazonalidade, dificultando o ajuste de parâmetros.

Tabela 3. Coeficientes dos Modelos clássicos ajustados para o interior de uma estufa de polietileno em Botucatu seus respectivos r^2 , seguindo a mesma numeração da **Tabela 1.**

	Diferença relativa de A (%)	Diferença relativa de B (%)	Diferença relativa de C (%)
1- Ångström 1918	24,39	-3,57	26,73
2- Brunt 1932	55,77	33,21	--
3- Anderson 1954	19,12	-23,94	--
4- Swinbank 1963	--	--	--
5- Idso & Jackson 1969	--	-99,99	--
6- Brutsaert 1975	4,84	--	--
7- Satterlund 1979	-76,85	-79,02	--
8- Idso 1981	0	--	--
9- Prata 1996	--	-99,98	--
10- Dilley & O'Brian 1998	-1593,01	22304876,52	557,27
11- Crawford & Duchon 1999	--	-99,99	--
12- Niemalä 2001	30,55	--	--
13- Iziomon et al., 2003	-100	-99,77	--

A diferença relativa de alguns parâmetros de alguns modelos chama a atenção. O modelo de Idso (1981) não apresentou variação local. Esse fato provavelmente deve-se pelo fato de o modelo de Idso ter apenas um parâmetro ajustado e ser de natureza física e não empírica.

O modelo de Brutsaert (1975) apresentou menor diferença relativa significativa: 4,84%. Em seguida vem o modelo de Niemalä (2001), com variação de 30,55% no parâmetro ajustado.

O entendimento da diferença relativa é mais complexo quando no modelo são usados mais de um parâmetro. É possível notar valores relativamente baixos nos valores dos parâmetros dos modelos que tiveram bom ajuste (altos valores de r^2), como (1918), Brunt (1932), Anderson (1954).

CONCLUSÕES

A parametrização de modelos clássicos para Botucatu demonstrou ser satisfatória. Alguns modelos ajustados podem ser usados na estimativa da radiação de ondas longas atmosféricas no lugar dos parâmetros originais, com elevados coeficientes de determinação. Modelos com base apenas na temperatura não apresentaram desempenho idêntico aos modelos dependentes da pressão de vapor e temperatura, que foram melhor ajustados.



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÅNGSTRÖM, A. A study of the radiation of the atmosphere. *Smithson. Misc. Collect.*, v. 65, p. 1-159, 1918.
- BLONQUIST JR, J. M., TANNER, B.D., BUGBEE, B. Evaluation of measurement accuracy and comparison of two new and three traditional net radiometers. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v. 149, p. 1709-1721, 2009.
- BRUNT, D., Notes on radiation in the atmosphere. *Quart. J. R. Meteorological Society*, West Sussex, vol. 58, p. 389-418, 1932.
- CARVALHO, L. A. DE; TESSARIOLI NETO, J., Produtividade de tomate em ambiente protegido, em função do espaçamento e número de ramos por planta. *Horticultura Brasileira*, Brasília, DF, vol.23, n.4, p. 986-989, 2005.
- CUNHA, A. R. ; KLOSOWSKI, E. S.; GALVANI, E.; ESCOBEDO, J. F. MARTINS, D., In: I SIMPÓSIO DE ENERGIA NA AGRICULTURA, **Classificação climática para o município de Botucatu, SP, segundo Köppen**. Botucatu. Anais. Botucatu, SP: UNESP, Faculdade de Ciências Agrônomicas, vol. 2. p. 487-491, 1999.
- CUNHA, A. R. DA; ESCOBEDO, J. F., Alterações micrometeorológicas causadas pelo uso de estufa plástica e seus efeitos no crescimento e produção da cultura de pimentão. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, São Jose Dos Campos, SP, vol. 11, n. 1, p. 15-26, 2003.
- GALVANI, E.; ESCOBEDO, J. F.; CUNHA, A. R. DA; KLOSOWSKI, E. S., Estimativa do índice de área foliar e da produtividade de pepino em meio protegido - cultivos de inverno e de verão. *Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental*, Campina Grande, PB, vol.4, n.1, p. 8-13, 2000.
- HELDWEIN, A. B., STRECK, N. A., STURZA, V.S., LOOSE, L.H., ZANON, A. J., TOEBE, M., SOUZA, A. T., PETERS, M. B., KARLEC, F., Plastocrono e rendimento de feijão-de-vagem cultivado sob ambiente protegido e no ambiente externo em semeadura tardia no outono. *Ciencia Rural*, Santa Maria, RS, vol.40, n.4, p. 768-773, 2010.
- KHOSHNEVISAN, B.; RAFIEE, S.; MOUSAZADEH, H., Environmental impact assessment of open field and greenhouse strawberry production. *European Journal of Agronomy*, Amsterdam vol. 50, p. 29-37, 2013.
- SOUZA, J. L.; ESCOBEDO, J. F., Balanço de Radiação em Cultivos de Feijão Vagem em Casa de Vegetação com Cobertura de Polietileno e no seu Exterior. Pesquisa *Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, vol. 32, p. 1-15, 1997.
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Guide on the Global Observing and forecasting System**. Geneva, 2008.