

DISTRIBUIÇÃO DA EVAPORAÇÃO NO INTERIOR DE UM AMBIENTE PROTEGIDO.

**Cleber Junior Jadoski¹; Antonio Evaldo Klar¹; Marcio Furlan Maggi²; Juliana Ramiro¹
Alexandre Barreto Almeida dos Santos¹; Samuel Rodrigues Fulan¹**

¹*Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP, cjjadoski@fca.unesp.br*

²*Universidade Estadual do Centro Oeste, UNICENTRO, Guarapuava, PR*

1 RESUMO.

Este trabalho teve por objetivo estudar a distribuição da evaporação no interior de um ambiente protegido. O experimento foi instalado em uma estufa de polietileno na Fazenda Experimental Lageado da Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA), no período do inverno de 2005. Para analisar a distribuição espacial da energia, foram utilizados microevaporímetros plásticos de 500 ml (13,7 cm de diâmetro) com o que foram obtidos os valores respectivos de evaporação que integram os elementos meteorológicos envolvidos. Foram instalados 132 microevaporímetros distribuídos em três alturas, 0,40, 0,80 e 1,20 m, a partir da superfície do solo, perfazendo 44 pontos uniformemente distribuídos. A estufa plástica é do tipo túnel com 7,5m de largura por 27,5m de comprimento, 3,20m de altura no centro e 2,00m nas paredes laterais fechadas com tela do tipo “sombrite”. A orientação noroeste/sudeste, com base no norte verdadeiro, foi adotada para o eixo longitudinal da estufa. Para a comparação das variáveis, foram utilizados princípios de geoestatística com auxílio do programa \square GS+. Os dados obtidos permitiram chegar às seguintes conclusões: ocorreu variabilidade espacial nas diferentes regiões e alturas de instalação dos microevaporímetros, com maior evaporação na altura mais próxima do solo no mês de julho; o tanque Classe “A” não difere significativamente em relação aos microevaporímetros; pode-se estimar a evaporação interna do ambiente protegido através de medições em um tanque Classe “A” instalado fora do ambiente protegido.

UNITERMOS: Geoestatística, microevaporímetro, tanque Classe “A”,

**JADOSKI, C. J.; KLAR, A. E.; MAGGI, M. F.; RAMIRO, J.; SANTOS, A. B. A. dos;
FULAN S. R. EVAPORATION DISTRIBUTION IN A PROTECTED
ENVIRONMENT**

2 ABSTRACT

This work aimed to study evaporation distribution in a protected environment. The experiment was set up in polyethylene greenhouse at the Lageado Experimental Farm in the School of Agronomic Sciences (FCA, UNESP-Botucatu) in the winter of 2005. 132 500-ml plastic micro evaporimeters (13.7 diameter) were used used to obtain evaporation values and analyze spatial energy distribution. These micro evaporimeters were distributed in 44 equidistant points, at three different heights from the soil surface: 0.40, 0.80 and 1.20cm The tunnel-type greenhouse was 7.5 m wide, 27.5 m long and 3.20 m high at the center, and was

covered with black shadow screen (sombrite) on the sides. Southeast /northwest orientation, based on true north, was used for the greenhouse longitudinal axis. For variable comparison, a geostatistics was used through the GIS+ program. From obtained data, it was concluded that: there was spatial variability at different points and heights of the microevaporimeters and higher evaporation values for the height near to soil surface in July; evaporation values obtained from micro evaporimeters were not statistically different from those obtained from Class "A" Pan installed in the center of the greenhouse; the Class "A" Pan installed outside the greenhouse can be used to evaluate the internal evaporation.

KEYWORDS: Geostatistics, microevaporimeter, Class "A" Pan..

3 INTRODUÇÃO

A atividade agrária convencional enfatiza as variáveis de solo, água e condições climáticas. Se algum desses fatores possuir alguma limitação, por consequência, limitará também o potencial de produção, afetando diretamente os interesses econômicos da prática agrícola. Em muitos locais do planeta a escassez de solo, água e clima são problemas que afetam diretamente as práticas agrícolas, cabendo ao homem a necessidade de introduzir artifícios, como interferir nas condições de solo, clima e plantas. Com essa influência no ambiente busca-se obter o máximo da produção agrícola e o ambiente protegido entra como uma forma de controlar as intempéries do tempo, qualificar o solo e controlar o consumo de água (Klar, 1988).

O efeito do ambiente protegido sobre a temperatura do ar está relacionado com o balanço de energia. A radiação solar que penetra para o interior do ambiente protegido é parcialmente absorvida pelo solo, plantas e objetos, sendo parte convertida em energia térmica (radiação de ondas longas). Esta radiação térmica vai para o espaço e, ao atingir algum material opaco (como deveria ser a cobertura plástica), fica retida neste ambiente, propiciando uma elevação da temperatura do ar. Este fenômeno é conhecido como efeito estufa (Tapia 1981).

Manejar uma cultura significa modificar o funcionamento natural das plantas que a compõem, a fim de melhor ajustar o seu comportamento de acordo com os objetivos agrônômicos pretendidos. Para realizar o manejo, é necessário conhecer as relações que regem o funcionamento da planta e, em seguida, compreender a forma segundo a qual todas essas relações se encadeiam entre si para resultar no rendimento final (Andriolo, 1999).

A literatura mostra um conjunto de práticas e tecnologias (quebra ventos, *mulches* de solo, casas de vegetação, túneis altos, túneis baixos, irrigação, etc), utilizados pelos produtores para um cultivo mais seguro e protegido de suas lavouras (Wintter e Castilla citados por Della Vecchia e Koch, 1999).

A distribuição de energia utilizando minievaporímetros é uma tecnologia inédita vista pela primeira vez em Botucatu por Braga e Klar (2003).

Atualmente, há poucos estudos que tratam da distribuição espacial da evaporação dentro das estufas, principalmente devido às dificuldades de medições e de metodologia (Braga 2000, Braga e Klar, 2003).

Diversos estudos comprovam a existência de variabilidade espacial (Borgelt et al. 1994; Bakhsh et al. 1997; Zaccharias et al., 1997). Criou-se a necessidade de pesquisar, quantificar e analisar estas variabilidades e determinar as melhores técnicas de manejo, nos diferentes ambientes.

Através da evapotranspiração, e do espectro luminoso, as plantas desencadeiam todos os metabolismos necessários para seu desenvolvimento, e monitorar o primeiro é primordial para controlar, por exemplo, o consumo de água e o stress dos vegetais.

O tanque Classe “A” é um importante instrumento para a monitoração da evapotranspiração, incluindo a evapotranspiração de referência, devido à possibilidade de extrapolação dos dados, visto que é um dos equipamentos mais utilizados referência em todo o mundo. A presente pesquisa visa avaliar este instrumento de medição, comparando-se com evaporações de microevaporímetros distribuídos uniformemente dentro de um ambiente protegido.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no inverno de 2005, na Fazenda Experimental Lajeado, da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Campus de Botucatu, localizada no município de Botucatu, cujas coordenadas geográficas são 22°51’03” de latitude Sul e 48° 25’37” de longitude Oeste de Greenwich, ao nível de 786 m de altitude.

O clima da região é definido como Clima Temperado (Mesotérmico), segundo critério adotado por Köppen. Esta definição foi baseada em medias históricas de 27 anos (1971 a 1998) de observações feitas na Estação Agrometeorológica da Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp. A região é constantemente úmida, apresentando precipitação pluvial média de 1516,8 mm e evapotranspiração média anual de 692 mm. A temperatura média anual é de 20,6 °C com temperaturas medias, máxima e mínima, de 23,5 e 17,4 °C, respectivamente.

O trabalho foi desenvolvido em uma estufa de polietileno orientada geograficamente no sentido noroeste/sudeste. A estufa plástica era do tipo túnel alto com cobertura na forma circular, apresentando as seguintes dimensões: largura de 7,5 metros, comprimento de 27,5 metros, altura do pé direito de 2 metros e central de 3,2 metros, coberta longitudinalmente com filmes de polietileno aditivado, espessura de 100 micra. Nas partes laterais e nos fundos foram colocados sombrites 40%. Na face frontal encontrava-se a porta que dava acesso ao interior da estufa.

Foi instalado, dentro de um abrigo de madeira, no centro da estufa um termômetro de máxima e mínima, a uma altura de 1,50m do solo. Um Tanque Classe “A” foi instalado no centro da estufa.

Com o objetivo de estudar o comportamento espacial da distribuição de energia dentro da estufa, foram instalados 142 microevaporímetros, distantes entre si de 1,65 m no sentido longitudinal e 2,50 m no sentido transversal da estufa, distribuídos em três alturas, 0,40, 0,80 e 1,20 m. O microevaporímetro consistia de um recipiente plástico de volume 1,0 L (Fig.1.) □ Para determinação das lâminas evaporadas nos microevaporímetros, estes eram preenchidos com 500 ml de água cada e, uma vez por semana, a água resultante em cada microevaporímetro foi medida e o frasco novamente preenchido com 500 ml de água. Por diferença da água colocada toda semana, com a água resultante, foi determinada a evaporação semanal dentro da estufa. As leituras eram feitas todos os sábados no período da tarde.

A análise da dependência espacial, determinada pelo variograma foi obtida com o auxílio do Programa □GS+ “Geostatistical for Environmental Sciences”, versão 5.0 (GS+, 2000), que utiliza os valores das variáveis de evaporação associados às suas respectivas coordenadas de campo.

Todos os pares de amostras possíveis foram examinados e agrupados dentro de classes de distâncias (“lags”) e direções aproximadamente iguais. Para esse processo, foram construídos os variogramas experimentais (Deutsch e Journel, 1998) e posteriormente definidos os modelos teóricos de variogramas (esférico, exponencial, gaussiano, linear e linear com patamar), nos quais foi superposta a seqüência de pontos obtidos no variograma experimental, de modo que a curva que melhor se ajustou aos pontos do variograma (até onde a curva se estabiliza) representasse a magnitude, alcance e intensidade da variabilidade espacial da variável estudada.

O referencial teórico com aplicação da geoestatística e detalhes da metodologia podem ser encontrados em Batista et al. 2002 e Santos 2001.



Figura 1: Conjunto de microevaporímetros.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A água é o maior constituinte fisiologicamente ativo nos tecidos das plantas além de ser o mais limitante fator ambiental às plantas que, de modo decisivo afeta o desenvolvimento das culturas (Kramer, 1969). O mapeamento das áreas de evaporação em estufas de polietileno visa a racionalização da produção através do gerenciamento do consumo de água em áreas de isoevaporação. Atualmente, há poucos estudos que tratam da distribuição espacial

da evaporação dentro das estufas. Acredita-se que seja devido às dificuldades de medições e de metodologia. Como a análise da geoestatística pressupõe a inexistência de tendências associadas às posições espaciais, verificou-se a existência de padrões nos gráficos das variáveis estudadas em relação às coordenadas de posição, as quais não apresentaram problemas.

A tabela 1 apresenta os resultados obtidos nos semivariogramas para o período do inverno de 2005.

Para os alcances superiores a 27 metros (comprimento da estufa) pode-se utilizar a estatística convencional para a análise dos dados. Os valores do efeito pepita (C_0) revelam a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores que aquelas amostradas, ou seja, é o próprio erro amostral.

Tabela 1. Resultado da análise geoestatística para os microevaporímetros instalados a 0,40m, 0,80m e 1,20m do solo.

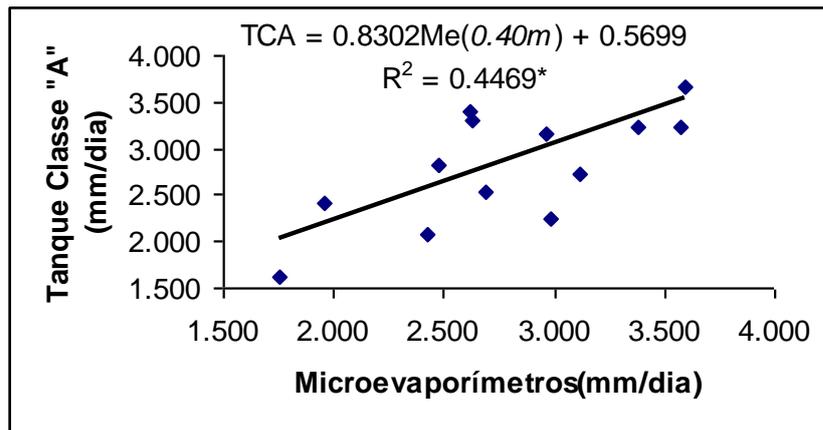
VARIÁVEL	Julho		
Modelo	Esférico		
Alturas (m)	0,40	0,80	1,20
Efeito Pepita (C_0)	0,02470	0,00952	0,00574
Patamar (C_1)	0,06110	0,03904	0,01688
Alcance (a) (m).	13,60	16,03	11,18
Escala (α)	4,109E-04	6,772E-05	4,186E-05

VARIÁVEL	Agosto		
Modelo	Esférico		
Alturas (m)	0,40	0,80	1,20
Efeito Pepita (C_0)	0,06490	0,04820	0,0800
Patamar (C_1)	0,15180	0,21440	0,05230
Alcance (a) (m).	*	*	2,83
Escala (α)	1,866E-03	6,683E-04	3,483E-04

VARIÁVEL	setembro		
Modelo	Esférico		
Alturas (m)	0,40	0,80	1,20
Efeito Pepita (C_0)	0,00460	0,00320	0,00543
Patamar (C_1)	0,08370	0,04170	0,02626
Alcance (a) (m).	*	24,03	*
Escala (α)	8,038E-04	7,446E-05	1,564E-05

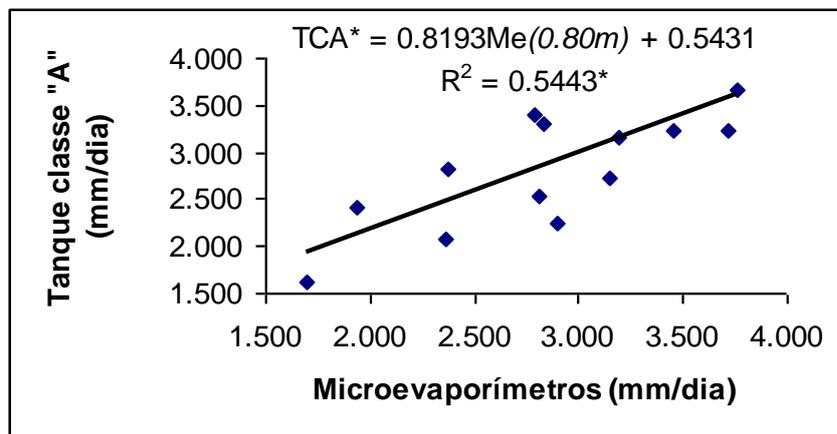
* Significativo a 5%.

O tanque Classe “A” é um importante instrumento para a determinação da evapotranspiração da cultura dentro da estufa. As comparações feitas com a evaporação do tanque Classe “A” e microevaporímetros, mostram que estes podem substituir aquele, conforme mostram as regressões feitas nas figuras 2, 3 e 4.



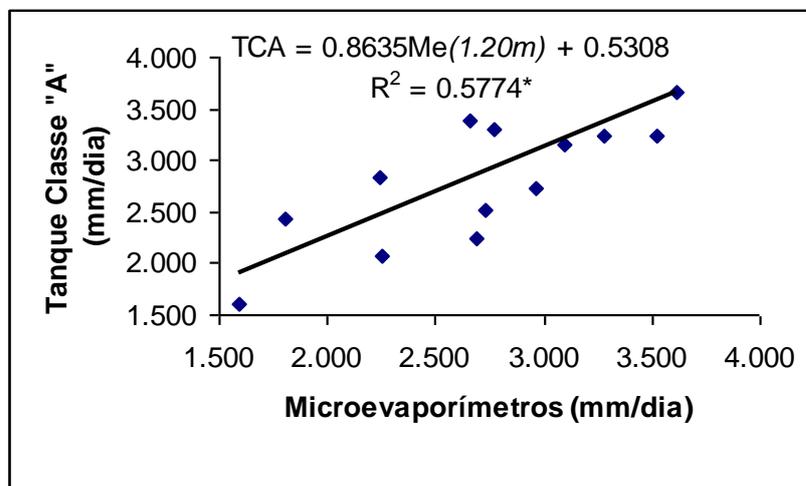
* Significativo a 5%.

Figura 2: Relação de evaporação entre o Tanque Classe “A” e minievaporímetros a uma altura de 0,40m do solo.



* Significativo a 5%.

Figura 3: Relação de evaporação entre o Tanque Classe “A” e microevaporímetros a uma altura de 0,80m do solo.



• Significativo a 5%.

Figura 4: Relação de evaporação entre o Tanque Classe “A” e microevaporímetros a uma altura de 1,20m do solo.

O estudo da evaporação no Tanque classe “A” envolve todo o complexo energético responsável pela evaporação e favorece a extrapolação e a comparação de resultados (Klar, 1988). Comparando as observações de evaporação ocorridas entre os microevaporímetros e o Tanque Classe “A”, observa-se que as correlações foram significativas ao nível de 5% de probabilidade nas três alturas comparadas (Figuras 2, 3 e 4). Porém a relação de evaporação do Tanque Classe “A” e os microevaporímetros para os meses de julho, agosto e setembro na altura de 0,40m em relação ao solo foram de +3,4% +6,1% -24% respectivamente (Tabela 2). Para altura de 0,80m do solo as diferenças foram respectivamente de +2,4% +8,8% -16,2% para os meses de Julho, Agosto e Setembro (tabela 3). E para a altura de 1,20m do solo em julho Agosto e Setembro as diferenças de evaporação foram de -3,1% +4,0% -20% (tabela 4).

Tabela 2: Diferenças entre as médias evaporadas entre o Tanque Classe “A” e os minievaporímetros nos meses de Julho Agosto e Setembro na altura de 0,40 m.

Período Mês	Medias microevaporímetros à 0.40cm mm/dia	Tanque classe A mm/dia	Diferenças (%)
Julho	2,50	2,42	+3,4
Agosto	3,42	3,21	+6,1
Setembro	2,83	3,51	-24,0

Tabela 3: Diferenças entre as médias evaporadas entre o Tanque Classe “A” e os minievaporímetros nos meses de Julho Agosto e Setembro na altura de 0,80.

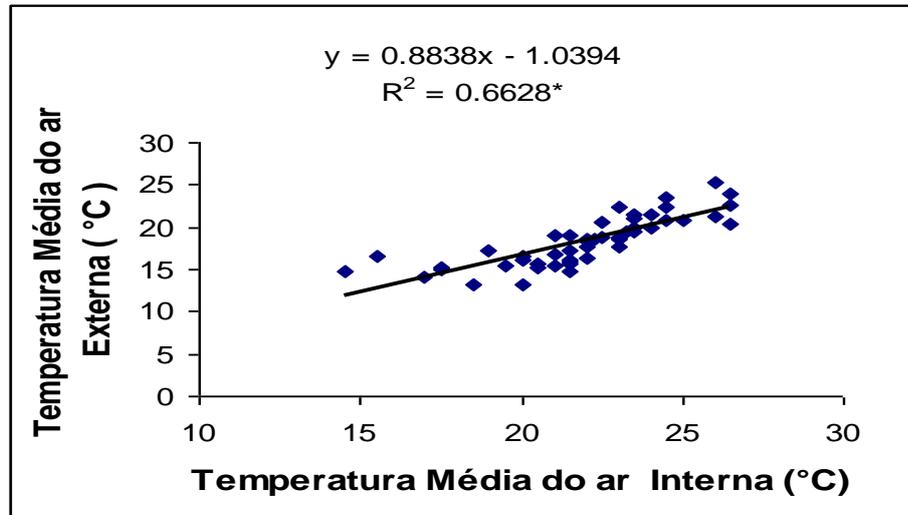
Período Mês	Medias microevaporímetros à 0.80cm mm/dia	Tanque classe A mm/dia	Diferenças (%)
Julho	2,48	2,42	+2,4
Agosto	3,52	3,21	+8,8
Setembro	3,02	3,51	-16,2

Tabela 4: Diferenças entre as médias evaporadas entre o Tanque Classe “A” e os minievaporímetros nos meses de Julho Agosto e Setembro na altura de 1,20 m.

Período Mês	Medias microevaporímetros à 1.20cm mm/dia	Tanque classe A mm/dia	Diferenças (%)
Julho	2,34	2,42	-3,1
Agosto	3,35	3,21	+4,0
Setembro	2,92	3,51	-20,0

Braga (2000), trabalhando com duas estufas com orientações L/O e N/S, encontrou diferenças, porém não significativas, nos valores de evaporação entre as duas estufas. Observou também que o aumento da evaporação fora das estufas resulta numa diferença crescente da evaporação interna entre as estufas, sendo a diferença mais visível a partir do valor da evaporação de 4 mm.

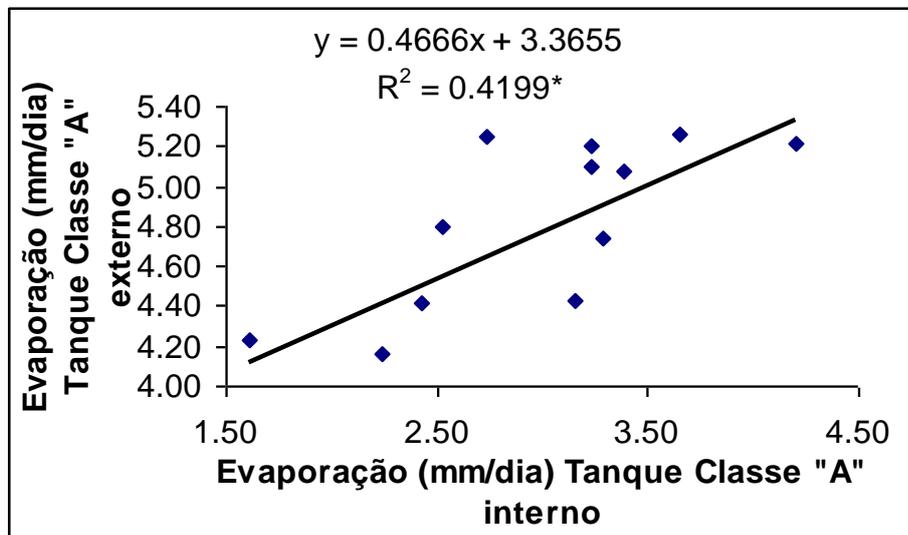
As comparações entre as temperaturas médias do ar na parte externa à estufa com as temperaturas internas mostram que há correlação entre as duas sendo assim possível estimar uma temperatura em relação à outra (Figura 5).



* Significativo a 5%.

Figura 5: Relação de Temperatura média do ar interna e externa à estufa

A evaporação média no mês de julho na altura de 0,40, 0,80 e 1,20 m foi de 2,38, 2,34 e 2,21 mm respectivamente. Para o mês de agosto e evaporação foi de 3,42, 3,52 e 3,34 mm para 0,40, 0,80 e 1,20 m respectivamente. Com relação ao mês de setembro a evaporação média diária para as mesmas foram de 2,98, 3,17 e 3,06 mm. Para os meses de agosto e setembro a temperatura média foi um pouco mais elevada de 22,5 e 21,7 °C respectivamente, em relação ao mês de julho (19,3°C). Essa variação de temperatura pode ter influenciado na distribuição da evaporação para o mês de julho sendo maior na altura de 0,40 m do solo, concordando com os resultados obtidos por Souza (2003), que encontrou valores de evaporação em ambiente protegido de aproximadamente 2,80 mm no Tanque Classe “A”.



* Significativo a 5%.

Figura 6: Relação entre a evaporação média diária do Tanque Classe “A” instalado no interior da estufa e um Tanque Classe “A” instalado ao ar livre.

Neste mesmo trabalho, Souza, encontrou semelhante variação espacial de evaporação trabalhando com microevaporímetros, nas alturas de 0,50, 1,00 e 1,50 m de altura com estufa orientada no mesmo sentido.

Visando determinar as relações existentes entre as médias diárias de evaporação, obtidas nos ambientes internos e externos à estufa, a partir de medidas feitas no tanque Classe “A”, foi realizada análise de regressão linear. Na Figura 6 está representada a equação obtida e o coeficiente de determinação. Nota-se que há correlação entre as evaporações, podendo assim estimar-se a evaporação interna através da externa.

Segundo Braga, comparando-se as observações de evaporação ocorridas no interior da estufa plástica e no meio externo, e a possibilidade de estimar a evaporação, por meio de mensurações efetuadas no tanque Classe “A”, instalado no ambiente externo à estufa, o que evitaria a inconveniência de instalar-se um tanque no interior da estufa, que além de ocupar a área que poderia ser cultivada, pode vir a ocasionar um aumento da umidade relativa do ar nesse ambiente, criando um meio mais propício à ocorrência de doenças.

Segundo Klar(1988) a evapotranspiração é influenciada além de outras variáveis, pela umidade relativa do ar, que é maior no local onde o tanque Classe “A” está instalado, afetando assim diretamente a evapotranspiração das plantas próximas do local. A figura 7 mostra claramente a influência do tanque Classe “A” (instalado no centro) na distribuição evaporação ao longo da estufa.

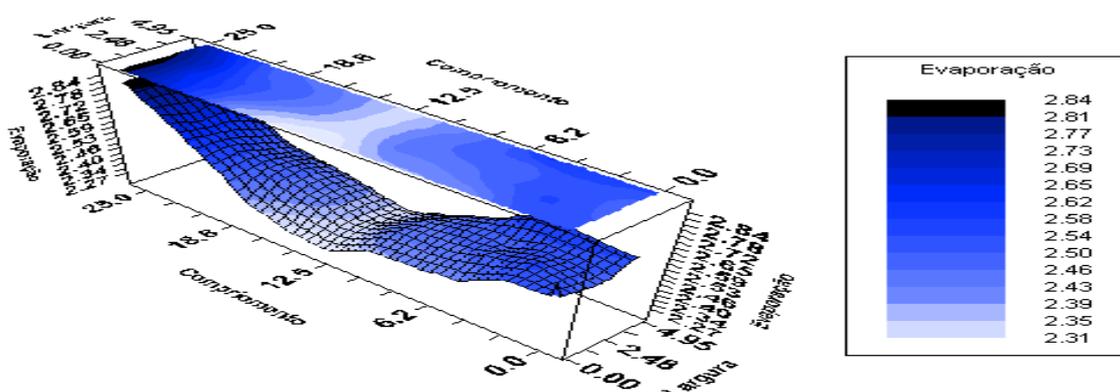


Figura 7 . Distribuição espacial da evaporação no mês de Julho na altura de 0,40m.

As evaporações no Tanque Classe “A” instalado no interior do ambiente protegido foram menores em relação ao exterior, concordando com os dados obtidos por Braga (2000), Teodoro et al.(1993), Prados (1986) e Monteiro et al. (1985), provavelmente devido à ausência de ventos e diminuição da radiação de ondas curtas no interior da estufa.

6 CONCLUSÃO

Ocorreu variabilidade espacial nas diferentes regiões e alturas dos microevaporímetros, com maior evaporação na altura mais próxima do solo no mês de julho.

O tanque Classe “A” não difere significativamente na evaporação em relação aos microevaporímetros, sendo que estes podem substituí-lo, com a vantagem de avaliar toda a estufa, bem como analisar pontualmente as variações de evaporações em toda a extensão.

O tanque Classe “A” influencia diretamente na distribuição da evaporação ao longo da estufa.

Pode-se estimar a evaporação interna do ambiente através de medições em um tanque Classe “A” instalado fora do ambiente protegido.

A temperatura do ar interna ao ambiente protegido pode ser estimada através de temperaturas do ar externas.

7 BIBLIOGRAFIA

ANDRIOLO, J. L. **Fisiologia das culturas protegidas**. Santa Maria: Ed. da UFSM, 1999, 142p.

BRAGA, M. B. **Manejo da irrigação e orientação geográfica de estufas na produção do pimental (*Capsicum annuum L.*)**, 2000. 85p. Tese (Doutorado em Agronomia Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônomicas - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.

BORGELT, S.C. et al. Spatially variable liming rates: a method for determination. *Transactions of the ASAE*. St Joseph, v. 37, n. 5, p.1499-1507, 1994.

BAKHSI, A. et al. Spatial distribution of soil attributes affecting crop yield. *Transactions of the ASAE*. St Joseph, v. 40, n. 5, p.1016-1032, 1997.

BATISTA, I. F.; ZIMBACK, C. R. L.; VETTORATO, J. A. Variabilidade espacial da umidade do solo em irrigação por gotejamento sob cultivo protegido. **IRRIGA: Brazilian Journal of Irrigation and Drainage**, v. 7, n. 3, p. 201-213, jan./abr., 2002.

DELLA VECCHIA P. T.; KOCH, P. S. História e perspectivas da produção de hortaliças em ambiente protegido no Brasil. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 20, n. 200/201, p. 5-10, set/dez 1999.

DEUTSCH, C. V.; JOURNEL, A. G. **GSLIB. Geostatistical software library**, New York, Oxford University Press, 1998. Não paginado.

GOTO, R. Plasticultura nos trópicos: uma avaliação técnico-econômica. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 15, p. 163-165, 1997. Suplemento.

SANTOS, R. F. **híbridos de pimentão cultivados em ambiente protegido e convencional, fertirrigado com doses de N + K, e avaliação da distribuição da evaporação**. Botucatu, 2001. 162p. Tese (Doutorado em Agronomia / Irrigação e drenagem), Faculdade de Ciências Agrônomicas-Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

GS+. **GS+**. Geostatistical for environmental sciences: version 5.0. Michigan: Gamma Design Software, 2000.

SGANZERLA, E. **Nova agricultura: a fascinante arte de cultivar com plásticos**. 6 ed. Guaíba: Agropecuária, 1997. 341p.

SOUZA, C.M.P, **Alterações em elementos agrometeorológicos relacionados com a orientação geográfica de estufa de polietileno.** .), 2003. 85p. Tese (Doutorado em Agronomia –irrigação e drenagem), Faculdade de Ciências Agrônômicas - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

TAPIA, G. J. Filmes técnicos para invernadores. **Revista Plásticos Modernos**, Madri, v. 295, n.1, p 75-82, 1981.

ZACHARIAS, S., HEATWOLE, C. D., CAMPBELL, J. B. Spatial trends in the texture, moisture content, and pH of Virginia Coastal Plant soil. **Transactions of the ASAE**, St Joseph, v. 40, n. 5, p.1277-1284, 1997.