

CONDUTÂNCIA FOLIAR À DIFUSÃO DE VAPOR E TRANSPIRAÇÃO EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA DA FOLHA DE PLANTAS DE ALFACE SOB CULTIVO HIDROPÔNICO

Felipe Gustavo Pilau¹; Reinaldo Antônio Garcia Bonnacarrère²; Durval Dourado Neto^{3,6}; Sandro Luis Petter Medeiros⁴; Paulo Augusto Manfron⁵.

RESUMO: Os extremos de temperatura denominados de "temperaturas cardeais ou basais" para a cultura da alface são muito variáveis, encontrando-se valores como 4,4°C e 21,1°C, 6°C e 30°C, entre outras citações. Como forma de verificação do efeito destas temperaturas sob a cultura, almejando-se determinar a faixa de temperatura adequada para cultivo, tem-se utilizado a produção de fitomassa fresca ou seca, e também o tempo para pendoamento e florescimento. Com o incremento do cultivo protegido de plantas, intensificou-se o estudo das respostas das plantas a esses diferentes meios de produção, principalmente referindo-se influência da temperatura do ar ou do próprio dossel. Assim, avaliando-se a condutância foliar a difusão de vapor em relação à temperatura da folha de plantas de alface cultivadas em hidroponia, verificou-se que quando a temperatura da folha é igual ou superior a 27,5°C, a condutância foliar a difusão de vapor é intensificada, destacando dessa forma que esse valor de temperatura da folha pode ser o ponto inicial do limiar superior de temperatura da folhagem com relação ao adequado crescimento e desenvolvimento das plantas.

Palavras-chave: *Lactuca sativa*, alta temperatura, estômato, estufa, hidroponia.

LEAF CONDUCTANCE TO VAPOR DIFFUSION AND TRANSPIRATION AS A FUNCTION OF LEAF TEMPERATURE OF LETTUCE PLANTS UNDER HIDROPONICS CULTURE

ABSTRACT: The denominated temperature "cardinal or basal temperatures" for the lettuce crop are very variable, reaching values like 4,4°C and 21,1°C, 6°C and 30°C, among other citations. As a form of verification of the effect of these temperatures under the culture, trying to determine the appropriate strip temperature for the culture, fresh and dry mass production has been using, and also the time for flowering and silking. As a result of the increment of the protected cultivation of plants, it has been intensified the study of the plants behavior the those different production means, mainly referring influence of the air and canopy temperature. So, leaf conductance to vapor diffusion was correlated to leaf temperature of lettuce plants under hydroponics system, and it was verified that when the leaf temperature is equal or superior to 27,5°C, the leaf conductance to vapor diffusion is intensified, detaching that this value of leaf temperature can be the initial point of the superior threshold in relation of adjusted growth and development of plants.

Keywords: *Lactuca sativa*, high temperature, stomatal, greenhouse, hidroponics.

¹Engenheiro Agrônomo, Doutorando em Física do Ambiente Agrícola. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Av. Pádua Dias, 11, C.P. 9 Cep. 13418-110. fgpilau@esalq.usp.br

²Engenheiro Agrônomo, Doutorando em Fitotecnia. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP. Piracicaba, SP. rabonnec@esalq.usp.br

³Doutor Prof. Associado do Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", USP. Piracicaba, SP.

⁴Doutor Prof. Adjunto do Departamento de Fitotecnia. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS.

⁵Doutor Prof. Titular do Departamento de Fitotecnia. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

⁶Pesquisador CNPq

INTRODUÇÃO

A alface (*Lactuca sativa* L.) apresenta uma faixa de temperatura ótima para crescimento e desenvolvimento, com pontos extremos, sendo que valores inferiores ou acima desses podem cessar ou reduzir a taxa de crescimento das plantas. Os extremos de temperatura denominados de "temperaturas cardeais ou basais" são muito variáveis. MADARIAGA & KNOTT (1951) e SLACK *et al.* (1994) *apud* SILVA *et al.* (1999) sugerem os valores de 4,4°C e 21,1°C, como as temperaturas cardeais da alface. Segundo CERMEÑO (1977), temperaturas cardeais seriam iguais a 6°C e 30°C, e já para SEGNER *et al.* (1991), a temperatura recomendada para a cultura não deveria ser nunca superior a 24,1°C.

A forma de verificação do efeito da temperatura do ar sob a cultura da alface, almejando-se determinar realmente a faixa de temperatura adequada para a cultura, é através da determinação da produção de fitomassa fresca ou seca, assim como relatado por ODA & AOKI (1988), os quais observaram que o maior acúmulo de fitomassa fresca em plantas de alface foi quando a temperatura do ar permaneceu entre 25°C a 30°C, em função da taxa fotossintética ser ótima neste intervalo de temperatura.

O tempo para pendoamento e florescimento juntamente a produção de fitomassa também é utilizado para verificar o efeito da temperatura do ar. DELISTOIANOV (1997) relata que em condições de temperatura do ar superior a 30°C, a alface responde antecipando a emissão da haste floral, comprometendo o crescimento vegetativo e desqualificando o produto com acúmulo de látex. Da mesma forma, SILVA *et al.* (1999) assinala a tendência ao pendoamento precoce principalmente quando cultivadas em condições de temperaturas mais elevadas, 23,7°C e 27,5°C.

A utilização das mais variadas técnicas de produção como cultivo em solo ou em substrato com a freqüente utilização de fertirrigação, e também o cultivo hidropônico, requerem estudo das respostas das plantas à esses diferentes meios de produção, principalmente referindo-se influência da temperatura do ar ou do próprio dossel. Isso porque no interior de estufas os valores de temperatura são superiores aos registrados em ambiente natural (dias claros e sem nuvens), pois ocorre uma menor perda de calor no ambiente pela redução do movimento de ar dentro da estrutura.

Na tentativa de melhor verificar então a resposta da cultura da alface a temperatura do ar no interior de estufa plástica, BORCIONI (2003) cita que para a cultivar de alface Regina cultivada em hidroponia, a temperatura de 30°C não foi limitante para seu crescimento.

As plantas apresentam resposta estomática diretamente influenciada pelas condições ambientais a que estão submetidas, como radiação solar incidente, déficit de pressão de vapor do ar, temperatura do ar, suprimento hídrico, vento, concentração de CO₂ no ambiente e na câmara estomática, e a própria temperatura do dossel, a qual em condições de cultivo onde não ocorra déficit hídrico tende a similaridade com a temperatura do ar, e assim como essa, representa de modo geral o balanço de energia do sistema de cultivo.

Em função da alta variação de valores de temperaturas cardeais recomendadas para a cultura da alface, principalmente para os genótipos de alface cultivados no Brasil, o trabalho objetivou determinar a influência da temperatura da folha sobre a condutância foliar à difusão de vapor de plantas de alface produzidas em sistema hidropônico.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental do Núcleo de Pesquisas em Ecofisiologia e Hidroponia (NUPECH), no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, de outubro de 2000 a abril de 2001, em estufa plástica de 250 m² de área, coberta com filme plástico do tipo policloreto de vinil (PVC), com 200 µm de espessura.

Utilizou-se a cultivar Regina, sendo as mudas produzidas em bandejas no sistema *floating*., utilizando-se a solução nutritiva proposta por CASTELLANE & ARAUJO (1995), preparada e diluída para 25% de sua concentração recomendada.

Com 4 a 5 folhas definitivas, as plantas foram transplantadas ao berçário, para aumentarem a parte aérea e sistema radicular, obtendo assim uma melhor sustentação nas bancadas de produção final. No

berçário utilizou-se a solução nutritiva proposta por CASTELLANE & ARAÚJO (1995), diluída a 50% de sua concentração recomendada.

Tanto no *floating* quanto no berçário, foi realizado o acompanhamento da solução nutritiva a cada 48 horas, efetuando-se a reposição de água, medindo-se a condutividade elétrica e pH da solução, mantendo-o na faixa de 5,8 a 6,2.

Após a etapa de berçário, realizaram-se nas referidas datas os transplantes para as bancadas de produção final (Tabela I).

T15/30 - período de irrigação de 15 minutos a cada intervalo de 30 minutos no período diurno.

No período noturno (19:00 às 06:00 h), o período entre irrigações foi idêntico nos dois tratamentos, adotando-se um período de 15 minutos de irrigação a cada intervalo de 2 horas.

O delineamento experimental foi blocos ao acaso com três repetições. Para cada tratamento, utilizaram-se duas bancadas de produção final, usando-se cinco dos seis canais de cultivo, dando um total de 140 plantas por tratamento.

Tabela I - Datas de semeadura, transplante para o berçário (Transp. B.), transplante para bancadas de produção final (Transp. P.F.) dos cultivos conduzidos durante o período experimental.

Datas	Cultivo 01	Cultivo 02	Cultivo 03	Cultivo 04	Cultivo 05
Semeadura	19/09/2000	19/10/2000	28/11/2000	09/01/2001	13/02/2001
Transp B.	18/10/2000	14/11/2000	26/12/2000	29/01/2001	06/03/2001
Transp. P.F.	30/10/2000	27/11/2000	03/01/2001	12/02/2001	13/03/2001

As bancadas de produção final eram formadas de telhas de fibro-cimento de 1,10 m x 3,66 m com seis canais de cultivo de 5,0 cm de profundidade. Para a sustentação das plantas utilizou-se placas de isopor com 2 cm de espessura, perfuradas com orifícios de 5 cm de diâmetro. O espaçamento utilizado foi de 25 cm entre plantas no mesmo canal e 22 cm entre plantas de canais distintos, com distribuição de forma triangular.

Na etapa de produção final utilizou-se a solução nutritiva recomendada por CASTELLANE & ARAÚJO (1995), preparada a 75% de sua concentração recomendada. A solução nutritiva foi distribuída nos canais de cultivo através de um conjunto moto-bomba de 0,5 HP, com uma vazão de 1,5 L.min⁻¹ de solução nutritiva por canal de cultivo, e recolhida no final da bancada de cultivo através de uma calha coletora, retornando ao reservatório. Realizou-se também a reposição de água, acompanhamento da condutividade elétrica e o controle do pH da solução nutritiva, mantendo este na faixa de 5,8 a 6,2.

Os tratamentos utilizados e avaliados na etapa de produção final consistiram de dois intervalos entre irrigações durante o período diurno, (06:00 às 19:00 h): T15/15 - período de irrigação de 15 minutos a cada intervalo de 15 minutos no período diurno.

As avaliações da condutância foliar à difusão de vapor (G_{va}) foram realizadas nos cinco cultivos sucessivos no período compreendido entre outubro de 2000 e abril de 2001, utilizando-se um Porômetro Li-1600 (*Steady State Porometer*). Os dados de temperatura da folha e radiação fotossinteticamente ativa (RFA), da mesma forma, também foram obtidos com a utilização do porômetro, sendo a temperatura da folha obtida por um termopar acoplado a câmara de leitura do instrumento que permanece em contato com a mesma durante as leituras, e a RFA por um piranômetro de fotodiodo de silício acoplado lateralmente a câmara do instrumento. As medidas foram realizadas durante os cinco minutos finais dos períodos em que as plantas estavam sendo irrigadas e daqueles em que as plantas permaneciam sem irrigação. Foram utilizadas três plantas por tratamento, selecionadas no momento da primeira medida, utilizando-se duas folhas intermediárias de cada planta para se proceder as avaliações. Efetuaram-se as leituras nos cinco experimentos durante um dia, no período diurno (Tabela II).

Para realizar-se as medidas nas 12 folhas utilizadas como repetições despendia-se aproximadamente 30 minutos, pois era necessário aguardar os momentos finais dos períodos de irrigação

Tabela II - Dias e horários das medidas de condutância foliar a difusão de vapor d'água.

Cultivo	Dia da leitura (DAT)*	Horários					
1	18	08:15	09:30	10:45	13:30	15:00	16:15
2	16	08:00	10:30	13:30	15:00	16:30	**
3	14	08:00	10:30	13:30	15:00	*	*
4	16	08:00	10:30	13:00	15:00	17:00	**
5	6	08:15	10:30	13:00	15:00	16:30	**

DAT* - Dias após transplante; * - período com chuva; ** - sem medida

e sem irrigação, sendo que os horários indicados na Tabela II representam o momento da leitura na primeira folha.

autores, valores inferiores a $32 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, pela ocorrência de chuva, não induziram a abertura estomática.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) durante os períodos de leituras apresentaram alta variação para um mesmo horário de medida decorrente dos diferentes ângulos azimutais das folhas e dos diferentes graus de nebulosidade ocorridos durante os dias de medidas (Figura 1).

Segundo ODA & AOKI (1988), em estudo com a cultura da alface, a máxima taxa fotossintética registrou-se a temperatura de 25°C , com os pontos de compensação e saturação lumínica de respectivamente $32 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ e $1726 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. Conforme esses

Salienta-se que durante as medidas, valores inferiores a $32 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ foram registrados apenas durante as medidas no terceiro cultivo, a partir das 13:30 h, descartando-se então os valores de Gva destes períodos para se proceder as avaliações, na tentativa da exclusão de erros referentes à resposta estomática relacionada à baixa RFA e não mais a temperatura da folha.

Observa-se na Figura 2, tomando-se valores de temperatura inferiores a $27,5^{\circ}\text{C}$, que para o tratamento T15/15 os valores de Gva oxilaram entre o mínimo de $1,730 \text{ mm.s}^{-1}$ e $7,692 \text{ mm.s}^{-1}$, e no tratamento T15/30 entre $1,517 \text{ mm.s}^{-1}$ e $8,696 \text{ mm.s}^{-1}$. Verifica-se que a faixa de variação dos resultados entre ambos os

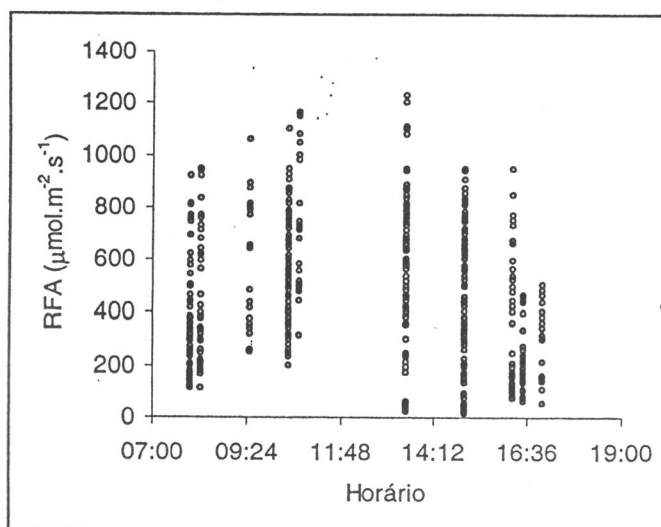


Figura 1 - Valores de Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA) durante os momentos de medidas.

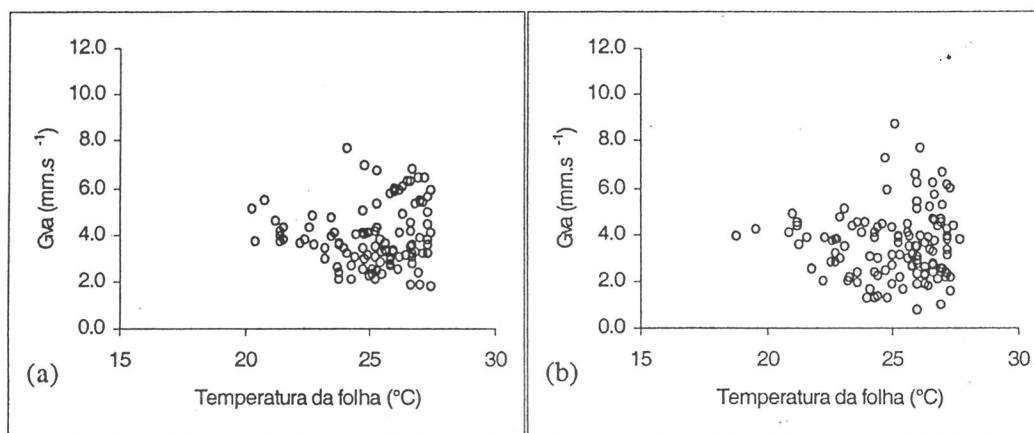


Figura 2 - Condutância foliar à difusão de vapor em função de valores de temperatura da folha inferiores a 27,5°C. Intervalos entre irrigações: T15/15 (a) e T15/30 (b).

tratamentos foi muito semelhante, podendo-se assim considerar que o suprimento hídrico de ambos os tratamentos foi adequado à cultura, assim como já demonstrado em PILAU *et al.*, 2002. Ainda, avaliando-se trabalhos com outras espécies submetidas a estresse hídrico, os valores citados Gva são muito inferiores aos encontrados, como apresentados por SILVA *et al.* (1998), com resistência estomática de 15 s cm⁻¹ ou Gva de 0,66 mm.s⁻¹ para a cultura do amendoim em déficit hídrico, e BRUNINI & CARDOSO (1998) citando resistência estomática superior a 160 s cm⁻¹ ou Gva de 0,062 mm.s⁻¹ para clones de seringueira sob déficit hídrico.

Desta forma sugere-se que a resposta estomática está sendo influenciada por outros parâmetros que regem seu mecanismo de abertura e fechamento, entre eles o objetivo do estudo que é a temperatura da folha. Entre esses outros parâmetros pode-se destacar a temperatura e o déficit de pressão de vapor do ar, utilizados por IDSO *et al.*, 1981 e IDSO, 1982, na determinação de uma linha base de determinação da ausência de estresse hídrico para várias culturas de interesse agrícola.

Como os valores de condutância foliar à difusão de vapor em ambos os intervalos de irrigação utilizados foram superiores aos citados por outros autores, assume-se que T15/30 foi eficiente na irrigação da cultura, mesmo apresentando valores de Gva inferiores a T15/15.

Já, analisando-se a Figura 3, verifica-se que com a ocorrência de valores de temperatura da folha iguais ou superiores a 27,5°C, têm-se valores máximos de Gva muito superiores aos verificados em temperatura da folha inferiores a 27,5°C (Figura 2). Na Figura 3 a,b os valores oxilaram respectivamente entre 1,795mm.s⁻¹ e 33,333 mm.s⁻¹ e entre 0,328 mm.s⁻¹ e 23,256 mm.s⁻¹. Os valores máximos e mínimos de Gva registrados no Figura 3a, referente a T15/15, sugerem que a maior frequência de irrigação proporcionou as plantas desse tratamento uma Gva superior, porém não podendo-se afirmar que o tratamento T15/30 tenha limitado a perda de água pelas plantas, pois como já mencionado, os valores ainda são muito superiores a valores de Gva relatados em trabalhos sobre a resposta estomática de algumas culturas frente ao estresse hídrico.

Como a abertura e fechamento estomático são comandados por fatores como RFA, déficit de pressão de vapor do ar, temperatura do ar e da folha, suprimento hídrico a planta, concentração de CO₂ no interior da câmara estomática e no ar, entre outros fatores, é de grande dificuldade se determinar qual destas variáveis que em determinado momento apresenta a maior influência sobre a resposta do estômato. Dessa forma, assume-se que a alta variabilidade dos valores de Gva correlacionados a temperatura da folha (Figura 2 e 3), é decorrente da sobreposição do efeito de algum dos parâmetros mencionados na resposta estomática em relação à temperatura da folha, destacando-se possivelmente o déficit de saturação do ar e alta variabilidade da RFA nos momentos de leituras (Figura 1).

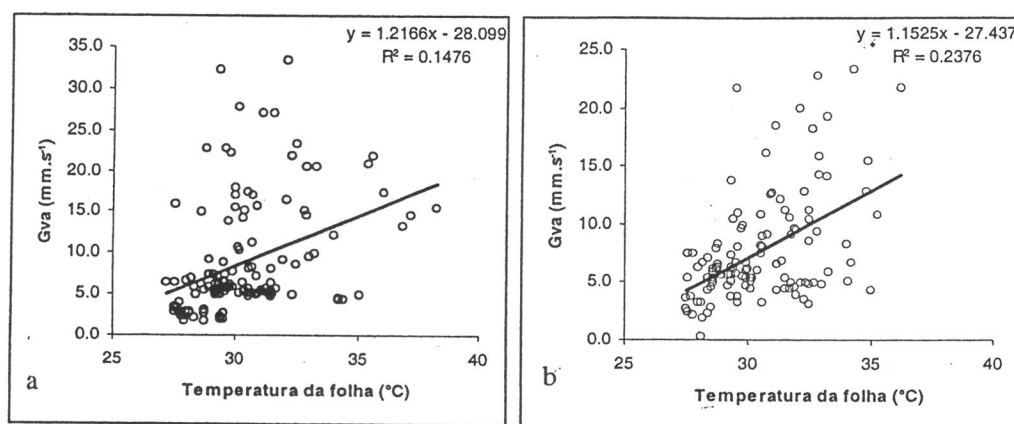


Figura 3 - Condutância foliar à difusão de vapor em função apenas dos valores de temperatura da folha superiores a 27,5°C. Intervalos entre irrigações: T15/15 (a) e T15/30 (b).

A eficiência de irrigação dos tratamentos testados são reforçada quando analisa-se os valores de transpiração em função da temperatura da folha, Figura 4, destacando-se o alto incremento em perda de água pela planta a partir de aproximadamente 27,5°C, e intensificando-se ainda mais a partir dos 30°C. IDSO *et al.*, 1981 destacam que com a depleção da quantidade de água junto a zona radicular, que ocorria no experimento durante os períodos em que as plantas permaneciam sem irrigação, e com o aumento da taxa de demanda evaporativa da atmosfera decorrente do aumento do déficit de pressão de vapor do ar, a transpiração é incrementada até o valor de transpiração potencial, e juntamente a este incremento ocorre o aumento da temperatura da folha. Porém este aumento chega a um limite e a partir daí ocorre o fechamento estomático, pois a planta não possui mais

a capacidade de resfriar-se através da transpiração, pois a demanda passa a ser maior que sua capacidade de absorção de água. Assim, pode-se inferir que o valor de temperatura da folha de 27,5°C é um limiar de temperatura superior para o cultivo da alface.

Observando-se os resultados analisados, verifica-se que para o caso em estudo, a diferença entre os valores máximos de Gva observados entre Figura 2a e 3a para T15/15 e Figuras 2b e 3b para T15/30 apresentam uma ordem de aumento de 300% e 160% respectivamente. Esses altos incrementos em Gva sugerem que a partir de valores de temperatura da folha superiores a 27,5°C as plantas de alface tendem a incrementar a perda de água objetivando reduzir a temperatura do dossel a níveis benéficos ao seu metabolismo.

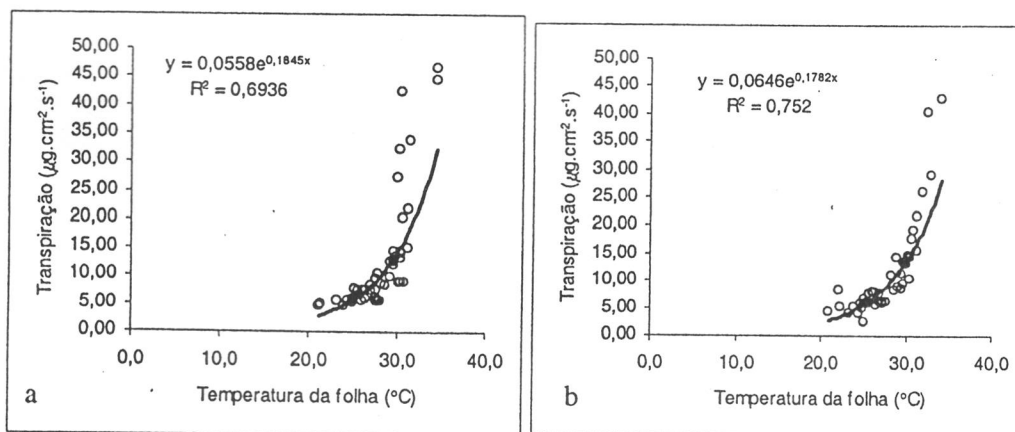


Figura 4 - Transpiração em função dos valores de temperatura da folha. Intervalos entre irrigações: T15/15 (a) e T15/30 (b).

CONCLUSÕES

Conforme os resultados, o valor de 27,5°C surge como ponto inicial do limiar superior de temperatura da folhagem com relação ao adequado crescimento e desenvolvimento das plantas. Como as demais variáveis influentes sob o mecanismo estomático foram excluídas das análises, sugere-se que outros trabalhos sejam realizados de forma a esclarecer as interações existentes entre a resposta estomática e essas, podendo-se determinar suas influências em determinadas condições de cultivo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BORCIONI, E.; LUZ, G.L. da; MEDEIROS, S.L.P., PILAU, F.G.; MANFRON, P.A. (2003). Temperaturas do ar elevadas limitantes ao crescimento da alface. *Anais XIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia*, v.1, p. 487-488.
- BRUNINI, O.; CARDOSO, M. (1998). Efeito do déficit hídrico no solo sobre o comportamento estomático e potencial da água em mudas de seringueira. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.33, n.7.
- CASTELLANE, P.D. & ARAUJO, J.A.C. (1995). *Cultivo sem solo-hidroponia*. Jaboticabal: FUNEP, 43p.
- CERMEÑO, Z. S. (1977). *Cultivo de plantas hortícolas em estufa*. Lisboa: Ed. Litexa, 368 p.
- DELISTOIANOV, F. (1997). Produção, teores de nitrato e capacidade de rebrota de cultivares de alface, sob estufa, em hidroponia e solo, no verão e outono. Viçosa: UFV, 76p. (Dissertação de Mestrado)
- IDSO, S.B.; JACKSON, R.D.; PINTER, P.J.; REGINATO, R.J. HATFIELD, J.L. (1981). Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. *Agricultural Meteorology*, 24, 45-55.
- IDSO, S.B. (1982). Non-water-stressed baselines: a key to measuring and interpreting plant water stress. *Agricultural Meteorology*, 27, 59-70.
- ODA, M.; AOKI, S. (1988). Application of monitoring fresh weight to analyzing growth responses to air temperature and light intensity in leaf lettuce. *Acta Horticulture*, p.230.
- PILAU, F.G.; MEDEIROS, S.L.P.; MANFRON, P.A.; BIANCHI, C.; CARON, B.O., BONNECARRÉRE, R.A.G. (2002). Influência do intervalo entre irrigações na produção e nas variáveis fisiológicas da alface*hidropônica. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.10, n.2, p. 237-244.
- SEGINER, I.; SHINA, G. ALBRIGHT, L.D.; MARSH, L.S. (1991). Optimal temperature setpoints for greenhouse lettuce. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 49, p. 209-226.
- SILVA, E. C. da; LEAL, N. R.; MALUF, W. R. (1999). Avaliação de cultivares de alface sob altas temperaturas em cultivo-protegido em três épocas de plantio na região norte-fluminense. *Ciência Agrotécnica*, Lavras, v.23, n.3, p.491-499, jul./set.
- SILVA, E.L.; MARTINEZ, L.F.; YITAYEW, M. (1999). Relação entre coeficientes de cultura e graus-dia de desenvolvimento da alface. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v.17, n.2, p 134-142.
- SILVA, L.C.; FILHO, J.F.; BELTRÃO, N.E.M.; RAO, T.V.R. (1998). Variação diurna da resistência estomática à difusão de vapor de água em amendoim irrigado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.33, n.3.

Revista
**Científica
Rural**

Revista Técnico-Científica

ISSN 1413-8263

Vol. 9 N°02 - 2004

