

ISSN 0104-1347

## Eficiência de conversão da radiação solar fotossinteticamente ativa interceptada em fitomassa de alface<sup>1</sup>

Efficiency of the conversion of photosynthetically active  
radiation dry-matter in lettuce

Braulio Otomar Caron<sup>2</sup>, Sandro Luis Petter Medeiros<sup>3</sup>, Paulo Augusto Manfron<sup>4</sup>, Denise Schmidt<sup>5</sup>, Cleusa Bianchi<sup>6</sup> e Sandro Felisberto Pommer<sup>6</sup>

**Resumo** - Em uma mesma época, plantas cultivadas dentro e fora da estufa plástica encontram-se submetidas a condições meteorológicas diferentes devido à alteração ocasionada pela cobertura plástica. A produção de fitomassa seca depende da eficiência de conversão da radiação solar fotossinteticamente ativa interceptada em fotoassimilados, a qual varia com as condições do ambiente. O presente trabalho tem por objetivo quantificar a eficiência de conversão da radiação solar fotossinteticamente ativa interceptada em fitomassa seca da alface cv. Regina conduzida em estufa plástica e ambiente natural. Foram determinados a radiação solar fotossinteticamente ativa interceptada, o índice de área foliar e a fitomassa seca da alface nos dois ambientes. A eficiência da radiação solar fotossinteticamente ativa interceptada em fitomassa variou de 1,28 g MJ<sup>-1</sup> no cultivo de verão, a 1,8 g MJ<sup>-1</sup> no cultivo de primavera, no ambiente de estufa. Para o ambiente natural, os valores oscilaram desde 0,72 g MJ<sup>-1</sup> no cultivo de verão/outono até, 1,4 g MJ<sup>-1</sup> no cultivo de outono. A maior eficiência de conversão no ambiente estufa determina maior acumulo de fitomassa.

**Palavras-chave:** estufa, cultivo a campo, radiação solar

**Abstract** - Dry matter production depends on the intercepted solar radiation by crop leaf area. The crops growing inside plastic greenhouse and field are submitted to different environmental conditions. The conversion efficiency of the intercepted radiation in dry matter is influenced by environmental conditions. The present study was carried out inside greenhouse and in field and aimed at to evaluate the conversion efficiency of the intercepted photosynthetically active radiation in dry matter of lettuce in two environmental conditions: greenhouse and field growth. In both conditions, It was determined photosynthetically, leaf index and dry matter production. In the field, the conversion efficiency of photosynthetically active radiation intercepted in dry matter varied from 0.72 g MJ<sup>-1</sup> on the summer and fall growing to 1.4 g MJ<sup>-1</sup> on the teh fall growing. In the greenhouse, conversion efficiency varied from 1.28 g MJ<sup>-1</sup> on the summer and fall to 1.8 g MJ<sup>-1</sup> on the fall growing season. The better conversion efficiency inside greenhouse increased dry matter production.

**Key words:** greenhouse, enviroment natural, radiation

### Introdução

A fonte primária para ocorrer o processo de acúmulo de fitomassa seca é a captação e conversão da energia solar incidente em energia química para

converter em fotoassimilados o carbono atmosférico absorvido. Da energia solar absorvida pelas folhas, somente uma fração, em torno de 20%, é convertida em energia química nas moléculas de açúcar, dando à fotossíntese uma eficiência teórica de 4%, a qual

<sup>1</sup>Extraído da tese de doutorado do primeiro autor.

<sup>2</sup>Dr. Prof. Adj. Depto de Agronomia da UNIR- Campus Rolim de Moura. RO. E-mail: otomarcaron@yahoo.com.br

<sup>3</sup>Dr. Prof. Adjunto do Departamento de Fitotecnia, CCR, Universidade Federal de Santa Maria.

<sup>4</sup>Dr. Prof. Titular do Departamento de Fitotecnia, CCR, Universidade Federal de Santa Maria.

<sup>5</sup>Dr. Prof. Adj. Departamento de Agronomia da UNIR- Campus Rolim de Moura. RO.

<sup>6</sup>Engenheiro (a) Agrônomo.

pode ser ainda menor quando o teor de dióxido de carbono ao redor da folha sofre redução. Somente parte da energia do fotossintato é convertida em biomassa, reduzindo a eficiência do processo todo entre 1% e 3% (GLIESSMAN, 2000).

A eficiência do processo de fotossíntese é determinada por alguns fatores, como a rota fotossintética usada pela planta para fixação do carbono atmosférico, às condições ambientais e o estágio de desenvolvimento da planta. Segundo MONTEITH (1977), a eficiência de conversão da radiação solar pode ser influenciada principalmente pela temperatura do ar e pelas condições hídricas. De acordo com GLIESSMAN (2000), entre as condições ambientais que podem afetar a taxa de fotossíntese estão a temperatura do ar, a intensidade e qualidade da luz, a duração de exposição, a disponibilidade de dióxido de carbono, a disponibilidade hídrica e a velocidade do vento.

Para a cultura do tomateiro, ANDRIOLO *et al.* (1998), não observaram diferença na fitomassa seca total acumulada para a região de Santa Maria - RS, onde o ambiente, com temperatura média do ar mais elevada, apresentou maior número de frutos e peso individual.

De acordo com BURIOL *et al.* (2000), a radiação solar global incidente pode tornar-se limitante para a cultura do tomateiro nos meses de junho e julho nas regiões da Depressão Central, Campanha, Serra do Nordeste e Litoral do Rio Grande do Sul. SANCHES *et al.* (1989) aplicaram sombreamentos (100, 75, 50 e 27% de redução da radiação solar global incidente) na cultura da alface e observaram que ocorreu diminuição no acúmulo de fitomassa conforme foi reduzida a intensidade luminosa, que variou de 140 a 211 J m<sup>-2</sup> s. Reduções de 50 e 27% na radiação solar global incidente foram limitantes para o crescimento, principalmente a partir do estágio da quarta folha.

A faixa de comprimento de onda da radiação solar global incidente, situada entre 400 e 700 nanômetros, constitui a fração da energia radiante fotossinteticamente ativa (RFA). Ao atingir o topo de uma população de plantas, nem toda RFA incidente (RFA<sub>inc</sub>) será prontamente interceptada ou absorvida pela população de plantas. Isso porque, ao atingir essa superfície, uma fração é refletida (RFA<sub>r</sub>) para a atmosfera pela própria planta e parte pelo solo. Outra fração da RFA é transmitida (RFA<sub>t</sub>) pelo dossel

vegetativo e pode atingir o solo, conforme o índice de área foliar (IAF). Quando a RFA<sub>t</sub> atinge o solo, uma fração será refletida pelo solo (RFA<sub>rs</sub>) podendo ser absorvida pela cultura.

A radiação fotossinteticamente absorvida (RFA<sub>a</sub>) depende das densidades de fluxos de radiação que chegam e saem do dossel de plantas e devem ser medidas acima e abaixo desse. No entanto, as plantas crescem em resposta à quantidade total de RFA<sub>a</sub> pelas suas folhas, assim necessitam assim a integração dessa absorção no tempo.

A percentagem de RFA na radiação solar global incidente tem sido considerada como constante para uso prático. Para as condições do Rio Grande do Sul, ASSIS & MENDEZ (1989), realizando trabalhos em Pelotas, verificaram que a RFA corresponde a 47% da radiação solar incidente. Da mesma maneira, PANDOLFO (1995), para as condições de Eldorado do Sul/RS, encontrou valores correspondentes à RFA de 43%.

A produção da fitomassa seca da cultura é função da radiação fotossinteticamente ativa e da eficiência de conversão desta em fitomassa seca (GOSSE, 1994), e esta eficiência pode ser uma variável utilizada em modelos de simulação para gerar a fotossíntese líquida de uma cultura. Após a simulação da fitomassa seca, simula-se a sua distribuição e acúmulo entre os órgãos em crescimento.

A estimativa da produtividade das culturas é uma prática utilizada para potencializar os ambientes e épocas de cultivo. Face ao exposto, utiliza-se modelos que simulam o crescimento das culturas. Dentre os modelos simplificados para estimar a produtividade das culturas, destaca-se o proposto por MONTEITH (1972), em que a fitomassa produzida é função da radiação solar global incidente, da fração da energia fotossinteticamente ativa (RFA), da eficiência de interceptação da RFA e da eficiência de conversão em fitomassa seca da RFA no período considerado.

Considerando-se que a eficiência de conversão da radiação solar em fitomassa é uma variável frequentemente utilizada em modelos de simulação do crescimento das culturas, o objetivo deste trabalho foi determinar a eficiência de conversão da radiação solar fotossinteticamente ativa interceptada em fitomassa de alface, cultivada em ambiente natural e em ambiente de estufa, ao longo das estações do ano.

## Material e métodos

De acordo com MONTEITH (1977), a produção de fitomassa seca pode ser representada pela equação:

$$PMS = \epsilon b \cdot \Sigma RFAi \quad (1)$$

em que PMS é a produção de fitomassa seca; RFAi é a radiação solar fotossinteticamente ativa interceptada,  $\epsilon b$  é a eficiência de conversão da radiação RFAi em fitomassa seca produzida.

Dessa forma, a  $\epsilon b$  pode ser calculada por meio da relação entre a produção de fitomassa seca acumulada e a radiação solar fotossinteticamente interceptada envolvida na produção de fitomassa.

VARLET-GRANCHER et al. (1989) citam que a radiação fotossinteticamente ativa interceptada pode ser obtida pela equação:

$$RFAi = 0,95 \cdot (RFAinc)_* (1 - e^{-(k \cdot IAF)}) \quad (2)$$

em que RFAa é a radiação fotossinteticamente ativa interceptada, expressa em  $MJ m^{-2}$ ; K, uma constante adimensional que depende das propriedades óticas das folhas e da geometria do dossel vegetal (0,8); IAF, o índice de área foliar, adimensional; RFAinc, a radiação fotossinteticamente ativa incidente, expressa em  $MJ m^{-2}$ .

Ao longo das estações do ano, entre setembro de 1999 e junho de 2000 (Tabela 1), foram conduzidos sete experimentos a campo e em estufa. Utilizou-se a cultivar Regina com espaçamento de 0,30m entre plantas e 0,30m entre fileiras, coincidindo com o espaçamento dos gotejadores.

Os ambientes de cultivo foram estufa plástica (AE), com área de 240  $m^2$  e cultivo em ambiente natural (AN), em área adjacente à estufa. As plantas no ambiente estufa foram cultivadas em substrato (60% húmus e 40% casca de arroz natural) distribuí-

das em calhetões que continham três linhas com 21 plantas, perfazendo total de 63 plantas por calhetão. No ambiente natural as plantas foram cultivadas em solo, e os canteiros receberam as mesmas dimensões dos calhetões. As plantas foram coletadas às terças e sextas-feiras para os cultivos de primavera e verão. Para os cultivos de verão/outono, outono e inverno, as coletas foram realizadas todas às sextas-feiras. Em cada amostragem coletaram-se três plantas da fileira central de cada calhetão/canteiro por sistema de cultivo.

As variáveis avaliadas para determinar o crescimento da cultura foram a fitomassa seca da parte aérea, que foi subdividida em fitomassa seca de folhas, caule e restos (folhas menores 5cm e folhas senescentes). As avaliações foram realizadas, concomitantemente, no interior de estufa plástica e ambiente natural. As plantas foram secas em estufa com circulação de ar a 60°C, até atingirem massa constante.

A área foliar foi estimada por meio do “método de discos”, ou seja, coletaram-se discos do limbo foliar de todas as folhas que apresentavam comprimento maior que cinco centímetros. O número de discos variou de acordo com o número de folhas de cada planta, sempre coletando-se no mínimo dois discos por folha. Dessa maneira, calculou-se a área foliar de cada planta pela da equação:

$$AF = (n^{\circ} \text{ de discos} \cdot AD \cdot FSF) / FSD \quad (3)$$

em que AF é área foliar em  $m^2$ ; AD, a área dos discos em  $m^2$ ; FSF, a fitomassa seca das folhas (g) e FSD, a fitomassa seca dos discos (g).

O IAF foi determinado a partir da área foliar total de cada planta e da área de solo explorada por esta (0,09 $m^2$ ). Dessa maneira, calculou-se o IAF com base na equação:

$$IAF = AF / AES \quad (4)$$

**Tabela 1.** Datas de semeadura, transplante e colheita da alface nos experimentos em diferentes épocas do ano, no ambiente estufa (AE) e no ambiente natural (AN). Santa Maria, RS, 1999/2000.

Época	Semeadura	Transplante	Colheita	
			AE	AN
Primavera	29-09-1999	03-11-1999	26-11-1999	07-12-1999
Verão 1	18-12-1999	07-01-2000	04-02-2000	08-02-2000
Verão 2	04-01-2000	26-01-2000	22-02-2000	25-02-2000
Verão 3	19-01-2000	08-02-2000	07-03-2000	17-03-2000
Verão/Outono	10-02-2000	07-03-2000	04-04-2000	14-04-2000
Outono	21-03-2000	28-04-2000	26-05-2000	23-06-2000
Inverno	06-06-2000	04-07-2000	22-08-2000	05-09-2000

em que IAF é o índice de área foliar (adimensional); AF, a área foliar total da planta em m<sup>2</sup> e AES, a área de solo explorada pela planta em m<sup>2</sup>.

A radiação solar global incidente foi estimada por meio da equação de Ångström modificada por Prescott e Penman, com os coeficientes ajustados para Santa Maria - RS (ESTEFANEL *et al.*, 1990). Os valores dos elementos meteorológicos necessários para a estimativa foram obtidos na estação meteorológica da UFSM, situada a 100m da área experimental.

A fração da radiação fotossinteticamente ativa incidente foi estimada considerando-se como sendo 45% da radiação solar global incidente. Essa fração representa o valor médio daqueles encontrados para o Rio Grande do Sul por ASSIS & MENDEZ (1989) e PANDOLFO (1995). Dentro da estufa, a radiação solar global incidente foi estimada considerando a transmissividade da cobertura da estufa, que foi medida no início do desenvolvimento de cada cultivo, utilizando-se um piranômetro, obtendo-se os valores de 65% nos cultivos de inverno e outono e 70% para os cultivos de verão, verão/outono e primavera.

Dentro da estufa, os valores de temperatura do ar foram registrados por termohigrógrafo instalado em abrigos meteorológicos a 1,5m do solo. Para o ambiente natural, os valores de temperatura do ar foram registrados na estação meteorológica. A temperatura média do ar, para os dois ambientes, foi calculada com base na fórmula:

$$T_m = \frac{T_{9h} + T_x + T_n + 2(T_{21h})}{5} \quad (5)$$

em que T<sub>m</sub> é a temperatura média do ar; T<sub>9h</sub>, a temperatura do ar às nove horas; T<sub>x</sub>, a temperatura máxima do ar; T<sub>n</sub> a temperatura mínima do ar e T<sub>21h</sub>, a temperatura do ar às vinte e uma horas.

O valor mínimo de fitomassa verde de referência para se considerar encerrado o período experimental foi 200 g por planta.

## Resultados e discussão

A quantidade de fitomassa produzida no ambiente estufa foi maior quando comparada com a fitomassa produzida no ambiente natural, para a mes-

ma quantidade de radiação solar fotossinteticamente ativa acumulada (RFAac), nas diferentes épocas de cultivo, o que caracteriza maior eficiência fotossintética no ambiente estufa (Figura 1) e favorece a antecipação da duração do período de cultivo da cultura em relação ao ambiente natural.

A eficiência de conversão ( $\epsilon b$ ) de fitomassa da cultura da alface, em relação à quantidade de radiação solar fotossinteticamente ativa interceptada acumulada foi de 1,46, 1,3394, 1,7, 1,64 e 1,8 g MJ<sup>-1</sup> da radiação solar fotossinteticamente interceptada para o ambiente estufa, para os cultivos de verão (média de três experimentos), verão/outono, outono, inverno e primavera, respectivamente. Para o ambiente natural, a  $\epsilon b$  foi 0,91, 0,72, 1,40, 1,16 e 1,15 g MJ<sup>-1</sup> da radiação solar fotossinteticamente ativa interceptada para os mesmos cultivos (Figura 1).

A  $\epsilon b$  observada no cultivo de primavera no ambiente estufa (Figura 1) foi aproximadamente 41% maior comparando-se com o cultivo de verão 1. No ambiente natural, a  $\epsilon b$  no cultivo de outono foi aproximadamente 94% maior que no cultivo de verão/outono. Entre os ambientes, a maior diferença foi observada no cultivo de primavera, em que a  $\epsilon b$  no ambiente estufa foi aproximadamente 56% maior em relação ao ambiente natural. A menor diferença entre os ambientes observou-se no cultivo de outono, quando a  $\epsilon b$ , no ambiente estufa, foi aproximadamente 22% maior.

Quando se comparou a duração do período de cultivo da alface no ambiente estufa e ambiente natural (Tabela 2), constatou-se menor duração do período no ambiente estufa, ou seja, a colheita foi antecipada. A menor duração do período de cultivo pode ser atribuída a ação de dois fatores. Observa-se, na Tabela 2, que os valores de temperatura média (T<sub>m</sub>) no interior da estufa foram superiores àqueles verificados no ambiente externo. Tal constatação é corroborada por HERMES (2001), o qual cita que o ambiente estufa possibilita maior ganho térmico, possibilitando uma maior soma térmica no interior da estufa do que no mesmo período de cultivo em ambiente natural.

Ao considerar a duração do período de cultivo (Tabela 2) e os valores de  $\epsilon b$  (Figura 1), constatou-se que as maiores  $\epsilon b$  coincidiram com a diminuição do período de cultivo no ambiente estufa, dentro de uma mesma época. Dessa forma, a maior  $\epsilon b$  dentro do ambiente estufa favorece o maior acúmulo de fitomassa, antecipando a colheita.

A maior  $\epsilon b$  (41%) observada no cultivo de primavera em relação ao verão 1 foi conseguida com a antecipação do período de cultivo em cinco dias. O cultivo de primavera apresentou  $\epsilon b$  10% maior em relação ao cultivo de inverno, com antecipação de 26 dias na duração do período de cultivo. Nos cultivos verão, verão/outono e outono, a média da duração do período de cultivo após o transplante foi 28 dias. Dessa maneira, para o ambiente estufa no cultivo de primavera (Tabela 2), a combinação de menores valores da temperatura máxima do ar e menor intensidade luminosa favorecem a  $\epsilon b$ . Para o ambiente natural, a maior  $\epsilon b$  com menor duração do período de cultivo não foi observada, pois, para atingir a fitomassa estipulada, no cultivo de outono, que apresentou  $\epsilon b$  de 1,4 g MJ<sup>-1</sup>, necessitou-se de 56 dias para atingir o ponto de colheita considerado; contra 38 dias após o transplante no cultivo de verão/outono, que apresentou  $\epsilon b$  de 0,72 g MJ<sup>-1</sup>. Entre os ambientes, a maior  $\epsilon b$  (1,8 g MJ<sup>-1</sup>) no ambiente estufa, cultivo de primavera, foi conseguida com antecipação de 11 dias em relação ao ambiente natural que apresentou  $\epsilon b$  igual a 1,15 g MJ<sup>-1</sup>.

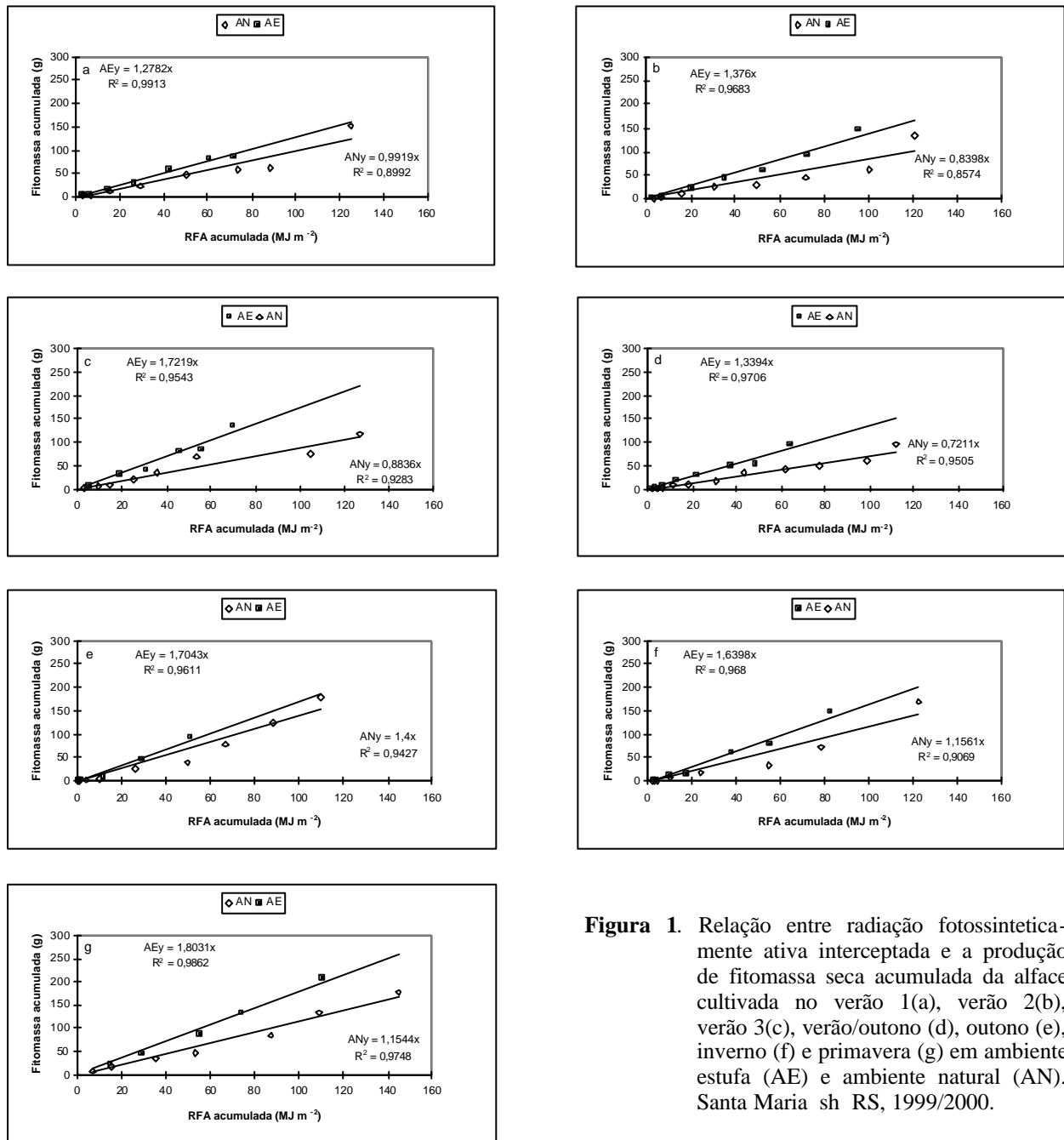
A maior eficiência energética aliada às melhores condições meteorológicas permite que as plantas tenham melhores condições para o crescimento e distribuição dos fotoassimilados dentro do ambiente estufa, comparada ao ambiente natural. Entretanto, o maior número de dias, após o transplante, necessários para atingir o ponto de colheita entre as estações de cultivo e entre os ambientes, indica que a  $\epsilon b$  foi influenciada por outras variáveis meteorológicas além do fluxo de densidade de radiação solar. Formação de geadas e temperaturas extremas que desfavoreçam o crescimento e distribuição de fotoassimilados, explicam o fato da menor  $\epsilon b$  no cultivo de inverno, no ambiente natural em relação ao cultivo de outono, conforme se observa nas Figuras 1e e 1f) e Tabela 2. Dessa maneira, à medida que o ambiente não favorece o crescimento e o acúmulo de fitomassa, foram afetadas a  $\epsilon b$  e a duração do período de cultivo.

De acordo com Tatsumi *et al.* apud TANAKA & GENTA (1982), a alface atinge a saturação de luz, com aproximadamente 800 Klx. As intensidades de radiação solar global incidente, aliadas a temperaturas do ar mais baixas, favoreceram a maior  $\epsilon b$  no cultivo de outono no ambiente estufa (Figura 1e), com temperatura média das máximas (Txm) de 18,3°C e radiação global incidente média de 6,0 MJ m<sup>-2</sup>, quando comparado ao cultivo de verão 1 (Figura 1a) com

temperatura média das máximas igual a 34,5°C e radiação solar global incidente média de 12,3 MJ m<sup>-2</sup>. Nas duas estações de cultivo, o ponto de colheita foi atingido com 28 dias após o transplante. Os cultivos de verão, para a cultura da alface, são caracterizados por um excesso de radiação solar que pode comprometer o crescimento e o acúmulo de fitomassa. Nessa situação, as folhas atingem o ponto de saturação de luz e não convertem o excesso de radiação solar global incidente em energia química e, conseqüentemente, fitomassa. Em casos extremos, a radiação solar global incidente pode degradar os pigmentos de clorofila causando redução da fotossíntese e aumentando a respiração da planta (ANDRIOLO, 2000).

No cultivo de outono, observou-se a menor diferença na  $\epsilon b$  da cultura entre os ambientes de cultivo (Figura 1e). A menor diferença, provavelmente, esteve associada à menor intensidade de luz disponível para a estação, não atingindo a saturação de luz. A diferença na duração do período de cultivo (Tabela 2) esteve associada a outra variável meteorológica, provavelmente a temperatura do ar que, no ambiente estufa, apresentou temperatura média de 17°C e no ambiente natural 15,7°C. Nas Figuras 1a e 1e, observam-se valores similares de radiação solar fotossinteticamente ativa para ambos os ambientes. No cultivo de outono, houve maior produção de fitomassa quando comparado ao cultivo de verão. Dessa maneira pode inferir-se que não houve limitação de radiação solar global incidente no cultivo de outono, e a diferença na maior  $\epsilon b$  pode ser atribuída à diferença de temperatura do ar entre os cultivos, visto que a duração do período de cultivo (Tabela 2) foi igual no ambiente estufa e, para o ambiente natural, houve uma diferença de 24 dias.

A menor disponibilidade de radiação solar global incidente no ambiente estufa, devido à transmissividade do plástico, pode ser compensada em parte pelo aumento da fração da radiação difusa que tem sua importância por ser multidirecional e penetrar melhor no interior do dossel vegetativo (BURIOL *et al.*, 1995). Segundo SCHMIDT & SANTOS (2000), a cultivar Regina não forma cabeça. Entretanto, observou-se, principalmente nos cultivos de outono e inverno, que as folhas ao se expandirem aumentaram o ângulo de inclinação em relação ao leito de cultivo. Essa inclinação, de acordo com GLIESSMAN (2000), é uma forma das plantas se adaptarem à quantidade de luz. Essa inclinação das folhas pode ser resultante da alongação e, conseqüentemente, do sombreamento que as novas folhas exer-



**Figura 1.** Relação entre radiação fotossinteticamente ativa interceptada e a produção de fitomassa seca acumulada da alface cultivada no verão 1(a), verão 2(b), verão 3(c), verão/outono (d), outono (e), inverno (f) e primavera (g) em ambiente estufa (AE) e ambiente natural (AN). Santa Maria sh RS, 1999/2000.

cem.

O ambiente estufa proporcionou um ganho em unidades térmicas superior ao ambiente natural, podendo constituir-se a temperatura do ar em mais uma variável que interfere na maior  $\epsilon b$  neste ambiente. Para isso, é necessário que as temperaturas estejam dentro de uma faixa considerada ótima para o crescimento da cultura. Os valores de temperatura máxima do ar apresentam efeitos no aumento da

transpiração da planta culminando no fechamento dos estômatos e redução da absorção de CO<sub>2</sub>. As temperaturas baixas do ar reduzem a atividade enzimática das plantas e afetam a taxa de crescimento e desenvolvimento (ANDRIOLO, 2000). Do mesmo modo, as baixas temperaturas do ar contribuem para uma menor soma térmica, bem como na distribuição de fotoassimilados conforme observado por ANDRIOLO et al. (1998) para a cultura do tomateiro. A influência de outras variáveis na eficiência de conversão tam-

**Tabela 2.** Valores médios de temperatura média do ar (Tx), temperatura máxima média (Txm), temperatura mínima média (Txn) e dias após o transplante (DAT) dos cultivos de alface em ambiente estufa e ambiente natural. Santa Maria 1999-2000.

	Ambiente Estufa				Ambiente Natural			
	Txm(°C)	Txn(°C)	Tx(°C)	DAT	Txm(°C)	Txn(°C)	Tx(°C)	DAT
Primavera	30,5	14,4	21,8	23	29,5	16,3	21,2	34
Verão 1	34,5	20,5	26,2	28	31,6	21,2	25,0	32
Verão 2	33,4	18,0	24,5	27	29,8	18,7	23,4	30
Verão 3	32,3	18,4	24,2	28	28,8	18,8	23,1	38
Verão/outono	29,1	15,5	23,9	28	27,3	16,7	21,0	38
Outono	18,3	8,1	17,0	28	20,9	11,5	15,7	56
Inverno	24,4	6,7	13,3	49	18,5	6,3	12,2	63

bém foi observada por STEINMETZ e SIQUEIRA (1997) em que a adubação nitrogenada na cultura do arroz influenciou o desenvolvimento da área foliar, e conseqüentemente na área de interceptação da radiação solar.

De acordo com Tatsumi apud TANAKA & GENTA (1982), a influência da temperatura do ar sobre a taxa de fotossíntese é menor que a intensidade de luz, principalmente, quando a temperatura do ar varia entre 15 e 30°C durante o dia. Os valores médios de temperatura do ar (Tabela 2), quando comparados aos valores citados por CERMEÑO (1977) e JOUBERT & COERTZE (1982), não afetariam  $\epsilon b$  nos dois ambientes. Entretanto, na mesma Tabela, observou-se que os cultivos de primavera e verão no ambiente estufa e verão 1, no ambiente natural apresentaram valores de temperaturas médias das máximas e temperaturas médias das mínimas acima dos considerados por Tatsumi apud TANAKA & GENTA (1982) para uma eficiente fotossíntese.

O efeito da temperatura do ar, na eficiência de conversão, também pode ser visualizado na Figura 1 e Tabela 2, comparando-se à  $\epsilon b$  no cultivo de verão 1 (1,23 g MJ<sup>-1</sup>) (Figura 1a) em relação a  $\epsilon b$  do cultivo de verão 3 (1,72 g MJ<sup>-1</sup>) (Figura 1c). No cultivo de verão 1, a temperatura média das máximas foi 34,5°C e pode ter determinado a menor  $\epsilon b$  no cultivo de verão 1 em relação à  $\epsilon b$  no cultivo de verão 3 que foi 32,3°C. Conforme observado por ESTEFANEL et al. (1994), para a região de Santa Maria, RS existe a probabilidade de ocorrerem, na época do verão, temperaturas médias máximas acima de 36 °C com duração de 4 ou mais dias. Ou seja, não é o valor pontual e nem a média das temperaturas máximas que afetará o crescimento e desenvolvimento das culturas, mas sim, o seu período de duração. Acrescentam ainda que os efeitos negativos da temperatura máxima do

ar estão no período em que estas permanecem acima dos limites térmicos da cultura.

A eficiência de conversão da radiação solar fotossinteticamente ativa ( $\epsilon b$ ) para a cultura da alface varia de 1,28 g MJ<sup>-1</sup> no cultivo de verão a 1,8 g MJ<sup>-1</sup>, no cultivo de primavera, no ambiente estufa. Para o ambiente natural, a  $\epsilon b$  varia de 0,72 g MJ<sup>-1</sup>, no cultivo de verão/outono, a 1,4 g MJ<sup>-1</sup> no cultivo de outono.

#### Referências bibliográficas

- ASSIS, F. N.; MENDEZ, M. E.G. Relação entre radiação fotossinteticamente ativa e radiação global. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 2, n. 7, p. 797-800, 1989.
- ANDRIOLO, J.L. et al. Growth, development and dry-matter distribution of a tomato crop as affected by environment. **Journal of Horticultural Science & biotechnology**. V. 73, n. 1, p. 125-130, 1998.
- ANDRIOLO, J.L. Fisiologia da produção de hortaliças em ambiente protegido. **Horticultura brasileira**, Brasília, v. 18, p. 26-33, suplemento Julho, 2000.
- BURIOL, G.A. et al. Transmissividade da radiação solar do polietileno de baixa densidade utilizado em estufa. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 25, n. 1, p. 1-4, 1995.
- BURIOL, G.A. et al. Disponibilidade de radiação solar nos meses mais frios do ano para o cultivo do tomateiro no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 6, n. 1, p. 18-22, 2000.
- CERMEÑO, Z.S. **Cultivo de plantas hortícolas em estufas**. Lisboa: Litema, 1977. 355 p
- ESTEFANEL, V.; SCHNEIDER, F.M.; BURIOL, G.A. Probabilidade de ocorrência de temperaturas máximas do ar prejudiciais aos cultivos agrícolas em Santa Ma-

ria, RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 2, p. 57-63, 1994.

GLIESSMAN, R.S. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. Porto Alegre: Ed. Universidade Rio Grande do Sul, 2000. 182 p.

GOTO, R.A cultura da alface. In: GOTO, R.; TIVELLI, S. W. Produção de hortaliças em ambiente protegido: condições subtropicais. Botucatu: Editora Unesp, 1998. 319 p., p. 137-159.

GOSSE G. European Sweet Sorghum Network ESSON State of art, Progress Report and Perspectives. In. "Biomass for energy environment agriculture and industry" CHARTIER Ph.; BEENACKERS A. A. C.M.; GRASSI G. (eds). **Proceedings of 8th European Conference**. Vienna, Austria, 3-5 October, 1994. p. 322-331.

HERMES, C.C. **Emissão, alongação e índice de área foliar de alface em função dos graus-dia**. Santa Maria: UFSM, 2001. 81 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Federal de Santa Maria. 2001.

JOUBERT, T.G.G.; COERTZE, A.F. **The cultivation of lettuce**. Pretoria: Horticultural Research Institute, Pretoria, 1982. 7 p.

MONTEITH, J.L. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. **Journal Applied Ecology**, London, v. 9, p. 747-766, 1972.

MONTEITH, J. L. Climate and the efficiency of crop

production in Britain. **Phil. Trans. R. Soc. Lond. B.**, London, n. 281, p. 277-294, 1977.

PANDOLFO, C. **Parâmetros básicos para uso na modelagem do rendimento de matéria seca de alface (*Medicago sativa* L.)**. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 128 p., Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1995.

SANCHES, C.A. et al. Growth and yield of crisphead lettuce under various shade conditions. **Journal of American Horticultural Science**, v. 114, n. 6, p. 884-890, 1989.

SCHMIDT, D.; SANTOS, O.S. Cultivares de alface. In: SANTOS, O.S. (Editor). **Hidroponia da alface**. Santa Maria: Imprensa Universitária, 2000. P. 72-79

STEINMETZ, S.; SIQUEIRA, O.J.W. Eficiência de conversão em biomassa da radiação solar interceptada pela cultura do arroz irrigado submetida a níveis diferentes de adubação nitrogenada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., 1997, Piracicaba, SP., **Anais...**, Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia/ Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1997. P. 96-98

TANAKA, M., GENTA, H. **Control del medio ambiente bajo invernadero y tunel plástico**. Salto, Uruguay: Estación Experimental de Citricultura, 1982. 61 p.

VARLET-GRANCHER C. et al. Mise au point: rayonnement solaire absorbé ou intercepté par un couvert végétal. **Agronomie**, Paris, v. 9, p. 419-439. 1989.