

## Equações de estimativa da fitomassa da parte aérea da alface

### Equations to estimate shoot phytomass of lettuce

Braulio Otomar Caron<sup>I</sup> Paulo Augusto Manfron<sup>II\*</sup> Alessandro Dal'Col Lúcio<sup>II</sup>  
Denise Schmidt<sup>I</sup> Sandro Luis Petter Medeiros<sup>II</sup> Reinaldo Antonio Garcia Bonnacarrère<sup>III</sup>  
Durval Dourado Neto<sup>III</sup>

#### RESUMO

O objetivo deste trabalho foi identificar equações de regressão que expressem o acúmulo de fitomassa a partir de variáveis meteorológicas e índices de crescimento da cultura, com a finalidade de avaliar o crescimento da alface cultivada em estufa plástica e a campo, em diferentes épocas do ano. No estudo, foi utilizada a cultivar "Regina". As variáveis meteorológicas determinadas foram a temperatura, a umidade relativa média do ar e a radiação solar fotossinteticamente ativa acumulada. Os índices de crescimento da alface utilizados foram a fitomassa seca e o índice de área foliar. Independentemente da época do ano, os resultados evidenciaram que as equações de regressão simples, utilizando as variáveis índice de área foliar ou radiação solar fotossinteticamente ativa acumulada, apresentaram melhor desempenho na estimativa da fitomassa ( $R^2 > 0,88$ ) nos dois ambientes. As equações de regressão múltipla, apesar de englobarem mais variáveis, apresentaram pequeno acréscimo no valor do  $R^2$ .

**Palavras-chave:** cultivo protegido, crescimento, modelagem.

#### ABSTRACT

The aim of this paper was to propose regression equations that express the dry matter accumulation in lettuce using meteorological parameters and growth index, to modeling the lettuce growth in greenhouse and in the field, in different growth season. The "Regina" cultivar was utilized. The meteorological variables determined were air temperature and relative humidity average and accumulated photosynthetically active radiation. The growth indexes of

lettuce used were dry mass and leaf area index. Independent of the growth season, the results shown that linear regressions utilizing variables leaf area index and accumulated photosynthetically active radiation provided a good estimate of the dry mass ( $R^2 > 0.88$ ) for both seasons. The multiple regressions need more data, but shown a little increase in  $R^2$  value.

**Key words:** greenhouse, modeling, growth.

#### INTRODUÇÃO

Uma das tendências da ciência agrônômica é gerar modelos de simulação de crescimento com objetivo de detectar os fatores que possam limitar o cultivo, influenciando no potencial produtivo das espécies, além, é claro, de prever rendimentos em função das condições em que as plantas se desenvolvem. O sucesso desta programação do fenômeno crescimento de planta, tanto em nível de manejo como de pesquisa, segundo HUANG (1993), requer o conhecimento das respostas das plantas ao ambiente. De acordo com DOURADO NETO (1998), um modelo de crescimento e desenvolvimento de plantas visa, entre outras finalidades, a buscar informações básicas das diversas interações planta x ambiente, maximizando o uso de recursos naturais de

<sup>I</sup>Centro de Ensino Superior do Norte do Rio Grande do Sul (CESNORS), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Frederico Westphalen, RS, Brasil.

<sup>II</sup>Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: manfronp@smail.ufsm.br. \*Autor para correspondência.

<sup>III</sup>Departamento de Produção Vegetal, Universidade de São Paulo (USP), Piracicaba, SP, Brasil.

cada região, ou de uma determinada condição de cultivo.

O modelo de uma cultura nada mais é de que o conjunto de todas as decisões que devem ser tomadas durante o período de produção desta cultura, conforme ANDRIOLO (1999). Neste contexto, as fases de escolha do local para o cultivo, a cultura, os tratamentos culturais, o manejo e também a previsão do retorno econômico da cultura devem ser detalhados dentro de um planejamento. A geração de parâmetros ou coeficientes que expressem numericamente o crescimento das culturas, bem como as variáveis meteorológicas que influenciam no crescimento, devem ser quantificadas para se estimar a potencialidade da exploração econômica.

O estudo do efeito do clima na produtividade vegetal é classificado, segundo ACOCK & ACOCK (1991), em três tipos de modelos: empírico-estatístico, matemático-mecânico e conceitual. O empírico-estatístico, o mais simples, descreve as relações entre as variáveis, sem considerar os processos, apresentando muitas restrições para a extrapolação de resultados. Esse tipo de modelo, de acordo com CAMARGO et al. (1995), apresenta desempenho insatisfatório para locais e materiais genéticos diferentes. O modelo conceitual, o mais complexo, requer grande número de informações dos processos físicos e biológicos envolvidos, como é o complexo modelo de simulação de crescimento, maturação e produtividade em cítricos, proposto por BEN MECHLIA & CARROLL (1989). Já o matemático-mecânico, mais simples que o conceitual, descreve matematicamente a casualidade ou a relação entre os processos envolvidos no ciclo da cultura, possuindo menores restrições em relação à extrapolação de resultados do que o empírico-estatístico (ACOCK & ACOCK, 1991).

Uma classificação dos modelos em apenas duas categorias, descritivos e explanatórios, pode ser verificada em ANDRIOLO (1999). Os modelos descritivos são mais simples, pois não consideram os mecanismos que determinam o seu comportamento. Os modelos explanatórios são mais complexos, pois consistem em uma descrição quantitativa dos mecanismos e processos que determinam o comportamento do sistema. Neste caso, as etapas são individualizadas e transformadas em equações para posterior simulação do crescimento e desenvolvimento da cultura. Ajustes matemáticos (equações de regressão) são exemplos do primeiro tipo de modelo e simulação da transpiração é exemplo do segundo tipo de modelo. Já DOURADO NETO (1998) salienta que, quando o desempenho de um sistema é representado

matematicamente por equações, tem-se então um modelo matemático definindo quantitativamente hipóteses assumidas sobre o sistema real, permitindo deduzir suas conseqüências.

As relações entre as variáveis meteorológicas e a produção agrícola é complexa, pois podem afetar o crescimento e o desenvolvimento das plantas sob diferentes formas nas diversas fases do ciclo da cultura. Assim, modelos agrometeorológicos relacionados com crescimento, desenvolvimento e produtividade das culturas em diferentes ambientes podem fornecer informações que permitem ao setor agrícola tomar decisões importantes. Assim, quando utilizada coerentemente, torna-se uma ferramenta importante para técnicos e produtores no planejamento e na avaliação da atividade agrícola.

Para fins de modelagem, o objetivo deste trabalho foi identificar equações de regressão que expressem o crescimento da cultura da alface, em estufa plástica e a campo, através do acúmulo de fitomassa em diferentes épocas do ano.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos em estufa plástica e a campo, no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, com coordenadas 29°43'23"S de latitude, 53°43'15"W de longitude e 95m de altitude. O clima da região é classificado como Cfa; subtropical sem estação seca e com verões quentes (MORENO 1961). O solo pertence à unidade de mapeamento São Pedro e é classificado como Argissolo Vermelho Distrófico Arênico (EMBRAPA, 1999).

A estufa utilizada possuía 25 metros de comprimento, no sentido Norte-Sul, 10 metros de largura, com pé direito de 2,0 metros e altura central de 3,0 metros. A estrutura da cobertura foi construída de madeira (eucalipto), na forma de arco pampiano. O filme plástico da cobertura foi policloreto de vinil (PVC) com 200 micras de espessura, sendo o mesmo material utilizado nas portas e cortinas laterais.

Na estufa, utilizou-se substrato composto da mistura de húmus e casca de arroz natural, na proporção 60 e 40%, respectivamente, contendo em média 48% de capacidade de retenção de água. O leito de cultivo foi constituído de oito calhas de cimento amianto do tipo "calhetão", medindo 6,70m de comprimento por 0,92 de largura na parte superior. Em cada calha, foram cultivadas três fileiras de 21 plantas no espaçamento 0,30 x 0,30m, num total de 63 plantas. A fertirrigação foi realizada com a solução nutritiva proposta por CASTELLANE & ARAÚJO (1995).

O preparo do solo a campo foi realizado com enxada rotativa, sendo confeccionados 8 canteiros nas dimensões de 7,00m de comprimento, 1,00m de largura e cerca de 0,10 de altura. Nos canteiros, as plantas foram cultivadas no espaçamento 0,30 x 0,30, formando três fileiras de 21 plantas, num total de 63 plantas. A calagem e adubação foram realizadas conforme análise química e recomendação para a cultura da alface, sendo realizadas três aplicações de nitrogênio na forma de uréia.

As etapas de produção das mudas, transplante, tratos culturais, aplicações de defensivos e irrigações obedeceram às recomendações técnicas para a cultura. O fechamento e a abertura da estufa foram realizados conforme as condições meteorológicas. Nos dias ensolarados, procedeu-se à abertura no início da manhã e ao fechamento ao final da tarde. Nos dias chuvosos ou ventosos, a estufa permaneceu fechada. A cultivar de alface utilizada foi a "Regina", e os experimentos foram conduzidos na primavera, no verão, outono e inverno, entre setembro de 1999 e junho de 2000. O período experimental era considerado encerrado quando a média das três plantas coletadas por amostragem em cada ambiente atingisse o ponto de colheita, ou seja, fitomassa fresca no mínimo igual a 200g.

Para as estimativas das equações, foi utilizado o método geral para regressão linear múltipla, sendo utilizada a opção *Backward* no método de análise, em nível de 5% de probabilidade de erro. Este procedimento é um dos mais utilizados, pois providencia uma relação funcional simples (linear) entre variáveis. A relação matemática é expressa pela equação:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n + e_i$$
, em que  $b_0, b_1, \dots, b_n$  são os coeficientes de regressão, ajustados a partir dos dados experimentais;  $Y$  a variável dependente principal e  $X_1, X_2, \dots, X_n$  são as  $n$  variáveis independentes e  $e_i$  o erro (DRAPER & SMITH, 1966).

As variáveis independentes de entrada nos modelos foram: a temperatura média do ar (TM, em °C), a umidade relativa média do ar (URM, em °C), a soma térmica (ST, em °C dia<sup>-1</sup>), a radiação solar fotossinteticamente ativa interceptada acumulada (RFAac, em MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>) e o índice de área foliar (IAF, em m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>). Para o cálculo das equações de regressão, utilizaram-se os valores médios das variáveis independentes ocorridas entre as datas de coletas de plantas para análise de crescimento. A variável dependente foi o acúmulo de fitomassa seca da parte aérea (folhas e caules) da planta (FIT, em g planta<sup>-1</sup>) entre duas observações consecutivas. As plantas foram coletadas às terças e sextas-feiras no cultivo de primavera e verão. Nos 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 por canteiro por sistema de cultivo.

No ambiente estufa, os valores de temperatura e umidade do ar foram medidos através de um termohigrógrafo instalado em abrigo meteorológico localizado no centro da estufa, a 1,5m do solo. Para o ambiente campo, esses valores foram registrados em uma Estação Climatológica Principal, situada a cerca de 100m da área experimental. A metodologia para o cálculo da TM e URM encontra-se em CARON et al. (2003b).

A partir dos valores de TM, calcularam-se os graus dia:  $ST = TM - T_b$ , onde: ST = soma térmica (°C dia),  $T_m$  = temperatura média do ar (°C),  $T_b$  = temperatura base (°C).

A temperatura base da alface, de acordo com BRUNINI et al. (1976), é de 10°C para o subperíodo transplante-colheita. O valor da ST entre as observações consecutivas foi obtido pelo somatório dos valores de ST ocorridos no período entre as amostragens de plantas.

As variáveis utilizadas para determinar o crescimento da cultura foram a área foliar (AF) e a FIT, composta pela massa seca do caule e folhas, obtidas através do método de discos e pesagem em balança, respectivamente. As avaliações foram realizadas concomitantemente no interior de estufa plástica e ambiente campo. As plantas foram secadas em estufa com circulação de ar a 60°C até atingirem massa constante. O IAF foi determinado por meio da relação entre AF total de cada planta e da área de solo explorada por esta (0,09m<sup>2</sup>).

A radiação solar global incidente foi estimada através 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. A fração da radiação fotossinteticamente ativa incidente (RFA) foi estimada considerando-se como sendo igual a 45% da radiação solar global incidente. Essa fração representa o valor médio daqueles encontrados por ASSIS & MENDEZ (1989) e PANDOLFO (1995) para o Rio Grande do Sul. A RFAac foi igual ao somatório da RFA ocorrida entre as observações. A metodologia aplicada para a obtenção da RFAac nos ambientes estufa e a campo encontra-se em CARON et al. (2003a).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) indicam o IAF e RFAac como sendo as variáveis

de entrada que melhor estimaram o acúmulo de fitomassa da alface, durante todas as estações de crescimento tanto para o ambiente estufa plástica quanto a campo (Tabelas 1 e 2).

A estreita ligação entre a variável IAF e a estimativa de FIT explica-se pelo fato de que as folhas compõem a maior fração da fitomassa da parte aérea da alface. Assim, o acréscimo da área de folhas determinará incremento da FIT. Acrescenta-se ainda que essa resposta é característica para as hortaliças folhosas como a alface, nas quais a fração comercializável é a parte vegetativa. Já no caso de culturas produtoras de grãos, como a cultura do arroz, espera-se menor associação entre IAF e a fitomassa dos grãos, pois fatores como, por exemplo, a ocorrência de baixas temperaturas, podem não ser prejudiciais ao aparato foliar, porém podem determinar o abortamento de flores, diminuindo a produção.

Apesar de fornecer boa estimativa de FIT, a variável IAF geralmente é obtida através de método destrutivo, mas isto não inviabiliza sua utilização para finalidades de predição. A solução para fins de modelagem seria estimar o IAF utilizando-se os graus dia, como citam GALLARDO et al. (1996), e posteriormente usá-lo na finalidade de predição da fitomassa da parte aérea.

A radiação solar é reconhecidamente um fator ligado à produção vegetal, pois interfere diretamente na formação da fitomassa. Tal fato encontra-se evidenciado nas tabelas 1 e 2, em que a RFAac foi uma variável de entrada que proporcionou boa estimativa da FIT para os dois ambientes ao longo do ano. Assim, pode-se estimar a fitomassa da parte aérea da alface através de equação linear, similar ao método proposto por MONTEITH (1972). Trabalhos apresentados por SCAIFE e JONES (1987), WURR et

Tabela 1 - Equações de regressão para estimativa da fitomassa seca (FIT) da cultura da alface a partir de elementos meteorológicos e área foliar para as diferentes estações do ano para o ambiente estufa plástica. Santa Maria, RS, 2005.

Estação	Modelo de regressão	Intervalo de validade	R <sup>2</sup>
Verão	$FIT = 1,5561 + 0,8030RFAac + 6,2834IAF$	$(1,209 \leq RFAac \leq 95,188)$ $(0,045 \leq IAF \leq 10,657)$	0,95
	$FIT = 7,0261 + 12,9606IAF$	$(0,045 \leq IAF \leq 10,657)$	0,93
	$FIT = -34,1823 + 0,3338ST$	$(29,2 \leq ST \leq 454,8)$	0,75
	$FIT = -6,2136 + 10,4901IAF + 0,0854ST$	$(0,045 \leq IAF \leq 10,657)$ $(29,2 \leq ST \leq 454,8)$	0,95
	$FIT = -1,4420 + 1,4943RFAac$	$(1,209 \leq RFAac \leq 95,188)$	0,94
	$FIT = 57,2659 + 13,3658IAF - 0,7337URM$	$(0,045 \leq IAF \leq 10,657)$ $(57 \leq URM \leq 85,5)$	0,95
Primavera	$FIT = 20,4431 + 16,7151IAF$	$(0,453 \leq IAF \leq 12,123)$	0,99
	$FIT = 9,6883 + 0,7626RFAac + 10,9245IAF$	$(0,453 \leq IAF \leq 12,123)$ $(15,282 \leq RFAac \leq 100,84)$	0,99
	$FIT = -106,3688 + 0,9511ST$	$(83,6 \leq ST \leq 326,4)$	0,96
	$FIT = -18,8506 + 11,9254IAF + 0,2855ST$	$(0,453 \leq IAF \leq 12,123)$ $(83,6 \leq ST \leq 326,4)$	0,99
Outono	$FIT = -7,0446 + 2,1368RFAac$	$(15,282 \leq RFAac \leq 100,84)$	0,98
	$FIT = -0,8365 + 9,3357IAF$	$(0,122 \leq IAF \leq 8,421)$	0,96
	$FIT = -32,9736 + 0,4818ST$	$(44,6 \leq ST \leq 194,8)$	0,64
Inverno	$FIT = -4,7596 + 1,8967.RFAac$	$(0,729 \leq RFAac \leq 41,291)$	0,91
	$FIT = 1,8090 + 12,7085IAF$	$(0,194 \leq IAF \leq 11,171)$	0,99
	$FIT = -43,4672 + 0,9834ST$	$(44,3 \leq ST \leq 185,4)$	0,97
	$FIT = -115,8100 + 13,2624TM$	$(7,2 \leq TM \leq 16,3)$	0,97
	$FIT = -7,6134 + 1,8004RFAac$	$(2,852 \leq RFAac \leq 82,515)$	0,98

IAF = Índice de área foliar (m<sup>2</sup> de folhas.m<sup>-2</sup> de solo); ST = soma térmica (°C.dia<sup>-1</sup>); RFAac = radiação solar fotossinteticamente ativa acumulada (MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>); TM = temperatura do ar média (°C); URM = umidade relativa média do ar (%).

Tabela 2 - Equações de regressão para estimativa da fitomassa seca (FIT) da cultura da alface a partir de elementos meteorológicos e área foliar para as diferentes estações do ano para o ambiente campo. Santa Maria, RS, 2005.

Estação	Modelo de regressão	Intervalo de validade	R <sup>2</sup>
Verão	FIT = -30,8781 + 20,7592IAF + 1,3199TM	(0,071 ≤ IAF ≤ 6,405) (17,2 ≤ TM ≤ 28,6)	0,97
	FIT = -0,2095 + 20,5608IAF	(0,071 ≤ IAF ≤ 6,405)	0,96
	FIT = -36,6869 + 0,2858ST	(24,8 ≤ ST ≤ 497,8)	0,78
	FIT = -1,9826 + 0,9033RFAac	(2,060 ≤ RFAac ≤ 127,167)	0,88
Primavera	FIT = 7,7710 + 23,8355IAF	(0,097 ≤ IAF ≤ 6,927)	0,99
	FIT = 1,9697 + 0,5012RFAac + 14,3820IAF	(0,097 ≤ IAF ≤ 6,927) (6,928 ≤ RFAac ≤ 144,745)	0,99
	FIT = -81,7750 + 0,6415ST	(69,2 ≤ ST ≤ 381,1)	0,93
	FIT = 114,5652 - 4,8613TM + 24,9021IAF	(0,097 ≤ IAF ≤ 6,927) (17,7 ≤ TM ≤ 25,3)	0,99
	FIT = 90,7953 - 4,6458TM + 20,3228IAF + 0,1302ST	(0,097 ≤ IAF ≤ 6,927) (17,7 ≤ TM ≤ 25,3) (69,2 ≤ ST ≤ 381,1)	0,99
	FIT = -4,7899 + 1,2319RFAac	(6,928 ≤ RFAac ≤ 144,745)	0,98
Outono	FIT = -2,6718 + 20,9461IAF	(0,045 ≤ IAF ≤ 7,211)	0,93
	FIT = -52,6377 + 0,5884ST	(43,8 ≤ ST ≤ 326,2)	0,85
	FIT = -8,7107 + 1,5221RFAac	(0,604 ≤ RFAac ≤ 110,095)	0,95
Inverno	FIT = -0,6028 + 20,1775IAF	(0,049 ≤ IAF ≤ 8,597)	0,99
	FIT = -69,8163 + 0,9484ST	(52,5 ≤ ST ≤ 200,3)	0,97
	FIT = -11,8838 + 1,3112RFAac	(1,644 ≤ RFAac ≤ 122,482)	0,93

IAF = Índice de área foliar (m<sup>2</sup> de folhas.m<sup>-2</sup> de solo); ST = soma térmica (°C.dia<sup>-1</sup>); RFAac = radiação solar fotossinteticamente ativa acumulada (MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>); TM = temperatura do ar média (°C); URM = umidade relativa média do ar (%).

al. (1988, 1992) e LOPES et al. (2004) também propõem equações de estimativa da fitomassa que consideram a radiação solar como sendo uma das variáveis de entrada que apresentou melhor desempenho na modelagem do crescimento da alface. Porém, LOPES et al. (2004) citam que a radiação global solar, utilizada isoladamente do transplante até a produção da cabeça, é menos precisa que as variáveis graus-dia e graus-dia efetivos, para a estimativa da fitomassa de alface. Um outro modelo de estimativa da fitomassa da alface, cebola e beterraba foi proposto por TEI et al. (1996), a partir da radiação fotossinteticamente ativa e da soma térmica.

Os valores de R<sup>2</sup> (Tabelas 1 e 2) corroboram que a ST é uma variável que interfere no acúmulo de fitomassa da alface. Entretanto, apesar de a ST ser uma variável mais facilmente disponível do que a RFAac, os valores de R<sup>2</sup> também denotam menor interferência da ST do que a RFAac na estimativa da fitomassa. Possivelmente, a ocorrência de temperaturas elevadas e superiores à temperatura ótima para alface tenham

prejudicado a relação entre ST e FIT, principalmente no verão para o ambiente campo, pois se observou um incremento no valor de R<sup>2</sup> do verão para o inverno. No ambiente estufa, tal resposta foi verificada durante o verão e o outono. Nesse sentido, LYRA et al. (2003) também encontraram que ST proporcionou melhor estimativa da fitomassa da alface produzida sobre sistema hidropônico no mês de junho-julho, obtendo-se R<sup>2</sup> de 0,99. Além disso, LOPES et al. (2004), em trabalho de estimativa da fitomassa de alface, confirmam que o crescimento e desenvolvimento da alface são diferentes ao longo do ano, em função, sobretudo, dos valores de soma térmica e da radiação solar global incidente. Assim, ajustam-se diferentes modelos para expressar o crescimento e desenvolvimento de acordo com a época do ano, pois existe um desempenho diferenciado no acúmulo de fitomassa.

Alguns elementos meteorológicos, como a temperatura do ar, interferem no mecanismo de abertura e fechamento dos estômatos, na assimilação de CO<sub>2</sub> para a fotossíntese, na distribuição de fotoassimilados

e na expansão foliar de uma cultura, de acordo com ANDRIOLO (2000). Porém, a variável TM apresentou um desempenho muito baixo para fins de estimativa da fitomassa da alface (Tabelas 1 e 2), pois somente o seu acréscimo como variável de entrada nas equações de estimativa promoveu pequeno incremento do valor de  $R^2$ . Desempenho similar também foi observado para a variável URM.

As equações de regressão múltipla mostram pequeno acréscimo na capacidade preditiva da fitomassa da parte aérea da alface, quando comparada às equações lineares, tanto para o ambiente estufa plástica quanto para o ambiente campo (Tabelas 1 e 2). Assim, essa pequena melhora na estimativa da fitomassa não compensa, na medida em que mais uma variável deve ser incluída nas equações de regressão múltipla.

## CONCLUSÃO

Os resultados evidenciaram que a fitomassa seca da alface pode ser facilmente estimada através de equações lineares que considerem como variáveis de entrada o índice de área foliar e a radiação solar fotossinteticamente ativa interceptada.

## AGRADECIMENTOS

Os autores: Alessandro Dal'Col Lúcio, Durval Dourado Neto, Paulo Augusto Manfron, Sandro Luis Petter Medeiros agradecem ao CPNq pela concessão da bolsa de produtividade em pesquisa (PQ).

## REFERÊNCIAS

- ANDRIOLO, J.L. **Fisiologia das culturas protegidas**. Santa Maria: UFSM, 1999. 142p.
- ANDRIOLO, J.L. Fisiologia da produção de hortaliças em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.18, Supl, p.26-33, 2000.
- ACOCK, B.; ACOCK, M.C. Potential for using long-term field research data to develop and validate crop simulators. **Agronomy Journal**, Madison, v.83, p.56-61, 1991.
- 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.
- BRUNINI, O. et al. Temperatura base para a alface (*Lactuca sativa*) cultivar "white Boston" em um sistema de unidades térmicas. **Revista de Olericultura**. Lavras, v.16, p.28-29, 1976.
- BEN MECHLIA, N.; CARROL, J.J. Agroclimatic modeling for simulation of phenology, yield and quality of crop production. I. Citrus response formulation. **International Journal of Biometeorology**, Heidelberg, v.33, p.33-36, 1989.
- CAMARGO, M.B.P. et al. Desenvolvimento e teste de modelos agrometeorológicos de estimativa de produtividade de laranjais no Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 9., 1995, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1995. p.412-414.
- CARON, B.O. Eficiência de conversão da radiação solar fotossinteticamente ativa interceptada em fitomassa de alface. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.11, n.2, p.261-268, 2003a.
- CARON, B.O. et al. Influência da temperatura do ar e radiação solar no acúmulo de fitomassa da alface. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.11, n.2, p.275-283, 2003b.
- CASTELANE, P.D.; ARAÚJO, J.A.C. **Cultivo sem solo - Hidroponia**. 4.ed. Jaboticabal: FUNEP, 1995. 43p.
- DOURADO NETO, D. Principles of crop modeling and simulation. I. Uses of mathematical models in agriculture science. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.55, p.46-50, 1998.
- DRAPER, N.R.; SMITH, R. **Applied regression analysis**. New York: John Wiley & Sons, 1966. 407p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Solo. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, 1999. 412p.
- ESTEFANEL, V. et al. Insolação e radiação solar na região de Santa Maria, RS: I-Estimativa da radiação solar global incidente a partir dos dados de insolação. **Rev do Centro de Ciências Rurais**, Santa Maria, v.20, n.3-4, p.203-218, 1990.
- GALLARDO, M. et al. Crop growth and water use model for lettuce. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Washington, v.122, n.6, p.354-359, 1996.
- HUANG, B.K. **Computer simulation analysis of biological and agricultural systems**. New York: CRC, 1993. 613p.
- LYRA, G.B. et al. Modelos de crescimento para alface (*Lactuca sativa* L.) cultivada em sistema hidropônico sob condições de casa de vegetação. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.11, n.1, p.69-77, 2003.
- LOPES, S.J. et al. Models to estimate phytomass accumulation of hydroponic lettuce. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.61, n.4, p.392-400, 2004.
- MONTEITH, J.L. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. **Journal Applied Ecology**, London, v.9, p.747-766, 1972.

MORENO, J.A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 46p.

PANDOLFO, C. Parâmetros básicos para uso na modelagem do rendimento de matéria seca de alfafa (*Medicago sativa* L.). 1995. 128f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

SCAIFE, A.; JONES, D. Effect of seed weight on lettuce growth. **Annals of Botany**, Oxford, v.59, p.325-334, 1987.

TEI, F. et al. Growth of lettuce, onion and red beet. 1. Growth Analysis, Light Interception, and Radiation Use Efficiency. **Annals of Botany**, London, v.78, n.5, p.633-643, 1996.

WURR, D.C.E. et al. Crop continuity and prediction of maturity in the crisp lettuce variety Saladin. **Journal of Horticultural Science**, Coventry, v.111, p.481-866, 1988.

WURR, D.C.E. et al. The development and evaluation of techniques to predict when to harvest iceberg lettuce heads. **Journal of Horticultural Science**, Coventry, v.67, p.385-393, 1992.