

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

Fernanda Carini

**DESEMPENHO AGRONÔMICO E MODELOS DE
CRESCIMENTO PARA CULTIVARES DE ALFACE**

Santa Maria, RS, Brasil
2019

Fernanda Carini

**DESEMPENHO AGRONÔMICO E MODELOS DE CRESCIMENTO PARA
CULTIVARES DE ALFACE**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado em Agronomia do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora em Agronomia**.

Orientador: Prof. Dr. Alberto Cargnelutti Filho

Santa Maria, RS, Brasil
2019

Carini, Fernanda
Desempenho Agronômico e Modelos de Crescimento para
Cultivares de Alface / Fernanda Carini.- 2019.
132 p.; 30 cm

Orientador: Alberto Cargnelutti Filho
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós
Graduação em Agronomia, RS, 2019

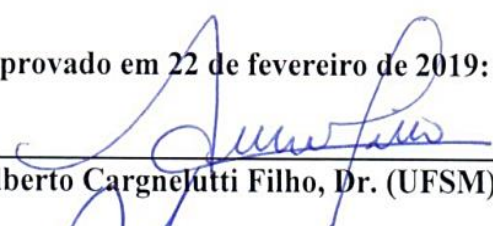
1. Lactuca sativa 2. estações 3. malhas de
sombreamento 4. Gompertz 5. Logístico I. Cargnelutti
Filho, Alberto II. Título.

Fernanda Carini

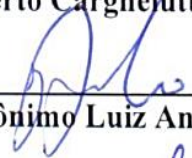
**DESEMPENHO AGRONÔMICO E MODELOS DE CRESCIMENTO PARA
CULTIVARES DE ALFACE**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado em Agronomia do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora em Agronomia**.


Aprovado em 22 de fevereiro de 2019:



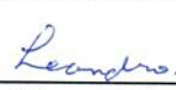
Alberto Cargnelutti Filho, Dr. (UFSM)



Jerônimo Luiz Andriolo, Dr. (UFSM)



Fernanda Alice Antonello Londero Backes, Dra. (UFSM)



Leandro Homrich Lorentz, Dr. (UNIPAMPA)



Lindolfo Storck, Dr.

“Ele será como a árvore plantada à beira de um rio; as suas raízes entram profundamente na terra, em direção à água. Por isso, ele não se incomodará com o calor, e suas folhas continuam sempre verdes; mesmo no tempo da seca ele não fica ansioso, nem deixa de produzir seus frutos” (Jeremias, 17:8)

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo dom da vida e por guiar meus passos, em todos os momentos para que as melhores decisões fossem tomadas. *Soli Deo gloria!*

Aos meus pais Alceu e Elva, agricultores que foram privados da educação em prol de capinar e arar o solo, com esmero e simplicidade educaram-me para a responsabilidade, honestidade e ética. Sou grata pelo apoio, carinho e incentivo.

À minha irmã Franciele, pela amizade, apoio, carinho e incentivo durante esta caminhada.

Ao meu esposo Itamir, pelo amor, compreensão, cumplicidade e pelo seu incentivo constante. O seu apoio foi essencial para continuar e concluir esta etapa.

Ao Professor Alberto, pelas orientações, auxílios e os conhecimentos transmitidos, e a oportunidade de participar do Grupo Experimentação Agrícola.

Ao Professor Jerônimo, pelas orientações, amizade e os inúmeros conselhos profissionais, técnicos ou pessoais. Obrigada por ceder o espaço físico, a estrutura e os materiais necessários para execução dos experimentos.

Aos Professores do Departamento de Fitotecnia, Sidinei José Lopes, Alessandro Dal' Col Lúcio e Isabel Lago pelos livros, equipamentos e dúvidas esclarecidas.

À bolsista de iniciação científica Milena Pacheco, fiel escudeira durante o período experimental, não mediu esforços para a realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos. Desejo uma vida profissional de conquistas e sucesso a futura Agrônoma.

Aos colegas da Pós Raiz, Ismael, Rafael, Cláudia, Daniela L. e Jéssica M., pela amizade, conselhos, companheirismo, troca de ideias e principalmente pelos novos conhecimentos adquiridos com cada um.

Aos colegas do Grupo Experimentação Agrícola (2016 a 2019), pelo amparo, esforço e dedicação nas avaliações a campo, no entusiasmo cotidiano e as boas amizades que cultivamos durante este período.

Aos demais Professores do Departamento de Fitotecnia e funcionários.

A CAPES pela bolsa de estudos.

A UFSM pela oportunidade de aperfeiçoamento profissional.

A todos os amigos e colegas que de alguma forma contribuíram para conclusão deste ciclo, meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

DESEMPENHO AGRONÔMICO E MODELOS DE CRESCIMENTO PARA CULTIVARES DE ALFACE

AUTORA: Fernanda Carini

ORIENTADOR: Alberto Cargnelutti Filho

Os objetivos deste trabalho foram avaliar o desempenho agronômico de nove cultivares de alface (Gloriosa, Pira Verde, Stella, Ceres, Grandes Lagos, Rubinela, Crocantela, Elisa e Vera), em três estações (outono-inverno, primavera e verão), inferir sobre o efeito da malha de sombreamento na primavera e no verão e ajustar os modelos Gompertz e Logístico para as massas de matéria fresca e seca de folhas e as massas de matéria fresca e seca de parte aérea de cultivares de alface e indicar o modelo que melhor descreve o crescimento no outono-inverno, primavera e verão. Para a determinação do desempenho agronômico foram conduzidos dez experimentos, utilizando as técnicas de cultivo sem solo em ambiente protegido tipo abrigo. Na primavera e no verão foram conduzidos experimentos com e sem malha de sombreamento. Foi utilizada a malha de sombreamento preta, com 18% de redução da radiação, a 1,5 m acima da cultura. O suprimento nutricional foi fornecido por meio de solução nutritiva recirculante, em sistema de irrigação acionado automaticamente. Foram avaliados os caracteres: número de folhas, massas de matéria fresca e seca de folhas, comprimento do caule, diâmetro do caule, massas de matéria fresca e seca do caule, massas de matéria fresca e seca de parte aérea, comprimento de raízes e massas de matéria fresca e seca de raízes. Para a modelagem, as plantas foram avaliadas a cada sete dias durante o outono-inverno e a cada quatro dias durante a primavera e o verão, sendo utilizadas as massas de matéria fresca e seca de folhas e as massas de matéria fresca e seca de parte aérea. Essas variáveis dependentes foram ajustadas em função da soma térmica acumulada. Foram estimados os parâmetros dos modelos Gompertz e Logístico, verificados os pressupostos, calculados os indicadores de qualidade do ajuste, os pontos críticos e quantificadas as não linearidades paramétrica e intrínseca. As cultivares Gloriosa (na estação outono-inverno), Grandes Lagos e Gloriosa (na estação primavera) e Crocantela e Vera (na estação verão), apresentam maior produção de massa e são as mais indicadas para o cultivo nessas estações. A malha de sombreamento no interior do ambiente protegido não melhorou o desempenho das cultivares e seu uso não é necessário na primavera e no verão. Os modelos Logístico e Gompertz apresentam ajuste satisfatório para as massas de matéria fresca e seca de folhas e para as massas de matéria fresca e seca de parte aérea, para as cultivares de alface Gloriosa, Pira Verde, Stella, Ceres, Grandes Lagos, Rubinela, Crocantela, Elisa e Vera. O modelo Logístico é o que melhor descreve o crescimento das cultivares de alface.

Palavras-chave: *Lactuca sativa*. estações. malhas de sombreamento. Gompertz. Logístico.

ABSTRACT

AGRONOMIC PERFORMANCE AND GROWTH MODELS FOR LETTUCE CULTIVARS

AUTHOR: Fernanda Carini
ADVISOR: Alberto Cargnelutti Filho

The objective of this study were to evaluate the agronomic performance of nine lettuce cultivars (Gloriosa, Pira Verde, Stella, Ceres, Grandes Lagos, Rubinela, Crocantela, Elisa and Vera), on the effect of the shade netting in spring and summer and adjust the Gompertz and Logistic models to the fresh and dry matter of leaves and fresh and dry matter of shoot shoots of lettuce and indicate the model that best describes the growth in autumn-winter, spring and summer. For the determination of the agronomic performance, ten experiments were conducted, using the soilless of cultivation in sheltered environment. In spring and summer experiments were conducted with and without shade netting. The black shade netting was used, with 18% reduction of the radiation, at 1.5 m above the culture. The nutritional supply was provided by means of recirculating nutrient solution in an automatically operated irrigation system. The following traits were evaluated: number of leaves, fresh and dry leaf matter, stem length, stem diameter, fresh and dry matter of the stem, fresh and dry matter of shoots, roots length and matter of fresh dry matter of roots. For the modeling the plants were evaluated every seven days during autumn-winter and every four days during spring and summer, using fresh and dry leaf matters and fresh and dry masses of shoot. These dependent variables were adjusted as a function of the accumulated thermal sum. We estimated the parameters of the Gompertz and Logistic models, verified the assumptions, calculated the quality indicators of fit, the critical points and quantified the parametric and intrinsic nonlinearities. The cultivars Gloriosa (autumn-winter), Grandes Lagos and Gloriosa (spring) and Crocantela and Vera (summer), present greater mass production and are the most suitable for cultivation in these seasons. The shade netting inside the protected environment did not improve the performance of the cultivars and its use is not necessary in spring and summer. The Logistic and Gompertz models present a satisfactory adjustment for the fresh and dry matter masses of leaves and for the masses of fresh and dry matter of aerial part for the lettuce cultivars Gloriosa, Pira Verde, Stella, Ceres, Grandes Lagos, Rubinela, Crocantela, Elisa e Vera. The Logistic model it is the best describe the growth of lettuce cultivars.

Keywords: *Lactuca sativa*. season. shade netting. Gompertz. Logistic.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Tabela 2.1 - Equações matemáticas utilizadas para descrição de modelos não lineares (adaptado, LÚCIO e SARI, 2017).....	28
---	----

CAPÍTULO 3 – DESEMPENHO AGRONÔMICO DE CULTIVARES DE ALFACE EM ESTAÇÕES DO ANO E CONDIÇÕES DE SOMBREAMENTO

Tabela 3.1 - Datas de semeadura, emergência, transplante e colheita de cultivares de alface, avaliadas em experimentos nas estações outono-inverno, primavera e verão, em dois anos e sem e com malha de sombreamento e a soma térmica acumulada até a colheita (STa) e o número de repetições (r).	49
Tabela 3.2 - Número de folhas (NF), massas de matéria fresca (MFF, em g planta ⁻¹) e seca (MSF, em g planta ⁻¹) de folhas, comprimento do caule (CC, em cm), diâmetro do caule (DC, em cm), massas de matéria fresca (MFC, em g planta ⁻¹) e seca (MSC, em g planta ⁻¹) do caule, massas de matéria fresca (MFPA, em g planta ⁻¹) e seca (MSPA, em g planta ⁻¹) de parte aérea, comprimento de raízes (CR, em cm) e massas de matéria fresca (MFR, em g planta ⁻¹) e seca (MSR, em g planta ⁻¹) de raízes, de três cultivares de alface (Gloriosa, Pira Verde e Stella), cultivadas na estação outono-inverno nos anos 2016 e 2017.	51
Tabela 3.3 - Número de folhas (NF), massas de matéria fresca (MFF, em g planta ⁻¹) e seca (MSF, em g planta ⁻¹) de folhas, comprimento do caule (CC, em cm), diâmetro do caule (DC, em cm), massas de matéria fresca (MFC, em g planta ⁻¹) e seca (MSC, em g planta ⁻¹) do caule, massas de matéria fresca (MFPA, em g planta ⁻¹) e seca (MSPA, em g planta ⁻¹) de parte aérea, comprimento de raízes (CR, em cm) e massas de matéria fresca (MFR, em g planta ⁻¹) e seca (MSR, em g planta ⁻¹) de raízes, de quatro cultivares de alface (Ceres, Gloriosa, Grandes Lagos e Rubinela), cultivadas na estação primavera nos anos 2016 e 2017, sem malha de sombreamento.	52
Tabela 3.4 - Número de folhas (NF), massas de matéria fresca (MFF, em g planta ⁻¹) e seca (MSF, em g planta ⁻¹) de folhas, comprimento do caule (CC, em cm), diâmetro do caule (DC, em cm), massas de matéria fresca (MFC, em g planta ⁻¹) e seca (MSC,	

em g planta⁻¹) do caule, massas de matéria fresca (MFPA, em g planta⁻¹) e seca (MSPA, em g planta⁻¹) de parte aérea, comprimento de raízes (CR, em cm) e massas de matéria fresca (MFR, em g planta⁻¹) e seca (MSR, em g planta⁻¹) de raízes, de quatro cultivares de alface (Ceres, Gloriosa, Grandes Lagos e Rubinela), cultivadas na estação primavera nos anos 2016 e 2017, com malha de sombreamento. 53

Tabela 3.5 - Número de folhas (NF), massas de matéria fresca (MFF, em g planta⁻¹) e seca (MSF, em g planta⁻¹) de folhas, comprimento do caule (CC, em cm), diâmetro do caule (DC, em cm), massas de matéria fresca (MFC, em g planta⁻¹) e seca (MSC, em g planta⁻¹) do caule, massas de matéria fresca (MFPA, em g planta⁻¹) e seca (MSPA, em g planta⁻¹) de parte aérea, comprimento de raízes (CR, em cm) e massas de matéria fresca (MFR, em g planta⁻¹) e seca (MSR, em g planta⁻¹) de raízes, de quatro cultivares de alface (Crocantela, Elisa, Rubinela e Vera), cultivadas na estação verão nos anos 2017 e 2018, sem malha de sombreamento. 54

Tabela 3.6 - Número de folhas (NF), massas de matéria fresca (MFF, em g planta⁻¹) e seca (MSF, em g planta⁻¹) de folhas, comprimento do caule (CC, em cm), diâmetro do caule (DC, em cm), massas de matéria fresca (MFC, em g planta⁻¹) e seca (MSC, em g planta⁻¹) do caule, massas de matéria fresca (MFPA, em g planta⁻¹) e seca (MSPA, em g planta⁻¹) de parte aérea, comprimento de raízes (CR, em cm) e massas de matéria fresca (MFR, em g planta⁻¹) e seca (MSR, em g planta⁻¹) de raízes, de quatro cultivares de alface (Crocantela, Elisa, Rubinela e Vera), cultivadas na estação verão nos anos 2017 e 2018, com malha de sombreamento. 55

CAPÍTULO 4 – MODELOS NÃO LINEARES PARA DESCRIÇÃO DO CRESCIMENTO DE CULTIVARES DE ALFACE EM CONDIÇÕES DE OUTONO-INVERNO

Tabela 4.1 - Valor-p dos testes de Shapiro-Wilk (SW), Durbin-Watson (DW) e Breusch-Pagan (BP) aplicados sobre os resíduos dos modelos Gompertz e Logístico para caracteres em função da soma térmica acumulada, de três cultivares de alface em dois experimentos. 63

Tabela 4.2 - Estimativa dos parâmetros *a*, *b* e *c*, limite inferior (LI) e limite superior (LS) do intervalo de confiança (IC_{95%}) do modelo Gompertz para

caracteres em função da soma térmica acumulada (em °C), de cultivares de alface (Gloriosa, Pira Verde e Stella) em dois experimentos.....	64
Tabela 4.3 - Estimativa dos parâmetros a , b e c , limite inferior (LI) e limite superior (LS) do intervalo de confiança (IC95%) do modelo Logístico para caracteres em função da soma térmica acumulada (em °C), de cultivares de alface (Gloriosa, Pira Verde e Stella).....	65
Tabela 4.4 - Comparação das estimativas dos parâmetros (a , b e c) dos modelos Gompertz e Logístico para caracteres em função da soma térmica acumulada, com base no intervalo de confiança (IC _{95%}), entre as cultivares de alface Gloriosa, Pira Verde e Stella em dois experimentos.....	68
Tabela 4.5 - Coeficiente de determinação (R^2), critério de informação de Akaike (AIC), desvio padrão residual (DPR), não linearidade intrínseca (IN), não linearidade do efeito do parâmetro (PE), ponto de inflexão (PI), ponto de aceleração máxima (PAM) e ponto de desaceleração máxima (PDM) do modelo Gompertz para caracteres ⁽¹⁾ em função da soma térmica acumulada (em °C) de cultivares de alface (Gloriosa, Pira Verde e Stella) em dois experimentos.....	69
Tabela 4.6 - Coeficiente de determinação (R^2), critério de informação de Akaike (AIC), desvio padrão residual (DPR), não linearidade intrínseca (IN), não linearidade do efeito do parâmetro (PE), ponto de inflexão (PI), ponto de aceleração máxima (PAM) e ponto de desaceleração máxima (PDM) do modelo Logístico para caracteres ⁽¹⁾ em função da soma térmica acumulada (em °C) de cultivares de alface (Gloriosa, Pira Verde e Stella) em dois experimentos.....	70

CAPÍTULO 5 – MODELOS DE CRESCIMENTO PARA CULTIVARES DE ALFACE EM CONDIÇÕES DE PRIMAVERA

Tabela 5.1 - Valor-p dos testes de Shapiro-Wilk (SW), Durbin-Watson (DW) e Breusch-Pagan (BP) aplicados sobre os resíduos dos modelos Gompertz e Logístico para caracteres em função da soma térmica acumulada, de quatro cultivares de alface em dois experimentos.....	84
Tabela 5.2 - Estimativa dos parâmetros a , b e c , limite inferior (LI) e limite superior (LS) do intervalo de confiança (IC _{95%}) do modelo Gompertz para caracteres em função da soma térmica acumulada (em °C), de cultivares de	

alface (Ceres, Gloriosa, Grandes Lagos e Rubinela) em dois experimentos, na primavera.....	85
Tabela 5.3 - Estimativa dos parâmetros a , b e c , limite inferior (LI) e limite superior (LS) do intervalo de confiança (IC _{95%}) do modelo Logístico para caracteres em função da soma térmica acumulada (em °C), de cultivares de alface (Ceres, Gloriosa, Grandes Lagos e Rubinela) em dois experimentos, na primavera.....	87
Tabela 5.4 - Comparação das estimativas dos parâmetros (a , b e c) dos modelos Gompertz e Logístico para caracteres em função da soma térmica acumulada, com base no intervalo de confiança (IC _{95%}), entre as cultivares de alface Ceres, Gloriosa, Grandes Lagos e Rubinela, em dois experimentos, na primavera.	90
Tabela 5.5 - Coeficiente de determinação ajustado (R^2 aj), critério de informação de Akaike (AIC), desvio padrão residual (DPR), não linearidade intrínseca (IN), não linearidade do efeito do parâmetro (PE), ponto de inflexão (PI), ponto de aceleração máxima (PAM) e ponto de desaceleração máxima (PDM) do modelo Gompertz para caracteres ⁽¹⁾ em função da soma térmica acumulada (em °C) de cultivares de alface (Ceres, Gloriosa, Grandes Lagos e Rubinela) em dois experimentos.....	92
Tabela 5.6 - Coeficiente de determinação ajustado (R^2 aj), critério de informação de Akaike (AIC), desvio padrão residual (DPR), não linearidade intrínseca (IN), não linearidade do efeito do parâmetro (PE), ponto de inflexão (PI), ponto de aceleração máxima (PAM) e ponto de desaceleração máxima (PDM) do modelo Logístico para caracteres ⁽¹⁾ em função da soma térmica acumulada (em °C) de cultivares de alface (Ceres, Gloriosa, Grandes Lagos e Rubinela) em dois experimentos.....	93

CAPÍTULO 6 – AJUSTE DOS MODELOS GOMPERTZ E LOGÍSTICO PARA CARACTERES PRODUTIVOS DE CULTIVARES DE ALFACE EM CONDIÇÕES DE VERÃO

Tabela 6.1 - Valor-p dos testes de Shapiro-Wilk (SW), Durbin-Watson (DW) e Breusch-Pagan (BP) aplicados sobre os resíduos dos modelos Gompertz e Logístico para caracteres em função da soma térmica acumulada, de quatro cultivares de alface em dois experimentos.	107
---	-----

Tabela 6.2 - Estimativa dos parâmetros a , b e c , limite inferior (LI) e limite superior (LS) do intervalo de confiança ($IC_{95\%}$) do modelo Gompertz para caracteres em função da soma térmica acumulada (em °C), de cultivares de alface (Crocantela, Elisa, Rubinela e Vera) em dois experimentos, no verão.....	109
Tabela 6.3 - Estimativa dos parâmetros a , b e c , limite inferior (LI) e limite superior (LS) do intervalo de confiança ($IC_{95\%}$) do modelo Logístico para caracteres em função da soma térmica acumulada (em °C), de cultivares de alface (Crocantela, Elisa, Rubinela e Vera) em dois experimentos, no verão.	111
Tabela 6.4 - Comparação das estimativas dos parâmetros (a , b e c) dos modelos Gompertz e Logístico para caracteres em função da soma térmica acumulada, com base no intervalo de confiança ($IC_{95\%}$), entre as cultivares de alface (Crocantela, Elisa, Rubinela e Vera) em dois experimentos, no verão.....	113
Tabela 6.5 - Coeficiente de determinação ajustado (R^2 aj), critério de informação de Akaike (AIC), desvio padrão residual (DPR), não linearidade do efeito do parâmetro (PE), não linearidade intrínseca (IN), ponto de inflexão (PI), ponto de aceleração máxima (PAM) e ponto de desaceleração máxima (PDM) do modelo Gompertz para caracteres ⁽¹⁾ em função da soma térmica acumulada (em °C) de cultivares de alface (Crocantela, Elisa, Rubinela e Vera) em dois experimentos.....	115
Tabela 6.6 - Coeficiente de determinação ajustado (R^2 aj), critério de informação de Akaike (AIC), desvio padrão residual (DPR), não linearidade do efeito do parâmetro (PE), não linearidade intrínseca (IN), ponto de inflexão (PI), ponto de aceleração máxima (PAM) e ponto de desaceleração máxima (PDM) do modelo Logístico para caracteres ⁽¹⁾ em função da soma térmica acumulada (em °C) de cultivares de alface (Crocantela, Elisa, Rubinela e Vera) em dois experimentos.....	116

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 3 – DESEMPENHO AGRONÔMICO DE CULTIVARES DE ALFACE EM ESTAÇÕES DO ANO E CONDIÇÕES DE SOMBREAMENTO

- Figura 3.1 - Temperatura máxima (T máx), temperatura mínima (T mín) e temperatura média (T méd) diária para o período de transplante até a colheita, outono-inverno (junho, julho e agosto), primavera (outubro e novembro) e verão (janeiro, fevereiro e março), em Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. 50
- Figura 3.2 - Radiação solar diária incidente para os períodos de transplante até a colheita, nas estações outono-inverno (junho, julho e agosto), primavera (outubro e novembro) e verão (janeiro, fevereiro e março), em Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. 50

CAPÍTULO 4 – MODELOS NÃO LINEARES PARA DESCRIÇÃO DO CRESCIMENTO DE CULTIVARES DE ALFACE EM CONDIÇÕES DE OUTONO-INVERNO

- Figura 4.1 - Gráfico do modelo Logístico para massa de matéria fresca de folhas (MFF, em g planta⁻¹), massa de matéria seca de folhas (MSF, em g planta⁻¹), massa de matéria fresca de parte aérea (MFPA, em g planta⁻¹) e massa de matéria seca de parte aérea (MSPA, em g planta⁻¹) em função da soma térmica acumulada (STa, em °C), para a cultivar Gloriosa, no experimento 2. 72

CAPÍTULO 5 – MODELOS DE CRESCIMENTO PARA CULTIVARES DE ALFACE EM CONDIÇÕES DE PRIMAVERA

- Figura 5.1 - Gráfico do modelo Logístico para massa de matéria fresca de folhas (MFF, em g planta⁻¹), massa de matéria seca de folhas (MSF, em g planta⁻¹), massa de matéria fresca de parte aérea (MFPA, em g planta⁻¹) e massa de matéria seca de parte aérea (MSPA, em g planta⁻¹) em função da soma térmica acumulada (STa, em °C), para a cultivar Ceres, no experimento 1. 95

CAPÍTULO 6 – AJUSTE DOS MODELOS GOMPERTZ E LOGÍSTICO PARA CARACTERES PRODUTIVOS DE CULTIVARES DE ALFACE EM CONDIÇÕES DE VERÃO

Figura 6.1- Gráfico do modelo Logístico para massa de matéria fresca de folhas (MFF, em g planta⁻¹), massa de matéria seca de folhas (MSF, em g planta⁻¹), massa de matéria fresca de parte aérea (MFPA, em g planta⁻¹) e massa de matéria seca de parte aérea (MSPA, em g planta⁻¹) em função da soma térmica acumulada (STa, em °C), para a cultivar Crocantela, no experimento 2... 119

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS	19
1.1 INTRODUÇÃO	19
1.2 HIPÓTESES	20
1.3 OBJETIVOS	20
1.3.1 Objetivo geral	20
1.3.2 Objetivos específicos	21
CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1 A CULTURA DA ALFACE EM AMBIENTE PROTEGIDO	22
2.1.1 Cultivares de alface	23
2.2 MALHAS DE SOMBREMENTO EM FOLHOSAS	23
2.3 MODELOS DE CRESCIMENTO	26
2.3.1 Modelos de crescimento não lineares	27
2.3.2 Métodos de estimação	29
2.3.2.1 Métodos iterativos	29
2.3.3 Avaliadores da qualidade do ajuste	30
2.3.3.1 Coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj})	31
2.3.3.2 Critério de Informação de Akaike (AIC)	31
2.3.3.3 Desvio Padrão Residual (DPR)	32
2.3.4 Cuidados com avaliadores da qualidade ajuste	32
CAPÍTULO 3 – DESEMPENHO AGRONÔMICO DE CULTIVARES DE ALFACE EM ESTAÇÕES DO ANO E CONDIÇÕES DE SOMBREAMENTO	34
INTRODUÇÃO	35
MATERIAL E MÉTODOS	38
RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
CONCLUSÃO	45
REFERÊNCIAS	46
CAPÍTULO 4 – MODELOS NÃO LINEARES PARA DESCRIÇÃO DO CRESCIMENTO DE CULTIVARES DE ALFACE EM CONDIÇÕES DE OUTONO-INVERNO	56
INTRODUÇÃO	57
MATERIAL E MÉTODOS	59
RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
CONCLUSÕES	74

REFERÊNCIAS	74
CAPÍTULO 5 – MODELOS DE CRESCIMENTO PARA CULTIVARES DE ALFACE EM CONDIÇÕES DE PRIMAVERA.....	77
INTRODUÇÃO.....	78
MATERIAL E MÉTODOS.....	80
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	83
CONCLUSÕES	97
REFERÊNCIAS	97
CAPÍTULO 6 – AJUSTE DOS MODELOS GOMPERTZ E LOGÍSTICO PARA CARACTERES PRODUTIVOS DE CULTIVARES DE ALFACE EM CONDIÇÕES DE VERÃO	100
INTRODUÇÃO.....	101
MATERIAL E MÉTODOS.....	103
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	106
CONCLUSÕES	120
REFERÊNCIAS	121
CAPÍTULO 7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	123
REFERÊNCIAS.....	124

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

1.1 INTRODUÇÃO

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma planta herbácea com caule não ramificado, ao qual se prendem as folhas lisas ou crespas que podem se fechar ou não na forma de “cabeça” (SALA e COSTA, 2012). É uma espécie anual, em que o máximo da expansão foliar ocorre ao final da fase vegetativa, e a emissão da haste floral é dependente de dias longos e temperaturas elevadas (FILGUEIRA, 2008).

A alface é a terceira hortaliça em volume de produção, com 1,5 milhões de toneladas ao ano, conseqüentemente a folhosa preferida dos consumidores, girando um montante de 8 bilhões (R\$) no varejo, por sua facilidade de aquisição (ABCSEM, 2013). Caracterizada como uma boa fonte de fibra dietética, em 100 g de massa fresca de folhas de alface, apresenta 94% água, 1,3% proteínas e 18 kcal. Em sua composição química encontra-se: vitaminas (A, B9, C e K) lipídeos, carboidratos totais, fibra, cálcio, fósforo, ferro, potássio e compostos fenólicos, para as cultivares americana, romana e baby (ABU-REIDAH *et al.*, 2013).

Uma das alternativas para a produção regular durante o ano é a utilização de cultivares indicadas para a região de cultivo e modificações no microclima por meio do ambiente protegido e a utilização das malhas de sombreamento (MORAIS *et al.*, 2011; SALES *et al.*, 2014). As malhas de sombreamento alteram o espectro e a intensidade da radiação solar incidente, e, conseqüentemente, o balanço de energia, resultando em modificações no microclima que podem alterar o crescimento das plantas (AMARANTE *et al.*, 2009; HENRIQUE *et al.*, 2011).

A modelagem é uma alternativa utilizada para caracterizar o crescimento e o desenvolvimento das plantas (STRECK *et al.*, 2008). A utilização de modelos, com fins de predição, pode ser aplicada previamente na semeadura, como durante o período de crescimento da cultura. O ajuste de modelos de crescimento para espécies agrícolas auxilia na avaliação da resposta da planta às condições ambientais, bem como na compreensão do padrão de crescimento (LYRA *et al.*, 2008), tornando-se uma ferramenta científica importante. No caso de alface, um modelo desse tipo poderá vir a ser empregado para conhecer o crescimento da cultura nas estações, possibilitando o entendimento da curva de crescimento.

As vantagens da utilização dos modelos matemáticos estão no baixo custo, velocidade na obtenção das informações sobre o sistema, criação e proposição de cenários ideais para culturas, tornando-se uma ferramenta eficiente e complementar às pesquisas convencionais (BERNARDON e CALGARO, 2007). O ajuste de modelos de crescimento para espécies vegetais auxilia na avaliação da resposta da planta às condições ambientais, bem como na compreensão do padrão de crescimento (LYRA *et al.*, 2003), tornando-se uma ferramenta científica importante.

Os modelos de Gompertz, Logístico e exponencial apresentaram um bom ajuste para as cultivares de alface Grand Rapids, Regina e Great Lakes em apenas uma época para as condições de Viçosa/Minas Gerais, Brasil (LYRA *et al.*, 2003). Neste mesmo município Macedo (2004) testou os modelos Gompertz, Logístico e exponencial para a cultivar Grand Rapids com diferentes concentrações da solução nutritiva. Estas informações serviram como base para elaboração do projeto de pesquisa com outras cultivares em diferentes épocas e regiões brasileiras para conhecer os modelos mais apropriados para cada cultivar e estação, bem como a influência da utilização das malhas de sombreamento no desempenho agrônomo das cultivares durante a primavera e o verão.

1.2 HIPÓTESES

O desempenho agrônomo difere entre as cultivares de alface dentro da estação de cultivo.

As alterações nas variáveis meteorológicas provocadas por malha de sombreamento afetam o desempenho agrônomo e de forma distinta entre as cultivares de alface.

Os modelos de crescimento para caracteres de alface diferem entre as cultivares.

Os modelos de crescimento para caracteres de alface diferem entre épocas de cultivo.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Verificar o desempenho agrônomo e ajustar modelos de crescimento para cultivares de alface em épocas de cultivo.

1.3.2 Objetivos específicos

Avaliar o desempenho agronômico de nove cultivares de alface em três estações.

Inferir sobre o efeito da malha de sombreamento na primavera e no verão no cultivo de alface.

Ajustar modelos de crescimento para caracteres de cultivares de alface em diferentes épocas de cultivo.

Indicar o modelo que melhor descreve o crescimento de diferentes cultivares de alface cultivada no outono-inverno, na primavera e no verão.

CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A CULTURA DA ALFACE EM AMBIENTE PROTEGIDO

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma folhosa originária do Mediterrâneo. Amplamente consumida nas diversas regiões, devido às mudanças no hábito alimentar, o consumidor tem demonstrado interesse acentuado em relação à alimentação saudável e equilibrada, buscando alimentos ricos em fibras e minerais como as folhosas. Portanto, o cultivo de alface tem apresentado crescimento significativo, sendo necessária a produção de folhas de qualidade ao longo de todo o ano (MAGALHÃES *et al.*, 2010). A cultura de alface é de suma importância econômica e social, visto que a produção é basicamente realizada por agricultores familiares e o seu consumo se dá a nível local, devido a sua alta perecibilidade, proporcionando um grande volume de comercialização do produto nas proximidades do local de cultivo.

O uso de coberturas plásticas na agricultura consolidou a produção de hortaliças e de plantas ornamentais em ambiente protegido, aumentando consideravelmente a produção, pois tornou possível uma série de práticas que no campo teriam uma menor eficiência, como a irrigação e nutrição. Entretanto, o cultivo sucessivo e intensivo na mesma área, motivado pela alta competitividade do mercado, tem dificultado a adoção de técnicas sustentáveis tradicionais de manejo do agrossistema estufa (rotação de culturas e adubação verde) (DOMINGUES *et al.*, 2012). Como consequência, ocorre a mineralização, a desestruturação e a salinização dos solos, a contaminação do lençol freático devido à lixiviação dos fertilizantes e problemas fitossanitários, em decorrência de pragas e doenças, que se tornam cada vez mais resistentes (FURLANI *et al.*, 2013).

A utilização de ambiente protegido e o cultivo sem solo são tecnologias consolidadas, principalmente em zonas onde o solo ou o clima prejudicam o crescimento da cultura da alface (VALCÁRCEL *et al.*, 2016). A utilização destas tecnologias permite um melhor controle de água e fornecimento de nutrientes (DOMINGUES *et al.*, 2012; KIM *et al.*, 2013), crescimento mínimo de plantas espontâneas, reduzida utilização de agrotóxicos e aumento de produtividade.

Além disso, outro benefício da alface em ambiente protegido é o reduzido risco dos fatores adversos do meio ambiente, ficando protegida de geadas, chuvas, granizo e ventos fortes. O ambiente protegido propicia ganho de produtividade e de qualidade, fatores estes

que contribuem para o fornecimento regular nos pontos de venda, trazendo ingresso de receita para o produtor e satisfação do consumidor.

2.1.1 Cultivares de alface

Um dos desafios da produção de alface está na oferta contínua em todas as épocas do ano. Temperaturas elevadas associadas à alta precipitação pluvial podem levar o alficultor a perdas de até 60% em decorrência de umidade relativa elevada e do ataque de fungos e bactérias. O pendoamento precoce induzido pelas altas temperaturas agrava o problema de perdas no verão, refletindo diretamente no preço e na oferta do produto no mercado, devido à maior demanda de consumo nesse período (SALA e COSTA, 2012).

O grupo de alface denominada *crisphead lettuce* ou tipo “americana” vem se difundindo, com o aumento do número de redes de lanchonetes do tipo *fast-food*, correspondendo a 47% do volume de folhosas comercializado no Brasil (CEAGESP, 2017). Este grupo se diferencia dos demais por apresentar características marcantes como: folhas externas de coloração verde-escura, folhas internas de coloração amarela ou branca, imbricadas e crocantes, formando uma cabeça. Além disso, possui maior vida pós-colheita, possibilitando o transporte a longas distâncias (OLIVEIRA *et al.*, 2004). O tipo “crespa” é o segundo maior em volume comercializado correspondendo a 38,5% (CEAGESP, 2017). Por fim, há o tipo lisa (14,5%), que no passado foi considerado padrão de excelência, por apresentar folhas delicadas, de coloração verde-amarela e aspecto amanteigado (FILGUEIRA, 2008). As empresas privadas de sementes vêm direcionando seus trabalhos para o desenvolvimento de novas cultivares, em segmentos estratégicos, como as americanas, minis e do tipo *baby leaf* (LI e KUBOTA, 2009).

Recentemente, houve um aumento expressivo no número de cultivares de alface, principalmente nos segmentos crespa e americana, os preferidos do mercado brasileiro. Porém, poucos são os estudos relatados na literatura utilizando os modelos de crescimento para cultivares novas ou antigas de alface.

2.2 MALHAS DE SOMBREMENTO EM FOLHOSAS

A alface tem o seu desenvolvimento desfavorecido ou inibido quando submetida a condições de crescimento com temperatura e radiação solar extremas. A variação ótima de temperatura recomendada para o desenvolvimento da cultura está entre 15,5 e 18,3°C,

podendo oscilar entre 7,2 a 23,9°C (MAYNARD e HOCHMUTH, 2007). Outro fator que pode se tornar limitante ao pleno crescimento é o excesso de energia radiante. Condições adversas podem predispor as plantas à fotoinibição, estresse térmico e ao fechamento estomático, conseqüentemente, causando redução da fotossíntese líquida, em que é a última fonte de substrato de carboidratos para o crescimento (NTSOANE *et al.*, 2016). Além disso, altas temperaturas combinadas com a alta radiação solar podem prejudicar a divisão celular e provocar, alongamento do caule, redução do número de folhas e má formação da cabeça comercial, resultando na colheita de plantas de pequeno porte, com menor peso, menor número de folhas e baixa qualidade, tornando-as impróprias para o consumo e comercialização (FU, LI e WU, 2012). Uma alternativa para contornar estes empecilhos causados pela temperatura e radiação é o uso da técnica de sombreamento.

A aplicação da tecnologia de malhas de sombreamento está sendo utilizada em plantas hortícolas e frutíferas em vários países, especialmente em Israel (GOREN *et al.*, 2011; KONG *et al.*, 2013), África do Sul (SELAHLE *et al.*, 2015; MASHABELA *et al.*, 2015), Índia (SWAMY *et al.*, 2015), Estados Unidos (STAMPS, 2009), México (MORENO-RESÉNDEZ *et al.*, 2015), Sérvia (ILIC *et al.*, 2017; MILENKOVIĆ *et al.*, 2012) e Hungria (AMBRÓZY *et al.*, 2016; LEDÓNÉ, 2014; OMBÓDI *et al.*, 2016). Também é conhecida em países do mediterrâneo como a Espanha (DÍAZ-PÉREZ, 2014; LÓPEZ-MARÍN *et al.*, 2011), Itália (BASILE *et al.*, 2008) e a Grécia (KITTA *et al.* 2014).

As malhas reflexivas e foto seletivas também são empregadas na produção comercial. Além de reduzir a intensidade de radiação e influenciar nas propriedades térmicas do microclima, essas malhas para sombreamento têm potencial para modificar a qualidade da luz. Algumas das modificações dependentes da qualidade da luz foram explicadas em termos de efeitos nas vias de sinalização leve (TAIZ *et al.*, 2017), que são facilitadas por um complexo de fotorreceptores e outros pigmentos (clorofilas, carotenóides, fitocromos, criptocromes, fototropinas). Assim, as malhas têm sido utilizadas para manter o microclima de crescimento favorável (SHAHAK, 2008), influenciar no rendimento e qualidade nutricional da alface.

O estabelecimento de condições para melhorar a produtividade de espécies agrícolas é um dos principais objetivos práticos do uso da malha, pois os fatores nutricionais e as condições climáticas são os fatores ambientais importantes no cultivo de hortaliças. As adaptações aos regimes de temperatura e radiação solar permitem que as culturas empreguem efetivamente o carbono absorvido para a acumulação de biomassa, uma vez que regulam o equilíbrio hídrico das plantas com êxito (DUFALUT, WARD e HASSELL, 2009). O cultivo

de alface durante o final da primavera e verão, em condições elevadas de temperatura (35°C durante o dia), e radiação solar, provoca o “pendoamento” prematuro (alongamento do caule e florescimento) e aumenta o potencial de queima de bordos das folhas (SIMONNE *et al.*, 2002), descoloração (JENNI e YAN, 2009), sabor amargo (ZHAO e CAREY, 2009) e “cabeças” deformadas (FUKUDA *et al.*, 2011).

Altas temperaturas contribuem para a aceleração do metabolismo, com incremento do processo respiratório e desnaturação proteica, podendo causar degradação da fotossíntese. Como mecanismo de defesa para resistir ao calor, as plantas elevam as taxas respiratórias, aumentando os mecanismos de prevenção via aclimatização do calor (VIERLING e KIMPEL, 1992; LARCHER, 2000).

Além da temperatura, a produção de alface também é dependente das propriedades da luz: qualidade e intensidade (ILIC e FALLIK, 2017). No entanto, Dufault, Ward e Hassell (2009), relataram que, à medida que as datas de transplante avançavam em direção a temperaturas mais quentes e dias mais longos, o rendimento e a qualidade da alface foram afetados negativamente. Ambos os distúrbios contribuem para redução da qualidade e desvalorização comercial. Nessas condições, o sabor de amargor das folhas torna-se perceptível ao paladar e as folhas enrijecem (BUNNING *et al.*, 2010).

Com o intuito de amenizar os efeitos supracitados, estudos são descritos na literatura utilizando malhas de sombreamento (CRAKER e SEIBERT (1983); ARTHURS, STAMPS e GIGLIA (2013). Ao avaliar malhas de sombreamento com colorações distintas (azul, vermelha, pérola, preta e campo aberto) com a finalidade de produzir alface durante o verão Ilić *et al.* (2017), constaram que as propriedades relacionadas ao crescimento e a morfologia foram alteradas, quando comparadas com aquelas produzidas em campo aberto. Ou seja, o índice de área foliar foi superior, as cabeças de alface foram caracterizadas com peso de cabeça comercializável significativamente maior, assim como, o diâmetro da cabeça. O período de transplante até o “pendoamento” foi mais curto, as folhas externas foram caracterizadas com tom verde mais intenso e as folhas de alface apresentaram uma textura macia.

Experimentos foram conduzidos por Ilić *et al.* (2017), para avaliar os efeitos do sombreamento na produção e qualidade nutricional da alface (*Lactuca sativa* L. cv. *Ilha Parris*) durante o inverno e primavera em ambiente protegido do tipo estufa, em condições mediterrâneas. Em ambas as estações, as plantas foram cultivadas em hidroponia sob quatro níveis diferentes de intensidade de radiação fotossinteticamente ativa (26, 47, 73 e 100% da intensidade da radiação incidente). Os resultados mostraram que a condutância estomática e a

taxa fotossintética diminuíram de forma significativa em plantas sombreadas. A forte correlação negativa de parâmetros fisiológicos das folhas com deficiência de radiação solar, resultou em menor produção de biomassa em ambas as estações de crescimento. Além disso, o valor nutricional (concentração de ácido ascórbico) também diminuiu em relação à redução da intensidade da radiação solar. Entretanto, foi detectada uma forte correlação positiva do teor total de clorofila foliar e do teor de nitrato, relacionado com a deficiência de radiação solar. No entanto, a concentração de nitratos em todos os tratamentos manteve-se dentro dos níveis admissíveis da União Europeia e mais baixas nas plantas produzidas na primavera quando comparadas com a produção no inverno.

2.3 MODELOS DE CRESCIMENTO

A análise dos dados sobre o crescimento tem sido realizada em diversas áreas do conhecimento, como nas humanas, biológicas e agrárias. Mais especificamente em agronomia, o estudo do crescimento como uma ferramenta no gerenciamento do empreendimento rural, tem vantagens econômica e administrativa ao conhecer como ocorrem os processos de crescimento e desenvolvimento, sua velocidade, e como respondem às condições ambientais e/ou aos tratamentos aplicados.

Os modelos de crescimento são geralmente expressos por meio de curvas de crescimento (curvas sigmoidais). Estes por sua vez, apresentam início em um ponto fixo e aumentam a sua taxa de crescimento até um ponto de inflexão (PI), após este ponto a taxa de crescimento começa a diminuir até a curva se aproximar a um valor final, chamado de assíntota (RATKOWSKY, 1983).

Uma curva descreve o comportamento de uma variável ou caractere dependente em função de uma ou outras variáveis independentes, como por exemplo o tempo em 'X'. A variável dependente, normalmente é uma sequência de medidas de uma determinada espécie, principalmente peso, altura e/ou diâmetro, em função do tempo. Para modelar este comportamento, a literatura apresenta vários modelos de crescimento (SEBER e WILD, 1989), estes são denominados por modelos empíricos. Por sua vez, estes descrevem o comportamento da planta com base na própria observação do vegetal, relacionando as variáveis sem referências aos processos que possam estar correlacionados.

Um modelo é um conjunto de equações que simula um fenômeno do mundo real, tornando viáveis as previsões, podendo ser utilizado em diversas áreas de pesquisa. Contudo, não é esperado que um modelo, independentemente da área, seja uma cópia fiel do mundo

real, mas sim uma simplificação, com base nas variáveis medidas, que revele as etapas importantes do fenômeno em causa, de forma a ser possível perceber novas situações dentro do universo em estudo. Sendo assim, um bom modelo é um espelho eficiente da realidade (BRITO *et al.*, 2007).

O conhecimento de como ocorre o crescimento vegetal é de suma importância, contribuindo decisivamente para a realização do manejo adequado para a espécie e a detecção de possíveis problemas durante o desenvolvimento da cultura. Neste contexto, é possível comparar o comportamento da cultura diante de diversas situações experimentais, como adubação, densidade de plantio, época de semeadura, irrigação, sombreamento e recipientes.

Entre as metodologias disponíveis, a análise de curvas de crescimento apresenta grande destaque, envolvendo o ajuste dos modelos de regressão não linear. Por tanto, esta metodologia é utilizada em diversos trabalhos na área de ciências agrárias.

2.3.1 Modelos de crescimento não lineares

De forma geral, um modelo é classificado como não linear se pelo menos uma das derivadas parciais da função não linear, em relação aos parâmetros, depender de pelo menos um dos parâmetros do modelo. A característica relevante desse modelo é a de que são deduzidos a partir de suposições teóricas e os parâmetros resultantes são interpretáveis.

A forma de um modelo de regressão não linear é:

$$Y_i = f(X_i, \beta) + \varepsilon_i \quad (1)$$

em que:

$i = 1, 2, 3, \dots, n$.

Y = é o vetor com a variável resposta (variável dependente).

X_i = é o vetor de uma ou mais variáveis independentes.

β = é o vetor de parâmetros.

f = é a função (relação) que acredita-se existir entre as variáveis

ε_i = é o vetor de erros associados aos modelos (ARCHONTOULIS & MIGUEZ, 2015).

Os principais modelos não-lineares utilizados para descrever as curvas de crescimento estão contemplados na Tabela 2.1. São funções empregadas na modelagem do crescimento animal e constituem modelos com amplo potencial de uso para descrever o crescimento de

vegetais. Segundo Silveira (2010), de maneira simplificada, esses modelos têm por objetivo descrever uma trajetória assintótica da variável dependente, como o peso, em função da variável independente, tendo o tempo como exemplo.

Tabela 2.1 Equações matemáticas utilizadas para descrição de modelos não lineares (adaptado, LÚCIO e SARI, 2017)

Modelo	Equação	Referência
Richards	$y_i = \frac{\beta_1}{(1 + \beta_2(\exp(-\beta_3 x_i)))^{1/\beta_4}} + \varepsilon$	Ratkowsky (1983)
Gompertz	$y_i = \beta_1 \exp(-\exp(\beta_2 - \beta_3 x_i)) + \varepsilon$	Winsor (1932)
Logístico	$y_i = \frac{\beta_1}{(1 + \exp(\beta_2 - \beta_3 x_i))} + \varepsilon$	Nelder (1961)
Logístico (4 parâmetros)	$y_i = \beta_1 + \frac{\beta_2 - \beta_1}{1 + \exp\left(\left(\frac{\beta_3 - x_i}{\beta_4}\right)\right)} + \varepsilon$	Pinheiro e Bates, (2009)
Von Bertalanffy	$Y_i = \beta_1(1 - \beta_2 \exp(-\beta_3 x_i))^3 + \varepsilon$	Bertalanffy (1957)
Michaelis-Menten Modificado	$y_i = \frac{\beta_2 \beta_3 \beta_4 + \beta_1 x_i \beta_4}{\beta_3 \beta_4 + x_i \beta_4}$	Lopez <i>et al</i> , (2000)
Brody ou Mononuclear	$y_i = \beta_1 \{1 - \exp[-\beta_2(x - \beta_3)]\} + \varepsilon$	Brody (1945)

Ao proceder o ajuste de um modelo, seja ele linear ou não linear, em um conjunto de dados, pretende-se obter um ajuste elevado dos dados para serem apresentados, prever os valores da variável resposta X, estabelecer intervalos de confiança, comparar os resultados de diferentes condições experimentais usando e interpretando os parâmetros.

Os modelos não lineares são utilizados nas mais diversas áreas de pesquisa. Para a área de produção vegetal, são usados com mais frequência os modelos Logístico, Gompertz, Michaelis-Menten, Brody e von Bertalanffy. Estes modelos foram estudados por:

- 1) Pereira *et al.* (2000) estudaram o comportamento da bananeira ('Prata Anã'), no primeiro ciclo de produção e ajustaram o modelo Logístico à circunferência do pseudocaule e à altura das plantas;
- 2) Toralles *et al.* (2004) estudando o escurecimento enzimático *in vitro* em pêssegos, utilizaram o modelo de Michaelis-Menten e encontraram uma relação crescente do coeficiente de especificidade, função dos parâmetros do modelo, sendo um bom indicador cinético do estudo *in vitro* e, portanto, pode ser utilizado como indicador de escurecimento em polpa;

- 3) Maia *et al.* (2009), utilizaram os modelos Brody, Gompertz, Logístico e von Bertalanffy para descrição das curvas de crescimento de bananeiras;
- 4) Terra, Muniz e Savian (2010) ajustaram os modelos Gompertz e Logístico para caracterizar o crescimento de frutos de tamareira anã;
- 5) Mendes (2011) estudou as curvas de crescimento referentes ao diâmetro longitudinal de tomates por meio dos modelos Logístico e Gompertz e apresentou um procedimento bayesiano para analisar e comparar esses modelos.
- 6) Prado, Savian e Muniz (2013) utilizaram dois modelos (Gompertz e Logístico) para descrever o crescimento de frutos de coqueiro verde anão;
- 7) Reis *et al.* (2014), estudaram cinco modelos de regressão não linear (Mitscherlich, Gompertz, Logístico, Brody e von Bertalanffy), para descreverem o acúmulo de massa seca de diferentes partes da planta de alho ao longo do tempo;

Entre os diversos modelos de crescimento não lineares, destacam-se o modelo Logístico e o modelo de Gompertz, sendo estes modelos mais utilizados nos estudos de curvas de crescimento vegetal.

2.3.2 Métodos de estimação

Em modelos lineares, para obter as estimativas dos parâmetros é utilizado o método dos mínimos quadrados (MMQ). Esse procedimento também pode ser empregado em modelos não lineares. No entanto, a minimização da soma do quadrado residual produz equações normais, que são não lineares nos parâmetros. Com isso torna-se impossível resolver as equações não lineares analiticamente. A alternativa é empregar métodos iterativos que permitem encontrar soluções analíticas aproximadas (PRAJNESHU, 1998). Dependendo da natureza do tipo da distribuição dos erros, algumas variações do método dos mínimos quadrados podem ser encontradas, como: mínimos quadrados generalizados ou ponderados, mínimos quadrados alternados e mínimos quadrados parciais (MISHAN e PINHO, 2014).

2.3.2.1 Métodos iterativos

Se fazem necessários para alcançar soluções aproximadas das somas de quadrados residuais em modelos não lineares. Sendo que os métodos frequentemente utilizados para determinar a estimativa do parâmetro são: Gauss-Newton, Steepest Descent e Marquardt's (DRAPER e SMITH, 1998).

- 1) O método de Gauss-Newton emprega resultados da teoria dos mínimos quadrados lineares em uma sequência de etapas. Esse método converge rapidamente, desde que, os valores iniciais tenham uma boa aproximação aos verdadeiros valores dos parâmetros. Caso contrário, a convergência pode não ocorrer (PRAJNESHU, 1998).
- 2) O método do gradiente (*Steepest Descent Method*) converge a partir de uma estimativa inicial, que pode estar fora da região de convergência os valores iniciais. Desta forma, não necessita apresentar aos verdadeiros valores dos parâmetros e o processo de iterativo foi aprimorado pelos softwares de programação.
- 3) O Método de Marquardt's é empregado para encontrar estimativas de mínimos quadrados não lineares (MOTULSKY e RANSNAS, 1987). Este método combina a capacidade do método Steepest Descent em convergir, a partir de uma estimativa inicial, que pode estar fora da região de convergência em outros métodos, e a qualidade do método de Gauss-Newton em convergir rapidamente quando aproxima-se dos verdadeiros valores a serem estimados.

Para que ocorra a convergência nos métodos iterativos, é imprescindível estabelecer valores iniciais para os parâmetros. Este valor inicial devem ser condizentes com os valores reais. Portanto, recomenda-se fazer uso de informações prévias, sempre que possível. Estas informações podem ser de experimentos semelhantes realizados no passado ou por meio da análise (PRAJNESHU 1998). Além disso, podem ser utilizadas programações em softwares estatísticos que facilitam a obtenção dos valores iniciais.

2.3.3 Avaliadores da qualidade do ajuste

Os avaliadores da qualidade de ajuste são metodologias estatísticas utilizadas para comparar os diferentes modelos de regressão não lineares existentes e indicar o melhor modelo, quando ajustados a um mesmo conjunto de dados.

A importância de selecionar modelos baseando-se em princípios científicos, é descrita por Burnham e Anderson (2004), destacando os avaliadores de qualidade de ajuste, como os indicadores que permitem recomendar estatisticamente o modelo que proporcionou o melhor ajuste. Porém, deve ser ressaltado que ao trabalhar com diferentes populações, que na área vegetal geralmente são designadas por diferentes cultivares, muitas vezes o modelo que

melhor representa o crescimento para uma população pode não ser o melhor para as demais, isto é, os resultados dos avaliadores podem variar de acordo com a população considerada.

2.3.3.1 Coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj})

O coeficiente de determinação ajustado é obtido pela seguinte equação:

$$R^2_{aj} = 1 - \left[\frac{(1 - R^2)(n - i)}{n - p} \right] \quad (2)$$

$$R^2_{aj} = 1 - \left[\frac{SQR}{SQT} \right] \quad (3)$$

em que:

R^2_{aj} = coeficiente de determinação ajustado.

n = número de medições ou observações.

p = número de parâmetros do modelo.

i = está relacionado com o ajuste do intercepto da curva, sendo igual a 1 se houver intercepto e igual a 0, se não houver intercepto no modelo.

Porém, deve-se ressaltar que a interpretação do coeficiente de determinação (R^2), que indica o quanto da variação dos dados foi explicado pelo modelo, é diferente da interpretação do coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}). Por sua vez, utiliza apenas a seleção dos modelos, de forma que o maior valor de R^2_{aj} indica melhor ajuste do modelo (FERNANDES, 2012).

2.3.3.2 Critério de Informação de Akaike (AIC)

O Critério de Informação de Akaike (AIC) é utilizado para penalizar os modelos quanto ao número de parâmetros, evitando os modelos que apresentam um excesso de parâmetros. O AIC foi descrito por Akaike em 1974 e pode ser definido como:

$$AIC = \ln(\sigma^2) + 2(p + 1)/n \quad (4)$$

em que:

$\ln(\sigma^2)$ = logaritmo da variância dos erros.

p = é o número de parâmetros do modelo.

n = número de observações.

Quanto menor o valor de AIC, melhor o ajuste do modelo. Através deste critério, o pesquisador pode comparar os diversos modelos ajustados para uma mesma variável, escolhendo o que tem menor valor de AIC (FERNANDES, 2012).

2.3.3.3 Desvio Padrão Residual (DPR)

O DPR a variabilidade dos dados, e é dada pela raiz quadrada do quadrado médio do resíduo e pode ser definido como:

$$DPR = \sqrt{QMR} \quad (5)$$

$$QMR = \frac{SQR}{n} - p \quad (6)$$

em que:

n = número de observações.

p = número de parâmetros.

QMR = quadrado médio do resíduo.

SQR = soma do quadrado do resíduo.

Neste caso, quanto menor o valor do DPR, melhor será considerado o modelo.

3.3.4 Cuidados com avaliadores da qualidade ajuste

Ao utilizar uma gama de avaliadores, a escolha dos modelos se transforma em um processo complicado, visto que cada avaliador preconiza determinada característica, como, por exemplo, a minimização dos erros de ajuste e a habilidade de predição. Dessa forma, um mesmo modelo pode apresentar alto desempenho para um avaliador e baixo para outros

(SILVEIRA *et al.*, 2010). Além disso, na presença de diferentes populações, os resultados dos avaliadores da qualidade de ajuste podem variar, de acordo com a população considerada.

Em experimentos agrícolas, vários são os fenômenos que podem ser estudados e estes podem ser descritos por modelos, pois existem diversas metodologias e o pesquisador utilizará aquela que julgar adequada. Assim, um bom modelo é aquele que consegue ter um equilíbrio entre a qualidade do ajuste e a complexidade, que em geral, é medida pelo número dos parâmetros do modelo. Como por exemplo Lúcio *et al.* (2016) verificaram os modelos von Bertalanffy e Logístico para estimar a produção de frutos de tomateiro tipo cereja; Muianga *et al.* (2016) descreveram a curva de crescimento de frutos do cajueiro e Muniz, Nascimento e Fernandes (2017) trabalharam com os modelos Logístico e Gompertz para modelar o crescimento de frutos de cacau. Porém, deve-se ressaltar que quanto maior o número de parâmetros do modelo, maior é a complexidade para a sua explicação.

CAPÍTULO 3 – DESEMPENHO AGRONÔMICO DE CULTIVARES DE ALFACE EM ESTAÇÕES DO ANO E CONDIÇÕES DE SOMBREAMENTO

RESUMO

Os objetivos deste trabalho foram avaliar o desempenho agronômico de nove cultivares de alface (Gloriosa, Pira Verde, Stella, Ceres, Grandes Lagos, Rubinela, Crocantela, Elisa e Vera), em três estações (outono-inverno, primavera e verão) e inferir sobre o efeito da malha de sombreamento na primavera e no verão. Foram conduzidos dez experimentos utilizando as técnicas de cultivo sem solo em ambiente protegido tipo abrigo. O delineamento experimental inteiramente casualizado foi utilizado, em seis bancadas na estação outono-inverno e quatro na primavera e no verão, com 44 vasos por bancada. Cada vaso, com capacidade de 3 L, foi preenchido com areia e transplantado uma muda de alface. Na primavera e no verão foram conduzidos experimentos com e sem malha de sombreamento. Foi utilizada a malha de sombreamento preta, com 18% de redução da radiação, a 1,5 m acima da cultura. O suprimento nutricional foi fornecido por meio de solução nutritiva recirculante, em sistema de irrigação acionado automaticamente. Foram avaliados os caracteres: número de folhas, massas de matéria fresca e seca de folhas, comprimento do caule, diâmetro do caule, massas de matéria fresca e seca do caule, massas de matéria fresca e seca de parte aérea, comprimento de raízes e massas de matéria fresca e seca de raízes. As cultivares Gloriosa (na estação outono-inverno), Grandes Lagos e Gloriosa (na estação primavera) e Crocantela e Vera (na estação verão) apresentam maior produção de massa e são as mais indicadas para o cultivo nessas estações. A malha de sombreamento no interior do ambiente protegido não melhorou o desempenho das cultivares e seu uso não é necessário na primavera e no verão.

Palavras-chave: *Lactuca sativa* L., crescimento, cultivo sem solo, malha de sombreamento.

ABSTRACT

The objectives of this study were to evaluate the agronomic performance of nine lettuce cultivars (Gloriosa, Pira Verde, Stella, Ceres, Grandes Lagos, Rubinella, Crocantela, Elisa and Vera), in three seasons (autumn-winter, spring and summer) and evaluate the effect of shade netting in spring and summer. Ten experiments were carried out, using the soilless cultivation systems in a sheltered environment. The experimental design was completely randomized, six benches were used in the autumn-winter season and four in both spring and summer, with 44 pots per bench. Lettuce seedlings were transplanted into 3-liter pots filled with sand. During the spring and summer seasons experiments were conducted with and without a 18% black shade netting placed 1.5 m above the plants. Nutritional supply was provided by nutrient solution recirculating in an automatically operated irrigation system. The evaluated traits were as follows: number of leaves, fresh and dry leaf matter, stem length, stem diameter, fresh and dry stem matter, fresh and dry shoot matter, root length and fresh and dry root matter. The cultivars Gloriosa (in autumn-winter), Grandes Lagos and Gloriosa (in the spring) and Crocantela and Vera (in the summer), presented greater matter yield and are deemed the most suitable for cultivation in these seasons. The use of a shade netting within the sheltered environment did not improve the performance of the cultivars and its use is not necessary in the spring and summer.

Key words: *Lactuca sativa* L., growth, soilless cultivation, shade netting.

INTRODUÇÃO

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma espécie pertencente à família Asteraceae, originária do antigo Egito, caracterizada como planta herbácea de caule não ramificado, ao qual se prendem folhas lisas ou crespas, que podem se fechar ou não na forma de “cabeça” (Ryder, 2002; Sala e

Costa, 2012). A parte aérea da alface é produzida e consumida, especialmente na Ásia, Europa e América (Lebeda *et al.*, 2009). A produção anual brasileira é de 14 milhões de plantas (Santos *et al.*, 2015). Destaca-se como a hortaliça folhosa mais produzida no Brasil, por viabilizar cultivos sucessivos no mesmo ano e ter reduzido custo de produção (Sala e Costa, 2012). A alface é a hortaliça favorita de pequenos produtores, o que lhe afere grande importância econômica e social.

As cultivares de alface são classificadas em grupos conforme suas características morfológicas. Segundo a Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo (CEAGESP), 43,3% dos consumidores preferem folhas do tipo crespa (folhas consistentes, crespas, soltas que não formam cabeça), 41,2% apreciam as americanas (folhas verde-clara, crespas, crocantes, consistentes nervuras destacadas e com formação de cabeça compacta), 5,0% consomem as lisas (folhas lisas, delicadas e com cabeça fracamente compacta), 5,9% as mimosas (folhas verdes amareladas, com bordos repicados, não formam cabeça), 1,0% as romanas (folhas alongadas, firmes, cabeça fofa e alongada, na forma de cone) e 3,6% outras variações da folhosa (CEAGESP, 2016).

A alface é uma planta de clima temperado, apresenta crescimento e desenvolvimento apropriado com temperatura ótima entre 15,5° e 18,3°C e com limites inferior de 7,2°C e superior de 23,9°C (Maynard e Hochmuth, 2007). As temperaturas acima de 30,0°C, durante a fase vegetativa, aceleram os processos fotossintéticos, reduzem as quantidades de açúcares e favorecem a emissão de haste floral (Filgueira, 2008; FAO 2013). Em ambiente protegido, as altas temperaturas registradas no verão e na primavera ocasionam problemas de qualidade e palatabilidade nas folhas de alface. Outro fator limitante ao crescimento da cultura é o excesso de energia radiante que predispõe as plantas à fotoinibição, estresse térmico e ao fechamento estomático, reduzindo assim, a fotossíntese líquida (Fu *et al.*, 2012; Ntsoane *et al.*, 2016).

No Rio Grande do Sul, a temperatura média oscila entre -3 a 18°C nos meses mais frios (junho, julho e agosto) e superior a 22°C nos meses mais quentes (dezembro, janeiro, fevereiro e março) (Alvares *et al.*, 2013). A região central do Rio Grande do Sul é uma das mais quentes

durante o verão, em função de sua continentalidade e baixa altitude. Nos meses de abril a setembro, essa região está sujeita a geadas fracas a moderadas (Heldwein *et al.*, 2009).

A diferença entre as necessidades meteorológicas exigidas pela cultura da alface e as condições climáticas disponíveis é motivo pelo qual as cultivares devem ser selecionadas de acordo com as exigências de cada cultivar. Entretanto, cultivares indicadas para determinada estação podem ter comportamentos distintos, visto que as cultivares de alface apresentam desempenho limitado quando submetidas ao excesso de temperatura do ar e radiação solar (Ntsoane *et al.*, 2016). Estes fatores influenciam no desenvolvimento e na qualidade das folhas.

Estudos com cultivares de alface foram realizadas no Japão, por Uno *et al.* (2016). Esses autores estudaram quatro cultivares (Hollywood, Frillice, Cesper e Mariano) quanto à susceptibilidade ao “*tip burn*”, um dos principais distúrbios fisiológicos devido às temperaturas elevadas e à deficiência na translocação do cálcio. No Brasil, as pesquisas são regionalizadas, e foram concentradas em descrições de características relacionadas à produtividade. Nesse contexto, Resende *et al.* (2017), em cultivo no solo, avaliaram seis cultivares de alface tipo crespa para as condições de outono-inverno em Petrolina, estado de Pernambuco. Na mesma região e em condições semelhantes de cultivo, Yuri *et al.* (2017) avaliaram o desempenho produtivo de 22 genótipos de alface do tipo americana. Desempenho de cultivares americanas, lisas, crespas para as condições de inverno no município de Americana, estado de São Paulo, foram estudadas por Prela-Pantano *et al.* (2015).

Na produção comercial da alface o manejo deve ser adaptado de forma a minimizar as deficiências ou excessos relativos às condições climáticas. No inverno, o cultivo em ambiente protegido pode acumular energia, quando bem fechado, aumentando a temperatura do ar (Andriolo, 2017), sendo benéfico para o desenvolvimento das plantas. Já no verão, se mal manejado ou com ventilação insuficiente pode aumentar excessivamente a temperatura. Durante o verão a temperatura

máxima em alguns períodos do dia pode chegar a 40°C, que é extremamente prejudicial à cultura da alface.

As malhas de sombreamento têm sido utilizadas como alternativa para modificar o microclima em cultivos de hortaliças. O sombreamento moderado com malhas de coloração preta, vermelha, azul, pérola e verde tem por finalidade proporcionar um microclima de crescimento favorável para as culturas (Sala e Costa, 2012, Shahak, 2014; Ilić e Fallik, 2017).

Supõe-se que as cultivares apresentem desempenho diferenciado, dentro de cada estação de cultivo, e que na primavera e no verão a malha de sombreamento melhora o desempenho agrônomo das cultivares. Assim, os objetivos deste trabalho foram avaliar o desempenho agrônomo de nove cultivares de alface (Gloriosa, Pira Verde, Stella, Ceres, Grandes Lagos, Rubinela, Crocantela, Vera e Elisa), em três estações (outono-inverno, primavera e verão) e inferir sobre o efeito da malha de sombreamento na primavera e no verão.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos dez experimentos em Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil (latitude 29°43'24"S, longitude 53°43'12"W e 95 m de altitude), em ambiente protegido, tipo abrigo de 115 m² (5 × 23 m) coberto com polietileno aditivado anti-UV de 150µm de espessura (Tabela 3.1). O cultivo foi durante as estações outono-inverno, primavera e verão, nos anos 2016, 2017 e 2018. O clima da região é do tipo Cfa subtropical úmido, conforme a classificação de Köppen, com verões quentes e sem estação seca (Alvares *et al.*, 2013).

As mudas de alface foram produzidas no sistema “*floating*”, com bandejas de poliestireno expandido de 200 células, preenchidas com substrato comercial Plantmax®. Em cada célula foi colocada uma semente peletizada ou duas sementes nuas. O desbaste foi realizado entre sete e nove dias após a emergência. O transplante foi realizado quando as plantas apresentavam quatro a cinco

folhas. As datas de semeadura, emergência, transplante, colheita, soma térmica acumulada (transplante até a colheita) e o número de repetições (plantas), em cada experimento, estão descritas na Tabela 3.1.

Para o cultivo, foram utilizadas seis bancadas nos experimentos de outono-inverno e quatro nas estações primavera e verão. As bancadas foram compostas por uma telha de fibrocimento ondulada, com 3,66 m de comprimento, 1,10 m de largura e 6 mm de espessura, com seis canais de 5 cm de profundidade. Os canais de cultivo foram impermeabilizados com filme plástico transparente de 100 μm e preenchidos com brita lavada número dois. Para a elevação (0,85 m) das bancadas foram utilizados blocos fixos de alvenaria nas porções inicial e final, com declividade de 2%. Essa declividade, permitia que a solução nutritiva retornasse ao tanque de armazenamento plástico, com capacidade de 500 L. Por meio de uma motobomba submersa de baixa potência (acionada por um temporizador), a solução era impulsionada para um cano de PVC de 25 mm de diâmetro. Deste cano derivavam quatro mangueiras de gotejamento e cada vaso foi alocado sob um gotejador, mantendo a distância de 30 cm entre as plantas na fileira, com densidade de 11,11 plantas m^{-2} . Cada bancada foi constituída por quatro fileiras, com 44 vasos de volume de três litros (11 vasos por fileira), preenchidos com areia grossa peneirada, lavada, com condutividade elétrica de zero dS m^{-1} . Nos experimentos com malha de sombreamento de 18%, realizados nas estações primavera e verão, a malha foi colocada a 1,5 m acima das plantas.

Foi utilizada a solução nutritiva com a seguinte composição de macronutrientes (em mmol L^{-1}): 10,36 de NO_3^- , 1,0 de H_2PO_4^- ; 3,36 de NH_4^+ ; 1,0 de SO_4^- , 4,0 de K^+ ; 2,0 de Ca^{2+} ; 1,0 de Mg^{2+} ; e os micronutrientes (em mg L^{-1}): 1,0 de Fe; 0,50 de Mn; 0,22 de Zn; 0,26 de B; 0,06 de Cu e 0,03 de Mo, para cultura de alface, com a condutividade elétrica (CE) de 1,33 dS m^{-1} e pH de 5,5 a 6,5. A CE e o pH foram monitorados ao longo do ciclo de cultivo e corrigidos quando apresentavam variação de 20%, superior ou inferior, em relação ao padrão.

Os tratamentos foram as cultivares em estações de cultivo, com e sem malha de sombreamento na primavera e no verão. Para cada estação foram utilizadas as cultivares, segundo as recomendações técnicas das empresas detentoras de seus registros. As cultivares avaliadas - com o respectivo grupo entre parênteses - na estação outono-inverno foram: Gloriosa (americana), Pira Verde (crespa verde) e Stella (lisa); na estação primavera: Ceres (crespa verde), Gloriosa (americana), Grandes Lagos (americana) e Rubinela (crespa roxa); e na estação verão: Crocantela (crespa americana), Elisa (lisa), Rubinela (crespa roxa) e Vera (crespa verde).

As avaliações foram realizadas no momento da colheita (Tabela 3.1). O critério para definição do ponto de colheita das cultivares dos tipos lisa e crespa foi quando as folhas abaxiais apresentaram sinais de senescência. Para as cultivares do tipo americana, foi considerada a compactação da cabeça. Foram avaliados os caracteres: número de folhas (NF), massa de matéria fresca de folhas (MFF, em g planta⁻¹), comprimento do caule (CC, em cm), diâmetro do caule (DC, em cm), massa de matéria fresca de caule (MFC, em g planta⁻¹), comprimento de raízes (CR, em cm) e massa de matéria fresca de raízes (MFR, em g planta⁻¹). O material foi acondicionado em saco de papel e levado para estufa com circulação forçada de ar quente (60° ± 5°C), até peso de massa de matéria seca constante. Então, foram pesadas as massas de matéria seca de folhas (MSF, em g planta⁻¹), matéria seca de caule (MSC, em g planta⁻¹) e matéria seca de raízes (MSR, em g planta⁻¹). Foram calculadas as massas de matéria fresca (MFPA = MFF + MFC, em g planta⁻¹) e seca (MSPA = MSF + MSC, em g planta⁻¹) de parte aérea.

A temperatura do ar no interior do ambiente de cultivo foi registrada por um *data logger* digital (resolução 0,1°C e exatidão 0,5°C), instalado em um abrigo meteorológico. A radiação solar foi registrada na estação meteorológica automática, pertencente ao 8º Distrito de Meteorologia - Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada a 300 m do ambiente de cultivo.

Em cada um dos dez experimentos, para cada caractere, foi realizada a análise de variância via *bootstrap* com 10.000 reamostragens. Posteriormente, as médias de cultivares foram

comparadas pelo teste de *Scott-Knott* via *bootstrap* com 10.000 reamostragens, com 5% de significância. As análises de variância e os testes de *Scott-Knott* via *bootstrap* foram realizados no software Sisvar (Ferreira, 2014). Conforme Ferreira (2014), esses procedimentos estatísticos são adequados para contornar possíveis impactos do não atendimento das pressuposições de normalidade dos erros e homogeneidade das variâncias residuais. As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do aplicativo Microsoft Office Excel e do software Sisvar (Ferreira, 2014).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos experimentos 1 e 2, realizados na estação outono-inverno, sem malha de sombreamento, a cultivar Gloriosa apresentou desempenho superior em todos os caracteres, exceto para o número de folhas (NF), em que a cultivar Stella apresentou maior NF. As cultivares Pira Verde e Stella apresentaram desempenho inferior em relação a cultivar Gloriosa, e semelhante entre si (Tabela 3.2). No experimento 1, a cultivar Gloriosa apresentou massa fresca de folha de 266,58 g planta⁻¹ a mais que no experimento 2. Essa diferença, pode ser atribuída às melhores condições meteorológicas durante a realização do experimento 1, com temperaturas mínimas abaixo de 15°C e máxima inferior a 30°C durante a maior parte do ciclo (Figura 3.1), as quais estiveram próximas daquelas consideradas adequadas para o crescimento e produção da alface (Maynard e Hochmuth, 2007). Adicionalmente, a maior duração do período entre o transplante e o ponto de colheita no experimento 1 (62 dias) em comparação ao experimento 2 (46 dias), pode ter contribuído para o melhor desempenho das plantas no experimento 1. A massa fresca de cultivares americanas obtida por Yuri *et al.* (2017) e a massa fresca de cultivares americanas, lisas e crespas obtida por Prela-Pantano *et al.* (2015), ambos em cultivo no solo, foram semelhantes as obtidas nesse estudo. Diante dessas considerações, mesmo havendo desempenho diferenciado entre os experimentos, a cultivar

Gloriosa apresentou melhor desempenho em ambos os cultivos. Assim, pode-se inferir que essa cultivar é a mais indicada para ser cultivada na estação outono-inverno.

Na estação primavera, sem malha de sombreamento (experimentos 3 e 4), as cultivares apresentaram menores massas fresca e seca de parte aérea no experimento 4 (Tabela 3.3), em consequência de temperaturas máximas serem superiores a 30°C em praticamente todo o ciclo de produção (Figura 3.1). As cultivares Grandes Lagos e Gloriosa, nessa ordem, apresentaram desempenho superior às demais cultivares para a maior parte dos caracteres (Tabela 3.3), demonstrando maior plasticidade em relação às condições meteorológicas e mais adaptadas ao cultivo durante a estação primavera. A cultivar Ceres, apresentou desempenho intermediário e a cultivar Rubinela inferior. Entretanto, o desempenho da cultivar Rubinela deve ser avaliado com cautela, pois as cultivares do segmento crespa roxa, apresentam menor produção de massa de parte aérea, quando comparadas com as americanas. Os resultados encontrados neste trabalho são coerentes com os de Blat *et al.* (2011), que determinaram a massa fresca de parte aérea para a cultivar Pira Roxa de 60,4 g planta⁻¹.

Nos experimentos conduzidos com malha de sombreamento, na primavera (experimentos 5 e 6), as cultivares Grandes Lagos e Gloriosa foram semelhantes entre si e apresentaram desempenho superior para todos os caracteres do experimento 5 (Tabela 3.4). No experimento 6, a cultivar Grandes Lagos foi superior para todos os caracteres, menos o número de folhas (NF) e comprimento de raízes (CR). Já as cultivares Ceres e Rubinela, em ambos os experimentos, apresentaram desempenho inferior e semelhante entre si. No geral, o comportamento das cultivares nos dois experimentos conduzidos sem malha de sombreamento (experimentos 3 e 4) e nos dois experimentos conduzidos com malha de sombreamento (experimentos 5 e 6), foi semelhante (Tabelas 3.3 e 3.4). Assim, pode-se inferir que as cultivares Grandes Lagos e Gloriosa são as mais indicadas para o cultivo na estação primavera e que o uso da malha de sombreamento de 18%, no

interior do ambiente protegido, não se justifica, pois não refletiu em melhor desempenho das cultivares.

Nos experimentos 1, 2, 3, 4, 5 e 6 as melhores cultivares foram a Grandes Lagos e Gloriosa, do grupo de cultivares americanas. O comprimento de caule está relacionado com o pendoamento da cultura. O pendoamento não é desejado pelos produtores e consumidores, sendo que, o comprimento de caule aceitável para as cultivares americanas varia de 6,0 a 9,0 cm (Yuri *et al.*, 2017). Nesses experimentos, o comprimento de caule, das cultivares Grandes Lagos e Gloriosa encontrou-se dentro do padrão de qualidade, o que reforça inferências supracitadas sobre a indicação dessas cultivares.

Na estação verão, sem malha de sombreamento (experimentos 7 e 8), verificou-se que durante a condução do experimento 7, a temperatura máxima diária foi superior a 30°C durante o transplante até a colheita, e atingiu valor extremo de 40,5°C próximo ao final do ciclo (Figura 1). Com essas condições, a cultivar Vera apresentou um desempenho superior às cultivares Rubinela, Crocantela e Elisa, nessa ordem (Tabela 3.5). O excesso de temperatura e de radiação solar reduz a fotossíntese e podem provocar danos ao aparato fotossintético (Taiz *et al.* 2017), reduz o incremento de massa das folhas e aumenta o comprimento de caule, características estas que antecipam a colheita, conseqüentemente ciclo produtivo reduzido.

No experimento 8, a cultivar Crocantela apresentou desempenho superior para os caracteres avaliados, menos para o número de folhas (NF) (Tabela 3.5). A produção de massa de matéria fresca de parte aérea da cultivar Crocantela foi 52% superior à obtida no experimento 7. Essa maior produção pode ser atribuída, às temperaturas mínimas estarem entre 14,5 e 22,0°C (Figura 3.1), sendo próximas as ideais para a cultura (Maynard e Hochmuth, 2007). As cultivares Elisa, Rubinela e Vera apresentaram desempenho inferior a Crocantela, mas semelhante entre si, exceto para o número de folhas (NF). Segundo Blind e Silva Filho (2015) nas condições de verão na cidade de Presidente Figueiredo, Estado de Amazonas, Brasil, em cultivo no solo com canteiros

convencionais, obtiveram matéria fresca de parte aérea de 290 g planta⁻¹ para a cultivar Tainá. Também Resende *et al.* (2017), com cultivares de alface crespa, no semiárido brasileiro obtiveram massa de matéria fresca parte aérea mais raízes entre 150 a 400 g planta⁻¹ e comprimento do caule de 6,4 a 9,0 cm, que foram parcialmente superiores aos encontrados no presente trabalho.

Nos experimentos conduzidos no verão, com malha de sombreamento (experimentos 9 e 10), as cultivares apresentaram menor desempenho no experimento 9 (Tabela 3.6). Esse desempenho inferior pode ter sido causado pela ocorrência de temperaturas máximas diárias superiores a 35°C (Figura 3.1) e radiação solar incidente diária superior a 20 MJ m⁻² na maior parte do período entre o transplante e a colheita (Figura 3.2). No experimento 9 a cultivar Vera apresentou desempenho superior as demais cultivares. Já, no experimento 10, a cultivar com melhor desempenho foi a Crocantela. E as cultivares Elisa, Rubinela e Vera foram semelhantes entre si. Durante o transplante até a colheita, no experimento 10, as temperaturas médias diárias oscilaram de 21,5°C a 29,2°C (Figura 3.1) e a radiação solar incidente de 6,67 MJ m⁻² a 28,97 MJ m⁻² (Figura 3.2).

Nos experimentos (7, 8, 9 e 10), conduzidos no verão, percebeu-se, condições meteorológicas distintas, sendo de maneira geral, mais favoráveis nos experimentos 8 e 10, conferindo melhor desempenho para as cultivares (Tabelas 3.5 e 3.6). Percebeu-se também que a presença de malha de sombreamento no interior do ambiente protegido, não refletiu em melhor desempenho das cultivares. Também nos experimentos em que as condições meteorológicas foram menos favoráveis (experimentos 7 e 9), a cultivar Vera destacou-se das demais e nos experimentos em que as condições meteorológicas foram mais favoráveis (experimentos 8 e 10), a cultivar com melhor desempenho agrônômico foi a Crocantela.

A malha de sombreamento, nas estações de primavera e verão, não proporcionou condições para maior produção de massa nos diferentes órgãos da planta ou redução no comprimento do caule. Assim, nessas estações, pode-se inferir que a malha de sombreamento não beneficiou o cultivo a

ponto de justificar o investimento. Uma das causas é a ventilação do ambiente protegido do tipo abrigo, devido à abertura permanente das laterais, assim o processo de ventilação do ambiente protegido ocorre de forma homogênea. Além disso, o polietileno de baixa densidade utilizado na cobertura do ambiente protegido, com uma transmissividade de 60%, retém parte da radiação solar (Perin *et al.* 2018), reduzindo o efeito da malha de sombreamento. Em oposição, em cultivo hidropônico, para a cultivar crespa Mariane, em Tianguá, Estado do Ceará, Brasil, com clima Aw, durante o inverno a malha de sombreamento preta reduziu a temperatura e aumentou o número de folhas (Sales *et al.*, 2014). Ainda, em cultivo no solo, sem ambiente protegido, as malhas pretas e termorefletoras são uma alternativa para produção de alface em clima tropical (Diamante *et al.*, 2013).

CONCLUSÃO

As cultivares de alface Gloriosa (na estação outono-inverno), Grandes Lagos e Gloriosa (na estação primavera) e Crocantela e Vera (na estação verão), apresentam maior produção de massa e são as mais indicadas para o cultivo nessas estações. A malha de sombreamento no interior do ambiente protegido uso não é necessário na primavera e no verão, porque não houveram alterações nos caracteres de massa fresca e seca.

REFERÊNCIAS

- Alvares, C.A.; Stape, J.L.; Sentelhas, P.C.; Gonçalves, J.L.M.; Sparovek, G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6): 711-728, <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Blat, S.F.; Sanchez, S.V.; Araújo, J.A.C.; Bolonhezi, D. 2011. Desempenho de cultivares de alface crespa em dois ambientes de cultivo em sistema hidropônico. *Horticultura Brasileira* 29(1): 135-138. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362011000100024>
- Andriolo, J.L. 2017. Olericultura Geral. 3th ed. Editora UFSM. 93p.
- Blind, A.D.; Silva Filho, D. F. 2015. Desempenho produtivo de cultivares de alface americana na estação seca da amazônia central. *Bioscience Journal*, 31 (2): 404-414. <http://dx.doi.org/10.14393/BJ-v31n2a2015-22352>
- CEAGESP. Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo. 2016. Disponível em:< <http://www.ceagesp.gov.br/produtos/alface-crespa/>>
- Diamante, M.S.; Seabra, S.J.; Inagaki, A.M; Silva, M.B.; Dallacort, R. 2013. Produção e resistência ao pendoamento de alfaces tipo lisa cultivada sob diferentes ambientes. *Revista Ciência Agronômica*, 44(1): 133-140. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902013000100017>
- FAO, 2013. *Good Agricultural Practices for Greenhouse Vegetable Crops: Principles for Mediterranean Climate Areas*. ITA, FAO, Rome
- Ferreira, D.F. 2014. Sisvar: a guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. *Ciência e Agrotecnologia*, 38(2): 109-112. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542014000200001>
- Filgueira, F.A.R. 2008 *Novo Manual de Olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças*. 2th ed. Editora UFV. 421p.
- Fu, W.; Li, P.; Wu, Y. 2012. Effects of different light intensities on chlorophyll fluorescence characteristics and yield in lettuce. *Scientia Horticulturae*, 135: 45-51. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.12.004>

- Heldwein, A.B.; Buriol, G.A.; Streck, N.A. 2009. O clima de Santa Maria. *Ciência e Ambiente*, 38: 43-58.
- Ilić, Z. S.; Fallik, E. 2017. Light quality manipulation improve vegetables quality at harvest and postharvest. A review. *Environmental and Experimental Botany*, 139: 79-90.
<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.04.006>
- Lebada, A.; Delezalová, I.; Krátková, E.; Kitner, M.; Mieslerová, B.; Novotná, A. 2009. Wild *Lactuca* germplasm for lettuce breeding: current status, gaps and challenges. *Euphytica*, 170: 15-34.
<https://doi.org/10.1007/s10681-009-9914-7>
- Maynard, D.N.; Hochmuth, G.J. 2007. *Knott's handbook or vegetable growers*. 5th ed. Editora John Wiley e Sons. 621p.
- Ntsoane, L.L.M.; Soundy, P.; Jifon, J.; Sivakumar, D. 2016. Variety-specific responses of lettuce grown under the different coloured shade nets on phytochemical quality after postharvest storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91: 520-528.
<https://doi.org/10.1080/14620316.2016.1178080>
- Perin, L.; Peil, R. M. N.; Trentin, R.; Streck, E.A.; Rosa, D.S.B.; Hohn, D.; Schaun, W. S. 2018. Solar radiation threshold and growth of mini tomato plants in mild autumn/winter condition. *Scientia Horticulturae*, 239: 156-162.
- Prela-Pantano, A.; Novo, M.C.S.S.; Trani, P.E. 2015. Desempenho de cultivares de alface na região de Americana, SP. *Irriga*, 20(1): 92-104. <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2015v20n1p92>
- Resende, G.M.; Costa, N.D.; Yuri, J.E.; Mota, J.H. 2017. Adaptação de genótipos de alface crespa em condições semiáridas. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 11(1): 1145-1154.
<https://doi.org/10.7127/rbai.v11n100553>
- Ryder, E. J. in Trends in new crops and new uses. Janick, J. & Whipkey (eds), A. The new salad crop revolution. 2002. ASHS Press 408–412.

- Sala, C.F.; Costa, C.P. da. 2012. Retrospectiva e tendência da alfacicultura brasileira. *Horticultura Brasileira*, 30(2): 187-194. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362012000200002>
- Sales, A. de L.; Barbosa Filho, J.A.D; Barbosa, J.P.R.A.D.; Viana, T. V. A.; Freitas, C.A.S. 2014. Telas agrícolas como subcobertura no cultivo de alface hidropônica. *Ciência Rural*, 44(10): 1775-1760. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20120633>
- Santos, C.E.; Kist, B.B.; Carvalho, C.; Reetz, E. R.; Muller, I.; Belig, R.R.; Poll, H. 2015. *Anuário Brasileiro de hortaliças*. Editora Gazeta. 68p.
- Shahak, Y. 2014. Photosensitive netting: an overview of the concept, R&D and practical implementation in agriculture. *Acta Horticulturae*, 1015: 155-162.
- Taiz, L.; Zeiger E.; Moller, I.M.; Murphy, A. *Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal*. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.
- Yuri, J.E.; Resende, G.M.; Costa, N.D.; Gomes, A.S. 2017. Desempenho agrônômico de genótipos de alface americana no Submédio do Vale do São Francisco. *Horticultura Brasileira*, 35(2): 292-297. <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-053620170222>.
- Uno, Y.; Okubo, H.; Itoh, H.; Koyama, R. 2016. Reduction of leaf lettuce tipburn using an indicator cultivar. *Scientia Horticulturae*. 210: 14-18. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.07.001>

Tabela 3.1 - Datas de semeadura, emergência, transplante e colheita de cultivares de alface, avaliadas em experimentos nas estações outono-inverno, primavera e verão, em dois anos e sem e com malha de sombreamento e a soma térmica acumulada até a colheita (STa) e o número de repetições (r).

Experimento	Estação	Ano	Malha	Cultivar	Semeadura	Emergência	Transplante	Colheita	STa	r
1	Outono-inverno	2016	Sem	Gloriosa	29/04/2016	04/05/2016	10/06/2016	11/08/2016	379,10	12
				Pira Verde	29/04/2016	04/05/2016	10/06/2016	28/07/2016	274,35	12
				Stella	29/04/2016	04/05/2016	10/06/2016	28/07/2016	274,35	12
2	Outono-inverno	2017	Sem	Gloriosa	03/05/2017	08/05/2017	04/06/2017	20/07/2017	377,85	6
				Pira Verde	03/05/2017	08/05/2017	04/06/2017	13/07/2017	335,95	6
				Stella	03/05/2017	08/05/2017	04/06/2017	13/07/2017	335,95	6
3	Primavera	2016	Sem	Ceres	13/09/2016	17/09/2016	14/10/2016	13/11/2016	421,80	4
				Gloriosa	13/09/2016	17/09/2016	14/10/2016	17/11/2016	485,20	4
				Grandes Lagos	13/09/2016	17/09/2016	14/10/2016	17/11/2016	485,20	4
				Rubanela	13/09/2016	17/09/2016	14/10/2016	17/11/2016	485,20	4
4	Primavera	2017	Sem	Ceres	13/09/2017	17/09/2017	19/10/2017	17/11/2017	432,05	4
				Gloriosa	13/09/2017	17/09/2017	19/10/2017	20/11/2017	474,60	4
				Grandes Lagos	13/09/2017	17/09/2017	19/10/2017	20/11/2017	474,60	4
				Rubanela	13/09/2017	17/09/2017	19/10/2017	17/11/2017	432,05	4
5	Primavera	2016	Com	Ceres	13/09/2016	17/09/2016	14/10/2016	13/11/2016	421,80	4
				Gloriosa	13/09/2016	17/09/2016	14/10/2016	17/11/2016	485,20	4
				Grandes Lagos	13/09/2016	17/09/2016	14/10/2016	17/11/2016	485,20	4
				Rubanela	13/09/2016	17/09/2016	14/10/2016	17/11/2016	485,20	4
6	Primavera	2017	Com	Ceres	13/09/2017	17/09/2017	19/10/2017	17/11/2017	432,05	4
				Gloriosa	13/09/2017	17/09/2017	19/10/2017	20/11/2017	474,60	4
				Grandes Lagos	13/09/2017	17/09/2017	19/10/2017	20/11/2017	474,60	4
				Rubanela	13/09/2017	17/09/2017	19/10/2017	17/11/2017	432,05	4
7	Verão	2017	Sem	Crocantela	05/01/2017	08/01/2017	27/01/2017	20/02/2017	438,30	4
				Elisa	05/01/2017	08/01/2017	27/01/2017	16/02/2017	358,15	4
				Rubanela	05/01/2017	08/01/2017	27/01/2017	24/02/2017	513,80	4
				Vera	05/01/2017	08/01/2017	27/01/2017	20/02/2017	438,30	4
8	Verão	2018	Sem	Crocantela	08/01/2018	11/01/2018	09/02/2018	08/03/2018	447,25	4
				Elisa	08/01/2018	11/01/2018	09/02/2018	05/03/2018	404,30	4
				Rubanela	08/01/2018	11/01/2018	09/02/2018	08/03/2018	447,25	4
				Vera	08/01/2018	11/01/2018	09/02/2018	05/03/2018	404,30	4
9	Verão	2017	Com	Crocantela	05/01/2017	08/01/2017	27/01/2017	20/02/2017	438,30	4
				Elisa	05/01/2017	08/01/2017	27/01/2017	16/02/2017	358,15	4
				Rubanela	05/01/2017	08/01/2017	27/01/2017	20/02/2017	438,30	4
				Vera	05/01/2017	08/01/2017	27/01/2017	20/02/2017	438,30	4
10	Verão	2018	Com	Crocantela	08/01/2018	11/01/2018	09/02/2018	08/03/2018	447,25	4
				Elisa	08/01/2018	11/01/2018	09/02/2018	05/03/2018	404,30	4
				Rubanela	08/01/2018	11/01/2018	09/02/2018	08/03/2018	447,25	4
				Vera	08/01/2018	11/01/2018	09/02/2018	05/03/2018	404,30	4

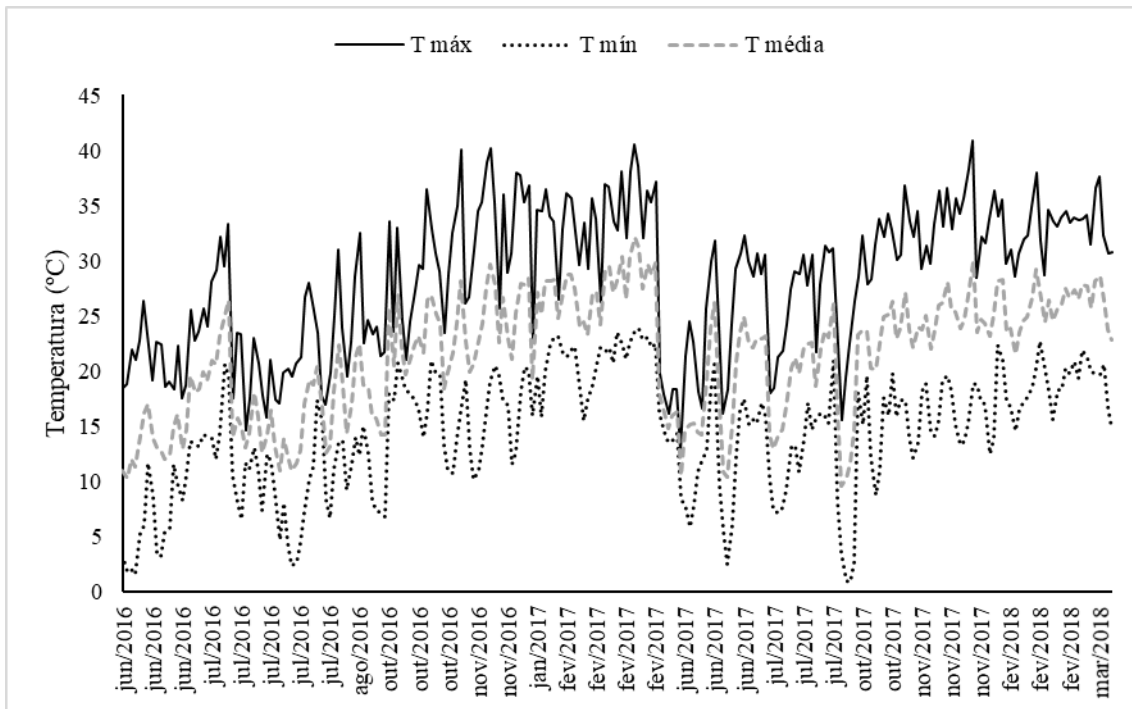


Figura 3.1 – Temperatura máxima (T máx), temperatura mínima (T mín) e temperatura média (T méd) diária para o período de transplante até a colheita, outono-inverno (junho, julho e agosto), primavera (outubro e novembro) e verão (janeiro, fevereiro e março), em Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.

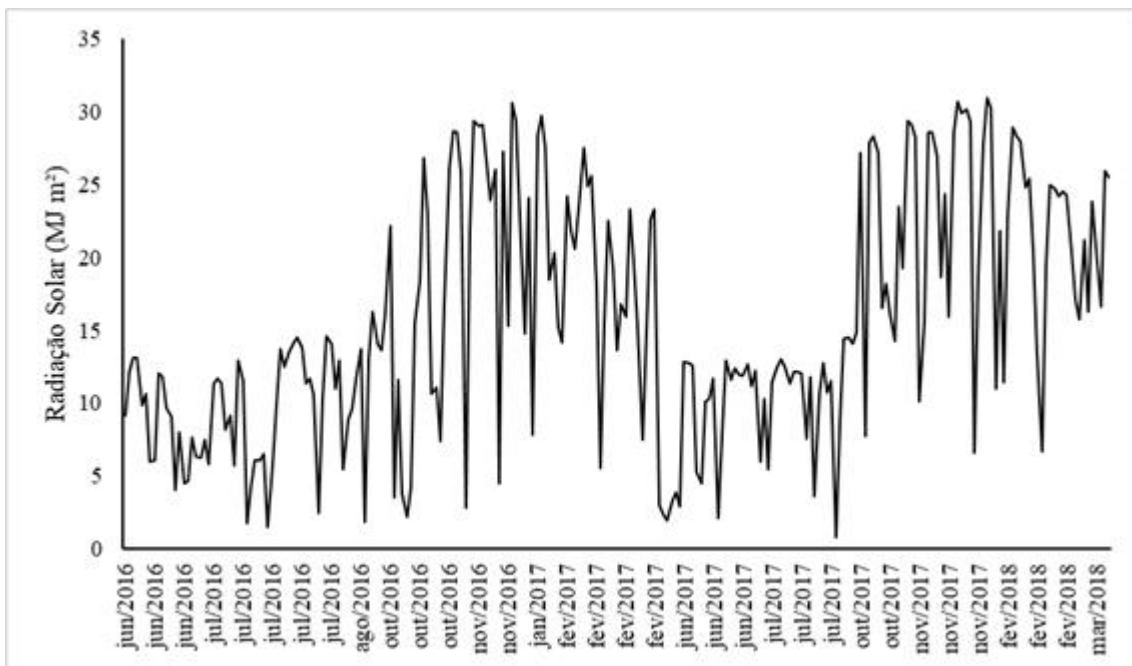


Figura 3.2 – Radiação solar diária incidente para os períodos de transplante até a colheita, nas estações outono-inverno (junho, julho e agosto), primavera (outubro e novembro) e verão (janeiro, fevereiro e março), em Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.

Tabela 3.2 - Número de folhas (NF), massas de matéria fresca (MFF, em g planta⁻¹) e seca (MSF, em g planta⁻¹) de folhas, comprimento do caule (CC, em cm), diâmetro do caule (DC, em cm), massas de matéria fresca (MFC, em g planta⁻¹) e seca (MSC, em g planta⁻¹) do caule, massas de matéria fresca (MFPA, em g planta⁻¹) e seca (MSPA, em g planta⁻¹) de parte aérea, comprimento de raízes (CR, em cm) e massas de matéria fresca (MFR, em g planta⁻¹) e seca (MSR, em g planta⁻¹) de raízes, de três cultivares de alface (Gloriosa, Pira Verde e Stella), cultivadas na estação outono-inverno nos anos 2016 e 2017.

Cultivar	Experimento 1 = estação outono-inverno, ano 2016, sem malha de sombreamento					
	NF	MFF	MSF	CC	DC	MFC
Gloriosa	25,08 b*	530,76 a	15,55 a	4,33 a	2,48 a	17,06 a
Pira Verde	18,42 c	231,51 b	11,14 b	3,85 b	2,08 b	9,58 b
Stella	29,42 a	235,56 b	10,02 b	3,56 b	2,08 b	8,90 b
Média	24,31	332,61	12,23	3,91	2,21	11,84
CV(%)	8,44	14,44	16,16	9,83	9,39	17,00
	MSC	MFPA	MSPA	CR	MFR	MSR
Gloriosa	1,06 a	547,81 a	16,61 a	35,63 a	20,14 a	1,98 a
Pira Verde	0,60 b	241,09 b	11,73 b	36,03 a	19,02 a	1,14 b
Stella	0,57 b	244,45 b	10,59 b	27,52 b	12,13 b	1,21 b
Média	0,74	344,45	12,98	33,06	17,09	1,44
CV(%)	22,56	14,38	16,21	13,28	28,50	27,65
	Experimento 2 = estação outono-inverno, ano 2017, sem malha de sombreamento					
	NF	MFF	MSF	CC	DC	MFC
Gloriosa	18,00 b	264,18 a	12,36 a	6,42 a	2,42 a	20,19 a
Pira Verde	15,50 c	240,29 a	10,13 b	2,72 b	1,85 b	5,49 b
Stella	24,33 a	215,79 a	8,50 b	3,05 b	1,93 b	8,24 b
Média	19,28	240,08	10,33	4,06	2,07	11,30
CV(%)	10,95	21,61	21,19	17,00	7,46	25,83
	MSC	MFPA	MSPA	CR	MFR	MSR
Gloriosa	0,96 a	284,37 a	13,33 a	23,47 a	23,13 a	1,36 a
Pira Verde	0,27 b	245,77 a	10,39 b	24,25 a	18,43 a	1,02 a
Stella	0,40 b	224,03 a	8,90 b	20,85 b	17,92 a	1,18 a
Média	0,54	251,39	10,87	22,86	19,82	1,18
CV(%)	34,42	21,66	21,62	7,70	24,97	24,60

* Médias não seguidas por mesma letra na coluna (comparação de médias entre as cultivares) diferem a 5% de significância pelo teste de *Scott-Knott* via *bootstrap* com 10.000 reamostragens.

Tabela 3.3 - Número de folhas (NF), massas de matéria fresca (MFF, em g planta⁻¹) e seca (MSF, em g planta⁻¹) de folhas, comprimento do caule (CC, em cm), diâmetro do caule (DC, em cm), massas de matéria fresca (MFC, em g planta⁻¹) e seca (MSC, em g planta⁻¹) do caule, massas de matéria fresca (MFPA, em g planta⁻¹) e seca (MSPA, em g planta⁻¹) de parte aérea, comprimento de raízes (CR, em cm) e massas de matéria fresca (MFR, em g planta⁻¹) e seca (MSR, em g planta⁻¹) de raízes, de quatro cultivares de alface (Ceres, Gloriosa, Grandes Lagos e Rubinela), cultivadas na estação primavera nos anos 2016 e 2017, sem malha de sombreamento.

Cultivar	Experimento 3 = estação primavera, ano 2016, sem malha de sombreamento					
	NF	MFF	MSF	CC	DC	MFC
Ceres	19,50 a*	218,26 b	11,91 b	5,85 b	2,38 a	17,23 b
Gloriosa	18,75 a	339,56 a	14,62 b	5,18 b	2,50 a	18,65 b
Grandes Lagos	18,75 a	348,62 a	19,46 a	6,98 a	2,58 a	28,44 a
Rubinela	14,50 b	121,59 c	5,69 c	5,93 b	1,90 a	9,21 c
Média	17,88	257,01	12,92	5,98	2,34	18,38
CV(%)	11,13	8,09	16,43	14,05	17,36	16,84
	MSC	MFPA	MSPA	CR	MFR	MSR
Ceres	0,78 b	235,49 b	12,69 b	19,83 b	26,25 c	1,34 b
Gloriosa	0,73 b	358,21 a	15,35 b	23,98 a	33,13 b	2,02 a
Grandes Lagos	1,42 a	377,06 a	20,87 a	24,68 a	45,65 a	2,29 a
Rubinela	0,35 c	130,79 c	6,03 c	21,45 b	11,84 d	0,77 c
Média	0,82	275,39	13,73	22,48	29,22	1,61
CV(%)	17,21	7,34	15,82	9,32	16,55	30,73
	NF	MFF	MSF	CC	DC	MFC
Ceres	15,25 b	146,82 b	7,83 b	3,93 b	1,88 b	8,62 b
Gloriosa	21,50 a	267,00 a	11,95 a	3,58 b	2,03 b	8,32 b
Grandes Lagos	22,75 a	299,89 a	11,89 a	5,73 a	2,53 a	19,03 a
Rubinela	14,75 b	110,30 c	5,81 c	3,73 b	1,50 c	5,35 c
Média	18,56	206,00	9,37	4,24	1,98	10,33
CV(%)	6,46	13,01	10,87	13,26	9,91	27,32
	MSC	MFPA	MSPA	CR	MFR	MSR
Ceres	0,46 b	155,44 b	8,29 b	22,48 a	35,65 a	2,51 a
Gloriosa	0,50 b	275,32 a	12,45 a	23,48 a	37,17 a	2,46 a
Grandes Lagos	1,06 a	318,92 a	12,94 a	22,53 a	42,16 a	3,41 a
Rubinela	0,28 c	115,65 c	6,09 c	22,10 a	12,89 b	1,16 b
Média	0,57	216,33	9,94	22,64	31,96	2,38
CV(%)	33,04	13,16	11,41	12,85	13,00	32,84

* Médias não seguidas por mesma letra na coluna (comparação de médias entre as cultivares) diferem a 5% de significância pelo teste de Scott-Knott via *bootstrap* com 10.000 reamostragens.

Tabela 3.4 - Número de folhas (NF), massas de matéria fresca (MFF, em g planta⁻¹) e seca (MSF, em g planta⁻¹) de folhas, comprimento do caule (CC, em cm), diâmetro do caule (DC, em cm), massas de matéria fresca (MFC, em g planta⁻¹) e seca (MSC, em g planta⁻¹) do caule, massas de matéria fresca (MFPA, em g planta⁻¹) e seca (MSPA, em g planta⁻¹) de parte aérea, comprimento de raízes (CR, em cm) e massas de matéria fresca (MFR, em g planta⁻¹) e seca (MSR, em g planta⁻¹) de raízes, de quatro cultivares de alface (Ceres, Gloriosa, Grandes Lagos e Rubinela), cultivadas na estação primavera nos anos 2016 e 2017, com malha de sombreamento.

Cultivar	Experimento 5 = estação primavera, ano 2016, com malha de sombreamento					
	NF	MFF	MSF	CC	DC	MFC
Ceres	16,75 a*	176,87 b	11,19 b	5,55 a	2,08 b	12,94 b
Gloriosa	18,25 a	345,57 a	15,04 a	4,88 a	2,60 a	19,72 a
Grandes Lagos	17,00 a	313,12 a	16,29 a	6,35 a	2,68 a	24,27 a
Rubinela	14,00 a	109,61 c	5,22 c	5,33 a	1,48 c	7,17 c
Média	16,50	236,29	11,93	5,53	2,21	16,02
CV(%)	14,79	14,12	16,08	13,68	8,90	25,80
	MSC	MFPA	MSPA	CR	MFR	MSR
Ceres	0,71 b	189,81 b	11,90 b	21,00 a	22,05 b	1,16 a
Gloriosa	0,97 a	365,29 a	16,01 a	22,30 a	32,21 a	1,50 a
Grandes Lagos	1,17 a	337,40 a	17,47 a	22,90 a	48,39 a	1,83 a
Rubinela	0,22 c	116,78 c	5,44 c	25,00 a	8,98 c	0,41 b
Média	0,77	252,32	12,70	22,80	27,91	1,22
CV(%)	25,26	14,16	15,42	12,96	30,76	32,86
	NF	MFF	MSF	CC	DC	MFC
Ceres	15,00 b	150,82 b	7,53 c	4,78 b	1,98 b	9,15 b
Gloriosa	21,75 a	288,36 a	12,60 b	3,58 c	2,10 a	9,44 b
Grandes Lagos	19,50 a	290,91 a	16,87 a	5,98 a	2,35 a	20,66 a
Rubinela	15,50 b	135,20 b	5,90 d	4,35 b	1,75 b	6,87 b
Média	17,94	216,32	10,72	4,67	2,04	11,53
CV(%)	6,97	10,34	14,68	19,92	10,06	34,06
	MSC	MFPA	MSPA	CR	MFR	MSR
Ceres	0,40 c	159,97 b	7,93 c	21,70 a	24,57 b	2,17 a
Gloriosa	0,58 b	297,80 a	13,17 b	23,90 a	31,10 a	2,17 a
Grandes Lagos	1,19 a	311,57 a	18,06 a	22,48 a	43,20 a	2,87 a
Rubinela	0,29 c	142,07 b	6,20 d	25,28 a	13,21 c	0,97 b
Média	0,62	227,85	11,34	23,34	28,02	2,04
CV(%)	33,58	10,52	14,62	9,37	28,67	29,65

* Médias não seguidas por mesma letra na coluna (comparação de médias entre as cultivares) diferem a 5% de significância pelo teste de Scott-Knott via *bootstrap* com 10.000 reamostragens.

Tabela 3.5 - Número de folhas (NF), massas de matéria fresca (MFF, em g planta⁻¹) e seca (MSF, em g planta⁻¹) de folhas, comprimento do caule (CC, em cm), diâmetro do caule (DC, em cm), massas de matéria fresca (MFC, em g planta⁻¹) e seca (MSC, em g planta⁻¹) do caule, massas de matéria fresca (MFPA, em g planta⁻¹) e seca (MSPA, em g planta⁻¹) de parte aérea, comprimento de raízes (CR, em cm) e massas de matéria fresca (MFR, em g planta⁻¹) e seca (MSR, em g planta⁻¹) de raízes, de quatro cultivares de alface (Crocantela, Elisa, Rubinela e Vera), cultivadas na estação verão nos anos 2017 e 2018, sem malha de sombreamento.

Cultivar	Experimento 7 = estação verão, ano 2017, sem malha de sombreamento					
	NF	MFF	MSF	CC	DC	MFC
Crocantela	12,75 c*	95,28 a	3,28 b	3,80 c	1,63 a	6,49 b
Elisa	21,75 a	67,41 b	2,87 b	3,83 c	1,65 a	7,29 b
Rubinela	15,25 b	101,71 a	3,06 b	9,28 a	1,43 a	11,61 a
Vera	13,75 c	103,18 a	3,91 a	5,80 b	1,73 a	10,25 a
Média	15,88	91,90	3,28	5,68	1,61	8,91
CV(%)	8,72	14,04	14,52	8,83	12,09	12,71
	MSC	MFPA	MSPA	CR	MFR	MSR
Crocantela	0,18 a	101,77 a	3,46 b	18,50 a	18,23 a	0,96 a
Elisa	0,22 a	74,70 b	3,08 b	16,20 b	15,93 a	0,81 b
Rubinela	0,22 a	113,32 a	3,28 b	20,03 a	16,22 a	0,68 b
Vera	0,24 a	113,44 a	4,15 a	18,93 a	21,89 a	1,12 a
Média	0,21	100,80	3,49	18,41	18,07	0,89
CV(%)	33,37	13,50	13,89	8,10	16,21	21,23
	NF	MFF	MSF	CC	DC	MFC
Crocantela	18,75 b	241,13 a	9,63 a	5,38 a	2,43 a	15,82 a
Elisa	28,50 a	116,90 b	6,94 b	4,63 a	2,23 a	12,72 a
Rubinela	15,50 c	127,47 b	6,22 b	5,70 a	1,80 b	10,04 a
Vera	13,25 d	124,55 b	6,96 b	4,85 a	1,98 b	9,75 a
Média	19,00	152,51	7,44	5,14	2,11	12,08
CV(%)	7,37	13,63	9,43	9,93	8,021	22,50
	MSC	MFPA	MSPA	CR	MFR	MSR
Crocantela	0,70 a	256,95 a	10,33 a	20,53 a	23,44 a	1,99 a
Elisa	0,54 b	129,63 b	7,48 b	19,00 a	19,65 b	1,19 b
Rubinela	0,43 b	137,51 b	6,65 b	18,18 a	9,04 c	1,25 b
Vera	0,43 b	134,30 b	7,39 b	20,43 a	16,41 b	0,95 b
Média	0,52	164,60	7,96	19,53	17,13	1,35
CV(%)	17,36	14,12	9,64	8,49	16,52	22,11

* Médias não seguidas por mesma letra na coluna (comparação de médias entre as cultivares) diferem a 5% de significância pelo teste de Scott-Knott via *bootstrap* com 10.000 reamostragens.

Tabela 3.6 - Número de folhas (NF), massas de matéria fresca (MFF, em g planta⁻¹) e seca (MSF, em g planta⁻¹) de folhas, comprimento do caule (CC, em cm), diâmetro do caule (DC, em cm), massas de matéria fresca (MFC, em g planta⁻¹) e seca (MSC, em g planta⁻¹) do caule, massas de matéria fresca (MFPA, em g planta⁻¹) e seca (MSPA, em g planta⁻¹) de parte aérea, comprimento de raízes (CR, em cm) e massas de matéria fresca (MFR, em g planta⁻¹) e seca (MSR, em g planta⁻¹) de raízes, de quatro cultivares de alface (Crocantela, Elisa, Rubinela e Vera), cultivadas na estação verão nos anos 2017 e 2018, com malha de sombreamento.

Cultivar	Experimento 9 = estação verão, ano 2017, com malha de sombreamento					
	NF	MFF	MSF	CC	DC	MFC
Crocantela	13,75 c*	104,93 a	3,44 a	4,00 b	1,63 b	6,51 b
Elisa	24,00 a	88,69 a	3,87 a	4,23 b	2,03 a	10,05 a
Rubinela	12,50 c	61,80 b	2,73 a	5,63 a	1,23 c	5,44 b
Vera	15,00 b	94,06 a	3,95 a	5,43 a	1,55 b	8,95 a
Média	16,31	87,37	3,50	4,82	1,61	7,74
CV(%)	9,65	16,61	16,72	9,96	9,72	21,51
	MSC	MFPA	MSPA	CR	MFR	MSR
Crocantela	0,20 a	111,44 a	3,63 a	16,58 a	15,90 a	0,91 a
Elisa	0,26 a	98,75 a	4,13 a	16,33 a	18,27 a	0,73 a
Rubinela	0,17 a	67,24 b	2,91 a	17,70 a	11,33 b	0,75 a
Vera	0,30 a	103,01 a	4,24 a	18,13 a	16,41 a	0,90 a
Média	0,23	95,11	3,73	17,18	15,48	0,82
CV(%)	28,64	16,91	17,00	11,02	15,75	28,48
	Experimento 10 = estação verão, ano 2018, com malha de sombreamento					
	NF	MFF	MSF	CC	DC	MFC
Crocantela	18,25 b	217,80 a	8,75 a	4,75 b	2,30 a	14,74 a
Elisa	31,00 a	127,06 b	6,84 b	4,58 b	2,10 a	12,98 a
Rubinela	15,25 c	111,31 b	5,47 b	5,80 a	1,65 a	8,79 a
Vera	14,50 c	117,71 b	5,97 b	4,28 b	1,70 a	8,41 a
Média	19,75	143,47	6,76	4,85	1,94	11,23
CV(%)	12,27	19,37	15,11	13,84	19,25	28,92
	MSC	MFPA	MSPA	CR	MFR	MSR
Crocantela	0,68 a	232,53 a	9,43 a	21,38 a	24,39 a	2,18 a
Elisa	0,56 a	140,04 b	7,40 b	20,43 a	21,14 a	1,23 b
Rubinela	0,43 b	120,10 b	5,90 b	21,20 a	10,13 b	0,92 b
Vera	0,38 b	126,12 b	6,35 b	18,23 a	11,41 b	0,91 b
Média	0,51	154,70	7,27	20,31	16,77	1,31
CV(%)	23,45	19,88	15,46	9,98	33,80	25,11

* Médias não seguidas por mesma letra na coluna (comparação de médias entre as cultivares) diferem a 5% de significância pelo teste de *Scott-Knott* via *bootstrap* com 10.000 reamostragens.

CAPÍTULO 4 – MODELOS NÃO LINEARES PARA DESCRIÇÃO DO CRESCIMENTO DE CULTIVARES DE ALFACE EM CONDIÇÕES DE OUTONO-INVERNO

RESUMO

Os objetivos deste trabalho foram ajustar os modelos Gompertz e Logístico para as massas de matéria fresca e seca de folhas e as massas de matéria fresca e seca de parte aérea de três cultivares de alface e indicar o modelo que melhor descreve o crescimento no outono-inverno. As cultivares de alface Gloriosa, Pira Verde e Stella, foram avaliadas no outono-inverno de 2016 e outono-inverno de 2017, em cultivo sem solo em ambiente protegido. Após o transplante, a cada sete dias, foram pesadas as massas de matéria fresca e seca de folhas e as massas de matéria fresca e seca de parte aérea. Essas variáveis dependentes foram ajustadas em função da soma térmica acumulada. Foram estimados os parâmetros dos modelos Gompertz e Logístico, verificados os pressupostos, calculados os indicadores de qualidade do ajuste, os pontos críticos e quantificadas as não linearidades paramétrica e intrínseca. Os modelos Logístico e Gompertz apresentam ajuste satisfatório para as massas de matéria fresca e seca de folhas e para as massas de matéria fresca e seca de parte aérea, para as cultivares de alface Gloriosa, Pira Verde e Stella, no outono-inverno. O modelo Logístico é o que melhor descreve o crescimento das cultivares de alface.

Palavras-chave: *Lactuca sativa* L., Gompertz, Logístico, massa de matéria fresca, massa de matéria seca.

ABSTRACT

The objectives of this study were to fit the Gompertz and Logistic models for the fresh and dry matter of leaves and the fresh and dry matter of shoots of three lettuce cultivars and indicate the best model to describe their growth in autumn-winter. The lettuce cultivars Gloriosa, Pira Verde, and

Stella were evaluated in the autumn-winter of 2016 and 2017, in soilless in a protected environment. After transplantation, the fresh and dry matter of leaves and shoots were weighed every seven days. These dependent variables were fit using the accumulated thermal sum. The parameters of the Gompertz and Logistic models were estimated, the assumptions of the models were verified, the indicators of fit quality and critical points were calculated, and the parametric and intrinsic nonlinearities quantified. The Logistic and Gompertz models presented a satisfactory adjustment for the fresh and dry matter of leaves and the fresh and dry matter of shoots, for the lettuce cultivars Gloriosa, Pira Verde and Stella, in autumn-winter. The Logistic model it is the best describe the growth of lettuce cultivars.

Key words: *Lactuca sativa* L.; Gompertz; Logistic; fresh matter; dry matter.

INTRODUÇÃO

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma hortaliça folhosa de clima temperado (Sala & Costa, 2012). Suas folhas são consumidas nas formas de saladas cruas, sopas e cremes, por ser uma fonte de fibras dietéticas, vitaminas e minerais (Ntsoane *et al.*, 2016). É a principal hortaliça folhosa comercializada e consumida pela população brasileira, por sua facilidade de produção e aquisição.

As cultivares de alface são classificadas em grupos: crespa, americana, lisa e outras (mimosa, romana, baby e de coloração roxa), que correspondem a 43,3%, 41,2%, 5,0% e 10,5%, respectivamente, da comercialização de alface na Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo (CEAGESP, 2016). Assim, há materiais genéticos distintos em relação as características morfológicas das folhas ou da conformação da cabeça e, também, em relação às estações de cultivo. No Rio Grande do Sul a estação mais favorável ao crescimento da cultura é o inverno, pois nesse período as temperaturas variam entre -3 a 18°C (Alvares *et al.*, 2013).

Uma forma de caracterizar o crescimento das plantas é por meio da modelagem (Streck *et al.*, 2008). O ajuste de modelos de crescimento para espécies vegetais auxilia na avaliação da resposta da planta às condições ambientais, assim como a compreensão do padrão de crescimento (Lyra *et al.*, 2003).

Os modelos matemáticos devem ser capazes de reproduzir o comportamento próximo ao original. Com esta finalidade, o ajuste de modelos não lineares tem sido utilizado para descrever o crescimento de plantas de *Allium sativum* L. (Puiatti *et al.*, 2013), a produção de *Cucurbita pepo* and *Capiscum annuum* (Lúcio, Nunes & Rego, 2015) e a produção de tomateiro do tipo cereja (Lúcio *et al.*, 2016). Segundo Terra, Muniz & Savian (2010), os modelos possibilitam condensar informações de uma série de dados, tomados ao longo do tempo, em um pequeno conjunto de parâmetros biologicamente interpretáveis.

Para a cultura de alface os modelos Gompertz, Logístico e Exponencial, ajustaram-se bem para as cultivares Grand Rapids, Regina e Great Lakes, em sistema hidropônico, durante o verão (Lyra *et al.*, 2003). No entanto, estudos que descrevem o crescimento por meio de modelos não lineares em outras estações ou cultivares de alface em ambiente protegido não foram encontrados.

Supõe-se que os modelos Gompertz e Logístico sejam adequados para descrever o crescimento de três cultivares de alface durante o outono-inverno e que é possível selecionar o modelo mais apropriado. Os objetivos deste trabalho foram ajustar os modelos Gompertz e Logístico para as massas de matéria fresca e seca de folhas e as massas de matéria fresca e seca de parte aérea de três cultivares de alface (Gloriosa, Pira Verde e Stella) e indicar o modelo que melhor descreve o crescimento no outono-inverno.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos dois experimentos com a cultura de alface, um no outono-inverno de 2016 (experimento 1) e o outro no outono-inverno de 2017 (experimento 2), em ambiente protegido do tipo abrigo localizado 29°42'S, 53°49'W e 95 m de altitude. Conforme classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cfa subtropical úmido, com verões quentes e sem estação seca definida (Alvares *et al.*, 2013).

As cultivares de alface avaliadas foram: Gloriosa (americana - folhas verde-claras, crespas, crocantes, consistentes, nervuras destacadas e com formação de cabeça compacta), Pira Verde (crespa verde - folhas consistentes, crespas, soltas que não formam cabeça) e Stella (lisa - folhas lisas, delicadas e com cabeça fracamente compacta). Essas cultivares foram escolhidas por serem indicações das empresas técnicas responsáveis pelas sementes, para as condições de outono-inverno. As mudas foram produzidas no sistema “*floating*”, em bandejas de poliestireno expandido de 200 células, preenchidas com substrato comercial Plantmax[®]. O transplante foi realizado quando as plantas apresentavam quatro a cinco folhas definitivas, em 10/06/2016 (experimento 1) e 04/06/2017 (experimento 2).

Para o cultivo, foram utilizadas seis bancadas, compostas por uma telha de fibrocimento ondulada, com 3,66 m de comprimento, 1,10 m de largura e 6 mm de espessura, com seis canais de 5 cm de profundidade. Os canais de cultivo foram impermeabilizados com filme plástico transparente de 100 µm e preenchidos com brita lavada número dois. Para a elevação (0,85 m) das bancadas foram utilizados blocos fixos de alvenaria nas porções inicial e final, com declividade de 2%. Essa declividade, permitia que a solução nutritiva retornasse ao tanque de armazenamento plástico, com capacidade de 500 L. Por meio de uma motobomba submersa de baixa potência (acionada por um temporizador), a solução era impulsionada para um cano de PVC de 25 mm de diâmetro. Deste cano derivavam quatro mangueiras de gotejamento e cada vaso foi alocado sob um

gotejador, mantendo a distância de 30 cm entre as plantas na fileira, com densidade de 11,11 plantas m⁻². Cada bancada foi constituída por quatro fileiras, totalizando 44 vasos de volume de três litros (11 vasos por fileira), preenchidos com areia grossa peneirada, lavada com condutividade elétrica de zero dS m⁻¹.

Foi utilizada a solução nutritiva com a seguinte composição de macronutrientes (em mmol L⁻¹): 10,36 de NO₃⁻; 1,0 de H₂PO₄⁻; 3,36 de NH₄; 1,0 de SO₄; 4,0 de K⁺; 2,0 de Ca²⁺; 1,0 e Mg²⁺; e os micronutrientes (em mg L⁻¹): 1,0 de Fe; 0,50 de Mn; 0,22 de Zn; 0,26 de B; 0,06 de Cu e 0,03 de Mo, para cultura de alface, com a condutividade elétrica (CE) de 1,33 dS m⁻¹ e pH de 5,5 a 6,5. A CE e o pH foram monitorados ao longo do ciclo de cultivo e corrigidos quando apresentavam variação de 20%, superior ou inferior, em relação ao padrão.

Aos sete dias após o transplante, a cada sete dias, foram avaliadas de quatro a 12 plantas no experimento 1 (total de 172 plantas) e seis plantas no experimento 2 (total de 180 plantas) até o início do florescimento. Foram pesadas a massa de matéria fresca de folhas (MFF, em g planta⁻¹), massa de matéria seca de folhas (MSF, em g planta⁻¹), massa de matéria fresca de parte aérea (MFPA, em g planta⁻¹) e massa de matéria seca de parte aérea (MSPA, em g planta⁻¹), com o auxílio de uma balança digital. Para obtenção das massas de matéria seca, o material foi acondicionado em sacos de papel e levado para estufa de circulação forçada (60°±5°C), até adquirir massa constante.

Os dados referentes a temperatura do ar no interior do abrigo foram registrados a cada três horas por um *data logger* digital (resolução 0,1°C e exatidão 0,5°C), instalado em um abrigo meteorológico. Com esses dados foi calculada a soma térmica diária, pelo método de Gilmore & Rogers (1958) e Arnold (1960), utilizando as equações 1 e 2:

$$STd = (Tmax + Tmin) / 2 - Tb \quad (1)$$

Em que:

Tmax: temperatura máxima diária, em °C;

Tmin: temperatura mínima diária, em °C;

Tb: temperatura base da alface = 10°C (Brunini, 1976)

$$STa = \sum STd \quad (2)$$

Em que:

STa: soma térmica acumulada;

$\sum STd$ ($STd_1 + STd_2 + \dots + STd_n$): somatório da soma térmica diária ($d_1 =$ dia 1; $d_2 =$ dia 2; ...; $d_n =$ dia n).

O ajuste dos modelos Gompertz e Logístico para cada caractere (variável dependente), foi realizado com as repetições de cada avaliação em função da soma térmica acumulada (variável independente). A equação utilizada para o modelo Gompertz (Windsor, 1932): $y_i = a \exp[-\exp(b - cx_i)]$, e para o Logístico (Nelder, 1961): $y_i = a/[1 + \exp(-b - cx_i)]$ em que y_i é a i -ésima observação da variável dependente sendo $i = 1, 2, \dots, n$; x_i é a i -ésima observação da variável independente; a é o valor assintótico; b é um parâmetro de locação, importante para manter o formato sigmoidal do modelo; c está associado ao crescimento, indicando o índice de precocidade. Quanto maior o valor de c , menos tempo será necessário para a planta atingir o valor assintótico (a).

Com base nos resíduos, foram verificados os pressupostos dos modelos matemáticos. Assim, foram examinadas por meio dos testes de Shapiro-Wilk, Durbin-Watson e Breusch-Pagan as pressuposições de normalidade, independência e homogeneidade dos erros, respectivamente. Para os caracteres que não atenderam esses pressupostos, foi utilizada a transformação de dados de Box-Cox, com o software estatístico Action.

As estimativas dos parâmetros (a , b e c) para cada caractere foram comparadas entre os experimentos em cada cultivar, e entre as cultivares em cada experimento, por meio do critério de sobreposição dos intervalos de confiança (IC) das estimativas dos parâmetros de cada modelo. Para isso, foram calculados os limites inferior e superior do intervalo de confiança a 95%.

Com o intuito de verificar a qualidade do ajuste dos modelos, usou-se o coeficiente de determinação (R^2), sendo considerado como o melhor ajuste o modelo com valor mais próximo a 1

ou 100%, o Critério de Informação de Akaike (AIC) e o desvio padrão residual (DPR), ambos definem melhor ajuste do modelo com valores mais próximos de zero. Foi quantificada a não linearidade intrínseca (IN) e não linearidade do efeito do parâmetro (PE), com base no conceito geométrico de curvatura (Bates & Watts, 1988). Para a escolha do modelo recomendado em relação ao outro, para descrever o crescimento das plantas, opta-se por aquele que proporcionar os menores valores de não linearidade intrínseca ou paramétrica. Foram calculados o ponto de inflexão (PI), o ponto de aceleração máxima (PAM) e o ponto de desaceleração máxima (PDM), de acordo com equações descritas em Mischan & Pinho (2014). A partir desses pontos críticos foram realizadas inferências sobre o crescimento das plantas. Os cálculos foram realizados com o auxílio dos aplicativos Microsoft Office Excel[®] e o software R (R Development Core Team, 2018).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As pressuposições de normalidade, independência e homogeneidade dos resíduos foram atendidas nos modelos Gompertz e Logístico, para as massas de matéria fresca e seca de folhas e as massas de matéria fresca e seca de parte aérea das cultivares de alface, nos dois experimentos, pois os testes de Shapiro-Wilk, Durbin-Watson e Breusch-Pagan apresentaram valores-p iguais ou superiores a 0,05 (Tabela 4.1). Resultados semelhantes foram encontrados por Ribeiro *et al.* (2018), em que os pressupostos foram atendidos para descrição do acúmulo de massa fresca dos frutos do pequiheiro.

Tabela 4.1 - Valor-p dos testes de Shapiro-Wilk (SW), Durbin-Watson (DW) e Breusch-Pagan (BP) aplicados sobre os resíduos dos modelos Gompertz e Logístico para caracteres em função da soma térmica acumulada, de três cultivares de alface em dois experimentos.

Caracteres ⁽¹⁾	Cultivar	Gompertz			Logístico		
		SW	DW	BP	SW	DW	BP
Experimento 1 - Outono-Inverno de 2016							
MFF	Gloriosa	0,63	0,29	0,26	0,96	0,65	0,33
	Pira Verde	0,55	0,18	0,96	0,33	0,11	0,36
	Stella	0,05	0,22	0,30	0,10	0,32	0,73
MSF	Gloriosa	0,05	0,16	0,08	0,57	0,24	0,07
	Pira Verde	0,72	0,06	0,07	0,17	0,05	0,06
	Stella	0,09	0,10	0,05	0,05	0,07	0,05
MFPA	Gloriosa	0,55	0,26	0,22	0,96	0,55	0,30
	Pira Verde	0,55	0,16	0,98	0,26	0,22	0,39
	Stella	0,07	0,20	0,30	0,19	0,09	0,74
MSPA	Gloriosa	0,07	0,47	0,07	0,22	0,18	0,07
	Pira Verde	0,64	0,06	0,07	0,26	0,48	0,08
	Stella	0,08	0,10	0,06	0,05	0,35	0,37
Experimento 2 - Outono-Inverno de 2017							
MFF	Gloriosa	0,19	0,96	0,21	0,48	0,50	0,06
	Pira Verde	0,50	0,16	0,23	0,09	0,33	0,08
	Stella	0,06	0,89	0,07	0,06	0,42	0,35
MSF	Gloriosa	0,09	0,91	0,06	0,23	0,18	0,05
	Pira Verde	0,50	0,22	0,07	0,16	0,75	0,05
	Stella	0,16	0,39	0,10	0,06	0,40	0,10
MFPA	Gloriosa	0,20	0,77	0,18	0,58	0,42	0,05
	Pira Verde	0,48	0,18	0,22	0,09	0,29	0,08
	Stella	0,07	0,49	0,05	0,10	0,40	0,32
MSPA	Gloriosa	0,05	0,77	0,10	0,21	0,17	0,09
	Pira Verde	0,38	0,25	0,08	0,17	0,55	0,07
	Stella	0,09	0,43	0,12	0,07	0,39	0,11

⁽¹⁾ MFF: Massa de matéria fresca de folhas; MSF: massa de matéria seca de folhas; MFPA: massa fresca de parte aérea; e MSPA: massa seca de parte aérea.

As estimativas de a são os valores assintóticos, ou seja, no caso da alface, representam o máximo incremento de massa. Para todos os caracteres das cultivares, os valores de a para o modelo de Gompertz foram superiores ao Logístico (Tabelas 4.2 e 4.3). A estimativa do parâmetro b , teoricamente fornece um conceito da razão entre os valores iniciais e a quantidade que falta para atingir a assíntota. A estimativa do parâmetro c , representa a velocidade de crescimento, verificou-se que os valores foram superiores no modelo Logístico (Tabelas 4.2 e 4.3).

Tabela 4.2 - Estimativa dos parâmetros a , b e c , limite inferior (LI) e limite superior (LS) do intervalo de confiança (IC_{95%}) do modelo Gompertz para caracteres em função da soma térmica acumulada (em °C), de cultivares de alface (Gloriosa, Pira Verde e Stella) em dois experimentos.

Caractere ⁽¹⁾	Parâmetro	Estimativa	IC95%		Estimativa	IC95%		
			LI	LS		LI	LS	
			Experimento 1				Experimento 2	
			Gloriosa					
MFF	a (*) ⁽²⁾	929,8712	597,8730	1261,8694	455,6514	370,6086	540,6942	
	b (ns)	2,3061	1,8969	2,7154	2,4371	2,0036	2,8707	
	c (ns)	0,0076	0,0049	0,0102	0,0082	0,0061	0,0102	
MSF	a (*)	16,7031	15,3232	18,0831	25,3207	17,9166	32,7249	
	b (*)	4,2032	2,9665	5,4398	2,3264	1,8240	2,8288	
	c (*)	0,0198	0,0138	0,0258	0,0073	0,0048	0,0098	
MFPA	a (*)	984,0988	617,5294	1350,6682	535,0355	420,6123	649,4587	
	b (ns)	2,2898	1,8898	2,6897	2,3731	1,9682	2,7780	
	c (ns)	0,0074	0,0048	0,0100	0,0076	0,0056	0,0095	
MSPA	a (*)	17,8364	16,2972	19,3755	30,4005	19,9823	40,8187	
	b (*)	4,0599	2,8834	5,2364	2,2844	1,8061	2,7627	
	c (*)	0,0189	0,0132	0,0246	0,0068	0,0043	0,0092	
			Pira Verde					
MFF	a (ns)	1234,9167	-921,8006	3391,6340	396,8462	344,1902	449,5022	
	b (ns)	2,4801	1,9083	3,0518	2,8152	2,2292	3,4012	
	c (*)	0,0072	0,0013	0,0130	0,0105	0,0079	0,0132	
MSF	a (ns)	16,1548	10,3930	21,9166	14,3685	12,1452	16,5917	
	b (ns)	3,9116	2,2996	5,5236	2,9788	2,0259	3,9317	
	c (ns)	0,0179	0,0088	0,0271	0,0120	0,0076	0,0164	
MFPA	a (ns)	1334,4813	-1078,0040	3746,9667	417,3858	359,6425	475,1292	
	b (ns)	2,4846	1,9148	3,0543	2,7758	2,2012	3,3503	
	c (ns)	0,0071	0,0012	0,0130	0,0103	0,0077	0,0129	
MSPA	a (ns)	17,0319	10,9575	23,1063	15,3914	12,8463	17,9365	
	b (ns)	3,9517	2,3272	5,5762	2,8810	1,9750	3,7870	
	c (ns)	0,0181	0,0089	0,0273	0,0114	0,0073	0,0156	
			Stella					
MFF	a (ns)	331,9249	222,8545	440,9954	302,7635	242,6119	362,9151	
	b (ns)	4,5969	2,7416	6,4522	3,9793	2,0114	5,9472	
	c (ns)	0,0207	0,0107	0,0306	0,0151	0,0072	0,0231	
MSF	a (ns)	11,4854	9,7928	13,1781	12,6652	9,4969	15,8334	
	b (*)	6,3329	4,1776	8,4882	3,4840	1,5131	5,4548	
	c (*)	0,0306	0,0197	0,0416	0,0136	0,0051	0,0221	
MFPA	a (ns)	350,0046	228,7424	471,2668	329,2424	258,0313	400,4536	
	b (ns)	4,5261	2,6718	6,3805	3,8011	1,9389	5,6633	
	c (ns)	0,0202	0,0102	0,0302	0,0142	0,0067	0,0217	
MSPA	a (ns)	12,2469	10,3352	14,1586	14,1283	10,1332	18,1234	
	b (*)	6,2374	4,0542	8,4205	3,3240	1,4419	5,2061	
	c (*)	0,0300	0,0189	0,0411	0,0127	0,0046	0,0207	

⁽¹⁾ MFF: massa de matéria fresca folhas, em g planta⁻¹; MSF: massa de matéria seca de folhas, em g planta⁻¹; MFPA: massa fresca de parte aérea, em g planta⁻¹; e MSPA: massa seca de parte aérea, em g planta⁻¹. ⁽²⁾ Comparação das estimativas dos parâmetros (a , b e c) entre os experimentos: * Efeito significativo a 5% de probabilidade de erro. ^{ns} Não significativo.

Tabela 4.3 - Estimativa dos parâmetros a , b e c , limite inferior (LI) e limite superior (LS) do intervalo de confiança (IC95%) do modelo Logístico para caracteres em função da soma térmica acumulada (em °C), de cultivares de alface (Gloriosa, Pira Verde e Stella).

Caractere ⁽¹⁾	Parâmetro	Estimativa	IC95%		Estimativa	IC95%		
			LI	LS		LI	LS	
			Experimento 1			Experimento 2		
			Gloriosa					
MFF	a (*) ⁽²⁾	644,5429	548,4506	740,6351	374,9478	336,2122	413,6834	
	b (ns)	-5,1549	-5,8057	-4,5041	-5,0146	-5,7298	-4,2994	
	c (ns)	0,0174	0,0140	0,0208	0,0159	0,0131	0,0187	
MSF	a (*)	16,1507	15,1791	17,1223	19,8721	16,8842	22,8600	
	b (*)	-6,9451	-8,6093	-5,2809	-4,9363	-5,7612	-4,1114	
	c (*)	0,0301	0,0224	0,0378	0,0149	0,0117	0,0182	
MFPA	a (*)	671,9417	568,1495	775,7339	423,4933	375,6487	471,3380	
	b (ns)	-5,1427	-5,7829	-4,5026	-5,0110	-5,6958	-4,3261	
	c (ns)	0,0172	0,0139	0,0206	0,0154	0,0127	0,0181	
MSPA	a (*)	17,1579	16,1129	18,2030	22,6678	18,9117	26,4239	
	b (*)	-6,7920	-8,3663	-5,2178	-4,9890	-5,7998	-4,1783	
	c (*)	0,0291	0,0219	0,0364	0,0146	0,0114	0,0179	
			Pira Verde					
MFF	a (ns)	354,7561	225,9895	483,5227	357,4533	329,5156	385,3911	
	b (*)	-6,9162	-8,2985	-5,5339	-5,4368	-6,3065	-4,5671	
	c (*)	0,0275	0,0189	0,0361	0,0185	0,0151	0,0219	
MSF	a (ns)	12,9143	10,9345	14,8941	13,4350	12,0807	14,7892	
	b (*)	-8,1440	-10,4198	-5,8683	-5,3736	-6,7002	-4,0469	
	c (*)	0,0366	0,0249	0,0483	0,0194	0,0141	0,0248	
MFPA	a (ns)	371,9859	233,7199	510,2519	373,1430	343,2436	403,0423	
	b (*)	-6,9521	-8,3426	-5,5615	-5,4148	-6,2733	-4,5563	
	c (*)	0,0276	0,0189	0,0362	0,0183	0,0150	0,0216	
MSPA	a (ns)	13,5725	11,5050	15,6401	14,2652	12,7645	15,7659	
	b (*)	-8,2774	-10,6061	-5,9486	-5,2873	-6,5615	-4,0131	
	c (*)	0,0371	0,0252	0,0490	0,0189	0,0137	0,0240	
			Stella					
MFF	a (ns)	267,4332	225,5213	309,3451	284,7468	246,6736	322,8200	
	b (ns)	-9,5607	-12,5727	-6,5486	-7,2670	-10,4551	-4,0790	
	c (*)	0,0421	0,0273	0,0570	0,0253	0,0138	0,0367	
MSF	a (ns)	10,4087	9,5845	11,2329	11,9094	9,8986	13,9203	
	b (*)	-12,9179	-16,8192	-9,0166	-6,2848	-9,2759	-3,2937	
	c (*)	0,0599	0,0415	0,0783	0,0222	0,0109	0,0335	
MFPA	a (ns)	279,2195	233,6137	324,8253	305,9605	262,6841	349,2370	
	b (ns)	-9,4826	-12,4910	-6,4743	-7,0754	-10,1261	-4,0247	
	c (*)	0,0417	0,0268	0,0566	0,0243	0,0133	0,0352	
MSPA	a (ns)	11,0147	10,1213	11,9081	13,0975	10,6849	15,5101	
	b (*)	-12,9199	-16,9054	-8,9345	-6,1507	-9,0592	-3,2421	
	c (*)	0,0597	0,0409	0,0785	0,0213	0,0104	0,0321	

⁽¹⁾ MFF: massa de matéria fresca folhas, em g planta⁻¹; MSF: massa de matéria seca de folhas, em g planta⁻¹; MFPA: massa fresca de parte aérea, em g planta⁻¹; e MSPA: massa seca de parte aérea, em g planta⁻¹. ⁽²⁾ Comparação das estimativas dos parâmetros (a , b e c) entre os experimentos. * Efeito significativo a 5% de probabilidade de erro. ns Não significativo.

As estimativas dos parâmetros (a , b e c) de cada caractere para os modelos Gompertz e Logístico foram comparadas entre os experimentos (Tabelas 4.2 e 4.3) e entre as cultivares (Tabela 4.4), pelo critério de sobreposição dos intervalos de confiança.

Para elucidar a comparação pelo critério de sobreposição dos intervalos de confiança de 95% (IC), a MFF da cultivar Pira Verde será utilizada, como exemplo, para a comparação da estimativa do parâmetro a do modelo Logístico entre os experimentos 1 e 2 (Tabela 4.3). Verificou-se o seguinte: a estimativa do parâmetro a (354,7561) no experimento 1 está dentro do intervalo de confiança da estimativa do parâmetro a no experimento 2 (329,5156 a 385,3911). Bem como, a estimativa do parâmetro a (357,4533) no experimento 2 está dentro do intervalo de confiança da estimativa do parâmetro a do experimento 1 (225,9895 a 483,5227). Portanto, as estimativas do parâmetro a não diferem entre os experimentos. Quando ao menos uma das estimativas estiver dentro do IC da outra, conclui-se que o efeito é não significativo. Caso as duas estimativas dos parâmetros estiverem fora do IC da outra, conclui-se que o efeito é significativo.

No modelo Gompertz, os parâmetros b e c para a MFF e a MFPA da cultivar Gloriosa não diferiram entre os experimentos (Tabela 4.2). Entretanto, o parâmetro a diferiu para todos os caracteres, sendo que para a MFF e a MFPA foram observados valores superiores no experimento 1, o que indica maior produção de massa em relação ao experimento 2. Comportamento oposto foi observado para a MSF e a MSPA. Para a cultivar Pira Verde as estimativas não diferiram para os caracteres, exceto para MSF em relação ao parâmetro c . Esses resultados indicam que, para essa cultivar, não houve diferença dos modelos Gompertz entre os experimentos. Já para a cultivar Stella não foram observadas diferenças para a MFF e a MFPA entre os experimentos. Os caracteres MSF e MSPA não diferiram quanto ao valor assintótico.

Para o modelo Logístico da cultivar Gloriosa, a MSF e a MSPA diferiram entre os experimentos quanto aos parâmetros a , b e c (Tabela 4.3). Os caracteres MFF e MFPA apresentaram diferenças apenas nos valores assintóticos, sendo que no experimento 1 os valores foram superiores ao experimento 2, o que indica que as plantas apresentaram maior produção de massa de matéria verde no experimento 1. Para a cultivar Pira Verde todos os caracteres diferiram em relação aos parâmetros b e c , e não diferiram para o parâmetro a . A cultivar Stella não diferiu entre os

experimentos para os valores assintóticos de todos os caracteres, a estimativa de b foi semelhante para MFF e MFPA. Entretanto, para a taxa de crescimento todos os caracteres diferiram.

Diante desses resultados, pode-se inferir que esses modelos de crescimento apresentaram diferenças entre os experimentos 1 e 2. Comportamento semelhante foi verificado para a cultura do milho em diferentes anos (Lyra *et al.*, 2008).

Comparando as cultivares em cada experimento, visualizou-se que no modelo Gompertz, no experimento 1, as cultivares Gloriosa e Pira Verde não diferiram para a todos os caracteres (Tabela 4.4). Isso significa que o modelo Gompertz não difere entre essas cultivares. Já para todos os caracteres das cultivares Pira Verde e Stella, o modelo Gompertz diferiu, pois pelo menos um dos três parâmetros (a , b e c) foi significativo. Esse mesmo comportamento foi observado entre as cultivares Gloriosa e Stella. No experimento 2, as cultivares Gloriosa e Pira Verde não diferiram para a MFF, assim como Pira Verde e Stella não diferiram para a MSF e a MSPA.

Tabela 4.4 - Comparação das estimativas dos parâmetros (a , b e c) dos modelos Gompertz e Logístico para caracteres⁽¹⁾ em função da soma térmica acumulada, com base no intervalo de confiança (IC_{95%}), entre as cultivares de alface Gloriosa, Pira Verde e Stella em dois experimentos.

Cultivar	Cultivar	MFF	MSF	MFPA	MSPA	MFF	MSF	MFPA	MSPA
		Experimento 1				Experimento 2			
		Gompertz							
		a							
Gloriosa	Pira Verde	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	*
Gloriosa	Stella	*	*	*	*	*	*	*	*
Pira Verde	Stella	ns	ns	ns	*	*	ns	*	ns
		b							
Gloriosa	Pira Verde	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Gloriosa	Stella	*	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
Pira Verde	Stella	*	*	*	*	ns	ns	ns	ns
		c							
Gloriosa	Pira Verde	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	*
Gloriosa	Stella	*	ns	*	ns	ns	ns	ns	*
Pira Verde	Stella	*	*	*	*	ns	ns	ns	ns
		Logístico							
		a							
Gloriosa	Pira Verde	*	*	*	*	ns	*	*	*
Gloriosa	Stella	*	*	*	*	*	*	*	*
Pira Verde	Stella	*	*	ns	*	*	ns	*	ns
		b							
Gloriosa	Pira Verde	*	ns	*	*	ns	ns	ns	ns
Gloriosa	Stella	*	*	*	*	*	ns	ns	ns
Pira Verde	Stella	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
		c							
Gloriosa	Pira Verde	*	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
Gloriosa	Stella	*	*	*	*	ns	ns	ns	ns
Pira Verde	Stella	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns

MFF: massa de matéria fresca folhas; MSF: massa de matéria seca de folhas; MFPA: massa fresca de parte aérea; e MSPA: massa seca de parte aérea. ⁽²⁾ Comparação das estimativas dos parâmetros (a , b e c) entre os experimentos. * Estimativas diferem a 5% de significância. ^{ns} Não significativo.

As estimativas dos parâmetros do modelo Logístico, para a MFPA das cultivares Pira Verde e Stella no experimento 1, para a MFF das cultivares Gloriosa e Pira Verde no experimento 2 e para a MSF e a MSPA das cultivares Pira Verde e Stella, no experimento 2, não diferiram (Tabela 4.4). Todos as demais comparações diferiram em pelo menos um dos três parâmetros do modelo Logístico. Para os modelos Gompertz e Logístico houve predominância de diferenças, o que indica que são necessários modelos específicos por caractere e cultivar.

Os indicadores de qualidade do ajuste são utilizados para definir o modelo mais adequado. Constatou-se que os modelos Logístico e Gompertz apresentaram valores aceitáveis de qualidade de ajuste (altos valores de R²; baixos valores de AIC e DPR) e próximos entre si (Tabelas 4.5 e 4.6).

Tabela 4.5 - Coeficiente de determinação (R^2), critério de informação de Akaike (AIC), desvio padrão residual (DPR), não linearidade intrínseca (IN), não linearidade do efeito do parâmetro (PE), ponto de inflexão (PI), ponto de aceleração máxima (PAM) e ponto de desaceleração máxima (PDM) do modelo Gompertz para caracteres ⁽¹⁾ em função da soma térmica acumulada (em °C) de cultivares de alface (Gloriosa, Pira Verde e Stella) em dois experimentos.

Estatística	MFF	MSF	MFFPA	MSPA	MFF	MSF	MFFPA	MSPA	
Experimento 1				Experimento 2					
Gloriosa									
R^2	0,968	0,918	0,968	0,922	0,969	0,952	0,970	0,952	
AIC	7,243	1,309	7,296	1,371	6,334	0,786	6,453	0,953	
DPR	35,802	1,851	36,758	1,909	22,596	1,410	23,982	1,533	
IN	0,165	0,128	0,164	0,134	0,147	0,191	0,146	0,192	
PE	6,975	0,787	7,448	0,851	2,575	4,373	3,111	5,477	
PI	x	305,065	212,742	309,348	214,657	298,835	319,371	314,040	337,689
	y	342,080	6,145	362,030	6,562	167,625	9,315	196,829	11,184
PAM	x	177,750	164,029	179,324	163,771	180,824	187,248	186,681	195,418
	y	67,831	1,218	71,786	1,301	33,238	1,847	39,029	2,218
PDM	x	432,380	261,455	439,372	265,543	416,846	451,494	441,398	479,961
	y	634,654	11,400	671,665	12,174	310,990	17,282	365,171	20,749
Pira Verde									
R^2	0,964	0,935	0,964	0,935	0,960	0,913	0,961	0,915	
AIC	5,769	0,335	5,846	0,442	6,665	0,998	6,727	1,066	
DPR	16,940	1,126	17,608	1,188	26,674	1,569	27,519	1,623	
IN	0,324	0,229	0,327	0,207	0,141	0,213	0,143	0,220	
PE	87,261	5,582	92,807	5,552	1,627	1,904	1,708	2,043	
PI	x	345,989	217,964	349,716	218,552	266,933	247,837	269,886	251,721
	y	454,300	5,943	490,928	6,266	145,992	5,286	153,548	5,662
PAM	x	211,724	164,335	214,251	165,325	175,678	167,763	176,310	167,631
	y	90,082	1,178	97,345	1,242	28,948	1,048	30,447	1,123
PDM	x	480,254	271,592	485,181	271,780	358,189	327,910	363,462	335,811
	y	842,853	11,026	910,808	11,625	270,855	9,807	284,873	10,505
Stella									
R^2	0,935	0,925	0,935	0,923	0,821	0,769	0,824	0,769	
AIC	6,474	0,359	6,552	0,489	8,090	1,997	8,185	2,151	
DPR	24,130	1,139	25,093	1,215	54,362	2,583	57,029	2,791	
IN	0,057	0,065	0,060	0,067	0,360	0,311	0,340	0,312	
PE	4,705	1,388	5,087	1,506	2,182	2,860	2,371	3,232	
PI	x	222,486	206,749	223,651	207,711	262,976	255,899	267,333	262,513
	y	122,108	4,225	128,759	4,505	111,380	4,659	121,122	5,198
PAM	x	175,906	175,329	176,094	175,661	199,373	185,208	199,646	186,506
	y	24,213	0,838	25,531	0,893	22,085	0,924	24,017	1,031
PDM	x	269,067	238,169	271,208	239,760	326,578	326,589	335,020	338,519
	y	226,545	7,839	238,885	8,359	206,642	8,644	224,714	9,643

⁽¹⁾ MFF: massa de matéria fresca folhas, em g planta⁻¹; MSF: massa de matéria seca de folhas, em g planta⁻¹; MFFPA: massa fresca de parte aérea, em g planta⁻¹; e MSPA: massa seca de parte aérea, em g planta⁻¹.

Tabela 4.6 - Coeficiente de determinação (R^2), critério de informação de Akaike (AIC), desvio padrão residual (DPR), não linearidade intrínseca (IN), não linearidade do efeito do parâmetro (PE), ponto de inflexão (PI), ponto de aceleração máxima (PAM) e ponto de desaceleração máxima (PDM) do modelo Logístico para caracteres ⁽¹⁾ em função da soma térmica acumulada (em °C) de cultivares de alface (Gloriosa, Pira Verde e Stella) em dois experimentos.

Estatística		MFF	MSF	MFFPA	MSPA	MFF	MSF	MFFPA	MSPA
Experimento 1					Experimento 2				
Gloriosa									
R ²		0,966	0,924	0,966	0,928	0,966	0,950	0,967	0,951
AIC		7,287	1,234	7,342	1,301	6,427	0,825	6,546	0,984
DPR		36,621	1,777	37,635	1,838	23,708	1,439	25,157	1,558
IN		0,109	0,163	0,108	0,158	0,109	0,129	0,105	0,127
PE		1,817	0,479	1,901	0,494	0,985	1,461	1,085	1,634
PI	x	296,197	230,903	298,366	233,091	315,854	330,376	325,917	340,785
	y	322,271	8,075	335,971	8,579	187,474	9,936	211,747	11,334
PAM	x	220,526	187,118	221,960	187,895	232,902	242,235	240,261	250,828
	y	136,208	3,413	141,998	3,626	79,236	4,199	89,495	4,790
PDM	x	371,869	274,688	374,773	278,287	398,806	418,517	411,573	430,742
	y	508,335	12,738	529,944	13,532	295,712	15,673	333,999	17,878
Pira Verde									
R ²		0,965	0,940	0,966	0,940	0,962	0,916	0,963	0,918
AIC		5,731	0,264	5,809	0,372	6,614	0,971	6,674	1,039
DPR		16,605	1,083	17,267	1,144	25,990	1,546	26,785	1,600
IN		0,197	0,188	0,198	0,184	0,121	0,192	0,119	0,187
PE		6,247	1,674	6,484	1,665	0,742	1,004	0,758	1,036
PI	x	251,318	222,612	252,083	222,943	293,726	276,446	296,137	280,373
	y	177,378	6,457	185,993	6,786	178,727	6,717	186,571	7,133
PAM	x	203,463	186,614	204,330	187,472	222,577	208,694	224,112	210,537
	y	74,969	2,729	78,610	2,868	75,539	2,839	78,854	3,015
PDM	x	299,173	258,610	299,836	258,414	364,876	344,198	368,162	350,208
	y	279,787	10,185	293,376	10,704	281,915	10,596	294,289	11,251
Stella									
R ²		0,936	0,930	0,936	0,929	0,824	0,772	0,826	0,771
AIC		6,467	0,279	6,546	0,409	8,072	1,987	8,171	2,143
DPR		24,014	1,096	24,968	1,170	53,860	2,570	56,593	2,778
IN		0,169	0,153	0,172	0,160	0,316	0,354	0,310	0,349
PE		1,810	0,596	1,918	0,624	1,284	1,623	1,342	1,741
PI	x	226,871	215,800	227,530	216,468	287,776	282,866	291,759	289,191
	y	133,717	5,204	139,610	5,507	142,373	5,955	152,980	6,549
PAM	x	195,620	193,800	195,930	194,403	235,624	223,593	237,453	227,270
	y	56,515	2,200	59,006	2,328	60,174	2,517	64,657	2,768
PDM	x	258,122	237,801	259,129	238,533	339,928	342,140	346,065	351,112
	y	210,918	8,209	220,213	8,687	224,573	9,393	241,303	10,330

⁽¹⁾ MFF: massa de matéria fresca folhas, em g planta⁻¹; MSF: massa de matéria seca de folhas, em g planta⁻¹; MFFPA: massa fresca de parte aérea, em g planta⁻¹; e MSPA: massa seca de parte aérea, em g planta⁻¹.

Os modelos Gompertz e Logístico descreveram satisfatoriamente a curva de crescimento das cultivares de alface, apresentando valores de R^2 iguais ou superiores a 0,913, exceto para a cultivar Stella que apresentou ajuste inferior no experimento 2 ($0,769 \leq R^2 \leq 0,826$), em ambos os modelos. Lyra *et al.* (2003), ajustaram modelos de crescimento para o caractere matéria seca de folhas em

cultivares de alface, no verão em Viçosa (Minas Gerais – Brasil), e obtiveram resultados parcialmente semelhantes ao do presente estudo, com coeficiente de determinação iguais ou superiores a 0,98.

Embora os modelos tenham apresentado qualidade satisfatória, para a MFF e MFPA da cultivar Gloriosa, no experimento 1, o modelo Gompertz superestimou o parâmetro a com valores de 929,8712 para a MFF e 984,0988 para a MFPA (Tabela 4.3), ou seja, essas estimativas foram superiores aos valores máximos observados no conjunto de dados, que foram 647,4 g planta⁻¹ de MFF e 665,77 g planta⁻¹ de MFPA. Superestimação em maior magnitude foi observada para MFF e MFPA da cultivar Pira Verde, no experimento 1, em que no modelo Gompertz a estimativa do parâmetro a foi 1234,9167 para a MFF e 1334,4813 para a MFPA, enquanto que o máximo observado foi 276,16 g planta⁻¹ para a MFF e 288,02 g planta⁻¹ para a MFPA. Casos com superestimação dos parâmetros no modelo Gompertz também foram observados na descrição da massa seca de bulbos de acessos de alho (Reis *et al.*, 2014).

A não linearidade intrínseca (IN) e a não linearidade do efeito do parâmetro (PE) auxiliam na indicação do modelo. Verificou-se que o modelo Logístico apresentou menores valores IN, para a maioria dos caracteres das cultivares nos dois experimentos e o PE foi sempre menor em relação ao modelo Gompertz (Tabelas 4.5 e 4.6). Os menores valores de IN e, principalmente PE, indicam melhor adequabilidade do modelo Logístico. Destaca-se ainda, que os valores elevados de PE do modelo Gompertz para a Pira Verde (experimento 1) em relação a MFF (87,261) e a MFPA (92,807) estão associados a superestimação dos parâmetros.

Considerando os cinco indicadores de qualidade (R^2 , AIC, DPR, IN e PE), pode-se inferir que o modelo Logístico apresentou comportamento adequado, independentemente de cultivar, caractere e experimento, sendo o mais indicado para a descrição do crescimento de cultivares de alface. Para exemplificar o formato da curva de crescimento do modelo Logístico, de cada caractere, com os respectivos pontos críticos, foi selecionada a cultivar Gloriosa, do experimento 2 (Figura 1).

As demais curvas de crescimento podem ser elaboradas com as respectivas estimativas dos parâmetros (Tabela 4.3).

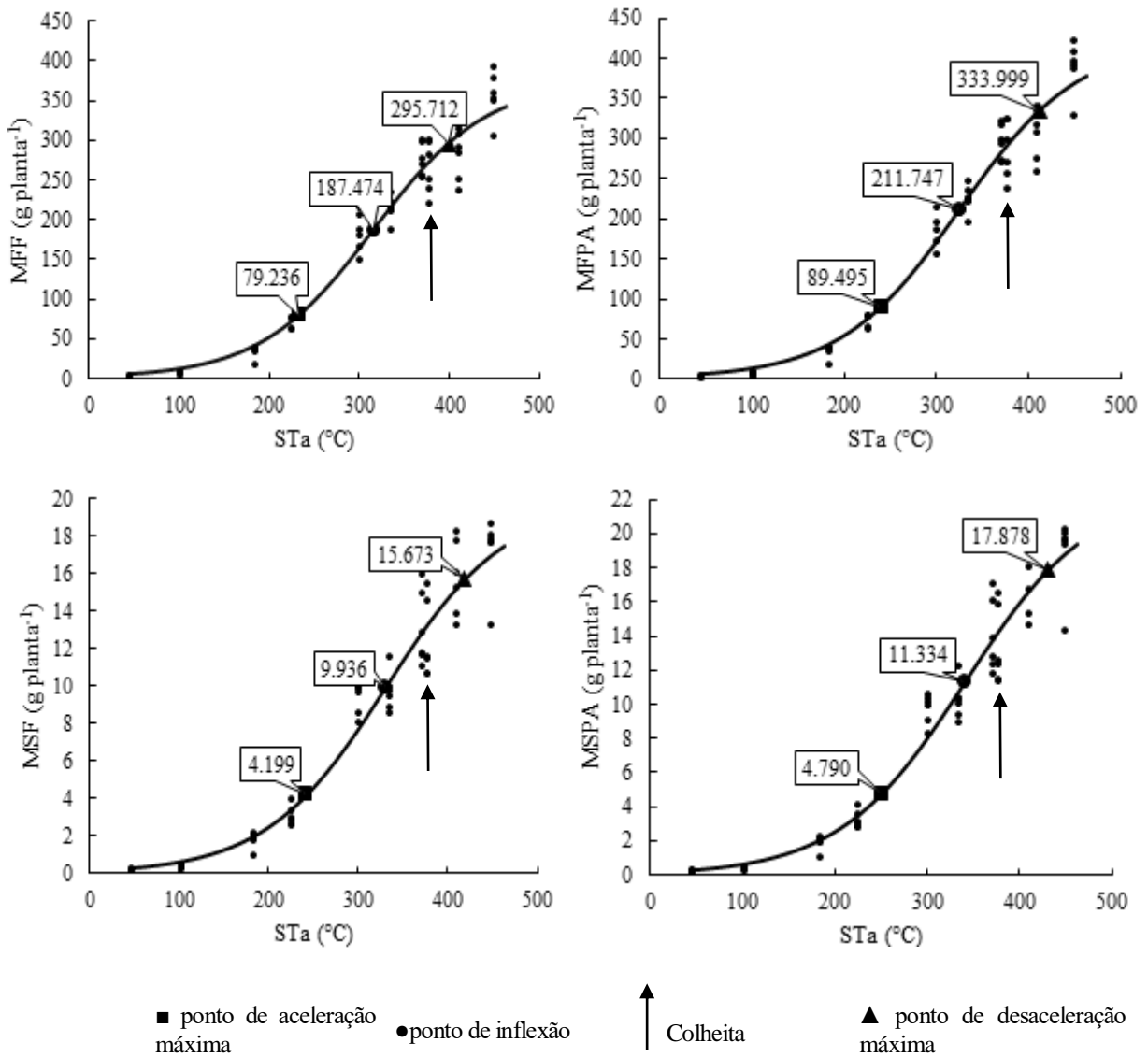


Figura 4.1 - Gráfico do modelo Logístico para massa de matéria fresca de folhas (MFF, em g planta⁻¹), massa de matéria seca de folhas (MSF, em g planta⁻¹), massa de matéria fresca de parte aérea (MFPA, em g planta⁻¹) e massa de matéria seca de parte aérea (MSPA, em g planta⁻¹) em função da soma térmica acumulada (STa, em °C), para a cultivar Gloriosa, no experimento 2.

Os pontos de inflexão, aceleração máxima e desaceleração máxima servem para inferir sobre o crescimento da cultura (Tabelas 4.5 e 4.6). Observou-se que o ponto de aceleração máxima ocorreu no início da curva, quando as plantas apresentavam crescimento lento, que por sua vez está relacionado com uma planta menor e com folhas ainda jovens. Na maioria das cultivares, nos dois experimentos, observou-se que o ponto de inflexão (PI) coincidiu com a fase em a planta estava

próxima ao seu ponto de colheita, em razão do aparecimento das folhas basais senescentes, que na prática é um dos critérios utilizados para classificar o produto comercialmente. De maneira geral, verificou-se que no modelo Gompertz, as cultivares atingiram o PI com menor STa, independentemente do experimento, quando comparada ao modelo Logístico. Entre as cultivares, a Gloriosa necessitou maior acúmulo de soma térmica e, também, apresentou maiores valores para os caracteres que as cultivares Stella e Pira Verde. Assim, cultivares americanas necessitam de maior soma térmica, durante o outono-inverno, em decorrência do processo de formação de cabeça comercial compacta (Yuri *et al.*, 2017). Portanto, o ponto de inflexão é de significativa importância para futuras projeções relacionadas ao planejamento da cultura. Já o ponto de desaceleração máxima, indica valor próximo ao início do florescimento da alface.

Nesse estudo, ficou evidenciado que o modelo de crescimento não linear Logístico e seus pontos críticos são relevantes para auxiliar a escolha de cultivares de alface promissoras. O modelo Logístico também foi indicado para descrever o comprimento, diâmetro e volume do fruto do cacau (Muniz, Nascimento & Fernandes, 2017) e descrever a curva de crescimento de frutos do cajueiro (Muianga *et al.*, 2016).

As estimativas dos parâmetros do modelo Logístico foram obtidas em função das relações entre os caracteres produtivos e a soma térmica acumulada. Ao optar na pesquisa ou produção, no outono-inverno, pelas cultivares Gloriosa, Pira Verde e Stella, os parâmetros (a , b e c) podem ser utilizados para simulação e predição do crescimento. No entanto, é recomendado utilizar a soma térmica do local de cultivo, pois as plantas de alface são mais influenciadas pela temperatura durante sua fase vegetativa (Lopes *et al.*, 2003). Assim, a predição poderá ser utilizada, mas os valores obtidos serão aproximados aos encontrados neste estudo e devem obedecer ao padrão da curva de crescimento. Além disso, devido a não terem sido encontrados estudos para essas cultivares no outono-inverno, esses modelos são referência para novas pesquisas.

CONCLUSÕES

Os modelos de crescimento Logístico e Gompertz apresentam ajuste satisfatório para as massas de matéria fresca e seca de folhas e para as massas de matéria fresca e seca de parte aérea para as cultivares de alface Gloriosa, Pira Verde e Stella, no outono-inverno. O modelo Logístico é o que melhor descreve o crescimento das cultivares de alface.

REFERÊNCIAS

- Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Gonçalves JLM & Sparovek G (2013) Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22: 711-728.
- Arnold CT (1959) The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*, 74: 430-455.
- Bates DM & Watts DG (1998) *Nonlinear regression analysis and its applications*. New York , John Wiley & Sons, 384 p.
- Brunini O (1976) Temperatura-base para alface cultivar "white boston", em um sistema de unidades térmicas. *Bragantia*, 35: 213-219.
- CEAGESP. Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo (2016) Disponível em: <http://www.ceagesp.gov.br/produtos/alface-crespa/>. Acesso em 23 de julho de 2018.
- Fernandes TJ, Pereira AA, Muniz JA & Savian TV (2014) Seleção de modelos não lineares para a descrição das curvas de crescimento do fruto do cafeeiro. *Coffee Science*, 9: 207-215.
- Gilmore EC & Rogers JS (1958) Heat units as a method of measuring maturity in corn. *Agronomy Journal*, 50: 611-615.
- Lopes SJ, Dourado Neto D, Manfron PA & Jasniewicz LR (2004) Models to estimate phytomass accumulation of hydroponic lettuce. *Scient. Agricola*, 61: 392-400.

- Lúcio AD, Sari BG, Rodrigues M, Bevilaqua LM, Voss HMG, Copetti D & Faé M (2016) Modelos não-lineares para a estimativa da produção de tomate do tipo cereja. *Ciência Rural*, 46: 233-241.
- Lyra GB, Zolnier S, Costa LC, Sedyama GC & Sedyama MAN (2003) Modelos de crescimento para alface (*Lactuca sativa* L.) cultivada em sistema hidropônico sob condições de casa-de-vegetação. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 11: 69-77.
- Lyra GB, Souza JL, Lyra GB, Teodoro I & Moura Filho G (2008) Modelo de crescimento logístico e exponencial para o milho br 106, em três épocas de plantio. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 7: 221-230.
- Mischan MM & Pinho SZ (2014) Modelos não lineares: funções assintóticas de crescimento. São Paulo, Cultura Acadêmica. 184 p.
- Muianga CA, Muniz, JA, Nascimento MS, Fernandes TJ & Savian TV (2016) Descrição da curva de crescimento de frutos do cajueiro por modelos não lineares. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 38: 22-32.
- Muniz JA, Nascimento MS & Fernandes TJ (2017) Nonlinear models for description of cacao fruit growth with assumption violations. *Revista Caatinga*, 30: 250-257.
- Nelder, JA. (1961) The fitting of a generalization of the logistic curve. *Biometrics*, 17: 89-110.
- Ntsoane LLM, Soundy P, Jifon J & Sivakumar D (2016) Variety-specific responses of lettuce grown under the different coloured shade nets on phytochemical quality after postharvest storage. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 91: 520-528.
- Prado TKL, Savian TV & Muniz JA (2013) Ajuste dos modelos Gompertz e Logístico aos dados de crescimento de frutos de coqueiro anão verde. *Ciência Rural*, 43: 803-809.
- R development core team (2018) R: A language and environment for statistical computing. Vienna, R Foundation for Statistical Computing. Acesso em 5 de maio de 2018.

- Reis RM, Cecon PR, Puiatti M, Finger FL, Nascimento M, Silva FF, Carneiro APS & Silva AR (2014) Modelos de regressão não linear aplicados a grupos de acessos de alho. *Horticultura Brasileira*, 32: 178-183.
- Ribeiro TD, Mattos RWP, Morais ARM & Muniz JA (2018) Description of the growth of pequi fruits by nonlinear models. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 40: 1-11.
- Sala CF & Costa CP (2012) Retrospectiva e tendência da alfacicultura brasileira. *Horticultura Brasileira*, 30: 187-194.
- Streck N, Bosco LC, Lucas DDP & Lago I (2008) Modelagem da emissão de folhas em arroz. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 43: 559-567.
- Terra MF, Muniz JA & Savian TV (2010) Ajuste dos modelos Logístico e Gompertz aos dados de crescimento de frutos de tamareira-anã (*Phoenix roebelenni* O'BRIEN). *Magistra*, 22: 1-7.
- Yuri JE, Resende GM, Costa ND & Gomes AS (2017) Desempenho agrônomico de genótipos de alface americana no Submédio do Vale do São Francisco. *Horticultura Brasileira*, 35: 292-297.
- Windsor, CP. (1932) The Gompertz Curve as a Growth Curve. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 18: 1-8.

CAPÍTULO 5 – MODELOS DE CRESCIMENTO PARA CULTIVARES DE ALFACE EM CONDIÇÕES DE PRIMAVERA

RESUMO

Os objetivos deste trabalho foram ajustar os modelos Gompertz e Logístico para as massas de matéria fresca e seca de folhas e as massas de matéria fresca e seca de parte aérea de quatro cultivares de alface e indicar o modelo que melhor descreve o crescimento na primavera. As cultivares de alface Ceres, Gloriosa, Grandes Lagos e Rubinela, foram cultivadas em ambiente protegido e cultivo sem solo, na primavera dos anos de 2016 e 2017. Após sete dias do transplante, foram iniciadas as pesagens das massas de matéria fresca e seca de folhas e as massas de matéria fresca e seca de parte aérea, a cada quatro dias até o início do florescimento. Foram ajustados os modelos Gompertz e Logístico em função da soma térmica acumulada. Foram estimados os parâmetros e seus intervalos de confiança, verificados os pressupostos, calculados os indicadores de qualidade do ajuste, os pontos críticos e quantificadas as não linearidades paramétrica e intrínseca. Os modelos de crescimento Logístico e Gompertz apresentam ajuste satisfatório para as massas de matéria fresca e seca de folhas e para as massas de matéria fresca e seca de parte aérea para as cultivares Ceres, Gloriosa, Grandes Lagos e Rubinela, em condições de primavera. O modelo Logístico é o mais indicado para descrever o crescimento de cultivares de alface.

Palavras-chave: modelos não lineares, curva de crescimento, cultivo sem solo, folhosa

ABSTRACT

The objectives of this study were to adjust the Gompertz and logistic models to fit the fresh and dry masses of leaves and fresh and dry masses of shoots of four lettuce cultivars and indicate the model that best describes the growth in spring. Cultivars Ceres, Gloriosa, Grandes Lagos, and Rubinela were grown in protected environment and in soilless system, in the spring of 2016 and 2017. Seven

days after transplantation, fresh and dry leaf masses and fresh and dry shoot masses were weighed every four days until beginning of flowering. The Gompertz and logistic models were adjusted as a function of accumulated thermal sum. The parameters of the Gompertz and logistic models and their confidence intervals were estimated, the assumptions of the models were verified, the goodness-of-fit measures and critical points were calculated, and the parametric and intrinsic nonlinearities quantified. The logistic and Gompertz growth models fitted well to fresh and dry leaf and shoot masses of cultivars Ceres, Gloriosa, Grandes Lagos, and Rubinela, under spring conditions. The logistic model is the most suitable to describe the growth of lettuce cultivars.

Keywords: non-linear models, growth curve, soilless cultivation, leaf green.

INTRODUÇÃO

Alface (*Lactuca sativa* L.) é uma planta anual folhosa, com origem de clima temperado, cultivada em diversos continentes (Tadic *et al.*, 2017). Suas folhas são consumidas, sem restrições, por apresentarem nutrientes e fibras que proporcionam benefícios a saúde (Martins *et al.*, 2011; Kosma *et al.*, 2013). É uma hortaliça folhosa apreciada pela população brasileira, justificando a produção de 14 milhões de plantas cultivadas anualmente (Santos *et al.*, 2015).

As cultivares de alface são classificadas em grupos: americana, crespa, mimosa, lisa, romana e outras, que correspondem a 47,0%, 38,5%, 5,0%, 4,28%, 1,0% e 4,22% respectivamente, da comercialização de alface na Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo (CEAGESP, 2017). Estão disponíveis no mercado distintos materiais genéticos, com adaptações em relação às estações de cultivo e as características morfológicas das folhas e cabeça. Em ambiente protegido, as altas temperaturas registradas no verão e na primavera ainda comprometem a qualidade e a palatabilidade das folhas de alface. No Rio Grande do Sul, durante os meses mais quentes a temperatura média diária varia de 18,0 a 26,0°C (Kuinctner & Buriol, 2001), porém o

ideal para a cultura é entre 15,5 e 18,3°C e com limites inferior de 7,2°C e superior de 23,9°C (Maynard & Hochmuth, 2007).

Os modelos estatísticos podem ser utilizados em estudos envolvendo o processo de crescimento animal ou vegetal. Modelos não lineares fornecem estimativas de parâmetros com interpretação biológica (Fernandes *et al.*, 2014). Assim, os modelos são uma alternativa para avaliar a curva de crescimento das culturas, com base na soma térmica acumulada, e permitem inferir sobre taxa de crescimento, estabilização e diminuição da produção no final do ciclo (Mischán & Pinho, 2014).

Os modelos não lineares têm por finalidade condensar informações de uma série de dados, verificados em um determinado período, para um conjunto de parâmetros biologicamente interpretáveis (Terra, Muniz & Savian, 2010). Os modelos foram utilizados na área de produção vegetal para descrever o acúmulo de matéria seca em plantas de alho (Puiatti *et al.*, 2013), o crescimento vegetativo do cafeeiro (Pereira *et al.*, 2016) e a modelagem de caracteres produtivos de crotalária (Bem *et al.*, 2018). Também foram empregados para descrição das produções de abobrinha italiana e pimentão (Lúcio *et al.*, 2015), morangueiro (Diel *et al.*, 2018) e tomateiro tipo salada (Sari *et al.*, 2019).

Para a cultura da alface, os modelos Gompertz, Logístico e expolinear foram ajustados para a cultivar Grand Rapids para diferentes concentrações da solução nutritiva, no verão (Macedo, 2004). Estudos que descrevem o crescimento por meio de modelos não lineares em outras estações e cultivares de alface em ambiente protegido não foram encontrados.

Supõe-se que os modelos Gompertz e Logístico sejam apropriados para descrever o crescimento de quatro cultivares de alface em condições de primavera, possibilitando eleger o modelo mais adequado. Os objetivos deste trabalho foram ajustar os modelos Gompertz e Logístico para as massas de matéria fresca e seca de folhas e as massas de matéria fresca e seca de parte aérea de quatro cultivares de alface e indicar o modelo que melhor descreve o crescimento na primavera.

MATERIAL E MÉTODOS

Dois experimentos foram conduzidos com a cultura de alface, um na primavera de 2016 (experimento 1) e o outro na primavera de 2017 (experimento 2), em ambiente protegido do tipo abrigo, em Santa Maria/RS (29°42'S, 53°49'W e 95 m de altitude). O clima da região é do tipo Cfa subtropical úmido, com verões quentes e sem estação seca definida, conforme classificação de Köppen (Alvares *et al.*, 2013).

As cultivares utilizadas foram: Ceres (crespa verde - folhas consistentes, crespas, soltas e que não formam cabeça), Gloriosa e Grandes Lagos (americana - folhas verde-claras, crespas, crocantes, consistentes, nervuras destacadas e com formação de cabeça) e Rubinela (crespa roxa - folhas consistentes, crespas, soltas e que não formam cabeça). A escolha dessas cultivares foi condicionada as características meteorológicas da primavera, conforme as indicações das empresas responsáveis pelas sementes. Para produzir as mudas, foram utilizadas bandejas de poliestireno expandido de 200 células, preenchidas com substrato comercial Plantmax®, que permaneceram no sistema “*floating*”. O transplante foi realizado em 14/10/2016 (experimento 1) e 19/10/2017 (experimento 2), quando as plantas apresentavam quatro a cinco folhas definitivas.

Para o cultivo, foram utilizadas oito bancadas, compostas por uma telha de fibrocimento ondulada, com 3,66 m de comprimento, 1,10 m de largura e 6 mm de espessura, com seis canais de 5 cm de profundidade. Os canais de cultivo foram impermeabilizados com filme plástico transparente de 100 µm e preenchidos com brita lavada número dois. Para a elevação (0,85 m) das bancadas foram utilizados blocos fixos de alvenaria nas porções inicial e final, com declividade de 2%. Essa declividade, permitia que a solução nutritiva retornasse ao tanque de armazenamento plástico, com capacidade de 500 L. Por meio de uma motobomba submersa de baixa potência (acionada por um temporizador), a solução era impulsionada para um cano de PVC de 25 mm de

diâmetro. Deste cano derivavam quatro mangueiras de gotejamento e cada vaso foi alocado sob um gotejador, mantendo a distância de 30 cm entre as plantas na fileira, com densidade de 11,11 plantas m^{-2} . Cada bancada foi constituída por quatro fileiras, totalizando 44 vasos de volume de três litros (11 vasos por fileira), preenchidos com areia grossa peneirada, lavada com condutividade elétrica de zero $dS m^{-1}$.

Foi utilizada a solução nutritiva com a seguinte composição de macronutrientes (em $mmol L^{-1}$): 10,36 de NO_3^- ; 1,0 de $H_2PO_4^-$; 3,36 de NH_4 ; 1,0 de SO_4 ; 4,0 de K^+ ; 2,0 de Ca^{2+} ; 1,0 de Mg^{2+} ; e os micronutrientes (em $mg L^{-1}$): 1,0 de Fe; 0,50 de Mn; 0,22 de Zn; 0,26 de B; 0,06 de Cu e 0,03 de Mo, para cultura de alface, com a condutividade elétrica (CE) de 1,33 $dS m^{-1}$ e pH de 5,5 a 6,5. A CE e o pH foram monitorados ao longo do ciclo de cultivo e corrigidos quando apresentavam variação de 20%, superior ou inferior, em relação ao padrão.

Aos sete dias após o transplante, iniciaram-se as avaliações em oito plantas de cada cultivar. Essas avaliações foram realizadas a cada quatro dias até o início do florescimento. No experimento 1 foram realizadas oito avaliações, totalizando 64 plantas de cada cultivar. No experimento 2 foram realizadas dez avaliações, totalizando 80 plantas de cada cultivar. Incluindo as quatro cultivares, nos dois experimentos, foram avaliadas 576 plantas. Nessas 576 plantas foram pesadas a massa de matéria fresca de folhas (MFF, em $g planta^{-1}$), massa de matéria seca de folhas (MSF, em $g planta^{-1}$), massa de matéria fresca de parte aérea (MFPA, em $g planta^{-1}$) e massa de matéria seca de parte aérea (MSPA, em $g planta^{-1}$), com o auxílio de uma balança digital. Para obtenção das massas de matéria seca, o material foi acondicionado em sacos de papel e mantido em estufa de circulação forçada ($60^{\circ} \pm 5^{\circ}C$), até adquirir massa constante.

Os dados de temperatura do ar no interior da estufa foram registrados a cada três horas por um *data logger* digital (resolução $0,1^{\circ}C$ e exatidão $0,5^{\circ}C$), instalado em um abrigo meteorológico. De posse desses dados foi calculada a soma térmica diária, pelo método de Gilmore & Rogers (1958) e Arnold (1960), utilizando as equações 1 e 2:

$$STd = (Tmax + Tmin) / 2 - Tb \quad (1)$$

Em que:

Tmax: temperatura máxima diária, em °C;

Tmin: temperatura mínima diária, em °C;

Tb: temperatura base da alface = 10°C (Brunini, 1976)

$$STa = \sum STd \quad (2)$$

Em que:

STa: soma térmica acumulada;

$\sum STd$ ($STd_1 + STd_2 + \dots + STd_n$): somatório da soma térmica diária (d1 = dia 1; d2 = dia 2; ...; dn = dia n).

O ajuste dos modelos Gompertz e Logístico para cada caractere (variável dependente), foi realizado com as repetições de cada avaliação em função da soma térmica acumulada (variável independente). Foram utilizadas as equações para o modelo Gompertz foi: $y_i = a \exp[-\exp(b - cx_i)]$, e para o Logístico foi: $y_i = a/[1 + \exp(-b - cx_i)]$ em que y_i é a i-ésima observação da variável dependente sendo $i = 1, 2, \dots, n$; x_i é a i-ésima observação da variável independente; a é o valor assintótico; b é um parâmetro de locação, importante para manter o formato sigmoidal do modelo; c está associado ao crescimento, indicando o índice de precocidade.

Foram verificados os pressupostos de normalidade, independência e homogeneidade dos resíduos dos modelos por meio dos testes de Shapiro-Wilk, Durbin-Watson e Breusch-Pagan, respectivamente. Foi utilizada a transformação de dados de Box-Cox para os caracteres que não atenderam os pressupostos, realizada com o software estatístico Action.

Os limites inferior e superior do intervalo de confiança a 95% foram calculados para as estimativas dos parâmetros a , b e c . Com base nestes limites foram comparadas as estimativas dos parâmetros (a , b e c) para cada caractere por meio do critério de sobreposição dos intervalos de confiança, entre os experimentos em cada cultivar, e entre as cultivares em cada experimento.

A qualidade do ajuste dos modelos foi verificada, por meio do coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), em que o melhor ajuste é considerado para R^2_{aj} de maior valor e próximo de 1, do Critério de Informação de Akaike (AIC) e do desvio padrão residual (DPR), onde ambos definem melhor ajuste do modelo para valores quanto mais próximos de zero. A não linearidade intrínseca (IN) e não linearidade do efeito do parâmetro (PE) foram quantificadas, com base no conceito geométrico de curvatura (Bates & Watts, 1988). Para a escolha do modelo recomendado em relação ao outro, para descrever o crescimento das plantas, opta-se por aquele que proporcionar os menores valores de não linearidade intrínseca e paramétrica. Foram calculados o ponto de inflexão (PI), o ponto de aceleração máxima (PAM) e o ponto de desaceleração máxima (PDM), de acordo com equações descritas em Mischan & Pinho (2014). A partir desses pontos críticos foram realizadas inferências sobre o crescimento das plantas. Os cálculos foram realizados com o auxílio dos aplicativos Microsoft Office Excel® e o software R (R Development Core Team, 2018).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As pressuposições de normalidade, independência e homogeneidade dos resíduos foram atendidas para os modelos Gompertz e Logístico, nos dois experimentos, para as massas de matéria fresca e seca de folhas e as massas de matéria fresca e seca de parte aérea das cultivares de alface, pois os testes de Shapiro-Wilk, Durbin-Watson e Breusch-Pagan apresentaram valores-p iguais ou superiores a 0,05 (Tabela 5.1). Resultados semelhantes foram encontrados por Bem *et al.* (2018), em que os pressupostos foram atendidos para descrição de caracteres produtivos de *Crotalaria juncea* L.

Tabela 5.1 - Valor-p dos testes de Shapiro-Wilk (SW), Durbin-Watson (DW) e Breusch-Pagan (BP) aplicados sobre os resíduos dos modelos Gompertz e Logístico para caracteres em função da soma térmica acumulada, de quatro cultivares de alface em dois experimentos.

Caractere ⁽¹⁾	Cultivar	Gompertz			Logístico		
		SW	DW	BP	SW	DW	BP
Experimento 1 - Primavera - 2016							
MFF	Ceres	0,72	0,06	0,27	0,61	0,07	0,31
	Gloriosa	0,95	0,72	0,05	0,91	0,09	0,25
	Grandes Lagos	0,98	0,80	0,21	0,88	0,22	0,45
	Rubinela	0,76	0,08	0,10	0,47	0,10	0,33
MSF	Ceres	0,86	0,08	0,19	0,67	0,12	0,63
	Gloriosa	0,11	0,05	0,07	0,25	0,09	0,05
	Grandes Lagos	0,63	0,06	0,07	0,93	0,06	0,29
MFPA	Rubinela	0,48	0,07	0,05	0,90	0,07	0,06
	Ceres	0,77	0,08	0,15	0,48	0,09	0,22
	Gloriosa	0,98	0,05	0,05	0,86	0,06	0,40
MSPA	Grandes Lagos	0,98	0,34	0,18	0,80	0,32	0,31
	Rubinela	0,82	0,06	0,14	0,53	0,05	0,43
	Ceres	0,90	0,10	0,28	0,53	0,09	0,66
	Gloriosa	0,14	0,05	0,06	0,19	0,06	0,08
MSPA	Grandes Lagos	0,81	0,07	0,09	0,96	0,10	0,40
	Rubinela	0,56	0,08	0,05	0,06	0,05	0,09
	Ceres	0,54	0,94	0,26	0,74	0,05	0,83
MFF	Gloriosa	0,14	0,62	0,09	0,21	0,26	0,05
	Grandes Lagos	0,39	0,94	0,44	0,89	0,64	0,44
	Rubinela	0,22	0,40	0,05	0,10	0,50	0,52
	Ceres	0,92	0,11	0,10	0,45	0,06	0,84
MSF	Gloriosa	0,62	0,05	0,07	0,18	0,05	0,44
	Grandes Lagos	0,93	0,07	0,13	0,72	0,06	0,06
	Rubinela	0,63	0,65	0,11	0,93	0,47	0,58
MFPA	Ceres	0,77	0,76	0,33	0,75	0,09	0,80
	Gloriosa	0,13	0,78	0,07	0,14	0,31	0,09
	Grandes Lagos	0,34	0,94	0,45	0,87	0,58	0,42
MSPA	Rubinela	0,15	0,43	0,08	0,15	0,50	0,48
	Ceres	0,97	0,11	0,05	0,32	0,06	0,92
	Gloriosa	0,48	0,06	0,09	0,17	0,10	0,31
	Grandes Lagos	0,80	0,06	0,11	0,63	0,06	0,09
MSPA	Rubinela	0,90	0,65	0,73	0,90	0,56	0,73

⁽¹⁾ MFF: Massa de matéria fresca de folhas; MSF: massa de matéria seca de folhas; MFPA: massa fresca de parte aérea; e MSPA: massa seca de parte aérea.

Para todos os caracteres das cultivares os valores assintóticos (a), representando o máximo incremento de massa, foram superiores no modelo Gompertz quando comparados ao Logístico

(Tabelas 5.2 e 5.3). Para a estimativa do parâmetro c , que indica a velocidade de crescimento, verificou-se que os valores foram superiores no modelo Logístico (Tabelas 5.2 e 5.3).

Tabela 5.2 - Estimativa dos parâmetros a , b e c , limite inferior (LI) e limite superior (LS) do intervalo de confiança (IC_{95%}) do modelo Gompertz para caracteres em função da soma térmica acumulada (em °C), de cultivares de alface (Ceres, Gloriosa, Grandes Lagos e Rubinela) em dois experimentos, na primavera.

Caractere ⁽¹⁾	Parâmetro	Estimativa	IC95%		Estimativa	IC95%			
			LI	LS		LI	LS		
		Experimento 1 - Primavera - 2016						Experimento 2 - Primavera - 2017	
		Ceres							
MFF	a (*)	312,1481	278,2443	346,0520	750,2246	443,4583	1056,9908		
	b (*)	3,6242	2,8703	4,3781	2,2751	2,0317	2,5185		
	c (*)	0,0108	0,0083	0,0134	0,0042	0,0030	0,0053		
MSF	a (ns)	28,3716	21,2897	35,4536	30,0257	19,1948	40,8565		
	b (ns)	2,4230	2,0355	2,8104	2,2653	1,9238	2,6069		
	c (ns)	0,0060	0,0044	0,0076	0,0048	0,0033	0,0063		
MFPA	a (*)	427,8148	361,0197	494,6099	1003,7866	507,1240	1500,4492		
	b (*)	3,1176	2,5210	3,7141	2,2607	2,0421	2,4793		
	c (*)	0,0085	0,0064	0,0106	0,0038	0,0027	0,0049		
MSPA	a (ns)	43,8345	25,6849	61,9841	39,2241	22,3457	56,1025		
	b (ns)	2,2446	1,9253	2,5638	2,2307	1,9333	2,5281		
	c (ns)	0,0047	0,0032	0,0063	0,0043	0,0029	0,0057		
		Gloriosa							
MFF	a (ns)	692,3494	475,8664	908,8323	633,3563	455,2993	811,4133		
	b (ns)	2,4516	2,0094	2,8937	2,7182	2,2074	3,2290		
	c (ns)	0,0058	0,0040	0,0077	0,0061	0,0043	0,0079		
MSF	a (ns)	18,9974	15,4884	22,5065	19,5761	15,7532	23,3990		
	b (ns)	2,9768	2,0791	3,8746	2,5549	2,0452	3,0645		
	c (ns)	0,0091	0,0058	0,0125	0,0068	0,0049	0,0087		
MFPA	a (ns)	816,0510	532,2432	1099,8587	677,1060	483,7648	870,4472		
	b (ns)	2,3874	1,9974	2,7774	2,7137	2,2156	3,2118		
	c (ns)	0,0054	0,0037	0,0071	0,0060	0,0043	0,0078		
MSPA	a (ns)	20,5879	16,6625	24,5132	21,3163	16,7958	25,8369		
	b (ns)	2,9297	2,0800	3,7793	2,5509	2,0286	3,0732		
	c (ns)	0,0088	0,0057	0,0120	0,0067	0,0047	0,0086		
		Grandes Lagos							
MFF	a (*)	534,6712	418,9440	650,3983	1062,3655	585,4987	1539,2323		
	b (ns)	2,7902	2,2829	3,2976	2,2928	2,0175	2,5682		
	c (ns)	0,0071	0,0052	0,0090	0,0042	0,0029	0,0055		
MSF	a (ns)	25,6114	21,3975	29,8252	25,8669	15,5527	36,1811		
	b (ns)	3,0330	2,4268	3,6392	2,3410	1,6217	3,0603		
	c (ns)	0,0084	0,0062	0,0105	0,0059	0,0030	0,0088		
MFPA	a (ns)	726,7452	492,9028	960,5876	1269,4461	617,4770	1921,4152		
	b (ns)	2,5914	2,1254	3,0575	2,2855	2,0157	2,5554		
	c (*)	0,0060	0,0041	0,0078	0,0040	0,0027	0,0053		
MSPA	a (ns)	30,8455	24,5910	37,1000	29,2898	16,9617	41,6180		
	b (ns)	2,8457	2,2982	3,3932	2,3362	1,6441	3,0283		
	c (ns)	0,0074	0,0054	0,0095	0,0058	0,0029	0,0086		
		Rubinela							
MFF	a (ns)	408,3864	39,5865	777,1864	551,1602	321,4904	780,8299		
	b (ns)	2,4535	1,9245	2,9824	2,3328	2,0411	2,6245		
	c (ns)	0,0045	0,0020	0,0070	0,0044	0,0031	0,0057		

MSF	<i>a</i> (ns)	31,9655	-12,4523	76,3832	15,2111	10,8093	19,6130
	<i>b</i> (ns)	2,2157	1,8910	2,5404	2,4490	1,9645	2,9335
	<i>c</i> (*)	0,0034	0,0011	0,0057	0,0058	0,0039	0,0077
MFPA	<i>a</i> (ns)	591,4820	-89,5338	1272,4979	638,9751	355,8407	922,1094
	<i>b</i> (ns)	2,4086	1,9587	2,8585	2,3275	2,0514	2,6035
	<i>c</i> (ns)	0,0040	0,0016	0,0063	0,0042	0,0030	0,0055
MSPA	<i>a</i> (ns)	44,2640	-31,5674	120,0955	17,2401	11,9484	22,5319
	<i>b</i> (ns)	2,2109	1,9439	2,4780	2,4282	1,9708	2,8856
	<i>c</i> (*)	0,0031	0,0008	0,0054	0,0056	0,0038	0,0074

⁽¹⁾ MFF: massa de matéria fresca folhas, em g planta⁻¹; MSF: massa de matéria seca de folhas, em g planta⁻¹; MFPA: massa fresca de parte aérea, em g planta⁻¹; e MSPA: massa seca de parte aérea, em g planta⁻¹. ⁽²⁾ Comparação das estimativas dos parâmetros (*a*, *b* e *c*) entre os experimentos: * Efeito significativo a 5% de probabilidade de erro. ^{ns} Não significativo.

As estimativas dos parâmetros (*a*, *b* e *c*) de cada caractere para os modelos Gompertz e Logístico foram comparadas entre os experimentos (Tabelas 5.2 e 5.3) e entre as cultivares (Tabelas 5.4), pelo critério de sobreposição dos intervalos de confiança.

Para exemplificar, em relação à MFF da cultivar Ceres, na comparação da estimativa do parâmetro *a* do modelo Logístico entre os experimentos 1 e 2 (Tabela 5.3), com base no critério de sobreposição dos intervalos de confiança a 95% (IC95%), verificou-se o seguinte: a estimativa do parâmetro *a* (287,2396) no experimento 1 está fora do intervalo de confiança da estimativa do parâmetro *a* no experimento 2 (344,4126 a 458,7919). Bem como, a estimativa do parâmetro *a* (401,6022) no experimento 2 está fora do intervalo de confiança da estimativa do parâmetro *a* do experimento 1 (267,9975 a 306,4818). Portanto, as estimativas do parâmetro *a* diferem entre os experimentos. Deste modo, se as duas estimativas dos parâmetros estiverem fora do IC da outra, conclui-se que o efeito é significativo. Já, quando ao menos uma das estimativas estiver dentro do IC da outra, conclui-se que o efeito é não significativo.

Tabela 5.3 - Estimativa dos parâmetros a , b e c , limite inferior (LI) e limite superior (LS) do intervalo de confiança (IC_{95%}) do modelo Logístico para caracteres em função da soma térmica acumulada (em °C), de cultivares de alface (Ceres, Gloriosa, Grandes Lagos e Rubinela) em dois experimentos, na primavera.

Caractere ⁽¹⁾	Parâmetro	Estimativa	IC95%		Estimativa	IC95%		
			LI	LS		LI	LS	
		Experimento 1- Primavera - 2016				Experimento 2- Primavera - 2017		
		Ceres						
MFF	a (*)	287,2396	267,9975	306,4818	401,6022	344,4126	458,7919	
	b (*)	-6,6774	-7,7433	-5,6114	-5,5844	-6,0763	-5,0924	
	c (*)	0,0184	0,0152	0,0217	0,0117	0,0101	0,0133	
MSF	a (ns)	21,1540	18,5834	23,7246	19,6631	16,8088	22,5175	
	b (ns)	-5,2971	-5,9566	-4,6375	-5,2963	-5,9246	-4,6680	
	c (ns)	0,0130	0,0108	0,0153	0,0118	0,0098	0,0139	
MFPA	a (*)	365,1177	334,9597	395,2757	472,7434	396,1543	549,3324	
	b (ns)	-6,2999	-7,1941	-5,4057	-5,6615	-6,1318	-5,1911	
	c (*)	0,0163	0,0136	0,0190	0,0115	0,0099	0,0131	
MSPA	a (ns)	27,6155	22,5652	32,6657	23,0673	19,3677	26,7669	
	b (ns)	-5,1854	-5,7722	-4,5986	-5,3582	-5,9374	-4,7789	
	c (ns)	0,0117	0,0096	0,0139	0,0115	0,0096	0,0134	
		Gloriosa						
MFF	a (ns)	496,2632	426,3758	566,1507	453,9529	403,4649	504,4415	
	b (ns)	-5,4758	-6,2238	-4,7278	-6,2451	-7,0797	-5,4105	
	c (ns)	0,0132	0,0107	0,0157	0,0142	0,0118	0,0166	
MSF	a (ns)	16,8884	15,1143	18,6626	16,1301	14,5857	17,6745	
	b (ns)	-5,8116	-7,1468	-4,4764	-5,4480	-6,2682	-4,6278	
	c (ns)	0,0165	0,0122	0,0209	0,0138	0,0112	0,0163	
MFPA	a (ns)	551,5944	468,3603	634,8285	479,2687	425,8834	532,6539	
	b (*)	-5,4480	-6,1282	-4,7678	-6,2698	-7,0848	-5,4547	
	c (ns)	0,0128	0,0105	0,0151	0,0142	0,0118	0,0165	
MSPA	a (ns)	18,1122	16,1877	20,0367	17,3582	15,5845	19,1319	
	b (ns)	-5,7801	-7,0547	-4,5055	-5,4797	-6,3212	-4,6382	
	c (ns)	0,0162	0,0121	0,0203	0,0137	0,0111	0,0163	
		Grandes Lagos						
MFF	a (*)	417,3851	375,2177	459,5525	569,7647	480,7629	658,7665	
	b (ns)	-6,0415	-6,8486	-5,2345	-5,6229	-6,1758	-5,0699	
	c (*)	0,0150	0,0125	0,0175	0,0118	0,0100	0,0136	
MSF	a (ns)	21,5397	19,7628	23,3166	20,1482	16,2920	24,0044	
	b (ns)	-6,2871	-7,2299	-5,3443	-5,0677	-6,2884	-3,8471	
	c (ns)	0,0165	0,0136	0,0194	0,0125	0,0085	0,0165	
MFPA	a (*)	505,5648	436,9364	574,1933	638,3743	527,4652	749,2834	
	b (ns)	-5,9252	-6,7097	-5,1406	-5,6638	-6,2209	-5,1066	
	c (ns)	0,0140	0,0114	0,0165	0,0117	0,0098	0,0135	
MSPA	a (ns)	24,5988	22,2425	26,9551	22,3294	17,9162	26,7427	
	b (ns)	-6,1097	-6,9897	-5,2297	-5,1075	-6,2876	-3,9274	
	c (ns)	0,0155	0,0128	0,0182	0,0124	0,0085	0,0162	
		Rubinela						
MFF	a (*)	195,2048	140,7449	249,6647	307,3870	262,5747	352,1993	
	b (ns)	-6,2692	-7,3033	-5,2351	-5,6991	-6,2629	-5,1352	

	<i>c</i> (ns)	0,0134	0,0100	0,0169	0,0121	0,0102	0,0139
	<i>a</i> (ns)	11,8430	6,7680	16,9179	11,2851	9,8991	12,6710
MSF	<i>b</i> (ns)	-5,6258	-6,3884	-4,8632	-5,5331	-6,3562	-4,7099
	<i>c</i> (ns)	0,0114	0,0082	0,0145	0,0131	0,0106	0,0157
	<i>a</i> (*)	231,1328	157,0969	305,1687	339,1037	287,9442	390,2633
MFPA	<i>b</i> (ns)	-6,3331	-7,2960	-5,3702	-5,7433	-6,2883	-5,1984
	<i>c</i> (ns)	0,0132	0,0099	0,0165	0,0120	0,0102	0,0137
	<i>a</i> (ns)	13,6390	6,8765	20,4014	12,4051	10,8351	13,9752
MSPA	<i>b</i> (ns)	-5,6868	-6,4001	-4,9734	-5,5512	-6,3377	-4,7647
	<i>c</i> (ns)	0,0111	0,0081	0,0142	0,0129	0,0105	0,0154

⁽¹⁾ MFF: massa de matéria fresca folhas, em g planta⁻¹; MSF: massa de matéria seca de folhas, em g planta⁻¹; MFPA: massa fresca de parte aérea, em g planta⁻¹; e MSPA: massa seca de parte aérea, em g planta⁻¹. ⁽²⁾ Comparação das estimativas dos parâmetros (*a*, *b* e *c*) entre os experimentos. * Efeito significativo a 5% de probabilidade de erro. ^{ns} Não significativo.

Para o modelo Gompertz, os parâmetros *a*, *b* e *c* não diferiram entre os experimentos para a MSF e a MSPA da cultivar Ceres (Tabela 5.2). Entretanto, os parâmetros diferiram para MFF e MFPA, em que se observou valores assintóticos superiores no experimento 2, indicando maior produção de massa em relação ao experimento 1. Para as cultivares Gloriosa e Rubinela as estimativas não diferiram para todos os caracteres, exceto para o parâmetro *c* da MSF e *a* da MSPA da cultivar Rubinela. Por fim, a cultivar Grandes Lagos não diferiu para os parâmetros dos caracteres MSF e MSPA, entretanto a MFF e MFPA diferiram para os parâmetros *a* e *c*, respectivamente. Esses resultados indicam que, para a maioria das cultivares, não houve diferença das estimativas do modelo Gompertz entre os experimentos.

Para o modelo Logístico, os caracteres MSF e MSPA não diferiram entre os experimentos quanto aos parâmetros *a*, *b* e *c*, para todas as cultivares (Tabela 5.3), o mesmo ocorreu com a MFF da cultivar Gloriosa. Entretanto, a cultivar Ceres não diferiu para *b* da MFPA. Também foram observados valores assintóticos superiores no experimento 2, o que indica maior produção de massa em relação ao experimento 1. Já a cultivar Grandes Lagos não diferiu para os parâmetros *a* e *c* para MFF e *a* para MFPA. A cultivar Rubinela diferiu entre os experimentos apenas para os valores assintóticos da MFF e MFPA. Assim, pode-se inferir que para a maioria dos das estimativas dos parâmetros não ocorreru diferença entre os experimentos, para a mesma cultivar.

Comparando as cultivares em cada experimento, visualizou-se que no modelo Gompertz, no experimento 1, as cultivares Gloriosa e Grandes Lagos e Gloriosa e Rubinela não diferiram em

todos os parâmetros dos caracteres MFF e MFPA, bem como Grandes Lagos e Rubinela para a MFPA e Ceres e Rubinela para a MSPA (Tabela 5.4). Isso significa que o modelo Gompertz não difere entre essas cultivares. Já para todos os caracteres das cultivares Ceres e Gloriosa, o modelo Gompertz diferiu, pois pelo menos um dos três parâmetros (a , b e c) foi significativo. Comportamento semelhante foi observado entre as cultivares Ceres e Grandes Lagos. No experimento 2, as cultivares Ceres e Grades Lagos não diferiram para todos os caracteres, assim como Gloriosa e Rubinela não diferiram para a MFF, MSF e MSPA. Também foram semelhantes Gloriosa e Grandes Lagos para a MSF e a MSPA, Ceres e Rubinela para a MFF e a MSF e Gloriosa e Rubinela para a MFPA e a MSPA. Isso demonstra que no experimento 2 houve redução na diferença entre as estimativas dos parâmetros do modelo Gompertz.

Tabela 5.4 - Comparação das estimativas dos parâmetros (a , b e c) dos modelos Gompertz e Logístico para caracteres⁽¹⁾ em função da soma térmica acumulada, com base no intervalo de confiança (IC_{95%}), entre as cultivares de alface Ceres, Gloriosa, Grandes Lagos e Rubinela, em dois experimentos, na primavera.

		Experimento 1 - Primavera - 2016				Experimento 2- Primavera - 2017			
		MF	MSF	MFA	MSP	MF	MSF	MFA	MSP
Gompertz									
<i>a</i>									
Ceres	Gloriosa	*	*	*	*	ns	ns	ns	*
Ceres	Grandes Lagos	*	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
Ceres	Rubinela	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	*
Gloriosa	Grandes Lagos	ns	*	ns	*	ns	ns	ns	ns
Gloriosa	Rubinela	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Grandes Lagos	Rubinela	ns	ns	ns	ns	*	*	ns	ns
<i>b</i>									
Ceres	Gloriosa	*	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
Ceres	Grandes Lagos	*	*	ns	*	ns	ns	ns	ns
Ceres	Rubinela	*	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
Gloriosa	Grandes Lagos	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Gloriosa	Rubinela	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Grandes Lagos	Rubinela	ns	*	ns	*	ns	ns	ns	ns
<i>c</i>									
Ceres	Gloriosa	*	ns	*	*	*	*	*	*
Ceres	Grandes Lagos	*	*	*	*	ns	ns	ns	ns
Ceres	Rubinela	*	*	*	ns	ns	ns	ns	ns
Gloriosa	Grandes Lagos	ns	ns	ns	ns	*	ns	*	ns
Gloriosa	Rubinela	ns	*	ns	*	ns	ns	*	ns
Grandes Lagos	Rubinela	*	*	ns	*	ns	ns	ns	ns
Logístico									
<i>a</i>									
Ceres	Gloriosa	*	*	*	*	ns	*	ns	*
Ceres	Grandes Lagos	*	ns	*	ns	*	ns	*	ns
Ceres	Rubinela	*	*	*	*	*	*	*	*
Gloriosa	Grandes Lagos	*	*	ns	*	*	*	*	*
Gloriosa	Rubinela	*	ns	*	ns	*	*	*	*
Grandes Lagos	Rubinela	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>b</i>									
Ceres	Gloriosa	*	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns
Ceres	Grandes Lagos	ns	*	ns	*	ns	ns	ns	ns
Ceres	Rubinela	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Gloriosa	Grandes Lagos	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Gloriosa	Rubinela	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Grandes Lagos	Rubinela	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>c</i>									
Ceres	Gloriosa	*	ns	*	ns	*	ns	*	*
Ceres	Grandes Lagos	*	*	ns	*	ns	ns	ns	ns
Ceres	Rubinela	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Gloriosa	Grandes Lagos	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns
Gloriosa	Rubinela	ns	*	ns	*	ns	ns	ns	ns
Grandes Lagos	Rubinela	ns	*	ns	*	ns	ns	ns	ns

⁽¹⁾ MF: massa de matéria fresca folhas; MSF: massa de matéria seca de folhas; MFA: massa fresca de parte aérea; e MSP: massa seca de parte aérea. ⁽²⁾ Comparação das estimativas dos parâmetros (a , b e c) entre os experimentos. * Estimativas diferem a 5% de significância. ns Não significativo.

As estimativas dos parâmetros do modelo Logístico, para a MFPA das cultivares Gloriosa e Grandes Lagos no experimento 1, para a MSF e a MSPA das cultivares Ceres e Grandes Lagos no experimento 2, não diferiram (Tabela 5.4). Nas demais comparações houve diferença em pelo menos um dos três parâmetros do modelo Logístico. Para o modelo Logístico são necessários modelos específicos por caractere e cultivar, pois, as diferenças foram predominantes. Modelos distintos também foram necessários para estimativa da produção de tomateiro tipo salada, em dois anos de cultivo (Sari *et al.*, 2019).

Para definir o modelo mais adequado são utilizados indicadores de qualidade do ajuste. Constatou-se que os modelos Logístico e Gompertz apresentaram valores aceitáveis de qualidade de ajuste (altos valores de R^2 ; baixos valores de AIC e intermediários de DPR) e próximos entre si (Tabelas 5.5 e 5.6). Estes indicadores também foram utilizados por Puiatti *et al.* (2013), para seleção de modelos não lineares para descrever o acúmulo de matéria seca em plantas de alho.

Os modelos Gompertz e Logístico descreveram satisfatoriamente a curva de crescimento das cultivares de alface, apresentando valores de R^2_{aj} igual ou superiores a 0,850, em ambos os modelos. Macedo (2004), ajustando modelos de crescimento para diferentes soluções nutritivas para massa de matéria seca de folhas da cultivar Grandes Lagos, no verão em Viçosa (Minas Gerais – Brasil), obteve coeficientes de determinação iguais ou superiores a 0.98, para os modelos Gompertz, Logístico e expolinear.

Tabela 5 5 - Coeficiente de determinação ajustado (R^2 aj), critério de informação de Akaike (AIC), desvio padrão residual (DPR), não linearidade intrínseca (IN), não linearidade do efeito do parâmetro (PE), ponto de inflexão (PI), ponto de aceleração máxima (PAM) e ponto de desaceleração máxima (PDM) do modelo Gompertz para caracteres ⁽¹⁾ em função da soma térmica acumulada (em °C) de cultivares de alface (Ceres, Gloriosa, Grandes Lagos e Rubinela) em dois experimentos.

Estatística	MF ^{F(1)}	MSF	MFPA	MSPA	MF ^F	MSF	MFPA	MSPA	
Experimento 1 - Primavera - 2016				Experimento 2 - Primavera - 2017					
Ceres									
R ² aj	0,955	0,969	0,963	0,968	0,975	0,956	0,977	0,961	
AIC	6,367	0,404	6,497	0,671	5,457	0,100	5,553	0,162	
DPR	23,087	1,168	24,608	1,335	16,817	1,208	18,038	1,252	
PE	1,100	3,671	1,805	7,877	8,606	6,022	11,962	8,205	
IN	0,144	0,141	0,144	0,144	0,113	0,142	0,112	0,133	
PI	x	334,312	404,207	365,093	473,159	546,418	472,769	592,465	514,098
	y	114,833	10,437	157,384	16,126	275,992	11,046	369,272	14,430
PAM	x	245,533	243,653	252,385	270,278	315,268	271,913	340,240	292,290
	y	22,770	2,070	31,208	3,198	54,726	2,190	73,222	2,861
PDM	x	423,090	564,762	477,800	676,040	777,568	673,625	844,690	735,906
	y	213,047	19,364	291,991	29,918	512,042	20,493	685,103	26,771
Gloriosa									
R ² aj	0,961	0,908	0,966	0,914	0,956	0,940	0,958	0,937	
AIC	6,904	1,431	6,892	1,475	6,302	0,145	6,326	0,202	
DPR	30,129	1,953	29,957	1,996	30,566	1,381	31,180	1,502	
PE	4,818	2,021	5,846	2,118	4,095	2,327	4,237	2,579	
IN	0,160	0,244	0,151	0,234	0,165	0,170	0,162	0,175	
PI	x	419,999	325,987	442,550	331,513	444,443	375,311	449,647	382,306
	y	254,701	6,989	300,208	7,574	232,999	7,202	249,093	7,842
PAM	x	255,117	220,593	264,148	222,607	287,082	233,932	290,179	238,069
	y	50,504	1,386	59,528	1,502	46,201	1,428	49,392	1,555
PDM	x	584,881	431,380	620,953	440,419	601,804	516,689	609,115	526,543
	y	472,541	12,966	556,970	14,052	432,277	13,361	462,137	14,549
Grandes Lagos									
R ² aj	0,966	0,960	0,965	0,962	0,970	0,853	0,969	0,862	
AIC	6,561	0,967	6,823	1,076	6,395	1,695	6,519	1,780	
DPR	25,398	1,549	28,936	1,635	26,457	2,703	29,064	2,836	
PE	2,879	1,914	5,085	2,574	9,405	5,167	11,581	5,652	
IN	0,144	0,154	0,152	0,151	0,127	0,263	0,130	0,257	
PI	x	393,916	362,054	434,393	381,972	545,019	394,544	568,836	406,217
	y	196,695	9,422	267,354	11,347	390,822	9,516	467,003	10,775
PAM	x	258,044	247,168	273,066	252,786	316,246	232,339	329,303	238,872
	y	39,002	1,868	53,013	2,250	77,495	1,887	92,601	2,137
PDM	x	529,788	476,940	595,719	511,157	773,791	556,748	808,369	573,563
	y	364,923	17,480	496,017	21,053	725,084	17,655	866,420	19,991
Rubinela									
R ² aj	0,939	0,936	0,944	0,937	0,970	0,939	0,972	0,944	
AIC	9,097	3,428	9,322	3,615	8,397	2,281	8,558	2,459	

DPR		12,579	0,657	13,222	0,696	14,499	0,909	15,071	0,938
PE		21,812	45,197	33,693	65,254	8,357	3,999	9,406	4,435
IN		0,218	0,216	0,215	0,215	0,129	0,175	0,126	0,169
PI	x	549,183	651,039	608,003	713,882	531,316	420,175	549,160	433,355
	y	150,237	11,759	217,594	16,284	202,760	5,596	235,066	6,342
PAM	x	333,753	368,249	365,057	403,130	312,114	255,052	322,078	261,592
	y	29,790	2,332	43,146	3,229	40,205	1,110	46,611	1,258
PDM	x	764,613	933,829	850,948	1024,634	750,517	585,298	776,242	605,118
	y	278,731	21,817	403,697	30,211	376,177	10,382	436,112	11,767

⁽¹⁾ MFF: massa de matéria fresca folhas, em g planta⁻¹; MSF: massa de matéria seca de folhas, em g planta⁻¹; MFPA: massa fresca de parte aérea, em g planta⁻¹; e MSPA: massa seca de parte aérea, em g planta⁻¹.

Tabela 5.6 - Coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), critério de informação de Akaike (AIC), desvio padrão residual (DPR), não linearidade intrínseca (IN), não linearidade do efeito do parâmetro (PE), ponto de inflexão (PI), ponto de aceleração máxima (PAM) e ponto de desaceleração máxima (PDM) do modelo Logístico para caracteres ⁽¹⁾ em função da soma térmica acumulada (em °C) de cultivares de alface (Ceres, Gloriosa, Grandes Lagos e Rubinela) em dois experimentos.

Estatística		MFF ⁽¹⁾ MSF MFPA MSPA				MFF MSF MFPA MSPA			
		Experimento 1				Experimento 2			
Ceres									
R^2_{aj}		0,958	0,965	0,965	0,964	0,975	0,956	0,976	0,961
AIC		6,318	0,515	6,470	0,786	9,443	0,459	5,891	0,532
DPR		22,483	1,239	24,261	1,420	17,048	1,213	18,347	1,258
PE		0,534	1,150	0,705	1,951	1,487	1,402	1,789	1,627
IN		0,118	0,097	0,106	0,095	0,076	0,095	0,075	0,090
PI	x	362,084	406,675	386,553	441,679	477,290	448,513	492,783	465,346
	y	143,620	10,577	182,559	13,808	200,801	9,832	236,372	11,534
PAM	x	290,671	305,567	305,747	329,504	364,731	336,988	378,153	350,971
	y	60,701	4,470	77,158	5,836	84,869	4,155	99,902	4,875
PDM	x	433,497	507,783	467,360	553,855	589,850	560,037	607,413	579,721
	y	226,539	16,684	287,959	21,780	316,734	15,508	372,841	18,193
Gloriosa									
R^2_{aj}		0,959	0,907	0,963	0,913	0,959	0,942	0,961	0,940
AIC		6,961	1,436	6,958	1,483	6,861	0,676	6,896	0,845
DPR		31,047	1,958	31,014	2,005	29,759	1,351	30,288	1,470
PE		1,351	0,862	1,503	0,878	1,000	0,821	1,008	0,881
IN		0,107	0,173	0,100	0,165	0,107	0,112	0,105	0,115
PI	x	415,163	351,994	426,523	356,614	439,440	395,383	442,443	400,516
	y	248,131	8,444	275,797	9,056	226,977	8,065	239,634	8,679
PAM	x	315,315	272,229	323,419	275,362	346,772	299,807	349,508	304,259
	y	104,873	3,569	116,566	3,828	95,932	3,409	101,281	3,668
PDM	x	515,012	431,759	529,628	437,866	532,109	490,960	535,378	496,774
	y	391,390	13,320	435,029	14,285	358,022	12,721	377,987	13,690
Grandes Lagos									
R^2_{aj}		0,966	0,961	0,964	0,962	0,969	0,850	0,968	0,859
AIC		6,555	0,946	6,836	1,081	6,655	2,082	6,847	2,179
DPR		25,321	1,532	29,145	1,640	26,874	2,730	29,585	2,866
PE		0,911	0,695	1,310	0,840	1,625	1,696	1,865	1,772
IN		0,102	0,111	0,104	0,108	0,085	0,177	0,087	0,172
PI	x	403,304	381,132	424,484	394,111	476,856	405,174	485,628	412,937

	y	208,692	10,770	252,783	12,299	284,882	10,074	319,187	11,165
PAM	x	315,390	301,297	330,136	309,159	365,169	299,881	372,708	306,462
	y	88,204	4,552	106,839	5,198	120,405	4,258	134,904	4,719
PDM	x	491,218	460,967	518,833	479,062	588,542	510,468	598,547	519,412
	y	329,181	16,988	398,727	19,400	449,359	15,890	503,470	17,611
Rubinela									
R ² _{aj}		0,941	0,935	0,945	0,936	0,970	0,941	0,972	0,946
AIC		5,134	-0,729	5,236	-0,613	5,427	-0,151	5,506	-0,088
DPR		12,434	0,664	13,088	0,703	14,536	0,893	15,126	0,922
PE		3,097	5,607	3,804	6,974	1,490	1,095	1,577	1,146
IN		0,138	0,134	0,133	0,133	0,085	0,114	0,083	0,110
PI	x	465,901	495,515	481,162	510,262	472,903	421,577	479,591	428,931
	y	97,602	5,921	115,566	6,819	153,694	5,643	169,552	6,203
PAM	x	368,030	379,519	381,105	392,095	363,623	321,235	369,620	327,172
	y	41,252	2,503	48,844	2,882	64,959	2,385	71,661	2,622
PDM	x	563,773	611,510	581,218	628,430	582,183	521,919	589,563	530,689
	y	153,953	9,340	182,289	10,757	242,428	8,900	267,443	9,784

⁽¹⁾ MFF: massa de matéria fresca folhas, em g planta⁻¹; MSF: massa de matéria seca de folhas, em g planta⁻¹; MFPA: massa fresca de parte aérea, em g planta⁻¹; e MSPA: massa seca de parte aérea, em g planta⁻¹.

Embora os modelos tenham apresentado qualidade satisfatória, para a maioria dos caracteres, o modelo Gompertz superestimou o parâmetro a . Superestimação em maior magnitude foi observada para a cultivar Grandes Lagos, experimento 2, com os valores assintóticos de 1062,3655 para a MFF e 1069,4461 para a MFPA (Tabela 5.3), ou seja, essas estimativas foram excessivamente superiores aos valores máximos observados no conjunto de dados, que foram 500,88 g planta⁻¹ de MFF e 541,26 g planta⁻¹ de MFPA. Outro caso semelhante foi verificado para cultivar Rubinela, experimento 1, superestimação do parâmetro a , de 31,9655 para a MSF e 44,2640 para a MSPA, superiores aos valores máximos observados no conjunto de dados, que foram 10,00 g planta⁻¹ de MSF e 10,51 g planta⁻¹ de MSPA. Superestimação dos parâmetros no modelo Gompertz também foi verificada na descrição da produção de morangueiro (Diel *et al.*, 2018).

Para auxiliar na indicação do modelo também são utilizadas a não linearidade intrínseca (IN) e a não linearidade do efeito do parâmetro (PE). Verificou-se que o modelo Logístico apresentou menores valores de IN, na maioria dos caracteres das cultivares dos dois experimentos e o PE foi sempre menor em relação ao modelo Gompertz (Tabelas 5.5 e 5.6). Os menores valores de IN e, principalmente PE, indicam melhor adequabilidade do modelo Logístico. Destaca-se ainda, que os valores elevados de PE do modelo Gompertz para Rubinela (experimento 1) em relação a

MSF (45,197) e a MFPA (65,254) estão associados a superestimação dos parâmetros. Valores elevados de PE também foram verificados no ajuste da curva de produção de tomateiro do tipo salada, para o modelo Gompertz (Sari *et al.*, 2019)

Pode-se inferir que, independentemente de cultivar, caractere e experimento, o modelo Logístico é o mais adequado para a descrição do crescimento de cultivares de alface, pois apresentou comportamento próximo ao ideal, tomando por base os cinco indicadores de qualidade (R^2_{aj} , AIC, DPR, IN e PE). Para exemplificar o formato da curva de crescimento do modelo Logístico, de cada caractere, com os respectivos pontos críticos, foi selecionada a cultivar Ceres, do experimento 1 (Figura 1). Para a elaboração das demais curvas de crescimento podem ser utilizadas as respectivas estimativas dos parâmetros (Tabela 5.3).

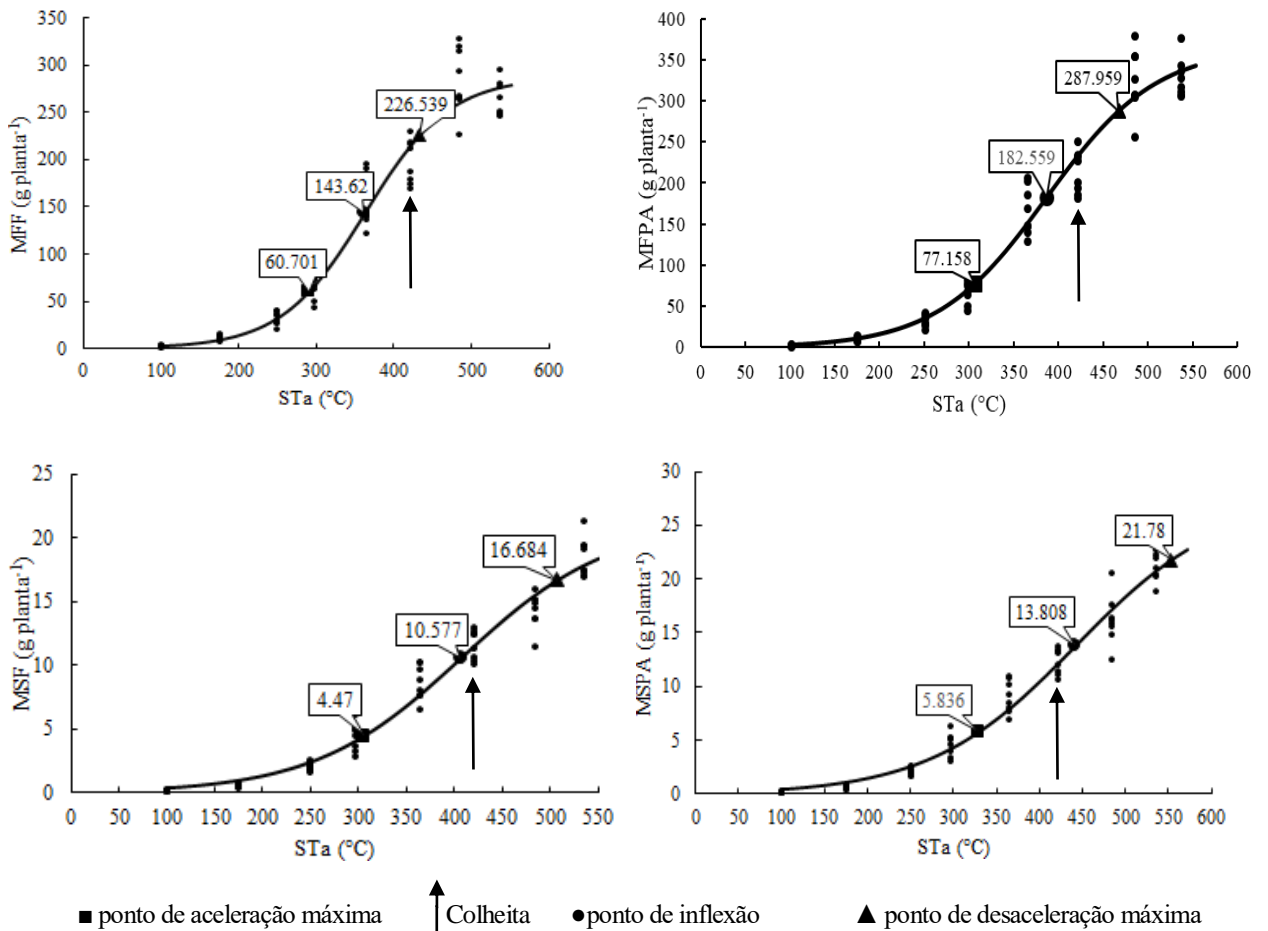


Figura 5.1 - Gráfico do modelo Logístico para massa de matéria fresca de folhas (MFF, em g planta⁻¹), massa de matéria seca de folhas (MSF, em g planta⁻¹), massa de matéria fresca de parte aérea (MFPA, em g planta⁻¹) e massa de matéria seca de parte aérea (MSPA, em g planta⁻¹) em função da soma térmica acumulada (STa, em °C), para a cultivar Ceres, no experimento 1.

Observou-se que o ponto de aceleração máxima (PAM) ocorreu no início da curva, quando as plantas apresentam volume reduzido e folhas jovens (Tabelas 5.5 e 5.6). Na maioria das cultivares, nos dois experimentos, observou-se que o ponto de inflexão (PI) é ponto mais próximo a fase de colheita das plantas, para a maioria os caracteres MSF e MSPA da cultivar Ceres, conforme a indicação com as setas na Figura 5.1. Portanto, os pontos críticos são relevantes para uma melhor compreensão da curva de crescimento e suas respostas biológicas. Com relação a STa entre as cultivares, para o modelo Logístico, a cultivar Ceres necessitou de menor acúmulo de soma térmica e, também, apresentou menores valores para os caracteres do que as cultivares Gloriosa e Grandes Lagos, que acumularam valores superiores de STa. Já para a cultivar Rubinela, foi verificado comportamento oposto, ou seja, STa superior e MFF inferior, quando comparada as demais cultivares. Deste modo, pode-se inferir que a cultivar do segmento crespa roxa produziu plantas menores, independentemente do acúmulo de soma térmica.

Esse estudo confirma que o modelo Logístico e seus pontos críticos são relevantes para auxiliar a escolha de cultivares de alface promissoras. O modelo Logístico também foi indicado para descrever o comprimento, diâmetro e volume do fruto do pequiheiro (Rodrigues *et al.*, 2018) e para descrever a curva de produção de cultivares do morangueiro (Diel *et al.*, 2018).

Ao optar na pesquisa ou produção, em condições de primavera, pelas cultivares Ceres, Gloriosa, Grandes Lagos e Rubinela os parâmetros (a , b e c) podem ser empregados para a simulação e predição do crescimento. Todavia, é indicado utilizar a soma térmica do local de cultivo para que as respostas obtidas sejam próximas as condições reais de cultivo. Deste modo, a predição poderá ser utilizada, mas os valores obtidos serão aproximados aos encontrados neste estudo e devem obedecer ao padrão da curva de crescimento. Além disso, devido aos trabalhos insuficientes abordando o tema, para essas cultivares na primavera, esses modelos são referência para novas pesquisas.

CONCLUSÕES

Os modelos de crescimento Logístico e Gompertz apresentam ajuste satisfatório para as massas de matéria fresca e seca de folhas e para as massas de matéria fresca e seca de parte aérea para as cultivares Ceres, Gloriosa, Grandes Lagos e Rubinela, em condições de primavera. O modelo Logístico é o mais indicado para descrever o crescimento de cultivares de alface.

REFERÊNCIAS

- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. L. M. & Sparovek, G. (2013) Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22, 711-728. Doi: 10.1127/0941-2948/2013/0507
- Arnold, C. T. (1959) The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*, 74, 430-455.
- Bates, D. M. & Watts, D. G. (1998) *Nonlinear regression analysis and its applications*. New York , John Wiley & Sons.
- Bem, C. M., Cargnelutti Filho, A., Chaves, G. G., Kleinpaul, J. A., Pezzini, R. V., & Lavezo, A. (2018) Gompertz and Logistic Models to the Productive Traits of Sunn Hemp. *Journal of Agricultural Science*, 10, 225-238. <https://doi.org/10.5539/jas.v10n1p225>
- Brunini, O. (1976) Temperatura-base para alface cultivar "white boston", em um sistema de unidades térmicas. *Bragantia*, 35: 213-219. Doi: 10.1590/S0006-87051976000100019
- CEAGESP. Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo. 2017 <http://www.ceagesp.gov.br/guia-ceagesp/alface-crespa/>; research: november 2018.
- Diel, M. I., Sari, B. G., Krysczun, D. K., Olivoto, T., Pinheiro, M. V. M., Meira, D., Schmidt, D., & Lúcio, A. D. Nonlinear regression for description of strawberry (*Fragaria x ananassa*) production.

The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 1-15.

<https://doi.org/10.1080/14620316.2018.1472045>

Fernandes, T. J., Pereira, A. A., Muniz, J. A. & Savian, T. V. (2014) Seleção de modelos não lineares para a descrição das curvas de crescimento do fruto do cafeeiro. *Coffee Science*, 9, 207-215.

Gilmore, E. C. & Rogers, J. S. (1958) Heat units as a method of measuring maturity in corn. *Agronomy Journal*, 50, 611-615. Doi:10.2134/agronj1958.00021962005000100014x

Macedo, C. S. (2004) *Ajuste de modelos de crescimento da alface (Lactuca sativa L.) cultivada em sistema hidropônico e estimativa da variação da condutividade elétrica da solução nutritiva*.

(Unpublished MAESTRIA dissertation) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil.

Maynard, D. N. & Hochmuth, G. J. (2007) *Knott's handbook or vegetable growers*. 5th ed. Editora John Wiley e Sons. 621p.

Kosma, C., Triantafyllidis, V., Papasavvas, A., Salahas, G., & Patakas, A. (2013) Yield and nutritional quality of greenhouse lettuce as affected by shading and cultivation season. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 25, 974-979. <https://doi.org/10.9755/ejfa.v25i12.16738>

Kuinchtner, A. & Buriol, G. A. (2001) The climate of rio grande do sul state according to kóppen and thornthwaite classification. *Disciplinarum Scientia: Ciências Exatas*, 2, 171-182.

Lúcio, A. D., Nunes, L. F., & Rego, F. (2015) Nonlinear models to describe production of fruit in *Cucurbita pepo* and *Capiscum annuum*. *Scientia Horticulturae*, 193, 286-293.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2015.07.021>

Martins, C., Butelli, E., Petroni, K., & Tonelli, C. (2011) How Can Research on Plants Contribute to Promoting Human Health? *The Plant Cell*, 23, 1685-1699. <https://doi.org/10.1105/tpc.111.083279>

Mischan, M. M & Pinho, S. Z. (2014) *Modelos não lineares: funções assintóticas de crescimento*. São Paulo, Cultura Acadêmica.

Pereira, A. P., Fernandes, T. J., Scalco, M. S., & Morais, A. R. (2016) Modelagem não linear do crescimento em altura do cafeeiro irrigado e não irrigado em diferentes densidades. *Irriga*, 140-149.

Puiatti, G. A., Cecon, P. R., Nascimento, M., Puiatti, M., Finger, F. L., Silva, A. R., Nascimento, A. C. C. (2013) Análise de agrupamento em seleção de modelos de regressão não lineares para descrever o acúmulo de matéria seca em plantas de alho. *Revista Brasileira de Biometria*. 31, 337-351.

R Development Core Team. 2017. R: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing.

Rodrigues, T. D., Mattos, R. W. P., Morais, A. R. M. & Muniz, J. A. (2018) Description of the growth of pequi fruits by nonlinear models. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 40, 1-11. Doi: 10.1590/0100-29452018949

Santos, C. E., Kist, B. B., Carvalho, C., Reetz, E. R., Muller, I., Belig, R. R., & Poll, H. (2015) *Anuário Brasileiro de hortaliças*. Editora Gazeta. 68p.

Sari, B. G., Lúcio, A. D., Santana, C. S., & Savian, T. V. (2019) Describing tomato plant production using growth models. *Scientia Horticulturae*, 246, 146-154. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.10.044>

Tadić, V., Tadić, J., Milošević, S., Cingel A., Prodanović, O., Ćosić T., & Vujčić, Z. (2017) Phenol induced physiological stress in hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Scientia Horticulturae*, 232, 71-83. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.12.024>

Terra, M. F., Muniz, J. A. & Savian, T. V. (2010) Ajuste dos modelos Logístico e Gompertz aos dados de crescimento de frutos de tamareira-anã (*Phoenix roebelenni* O'BRIEN). *Magistra*, 22 - 1-7.

CAPÍTULO 6 – AJUSTE DOS MODELOS GOMPERTZ E LOGÍSTICO PARA CARACTERES PRODUTIVOS DE CULTIVARES DE ALFACE EM CONDIÇÕES DE VERÃO

RESUMO

Os objetivos deste trabalho foram ajustar os modelos Gompertz e Logístico para as massas de matéria fresca e seca de folhas e as massas de matéria fresca e seca de parte aérea de quatro cultivares de alface e indicar o modelo que melhor descreve o crescimento no verão. Foram utilizadas as cultivares de alface Crocantela, Elisa, Rubinela e Vera, cultivadas no verão dos anos de 2017 e 2018, em ambiente protegido e cultivo sem solo. Após sete dias do transplante, foram pesadas as massas de matéria fresca e seca de folhas e as massas de matéria fresca e seca de parte aérea de oito plantas, essas avaliações foram realizadas a cada quatro dias. Os parâmetros dos modelos foram estimados utilizando o software R, pelo método de mínimos quadrados e processo iterativo de Gauss-Newton. Também foram estimados os intervalos de confiança dos parâmetros, verificados os pressupostos, calculados os indicadores de qualidade do ajuste, os pontos críticos e quantificadas as não linearidades paramétrica e intrínseca. O modelo de crescimento Logístico apresentou ajuste satisfatório para as massas de matéria fresca e seca de folhas e para as massas de matéria fresca e seca de parte aérea para as cultivares de alface Crocantela, Elisa, Rubinela e Vera, no Verão, sendo o indicado para descrever o crescimento das cultivares de alface.

Palavras-chave: *Lactuca sativa*, modelos não lineares, crescimento.

ABSTRACT

The objectives of this study were to adjust the Gompertz and Logistic model to fit the fresh and dry matter of leaves and fresh and dry matter of shoots of four lettuce cultivars to describe growth in

summer. Cultivars Crocantela, Elisa, Rubinela, and Vera were evaluated in the summer of 2017 and 2018, in soil in protected environment and in soilless system. Seven days after transplantation, fresh and dry leaf masses and fresh and dry shoot masses of eight plants were weighed every four days. The models and parameters were estimated using the software R, using the least squares method and iterative process of Gauss-Newton. We also estimated the confidence intervals of the parameters, verified the assumptions of the models, calculated the goodness-of-fit measures and the critical points, and quantified the parametric and intrinsic nonlinearities. The logistic growth model fitted well to fresh and dry leaf and shoot matters of cultivars Crocantela, Elisa, Rubinela, and Vera and is indicated to describe the growth of lettuce.

Keywords: *Lactuca sativa*, non-linear models, growth

INTRODUÇÃO

A alface é uma hortaliça folhosa, pertencente a família Asteraceae, consumida na forma de saladas cruas, caldos e sopas, por apresentar vitaminas, minerais e reduzido valor colórico (Ntsoane *et al.*, 2016). No Brasil, a produção de alface apresenta importância econômica e social, pois gera empregos e renda para a agricultura familiar.

Originalmente de clima temperado, temperaturas superiores a 30 °C induzem as planta de alface ao florescimento o que reduz a fase vegetativa, o número de folhas e a formação de cabeças compactas. A temperatura ideal para a cultura varia entre 15,5° e 18,3°C, tendo com limite inferior de 7,2°C e superior de 23,9°C (Maynard & Hochmuth, 2007). As técnicas de melhoramento genético permitiram desenvolver cultivares tolerantes ao pendoamento e ampliaram o cultivo da folhosa em outras épocas e localidades.

As cultivares de alface são classificadas em grupos, conforme as características morfológicas das folhas, formação da cabeça e coloração, sendo denominadas como americanas,

crespas, mimosas, lisas, romanas e outras (Sala & Costa, 2012). A escolha de cultivares adaptadas as condições climáticas e o sistema de cultivo no momento da implantação da cultura são fatores determinantes para o sucesso da produção. Em ambiente protegido, durante o verão (dezembro a março) no Rio Grande do Sul, as temperaturas elevadas ainda afetam a qualidade e a palatabilidade das folhas de alface.

Os modelos não lineares são amplamente utilizados na agricultura (Archontoulis & Miguez, 2015). Para descrever o crescimento de plantas e frutos, sendo necessário mensurado o acúmulo de massa ao longo do tempo. Os modelos são relevantes para o manejo adequado, bem como no aperfeiçoamento de metodologias de pesquisas relacionadas a cultura (Terra *et al.*, 2010). Assim, os modelos de crescimento não lineares são ferramentas que permitem avaliar a taxa de crescimento, estabilização e a redução da produção no final do ciclo (Mischán & Pinho, 2014).

Os modelos empíricos, freqüentemente utilizados para estimar o crescimento de plantas, e seus componentes, incluem os modelos Logístico e Gompertz. Assim, os modelos não lineares já foram aplicados para descrever o acúmulo de matéria seca de cultivares de cana-de-açúcar (Batista *et al.*, 2013), o crescimento do cafeeiro cultivar Rubi MG 1192 (Pereira *et al.*, 2014), caracteres morfológicos de crotalária juncea (Bem *et al.*, 2017) e para a descrição do crescimento de frutos de coqueiro anão verde (Prado *et al.*, 2013), cacau (Muniz *et al.*, 2017) e pera asiática (Ribeiro *et al.*, 2018).

Para a cultura de alface os modelos Gompertz, Logístico e Exponencial, foram ajustados para massa seca de folhas das cultivares Grand Rapids, Regina e Great Lakes, em sistema hidropônico, durante o verão (Lyra *et al.*, 2003). No entanto, estudos que descrevem o crescimento por meio de modelos não lineares, para outras cultivares, caracteres e avaliadores de qualidade do ajuste não foram encontrados.

Supõe-se que os modelos Gompertz e Logístico possam descrever o crescimento de cultivares de alface em condições de verão, possibilitando selecionar o modelo mais adequado. Os

objetivos deste trabalho foram ajustar os modelos Gompertz e Logístico para as massas de matéria fresca e seca de folhas e de parte aérea de quatro cultivares de alface (Crocantella, Elisa, Rubinela e Vera) e recomendar o modelo que melhor descreve o crescimento no verão.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos dois experimentos com a cultura de alface, um no verão de 2017 (experimento 1) e o outro no verão de 2018 (experimento 2), em Santa Maria/RS (29°42'S, 53°49'W e 95 m de altitude), em ambiente protegido do tipo abrigo. A região apresenta clima do tipo Cfa subtropical úmido, com verões quentes e sem estação seca definida, conforme classificação de Köppen (Alvares *et al.*, 2013).

As cultivares utilizadas foram: Crocantela (crespa verde - americana - folhas consistentes, crespas, soltas, nervuras destacadas e não formam cabeça), Elisa (lisa - folhas lisas, delicadas e com cabeça fracamente compacta), Rubinela (crespa roxa - folhas consistentes, crespas, soltas e que não formam cabeça) e Vera (crespa verde - folhas consistentes, crespas, soltas e que não formam cabeça). A escolha dos materiais genéticos foi condicionada as características meteorológicas do local de cultivo, durante o ciclo da cultura e associado as indicações técnicas das empresas responsáveis pelas sementes. Para a produção de mudas, foram utilizadas bandejas de poliestireno expandido de 200 células, preenchidas com substrato comercial Plantmax[®], que permaneceram no sistema “*floating*”. O tranplante foi realizado quando as plantas apresentavam quatro a cinco folhas definitivas, em 27/01/2017 (experimento 1) e 09/02/2018 (experimento 2).

Para o cultivo foram utilizadas oito bancadas compostas por uma telha de fibrocimento ondulada, com 3,66 m de comprimento, 1,10 m de largura e 6 mm de espessura, com seis canais de 5 cm de profundidade. Os canais de cultivo foram impermeabilizados com filme plástico transparente de 100 µm e preenchidos com brita lavada número dois. Para a elevação (0,85 m) das

bancadas foram utilizados blocos fixos de alvenaria nas porções inicial e final, com declividade de 2%. Essa declividade, permitia que a solução nutritiva retornasse ao tanque de armazenamento plástico, com capacidade de 500 L. Por meio de uma motobomba submersa de baixa potência (acionada por um temporizador), a solução nutritiva era impulsionada para um cano de PVC de 25 mm de diâmetro. Deste cano derivavam quatro mangueiras de gotejamento e cada vaso foi alocado sob um gotejador, mantendo a distância de 30 cm entre as plantas na fileira, com densidade de 11,11 plantas m^{-2} . Cada bancada foi constituída por quatro fileiras, totalizando 44 vasos de volume de três litros (11 vasos por fileira), preenchidos com areia grossa peneirada, lavada com condutividade elétrica de zero $dS m^{-1}$.

A solução nutritiva empregada durante o cultivo apresenta a seguinte composição de macronutrientes (em $mmol L^{-1}$): 10,36 de NO_3^- ; 1,0 de $H_2PO_4^-$; 3,36 de NH_4^+ ; 1,0 de SO_4^{2-} ; 4,0 de K^+ ; 2,0 de Ca^{2+} ; 1,0 de Mg^{2+} ; e os micronutrientes (em $mg L^{-1}$): 1,0 de Fe; 0,50 de Mn; 0,22 de Zn; 0,26 de B; 0,06 de Cu e 0,03 de Mo, para cultura de alface, com a condutividade elétrica (CE) de 1,33 $dS m^{-1}$ e pH de 5,5 a 6,5. A CE e o pH foram monitorados durante o cultivo e corrigidos quando apresentavam variação de 20%, superior ou inferior, em relação a CE e pH padrão.

Aos sete dias após o transplante, iniciaram-se as avaliações em oito plantas de cada cultivar. Posteriormente, as avaliações foram realizadas a cada quatro dias até o início do florescimento. Para ambos os experimentos foram realizadas dez avaliações, totalizando 80 plantas de cada cultivar, com exceção da cultivar Elisa, no experimento 1, em que foram realizadas oito avaliações totalizando 64 plantas. Totalizando para as quatro cultivares, nos dois experimentos 624 plantas avaliadas. Para essas plantas foram mensuradas a massa de matéria fresca de folhas (MFF, em $g planta^{-1}$), a massa de matéria seca de folhas (MSF, em $g planta^{-1}$), a massa de matéria fresca de parte aérea (MFPA, em $g planta^{-1}$) e a massa de matéria seca de parte aérea (MSPA, em $g planta^{-1}$). Para obtenção das massas de matéria seca, o material foi acondicionado em sacos de papel e levado para estufa de circulação forçada ($60^{\circ}\pm 5^{\circ}C$), até adquirir massa constante.

Os dados referentes a temperatura do ar no interior do ambiente protegido (abrigo) foram registrados a cada três horas por um *data logger* digital (resolução 0,1°C e exatidão 0,5°C), instalado em um abrigo meteorológico. De posse desses dados foi calculada a soma térmica diária, pelo método de Gilmore & Rogers (1958) e Arnold (1960), utilizando as equações 1 e 2:

$$STd = (Tmax + Tmin) / 2 - Tb \quad (1)$$

Em que:

Tmax: temperatura máxima diária, em °C;

Tmin: temperatura mínima diária, em °C;

Tb: temperatura base da alface = 10°C (Brunini, 1976)

$$STa = \sum STd \quad (2)$$

Em que:

STa: soma térmica acumulada;

$\sum STd$ ($STd_1 + STd_2 + \dots + STd_n$): somatório da soma térmica diária (d1 = dia 1; d2 = dia 2; ...; dn = dia n).

O ajuste dos modelos Gompertz e Logístico para cada caractere (variável dependente), foi realizado com as repetições de cada avaliação em função da soma térmica acumulada (variável independente), utilizando-se do método dos mínimos quadrados e o processo iterativo de GaussNewton. A equação utilizada para o modelo Gompertz foi: $y_i = a \exp[-\exp(b - cx_i)]$, e para o Logístico foi: $y_i = a/[1 + \exp(-b - cx_i)]$ em que y_i é a i-ésima observação da variável dependente sendo $i = 1, 2, \dots, n$; x_i é a i-ésima observação da variável independente; a é o valor assintótico; b é um parâmetro de locação, importante para manter o formato sigmoidal do modelo; c está associado ao crescimento, indicando a taxa de crescimento.

Os pressupostos de normalidade, independência e homogeneidade dos resíduos dos modelos foram verificados por meio dos testes de Shapiro-Wilk, Durbin-Watson e Breusch-Pagan,

respectivamente. Para os caracteres que não atenderam os pressupostos, foi utilizada a transformação de dados de Box-Cox realizada com o software estatístico Action.

Os limites inferior e superior do intervalo de confiança a 95% foram calculados, e com base nos mesmos, por meio do critério de sobreposição dos intervalos de confiança, foram comparadas as estimativas dos parâmetros (a , b e c) para cada caractere, entre os experimentos em cada cultivar, e entre as cultivares em cada experimento.

A qualidade do ajuste dos modelos foi verificada, por meio do coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), em que o melhor ajuste é considerado com valor mais próximo a 1, o Critério de Informação de Akaike (AIC) e do desvio padrão residual (DPR), onde ambos definem melhor ajuste do modelo com valores mais próximos de zero. A não linearidade intrínseca (IN) e não linearidade do efeito do parâmetro (PE) foram quantificadas, com base no conceito geométrico de curvatura (Bates & Watts, 1988). Para a escolha do modelo recomendado, para descrever o crescimento das plantas, optou-se por aquele que proporcionar os menores valores de não linearidade intrínseca ou paramétrica. Também foram calculados o ponto de inflexão (PI), o ponto de aceleração máxima (PAM) e o ponto de desaceleração máxima (PDM), de acordo com equações descritas em Mischan & Pinho (2014). A partir desses pontos críticos foram realizadas inferências sobre o crescimento das plantas. Os cálculos foram realizados com o auxílio dos aplicativos Microsoft Office Excel[®] e o software R (R Development Core Team, 2018).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos dois experimentos os testes de Shapiro-Wilk, Durbin-Watson e Breusch-Pagan apresentaram valores-p iguais ou superiores a 0.05 (Tabela 6.1). Assim, as pressuposições de normalidade, independência e homogeneidade dos resíduos foram atendidas nos modelos Gompertz e Logístico, para as massas de matéria fresca e seca de folhas e parte aérea das cultivares de alface.

Resultados semelhantes foram obtidos na descrição do crescimento de frutos de pera asiática (Ribeiro *et al.* 2018).

Tabela 6 1 - Valor-p dos testes de Shapiro-Wilk (SW), Durbin-Watson (DW) e Breusch-Pagan (BP) aplicados sobre os resíduos dos modelos Gompertz e Logístico para caracteres em função da soma térmica acumulada, de quatro cultivares de alface em dois experimentos.

Caractere ⁽¹⁾	Cultivar	Gompertz			Logístico		
		SW	DW	BP	SW	DW	BP
Experimento 1 - Verão 2017							
MFF	Crocantela	0,10	0,15	0,18	0,92	0,10	0,12
	Elisa	0,32	0,28	0,06	0,16	0,35	0,07
	Rubanela	0,15	0,26	0,20	0,56	0,57	0,05
	Vera	0,30	0,08	0,48	0,22	0,14	0,06
MSF	Crocantela	0,38	0,18	0,10	0,42	0,30	0,07
	Elisa	0,13	0,05	0,12	0,69	0,22	0,06
	Rubanela	0,12	0,86	0,05	0,17	0,84	0,11
	Vera	0,16	0,09	0,53	0,14	0,10	0,08
MFPA	Crocantela	0,08	0,43	0,06	0,89	0,24	0,14
	Elisa	0,21	0,28	0,10	0,82	0,47	0,10
	Rubanela	0,68	0,45	0,06	0,60	0,84	0,09
	Vera	0,36	0,11	0,30	0,42	0,08	0,80
MSPA	Crocantela	0,20	0,21	0,07	0,30	0,16	0,06
	Elisa	0,22	0,06	0,15	0,28	0,18	0,11
	Rubanela	0,19	0,81	0,08	0,23	0,66	0,07
	Vera	0,42	0,07	0,09	0,06	0,11	0,05
Experimento 2 - Verão 2018							
MFF	Crocantela	0,56	0,08	0,51	0,17	0,69	0,57
	Elisa	0,06	0,25	0,07	0,08	0,47	0,18
	Rubanela	0,21	0,46	0,20	0,09	0,20	0,74
	Vera	0,08	0,60	0,14	0,90	0,65	0,05
MSF	Crocantela	0,06	0,22	0,17	0,28	0,57	0,07
	Elisa	0,11	0,09	0,09	0,09	0,16	0,28
	Rubanela	0,08	0,10	0,10	0,07	0,29	0,11
	Vera	0,05	0,14	0,13	0,08	0,27	0,06
MFPA	Crocantela	0,33	0,46	0,79	0,19	0,72	0,89
	Elisa	0,47	0,18	0,05	0,88	0,33	0,21
	Rubanela	0,06	0,42	0,42	0,10	0,24	0,54
	Vera	0,62	0,86	0,11	0,96	0,91	0,12
MSPA	Crocantela	0,19	0,27	0,06	0,19	0,36	0,07
	Elisa	0,26	0,07	0,06	0,51	0,10	0,49
	Rubanela	0,09	0,12	0,08	0,05	0,32	0,09
	Vera	0,05	0,32	0,27	0,07	0,57	0,05

⁽¹⁾ MFF: Massa de matéria fresca de folhas; MSF: massa de matéria seca de folhas; MFPA: massa fresca de parte aérea; e MSPA: massa seca de parte aérea.

Para cada caractere dos modelos Gompertz e Logístico foram comparadas as estimativas dos parâmetros (a , b e c) entre os experimentos (Tabelas 6.2 e 6.3) e entre as cultivares (Tabelas 6.4), pelo critério de sobreposição dos intervalos de confiança. Para explicar uma comparação utilizando o critério de sobreposição dos intervalos de confiança de 95% (IC) foi selecionada, a MSF da cultivar Elisa, para a comparação da estimativa do parâmetro a do modelo Gompertz entre os experimentos 1 e 2 (Tabela 6.2). Verificou-se que a estimativa do parâmetro a (9,7727) no experimento 1 está fora do intervalo de confiança da estimativa do parâmetro a no experimento 2 (11,3706 a 14,3481). Também, a estimativa do parâmetro a (12,8593) no experimento 2 está fora do intervalo de confiança da estimativa do parâmetro a do experimento 1 (6,7815 a 12,7638). Portanto, as estimativas do parâmetro a diferem entre os experimentos. Entretanto, quando ao menos uma das estimativas estiver dentro do IC da outra, conclui-se que o efeito é não significativo.

No modelo Gompertz, os parâmetros b e c para todos os caracteres das cultivares Crocanela e Rubinela diferiram entre os experimentos, entretanto o parâmetro a não diferiu para todos os caracteres (Tabela 6.2). Demonstrando que os valores assintóticos foram semelhantes para o modelo Gompertz nos experimentos 1 e 2. Para a cultivar Elisa as estimativas de a não diferiram para MSPA, b para a MFF e c para MFF e MSPA. Esses resultados indicam que, para essa cultivar, houve diferença das estimativas para a maioria dos caracteres entre os experimentos. Com comportamento semelhante a cultivar Vera não foi observada diferença para a estimativa de a dos caracteres MSF e a MSPA entre os experimentos. Entretanto, a estimativa de c diferiu em todos os caracteres.

Tabela 6.2 - Estimativa dos parâmetros a , b e c , limite inferior (LI) e limite superior (LS) do intervalo de confiança (IC_{95%}) do modelo Gompertz para caracteres em função da soma térmica acumulada (em °C), de cultivares de alface (Crocantela, Elisa, Rubinela e Vera) em dois experimentos, no verão.

Caractere ⁽¹⁾	Parâmetro	Estimativa	IC95%		Estimativa	IC95%		
			LI	LS		LI	LS	
			Experimento 1 (2017)				Experimento 2 (2018)	
			Crocantela					
MFF	a (ns)	438,7287	321,8372	555,6201	430,2458	396,7071	463,7844	
	b (*)	2,4843	1,7918	3,1767	3,4427	2,8767	4,0087	
	c (*)	0,0049	0,0030	0,0068	0,0088	0,0071	0,0104	
MSF	a (ns)	48,3299	-14,9854	111,6452	15,9358	14,5297	17,3419	
	b (*)	2,0264	1,6388	2,4140	4,3193	3,1469	5,4916	
	c (*)	0,0024	0,0006	0,0043	0,0114	0,0081	0,0146	
MFPA	a (ns)	633,0532	398,1544	867,9519	520,2344	471,9341	568,5346	
	b (*)	2,3414	1,7526	2,9302	3,2523	2,7376	3,7670	
	c (*)	0,0041	0,0024	0,0058	0,0079	0,0064	0,0094	
MSPA	a (ns)	78,7982	-54,6198	212,2162	19,3386	17,4252	21,2519	
	b (*)	2,0631	1,7567	2,3695	3,9167	2,9589	4,8744	
	c (*)	0,0022	0,0004	0,0039	0,0099	0,0073	0,0126	
			Elisa					
MFF	a (*)	189,8267	169,2710	210,3824	246,3796	218,6904	274,0688	
	b (ns)	3,9829	2,4777	5,4881	4,9636	2,8215	7,1057	
	c (ns)	0,0118	0,0072	0,0164	0,0138	0,0078	0,0198	
MSF	a (*)	9,7727	6,7815	12,7638	12,8593	11,3706	14,3481	
	b (*)	2,4512	1,2580	3,6445	4,8373	2,7640	6,9105	
	c (*)	0,0068	0,0027	0,0109	0,0133	0,0075	0,0191	
MFPA	a (*)	331,8495	283,8307	379,8682	398,2048	357,3304	439,0792	
	b (*)	3,0520	2,2861	3,8179	4,4345	3,1480	5,7210	
	c (ns)	0,0078	0,0055	0,0101	0,0111	0,0077	0,0145	
MSPA	a (ns)	13,9378	8,6212	19,2544	18,1818	16,0046	20,3591	
	b (*)	2,3928	1,3766	3,4091	4,3150	2,8277	5,8022	
	c (*)	0,0059	0,0024	0,0094	0,0110	0,0070	0,0151	
			Rubinela					
MFF	a (ns)	445,3831	239,4711	651,2950	375,8217	315,6485	435,9949	
	b (*)	1,9750	1,6710	2,2790	2,9572	2,4699	3,4445	
	c (*)	0,0030	0,0019	0,0042	0,0064	0,0050	0,0079	
MSF	a (ns)	116,6158	-197,1978	430,4294	12,2135	10,5005	13,9265	
	b (*)	1,9185	1,7085	2,1284	3,7739	2,6091	4,9387	
	c (*)	0,0013	0,0001	0,0025	0,0093	0,0061	0,0126	
MFPA	a (ns)	893,7786	242,2026	1545,3546	456,6015	378,0963	535,1067	
	b (*)	1,9622	1,7693	2,1551	2,8779	2,4501	3,3056	
	c (*)	0,0023	0,0013	0,0034	0,0060	0,0047	0,0073	
MSPA	a (ns)	292,0844	-810,4255	1394,5943	14,2627	12,0513	16,4740	
	b (*)	2,0311	1,7041	2,3581	3,5446	2,5326	4,5566	
	c (*)	0,0011	0,0000	0,0022	0,0085	0,0057	0,0114	

				Vera			
MFF	<i>a</i> (*)	552,1228	455,4119	648,8338	419,7867	340,6883	498,8851
	<i>b</i> (ns)	2,3437	2,0533	2,6341	3,0631	2,2768	3,8495
	<i>c</i> (*)	0,0041	0,0033	0,0050	0,0071	0,0048	0,0095
MSF	<i>a</i> (ns)	70,1660	5,3103	135,0216	15,6113	13,6369	17,5856
	<i>b</i> (*)	2,0277	1,8268	2,2286	3,9174	2,6691	5,1656
	<i>c</i> (*)	0,0022	0,0011	0,0033	0,0100	0,0065	0,0135
MFPA	<i>a</i> (*)	938,7057	677,8805	1199,5308	550,3337	430,7281	669,9392
	<i>b</i> (*)	2,2365	1,9889	2,4840	2,9640	2,2820	3,6459
	<i>c</i> (*)	0,0034	0,0026	0,0042	0,0065	0,0045	0,0085
MSPA	<i>a</i> (ns)	120,3277	-22,6593	263,3148	19,8621	16,9023	22,8220
	<i>b</i> (*)	2,0758	1,9218	2,2298	3,6867	2,5918	4,7816
	<i>c</i> (*)	0,0020	0,0009	0,0031	0,0089	0,0059	0,0120

⁽¹⁾ MFF: massa de matéria fresca folhas, em g planta⁻¹; MSF: massa de matéria seca de folhas, em g planta⁻¹; MFPA: massa fresca de parte aérea, em g planta⁻¹; e MSPA: massa seca de parte aérea, em g planta⁻¹. ⁽²⁾ Comparação das estimativas dos parâmetros (*a*, *b* e *c*) entre os experimentos: * Efeito significativo a 5% de probabilidade de erro. ^{ns} Não significativo.

Para o modelo Logístico o comportamento das estimativas dos parâmetros das cultivares Crocantela e Rubinela foram iguais, em que os valores assintóticos não diferiram para todos os caracteres. Comportamento oposto foi verificado para os parâmetros *b* e *c*, que diferiram entre os experimentos (Tabela 6.3). Os caracteres MSF, MFPA e MSPA da cultivar Elisa apresentaram diferenças para todos os parâmetros, sendo que no experimento 2 os valores assintóticos foram superiores ao do experimento 1, o que indica que as plantas apresentaram maior produção de massa de matéria fresca no experimento 2. Para a cultivar Vera todos os caracteres diferiram em relação aos parâmetros *a*, *b* e *c*. Deste modo, pode-se inferir que os modelos de crescimento apresentaram diferenças entre os experimentos 1 e 2, para ambos os modelos de crescimento.

Tabela 6.3 - Estimativa dos parâmetros a , b e c , limite inferior (LI) e limite superior (LS) do intervalo de confiança (IC_{95%}) do modelo Logístico para caracteres em função da soma térmica acumulada (em °C), de cultivares de alface (Crocantela, Elisa, Rubinela e Vera) em dois experimentos, no verão.

Caractere ⁽¹⁾	Parâmetro	Estimativa	IC95%		Estimativa	IC95%		
			LI	LS		LI	LS	
			Experimento 1(2017)				Experimento 2(2018)	
			Crocantela					
MFF	a (ns)	361,4624	312,2015	410,7232	391,4578	375,3193	407,5963	
	b (*)	-5,2352	-6,3805	-4,0899	-6,7770	-7,6323	-5,9217	
	c (*)	0,0097	0,0071	0,0124	0,0160	0,0138	0,0182	
MSF	a (ns)	22,2816	12,9211	31,6422	15,2970	14,3764	16,2177	
	b (*)	-4,9474	-5,9063	-3,9886	-7,5154	-9,2015	-5,8292	
	c (*)	0,0073	0,0048	0,0099	0,0182	0,0139	0,0226	
MFPA	a (ns)	476,9038	394,2911	559,5165	457,3523	436,4193	478,2853	
	b (*)	-5,1544	-6,1619	-4,1469	-6,6278	-7,4289	-5,8267	
	c (*)	0,0089	0,0066	0,0112	0,0152	0,0131	0,0172	
MSPA	a (ns)	29,2298	14,6145	43,8450	18,0644	16,9789	19,1500	
	b (*)	-5,1348	-6,0036	-4,2660	-7,1991	-8,6089	-5,7893	
	c (*)	0,0072	0,0047	0,0097	0,0169	0,0133	0,0205	
			Elisa					
MFF	a (*)	185,2778	169,8337	200,7219	244,3639	222,4487	266,2790	
	b (ns)	-6,6950	-8,7591	-4,6309	-8,1763	-11,2348	-5,1177	
	c (ns)	0,0179	0,0121	0,0238	0,0207	0,0128	0,0287	
MSF	a (*)	8,9630	7,2465	10,6795	12,6729	11,5186	13,8272	
	b (*)	-4,8269	-6,6855	-2,9683	-7,9188	-10,8457	-4,9919	
	c (*)	0,0119	0,0064	0,0173	0,0199	0,0123	0,0275	
MFPA	a (*)	300,6402	275,2325	326,0478	376,2930	353,6540	398,9319	
	b (*)	-5,9503	-7,0829	-4,8177	-8,4225	-10,4071	-6,4378	
	c (*)	0,0139	0,0109	0,0169	0,0195	0,0146	0,0244	
MSPA	a (*)	12,0021	9,5491	14,4550	17,3384	15,9877	18,6890	
	b (*)	-5,0590	-6,7237	-3,3943	-7,7846	-10,0156	-5,5535	
	c (*)	0,0115	0,0068	0,0161	0,0183	0,0127	0,0240	
			Rubinela					
MFF	a (ns)	290,3400	231,9672	348,7129	299,5631	280,2090	318,9172	
	b (*)	-4,5073	-5,1155	-3,8992	-6,5113	-7,2516	-5,7709	
	c (*)	0,0073	0,0057	0,0090	0,0138	0,0119	0,0157	
MSF	a (ns)	24,2729	5,4084	43,1373	11,2546	10,3438	12,1655	
	b (*)	-4,5282	-4,9548	-4,1016	-7,1432	-8,8810	-5,4055	
	c (*)	0,0055	0,0039	0,0071	0,0164	0,0120	0,0208	
MFPA	a (ns)	440,1027	318,3813	561,8241	349,3106	326,0222	372,5991	
	b (*)	-4,6709	-5,1383	-4,2035	-6,4519	-7,1002	-5,8036	
	c (*)	0,0068	0,0054	0,0082	0,0133	0,0117	0,0150	
MSPA	a (ns)	33,9705	1,7778	66,1632	12,8154	11,7420	13,8889	
	b (*)	-4,8280	-5,3390	-4,3170	-6,9138	-8,4208	-5,4068	
	c (*)	0,0055	0,0040	0,0070	0,0155	0,0117	0,0194	

				Vera			
MFF	<i>a</i> (*)	418,9802	382,8992	455,0612	355,1664	323,8265	386,5064
	<i>b</i> (*)	-5,1416	-5,6644	-4,6188	-6,5101	-7,7919	-5,2284
	<i>c</i> (*)	0,0090	0,0078	0,0102	0,0144	0,0111	0,0178
MSF	<i>a</i> (*)	29,6956	20,5754	38,8158	14,6730	13,5342	15,8117
	<i>b</i> (*)	-4,9483	-5,4720	-4,4246	-7,2819	-9,1636	-5,4002
	<i>c</i> (*)	0,0070	0,0055	0,0085	0,0171	0,0123	0,0219
MFPA	<i>a</i> (*)	612,9969	536,9193	689,0745	440,9334	399,6508	482,2160
	<i>b</i> (*)	-5,1509	-5,6253	-4,6766	-6,5082	-7,6124	-5,4040
	<i>c</i> (*)	0,0082	0,0070	0,0093	0,0139	0,0110	0,0167
MSPA	<i>a</i> (*)	40,0535	25,5274	54,5796	18,0346	16,5610	19,5082
	<i>b</i> (*)	-5,1771	-5,6506	-4,7036	-7,1899	-8,8487	-5,5310
	<i>c</i> (*)	0,0070	0,0055	0,0084	0,0162	0,0120	0,0204

⁽¹⁾ MFF: massa de matéria fresca folhas, em g planta⁻¹; MSF: massa de matéria seca de folhas, em g planta⁻¹; MFPA: massa fresca de parte aérea, em g planta⁻¹; e MSPA: massa seca de parte aérea, em g planta⁻¹. ⁽²⁾ Comparação das estimativas dos parâmetros (*a*, *b* e *c*) entre os experimentos. * Efeito significativo a 5% de probabilidade de erro. ^{ns} Não significativo.

Na comparação entre as cultivares em cada experimento, verificou-se que para o modelo Gompertz, no experimento 1, as cultivares Crocantela e Rubinela e Crocantela e Vera não diferiram para os caracteres MFF, MSF e MSPA, assim como Rubinela e Vera não diferiram para MSF e MSPA (Tabela 6.4). Desta forma, as estimativas não diferiram entre essas cultivares. No experimento 2, as cultivares Crocantela e Vera não diferiram para todos os caracteres, assim como Elisa e Rubinela para MSF, Rubinela e Vera para MFPA e Elisa e Vera para MSPA. Já para as demais comparações entre as cultivares, todos os caracteres diferiram, em ambos os experimentos, para pelo menos um dos parâmetros (*a*, *b* e *c*), foi significativo.

Crocantela	Vera	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Elisa	Rubinela	*	*	*	*	ns	ns	*	ns
Elisa	Vera	*	ns	*	ns	ns	ns	*	ns
Rubinela	Vera	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

⁽¹⁾MFF: massa de matéria fresca folhas; MSF: massa de matéria seca de folhas; MFPA: massa fresca de parte aérea; e MSPA: massa seca de parte aérea. ⁽²⁾ Comparação das estimativas dos parâmetros (*a*, *b* e *c*) entre os experimentos. * Estimativas diferem a 5% de significância. ^{ns} Não significativo.

As estimativas dos parâmetros do modelo Logístico, no experimento 1, não diferiram para a MSF, MFPA e MSPA das cultivares Crocantela e Rubinela, MSF e MSPA das cultivares Crocantela e Vera e Rubinela e Vera (Tabela 6.4). Já no experimento 2, as estimativas não diferiram para MSF, MFPA e MSPA das cultivares Crocantela e Vera, de mesmo modo que para a MSPA de Crocantela e Elisa e Elisa e Vera. As demais comparações diferiram em pelo menos um dos três parâmetros do modelo Logístico. Verificou-se a predominância de diferenças para os modelos Gompertz e Logístico, indicando que são necessários modelos específicos por caractere e cultivar.

Para definir o modelo que se ajusta aos dados originais são utilizados os indicadores de qualidade do ajuste. Deste modo, os modelos Logístico e Gompertz apresentaram valores aceitáveis de qualidade de ajuste (altos valores de R²; baixos valores de AIC e intermediários para o DPR) e próximos entre si (Tabelas 6.5 e 6.6). Valores elevados para coeficiente de determinação também foram verificados por Lyra *et al.* (2003), entretanto outros avaliadores da qualidade do ajuste não foram utilizados, tornando o estudo limitado.

Tabela 6.5 - Coeficiente de determinação ajustado (R^2 aj), critério de informação de Akaike (AIC), desvio padrão residual (DPR), não linearidade do efeito do parâmetro (PE), não linearidade intrínseca (IN), ponto de inflexão (PI), ponto de aceleração máxima (PAM) e ponto de desaceleração máxima (PDM) do modelo Gompertz para caracteres⁽¹⁾ em função da soma térmica acumulada (em °C) de cultivares de alface (Crocantela, Elisa, Rubinela e Vera) em dois experimentos.

Estatística	MFF	MSF	MFFPA	MSPA	MFF	MSF	MFFPA	MSPA	
Experimento 1				Experimento 2					
Crocantela									
R ² aj	0,886	0,844	0,898	0,861	0,970	0,919	0,973	0,938	
AIC	7,652	1,723	7,909	1,921	6,631	1,225	6,779	1,233	
DPR	44,198	2,280	50,256	2,517	26,662	1,789	28,671	1,795	
PE	3,096	31,317	4,986	50,083	0,816	0,815	1,050	1,011	
IN	0,248	0,232	0,232	0,228	0,137	0,203	0,133	0,186	
PI	x	510,312	837,373	573,585	959,388	392,636	379,750	410,373	394,967
	y	161,399	17,780	232,887	28,988	158,279	5,862	191,384	7,114
PAM	x	312,612	439,665	337,818	511,833	282,873	295,134	288,935	297,914
	y	32,004	3,525	46,179	5,748	31,385	1,162	37,949	1,411
PDM	x	708,012	1235,081	809,353	1406,943	502,398	464,367	531,811	492,020
	y	299,440	32,986	432,070	53,781	293,651	10,876	355,069	13,199
Elisa									
R ² aj	0,855	0,715	0,930	0,715	0,802	0,806	0,923	0,885	
AIC	6,639	1,146	6,650	1,346	7,846	1,887	7,583	1,855	
DPR	29,968	1,920	30,115	1,920	48,815	2,482	42,941	2,445	
PE	1,005	3,121	1,485	3,121	0,899	0,950	1,060	1,178	
IN	0,347	0,372	0,217	0,372	0,316	0,317	0,230	0,263	
PI	x	337,415	360,211	393,322	405,887	359,530	364,038	400,401	391,432
	y	69,833	3,595	122,081	5,127	90,638	4,731	146,491	6,689
PAM	x	255,881	218,783	269,290	242,636	289,818	291,609	313,502	304,126
	y	13,847	0,713	24,207	1,017	17,972	0,938	29,048	1,326
PDM	x	418,948	501,640	517,354	569,138	429,242	436,468	487,299	478,739
	y	129,560	6,670	226,493	9,513	168,159	8,777	271,782	12,409
Rubinela									
R ² aj	0,928	0,945	0,905	0,919	0,973	0,908	0,978	0,922	
AIC	6,253	0,333	6,430	0,481	5,806	0,686	5,845	0,722	
DPR	21,970	1,138	24,006	1,225	17,638	1,365	17,979	1,388	
PE	7,767	143,054	17,430	280,636	2,176	1,504	2,499	1,762	
IN	0,137	0,117	0,102	0,099	0,140	0,236	0,128	0,223	
PI	x	653,425	1438,232	835,691	1804,191	459,352	404,081	478,396	415,986
	y	163,847	42,901	328,803	107,452	138,257	4,493	167,974	5,247
PAM	x	335,010	716,726	425,800	949,293	309,855	301,032	318,409	303,038
	y	32,489	8,507	65,198	21,306	27,415	0,891	33,307	1,040
PDM	x	971,840	2159,739	1245,581	2659,088	608,849	507,131	638,383	528,933
	y	303,982	79,592	610,020	199,353	256,505	8,336	311,639	9,735
Vera									
R ² aj	0,973	0,940	0,975	0,948	0,934	0,898	0,949	0,918	

AIC		6,257	1,064	6,702	1,299	7,171	1,366	7,271	1,498
DPR		22,012	1,640	27,491	1,845	34,778	1,913	36,567	2,044
PE		2,314	24,883	4,615	39,825	2,294	1,277	2,918	1,664
IN		0,114	0,136	0,110	0,135	0,220	0,243	0,196	0,227
PI	x	565,735	904,460	664,754	1037,431	428,580	392,177	455,956	412,889
	y	203,115	25,813	345,331	44,266	154,431	5,743	202,456	7,307
PAM	x	333,420	475,166	378,689	556,436	293,922	295,826	307,903	305,104
	y	40,275	5,118	68,475	8,777	30,622	1,139	40,145	1,449
PDM	x	798,050	1333,755	950,819	1518,427	563,238	488,527	604,008	520,674
	y	376,834	47,890	640,684	82,126	286,512	10,655	375,613	13,556

⁽¹⁾ MFF: massa de matéria fresca folhas, em g planta⁻¹; MSF: massa de matéria seca de folhas, em g planta⁻¹; MFPA: massa fresca de parte aérea, em g planta⁻¹; e MSPA: massa seca de parte aérea, em g planta⁻¹.

Tabela 6.6 - Coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), critério de informação de Akaike (AIC), desvio padrão residual (DPR), não linearidade do efeito do parâmetro (PE), não linearidade intrínseca (IN), ponto de inflexão (PI), ponto de aceleração máxima (PAM) e ponto de desaceleração máxima (PDM) do modelo Logístico para caracteres⁽¹⁾ em função da soma térmica acumulada (em °C) de cultivares de alface (Crocantela, Elisa, Rubinela e Vera) em dois experimentos.

Estatística		MFF	MSF	MFPA	MSPA	MFF	MSF	MFPA	MSPA
		Experimento 1				Experimento 2			
		Crocantela							
R^2_{aj}		0,884	0,844	0,896	0,861	0,974	0,927	0,976	0,944
AIC		7,668	1,727	7,933	1,926	6,488	1,139	6,674	1,147
DPR		44,576	2,285	50,907	2,525	24,712	1,705	27,115	1,711
PE		1,140	4,479	1,520	5,838	0,355	0,468	0,426	0,529
IN		0,169	0,173	0,154	0,166	0,101	0,175	0,098	0,157
PI	x	537,368	674,108	579,890	712,798	423,085	412,157	436,856	426,523
	y	180,731	11,141	238,452	14,615	195,729	7,649	228,676	9,032
PAM	x	402,188	494,667	431,726	529,982	340,868	339,933	350,051	348,498
	y	76,386	4,709	100,782	6,177	82,725	3,233	96,650	3,817
PDM	x	672,548	853,549	728,054	895,615	505,303	484,382	523,661	504,547
	y	285,076	17,573	376,122	23,053	308,733	12,064	360,702	14,247
		Elisa							
R^2_{aj}		0,864	0,722	0,934	0,784	0,814	0,817	0,935	0,895
AIC		6,579	1,121	6,589	1,308	7,786	1,836	7,412	1,770
DPR		29,039	1,895	29,195	2,081	47,308	2,415	39,349	2,338
PE		0,666	1,558	0,677	1,705	0,593	0,620	0,560	0,675
IN		0,243	0,275	0,147	0,241	0,275	0,276	0,193	0,230
PI	x	373,847	405,774	429,476	441,149	394,710	397,842	431,857	424,509
	y	92,639	4,482	150,320	6,001	122,182	6,336	188,146	8,669
PAM	x	300,309	295,063	334,422	326,310	331,133	331,678	364,331	352,692
	y	39,154	1,894	63,533	2,536	51,640	2,678	79,520	3,664
PDM	x	447,386	516,485	524,530	555,989	458,286	464,007	499,383	496,326
	y	146,124	7,069	237,107	9,466	192,724	9,995	296,773	13,674
		Rubinela							
R^2_{aj}		0,924	0,903	0,941	1,530	0,977	0,916	0,981	0,929
AIC		6,303	0,352	6,487	0,498	5,643	0,601	5,694	0,639

DPR		22,542	1,150	24,732	1,237	16,199	1,303	16,613	1,327
PE		1,954	13,526	3,135	19,553	0,665	0,755	0,696	0,816
IN		0,108	0,101	0,093	0,096	0,091	0,197	0,081	0,176
PI	x	613,956	828,298	688,861	882,761	471,953	435,302	483,970	445,222
	y	145,170	12,136	220,051	16,985	149,782	5,627	174,655	6,408
PAM	x	434,570	587,400	494,637	641,966	376,497	355,047	385,182	360,414
	y	61,356	5,129	93,005	7,179	63,305	2,378	73,818	2,708
PDM	x	793,342	1069,197	883,086	1123,557	567,410	515,556	582,758	530,029
	y	228,984	19,143	347,098	26,792	236,258	8,876	275,493	10,107
Vera									
R ² aj		0,970	0,938	0,971	0,946	0,937	0,907	0,951	0,925
AIC		6,375	1,096	6,838	1,332	7,120	1,280	7,222	1,407
DPR		23,421	1,668	29,548	1,877	33,880	1,829	35,650	1,948
PE		0,750	3,548	1,180	4,631	0,866	0,680	0,959	0,796
IN		0,080	0,102	0,076	0,098	0,159	0,208	0,136	0,187
PI	x	573,692	704,507	629,627	743,069	450,795	425,772	469,360	443,158
	y	209,490	14,848	306,498	20,027	177,583	7,336	220,467	9,017
PAM	x	426,748	517,007	468,647	554,045	359,602	348,770	374,384	361,985
	y	88,541	6,275	129,541	8,464	75,055	3,101	93,180	3,811
PDM	x	720,637	892,007	790,606	932,093	541,989	502,774	564,336	524,331
	y	330,439	23,420	483,455	31,589	280,111	11,572	347,753	14,223

⁽¹⁾ MFF: massa de matéria fresca folhas, em g planta⁻¹; MSF: massa de matéria seca de folhas, em g planta⁻¹; MFPA: massa fresca de parte aérea, em g planta⁻¹; e MSPA: massa seca de parte aérea, em g planta⁻¹.

Embora os modelos tenham apresentado qualidade satisfatória, para MFPA e MSPA da cultivar Rubinela, no experimento 1, o modelo Gompertz superestimou o parâmetro a com valores de 116,6158 para a MSF e 292,0844 para a MSPA (Tabela 6.3), ou seja, essas estimativas foram excessivamente superiores aos valores máximos observados no conjunto de dados, que foram 13,92 g planta⁻¹ de MSF e 16,50 g planta⁻¹ de MSPA. Casos de superestimação em menor magnitude foi verificado para o modelo Logístico, para Rubinela, no experimento 1, com valor assintótico de 440,1027 para MFPA e o valor máximo observado no conjunto de dados, que foi de 368,30 g planta⁻¹. Assim, casos de superestimação em maior magnitude foram verificados com maior frequência para os parâmetros do modelo Gompertz, como nas cultivares Crocanela (MSF e MSPA) e Vera (MSF e MSPA), no experimento 1. A tendência de superestimação no modelo Gompertz também foram observadas na modelagem da produção de cana-de-açúcar no período de formação (Batista *et al.*, 2013).

Para auxiliar na indicação do modelo são utilizadas a não linearidade intrínseca (IN) e a não linearidade do efeito do parâmetro (PE). Verificou-se que o modelo Logístico apresentou menores valores de IN e PE em relação ao modelo Gompertz, para todos os caracteres, cultivares e experimentos (Tabelas 6.5 e 6.6). Os menores valores de IN e PE, indicam melhor adequabilidade do modelo Logístico. Destaca-se ainda, que os valores elevados de PE do modelo Gompertz para a cultivar Rubinela (experimento 1) em relação a MSF (143,054) e a MSPA (280,636) estão associados a superestimação dos parâmetros. Esses critérios também foram adotados para indicar o modelo mais adequado para descrever a produção de morangueiro (Diel *et al.*, 2018).

Considerando os cinco indicadores de qualidade (R^2 , AIC, DPR, IN e PE), pode-se inferir que o modelo Logístico apresentou comportamento adequado, para as cultivares Crocantela, Elisa, Rubinela e Vera, para todos os caracteres e experimentos, sendo o mais indicado para a descrição do crescimento de cultivares de alface. A cultivar Crocantela, no experimento dois, foi utilizada para exemplificar o formato da curva de crescimento do modelo Logístico, respectivos pontos críticos, para cada caractere (Figura 1).

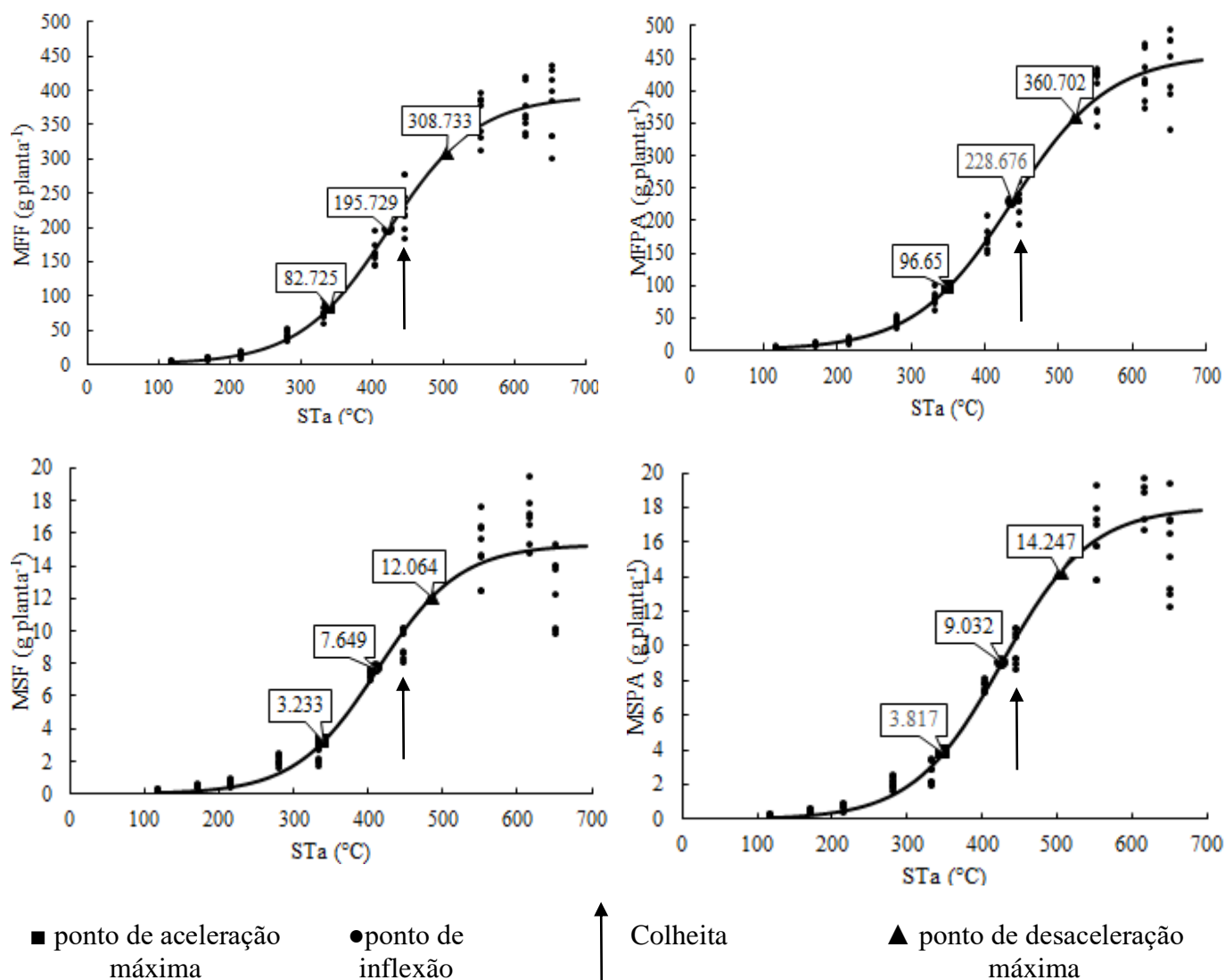


Figura 6.1- Gráfico do modelo Logístico para massa de matéria fresca de folhas (MFF, em g planta⁻¹), massa de matéria seca de folhas (MSF, em g planta⁻¹), massa de matéria fresca de parte aérea (MFPA, em g planta⁻¹) e massa de matéria seca de parte aérea (MSPA, em g planta⁻¹) em função da soma térmica acumulada (STa, em °C), para a cultivar Crocanta, no experimento 2.

Os pontos críticos são utilizados para descrever o crescimento da cultura (Tabelas 6.5 e 6.6).

Para o modelo Logístico, no experimento 2, observou-se que o ponto de inflexão (PI) coincidiu com a fase em que a planta estava próxima ao seu ponto de colheita (Figura 6.1), em decorrência do aparecimento das folhas basais senescentes, que na prática é um dos critérios utilizados para classificar o produto comercialmente. Também, verificou-se que o ponto de aceleração máxima ocorreu no início da curva, no experimento 2, quando as plantas apresentavam folhas ainda jovens e porte reduzido. De maneira geral, verificou-se que entre as cultivares, a cultivar Elisa atingiu o PI com menor STa, independentemente do experimento. No entanto, Rubinela necessitou de um maior

acúmulo de soma térmica e, também, apresentou menores valores para os caracteres que as cultivares Vera (experimento 1) e Crocantela (experimento 2). Assim, as cultivares Vera e Crocantela conseguiram utilizar de forma eficiente a soma térmica acumulada. Os pontos de desaceleração máxima (PDM), remetem a fase final do desenvolvimento das cultivares, em que as plantas de alface se encontram próximas ao início do florescimento. Logo, o ponto de inflexão é uma alternativa para futuras projeções relacionadas ao planejamento da cultura.

Para auxiliar na escolha de cultivares de alface promissoras, nesse estudo o modelo Logístico foi o que melhor descreveu o crescimento de plantas de alface. Soma-se a isso, a indicação do modelo Logístico para descrever a curva de crescimento de frutos de morangueiro (Diel et al., 2018) e tomateiro tipo salada (Sari et al., 2019).

A simulação e predição (parâmetros a , b e c), pode ser utilizada na pesquisa ou produção das cultivares Crocantela, Elisa, Rubinela e Vera, em condições de verão. Entretanto, é aconselhado utilizar a soma térmica do local de cultivo, para que as condições sejam próximas as reais. Portanto, esses modelos são referência para novas pesquisas e os valores obtidos devem manter o padrão da curva de crescimento.

CONCLUSÕES

O modelo de crescimento Logístico apresentou ajuste satisfatório para as massas de matéria fresca e seca de folhas e para as massas de matéria fresca e seca de parte aérea para as cultivares de alface Crocantela, Elisa, Rubinela e Vera, no Verão, sendo o indicado para descrever o crescimento das cultivares de alface.

REFERÊNCIAS

- Alvares, C.A., J.L. Stape, P.C. Sentelhas, J.L.M. Gonçalves, and G. Sparovek. 2013 Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*. 22, 711-728. Doi: 10.1127/0941-2948/2013/0507
- Archontoulis, S.V. and F.E. Miguez. 2015. Nonlinear Regression Models and Applications in Agricultural Research. *Agronomy Journal*. 107, 786-798. Doi: 10.2134/agronj2012.0506
- Arnold, C.T. 1959. The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*. 74, 430-455.
- Bates, D.M. and D.G. Watts. 1998. *Nonlinear regression analysis and its applications*. New York , John Wiley & Sons.
- Batista, E.L.S., S. Zolnier, A. Ribeiro, G.B. Lyra, T. G.F. Silva, and D. Boehringer. 2013 Modelagem do crescimento de cultivares de cana-de-açúcar no período de formação da cultura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 17, 1080-1087. Doi: 10.1590/S1415-43662013001000009
- Bem, C.M., A. Cargnelutti Filho, G . Facco, D.E. Schabarum, D.L. Silveira, , F.M. Simões, and D.B. Uliana. 2017. Growth models for morphological traits of sunn hemp. *Semina: Ciências Agrárias*, 38, 2933-2944. Doi: 10.5433/1679-0359.2017v38n5p2933
- Brunini, O. 1976 Temperatura-base para alface cultivar "white boston", em um sistema de unidades térmicas. *Bragantia*, 35: 213-219. Doi: 10.1590/S0006-87051976000100019
- Diel, M.I., B.G. Sari, D.K. Krysczun, T. Olivoto, M.V.M. Pinheiro, D. Meira, D. Schmidt, and A.D. Lúcio. 2018. Nonlinear regression for description of strawberry (*Fragaria x ananassa*) production. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 1-15. Doi: 10.1080/14620316.2018.1472045
- Gilmore, E.C. and J.S. Rogers. 1958. Heat units as a method of measuring maturity in corn. *Agronomy Journal*, 50, 611-615. Doi:10.2134/agronj1958.00021962005000100014x
- Lyra, G.B, S. Zolnier, L.C. Costa, G.C. Sedyama and M.A.N. Sedyama. 2003. Modelos de crescimento para alface (*Lactuca sativa* L.) cultivada em sistema hidropônico sob condições de casa-de-vegetação. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 11, 69-77.

- Maynard, D.N. and G. J. Hochmuth. 2007. *Knott's handbook or vegetable growers*. 5th ed. Editora John Wiley e Sons. 621p.
- Mischan, M.M., and S.Z. Pinho. 2014 *Modelos não lineares: funções assintóticas de crescimento*. São Paulo, Cultura Acadêmica.
- Muniz J.A, M. S. Nascimento, and T.J Fernandes. 2017. Nonlinear models for description of cacao fruit growth with assumption violations. *Revista Caatinga*, 30, 250-257. Doi: 10.1590/1983-21252017v30n128rc
- Ntsoane L.L.M., P. Soundy, J. Jifon, and D. Sivakumar. 2016. Variety-specific responses of lettuce grown under the different coloured shade nets on phytochemical quality after postharvest storage. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 91, 520-528. Doi: 10.1080/14620316.2016.1178080
- Prado, T.K.L., T.V. Savian, J. A. Muniz. 2013. Ajuste dos modelos Gompertz e Logístico aos dados de crescimento de frutos de coqueiro anão verde. *Ciência Rural*, 43, 803-809. Doi: 10.1590/S0103-84782013005000044.
- Pereira, A.A., A.R. Morais, , M.S. Scalco, and T.J. Fernandes. 2014. Descrição do crescimento vegetativo do cafeeiro cultivar Rubi MG 1192, utilizando modelos de regressão. *Coffee Science*. 9, 266-274. Doi: 10.25186/cs.v9i2.632
- R Development Core Team. 2017. R: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing.
- Sala C.F. and C.P Costa. 2012. Retrospectiva e tendência da alfacicultura brasileira. *Horticultura Brasileira*, 30, 187-194. Doi: 10.1590/S0102-05362012000200002
- Sari, B.G., A.D. Lúcio, C.S. Santana, and T. V. Savian. 2019. Describing tomato plant production using growth models. *Scientia Horticulturae*, 246, 146-154. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.10.044>

CAPÍTULO 7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo mostra que a avaliação do desempenho agrônômico é relevante para identificar as cultivares promissoras. Conjuntamente o ajuste dos modelos Gompertz e Logístico possibilitam identificar pontos importantes da curva de crescimento para a cultura. Com esta pesquisa, foi possível observar e caracterizar o crescimento de nove cultivares de alface em três estações. Sendo que, as cultivares que apresentam maior produção de massa foram: Gloriosa (na estação outono-inverno), Grandes Lagos e Gloriosa (na estação primavera) e Crocantela e Vera (na estação verão), sendo as mais indicadas para o cultivo nessas estações.

A malha de sombreamento apesar de seus inúmeros benefícios para as culturas hortícolas, neste estudo, com o ambiente protegido do tipo abrigo não melhorou o desempenho das cultivares durante as estações primavera e verão.

Os modelos de crescimento apresentam diferença entre os experimentos (anos) e entre as cultivares, para as estações avaliadas. Deste modo, são necessários modelos distintos para cada cultivar.

Os modelos de crescimento Logístico e Gompertz apresentam ajuste satisfatório para as massas de matéria fresca e seca de folhas e para as massas de matéria fresca e seca de parte aérea para as cultivares de alface Gloriosa, Pira Verde e Stella, no outono-inverno, Ceres, Gloriosa, Grandes Lagos e Rubinela, na primavera e Crocantela, Elisa, Rubinela e Vera, no verão. Entretanto, o modelo Logístico é o mais indicado para descrever o crescimento de cultivares de alface independentemente da estação de cultivo.

Contudo, futuras pesquisas utilizando a modelagem do crescimento de cultivares de alface poderão ser realizadas. Como sugestão, utilizar diferentes sistemas de cultivo, soluções nutritivas, cultivares com maior valor agregado, épocas dentro de cada estação e locais distintos. Portanto, os estudos com a cultura da alface são relevantes, visto que o conhecimento do seu comportamento em outras regiões venha a contribuir para o avanço das pesquisas com a cultura.

REFERÊNCIAS

ABCSEM- – Associação Brasileira de Sementes e Mudanças. **O Mercado de Folhosas: Números e Tendências.** Disponível em: <https://www.abcsem.com.br/upload/arquivos/O_mercado_de_folhosas__Numeros_e_Tendencias_-_Steven.pdf> Acesso em: 08 de abr 2019.

ABU-REIDAH, I. M. et al. Reversed-phase ultra-high-performance liquid chromatography coupled to electrospray ionization-quadrupole-time-of-flight mass spectrometry as a powerful tool for metabolic profiling of vegetables: *Lactuca sativa* as an example of its application. **Journal of Chromatography A.** v. 1313, p. 212–227, 2013.

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift.** v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

AMARANTE, C. V. T.; et al. Disponibilidade de luz em macieiras 'Fuji' cobertas com telas antigranizo e seus efeitos sobre a fotossíntese, o rendimento e a qualidade dos frutos. **Revista Brasileira de Fruticultura.** v. 31, n. 3, p. 664-670, 2009.

AMBRÓZY, Z. S. Effect of net shading technology and harvest times on yield and fruit quality of sweet pepper. **Applied Ecology and Environmental Research.** v.14, p.99-109, 2016.

ANDRIOLO, J. L. **Olericultura Geral.** 3 ed. Santa Maria: UFSM, 2017. 93 p.

ARCHONTOULIS, S. V.; MIGUEZ, F. E. Nonlinear Regression Models and Applications in Agricultural Research. **Agronomy Journal.** v. 107, p. 786-798, 2015.

ARNOLD, C. T. The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science.**v. 74, p. 430-455, 1959.

ARTHURS, S.P.; STAMPS, R.H.; GIGLIA, F.F. Environmental modification inside photo-selective shade houses. **Horti Science.** v. 48, p. 975-979, 2013.

BASILE, B. Use of photo-selective nets for hail protection of kiwifruit vines in southern Italy. **Acta Horticulturae.** v.770, p.185-192, 2008.

BATES, D. M.; WATTS, D. G. **Nonlinear regression analysis and its applications.** New York: John Wiley & Sons, 1998. 384 p.

BATISTA, E. L. S. et al. Modelagem do crescimento de cultivares de cana-de-açúcar no período de formação da cultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** v. 17, p. 1080-1087, 2013.

BEM, C. M. et al. Growth models for morphological traits of sunn hemp. **Semina: Ciências Agrárias.** v. 38, p. 2933-2944, 2017.

BEM, C. M. et al. Gompertz and Logistic Models to the Productive Traits of Sunn Hemp. **Journal of Agricultural Science.** v. 10, p. 225-238, 2018.

BERNARDON, T.; CALGARO, M. Modelo de Simulação do Crescimento de Plantas. **Ambiência**. v. 3, n. 2, p. 293-294, 2007.

BERTALANFFY, L. V. quantitative laws in metabolism and growth. **The Quarterly Review of Biology**. v. 32, n. 3, 1957.

BLAT, S. F. et al. Desempenho de cultivares de alface crespa em dois ambientes de cultivo em sistema hidropônico. **Horticultura Brasileira**. v. 29, n. 1, p. 135-138, 2011.

BLIND, A. D.; SILVA FILHO, D. F. Desempenho produtivo de cultivares de alface americana na estação seca da Amazônia central. **Bioscience Journal**. v. 31, n. 2, p. 404-414, 2015.

BRITO, C. C. R. et al. Modelos de crescimento resultantes da combinação e variações dos modelos de chapman-richards e silva-bailey aplicados em *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. **Ciência Florestal**, v. 17, n. 2, p. 175-185, 2007.

BRODY, S. **Bioenergetics and growth**. New York: Rheinhold, 1945. 645p.

BRUNINI, O. Temperatura-base para alface cultivar "white boston", em um sistema de unidades térmicas. **Bragantia**, v. 35, p. 213-219, 1976.

BUNNING, M. et al. Effects of seasonal variation on sensory properties and total phenolic content of 5 lettuce cultivars. **Journal of Food Science**.v.75, p.156-161, 2010.

BURNHAM, K. P.; ANDERSON, D. R. Multimodel inference: understanding aic and bic in model selection. **Sociological Methods and Research**, Beverly Hills, v.33, n.2, p.261-304, 2004.

CEAGESP. Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo (2016) Disponível em: <http://www.ceagesp.gov.br/produtos/alface-crespa/>. Acesso em: jul 2018.

CEAGESP. Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo. 2017 <http://www.ceagesp.gov.br/guia-ceagesp/alface-crespa/>; Acesso em: nov 2018.

CRAKER, L. E.; SEIBERT, M. Light and the development of Grand Rapids lettuce. **Canadian Journal of Plant Science**. v. 63, p. 277–281, 1983.

DIAMANTE, M.S. et al. Produção e resistência ao pendoamento de alfaces tipo lisa cultivada sob diferentes ambientes. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1: 133-140. 2013.

DÍAZ-PÉREZ, J. C. Bell pepper (*Capsicum annuum* L.) crop as affected by shade level: fruit yield, quality, and postharvest attributes, and incidence of phytophthora blight (caused by *Phytophthora capsici* Leon.). **HortScience**. v. 49, p. 891-900, 2014.

DIEL, M. I. et al. Nonlinear regression for description of strawberry (*Fragaria x ananassa*) production. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, p. 1-15, 2018.

DOMINGUES, D. S. et al. Automated system developed to control pH and concentration of nutrient solution evaluated in hydroponic lettuce production. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 84, p. 53-61, 2012.

DRAPER, N. R.; SMITH, H. Applied regression analysis. 3 ed. New York: J. Wiley, 1998. 706 p.

DUFAULT, R. J.; WARD, B.; HASSELL, R. L. Dynamic relationships between field temperatures and romaine lettuce yield and head quality. **Scientia Horticulturae**. v. 120, p. 452-459, 2009.

FAO. **Good Agricultural Practices for Greenhouse Vegetable Crops: Principles for Mediterranean Climate Areas**. ITA: Rome, 2013.

FERNANDES, T. J. **Curva de crescimento do fruto do cafeeiro em diferentes alinhamentos de plantio utilizando modelos não lineares**. 2012. 80 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2012.

FERNANDES, T. J. et al. Seleção de modelos não lineares para a descrição das curvas de crescimento do fruto do cafeeiro. **Coffee Science**. v. 9, p. 207-215, 2014

FERREIRA, D.F. Sisvar: a guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**. v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo Manual de Olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 2 ed. Editora UFV: Lavras, 2008, 421p.

FU, W.; LI, P.; WU, Y. Effects of different light intensities on chlorophyll fluorescence characteristics and yield in lettuce. **Scientia Horticulturae**, v. 135, p. 45-51, 2012.

FUKUDA, M. et al. Isolation and functional characterization of the flowering locus T homolog, the LsFT gene, in lettuce. **Journal of Plant Physiology**. v. 168, p. 1602-1607, 2011.

FURLANI, P. R. et al. Produção em substrato e hidroponia. In. ALVARENGA, M. A. R. (Coord.) Tomate: produção em campo, em casa-de-vegetação e em hidroponia. 2. ed. Lavras: UFLA, 2013. cap. 9, p. 245-274.

GILMORE, E. C.; ROGERS, J. S. Heat units as a method of measuring maturity in corn. **Agronomy Journal**. v. 50, p. 611-615, 1958.

GOREN, A. et al. Photosensitive shade nets reduce postharvest decay development in pepper fruits. **Advances in Horticultural Science**. v. 25, p. 26-31, 2011.

HELDWEIN, A.B.; BURIOL, G.A.; STRECK, N.A. O clima de Santa Maria. **Ciência e Ambiente**. v. 38, p. 43-58, 2009.

HENRIQUE, P. C. et al. Aspectos fisiológicos do desenvolvimento de mudas de café cultivadas sob telas de diferentes colorações. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 46, n. 5, p. 458-465, 2011.

ILIĆ, Z. S.; FALLIK, E. Light quality manipulation improve vegetables quality at harvest and postharvest. A review. **Environmental and Experimental Botany**. v. 139, p. 79-90, 2017.

ILIĆ, S. Z. et al. Light modification by color nets improve quality of lettuce from summer production. **Scientia Horticulturae**. v. 226, p. 389-397, 2017.

JENNI, S.; YAN, W. Genotype by environment interactions of heat stress disorder resistance in crisphead lettuce. **Plant Breeding**. v. 128, p. 374-380, 2009.

KIM, H. J. et al. Automated sensing of hydroponic macronutrients using a computer-controlled system with an array of ion-selective electrodes. **Computers and Electronics in Agriculture**. v. 93, p. 46-54, 2013.

KITTA, E. et al. Effects of cover optical properties on screenhouse radiative environment and sweet pepper productivity. **Biosystems Engineering**. v. 122, p. 115-126, 2014.

KONG, Y. Pearl netting affects postharvest fruit quality in “Vergasa” sweet pepper via light environment manipulation. **Scientia Horticulturae**. v. 150, p. 290-298, 2013.

KOSMA, C. et al. Yield and nutritional quality of greenhouse lettuce as affected by shading and cultivation season. Emirates **Journal of Food and Agriculture**. v. 25, p. 974-979, 2013

KUINCHTNER, A.; BURIOL, G. A. The climate of Rio Grande do Sul state according to kóppen and thornthwaite classification. **Disciplinarum Scientia: Ciências Exatas**, v. 2, p. 171-182, 2001.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RIMA, 2000. 531p.

LEBEDA, A. et al. Wild *Lactuca* germplasm for lettuce breeding: current status, gaps and challenges. **Euphytica**, v. 170, p. 15-34, 2009.

LEDÓNÉ, H. D. Influence of colour net shading on quantity and quality of sweet pepper yield. **Review of Rural Development Instruments**. v. 3, p. 429-434, 2014.

LOPES, S. J. et al. Models to estimate phytomass accumulation of hydroponic lettuce. **Scient. Agricola**, v. 61, p. 392-400, 2004.

LÓPEZ-MARÍN, J.; GONZÁLEZ, A.; GÁLVEZ, A. Effect of shade on quality of greenhouse peppers. **Acta Horticulturae** v. 893, p. 895-900, 2011.

LÚCIO, A. D.; NUNES, L. F.; REGO, F. Nonlinear models to describe production of fruit in *Cucurbita pepo* and *Capiscum annum*. **Scientia Horticulturae**. v. 193, p. 286-293, 2015.

LÚCIO, A. D. et al. Modelos não-lineares para a estimativa da produção de tomate do tipo cereja. **Ciência Rural**. v. 46, p. 233-241, 2016.

LÚCIO, A. D; SARI, B. G. Planning and implementing experiments and analyzing experimental data in vegetable crops: problems and solutions. **Horticultura Brasileira**, v. 35, n. 3, p. 36-327, 2017.

- LI, Q.; KUBOTA, C. Effects of supplemental light quality on growth and phytochemicals of baby leaf lettuce. **Environmental and Experimental Botany**. v. 67, p. 59-64, 2009.
- 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**, v. 11, n. 69-77, 2003.
- LYRA, G. B. et al. Modelo de crescimento logístico e exponencial para o milho br 106, em três épocas de plantio. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 7, p. 221-230, 2008.
- MACEDO, C. S. **Ajuste de modelos de crescimento da alface (*Lactuca sativa* L.) cultivada em sistema hidropônico e estimativa da variação da condutividade elétrica da solução nutritiva**. 2004. 72 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil.
- MAGALHÃES, A. G. **Caracterização de genótipos de alface (*Lactuca sativa*) em cultivo hidropônico sob diferentes valores de condutividade elétrica da solução nutritiva**. 2006. 96 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, 2006.
- MAGALHÃES, A. G, et al. Desempenho de cultivares de alface em cultivo hidropônico sob dois níveis de condutividade elétrica. **Horticultura Brasileira**, v. 28, p. 316-320, 2010.
- MAIA, E. et al. Métodos de comparação de modelos de regressão não-lineares em bananeiras. **Ciência Rural**, v. 39, n. 5, p. 1380-1386, 2009.
- MARTINS, C. et al. How Can Research on Plants Contribute to Promoting Human Health? **The Plant Cell**, 23, 1685-1699, 2011
- MASHABELA, M. N. et al. Bioactive compounds and fruit quality of green sweet pepper grown under different colored shade netting during postharvest storage. **Journal of Food Science**. v. 16, p. 2612-2618, 2015.
- MAYNARD, D.N.; HOCHMUTH, G.J. **Knott's handbook or vegetable growers**. 5 ed. New York: John Wiley e Sons. 2007. 621p.
- MENDES, P. N. **Ajuste dos modelos Gompertz e logístico na descrição das curvas de crescimento de tomates: uma abordagem bayesiana**. 2011. 82 p. Tese (Doutorado em Experimentação Agropecuária) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2011.
- MISCHAN M. M; PINHO, S. Z. **Modelos não lineares: funções assintóticas de crescimento**. São Paulo: Cultura Acadêmica. 2014. 184 p.
- MILENKOVIĆ, L. Yield and pepper quality as affected by light intensity using color shade nets. **Agriculture & Forestry**. v. 58, p. 19-23, 2012.
- MORAIS, P. L. D. et al. Qualidade pós-colheita da alface hidropônica em ambiente protegido sob malhas termorefletoras e negra. **Ceres**. v. 58, n. 5, p. 638-644, 2011.

- MORENO-RESÉNDEZ, A. Development of ‘Serrano’ pepper in vermicompost:perlite substrates under shade net conditions. **Emirates Journal of Food and Agriculture**. v. 27, p. 897-902, 2015.
- MOTULSKY, H. J.; RANSNAS, L. A. Fitting curves to data using nonlinear regression: a practical and nonmathematical review. **The FASEB Journal**, v. 1, n. 5, p. 365-374, 1987.
- MUIANGA, C. A. et al. Descrição da curva de crescimento de frutos do cajueiro por modelos não lineares. **Revista Brasileira de Fruticultura**. v. 38, p. 22-32, 2016.
- MUNIZ, J. A.; NASCIMENTO, M. S.; FERNANDES, T. J. Nonlinear models for description of cacao fruit growth with assumption violations. **Revista Caatinga**, v. 30, p. 250-257, 2017.
- NELDER, J.A. The fitting of a generalization of the logistic curve. **Biometrics**, v. 17, p. 89-94, 1961.
- NTSOANE, L. L. M. et al. Variety-specific responses of lettuce grown under the different coloured shade nets on phytochemical quality after postharvest storage. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. v. 91, n. 520-528, 2016.
- OLIVEIRA, A. C. B. et al. Divergência genética e descarte de variáveis em alface cultivada sob sistema hidropônico. **Acta Scientiarum**. v. 26, n. 2, p. 211-217, 2004.
- OMBÓDI, A. et al. Effects of external coloured shade nets on sweet peppers cultivated in walk in plastic tunnels. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**. v. 43, p. 398-403, 2016.
- PEIL, R. M. N; ALBUQUERQUE NETO, A. A. R.; ROMBALDI, C.V. Densidade de plantio e genótipos de tomateiro cereja em sistema fechado de cultivo em substrato. **Horticultura Brasileira**, v. 32, n. 2, p. 234-240, 2014.
- PEREIRA, M. C. T. et al. Crescimento e produção de primeiro ciclo da bananeira “Prata Anã” (AAB) em sete espaçamentos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 7, p. 1377-1387, 2000.
- PEREIRA, A. A. et al. Descrição do crescimento vegetativo do cafeeiro cultivar Rubi MG 1192, utilizando modelos de regressão. **Coffee Science**, v. 9, p. 266-274, 2014.
- PEREIRA, A. P. et al. Modelagem do diâmetro de copa do cafeeiro podado cultivado em diferentes densidades e regimes hídricos. **Coffee Science**, v. 11, p. 495-501, 2016.
- PEREIRA, A. P. et al. Modelagem não linear do crescimento em altura do cafeeiro irrigado e não irrigado em diferentes densidades. **Irriga**. v. 1, n. 1, p. 140-149, 2016.
- PERIN, L. et al. Solar radiation threshold and growth of mini tomato plants in mild autumn/winter condition. **Scientia Horticulturae**. v. 239, p. 156-162, 2018.
- PRAJNESHU, A. Nonlinear statistical model for aphid population growth. **Journal of the Indian Society of Agricultural Statistics**. v. 51, n. 1, p.73-80, 1998.

PRADO, T. K. L.; SAVIAN, T. V.; MUNIZ, J. A. Ajuste dos modelos Gompertz e logístico aos dados de crescimento de frutos de coqueiro anão verde. **Ciência Rural**. v.43, n.5, p.803-809, 2013.

PRELA-PANTANO, A.; NOVO, M. C. S. S.; TRANI, P. E. Desempenho de cultivares de alface na região de Americana, SP. **Irriga**. n. 20, v. 1, p. 92-104, 2015.

PUIATTI, G. A et al. Análise de agrupamento em seleção de modelos de regressão não lineares para descrever o acúmulo de matéria seca em plantas de alho. **Revista Brasileira de Biometria**. v. 31, p. 337-351, 2013.

R development core team R: A language and environment for statistical computing. Vienna, R Foundation for Statistical Computing. Acesso: mai 2018.

RATKOWSKY, D. A. **Nonlinear regression modeling**: a unified practical approach. New York: M. Dekker, 1983. 153 p.

REIS, R. M. et al. Modelos de regressão não linear aplicados a grupos de acessos de alho. **Horticultura Brasileira**. v.32, n.2, p.178-183, 2014.

RESENDE, G. M. et al. Adaptação de genótipos de alface crespa em condições semiáridas. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**. v. 11, n. 1, p. 1145-1154, 2017.

RIBEIRO, T. D. et al. The use of the nonlinear models in the growth of pears of ‘Shinseiki’ cultivar. **Ciência Rural**. v. 48, p. 1:7, 2018.

RICHARDS, F.J. A flexible growth function for empirical use. **Journal of Experimental Botany**. v. 10, n. 29, p. 290-300,1959.

RODRIGUES, T. D. et al. Description of the growth of pequi fruits by nonlinear models. **Revista Brasileira de Fruticultura**. v. 40, n. 1-11, 2018.

RYDER, E. J. in Trends in new crops and new uses. Janick, J. & Whipkey (eds), A. **The new salad crop revolution**. ASHS Press 408–412. 2002.

SANTOS, C. E. et al. **Anuário Brasileiro de hortaliças**. Editora Gazeta. 2015. 68p.

SALA, C. F.; COSTA, C. P. Retrospectiva e tendência da alfacicultura brasileira. **Horticultura Brasileira**. v. 30, n. 2, p. 187-194. 2012.

SARI, B. G. et al. Describing tomato plant production using growth models. **Scientia Horticulturae**. v. 246, p. 146-154, 2019.

SALES, A. de L. et al. Telas agrícolas como subcobertura no cultivo de alface hidropônica. **Ciência Rural**, v. 44, n. 10, p. 1775-1760, 2014.

SEBER, G. A. F.; WILD, C. J. **Nonlinear regression**. New York: John Wiley and Sons, 1989.

SELAHLE, K. M. Postharvest responses of red and yellow sweet peppers grown under photo-selective nets. **Food Chemistry**. v. 173, p. 951-956, 2015.

SHAHAK, Y. Photosensitive netting: an overview of the concept, R&D and practical implementation in agriculture. **Acta Horticulturae**. v. 1015, p. 155-162, 2014.

SHAHAK, Y. Photosensitive netting for improved performance of horticultural crops: a review of ornamental and vegetable studies carried out in Israel. **Acta Horticulturae**. v. 770, p. 161-168, 2008.

SILVEIRA, F. G. **Classificação multivariada de modelos de crescimento para grupos genéticos de ovinos de corte**. 2010. 59 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.

SIMONNE, A. et al. Bitterness and composition of lettuce varieties grown in the southeastern United States. **HortTechnology**. v.12, p.721-726, 2002.

STAMPS, R. H. Use of colored shade netting in horticulture. **HortScience**. v.44, p.239-241, 2009.

STRECK, N. et al. Modelagem da emissão de folhas em arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 43, p. 559-567, 2008.

SWAMY, N. G. Evaluation of certain varieties and hybrids of capsicum for quality attributes under shade net. **Journal of Horticulture**. v.2, n. 124, p. 1-3, 2015.

TADIĆ, V. et al. Phenol induced physiological stress in hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L.). **Scientia Horticulturae**, v. 232, p. 71-83, 2017.

TAIZ, L. et al. *Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal*. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.

TERRA, M. F.; MUNIZ, J. A.; SAVIAN, T. V. Ajuste dos modelos Logístico e Gompertz aos dados de crescimento de frutos de tamareira-anã (*Phoenix roebeleanni* O'BRIEN). **Magistra**, v. 22, p. 1-7, 2010.

TORALLES, R. P. et al. Caracterização parcial do escurecimento enzimático pela polifenoloxidase em pêssegos das cv. Granada, Jade, Esmeralda e Maciel. **Brasileira de Agrocência**, v. 10, n. 1, p. 244-244, 2004.

VALCÁRCEL, A. I. G. et al. Uptake of azoles by lamb's lettuce (*Valerianella locusta* L.) grown in hydroponic conditions. **Ecotoxicology and Environmental Safety**. v. 124, p. 138-146, 2016.

VIERLING, E.; KIMPEL, J. A. Plant responses to environmental stress. **Current Opinion in Biotechnology**. v. 3, p. 164-170, 1992.

YURI, J.E. et al. Desempenho agrônômico de genótipos de alface americana no Submédio do Vale do São Francisco. **Horticultura Brasileira**, v. 35, n. 2, p. 292-297, 2017.

UNO, Y. et al. Reduction of leaf lettuce tipburn using an indicator cultivar. **Scientia Horticulturae**. v. 210, p. 14-18, 2016.

WINSOR, C. P. The Gompertz curve as a growth curve. **Proceedings of the National Academy of Science**, v. 18, p. 1-17, 1932.

ZHAO, X.; CAREY, E. E. Summer production of lettuce, and microclimate in high tunnel and open field plots in Kansas. **HortTechnology**. v. 19, p. 113-119, 2009.