

Modelos não lineares para menta em cultivo sem solo

Marlon Adonai Gregory Weschenfelder¹, Alberto Cargnelutti Filho², Jéssica Maronez de Souza³,
Darcila Pereira Camargo⁴, Felipe Manfio Somavilla⁵

1. Introdução

A menta (*Mentha piperita* L.) é uma espécie condimentar e aromática da família Lamiaceae, a qual contempla mais de 600 tipos de menta, que possuem utilização culinária e farmacológica, devido aos seus efeitos anti-inflamatórios, analgésicos, anti-infecciosos, antimicrobianos e antissépticos (PEREIRA & SANTOS, 2013). A produção de plantas medicinais, é uma alternativa de produção para a agricultura familiar, sendo assim uma alternativa econômica (LOURENZANI; LOURENZANI; BATALHA, 2004).

Essa espécie possui um ciclo natural de 90 dias em cultivo convencional, podendo ser plantada ao longo do ano (PEREIRA & SANTOS, 2013). No entanto, é possível otimizar a produção utilizando intervalos de colheita que proporcionem a maior produtividade e qualidade do material (FIGUEIREDO et al., 2009).

A modelagem do crescimento de plantas é uma ferramenta que pode ser utilizada para avaliar o padrão de crescimento conforme as condições ambientais, contribuindo para determinar o melhor manejo a ser utilizado para dada cultura (SORATO; PRADO; MORAIS, 2014). O uso de modelos de regressão não lineares é apropriado para projetar a produção (BRITO et al., 2007), podendo ser utilizados para determinar o melhor intervalo de colheita, pois apresentam parâmetros com interpretação biológica (ARCHONTOULIS; MIGUEZ, 2015).

Os objetivos desse trabalho foram ajustar e comparar modelos de regressão não linear para a massa de matéria fresca de folhas de menta em intervalos de colheita, em função dos dias após o transplante.

2. Material e Métodos

O experimento foi conduzido no interior de um abrigo de 115 m² tipo guarda-chuva, coberto com polietileno aditivado anti-UV de 150 µm de espessura, localizado no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria.

As mudas de menta (*Mentha piperita* L.) foram produzidas no mesmo local do experimento, utilizando plantas matrizes cultivadas em estufa, em cultivo fora do solo. Para isso, foram utilizadas estacas de quatro centímetros das ponteiros dos ramos das plantas, deixando-se duas folhas expandidas na extremidade, as quais foram colocadas em bandejas de isopor contendo substrato comercial. As bandejas foram colocadas sobre uma bancada, dentro da estufa, com irrigação do tipo aspersão, onde permaneceram até a formação dos torrões. Após 30 dias, quando as mudas apresentavam sistema radicular bem formado, foi realizado o transplante.

Os vasos foram dispostos sobre bancadas de 1,10 m de largura e 4 m de comprimento e altura de 80 cm do piso de concreto. Foram utilizadas duas bancadas com 40 vasos cada uma. A irrigação e a fertirrigação

¹ Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil. email: marlonweschenfelder6@gmail.com (Bolsista PIBITI/CNPq/UFSM)

² Departamento de Fitotecnia, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil. email: alberto.cargnelutti.filho@gmail.com. Bolsista de Produtividade em Pesquisa 1A-CNPq - Processo: 304652/2017-2

³ Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil. email: jessica_maronez@hotmail.com (Bolsista Capes)

⁴ Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil. email: darcilapc16@gmail.com (Bolsista FIT-BIT-UFSM)

⁵ Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil. email: felipe-somavilla@hotmail.com (Bolsista PIBIC/CNPq/UFSM)

foram realizadas por meio de fitas gotejadoras, posicionadas na parte superior dos vasos, com um gotejador por planta. A solução nutritiva foi preparada e armazenada em caixas de polipropileno de 500 L, localizadas no exterior do abrigo, e fornecida às plantas por meio de uma motobomba controlada por um programador horário.

Foram realizados quatro tratamentos, sendo eles os intervalos entre colheitas de 30, 45, 60 e 72 dias após o transplante. Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições, onde cada repetição foi constituída por uma planta. Foram realizadas 11 colheitas no intervalo de 30 dias, 7 colheitas no intervalo de 45 dias, 5 colheitas no intervalo de 60 dias e 4 colheitas no intervalo de 72 dias.

As colheitas foram realizadas a uma altura de sete cm da base da planta, a fim de permitir o rebrote dos ramos. Foi determinada a massa de matéria fresca de folhas (MF), em g planta⁻¹ em cada colheita e esses valores foram somados a fim de obter a produção acumulada por planta, ao longo dos dias após o transplante (DAT).

Foram ajustados os modelos de Gompertz e Logístico para a variável dependente (massa de matéria fresca de folhas) em função da variável independente (dias após o transplante), segundo as equações a seguir: Modelo de Gompertz: $Y_i = a * e^{(-e^{(b-c*x_i)})}$ Modelo Logístico: $Y_i = \frac{a}{1+e^{(-b-c*x_i)}}$, em que: Y_i = observação na variável dependente (massa de matéria fresca de folhas); X_i = representa a variável independente (dias após o transplante); a é o valor assintótico; b é o parâmetro de locação, sem interpretação prática, mas com importância de manutenção do formato sigmoide do modelo; c é o associado ao crescimento, indica a taxa de crescimento da planta (quanto maior o valor de c , menor o tempo necessário para a planta atingir o valor assintótico).

A qualidade do ajuste dos modelos foi verificada por meio dos avaliadores de qualidade de ajuste coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) e critério de informação de Akaike (AIC), segundo as equações a seguir: $R^2_{aj} = 1 - \left[\frac{(n-i)(1-R^2)}{n-p} \right]$, $AIC = \ln(\sigma^2) + \frac{2(p+1)}{n}$, em que n é o número de observações e p é o número de parâmetros. Também foram determinadas a não linearidade de efeito de parâmetro (PE) e a não linearidade intrínseca (IN). O ajuste dos modelos foi realizado com auxílio dos softwares R e aplicativo Excel, utilizando o método dos mínimos quadrados ordinários e o método iterativo de Gauss-Newton.

3. Resultados e Discussão

As estimativas dos parâmetros para os modelos de Gompertz e Logístico e seus respectivos intervalos de confiança estão apresentados na Tabela 1. Verificou-se diferentes estimativas dos parâmetros entre os modelos ajustados, em que o modelo de Gompertz mostrou tendência de superestimação do parâmetro a , o que não ocorre no modelo Logístico. Esse resultado também foi verificado por Lyra et al. (2003), na modelagem do crescimento de alface e pode ser prejudicial a interpretação dos resultados, pois os parâmetros apresentam interpretação biológica, a qual pode ser comprometida nessa situação.

O parâmetro c refere-se à taxa de crescimento da planta, em que valores maiores indicam maior tempo necessário para atingir o valor assintótico. Nesse caso, verifica-se que os parâmetros estimados pelo modelo Logístico foram superiores aos estimados pelo modelo de Gompertz.

Os intervalos de colheita foram comparados pelo critério de sobreposição dos intervalos de confiança das estimativas dos parâmetros (Tabela 2). Não foram observadas diferenças significativas entre os intervalos de colheita, para nenhum dos parâmetros dos modelos ajustados. Considerando os parâmetros a e c , esses resultados indicam que não há influência dos intervalos entre colheitas sobre a máxima produção das plantas (valor assintótico) ou sobre a taxa de crescimento das mesmas.

Os resultados diferem de outros estudos encontrados na literatura, em que foram verificadas diferenças de produção entre intervalos de colheita. May et al. (2010) verificaram maior produção acumulada de biomassa de *Mentha citra* em menores intervalos de colheita. Já os autores Bezerra et al.

(2008) e Figueiredo et al. (2009) verificaram acréscimo da produção de biomassa com o aumento dos intervalos de colheita para a macela (*Egletes viscosa* L.) e o alecrim-pimenta (*Lippia sidoides* Cham.), respectivamente.

Tabela 1. Parâmetros e intervalo de confiança dos parâmetros dos modelos de Gompertz e Logístico para massa de matéria fresca de folhas (g planta⁻¹) de menta nos intervalos de colheita de 30, 45, 60 e 72 dias.

Intervalos	Parâmetros	Modelos					
		Gompertz			Logístico		
		Estimativa	LI	LS	Estimativa	LI	LS
30	<i>a</i>	491,8389	247,1519	736,5258	437,0205	283,1796	590,8614
	<i>b</i>	0,8804	0,6510	1,1098	-1,8562	-2,2940	-1,4184
	<i>c</i>	0,0064	0,0018	0,0109	0,0106	0,0052	0,0161
45	<i>a</i>	769,0915	316,4642	1221,7190	587,7776	371,3838	804,1715
	<i>b</i>	0,9212	0,7733	1,0690	-1,9371	-2,2086	-1,6656
	<i>c</i>	0,0042	0,00193	0,0065	0,0085	0,0057	0,0113
60	<i>a</i>	873,6807	-1647,4480	3394,8100	556,9810	-266,6307	1400,5930
	<i>b</i>	1,0434	0,3376	1,7493	-2,1391	-3,1982	-1,0801
	<i>c</i>	0,0036	-0,0040	0,0113	0,0084	-0,0004	0,0173
72	<i>a</i>	551,5589	-180,7299	1283,8480	429,8798	126,8069	732,9528
	<i>b</i>	1,0132	0,6960	1,3304	-2,1245	-2,8218	-1,4271
	<i>c</i>	0,0058	-0,0027	0,0143	0,0114	0,0014	0,0213

Na Tabela 3 estão apresentados os valores dos avaliadores de qualidade de ajuste dos modelos. O coeficiente de determinação ajustado teve melhores valores, mais próximos a 1, para o intervalo de 45 dias, para ambos os modelos. Para o intervalo de 30 dias o R²aj apresentou valores medianos, indicando melhor ajuste dos modelos nos demais intervalos. Em relação ao critério de informação de Akaike, os valores mais baixos foram observados para o intervalo de colheita de 45 dias, sendo 6,4032 e 6,5159 para os modelos de Gompertz e Logístico, respectivamente.

Os valores desejáveis de PE e IN são, respectivamente, < 1,0 e < 0,3. Quanto mais baixos esses valores, melhor a aproximação do modelo ao linear. Observou-se grande variação desses valores entre os intervalos e os modelos. Nenhum dos intervalos apresentou valores abaixo de 1,0, no entanto, os menores valores foram verificados no intervalo de 30 dias, sendo de 7,9643 no modelo de Gompertz e 4,3544 no modelo Logístico. No intervalo de 60 dias foram verificados valores altos de PE, principalmente para o modelo de Gompertz, cujo valor foi de 118,6820, indicando que o ajuste para esse intervalo não foi adequado. Em relação ao IN, a maioria dos intervalos apresentaram valores adequados, no entanto, os valores mais próximos a 0,3 foram observados no intervalo de 45 dias, sendo de 0,0664 e 0,0788 para os modelos de Gompertz e Logístico, respectivamente, indicando boa aproximação do modelo ao linear.

O ajuste dos modelos aos dados de produção de folhas também pode ser observado nas Figuras 1 e 2. É possível verificar um ótimo ajuste no intervalo de 45 dias, onde os dados estimados são muito próximos dos dados observados.

O coeficiente de determinação ajustado também foi utilizado por Lúcio et al. (2016) para comparar modelos não-lineares ajustados aos dados de produção de frutos de tomate cereja. Já o critério de informação de Akaike foi utilizado por Diel et al. (2018) ao avaliar modelos não lineares na descrição da produção de morango.

Tabela 2. Comparação dos intervalos de colheita através do intervalo de confiança dos parâmetros dos modelos de Gompertz e Logístico para massa de matéria fresca de folhas (g planta⁻¹) de menta.

Comparações dos Intervalos de colheita		Modelos	
		Gompertz	Logístico
<i>a</i>			
30	45	ns	ns
30	60	ns	ns
30	72	ns	ns
45	60	ns	ns
45	72	ns	ns
60	72	ns	ns
<i>b</i>			
30	45	ns	ns
30	60	ns	ns
30	72	ns	ns
45	60	ns	ns
45	72	ns	ns
60	72	ns	ns
<i>c</i>			
30	45	ns	ns
30	60	ns	ns
30	72	ns	ns
45	60	ns	ns
45	72	ns	ns
60	72	ns	ns

Tabela 3. Avaliadores de qualidade do ajuste dos modelos de Gompertz e Logístico para massa de matéria fresca de folhas (g planta⁻¹) de menta nos intervalos de colheita de 30, 45, 60 e 72 dias.

Intervalo de colheita	Modelo	Avaliadores			
		R ² aj	AIC	PE	IN
30	Gompertz	0,7820	8,0657	7,9643	0,1423
	Logístico	0,7734	8,1038	4,3544	0,1727
45	Gompertz	0,9568	6,4032	16,4354	0,0664
	Logístico	0,9517	6,5159	6,5270	0,0788
60	Gompertz	0,8144	7,9142	118,6820	0,1955
	Logístico	0,8113	7,9305	33,1497	0,2004
72	Gompertz	0,8018	7,9726	32,8885	0,1831
	Logístico	0,7997	7,9831	11,2591	0,1751

R²aj: coeficiente de determinação ajustado; AIC: Critério de Informação de Akaike; PE: Não linearidade de efeito de parâmetro; IN: Não linearidade intrínseca.

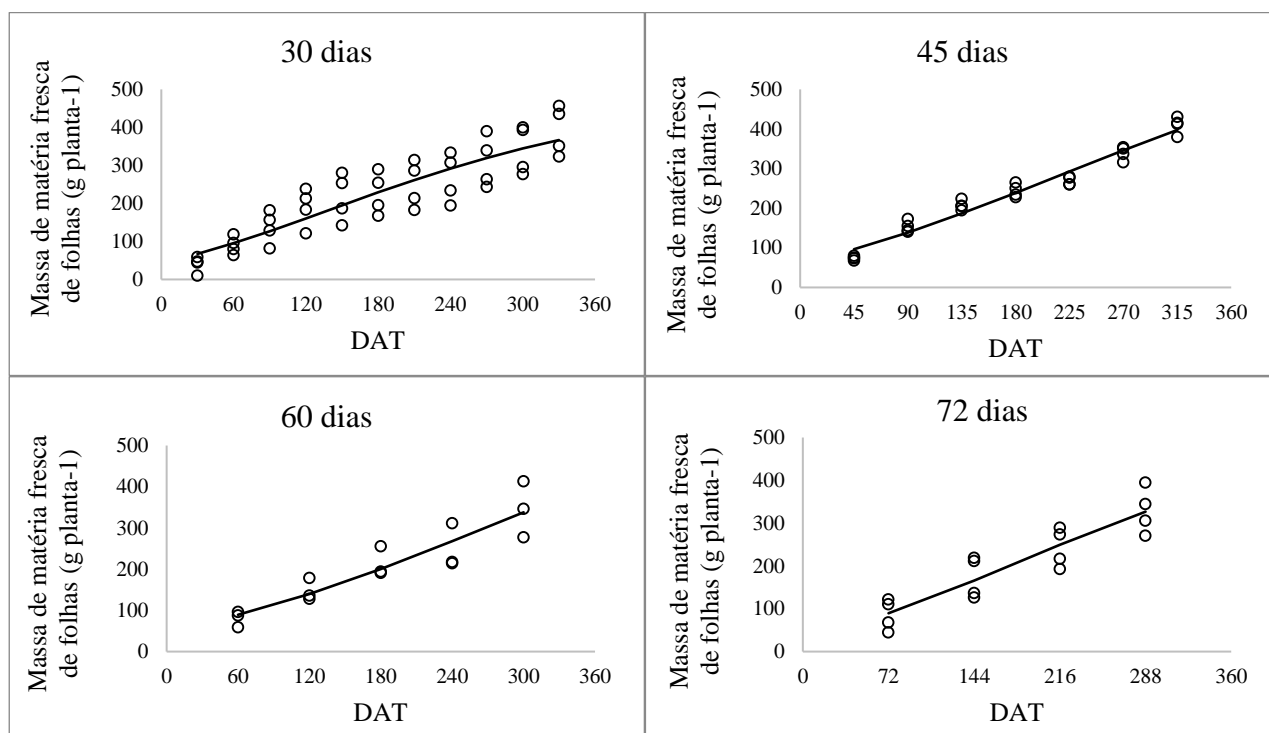


Figura 1. Ajuste do modelo de Gompertz aos dados de massa de matéria fresca de folhas (g planta⁻¹) de menta, nos intervalos de colheita de 30, 45, 60 e 72 dias, em função dos dias após o transplante (DAT).

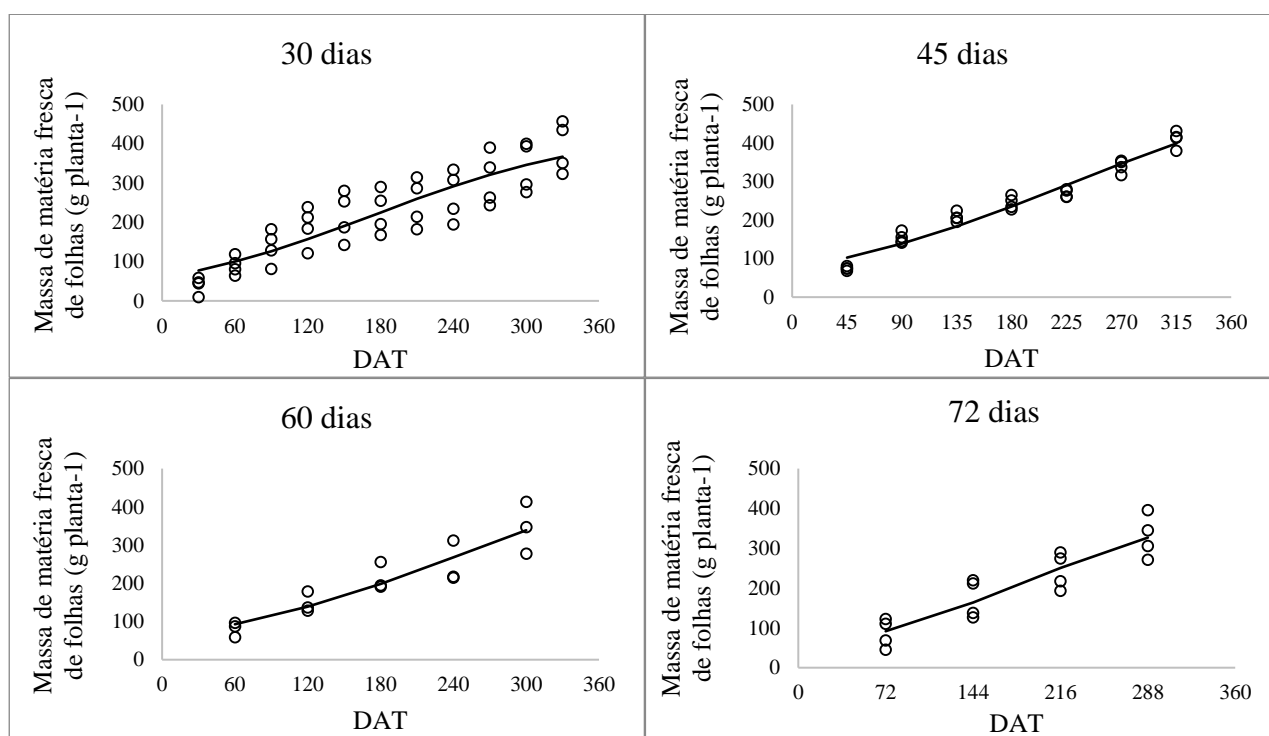


Figura 2. Ajuste do modelo Logístico aos dados de massa de matéria fresca de folhas (g planta⁻¹) de menta, nos intervalos de colheita de 30, 45, 60 e 72 dias, em função dos dias após o transplante (DAT).

4. Conclusões

Os avaliadores da qualidade do ajuste dos modelos indicam bom ajuste aos dados de produção de folhas de menta para a maioria dos intervalos de colheita. O modelo de Gompertz apresentou valor muito elevado de não linearidade de efeito de parâmetro e alta superestimação do parâmetro *a* para o intervalo de 60 dias, indicando ajuste inadequado. O intervalo de 45 dias demonstrou o melhor ajuste para ambos os modelos avaliados, havendo, no entanto, superestimação do parâmetro *a* pelo modelo de Gompertz, indicando que o modelo Logístico é mais adequado para descrever a produção de menta.

5. Referências

ARCHONTOULIS, S. V.; MIGUEZ, F. E. Nonlinear Regression Models and Applications in Agricultural Research. **Agronomy Journal**, v. 107, n. 2, p. 786-798, 2015.

BEZERRA, A. M. E. et al. Produção e composição química da macela em função da época de colheita. **Horticultura Brasileira**, v. 26, n. 01, p. 26-29, 2008.

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.

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.

FIGUEIREDO, L. S. et al. Efeito da época de colheita na produção de fitomassa e rendimento de óleo essencial de alecrim-pimenta (*Lippia sidoides* Cham.). **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 11, n. 2, p. 154-158, 2009.

LOURENZANI, A. E. B. S.; LOURENZANI, W.; BATALHA, M.O. Barreiras e oportunidades na comercialização de plantas medicinais provenientes da agricultura familiar. **Informações Econômicas**, v. 34, n. 3, p. 15-25, 2004.

LÚCIO, A. D. et al. Modelos não-lineares para a estimativa da produção de tomate do tipo cereja. **Ciência Rural**, v. 46, n. 2, p. 233-241, 2016.

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. 1, p. 69-77, 2003.

MAY, A. et al. Produção de biomassa e óleo essencial de *Mentha citrata* em função do manejo cultural e adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, n. 3, p. 370-375, 2010.

PEREIRA, R.; SANTOS, O. G. Plantas condimentares: cultivo e utilização. **Embrapa Agroindústria Tropical** (Documentos), n. 161, 55 p., 2013.

SORATO, A. M. C.; PRADO, T. K. L.; MORAIS, A. R. Análise do crescimento vegetal por meio de modelo não linear via regressão isotônica. **Revista da Estatística da Universidade Federal de Ouro Preto**, v. 3, n. 3, p. 139-143, 2014.