

Modelagem não linear da biomassa seca do feijoeiro cv. Jalo

Kelly P. Lima^{1†}, Laís M. Silva², Neiva M. B. Vieira³, Augusto R. Morais⁴, Messias J. B. Andrade⁵

¹Departamento de Estatística (DES), Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, Minas Gerais, Brasil.

²Departamento de Estatística (DES), Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, Minas Gerais, Brasil. E-mail: laismesquita@hotmail.com.

³Departamento de Agronomia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFMG), Machado, Minas Gerais, Brasil. E-mail: neiva.vieira@ifsuldeminas.edu.br.

⁴Departamento de Estatística (DES), Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, Minas Gerais, Brasil. E-mail: armorais@des.ufla.br.

⁵Departamento de Agricultura (DAG), Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, Minas Gerais, Brasil. E-mail: mandrade@dag.ufla.br.

Resumo: O feijoeiro é uma importante cultura agrícola na economia brasileira, sendo que o país se destaca como maior produtor e consumidor do grão. Como ciclo vegetativo curto, o conhecimento de suas curvas de crescimento torna-se uma ferramenta informativa, que pode auxiliar em manejo mais eficiente; além de possibilitar a detecção de fatores que afetam o desenvolvimento da planta. Assim, objetivou-se descrever o acúmulo de biomassa seca do feijoeiro cv. Jalo por meio do ajuste de modelos de regressão não lineares. Os dados foram obtidos de experimento conduzido em áreas contíguas com plantio direto e convencional, nas quais se utilizou o delineamento em blocos casualizados, com três repetições, com os tratamentos dispostos em esquema fatorial 5x7, envolvendo cinco densidades de semeaduras (75, 145, 215, 285, 355 mil plantas por ha-1) e sete épocas de avaliação (dos 13 aos 73 dias após à emergência (DAE), no plantio convencional, e dos 10 aos 70 DAE, no plantio direto). Foi analisado o acúmulo de biomassa seca nas diferentes partes da planta (Haste, Haste e Folha; Haste, Folha e Vagem; Haste, Folha, Vagem e Grão). O acúmulo de biomassa seca foi distinto entre as densidades de semeadura, com maiores acúmulos nas maiores densidades. No plantio direto ocorreram maiores acúmulos de biomassa em relação ao plantio convencional, com relativa precocidade. O modelo logístico foi o selecionado como o mais eficiente na descrição do crescimento em acúmulo de biomassa seca do feijoeiro.

Palavras-chave: Phaseolus vulgaris L.; regressão não linear; análise da variância; modelo logístico; curva de crescimento.

Abstract: Beans are an important agricultural crop in the Brazilian economy, and the country stands out as the biggest producer and consumer of the grain. As a short vegetative cycle, knowledge of its growth curves becomes an informative tool, which can aid in more efficient management; besides enabling the detection of factors that affect the development of the plant. The objective of this study was to describe the accumulation of dry biomass of common bean cv. Jalo by adjusting nonlinear regression models. The data were obtained from an experiment conducted in contiguous areas with no - tillage and conventional no - tillage, in which a randomized block design with three replications was used, with treatments arranged in a 5x7 factorial scheme, involving five seed densities (75, 145, 215, 285, 355 thousand plants per ha-1) and seven evaluation periods (from 13 to 73 days after emergence (DAE) in the conventional plantation, and from 10 to 70 DAE in no-tillage). The accumulation of dry biomass in the different parts of the plant (stem, stem and leaf, stem, leaf and pod, stem, leaf, pod and grain) was analyzed. The accumulation of dry biomass was different among sowing densities, with higher accumulations at higher densities. In the direct plantation, there were larger accumulations of biomass in relation to the conventional plantation, with relative precocity. The logistic model was selected as the most efficient in describing the growth in dry biomass accumulation of common bean.

Keywords: Phaseolus vulgaris L.; nonlinear regression; analysis of variance; logistic model; Growth curve.

†Autora correspondente: kelly.lima.88@gmail.com.

Introdução

O feijoeiro-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma das principais culturas agrícolas no Brasil e no mundo, sendo que o país se destaca como maior produtor mundial do grão. O feijão é um alimento referencial na dieta nutricional por proporcionar segurança alimentar às classes mais carentes da população, provendo proteínas, ferro e carboidratos como nutrientes. Mesmo possuindo características de cultura de subsistência, em pequenas propriedades e agricultura familiar, também vem aumentando a participação empresarial na produção nacional de feijão com o emprego de sistemas de produção com tecnologias mais eficientes, como cultivares melhoradas, irrigação e sementes de qualidade, entre outros.

Devido ao ciclo curto do feijoeiro, a modelagem de seu crescimento é importante fator para a alocação de práticas agrícolas mais eficientes, auxiliando na inferência sobre os processos fisiológicos, como na determinação de melhor época para adubação, entre outros (BENINCASA, 2003). Vieira et al. (2008) verificaram que aos 48 DAE ocorreu a taxa de máximo acúmulo de matéria seca para a cultivar Talismã, indicando que qualquer manejo de adubação de cobertura no feijoeiro deve ser realizado em período anterior a esta fase de crescimento.

No decorrer da expansão do vegetal, assim como nos diversos períodos de desenvolvimento, é de essencial significância saber sobre os efeitos dos diversos tratamentos sobre as plantas no transcorrer do experimento. Por meio do estudo quantitativo do crescimento vegetal, pode-se estimar o efeito dos diferentes tratamentos, já que este tipo de estudo consiste na obtenção de medidas sequenciais do acúmulo de matéria orgânica no desenrolar das fases do vegetal (LUCCHESI, 1984). Dessa maneira, diferentes técnicas podem ser utilizadas para avaliar o experimento e na análise de crescimento faz-se o uso tanto dos modelos lineares quanto dos não lineares. Mas, os modelos não lineares têm sido muito aplicados, principalmente, por apresentarem parâmetros com interpretação biológica e permitirem aplicações práticas de suas características; além de resumirem em poucos parâmetros várias informações.

Vários autores têm utilizado os modelos não lineares na estimação de curvas de crescimento de espécies vegetais. Martins Filho et al. (2008) ajustaram o modelo logístico ao crescimento de duas cultivares de feijoeiro; os modelos de Brody, Gompertz, logístico e von Bertalanffy foram utilizados por Maia et al. (2009) na estimação das curvas de crescimento de bananeiras, dos quais, o modelo logístico se destacou com melhor ajuste. Fernandes et al. (2014) comparando o ajuste dos modelos logístico e Gompertz, na descrição da curva de crescimento do fruto do cafeeiro, verificaram que os modelos descreveram de modo adequado a curva de crescimento do fruto, com o modelo Gompertz apresentando melhor ajuste. Esses modelos, também, foram utilizados por Muniz et al. (2017) na descrição do crescimento dos frutos de cacauzeiro, dos quais, o modelo logístico se destacou como o mais eficiente; e, também, por Wyzykowski et al. (2015) na análise do diâmetro de copa do cafeeiro.

A descrição do crescimento por meio do acúmulo de biomassa ao longo do tempo é fundamental para o manejo adequado e detecção de fatores que afetam o desenvolvimento do feijoeiro. E, a modelagem pode ser utilizada como auxiliar no estudo e interpretação dos processos biológicos, de modo a tentar compreender a dinâmica das plantas. Como na cultura do feijoeiro pouca ênfase tem sido dada na modelagem do acúmulo de massa seca ao longo de seu desenvolvimento, objetivou-se esse trabalho em modelar o crescimento em peso de biomassa seca, em diferentes partes da planta, para a cultivar de feijoeiro 'Jalo', por meio do ajuste dos modelos não lineares logístico e von Bertalanffy.

Material e métodos

Os dados utilizados neste trabalho são provenientes de um experimento realizado na área experimental do Departamento de Agricultura (DAG) da Universidade Federal de Lavras (UFLA), com a cultivar de feijão Jalo, a qual tem porte semiprostrado, de tipo III, com crescimento indeterminado, grão de brilho intermediário, grupo comercial manteigão, peso de 100 grãos de 30-40 gramas e ciclo médio (Ramalho e Abreu, 2006). O experimento foi realizado em duas áreas próximas (contíguas), em uma foi realizado o plantio convencional (PC), com uma aração e duas gradagens e, na outra, o plantio direto (PD). Em cada área foi utilizado o delineamento em blocos casualizados, com três repetições, com os tratamentos dispostos em esquema fatorial 5x7, envolvendo cinco densidades de semeadura (75, 145, 215, 285 e 355 mil plantas ha⁻¹) e sete épocas de avaliação, sendo aos 13, 23, 33, 43, 53, 63 e 73 dias após a emergência (DAE) das plantas no PC e aos 10, 20, 30, 40, 50, 60 e 70 DAE, no plantio direto.

A parcela experimental foi constituída por quatro linhas de cinco metros de comprimento, com espaçamento de 0,5 metros entre linhas, perfazendo uma área de 10m²; como área útil da parcela, foram utilizadas as duas linhas centrais (5m²). A semeadura foi realizada de maneira manual, adotando quantidade de semente para se atingir as densidades desejadas. Não houve correção do solo e o experimento não recebeu irrigação. Para obter o acúmulo de massa seca ao longo do ciclo da cultura, as coletas foram realizadas a cada 10 dias, a partir do 10º DAE no PD, e do 13º DAE no PC, sendo amostradas de maneira aleatória cinco plantas da área útil, as quais foram retiradas por meio de corte a 1,0 cm do nível do solo, separando-se as partes das plantas em haste (H), folha (F), flor e vagem (V) e grãos (G). O material coletado, após ser embalado e etiquetado, foi posteriormente seco em estufa com circulação forçada de ar, em temperaturas variando de 65o a 70oC, até atingir peso constante. Em seguida, esse material foi pesado em balança de precisão, obtendo-se então o peso da matéria seca das partes da planta em cada parcela. Os valores de cada parcela foram transformados e expressos em peso de massa seca por hectare (kg.ha⁻¹).

Para determinar as curvas de acúmulo de biomassa seca foram obtidas as variáveis: o peso de massa seca das hastes (H), a soma da matéria seca das hastes e folhas (HF), a soma da matéria seca da haste mais folha mais flor e vagem (HFV) e o peso total da planta (H + F + V + Grãos = T).

Os dados de acúmulo de massa seca das diferentes partes da planta (H, HF, HFV e T) foram submetidos a análise da variância, sendo verificada a pressuposição de homogeneidade de variância, pelo teste de Bartlett, e a normalidade dos erros, pelo teste de Shapiro-Wilk. Como o interesse maior era estudar o efeito das épocas de avaliação em cada densidade de semeadura, para obter as curvas de crescimento, as análises foram realizadas conforme adaptação de Banzatto e Kronka (2006) e Pimentel-Gomes (2009), para análise conjunta de experimentos conduzidos em esquema fatorial, efetuando-se o desdobramento de épocas de avaliação (DAE) em cada combinação de densidade com sistema de plantio.

Para descrição do crescimento do feijoeiro em massa seca procedeu-se à análise de regressão para estudar o desenvolvimento das plantas em relação às épocas de avaliação (DAE) em cada combinação de densidade de semeadura e sistema de plantio, utilizando os modelos não lineares de logístico (1) e von Bertalanffy (2), cujas expressões são:

$$y_t = \frac{\alpha}{1 + \exp(-\beta(t - r))} + \varepsilon_t \quad (1)$$

$$y_t = \alpha(1 - \beta \exp(-rt))^3 + \varepsilon_t \quad (2)$$

nas quais, y_t é o valor médio da massa seca na época de avaliação t , sendo t o número de dias após à emergência (DAE); α é o valor assintótico da biomassa seca, ou valor no qual a biomassa seca estabiliza mesmo que o valor de t aumente; β no modelo logístico e r no modelo von Bertalanffy são chamados de índice de maturidade e estão associados ao crescimento, quanto maior for seus valores, menos tempo será necessário para a planta atingir sua biomassa assintótica (α); r no modelo logístico é o ponto de inflexão, é o valor da abscissa (DAE) no qual a curva muda sua concavidade e ocorre a maior taxa de acúmulo; β no modelo von Bertalanffy, é um parâmetro de locação, importante para manter o formato sigmoidal do modelo; ϵ_t é o erro aleatório associado à t -ésima observação, para o qual pressupõe-se que sejam independentes e normalmente distribuídos, com média zero e variância constante.

A avaliação da qualidade de ajuste dos modelos aos dados e comparação dos modelos foi realizada utilizando o critério de informação Akaike corrigido (AICc) e o coeficiente de determinação ajustado (R_α^2). Um modelo deve ser considerado como modelo mais adequado do que o outro, se apresentar menores estimativas para AICc e maiores de R_α^2 .

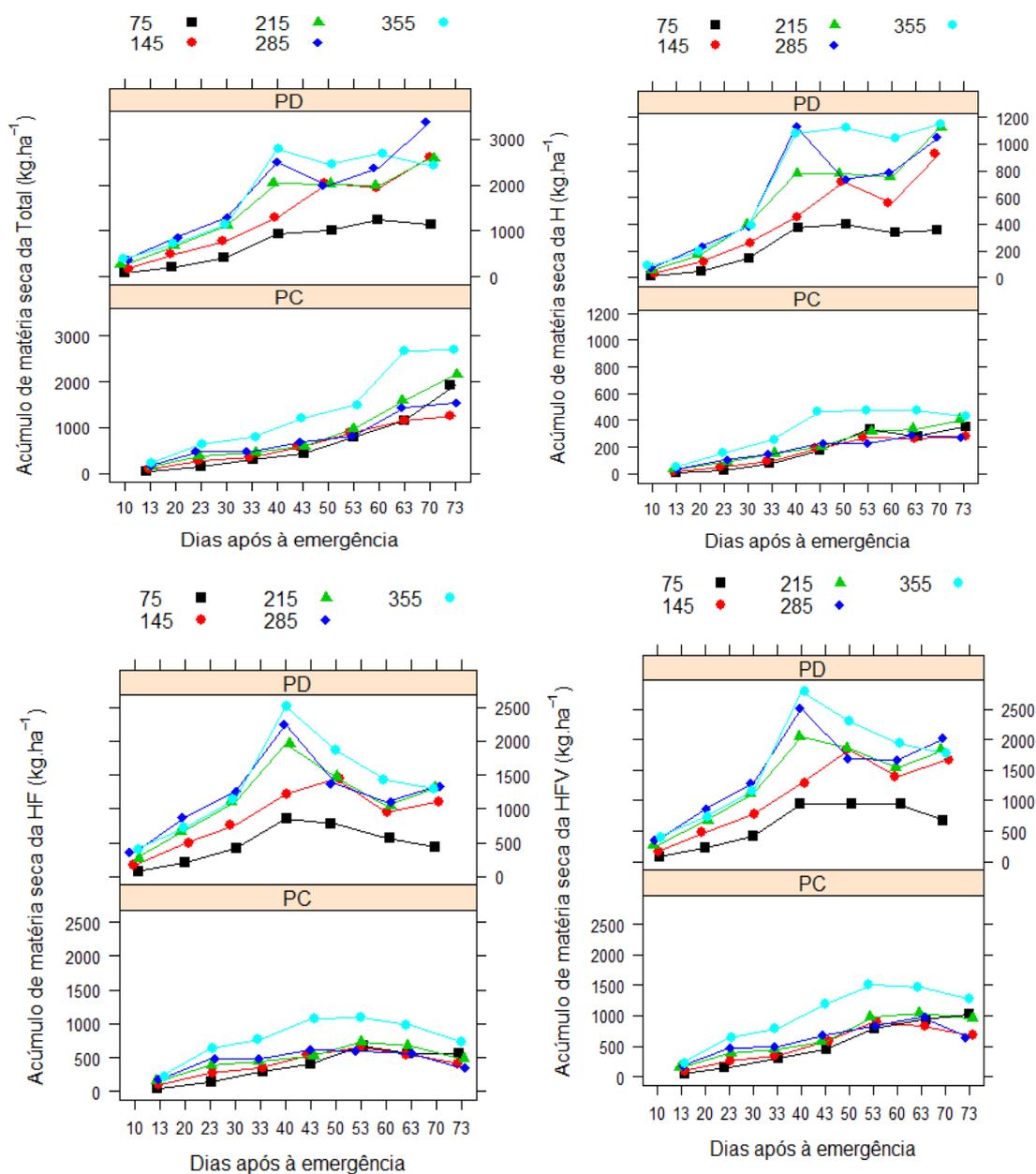
Resultados e discussão

Os valores médios do acúmulo de matéria seca das partes da planta podem ser vistos na Figura 1, no caso, sugerem uma possível interação entre os fatores, dado que os valores médios observados não possuem o mesmo comportamento em função dos DAE e não são aproximadamente paralelos e, ainda, se cruzam em alguns pontos. Quanto ao acúmulo de biomassa seca em relação aos dias após a emergência, fica evidente a existência de um comportamento sigmoide na maior parte dos dados. Deste modo, há um indicativo para o uso de um modelo não linear, como o logístico ou von Bertalanffy, com a finalidade de estimar os parâmetros e, desta maneira, determinar o peso ou acúmulo máximo de biomassa da planta, o parâmetro de locação e a taxa de crescimento; e selecionar àquele modelo cujas estimativas se aproximam, com mais precisão, do comportamento real dos dados.

Desse modo, analisou-se o comportamento de crescimento do acúmulo de biomassa seca em função dos DAE (Figura 1), em cada combinação de sistema de plantio e densidades de semeadura, por meio dos modelos não lineares logístico e von Bertalanffy.

As estimativas dos parâmetros dos modelos logístico e von Bertalanffy foram obtidas observando as estimativas dos critérios utilizados para avaliar a qualidade de ajuste na Tabela 1, nota-se que ambos os modelos apresentaram melhores ajuste aos dados de acúmulo de biomassa seca no PC, com menores AICc's e maiores R_α^2 , sugerindo que esse tipo de plantio apresentou um comportamento de crescimento mais próximo do sigmoidal, do que no PD.

Mesmo que os dois modelos tenham apresentados bons ajustes, exceto aqueles casos de não convergência, o modelo logístico apresentou melhores resultados de qualidade de ajuste, em relação ao modelo von Bertalanffy. As estimativas do critério de informação de Akaike ilustram a superioridade do modelo logístico, pois apresentou menores valores de AICc, nas diferentes densidades de semeadura e nos dois tipos de plantio. Entre as densidades de semeadura, os menores valores de AICc ocorreram nas densidades menores, indicando que nessas os ajustes devem ser melhores.



Figural – Gráficos dos valores médios do acúmulo de matéria seca na haste (H) , na haste e folha (HF), na haste, folha e vagem (HFV) e na haste, folha, vagem e grão (Total) do feijoeiro cv Jalo da interação sistema de plantio x densidade de semeadura x dias após a emergência.

Sigmae, Alfenas, v.8, n.2, p.359-369, 2019.

64^a Reunião da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria (RBRAS).
18^o Simpósio de Estatística Aplicada à Experimentação Agrônômica (SEAGRO).

Tabela 1. Estimativas do critério de informação de Akaike corrigido (AIC_c) e do coeficiente de determinação ajustado (R^2_α) obtidas no ajuste dos modelos von Bertalanffy (VB) e logístico (L), nas diferentes densidades de semeadura e sistemas de plantio convencional (PC) e direto (PD) para descrição do acúmulo de biomassa seca na haste (H), haste e folhas (HF), haste, folhas e vagens (HFV) e total (MST) do feijoeiro cv. Jalo.

| Sistema | Modelo | Densidade de semeadura | | | | | | | | | |
|---------|--------|------------------------|--------------|---------|--------------|---------|--------------|---------|--------------|---------|--------------|
| | | 75 | | 145 | | 215 | | 285 | | 355 | |
| | | AIC_c | R^2_α | AIC_c | R^2_α | AIC_c | R^2_α | AIC_c | R^2_α | AIC_c | R^2_α |
| MST | | | | | | | | | | | |
| PC | VB | - | - | 83,2 | 0,97 | - | - | - | - | 101,8 | 0,93 |
| | L | 77,3 | 0,99 | 77,8 | 0,99 | 86,3 | 0,98 | 92,3 | 0,93 | 100,9 | 0,94 |
| PD | VB | 89,4 | 0,95 | 97,4 | 0,95 | 100,9 | 0,92 | 109,0 | 0,82 | 109,1 | 0,87 |
| | L | 85,9 | 0,97 | 97,6 | 0,95 | 100,6 | 0,92 | 109,9 | 0,78 | 106,4 | 0,90 |
| HFV | | | | | | | | | | | |
| PC | VB | 80,9 | 0,98 | 92,4 | 0,82 | 90,7 | 0,89 | 93,1 | 0,71 | 94,3 | 0,90 |
| | L | 74,9 | 0,99 | 90,5 | 0,87 | 89,4 | 0,91 | 93,0 | 0,71 | 92,9 | 0,92 |
| PD | VB | 96,3 | 0,81 | 100,1 | 0,81 | 103,3 | 0,84 | 108,9 | 0,67 | 112,4 | 0,73 |
| | L | 94,4 | 0,86 | 98,2 | 0,90 | 101,3 | 0,88 | 108,0 | 0,72 | 111,2 | 0,77 |
| HF | | | | | | | | | | | |
| PC | VB | 85,3 | 0,90 | 89,6 | 0,70 | 89,4 | 0,69 | 89,4 | 0,51 | 95,0 | 0,73 |
| | L | 83,3 | 0,91 | 88,9 | 0,72 | 89,4 | 0,68 | 89,4 | 0,51 | 94,8 | 0,73 |
| PD | VB | 97,5 | 0,63 | 99,8 | 0,63 | - | - | 109,9 | 0,38 | - | - |
| | L | 96,8 | 0,64 | 98,6 | 0,80 | 106,1 | 0,63 | 109,5 | 0,43 | 117,7 | 0,53 |
| H | | | | | | | | | | | |
| PC | VB | 75,5 | 0,95 | 67,3 | 0,97 | 65,3 | 0,98 | 65,3 | 0,96 | 79,7 | 0,92 |
| | L | 72,7 | 0,95 | 60,2 | 0,99 | 66,1 | 0,98 | 65,6 | 0,95 | 76,3 | 0,95 |
| PD | VB | 81,0 | 0,88 | 90,5 | 0,88 | 91,9 | 0,89 | 100,2 | 0,72 | 94,3 | 0,91 |
| | L | 73,8 | 0,97 | 91,2 | 0,85 | 92,9 | 0,86 | - | - | 88,6 | 0,97 |

(-) Não houve convergência do método iterativo.

Pelas estimativas obtidas dos parâmetros (Figura 2, 3, 4, 5 e 6), foi possível analisar que, na maioria dos casos, com aumento da densidade, ocorreu um aumento no acúmulo gradativo da biomassa ao longo do ciclo do feijoeiro para os dois sistemas de plantio, assim corroborando com o resultado encontrado por Vieira et al. (2008). Estes resultados estão de acordo com Alves et al. (2009), os quais verificaram que densidades de semeadura de 240 mil plantas ha⁻¹ garante boa produtividade. Já para as estimativas das taxas de maturidade (r), os menores valores indicam que as plantas demoram mais tempo para atingir a maturação, ocorrendo o desenvolvimento tardio das plantas e, desta forma, podendo atingir maiores acúmulos de massa. Na maioria dos casos em que ocorreu convergência, as taxas de maturidade para o plantio convencional foram menores do que as taxas do plantio direto. Desta maneira, é importante ter o conhecimento sobre as densidades de semeadura do feijoeiro que acarreta maior precocidade a respeito do crescimento e estes são importante para avaliar o sistema de plantio mais eficiente (VIEIRA et al. 2008).

De modo geral, observa-se que as estimativas do critério de informação Akaike corrigido foram menores para o modelo logístico, indicando que este modelo apresentou melhor qualidade de ajuste aos dados de biomassa seca do feijoeiro cv. Jalo, exceto algumas densidades de semeadura que o modelo Von Bertalanffy foi melhor.

O acúmulo de matéria seca na parte aérea (Figura 2, 3, 4, 5 e 6) foi distinto entre as densidades. Observa-se com o modelo logístico e Von Bertalanffy e suas respectivas estimativas dos parâmetros,

Sigmae, Alfenas, v.8, n.2, p.359-369, 2019.

64ª Reunião da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria (RBRAS).

18º Simpósio de Estatística Aplicada à Experimentação Agrônômica (SEAGRO).

que com o passar dos dias houve aumento significativo do acúmulo de matéria seca em todas as partes da planta, haste (H), haste+folha (HF), haste+folha+vagem (HFV) e haste+folha+vagem+grão (Total), da densidade 75 até a densidade 355, para ambos os tipos plantios.

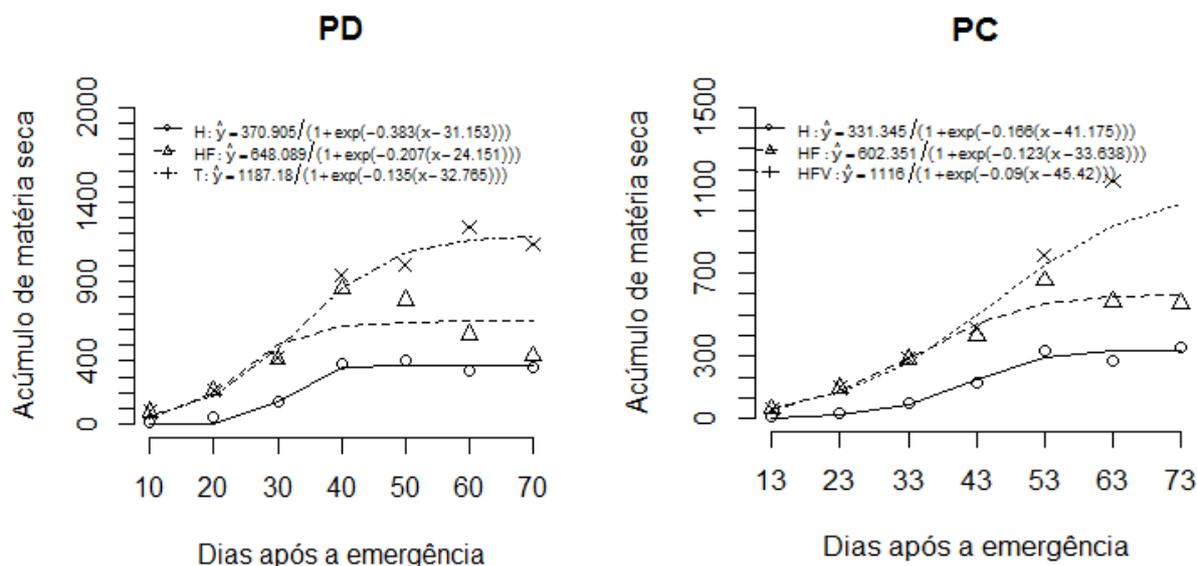


Figura 2 – Valores médios do acúmulo de matéria seca e equações de regressão para a haste (H), haste e folha (HF), haste, folha e vagem (HFV) e haste, folha, vagem e grão (T), na densidade de semeadura de 75 e nos sistemas de plantio direto (PD) e convencional (PC), do feijoeiro cv. Jalo.

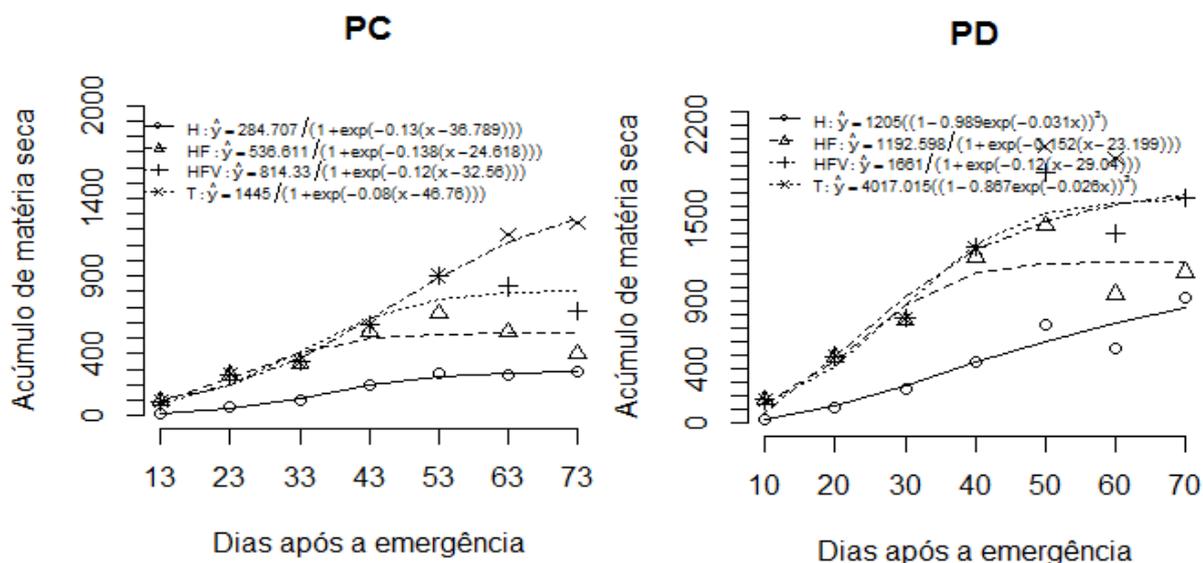


Figura 3 – Gráficos dos valores médios do acúmulo de matéria seca na haste (H), na haste e folha (HF), na haste, folha e vagem (HFV) e na haste, folha, vagem e grão (Total) do feijoeiro cv Jalo no sistema de plantio direto e convencional na densidade de semeadura 145.

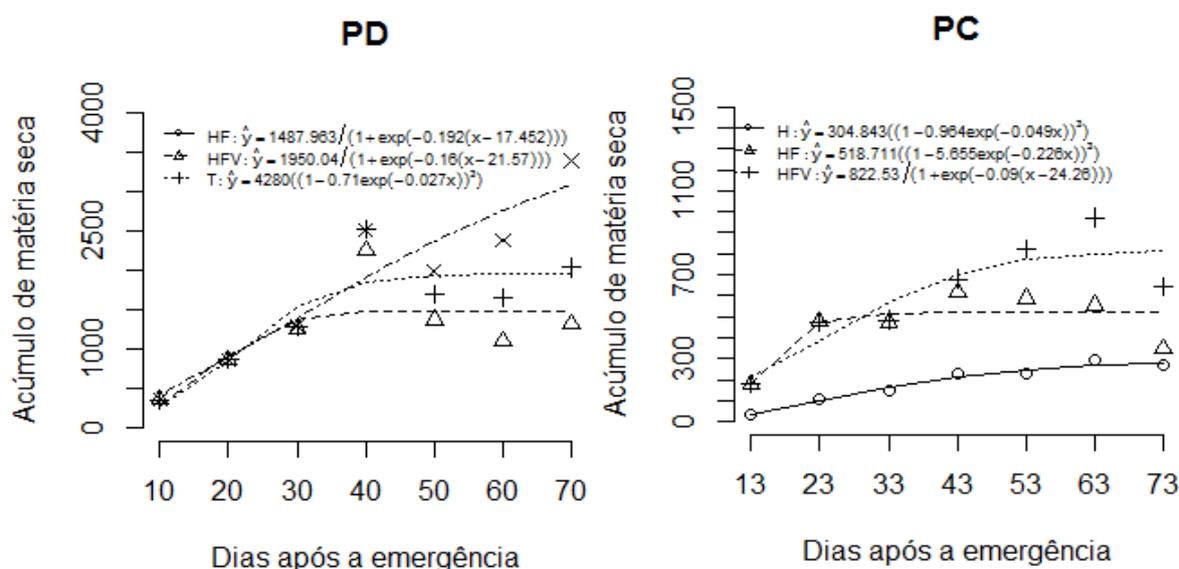


Figura 4 – Gráficos dos valores médios do acúmulo de matéria seca na haste (H), na haste e folha (HF), na haste, folha e vagem (HFV) e na haste, folha, vagem e grão (Total) do feijoeiro cv Jalo no sistema de plantio direto e convencional na densidade de semeadura 215.

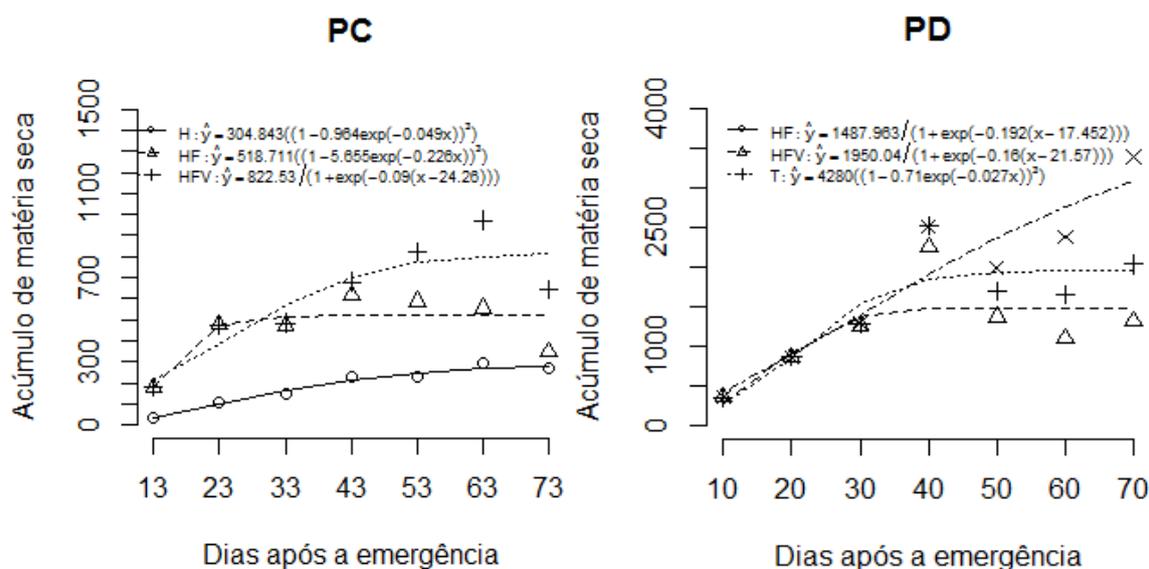


Figura 5 – Gráficos dos valores médios do acúmulo de matéria seca na haste (H), na haste e folha (HF), na haste, folha e vagem (HFV) e na haste, folha, vagem e grão (Total) do feijoeiro cv Jalo no sistema de plantio direto e convencional na densidade de semeadura 285.

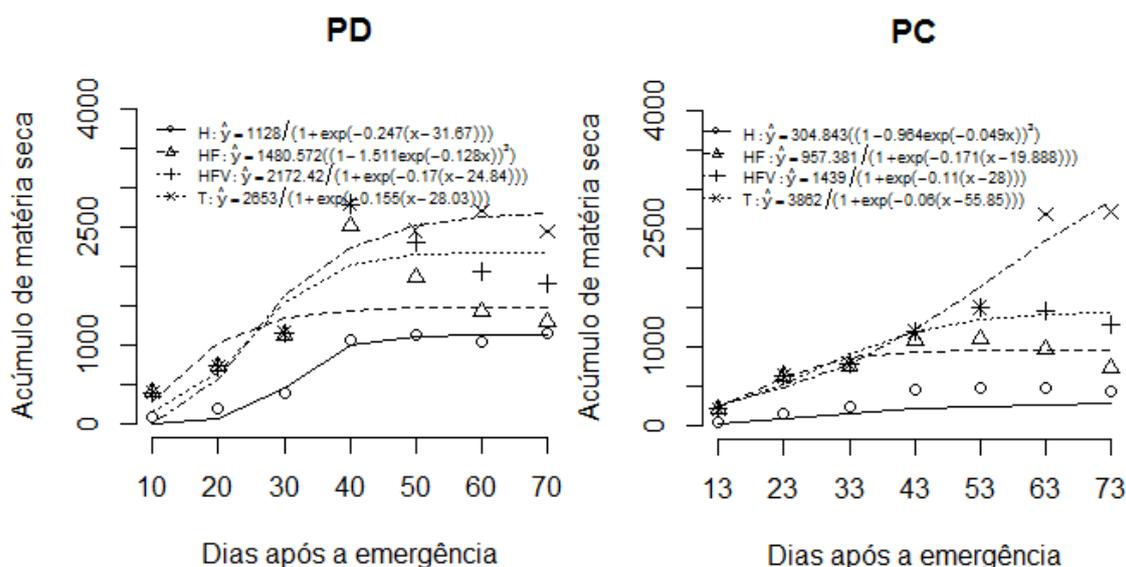


Figura 6 – Gráficos dos valores médios do acúmulo de matéria seca na haste (H), na haste e folha (HF), na haste, folha e vagem (HFV) e na haste, folha, vagem e grão (Total) do feijoeiro cv Jalo no sistema de plantio direto e convencional na densidade de semeadura 355.

O comportamento de acúmulo de matéria seca ilustrado nas Figuras 5 sugere que ocorreu grande acúmulo de massa nas últimas avaliações com maior intensidade no PD. Dados relativo ao crescimento em altura de plantas, de duas cultivares de feijoeiro, foram avaliadas para Martins Filho et al. (2008), os quais estimaram maiores taxas de maturidade para cultivar carioca em relação à Neguinho, sugerindo que a cultivar carioca possui ciclo de cultivo menor, podendo ser usada em situações com restrição no tempo de cultivo consorciada com outras culturas.

Vieira et al. (2008) avaliaram o crescimento em altura de plantas para as cultivares Ouro Negro e Talismã, estimando alturas assintóticas máximas de 100 cm, com incrementos até aos 50 DAE em plantio direto, e até 72 DAE no plantio convencional. Utilizaram o modelo logístico no ajuste aos dados de crescimento em altura, o que possibilitou a descrição do crescimento de modo adequado.

Conclusão

Os modelos logístico e von Bertalanffy são adequados para a descrição do acúmulo de biomassa seca, nos dois sistemas de plantio e nas densidades de semeaduras.

O modelo logístico teve o melhor ajuste na descrição do crescimento do feijoeiro, por apresentar melhores propriedades de ajuste do que o modelo von Bertalanffy.

O modelo Logístico estimou o acúmulo máximo total de biomassa seca em 2172 kg ha⁻¹ no plantio direto e em 1439 kg ha⁻¹ no plantio convencional, na maior densidade de semeadura de 355 mil plantas por hectare.

Esse resultado reforça a pesquisa já realizada na literatura já que as estimativas das quantidades máxima de biomassa seca no plantio direto varia de 1217 kg ha⁻¹ a 2435 kg ha⁻¹ e no plantio convencional essa variação é de 1206,39 a 1709,03 kg ha⁻¹, que são valores próximos aos encontrados nessa pesquisa para a cv. Jalo. Assim, a modelagem não linear utilizando o modelo logístico é válido para essa aplicação.

Sigmae, Alfenas, v.8, n.2, p.359-369, 2019.

64^a Reunião da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria (RBRAS).

18^o Simpósio de Estatística Aplicada à Experimentação Agronômica (SEAGRO).

Agradecimento

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo bolsas de doutorado concedida, Capes e FAPEMIG pelo apoio financeiro.

Referências

AKAIKE, H. A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, Boston, v.19, n.6, p.716-723, 1974.

ALVES, A. F.; ANDRADE, M. J. B.; RODRIGUES, J. R. M.; VIEIRA, N. M. B. Densidades populacionais para cultivares alternativos de feijoeiro do norte de Minas Gerais. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 33, n. 6, p. 1495-1502, nov./dez. 2009.

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. *Experimentação agrícola*. 4.ed. Jaboticabal: Funep, 2006. 237 p.

BENINCASA, M. M. P. *Análise de crescimento de plantas: noções básicas*. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 42 p.

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

FERNANDES, T.J.; PEREIRA, A.A.; MUNIZ, J.A.; SAVIAN, T.V. Seleção de modelos não lineares para a descrição das curvas de crescimento do fruto do cafeeiro. *Coffee Science*, v.9, n.2, p.207-215, 2014.

LUCCHESI, A. A. Utilização prática da análise de crescimento vegetal. *Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"*, v.41, p.181-202, 1984.

MAIA, E.; SIQUEIRA, D. L.; SILVA, F. F.; PETERNELLI, L. A.; SALOMÃO, L. C. C. Método de comparação de modelos de regressão não lineares em bananeiras. *Ciência Rural*, v.39, n.5, p.1380-1386, 2009.

MARTINS FILHO, S.; SILVA, F. F.; CARNEIRO, A. P. S.; MUNIZ, J. A. Abordagem bayesiana das curvas de crescimento de duas cultivares de feijoeiro. *Ciência Rural*, v.38, n.6, p.1516-1521, 2008.

MUNIZ, J.A.; NASCIMENTO, M.S.; FERNANDES, T.J. Nonlinear models for description of cacao fruit growth with assumption violations. *Revista Caatinga*, v.30, n.1, p.250-257, 2017.

PIMENTEL-GOMES, F. *Curso de estatística experimental*. 15. ed. Piracicaba: FEALQ, 2009. 451 p.

Sigmae, Alfenas, v.8, n.2, p.359-369, 2019.

64ª Reunião da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria (RBRAS).

18º Simpósio de Estatística Aplicada à Experimentação Agronômica (SEAGRO).

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: *R Foundation for Statistical Computing*, 2017. URL <https://www.R-project.org/>.

VIEIRA, N. M. B.; ANDRADE, M. J. B.; CARVALHO, J. G.; ALVES JUNIOR, J.; MORAIS, A. R. Altura de planta e acúmulo de matéria seca do feijoeiro cvs. BRS MG Talismã e Ouro Negro em plantio direto e convencional. *Ciência e Agrotecnologia*, v.32, n.6, p.1687-1693, nov./dez, 2008.

WYZYKOWSKI, J.; CUSTÓDIO, A. A. P.; CUSTÓDIO, A. A. P.; GOMES, N. M.; MORAIS, A. R. Análise do diâmetro de copa do cafeeiro recepadp utilizando um modelo não linear misto. *Revista Brasileira de Biometria*, v.33, n.3, p.243-256, 2015.

Sigmae, Alfenas, v.8, n.2, p.359-369, 2019.

64^a Reunião da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria (RBRAS).
18^o Simpósio de Estatística Aplicada à Experimentação Agronômica (SEAGRO).