

AJUSTE DE MODELOS DE REGRESSÃO NÃO LINEAR AO CRESCIMENTO DE MUDAS DE BUCHA VEGETAL (*Luffa Cylindrica* (L.) M. *Roem.*)

Neiton Silva Machado¹
Felipe Rodrigues Freire²
Mariana Neto Rosa Lima³
Adriano Victor Lopes da Silva⁴
Daniel Mariano Leite⁵
Julio Cesar Ferreira Melo Junior⁶

RESUMO: Objetivou-se com este trabalho ajustar modelos matemáticos com quatro parâmetros ao crescimento de mudas de bucha vegetal (*Luffa Cylindrica* (L.) M. *Roem.*). Para isso foi necessário quantificar as variáveis morfológicas da cultura tais como: comprimento da rama principal, número de folhas, diâmetro da base do caule, área foliar. Ademais foi determinada a correlação entre as variáveis observadas com os graus dia acumulados (GDA). Determinou-se também o teor de água e os teores de sólidos totais, fixos e voláteis da parte aérea da cultura. Estimou-se a composição elementar de carbono, hidrogênio e oxigênio da parte aérea da cultura. O experimento foi conduzido em condições de viveiro telado com 50% de sombreamento. Para a obtenção dos dados amostrou-se cinco mudas de “cada acesso”, (cinco repetições) a cada 3 dias (72h) até o final do ciclo. Dentre os modelos matemáticos ajustados o Sigmoides 4 parâmetros, foi o que apresentou maior R^2 ajustado para as variáveis dependentes número de folhas e massa seca em função da variável independente GDA, 0,937 e 0,870, respectivamente. O ponto com maior crescimento da cultura seguido de estabilidade dos valores do número de folhas e massa seca foi 346,60 GDA.

2862

Palavras-chave: Modelo matemático. Correlação. Cucurbitaceae. fibra vegetal.

¹ Doutor em engenharia agrícola pela Universidade Federal de Viçosa - UFV. Docente efetivo da Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6049-2279>

² Bacharel em engenharia agrônômica pela Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF. <https://orcid.org/0009-0000-7606-2177>.

³ Mestre em agronomia pela Universidade Estadual da Bahia - UNEB. Técnica efetiva da Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF. <https://orcid.org/0000-0002-2416-171X>.

⁴ Doutorado em biometria e estatística aplicada pela Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFPE. Docente efetivo da Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF. <https://orcid.org/0000-0002-5923-3015>.

⁵ Doutor em engenharia agrícola pela Universidade Federal de Viçosa - UFV. Docente efetivo da Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6174-1190>.

⁶ Doutor em engenharia agrícola pela Universidade Federal de Viçosa - UFV. Docente efetivo da Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF. Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3843-9724>.

ABSTRACT: The objective of this work was to adjust mathematical models with four parameters to the growth of loofah seedlings (*Luffa Cylindrica* (L.) M. Roem.). For this it was necessary to quantify the morphological variables of the crop such as: length of the main branch, number of leaves, diameter of the stem base, leaf area. Furthermore, the correlation between the observed variables and the accumulated degree days (ADD) was determined. The water content and total, fixed and volatile solids content of the aerial part of the crop were also determined. The elemental composition of carbon, hydrogen and oxygen of the aerial part of the crop was estimated. The experiment was conducted under screened nursery conditions with 50% shading. To obtain data, five seedlings were sampled from “each accession” (five replications) every 3 days (72h) until the end of the cycle. Among the adjusted mathematical models, the 4-parameter Sigmoid was the one that presented the highest adjusted R^2 for the dependent variables number of leaves and dry mass as a function of the independent variable ADD, 0.937 and 0.870, respectively. The point with the highest crop growth followed by stability in the number of leaves and dry mass was 346.60 ADD.

Keywords: Mathematical model. Correlation. Curcubitaceae. Plant fiber.

RESUMEN: El objetivo de este trabajo fue ajustar modelos matemáticos con cuatro parámetros al crecimiento de plántulas de lufa (*Luffa Cylindrica* (L.) M. Roem.). Para esto fue necesario cuantificar las variables morfológicas del cultivo como: longitud de la rama principal, número de hojas, diámetro de la base del tallo, área foliar. Además, se determinó la correlación entre las variables observadas y los grados día acumulados (GDA). También se determinó el contenido de agua y contenido de sólidos totales, fijos y volátiles de la parte aérea del cultivo. Se estimó la composición elemental de carbono, hidrógeno y oxígeno de la parte aérea del cultivo. El experimento se llevó a cabo en condiciones de vivero protegido con 50% de sombra. Para obtener datos, se muestrearon cinco plántulas de “cada accesión” (cinco repeticiones) cada 3 días (72h) hasta el final del ciclo. Entre los modelos matemáticos ajustados, el Sigmoide de 4 parámetros fue el que presentó mayor R^2 ajustado para las variables dependientes número de hojas y masa seca en función de la variable independiente GDA, 0.937 y 0.870, respectivamente. El punto con mayor crecimiento del cultivo seguido de estabilidad en el número de hojas y masa seca fue de 346,60 GDA.

Palabras-Clave: Modelo matemático. Correlación. Curcubitáceas. Fibra vegetal.

INTRODUÇÃO

A bucha vegetal, trazida ao Brasil pelos portugueses, foi difundida em diversos estados do país. Embora não haja dados oficiais sobre plantações comerciais, Bonfim, em Minas Gerais, se destaca como a capital nacional da bucha natural, com uma produção anual de 100 mil dúzias (CARVALHO, 2007). Segundo este mesmo autor o cultivo da bucha por meio de mudas apresenta diversas vantagens em comparação ao plantio das sementes direto no solo. Possibilita seleção antecipada das plantas, permiti melhor preparo da cova de plantio, fato que garanti maior desenvolvimento das mudas, controle de doenças e pragas nos

estágios iniciais da cultura. Além disso, a taxa de germinação é otimizada devido à irrigação mais eficiente no viveiro, resultando em plantas bem formadas e reduzindo os custos com serviços de replantio e irrigação no campo.

A bucha vegetal pode apresentar grande importância no mercado de produtos agroecológicos devido à ampla utilização das suas fibras naturais e aplicabilidade em diversos setores e produtos da agroindústria (MAIA *et al.*, 2019). Vale ressaltar que na 27ª edição da COP (Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas), o Brasil reafirmou o seu legado de uma nação que prioriza a sustentabilidade sem abrir mão de seu desenvolvimento e para isso precisa-se avançar nas pesquisas e consequentemente nas técnicas utilizadas.

Neste sentido a utilização de modelos matemáticos para estimar o crescimento destas mudas (acúmulo de massa seca) em função dos graus dias acumulados - GDA (energia disponível no ambiente) pode ser considerada uma ferramenta importante na estimativa do desenvolvimento das mudas. Os modelos de crescimento descrevem o sistema mediante equações matemáticas para o qual são necessários dados de entrada e saída para o seu ajuste. Os modelos matemáticos por sua vez podem ser classificados como modelos “lineares” ou “não lineares” de acordo com o tipo de equações que eles constituem (GAONA, 2006).

2864

Um modelo sigmoidal é constituído por uma função sigmoide (forma de S), em que os parâmetros aparecem de forma não linear e por uma componente aleatória para a qual supõe-se uma distribuição de probabilidade. Modelos sigmoides têm aplicações em diferentes áreas do conhecimento, sendo bastante utilizada na análise de dados de curvas de crescimento em estudos de epidemiologia, agronomia, química, engenharia, redes neurais, ciências biomédicas, entre outras. São utilizados para descrever processos cuja relação entre uma variável resposta Y e uma variável explicativa X se dá segundo uma curva que apresenta uma taxa de crescimento aumentando a partir de um dado ponto inicial até atingir o ponto de inflexão e, em seguida diminuindo até a curva se aproximar, assintoticamente de algum valor final, denominado em algumas aplicações por capacidade suporte (CARMO, 2022).

Os modelos não lineares têm sido utilizados para descrição da curva de crescimento dos indivíduos por diversos autores (Souza *et al.*, 2007; Melo Júnior *et al.*, 2015; Veloso *et al.* 2016; Azarias, *et al.* 2023; Fernandes *et al.*, 2023; Machado *et al.*, 2023; Silva *et al.*, 2023 e Vilas Boas, *et al.* 2023), pois apresentam parâmetros com interpretação biológica e, assim,

possibilitam maior entendimento do processo de crescimento. Porém, na maioria das vezes, a escolha do melhor modelo não é tão simples.

Diante do exposto, o principal objetivo deste trabalho foi ajustar modelos matemáticos sigmóides com quatro parâmetros ao crescimento de mudas de bucha vegetal (*Luffa Cylindrica* (L.) M. Roem.). Para isso foi necessário quantificar as variáveis morfológicas da cultura tais como: comprimento da rama principal, número de folhas, diâmetro da base do caule, área foliar. Calculou-se a correlação entre as variáveis observadas e os graus dia acumulados (GDA). Determinou-se o teor de água e os teores de sólidos totais, fixos e voláteis da parte aérea da cultura. Estimou-se a composição elementar de carbono, hidrogênio e oxigênio da parte aérea da cultura.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Campus de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Vale do São Francisco - Univasf, em Petrolina, Pernambuco, perante condições de viveiro telado com 50% de sombreamento, localizado nas coordenadas geográficas 9º 19'15" Sul e 40º32'40" Oeste. A classificação climática da região é BSh', seco de estepe muito quente, conforme a proposta de Köppen (MELO JÚNIOR, *et al.*, 2015)

2865

Matéria-prima

Para a produção das mudas foram adquiridas sementes de 2 Acesso (genótipos) da Bucha Vegetal (*Luffa Cylindrica* (L.) M. Roem). Acesso 1, o material propagativo foi obtido em uma área residencial próxima ao Condomínio Vivendas do Rio na cidade de Petrolina, Pernambuco. Acesso 2 na Chácara do Sr Luis Nelinho localizado no município de Lagoa Grande, Pernambuco (Figura 1).

Figura 1 - Frutos e sementes do Acesso 1 (A,B) e Acesso 2 (C,D), respectivamente.



Fonte: Arquivo pessoal dos autores

Produção das mudas

Utilizou-se como recipientes para produção das mudas copos descartáveis de 500 mL preenchidos com composto orgânico disponibilizado pelo Núcleo de Olericultura e Agroecologia (NOA) da Univasf.

O composto foi elaborado a partir de camadas de resíduos de gramíneas trituradas, utilizadas para alimentação de animais (material rico em carbono) e esterco caprino e bovino (material rico em nitrogênio) e 1 kg/m² de pó de rocha, nas proporções de 30 cm de palhada para 10 cm de esterco. A composição físico-química do composto utilizado como substrato encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultado das análises físico-química do substrato (composto orgânico) utilizado para produção das mudas

Densidade úmida (Kg/m ³)	Densidade seca (Kg/m ³)	CE 1:5 (mS/cm)	pH	Umidade atual (% m/m)
745,7	594,2	2,52	7,46	20,3
M.O. (dag/Kg)	Nitrogênio (g/Kg)	Carbono org. (g/Kg)	Relação C/N	CTC (mmol _c /dm ³)
21,7	9,9	94,9	9,5	267,0
P (mg/L)	Ca ²⁺ (mmol _c /L)	Mg ²⁺ (mmol _c /L)	K ⁺ (mmol _c /L)	Na ⁺ (mmol _c /L)
26,23	1,873	2,553	17,114	3,293
Fe ²⁺ (mg/L)	Mn ²⁺ (mg/L)	Zn ²⁺ (mg/L)	Cu ²⁺ (mg/L)	B (mg/L)
7,947	0,145	0,034	0,057	-

A semeadura foi realizada em 31 de agosto de 2023. Semeou 3 sementes por recipiente, com o intuito de aumentar a chance de germinação e após a emergência das plântulas efetuar o desbaste caso necessário (realizando um corte na base do caulículo da plântula menos vigorosa).

Foram utilizados 238 recipientes, no qual metade, ou seja, 119 foram utilizados para o Acesso 1 e 119 para o Acesso 2, respectivamente (Figura 2). Destes 119 copos utilizados em cada Acesso, 60 foram usados de forma direta nas análises (12 coletas com 5 repetições cada) e 59 como bordadura.

Figura 2-Ilustração do sistema de subirrigação e distribuição dos recipientes com as mudas.



Fonte: Arquivo pessoal dos autores

O sistema de subirrigação ilustrado na figura 2 contém $0,2835\text{m}^3$ de capacidade, com dimensões de $1,80 \times 2,25\text{m}$ de comprimento por $0,07\text{m}$ de profundidade. As principais justificativas pela escolha da subirrigação foram: Aumento da eficiência do molhamento (homogêneo), possibilitando a obtenção da lâmina na capacidade de campo sem ocorrência de encharcamento do substrato. Fato este que contribui para o crescimento/desenvolvimento das mudas; e não menos importante o manejo das formigas cortadeiras com a utilização da lâmina d'água como barreira física.

2867

Obtenção dos dados

Para a obtenção dos dados coletou-se cinco mudas de “cada acesso”, (cinco repetições), totalizando 12 coletas até o final do experimento, com intervalo de 3 dias (72h) entre as amostragens.

Imediatamente a coleta das amostras registrou-se os dados biométricos: número de folhas; diâmetro da base do caulículo (com paquímetro digital – Figura 3); comprimento da rama principal (com trena métrica). Considerou-se como altura da planta a distância da base do caulículo até o ápice da folha nova mais desenvolvida (ponta foliar).

A umidade relativa e temperatura do ar foram registradas no viveiro do telado no momento da coleta das amostras, utilizou-se um Termo-higrômetro digital (Figura 3).

Figura 3– Ilustração dos equipamentos digitais utilizados nas leituras. Paquímetro (A) e Termo-higrômetro (B), respectivamente.



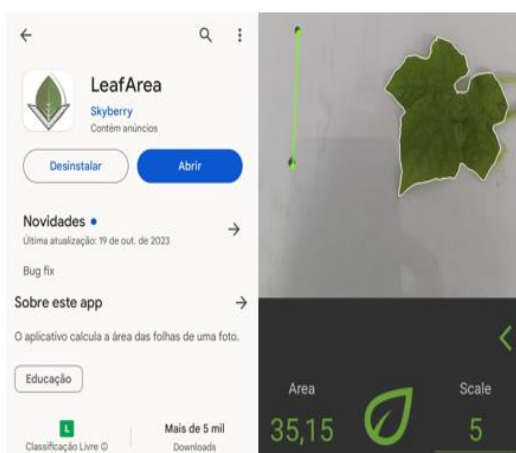
Fonte: Arquivo pessoal dos autores

Após a análise biométrica das plântulas removeu-se as mesmas do recipiente plástico (copo descartável) com a utilização de uma tesoura, fazendo um corte horizontal na base do caulículo para obtenção da matéria seca da parte aérea. Em seguida lavou-se a área do corte, para retirada dos restos de substrato, em sequência, as amostras (repetições) foram: pesadas em balança de precisão; colocadas dentro de sacos de papel Kraft, individualmente; e dispostas dentro da estufa de ventilação forçada, com temperatura do ar ajustada em 65°C por 72h ou até obtenção de leitura da massa seca constante.

Para obtenção da área foliar utilizou-se o aplicativo LeafArea. Foram registradas fotos com a câmera do Smartphone localizado perpendicular a bancada, afastada 7 cm do alvo. Ademais, uma linha de 5 cm foi traçada ao lado do limbo foliar (referencial). Tomando como folha base para as medições, a folha mediana da rama principal (Figura 4).

2868

Figura 4– Ilustração do procedimento utilizado para obtenção da área foliar.



Fonte: Arquivo pessoal dos autores

A temperatura do ar externo ao telado foi obtida por meio de uma estação meteorológica automática, localizada no entorno da área experimental. Para o cálculo dos graus-dias acumulados (GDA) foi adotado a expressão utilizada por (SOUZA, *et al.* 2007):

$$GDA = \Sigma \left[\left(\frac{T_x + T_n}{2} \right) - T_b \right] \quad \text{Equação 1}$$

Em que:

T_x = temperatura máxima do ar ($^{\circ}\text{C}$)

T_n = temperatura mínima do ar ($^{\circ}\text{C}$)

T_b = temperatura base inferior ($^{\circ}\text{C}$)

Para T_b adotou-se o valor de 10°C , como temperatura mínima tolerante para o desenvolvimento da bucha.

Análises dos sólidos

As análises de sólidos citadas a seguir foram feitas com base no Manual de Análise de Resíduos Sólidos e Águas Residuárias (MATOS, 2015). Todas as operações de transporte/alocação dos cadinhos foram realizadas utilizando pinça metálica apropriada, para não haver interferência de água e, ou, gordura das mãos ou luvas nas análises.

2869

Sólidos totais

Retirou-se as amostras adentradas à estufa a 65°C por mais de 72h, posteriormente, o material amostral foi moído em almofariz de porcelana para subsequente alocação nos cadinhos (30 mL) previamente calcinados, em seguida foi feito a pesagem na balança analítica com 0,0001g de precisão, para a obtenção da massa da amostra seca (M_s).

No que concerne a massa da amostra úmida (M_u), os valores foram obtidos com a pesagem do material anteriormente a colocação na estufa. Para a determinação dos sólidos totais foi utilizado à equação 2:

$$ST = \frac{(M_s - M_r)}{(M_u - M_r)} \times 100 \quad \text{Equação 2}$$

Em que:

ST = sólidos totais (dag.kg^{-1} ou %);

M_s = massa da amostra seca a 65°C + M_r (g);

M_r = massa do recipiente (g); e

M_u = massa da amostra úmida + M_r (g).

Sólidos fixos e voláteis

Após a pesagem na balança analítica para se adquirir a massa da amostra seca (M_s), os cadinhos contendo o material vegetal foram condicionados na mufla a $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 4 h. Na sequência, os cadinhos da mufla foram alocados diretamente para uma chapa aquecedora (temperatura de 100°C), com o objetivo de não suceder choque térmico nos recipientes e possível trinca. Posteriormente, foram transferidos para o interior do dessecador. Depois do equilíbrio térmico com o meio, retirou-se para a pesagem na balança analítica, obtendo assim a massa do resíduo após combustão (M_c). Para a determinação dos sólidos voláteis e fixos foram utilizadas as equações 3 e 4:

$$SV = \frac{(M_s - M_c)}{(M_s - M_r)} \times 100 \quad \text{Equação 3}$$

$$SF = \frac{(M_c - M_r)}{(M_s - M_r)} \times 100 \quad \text{Equação 4}$$

Em que:

SV = sólidos voláteis(dag.kg^{-1} ou %);

SF = sólidos fixos(dag.kg^{-1} ou %); e

M_c = massa do resíduo após combustão + M_r (g).

Composição elementar

2870

Considerando que o maior acúmulo de nitrogênio, cálcio, ferro e manganês ocorrem nas folhas, enquanto que fósforo, potássio, magnésio, enxofre, cobre e zinco são mais acumulados nas flores e frutos da *Luffa Cylindrica M. Roem* (SIQUEIRA, *et al.* 2009). Para determinação da composição elementar (Carbono-C, Hidrogênio-H e Oxigênio-O) foi utilizada a metodologia proposta por Parikh e Ghosal. (2005) e Parikh e Ghosal (2007) sugerida por Oliveira (2010) respectivamente, as quais descrevem as seguintes equações algébricas baseadas na análise preliminar de todo espectro de materiais sólidos lignocelulósicos.

$$C = 0,637.SF + 0,455.SV \quad \text{Equação 5}$$

$$H = 0,052.SF + 0,062.SV \quad \text{Equação 6}$$

$$O = 0,304.SF + 0,476.SV \quad \text{Equação 7}$$

Em que:

C= Teor de carbono, (%)

H = Teor de hidrogênio, (%)

O= Teor de oxigênio (%)

SF= Teor de sólidos fixos

SV= Teor de sólidos voláteis

As equações 5, 6 e 7 são válidas para materiais sólidos lignocelulósicos com valores de carbono fixo na faixa entre 4,7 a 38,4%, teor de sólidos voláteis entre 57,2 a 90,6% e teor de cinzas entre 0,12 a 77,7%, em base seca. O erro médio absoluto destas correlações é 3,21%, 4,79% e 3,40% para os valores medidos de C, H e O, respectivamente.

Ajuste e seleção dos modelos matemáticos com curvas sigmóides

Foram ajustados cinco modelos matemáticos com curvas sigmóides, com quatro parâmetros cada, aos dados de crescimento da bucha vegetal. As equações matemáticas dos modelos ajustados encontram-se descritas abaixo.

$$\text{Modelo Sigmoide } \Rightarrow y = y_0 + \frac{a}{1 + e^{-\left(\frac{x-x_0}{b}\right)}}$$

$$\text{Modelo Logístico } \Rightarrow y = y_0 + \frac{a}{1 + \left(\frac{x}{x_0}\right)^b}$$

$$\text{Modelo Gompertz } \Rightarrow y = y_0 + ae^{-e^{-\left(\frac{x-x_0}{b}\right)}}$$

$$\text{Modelo Hill } \Rightarrow y = y_0 + \frac{ax^b}{c^b + x^b}$$

$$\text{Modelo Chapman } \Rightarrow y = y_0 + a(1 - e^{-bx})^c$$

Em que:

a = assíntota superior ou valor máximo estimado pelo modelo;

b = fator de escala do modelo ou deslocamento da curva;

x_0 ou c = ponto de inflexão do modelo;

y_0 = assíntota inferior ou valor mínimo estimado pelo modelo;

e = exponencial;

y = Variável dependente;

x = Variável independente.

Existem diversos avaliadores matemáticos que são utilizados como critérios de seleção para avaliar qual modelo apresenta melhor ajuste, dentre estes podemos citar: o coeficiente de determinação (R^2), coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), quadrado médio do resíduo (QMR), desvio médio absoluto (DMA), desvio padrão assintótico (DPA), índice assintótico (IA), critério de informação de Akaike (AIC), e o critério de informação Bayesiano (BIC).

O avaliador matemático adotado neste trabalho foi o R-quadrado ajustado, que determina a extensão da variância da variável dependente que pode ser explicada pela variável independente. A especialidade do R-quadrado ajustado é que não leva em conta o impacto de todas as variáveis independentes, mas apenas aquelas que têm impacto na variação da variável dependente. A equação do Coeficiente de Determinação Ajustado (R^2_{aj}) utilizada encontra-se ilustrada abaixo:

$$R^2_{aj} = R^2 - \frac{(p-1)}{(n-p)} (1 - R^2) \quad \text{Equação 8}$$

Em que:

(n - p) = graus de liberdade;

n = número de observações;

p = número de coeficientes estimados.

Todas as análises foram realizadas nos softwares SigmaPlot 11 e SPSS13.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Germinação/emergência dos Acessos/Genótipos

Vadera, Pandya e Mehta, (2021) afirmam que aumentar a germinação das sementes e quebrar a dormência é o grande problema entre as plantas da família das Cucurbitaceae devido à presença do tegumento duro.

2872

Neste trabalho foi observado que as sementes começaram a emergir com 6 dias após a semeadura. Acesso 1 emergiu 6 plântulas, e o Acesso 2 emergiu 28 plântulas, respectivamente. Em ambos os Acessos havia presença somente das folhas cotiledonares.

Aos 14 dias após a semeadura, o Acesso 1 apresentou 17 recipientes com plântulas emergidas, e o Acesso 2 apresentou 81 recipientes com plântulas emergidas. Em ambos os Acessos havia a presença das folhas primárias nas plântulas (Figura 5).

Figura 5– Plântulas emergidas dos Acessos 1 (A) e no Acesso 2 (B), após 14 dias da semeadura, respectivamente.



Fonte: Arquivo pessoal dos autores

Foi realizado a ressemeadura do Acesso 1 utilizando quebra de dormência. O método mecânico aplicado foi um pequeno corte na extremidade oposta ao hilo da semente. Porém após 7 dias da ressemeadura observou-se a emergência somente de 15 plântulas. Depois apareceu mais 7 plântulas com heterogeneidade de dias entre as emergências.

Este resultado corrobora com Primak *et al.* (2017) ao avaliar diversos tipos de tratamentos (térmicos, mecânicos e químico) para quebra de dormência de sementes da bucha vegetal concluíram que nenhum tratamento utilizado por eles foi eficiente para superar a dormência natural das sementes de *Luffa Cylindrica L.* Ademais, considerando que a bucha é uma espécie muito sensível a salinidade. O incremento do nível salino na água de irrigação afeta significativamente a germinação e o desenvolvimento desta espécie, sendo observado redução a partir do nível salino $0,5 \text{ dS.m}^{-1}$. (GUIMARÃES, *et al.* 2013).

Entretanto, Ramos *et al.* (2023) afirmam que doses de 1,77 a 3 mL de Stimulate® por Litro de água destilada podem ser recomendadas para sementes de *Luffa Operculata*, pois promovem melhorias na primeira contagem de emergência, índice de velocidade de emergência, emergência, tempo médio de emergência, incerteza de emergência, número de folhas e comprimento de plântula.

Diante deste resultado inesperado os dados do Acesso 1 foram descartados para o ajuste dos modelos de crescimento (fator genético de dormência natural incompatível com os objetivos deste trabalho). Somente os dados do Acesso 2 foram utilizados neste trabalho pois, este se mostrou idôneo para as análises experimentais que se propôs no início do experimento.

Condução e desenvolvimento da morfologia das mudas do Acesso/Genótipo 2

A cultura da bucha vegetal pode ser irrigada por diferentes sistemas de irrigação. A escolha depende das condições de solo, clima, topografia, recurso hídrico disponível, além do nível econômico e tecnológico do produtor (MAROUELLI, DA SILVA e LOPES, 2013). Inicialmente para a condução das mudas foi utilizado a subirrigação, entretanto o substrato estava ficando muito úmido, foi observado também que as folhas apresentavam amarelecimento e definhamento, e que o sistema radicular estava extrapolando o recipiente das mudas (estiolamento através dos furos de drenagem) (Figura 6).

Figura 6– Folhas apresentando clorose (A); Raízes crescendo além do recipiente (B) e Raízes no interior do recipiente (C).



Fonte: Arquivo pessoal dos autores

Em decorrência dessas circunstâncias optou-se pela realocação dos recipientes sobre uma bancada metálica (21 dias após a sementeira), com a lâmina de água sendo disponibilizada através do uso de regadores, diariamente.

Após essa mudança foi notado com o passar dos dias que as folhas restabeleceram sua coloração e crescimento (Figura 7). Com esse novo sistema de condução, em específico para o substrato utilizado, observou-se melhoria na aeração da zona radicular promovendo assim aumento da troca gasosa.

2874

Figura 7– Realocação dos recipientes para o sistema de bancada metálica.



Fonte: Arquivo pessoal dos autores

Figura 8 – Presença de gavinhas com enrolamento (A); Aparecimento de botão floral (B).



Fonte: Arquivo pessoal dos autores

Verifica-se na Tabela 2 que somente 18 % da composição da muda é de sólidos totais, com média 77,14 % de sólidos voláteis (parte orgânica) e 22,86 % de sólidos fixos (parte inorgânica), em relação a composição elementar temos os seguintes resultados: teor de carbono em torno de 49,66 % (em geral da fotossíntese); teor de hidrogênio 5,97 % (em geral da água); e teor de oxigênio com 43,67 % (em geral da água e processo respiratório). O teor de água na composição das mudas ficou em torno de 82,45%, demonstrando a importância do manejo adequado da lâmina de água para a produção de mudas de qualidade (EMBRAPA, 2005). A área foliar de todas as leituras ficou em média com 26,84 cm², número de folhas médio entre 8 e 9. A temperatura média do ar durante o desenvolvimento das mudas ficou em torno de 28,28 °C, estando dentro da faixa ideal que é entre 22 e 35 °C (CARVALHO, 2007).

2875

Tabela 2 –Valores das médias e erros padrões das variáveis analisadas.

Variáveis	Abreviações	Unidade	Valor Médio	Erro padrão
Sólidos Totais	ST	dag.Kg ⁻¹ ou %	17,69	0,50
Sólidos Voláteis	SV	dag.Kg ⁻¹ ou %	77,14	0,46
Sólidos Fixos	SV	dag.Kg ⁻¹ ou %	22,86	0,46
Número de Folhas	N.Folhas	un	8,70	0,68
Comprimento do Ramo Principal	C.Ramos	cm	40,52	4,41
Diâmetro do Caule	D.Caule	mm	3,64	0,08
Massa Úmida	M.Úmida	g	7,14	0,59
Massa Seca	M.Seca	g	1,37	0,13
Área Foliar	A.Foliar	cm ²	26,84	1,20
Temperatura no Telado	T.Telado	°C	36,36	0,44
Umidade no Telado	U.Telado	%RH	34,79	0,90
Temperatura Média do Ar na Estação	T.Ar	°C	28,28	0,15
Teor de Água	T. Água	%	82,45	0,49
Teor de Carbono	T. Carbono	%	49,66	0,08
Teor de Hidrogênio	T. Hidrogênio	%	5,97	0,01
Teor de Oxigênio	T. Oxigênio	%	43,67	0,08

Correlações entre as variáveis analisadas

O Coeficiente de Correlação de Pearson é denominado também como Coeficiente de Correlação Produto-Momento ou r de Pearson. É caracterizado como teste estatístico que explora a intensidade e o sentido do comportamento mútuo entre variáveis, em que os valores do coeficiente podem variar entre -1 e 1 (MIOT, 2018). Dessa forma, o cálculo do Coeficiente de Correlação de Pearson serve para indicar o grau de correlação entre duas variáveis interdependentes.

Observamos na Tabela 3 que as correlações das variáveis, segundo a classificação de Parreira (2018), podem ser classificadas como: GDA e ST=0,829 (correlação positiva forte); GDA e SV = 0,150 (correlação positiva fraca); GDA e SF = -0,150 (correlação negativa fraca); GDA e N.Folhas = 0,947 (correlação positiva muito forte); GDA e C.Ramo = 0,900 (correlação positiva forte); GDA e D.Caule = 0,682 (correlação positiva forte); GDA e Á.Foliar = 0,728 (correlação positiva forte); GDA e T.Água = -0,749 (correlação negativa forte); ST e SV = 0,370 (correlação positiva moderada); ST e SF = -0,370 (correlação negativa moderada); ST e N.Folhas = 0,801 (correlação positiva forte); ST e C.Ramo = 0,813 (correlação positiva forte); ST e D.Caule = 0,494 (correlação positiva moderada); ST e Á.Foliar = 0,688 (correlação positiva forte); ST e T.Água = -0,935 (correlação negativa muito forte); SV e SF = -1,000 (correlação negativa perfeita); SV e N.Folhas = 0,230 (correlação positiva fraca); SV e C.Ramo = 0,367 (correlação positiva moderada); SV e D.Caule = 0,119 (correlação positiva fraca); SV e Á.Foliar = 0,183 (correlação positiva fraca); SV e T.Água = -0,381 (correlação negativa moderada); SF e N.Folhas = -0,230 (correlação negativa fraca); SF e C.Ramo = -0,367 (correlação negativa moderada); SF e D.Caule = -0,119 (correlação negativa fraca); SF e Á.Foliar = -0,183 (correlação negativa fraca); SF e T.Água = 0,381 (correlação positiva moderada); N.Folhas e C.Ramo = 0,957 (correlação positiva muito forte); N.Folhas e D.Caule = 0,707 (correlação positiva forte); N.Folhas e Á.Foliar = 0,809 (correlação positiva forte); N.Folhas e T.Água = -0,715 (correlação negativa forte); C.Ramo e D.Caule = 0,606 (correlação positiva forte); C.Ramo e Á.Foliar = 0,733 (correlação positiva forte); C.Ramo e T.Água = -0,741 (correlação negativa forte); D.Caule e Á.Foliar = 0,612 (correlação positiva forte); D.Caule e T.Água = -0,433 (correlação negativa moderada); Á.Foliar e T.Água = -0,620 (correlação negativa forte).

As duas correlações positivas que mais se destacaram foram: N.Folhas e C.Ramo = 0,957 (correlação muito forte), como esperado a tendência que o ramo principal vai crescendo

em comprimento o número de folhas aumenta; e, GDA e $N.Folhas = 0,947$ (correlação muito forte), com o acúmulo de energia fotoassimilada durante o desenvolvimento da muda há tendência de aumento do número de folhas, em virtude do crescimento exponencial até a capacidade suporte da muda (momento ideal para transplântio no campo). No que diz respeito as correlações negativas, as duas que mais sobressairam foram: SV e $SF = -1,000$ (correlação perfeita), no que concerne aos sólidos voláteis e aos sólidos fixos o aumento de um depende diretamente do decréscimo do outro, pois os sólidos totais são formados por massa orgânica (sólidos voláteis – presença de carbono na composição) e massa inorgânica (sólidos fixos – composição mineral) (MATOS, 2015), com isso já se esperava que a correlação fosse perfeita (dependência linear); e, ST e $T.Água = -0,935$ (correlação muito forte), como a estrutura vegetal é formada basicamente por água e sólidos totais, já se esperava que ouvesse uma correlação muito forte entre essas variáveis. Na Tabela 3 podemos destacar também que de todas as correlações entre o teor de água e outra variável, a única correlação que apresentou interfase positiva, foi: $T.Água$ e $SF = 0,381$ (correlação moderada), manifestando uma certa dependência de crescimento linear, ou seja, se o teor de água aumenta os sólidos fixos tendem a aumentar, isso em virtude que a água também atua como veículo de transporte de nutrientes minerais (parte inorgânica), que são absorvidos e conduzidos para a parte aérea das plantas (VILAR, 2021).

Tabela 3 - Valores do coeficiente de correlação de Pearson

Variável	GDA	ST	SV	SF	N.Folhas	C.Ramo	D.Caule	Á.Foliar	T.Água	M.Úmida	M.Seca	T.Carbono	T.Hidrogênio
ST	0,829	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SV	0,150	0,370	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SF	-0,150	-0,370	-1,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N.Folhas	0,947	0,801	0,230	-0,230	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C.Ramo	0,900	0,813	0,367	-0,367	0,957	-	-	-	-	-	-	-	-
D.Caule	0,682	0,494	0,119	-0,119	0,707	0,606	-	-	-	-	-	-	-
Á.Foliar	0,728	0,688	0,183	-0,183	0,809	0,733	0,612	-	-	-	-	-	-
T.Água	-0,749	-0,935	-0,381	0,381	-0,715	-0,741	-0,433	-0,620	-	-	-	-	-
M.Úmida	0,898	0,746	0,278	-0,278	0,970	0,955	0,717	0,805	-0,671	-	-	-	-
M.Seca	0,898	0,873	0,356	-0,356	0,957	0,966	0,630	0,806	-0,810	0,965	-	-	-
T.Carbono	-0,150	-0,370	-1,000	1,000	-0,230	-0,367	-0,119	-0,183	0,381	-0,278	-0,356	-	-
T.Hidrogênio	0,150	0,370	1,000	-1,000	0,230	0,367	0,119	0,183	-0,381	0,278	0,356	-1,000	-
T.Oxigênio	0,150	0,370	1,000	-1,000	0,230	0,367	0,119	0,183	-0,381	0,278	0,356	-1,000	1,000

O(s) par(es) de variáveis com coeficientes de correlação positivos tendem a aumentar junto. Para os pares com coeficientes de correlação negativos, uma variável tende adiminuir enquanto o outro aumenta. Para pares com coeficiente de correlação nulo($r = 0,000$), não há relação entre as duas variáveis analisadas

Existem diversas classificações semelhantes para interpretar a magnitude do coeficiente de correlação de Pearson (r), todavia foi adotado neste trabalho a classificação elaborada por CALLEGARI-JACQUES (2009), no qual:

$0 \leq r \leq 0,1 $	Nula
$ 0,1 < r \leq 0,3 $	Fraca
$ 0,3 < r \leq 0,6 $	Moderada
$ 0,6 < r \leq 0,9 $	Forte
$ 0,9 < r < 1 $	Muito Forte
$r = 1$	Perfeita

Modelos matemáticos com curvas sigmóides ajustadas para N.Folhas versus GDA

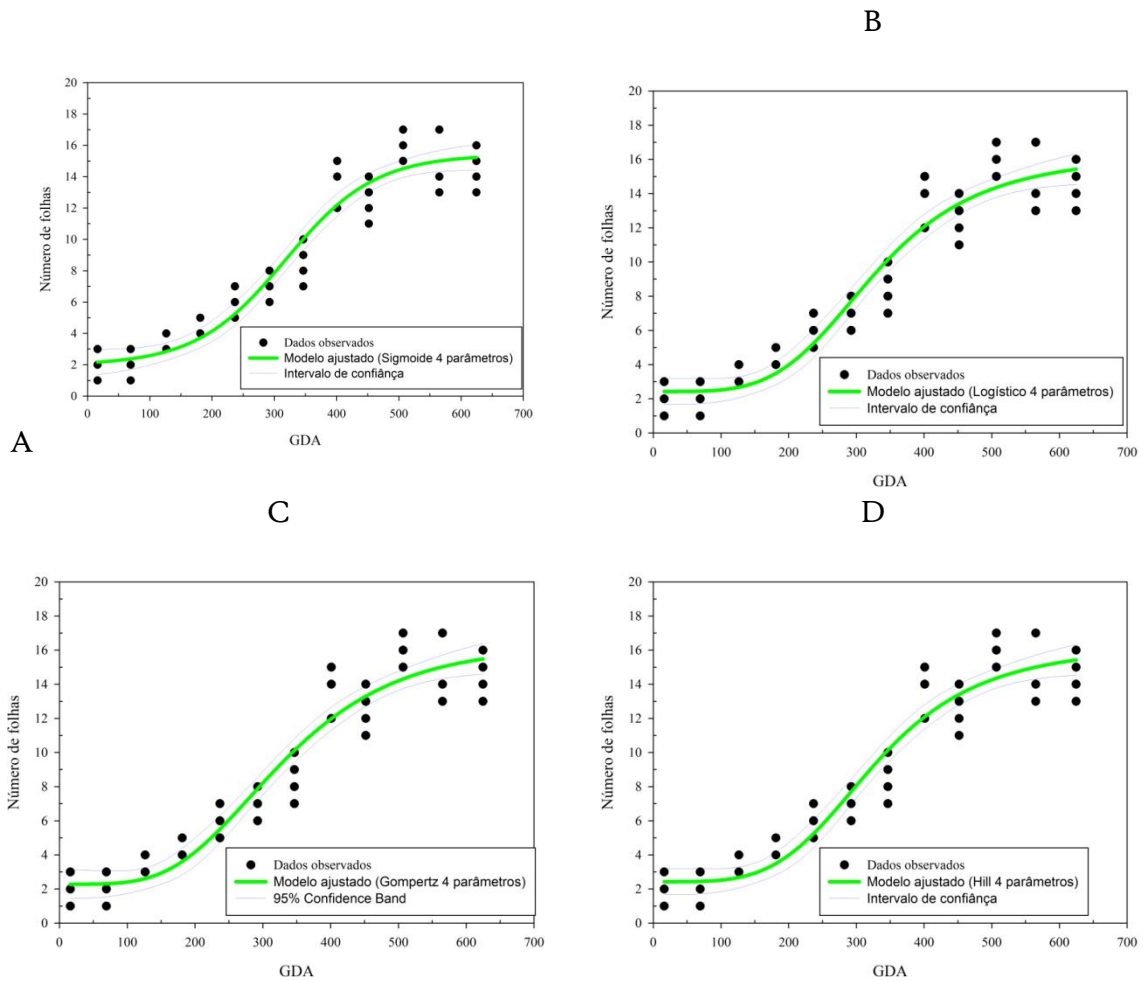
Na tabela 5 observa-se que todos os cinco modelos sigmóides tiveram ajustes significativos, de acordo com o R² ajustado (coeficiente de determinação ajustado), com valor no mínimo de 0,929 de R² ajustado, com destaque para o “Modelo Sigmoidal 4 parâmetros” com 0,937 de R² ajustado, demonstrando que esse modelo foi o que melhor se ajustou em função dos graus-dia acumulados (°C) versus número de folhas na planta. Novamente o único parâmetro do modelo de regressão que foi pouco significativo com observação no P valor, foi o parâmetro “c” do modelo de Chapman 4 parâmetros, com P valor = 0,0352, implicando num erro padrão de 4,661 (erro significativo). Verifica-se na Figura 9 um excelente comportamento sigmóide nos modelos (forma de “S”), com crescimento inicial mais lento seguido de crescimento exponencial com estabilidade na fase de capacidade suporte (final do ciclo de muda).

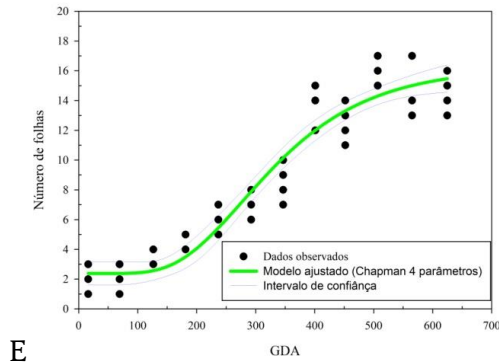
Tabela 5 -Parâmetros dos **modelos matemáticos com curvas sigmóides** ajustadas Número de folhas na planta. verso os Graus Dia Acumulados – GDA (°C)

Modelo Sigmoidal 4 parâmetros					
Equação do modelo	Parâmetro do modelo de regressão	Valor ajustado	Erro padrão	P valor	R ² ajustado
$y = y_0 + \frac{a}{1 + e^{-\left(\frac{x-x_0}{b}\right)}}$	a	13,443	0,832	<0,0001	0,937
	b	71,763	11,007	<0,0001	
	x ₀	318,036	11,093	<0,0001	
	y ₀	1,971	0,502	0,0002	
Modelo Logístico 4 parâmetros					
Equação do modelo	Parâmetro do modelo de regressão	Valor ajustado	Erro padrão	P valor	R ² ajustado
$y = y_0 + \frac{a}{1 + \left(\frac{x}{x_0}\right)^b}$	a	13,894	1,084	<0,0001	0,931
	b	-4,168	0,709	<0,0001	
	x ₀	328,839	15,187	<0,0001	
	y ₀	2,426	0,378	<0,0001	
Modelos de Gompertz 4 parâmetros					
Equação do modelo	Parâmetro do modelo de regressão	Valor ajustado	Erro padrão	P valor	R ² ajustado
$y = y_0 + ae^{-e^{-\left(\frac{x-x_0}{b}\right)}}$	a	13,941	0,986	<0,0001	0,930
	b	117,744	19,143	<0,0001	
	x ₀	281,595	12,521	<0,0001	
	y ₀	2,279	0,416	<0,0001	
Modelo de Hill 4 parâmetros					
Equação do modelo	Parâmetro do modelo de regressão	Valor ajustado	Erro padrão	P valor	R ² ajustado

$y = y_0 + \frac{ax^b}{c^b + x^b}$	a	13,894	1,084	<0,0001	0,931
	b	4,168	0,709	<0,0001	
	c	328,839	15,187	<0,0001	
	y ₀	2,426	0,378	<0,0001	
Modelos Chapman 4 parâmetros					
Equação do modelo	Parâmetro do modelo de regressão	Valor ajustado	Erro padrão	P valor	R ² ajustado
$y = y_0 + a(1 - e^{-bx})^c$	a	13,831	1,009	<0,0001	0,929
	b	0,008	0,002	<0,0001	
	c	10,058	4,661	0,0352	
	y ₀	2,385	0,389	<0,0001	

Figura 9-Representação gráfica dos **modelos matemáticos com curvas sigmóides** ajustadas Número de folhas na planta versos os Graus Dia Acumulados - GDA (°C). A) Sigmoide 4 parâmetros; B) Logístico 4 parâmetros; C) Gompertz 4 parâmetros; D) Hill 4 parâmetros; E) Chapman 4 parâmetros.





E

Fonte: Arquivo pessoal dos autores

Modelos matemáticos com curvas sigmóides ajustadas para M.Seca versus GDA

Na tabela 4 observa-se que todos os cinco modelos sigmóides tiveram ajustes significativos, de acordo com o R^2 ajustado (coeficiente de determinação ajustado), com valor no mínimo de 0,858 de R^2 ajustado, com destaque para o “Modelo Sigmoide 4 parâmetros” com 0,870 de R^2 ajustado, demonstrando que esse modelo foi o que melhor se ajustou em função dos graus-dia acumulados ($^{\circ}\text{C}$) versus massa seca da planta (g). O único parâmetro do modelo de regressão que foi pouco significativo com observação no P valor, foi o parâmetro “c” do modelo de Chapman 4 parâmetros, com P valor = 0,4119, implicando num erro padrão de 127,516 (erro significativo). Verifica-se na Figura 10 um excelente comportamento sigmóide nos modelos (forma de “S”), com crescimento inicial mais lento seguido de crescimento exponencial com estabilidade na fase de capacidade suporte (final do ciclo de muda)

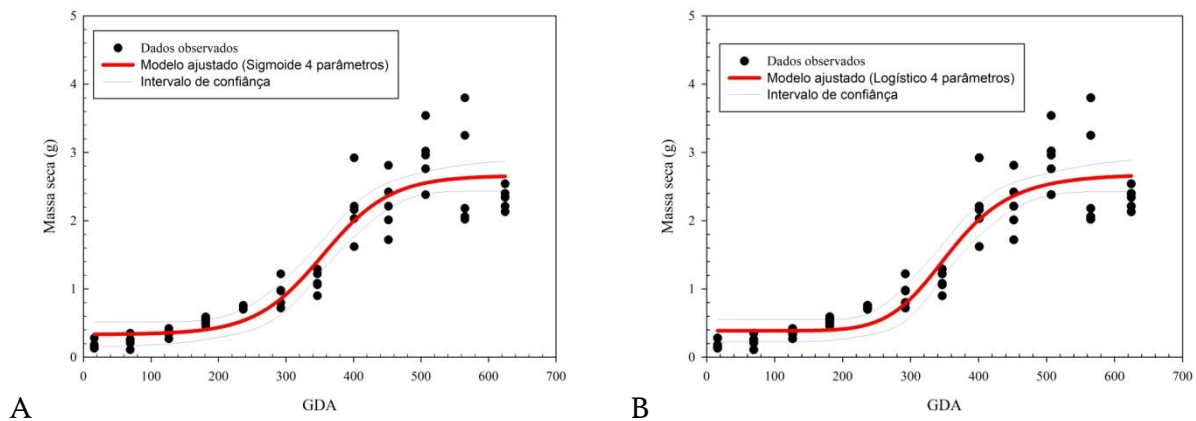
2882

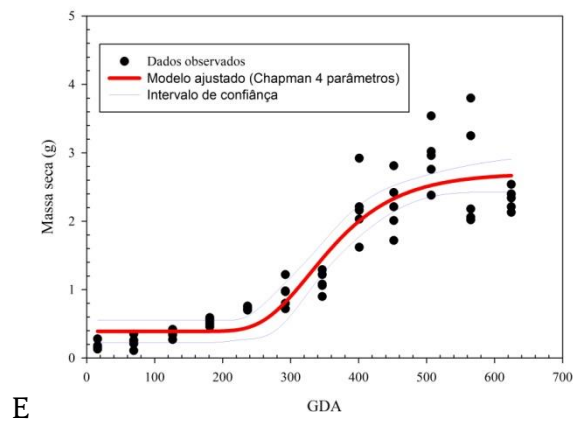
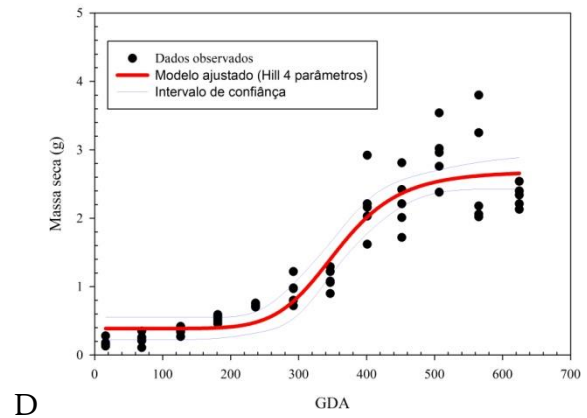
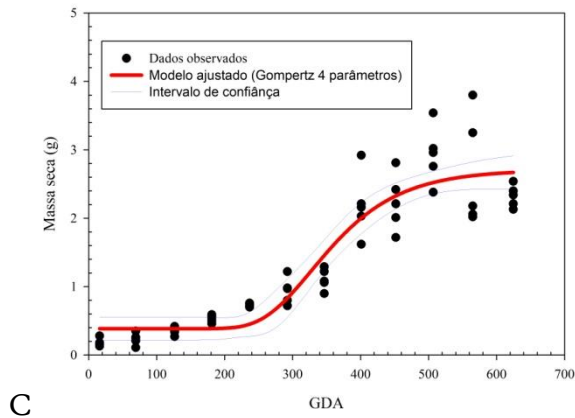
Tabela 4 - Parâmetros dos **modelos matemáticos com curvas sigmóides** ajustadas Massa Seca da planta (g) versus Graus Dia Acumulados – GDA ($^{\circ}\text{C}$).

Modelo Sigmoide 4 parâmetros					
Equação do modelo	Parâmetro do modelo de regressão	Valor ajustado	Erro padrão	P valor	R^2 ajustado
$y = y_0 + \frac{a}{1 + e^{-\left(\frac{x-x_0}{b}\right)}}$	a	2,327	0,165	<0,0001	0,870
	b	50,195	11,313	<0,0001	
	x_0	354,604	12,561	<0,0001	
	y_0	0,332	0,093	0,0007	
Modelo Logístico 4 parâmetros					
Equação do modelo	Parâmetro do modelo de regressão	Valor ajustado	Erro padrão	P valor	R^2 ajustado

$y = y_0 + \frac{a}{1 + \left(\frac{x}{x_0}\right)^b}$	a	2,298	0,174	<0,0001	0,864
	b	7,754	1,920	0,0002	
	x_0	357,382	12,634	<0,0001	
	y_0	0,387	0,082	<0,0001	
Modelos de Gompertz 4 parâmetros					
Equação do modelo	Parâmetro do modelo de regressão	Valor ajustado	Erro padrão	P valor	R ² ajustado
$y = y_0 + ae^{-e^{-\left(\frac{x-x_0}{b}\right)}}$	a	2,321	0,182	<0,0001	0,858
	b	71,842	17,918	0,0002	
	x_0	328,264	12,541	<0,0001	
	y_0	0,386	0,084	<0,0001	
Modelo de Hill 4 parâmetros					
Equação do modelo	Parâmetro do modelo de regressão	Valor ajustado	Erro padrão	P valor	R ² ajustado
$y = y_0 + \frac{ax^b}{c^b + x^b}$	a	2,298	0,174	<0,0001	0,864
	b	7,754	1,920	0,0002	
	c	357,382	12,634	<0,0001	
	y_0	0,387	0,082	<0,0001	
Modelos Chapman 4 parâmetros					
Equação do modelo	Parâmetro do modelo de regressão	Valor ajustado	Erro padrão	P valor	R ² ajustado
$y = y_0 + a(1 - e^{-bx})^c$	a	2,311	0,180	<0,0001	0,858
	b	0,014	0,004	0,0003	
	c	105,426	127,516	0,4119	
	y_0	0,390	0,083	<0,0001	

Figuraio - Representação gráfica dos **modelos matemáticos com curvas sigmóides** ajustadas Massa Seca da planta (g) versus Graus Dia Acumulados – GDA (°C): A) Sigmoide 4 parâmetros; B) Logístico 4 parâmetros; C) Gompertz 4 parâmetros; D) Hill 4 parâmetros; E) Chapman 4 parâmetros. Fonte: Arquivo pessoal dos autores





O melhor modelo ajustado neste trabalho divergiu dos propostos por Azarias *et al.* (2023a e 2023b)

CONCLUSÕES

Dos cinco modelos matemáticos ajustados (Sigmoide, Logístico, Gompertz, Hill e Chapman) o que apresentou melhor ajuste aos dados foi o Modelo Sigmoide 4 parâmetros, cujo o R^2 ajustado (coeficiente de determinação ajustados) foi de 0,94, para variável dependente - Número de folhas, e 0,87, para variável dependente - Massa seca (g). Este resultado demonstra a alta correlação linear positiva dessas variáveis dependentes com o GDA. O maior crescimento relativo seguido de estabilidade dos valores do número de folhas e massa seca foi alcançada a 346,60 °C de GDA neste modelo, respectivamente.

As mudas de bucha vegetal avaliadas, neste trabalho, apresentaram em média: 8,7 folhas por planta, 26,84 cm² de área foliar cada folha, 3,64 mm de diâmetro de caule e 40,52 cm de comprimento do ramo principal e 82,45% de teor de água, respectivamente.

Ademais, foi possível concluir que é de suma importância efetuar uma boa quebra de dormência das sementes de bucha vegetal e que o sistema de subirrigação controla bem o ataque das formigas cortadeiras. Embora, se mal manejado (lâmina d'água alta) possa contribuir para o aparecimento de clorose foliar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZARIAS, E.C.P.; SALVADOR, R.C., SILVA, E.M.; MUNIZ, J.A.; MACHADO, L.E.M. **Descrição das curvas de germinação de plantas daninhas em diferentes temperaturas por modelos não lineares.** In: Sigmae, Alfenas, v.12, n.3, p. 1-9. 2023a. 67^a Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria (RBras) e 20^o Simpósio de Estatística Aplicada à Experimentação Agronômica (SEAGRO). ISSN: 2317-0840

AZARIAS, E.C.P.; GONZAGA, N.A; MACHADO, L.E.M.; MUNIZ, J.A.; SILVA, E.M. Uso dos modelos Von Bertalanffy e Logístico na descrição do acúmulo de massa seca das plantas daninhas *Amaranthus Retroflexus* e *Amaranthus Hybridus*. **Revista Foco.** Curitiba (PR). v.16.n.7 e2342. p.01-17. 2023b

CALLEGARI-JACQUES, S.M. **Bioestatística: princípios e aplicações.** Artmed Editora, 2009, 253 páginas

CARMO, V.M.S. **Modelos Sigmoidais e Suas Aplicações.** 2022. 57 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Araraquara, 2022.

2885

CARVALHO, J.D.V. **DOSSIÊ TÉCNICO:** cultivo de bucha vegetal. Brasília: Centro de Apoio Ao Desenvolvimento Tecnológico da Universidade de Brasília – Cdt/Unb, 2007. 18 p.

DA SILVA, E.M.; TADEU, M.H.; DA SILVA, E.M.; PIO, R; FERNANDES, T.J; MUNIZ, J.A. Adjustment of mixed nonlinear models on Blackberry fruit growth. **Rev. Bras. Frutic.**, v.45, e-665 DOI: <https://dx.doi.org/10.1590/0100-29452023665>

FERNANDES, J.G.; DA SILVA, E.M.; GONZAGA, N.A.; AZARIAS, E.C.P.; SILVA, E.M.; FERNANDES, T.J.; MUNIZ, J.A. (2023). Avaliação de modelos não lineares na descrição da curva de crescimento do fruto de pessegueiro “aurora 1”. **Revista Foco**, 16(9), e2993. <https://doi.org/10.54751/revistafoco.v16n9-174>

GAONA, R.C. **Modelagem da composição química do leite através de indicadores metabólicos em vacas leiteiras de alta produção.** 2006. 114 f. Tese (Doutorado) - Curso de Veterinária, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

GUIMARÃES, I.P.; PEREIRA, F.E.C.B.; DA SILVA, F.G.; DE ARAÚJO, M. D.; SOUZA, P.S.L. Emergência e desenvolvimento de bucha (*Luffa Cylindrica Roemer*) submetida a diferentes níveis de salinidade. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, N.16; p. 2013

MACHADO, L.E.M.; GONZAGA, N.A.; AZARIAS, E.C.P.; MUNIZ, J.A.; SILVA, E.M. (2023). Ajuste de modelos não lineares para descrever a germinação de sementes de *brachiaria brizantha* cv. Marandu. **Revista Foco**, 16(6), e2221. <https://doi.org/10.54751/revistafoco.v16n6-052>

MAIA, V.R.O.; COSTA FILHO, J.H.; FERREIRA, M.S.; CARVALHO, N.F.O.; SILVA, S.C.A.; DIAS, M.E.M. Caracterização morfoagronômica de acessos de bucha vegetal (*Luffa* spp.). **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 8, n. 4, p. 132-145, 30 out. 2019.

MARQUELLI, W.A.; DA SILVA, H.R., LOPES, J.F. Circular técnica 116 - **Irrigação na cultura da bucha vegetal**. Brasília, DF Março, 2013. ISSN 1415-3033

MATOS, A.T. **Manual de Análise de Resíduos Sólidos e Águas Residuárias**. Viçosa: Ufv, 2015. 149 p.

MELO JÚNIOR, J.C.F; LIMA, A.M.N.; CAVALCANTE, Í.H.L.. Ajuste do modelo expolinear para o crescimento de mudas de mamoeiro cultivadas em Petrolina, PE. **In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA - CONBEA**, 44., 2015, Petrolina - Pe.**CONBEA**. São Pedro - Sp, 2015. p. 1-4.

MIOT, H.A. Correlation analysis in clinical and experimental studies. **Jornal Vascular Brasileiro**, Botucatu, v. 17, n. 4, out-dez. 2018.

OLIVEIRA, J.L. **Potencial energético da gaseificação de resíduos da produção de café e eucalipto**. Dissertação de mestrado em Engenharia Agrícola Universidade Federal de Viçosa 2010

PARIKH L, C.S.A.; GHOSAL G.K.. A correlation for calculating elemental composition from proximate analysis of biomass materials. **Fuel**, V.86, p. 1710-1719. 2007

PARIKH L, C.S.A., GHOSAL, G.K. A correlation for calculating HHV from proximate analysis of solid fuels. **Fuel**, V.84, p. 487-494. 2005

PRIMAK, T.K.; PRAZERES, J.S.; DA ROSA, J.; BONOME, L.T.S. Tratamentos para quebra de dormência de sementes da bucha vegetal (*Luffa Cylindrica*). **In: Anais do SEPE – Seminário de Ensino Pesquisa e Extensão da UFFS**. Vol VII (2017). ISSN 2317-7489

RAMOS, M.G.C.; DA SILVA, E.E.; MELO JUNIOR, J.L.A.; MELO, L.D.F.A. Sementes de bucha vegetal submetidas à bioestimulante. **Revista Biotemas**, 36 (1), janeiro de 2023

SIQUEIRA, R.G.; SANTOS, R.H.S.; MARTINEZ, H.E.P.; CECON, P.R. Crescimento, produção e acúmulo de nutrientes em *Luffa Cylindrica* M. Roem. **Rev. Ceres**, Viçosa, v. 56, n.5, p. 685-696, set/out, 2009

SOUZA, L.S.B.; MOURA, M.S.B.; SILVA, T.G.F.; SOARES, J.M.; SANTOS, W.S. Ajuste do modelo de crescimento expolinear para o feijão caupi no semiárido brasileiro. **In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA**, 15., 2007, Aracaju. p. 1-5.

VADERA, H.R., PANDYA, J.B., MEHTA, S.K. Developmental changes in seedlings of *Luffa Cylindrica* M. Roem. and *Momordica Charantia* L. due to the seed germination treatments. **Asian Journal of Plant and Soil Sciences**. 6(2): 23-36, 2021

VELOSO, R.C.; WINKELSTROTER, L.K.; SILVA, M.T.P.; PIRES, A.V.; TORRES FILHO, R.A.; PINHEIRO, S.R.F.; COSTA L.S.; AMARAL, J.M. Seleção e classificação multivariada de modelos não lineares para frangos de corte. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v.68, n.1, p.191-200, 2016

VILAR, D. **A Importância da Água para as Plantas**. 2021. Disponível em: <https://agronline.com.br/portal/artigo/a-importancia-da-agua-para-as-plantas/#:~:text=A%20%C3%A1gua%20atua%2C%20tamb%C3%A9m%2C%20comoTAIZ%3B%20Z%20EIGER%2C%202002>. Acessado em 12/04/2024

VILAS BÔAS, I.A.; FERNANDES, F.A.; FERNANDES, T.J.; MUNIZ, J.A. Study of dry matter accumulation in maize hybrids using nonlinear models. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.58, e03077, 2023. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2023.v58.o3077>