

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

**Valeria Pohlmann**

**TRANSPIRAÇÃO, MODELAGEM DO CRESCIMENTO E TAMANHO  
DE AMOSTRA PARA FEIJÃO COMUM SOB DEFICIT HÍDRICO NO  
SOLO**

Santa Maria, RS

2021

**Valeria Pohlmann**

**TRANSPIRAÇÃO, MODELAGEM DO CRESCIMENTO E TAMANHO  
DE AMOSTRA PARA FEIJÃO COMUM SOB DEFICIT HÍDRICO NO  
SOLO**

Dissertação apresentada ao 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 em **Mestre em Agronomia**.

Orientador: Prof. Dr. Sidinei José Lopes

Santa Maria, RS

2021

Pohlmann, Valeria

Transpiração, modelagem do crescimento e tamanho de amostra para feijão comum sob deficit hídrico no solo / Valeria Pohlmann.- 2021.

149 p.; 30 cm

Orientador: Sidinei José Lopes  
Coorientadora: Isabel Lago

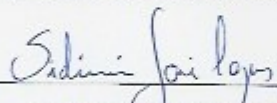
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós Graduação em Agronomia, RS, 2021

1. Phaseolus vulgaris 2. FATS crítica 3. Modelos de crescimento 4. Amostragem 5. Comprimento do folíolo I.Lopes, Sidinei José II. Lago, Isabel III. Título.

**TRANSPIRAÇÃO, MODELAGEM DO CRESCIMENTO E  
TAMANHO DE AMOSTRA PARA FEIJÃO COMUM SOB DEFICIT  
HÍDRICO NO SOLO**

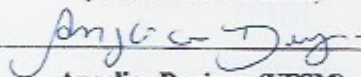
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau em **Mestre em Agronomia**.

**Aprovado em 19 de fevereiro de 2021:**



**Sidinei José Lopes, Dr. (UFSM)**

(Presidente/Orientador)



**Angelica Durigon (UFSM)**



**Marcondes Lazzari (UERGS)**

Santa Maria. RS

2021

## DEDICATÓRIA

*Aos meus pais Sergio Valdir Pohlmann e Nelci Olga Pohlmann por todo o apoio, incentivo e amor.*

*Aos meus orientadores Sidinei José Lopes e Isabel Lago por toda a ajuda em tornar esse sonho possível.*

## AGRADECIMENTOS

*A minha família, em especial aos meus pais, Sergio e Nelci, que me passaram o amor pela agricultura, sempre me apoiando nos estudos e me ensinando a ser forte para superar todos os obstáculos. Agradeço também as minhas irmãs Vanessa e Valquíria por toda a força, paciência e carinho demonstrado ao longo dessa trajetória. A todos que torceram e me ajudaram, muito obrigada!*

*Aos meus orientadores, professores Dr. Sidinei José Lopes e Dra. Isabel Lago, pelas orientações, ensinamentos e conselhos durante o mestrado, e também por toda paciência, compreensão e flexibilidade. Muito obrigada por tornarem possível esse meu sonho de ser mestra e avançar no conhecimento!*

*Aos colegas de trabalho do grupo de pesquisa em Agrometeorologia e Ecofisiologia de Espécies de Interesse Agrícola, Patrícia e Menigui, que me ajudaram e me apoiaram em muitos momentos! Agradecimento especial a minha amiga Jessica Martins por toda irmandade, companheirismo, apoio e conselhos que vão se estender para além da Pós-Graduação, muito obrigada por todos os ensinamentos acadêmicos e de vida!*

*Aos colegas de trabalho do grupo de pesquisa em Experimentação Vegetal, Pâmela, André e Caren Müller pelos ensinamentos e auxílio!*

*A equipe FieldCrops pela ajuda na condução dos experimentos e, em especial ao coordenador professor Dr. Alencar Junior Zanon por todos os ensinamentos e incentivo durante a pesquisa!*

*Ao Laboratório de Agrometeorologia aplicada (AgroLab), em especial a professora Angelica Durigon, que além de disponibilizar espaço físico para as avaliações, ainda me auxiliou na ideia e condução dos experimentos. Agradecimento especial também aos integrantes Fernando, Leonardo e Gabriel, cuja ajuda e amizade foram essenciais para a condução dos experimentos. Agradeço ao meu amigo Diego, por todo o auxílio nas análises dos experimentos e incansável ajuda na análise e escrita dos artigos científicos, muito obrigada pela amizade sincera de muitas risadas!*

*Ao Grupo de Agrometeorologia por todo o suporte para a realização dos experimentos!*

*Agradeço minha amiga Caren da Rosa e ao meu amigo Luiz, que me ajudaram na condução dos experimentos com toda alegria e disposição, com muita troca de conhecimento, meu muito obrigada!*

*As amigas Maiara, Liliane e Milena por toda a ajuda e companheirismo! A Jessica Maciel, Evandro, Bruno, Felipe, Rodrigo e Moises, eternamente grata por todo o apoio e carinho compartilhado em toda jornada!*

*Ao universo pela oportunidade de vivenciar toda essa trajetória e aos meus filhos de quatro patas por todo o amor e paz!*

*Gratidão eterna aos meus pais, Vanessa, Luciano, Lavínia, Diego, Caren da Rosa e David, alicerces que possibilitaram a continuidade nas análises em meio a pandemia de COVID-19. São nos momentos difíceis que as verdadeiras amizades afloram.*

*A Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO) e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) pelo fornecimento das cultivares estudadas.*

*Aos avaliadores desta dissertação, professores Isabel Lago e Marcondes Lazzari, agradeço imensamente pelas contribuições a fim de aprimorar essa pesquisa!*

*A todos os funcionários do Departamento de Fitotecnia da UFSM pelo auxílio para realização dos experimentos.*

*A Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia pela oportunidade do curso de mestrado.*

*A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de mestrado.*

*A todos que de alguma forma contribuíram para a realização desta dissertação, o meu sincero agradecimento.*

**Muito obrigada!**

*“Um pingo de chuva, um dia, se transformará em chuvisco. ”*

*(Ana Maria Primavesi)*



## RESUMO

# TRANSPIRAÇÃO, MODELAGEM DO CRESCIMENTO E TAMANHO DE AMOSTRA PARA FEIJÃO COMUM SOB DEFICIT HÍDRICO NO SOLO

AUTORA: Valeria Pohlmann

ORIENTADOR: Sidinei José Lopes

O objetivo dessa pesquisa foi modelar o crescimento e avaliar a resposta em transpiração, crescimento e produtividade de genótipos de feijão em condições de deficit hídrico no solo. Foram conduzidos dois experimentos, experimento 1 (EI) de safra (agosto-dezembro de 2019) e experimento 2 (EII) de safrinha (janeiro-abril de 2020). Os experimentos foram conduzidos em vasos com capacidade de 8 L, em casa de vegetação, no delineamento inteiramente casualizado. Cada experimento foi um bifatorial (cultivares: Triunfo, Garapiá e FC104; condição hídrica: irrigado e não irrigado). O deficit hídrico foi imposto em R5 para todas as cultivares no EI e para as cultivares Triunfo e Garapiá no EII, na FC104 foi imposta em V4 no EII. O deficit hídrico foi imposto através da metodologia da fração de água transpirável do solo (FATS), em que as plantas foram mantidas nessas condições hídricas até as plantas não irrigadas atingirem 10% da transpiração relativa das plantas irrigadas, quando foram novamente mantidas na capacidade de campo até a colheita. Essa metodologia foi conduzida para determinar a FATS crítica (FATSc) de cada cultivar a fim de selecionar genótipos tolerantes ao deficit hídrico. Quinzenalmente foram coletadas três plantas de cada tratamento para avaliações morfológicas de parte aérea e raiz (estatura, diâmetro da haste, número de nós, comprimento da raiz, massa seca da parte aérea e raízes e massa seca dos nódulos) a fim de ajustar curvas de crescimento logística e chanter em função da soma térmica acumulada. Com esses dados, mais dados de massa fresca da parte aérea e raízes, número de nódulos, massa fresca dos nódulos e área foliar, além, das curvas de crescimento, foi determinado o número de amostras necessárias para estimar a média de cada caractere em diferentes níveis de amplitude do intervalo de confiança. Também foram determinadas equações para estimar a área foliar do feijoeiro a partir das medidas lineares do folíolo central do trifólio, para isso foram coletados 523 trifólios ao longo do EI, e as equações validadas com 20 trifólios de cada tratamento do EII. Comparando as cultivares Triunfo e Garapiá, esta apresentou tolerância ao deficit hídrico, com maior valor de FATSc no EI (0,36) e EII (0,17), entretanto, no EI, de baixa demanda evaporativa da atmosfera, ambas as cultivares apresentaram a mesma produtividade, enquanto no EII, de alta demanda evaporativa da atmosfera, a Garapiá apresentou maior produtividade. A FC104 apresentou comportamento intermediário quando sofreu deficit hídrico em R5 e tolerância quando em V4, demonstrando a potencialidade de utilizar essa cultivar supreprecoce como alternativa produtiva. Entre os modelos, o logístico é o indicado para demonstrar o crescimento do feijoeiro e não foi possível determinar um modelo geral, pois as cultivares, condições hídricas e experimentos apresentaram comportamento distinto. O tamanho da amostra é diferente entre os caracteres e entre as cultivares e condições hídricas utilizadas. Para avaliar todos os caracteres analisados a uma amplitude do intervalo de confiança de 95% até 40% são necessárias 132 plantas. A equação geral  $AF = 1,092C^{1,945}$  pode ser utilizada nas condições testadas sem perda na precisão para estimar a área foliar em feijoeiro.

**Palavras-chave:** *Phaseolus vulgaris*. FATS crítica. Modelos de crescimento. Amostragem. Comprimento do folíolo.

## ABSTRACT

### TRANSPIRATION, GROWTH MODELING AND SAMPLE SIZE FOR COMMON BEANS UNDER SOIL WATER DEFICIT

AUTHOR: Valeria Pohlmann

ADVISER: Sidinei José Lopes

The research aims to model growth and evaluate the response in transpiration, growth, and productivity of bean genotypes under soil water deficit conditions. Two experiments were carried out, experiment 1 (EI) August-December 2019 season, and experiment 2 (EII) January-April 2020 fallow season. The experiments were conducted in a greenhouse in pots with an 8 L capacity within a completely randomized design. Each experiment was bifactorial (cultivars: Triunfo, Garapiá, and FC104; water condition: irrigated and non-irrigated). The water deficit was forced in R5 for all cultivars in EI and Triunfo and Garapiá in EII, and for EII was imposed in V4 for FC104. The fraction of transpirable soil water (FTSW) methodology was used, in which plants were kept in these water conditions until non-irrigated plants reached 10% of the relative transpiration of the irrigated plants when they were again maintained in field capacity until harvest. This methodology was conducted to determine the critical FTSW (FTSW<sub>c</sub>) of each cultivar to select tolerant water deficit genotypes. Three plants from each treatment were collected biweekly for the aerial part and root morphological evaluations (height stem diameter, number of nodes, root length, dry mass of the aerial part and roots and dry mass of the nodules) in order to adjust logistic growth curves and chanter as a function of the accumulated thermal sum. With these data, more data of fresh mass of the aerial part and roots, number of nodules, fresh mass of the nodules and leaf area, in addition to the growth curves, the number of samples needed to estimate the mean of each character at different levels of amplitude of the confidence interval was determined. Equations were also determined to estimate bean leaf area from the linear measurements of the central leaflet of the trefoil, for which 523 trifoliate trees were collected along with the EI, and the equations validated with 20 trifoliums from each treatment of the EII. Comparing the cultivars Triunfo and Garapiá, it showed tolerance to water deficit, with a higher FTSW<sub>c</sub> value in EI (0.36) and EII (0.17), nevertheless, in EI, with low atmosphere evaporative demand, both cultivars presented the same productivity, while in the EII, with high atmosphere evaporative demand, Garapiá showed higher productivity. FC104 showed intermediate behavior when it suffered water deficit in R5 and tolerance when in V4, demonstrating the potential of using this super early cultivar as a productive alternative. Between the models, the logistic one is the one indicated to demonstrate the growth of the common bean and it was not possible to determine a general model, because the cultivars, water conditions, and experiments presented different behavior. The sample size is different between characters and between cultivars and water conditions used. To evaluate all the characters analyzed within a 95% confidence interval of up to 40%, 132 plants are required. The general equation  $LA = 1.092L^{1.945}$  can be used in tested conditions without precision loss to estimate common bean leaf area.

**Keywords:** *Phaseolus vulgaris*. Critical FTWS. Growth models. Sampling. Leaflet length.

## LISTA DE FIGURAS

### REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

- Figura 1 - (A) Floração da cultivar Triunfo, (B) da cultivar Garapiá, (C) e da cultivar FC104, (D). Grãos da cultivar Triunfo, (E), da cultivar Garapiá, (F) e da cultivar FC104...22
- Figura 2 - Representação dos três estágios de hidratação das plantas associados à redução da umidade no solo.....26

### CAPÍTULO 1

- Figura 1 - Medidas lineares, comprimento e largura de uma folha de *Phaseolus vulgaris*.....45
- Figura 2 - Área foliar estimada pelas equações (cm<sup>2</sup>) gerais de potência C ( $AF = 1,092 * C^{1,945}$ ) e quadrática C ( $AF = 0,932 * C^2 + 0,376 * C$ ) (A) e as específicas de melhor desempenho (B) para as cultivares Triunfo, Garapiá e FC104 nas condições hídricas irrigado e não irrigado. As equações específicas ajustadas em cada situação estão na Tabela 2. A linha central representa a relação 1:1.....46
- Figura 3 - Modelo potência da área foliar do trifólio (três folíolos) (y) de feijão comum (*Phaseolus vulgaris*), obtida por meio de fotos digitais em função do comprimento máximo do folíolo central (x). .....53

### CAPÍTULO 2

- Figura 1 - Transpiração relativa normalizada (NTR) em função da fração de água transpirável no solo (FWTS) para as cultivares Triunfo (A, D), Garapiá (B, E) e FC104 (C, F) no EI (A, B, C) e EII (D, E, F). A FATSc corresponde ao valor de TRN = 0,95 estimado pela equação logística apresentada em cada gráfico.....71
- Figura 2 - Temperatura foliar (A) e consumo de água (B) das cultivares Triunfo, Garapiá e FC104 em sistema irrigado (I) e não irrigado (NI) em dois experimentos. Letras minúsculas diferem significativamente nos regimes hídricos; Letras maiúsculas diferem significativamente entre cultivares; NS=não significativo por Scott Knott a 0,05 de probabilidade de erro.....72

### CAPÍTULO 3

- Figura 1 - Modelo logístico para diâmetro da haste (cm planta<sup>-1</sup>) (A), número de nós (unidade) (B), matéria seca da parte aérea (g planta<sup>-1</sup>) (C), matéria seca da raiz (g planta<sup>-1</sup>) (D) em função da soma térmica acumulada para a cultivar Triunfo Irrigada no experimento 1.....109

## LISTA DE TABELAS

### REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

Tabela 1 - Escala fenológica do feijoeiro..... 21

### CAPÍTULO 1

Tabela 1 - Tamanho de amostra em número de trifólios para estimação da média de área foliar nas cultivares de feijão Triunfo, Garapiá e FC104 na condição irrigada (I) e não irrigada (NI) para as amplitudes do intervalo de confiança menor que 10, 15, 20, 25, 30, 35 e 40 % da estimativa da média para o método de fotos digitais por ImageJ® e dos discos foliares.....47

Tabela 2 - Equações, coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e coeficiente de determinação ajustado ( $R^2a$ ) obtidos a partir da relação entre a área da folha de feijão e suas dimensões lineares comprimento (C), largura (L) e o produto comprimento vezes largura (CL) como variáveis independentes ( $X_i$ ), para as cultivares de feijão Triunfo, Garapiá e FC104 em dois regimes hídricos..... 48

Tabela 3 - Estatísticas do desempenho dos modelos empíricos de estimativa da área da folha (AF) de feijão a partir de suas dimensões lineares comprimento (C), largura (L) e o produto comprimento vezes largura (CL), com dados independentes..... 51

### CAPÍTULO 2

Tabela 1 - Estatura, diâmetro da haste principal, número de nós, comprimento da raiz, massa seca da parte aérea (MS PA), massa seca da raiz (MS raiz), área foliar e produtividade nas cultivares Triunfo, Garapiá e FC104 nas condições hídricas irrigado e não irrigado, no início e final da imposição do deficit hídrico nos experimentos I (EI) e II (EII)..... 73

### CAPÍTULO 3

Tabela 1 - Erro médio absoluto (EMA), raiz quadrada média do erro (RQME), índice de concordância (d) e coeficiente de correlação de Pearson (r) dos modelos logístico (L) e chanter (C) para variáveis em função da soma térmica acumulada (em ° C) de cultivares de feijão (Triunfo, Garapiá, FC104) em dois regimes hídricos (irrigado, não irrigado) no experimento I (EI) e II (EII).....2180

Tabela 2 - Estimativa dos parâmetros a, b, c, d, limites inferiores e limites superiores do intervalo de confiança (IC 95%), ponto de inflexão (PI) e assíntota (AS) do modelo Logístico para os caracteres em função da soma térmica acumulada (em°C) de cultivares de feijão (Triunfo, Garapiá e FC104) em dois regimes hídricos (irrigado e não irrigado) no experimento I (EI).....83

Tabela 3 - Estimativa dos parâmetros a, b, c, d, limites inferiores e limites superiores do intervalo de confiança (IC 95%), ponto de inflexão (PI) e assíntota (AS) do modelo Logístico para os caracteres em função da soma térmica acumulada (em°C) de cultivares de

feijão (Triunfo, Garapiá e FC104) em dois regimes hídricos (irrigado e não irrigado) no experimento II (EII).....	89
Tabela 4 - Estimativa dos parâmetros a, b, c, d, limites inferiores e limites superiores do intervalo de confiança (IC 95%), ponto de inflexão (PI) e assíntota (AS) do modelo Chanter para os caracteres em função da soma térmica acumulada (em°C) de cultivares de feijão (Triunfo, Garapiá e FC104) em dois regimes hídricos (irrigado e não irrigado) no experimento I (EI).....	94
Tabela 5 - Estimativa dos parâmetros a, b, c, d, limites inferiores e limites superiores do intervalo de confiança (IC 95%), ponto de inflexão (PI) e assíntota (AS) do modelo Chanter para os caracteres em função da soma térmica acumulada (em°C) de cultivares de feijão (Triunfo, Garapiá e FC104) em dois regimes hídricos (irrigado e não irrigado) no experimento II (EII).....	100

## CAPÍTULO 4

Tabela 1 - Número de plantas utilizadas para cada caractere mensurado nas cultivares Triunfo, Garapiá e FC104 em regime hídrico irrigado e não irrigado.....	130
Tabela 2 - Variabilidade dos caracteres estatura (E), número de nós (NN), diâmetro da haste (DH), comprimento da raiz (CR), massa fresca e seca da parte aérea (MFPA, MSPA) e raízes (MFR, MSR) e área foliar (A) de feijão Triunfo na condição irrigada e não irrigada.....	131
Tabela 3 - Variabilidade dos caracteres estatura (E), número de nós (NN), diâmetro da haste (DH), comprimento da raiz (CR), massa fresca e seca da parte aérea (MFPA, MSPA) e raízes (MFR, MSR) e área foliar (A) de feijão Garapiá na condição irrigada e não irrigada.....	132
Tabela 4 - Variabilidade dos caracteres estatura (E), número de nós (NN), diâmetro da haste (DH), comprimento da raiz (CR), massa fresca e seca da parte aérea (MFPA, MSPA) e raízes (MFR, MSR) e área foliar (A) de feijão FC104 na condição irrigada e não irrigada.....	133
Tabela 5 - Variabilidade dos caracteres número de nódulos (MRN), massa fresca e seca dos nódulos (MFN, MSN), temperatura foliar (TF), número de vagens (NV), comprimento das vagens (CV), grãos vagem <sup>-1</sup> (GV), grãos planta <sup>-1</sup> (G) e massa seca dos grãos (MSG) de cultivares de feijão Triunfo na condição irrigada e não irrigada.....	134
Tabela 6 - Variabilidade dos caracteres número de nódulos (MRN), massa fresca e seca dos nódulos (MFN, MSN), temperatura foliar (TF), número de vagens (NV), comprimento das vagens (CV), grãos vagem <sup>-1</sup> (GV), grãos planta <sup>-1</sup> (G) e massa seca dos grãos (MSG) de cultivares de feijão Garapiá na condição irrigada e não irrigada.....	135
Tabela 7 - Variabilidade dos caracteres número de nódulos (MRN), massa fresca e seca dos nódulos (MFN, MSN), temperatura foliar (TF), número de vagens (NV), comprimento das vagens (CV), grãos vagem <sup>-1</sup> (GV), grãos planta <sup>-1</sup> (G) e massa seca dos grãos (MSG) de cultivares de feijão FC104 na condição irrigada e não irrigada.....	136

Tabela 8 - Tamanho de amostra, em número de plantas, para estimação da média de caracteres das cultivares de feijão Triunfo, Garapiá e FC104 na condição irrigada (I) e não irrigada (NI) para as amplitudes do intervalo de confiança menor que 10, 15, 20, 25, 30, 35 e 40 % da estimativa da média.....	137
Tabela 9 - Tamanho de amostra, em número de plantas, para estimação da média de caracteres das cultivares de feijão Triunfo, Garapiá e FC104 na condição irrigada (I) e não irrigada (NI) para as amplitudes do intervalo de confiança menor que 10, 15, 20, 25, 30, 35 e 40 % da estimativa da média.....	139
Tabela 10 - Tamanho de amostra, em número de plantas, para estimação da média de caracteres das cultivares de feijão Triunfo, Garapiá e FC104 na condição irrigada (I) e não irrigada (NI) para as amplitudes do intervalo de confiança menor que 10, 15, 20, 25, 30, 35 e 40 % da estimativa da média.....	141
Tabela 11 - Tamanho de amostra, em número de plantas, para estimação da média de caracteres das cultivares de feijão Triunfo, Garapiá e FC104 na condição irrigada (I) e não irrigada (NI) para as amplitudes do intervalo de confiança menor que 10, 15, 20, 25, 30, 35 e 40 % da estimativa da média.....	143

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
<b>2 JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>17</b>
<b>3 OBJETIVO GERAL</b> .....	<b>19</b>
<b>4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	<b>19</b>
<b>5 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS</b> .....	<b>19</b>
<b>6 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO</b> .....	<b>20</b>
6.1 A CULTURA DO FEIJÃO .....	20
6.2 DEFICIT HÍDRICO NA CULTURA DO FEIJÃO COMUM .....	23
6.3 FRAÇÃO DE ÁGUA TRANSPIRÁVEL NO SOLO (FATS) .....	25
6.4 CURVAS DE CRESCIMENTO .....	29
6.5 NÚMERO DE AMOSTRAS .....	30
<b>7 CAPÍTULO 1</b> .....	<b>33</b>
<b>Pontos principais</b> .....	<b>33</b>
<b>Resumo</b> .....	<b>33</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>34</b>
<b>Introdução</b> .....	<b>34</b>
<b>Material e Métodos</b> .....	<b>35</b>
<i>Delineamento experimental</i> .....	<b>35</b>
<i>Variáveis analisadas</i> .....	<b>36</b>
<i>Tamanho amostral</i> .....	<b>37</b>
<i>Análise e validação dos dados</i> .....	<b>37</b>
<b>Resultados e Discussão</b> .....	<b>38</b>
<b>Conclusões</b> .....	<b>41</b>
<b>Agradecimentos</b> .....	<b>41</b>
<b>Referências</b> .....	<b>42</b>
<b>8 CAPÍTULO 2</b> .....	<b>54</b>
<b>Resumo</b> .....	<b>54</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>54</b>
<b>Introdução</b> .....	<b>55</b>
<b>Material e Métodos</b> .....	<b>57</b>
<b>Resultados e Discussão</b> .....	<b>61</b>
<b>Conclusão</b> .....	<b>67</b>
<b>Referências</b> .....	<b>68</b>

<b>9 CAPÍTULO 3.....</b>	<b>76</b>
<b>Resumo .....</b>	<b>76</b>
<b>1. Introdução.....</b>	<b>76</b>
<b>2.Material e Métodos .....</b>	<b>77</b>
<b>3.Resultados e Discussão.....</b>	<b>79</b>
<b>4.Conclusões.....</b>	<b>109</b>
<b>5.Agradecimento .....</b>	<b>109</b>
<b>6.Referências.....</b>	<b>110</b>
<b>10 CAPÍTULO 4.....</b>	<b>113</b>
<b>Resumo .....</b>	<b>113</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>114</b>
<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>114</b>
<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>116</b>
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>118</b>
<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>123</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>123</b>
<b>11 DISCUSSÃO.....</b>	<b>144</b>
<b>12 CONCLUSÕES .....</b>	<b>147</b>
<b>13 REFERÊNCIAS .....</b>	<b>148</b>





## 1 INTRODUÇÃO

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma espécie da família *Leguminosae* que se tornou uma das graníferas mais importantes na agricultura brasileira. Produzido por pequenos, médios e grandes produtores, o feijão é consumido diariamente pela maioria da população de todas as classes sociais localizadas no meio rural e urbano (SILVA; WANDER, 2013). Portanto, além da sua importância econômica, também possui importância social, cultural e nutricional, representando uma importante fonte de proteína. Em pesquisa, Ribeiro et al. (2018) destacam a importância de aumentar a produtividade do feijão com melhorias no valor nutricional, para aumentar a disponibilidade desse alimento às pessoas cuja fonte proteica é predominantemente ou exclusivamente vegetal.

A produtividade média do feijão no Brasil vem aumentando ao longo do tempo, porém, ainda está inferior ao seu potencial produtivo, com média de 1.104 kg ha<sup>-1</sup> em 2019/2020 (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2020), e possível alcance em lavouras com alta tecnologia e irrigadas de rendimento acima de 3.000 kg ha<sup>-1</sup> (SILVA; LEMOS; CRUSCIOL, 2011; JUSTINO et al., 2019). Entre os fatores redutores da produtividade desta espécie, se destaca o uso de cultivares com baixo potencial produtivo e o estresse abiótico por deficiência hídrica (GUIMARÃES et al., 2011; SCHWERZ et al., 2017). O déficit hídrico no solo pode comprometer a área foliar, acelerar a senescência e a abscisão das folhas, ocasiona o abortamento floral, muda a orientação foliar, aumentar a quantidade de tricomas ou influenciar na produção de cutícula espessa (TAIZ et al., 2017).

Entre as alternativas sustentáveis que podem ser empregadas para proporcionar maior tolerância das plantas ao déficit hídrico, se destaca o melhoramento genético, buscando cultivares tolerantes. Em batata, Lago et al. (2012) observaram variabilidade genética na tolerância ao estresse por déficit hídrico. Avaliando uma cultivar de feijoeiro tolerante e outra sensível a seca, Cuellar-Ortiz et al. (2008) propuseram que a tolerância ao déficit hídrico pode estar relacionada a alelos específicos ou combinados capazes de ajustar o metabolismo das plantas para tal.

A disponibilidade de água no solo pode ser determinada pela fração de água transpirável no solo (FATS) (LAGO et al., 2012). A FATS considera que o conteúdo de água no solo absorvido pela planta e liberado pela transpiração varia entre a máxima transpiração,

na condição de capacidade de campo, e quando a transpiração da planta é igual a 10% da transpiração máxima (SINCLAIR; LUDLOW, 1986).

Além do conhecimento sobre a tolerância das cultivares ao estresse por déficit hídrico, são de suma importância, ferramentas estatísticas que expliquem de forma precisa e simplificada o crescimento e desenvolvimento das plantas, para alcançar o potencial produtivo dos genótipos. A área foliar é um dos parâmetros mais importantes na avaliação do crescimento vegetal (TAIZ et al., 2017) e sua estimativa através de equações, preserva a integridade da folha, permitindo fazer medições repetidas durante o ciclo de desenvolvimento da cultura (BAKSHANDEH; KAMKAR; TSIALTAS, 2011; RICHTER et al., 2014). Equações para as cultivares produzidas no Rio Grande do Sul (RS), e para o entendimento do seu comportamento perante a condição irrigada e não irrigada são informações carentes de pesquisa.

A avaliação integral da área experimental não costuma ser possível, devido à falta de recursos estruturais, financeiros e mão de obra especializada. Para avaliar de forma adequada e precisa um experimento, a amostragem é uma opção para retratar a população de forma representativa (STORCK et al., 2011). Aliado ao número de amostras adequadas, afim de aumentar a precisão do conhecimento sobre o comportamento da cultura perante a condição de deficiência hídrica, a modelagem é uma ferramenta na agricultura moderna que auxilia no planejamento, logística e otimização dos recursos nas propriedades rurais. Além disso, a avaliação do crescimento das plantas ao longo do seu ciclo possibilita identificar e selecionar características inerentes em cada genótipo (DEPRÁ et al., 2016).

## **2 JUSTIFICATIVA**

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de feijão e sua produtividade ainda está inferior ao seu potencial produtivo (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2019). As oscilações meteorológicas, principalmente associadas à disponibilidade hídrica diminuem a produtividade do feijoeiro em quase todas as regiões, um dos motivos pela oscilação na oferta anual (MIORINI; SAAD; MENEGALE, 2011) e, conseqüentemente, nos preços do produto (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2019).

Para amenizar os efeitos negativos do déficit hídrico, podem ser adotadas algumas técnicas de manejo, dentre elas, se destaca o uso de cultivares tolerantes, pois as plantas com

essas características são capazes de relacionar sinais ambientais à metabólicos, regulando a expressão gênica durante o estresse e possibilitando a sua produção mesmo no período adverso (CUSTÓDIO et al., 2009). Além de conhecer os mecanismos gerais de resposta da planta ao deficit hídrico, também é fundamental conhecer as diferentes características relacionadas a tolerância, dentro de cada espécie (FANG; XIONG, 2014). A metodologia da FATS para avaliar a quantidade de água no solo que pode ser extraída pela transpiração das plantas pode ser uma ferramenta para distinguir a tolerância de cultivares ao deficit hídrico. Plantas que diminuem a sua transpiração no início do estresse conseguem responder de forma mais rápida aos sinais ambientais (DEVI et al., 2013; SINCLAIR et al., 2018). Essas plantas podem conseguir se aclimatar pela exposição prolongada a condição adversa (TAIZ et al., 2017).

A FATS crítica (FATSc) corresponde ao início do fechamento estomático das plantas e já foi determinada em várias espécies agrícolas, tais como: em feijão mungo, feijão guandu, feijão caupi e soja (SINCLAIR; LUDLOW, 1986), arroz em terras altas (HEINEMANN; STONE; FAGERIA, 2011), batata (LAGO et al., 2012), feijão comum (DEVI et al., 2013; SERRAJ; SINCLAIR, 1998), soja (KING; PURCELL, 2017) e amendoim (SINCLAIR et al., 2018). A partir dos estudos supracitados, pode-se observar que o valor de FATSc varia de acordo com a espécie e dentro delas, entre genótipos. As únicas pesquisas com feijão comum foram realizadas com genótipos desenvolvidos nos Estados Unidos, região que possui condição meteorológica distinta das condições brasileiras. Assim, destaca-se a importância da realização desse estudo com genótipos adaptados às condições edafoclimáticas e culturais do Brasil.

Essa pesquisa é importante não somente devido à escassez de dados sobre o assunto, mas também a importância do tema no cenário atual e futuro, pois as condições de deficiência hídrica tornar-se-ão cada vez mais frequente na produção subtropical devido ao aquecimento global (YANG et al., 2010; VICENTE-SERRANO et al., 2020). Na América Latina, a escassez hídrica é um dos principais fatores limitantes para a produção do feijão (ROSALES et al., 2012). As estiagens são comuns no RS, como por exemplo na safra 2019/2020, em que de fevereiro a abril, ocorreu redução da precipitação pluvial em até 72,7% em relação à normal climatológica (CERA, 2020), ocasionando grandes reduções na produtividade e perdas totais em muitas lavouras.

Os modelos de crescimento são uma sequência de medidas da planta ao longo do tempo e estão sendo estudados, pois além de poderem ser utilizados para resolver possíveis

hipóteses e auxiliar no planejamento das propriedades agrícolas, podem proporcionar escapes de períodos de estresses, como o déficit hídrico, em virtude do melhor domínio sobre o crescimento das plantas (RODRIGUES et al., 2001). Por exemplo, em determinada região sabe-se que o déficit hídrico é recorrente em um determinado período, pode-se manejar a lavoura para que os períodos reprodutivos críticos de pré-floração e floração não coincidam. O conhecimento sobre as curvas de crescimento é fundamental para otimizar o planejamento agrícola, como a definição da melhor época de semeadura e épocas de aplicação de fertilizantes. Além disso, o uso do número de amostras adequado na área experimental, para estimar a média de caracteres desejáveis e o uso de modelos de crescimento específicos para as cultivares e condições hídricas potencializam a otimização dos recursos disponíveis. Desse modo, há a necessidade de se avaliar possíveis cultivares tolerantes, e com boas produtividades para cultivo em ambientes com estresse por deficiência hídrica, bem como, caracterizar o seu crescimento.

### **3 OBJETIVO GERAL**

Modelar o crescimento de genótipos de feijão e avaliar a resposta em transpiração, crescimento e produtividade sob condições de déficit hídrico no solo.

### **4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Determinar equações para estimar a área foliar das diferentes cultivares de feijoeiro.

Determinar a fração de água transpirável no solo no momento em que a transpiração inicia sua redução em cultivares de feijoeiro.

Avaliar a produtividade das cultivares de feijoeiro expostas ao déficit hídrico no solo.

Determinar as curvas de crescimento das cultivares de feijoeiro em condição potencial e sob déficit hídrico no solo.

Determinar o número de amostras para mensurar caracteres morfológicos e produtivos das cultivares de feijoeiro em condição irrigada e não irrigada.

### **5 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS**

Após a revisão bibliográfica o estudo foi segmentado em quatro capítulos, os quais são compostos, cada um, por um artigo formatado nas normas da submissão de cada revista.

No capítulo 1 determinou-se um modelo matemático para estimar a área foliar das cultivares de feijão Triunfo, Garapiá e FC104 nas condições hídricas irrigada e não irrigada a partir de dimensões lineares. Este artigo está nas normas da Revista Semina: Ciências Agrícolas.

No capítulo 2 avaliou-se a resposta da transpiração, crescimento e produtividade de três cultivares de feijão em função do deficit hídrico representado pela fração de água transpirável no solo. Este artigo está nas normas da Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira.

No capítulo 3 buscou-se caracterizar o crescimento em cultivares de feijão em diferentes condições hídricas por modelos logísticos e chanter. Este artigo está nas normas da Revista International Journal for Innovation Education and Research.

No capítulo 4 determinou-se o tamanho de amostra, em número de plantas, para a estimação da média de caracteres mensurados nas cultivares Triunfo, Garapiá e FC104, nas condições hídricas irrigada e não irrigada. Este artigo está nas normas da Revista Ciência Rural.

## **6 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO**

### **6.1 A CULTURA DO FEIJÃO**

O feijão comum pertence a classe *Dicotyledoneae*, família *Leguminosae*, subfamília *Papilionoidae*, gênero *Phaseolus* e espécie *Phaseolus vulgaris* L. (BONETT et al., 2007), com origem a partir da domesticação na América Central e no Sul dos Andes (ALMEIDA et al., 2016). A espécie possui importância econômica, cultural e social (BINOTTI et al., 2009), sendo cultivada por pequenos à grandes produtores distribuídos em todas as regiões do Brasil, em diversos sistemas de produção. No RS o feijão pode ser produzido em duas épocas, sendo a 1ª época em agosto, setembro e outubro e a 2ª em janeiro a fevereiro (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2019).

É um alimento conhecido pelo seu alto teor de proteína e fibra dietética, além de amido, fibra alimentar e minerais (LOS et al., 2018). Também possui substâncias com propriedades antinutricionais, como os taninos, oxalatos e fitatos (CAMPOS et al., 2011), que podem formar complexos insolúveis ao organismo. No entanto, essas substâncias são

termolábeis e inativadas após exposição ao calor (BASSINELLO, 2018). Recentemente, essas substâncias também vêm sendo classificadas como bioativas por possuírem potenciais benefícios a saúde, como os compostos da família da rafinose, considerado prebiótico que estimula a atividade das bifidobactérias e lactobacilos no cólon (CHEN et al., 2016).

O feijoeiro possui hábito de crescimento determinado ou indeterminado. De acordo com Didonet e Nascimento (2014), é necessário observar a parte apical da planta no período reprodutivo. O hábito determinado se caracteriza pela parte terminal do caule e ramos laterais apresentarem uma inflorescência, e o indeterminado, possui o ápice e ramos laterais terminando em um meristema ou gema vegetativa. As plantas também são classificadas em quatro tipos de crescimento: I: hábito determinado, porte arbustivo pequeno e ereto, com caule pouco ramificado; II: hábito indeterminado, porte arbustivo ereto e ramificações pouco desenvolvidas; III: hábito indeterminado, porte prostrado com ramificações desenvolvidas e numerosas; IV: hábito indeterminado, prostrados ou trepadores e ramificações pouco desenvolvidas.

O desenvolvimento do feijoeiro é dividido em fases vegetativas e reprodutivas. Em um estande de plantas pode-se considerar que cada estágio vegetativo inicia quando 50 % das plantas apresentam as características do estágio. Importante destacar que uma folha é considerada totalmente expandida quando os bordos dos folíolos da folha do nó imediatamente acima não se tocam. Os estádios fenológicos podem ser observados na Tabela 1 (FERNANDEZ; GEPTZ; LOPES, 1986).

Tabela 1 - Escala fenológica do feijoeiro.

Estádio	Características
Período Vegetativo	
V0 - Germinação	Emergência da radícula.
V1 - Emergência	Cotilédones expostos sobre o solo.
V2 - Folhas Primárias	Folhas primárias totalmente expandidas.
V3 - 1º Folha Trifoliada	Primeira folha trifoliolada totalmente expandida.
V4 - 3º Folha Trifoliada	Terceira folha trifoliolada totalmente expandida.
Período Reprodutivo	
R5 - Pré-Floração	Emissão dos primeiros botões ou racemos florais.

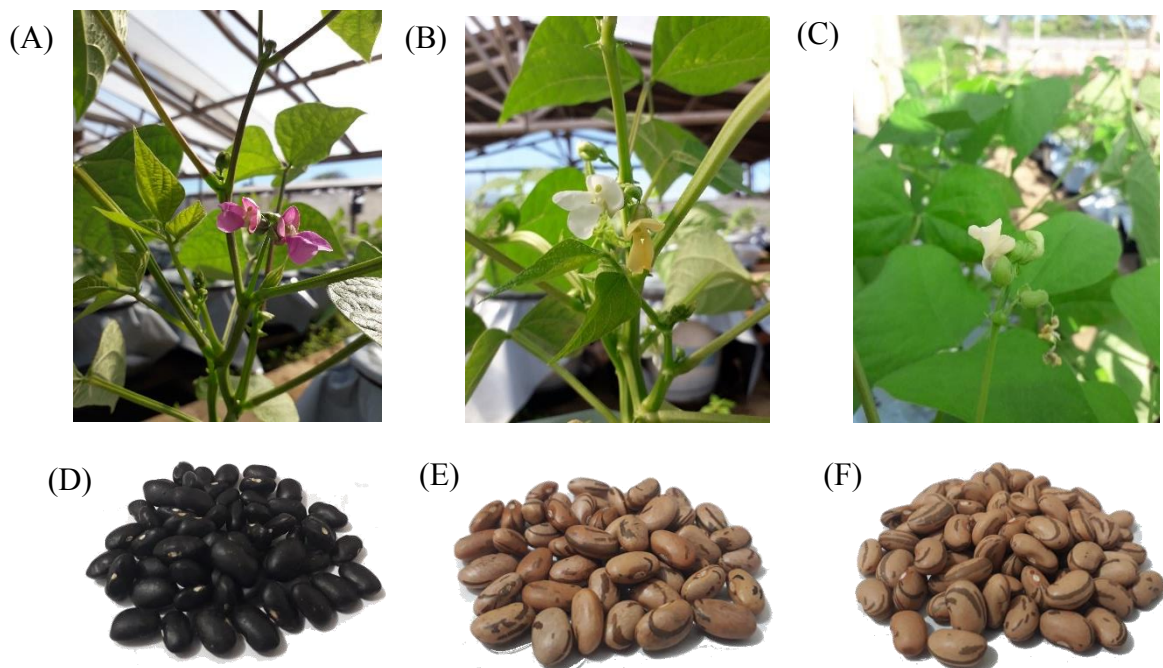
R6 - Floração	Primeira flor aberta na planta.
R7 - Formação das Vagens	Primeira vagem.
R8 - Enchimento das Vagens	Primeiras sementes na vagem.
R9 - Maturação	Vagens secas com mudança de cor na vagem.

---

Fonte: Fernandez; Gepts; Lopes (1986).

O grupo de grãos cariocas são preferência dos consumidores brasileiros e o de grãos pretos é o mais consumido na região sul do Brasil, principalmente no RS. Buscou-se nesse estudo abranger cultivares bem distintas para verificar a resposta em condição de deficit hídrico (Figura 1).

Figura 1 - (A) Floração da cultivar Triunfo, (B) da cultivar Garapiá, (C) e da cultivar FC104, (D). Grãos da cultivar Triunfo, (E), da cultivar Garapiá, (F) e da cultivar FC104.



A cultivar Triunfo da Fepagro é uma das mais cultivadas no RS, possui hábito indeterminado do tipo II, porte ereto, resistente ao acamamento e a várias doenças, flor de



coloração roxa, grãos de coloração uniforme, cocção rápida, maturação de colheita de 87 dias após a emergência, e produtividade média de 2.176,7 kg ha<sup>-1</sup> (FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2021a). A cultivar Garapiá da Fepagro foi a primeira do grupo carioca indicada para o RS inteiramente selecionada no Estado, é uma cultivar altamente adaptada, hábito indeterminado tipo II, de porte ereto, flor de coloração branca, resistente a moléstias no campo, qualidade culinária, maturação de colheita de 86 dias após a emergência e elevado potencial produtivo, com produtividade média de 2.237,1 kg ha<sup>-1</sup> (FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2021b). A cultivar FC104 da EMBRAPA possui hábito indeterminado tipo III, porte semiprostado, baixa tolerância ao acamamento, resistente a doenças, flores de coloração branca e produtividade média de 2.176 kg ha<sup>-1</sup> (MELO et al., 2017). Essa cultivar apresenta ciclo superprecoce com média de 65 dias até a maturação fisiológica. A vantagem de se utilizar uma cultivar superprecoce está na flexibilidade operacional, possibilitando antecipação ou atraso da semeadura, e o cultivo em janelas curtas de semeadura. É possível observar que a cultivar Garapiá apresentou flores brancas e amarelas no mesmo racemo floral (Figura 1B).

A produtividade média do feijão no Brasil foi de 1.104 kg ha<sup>-1</sup> em 2019/2020 (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2020), inferior ao seu potencial produtivo (3.000 kg ha<sup>-1</sup>) (SILVA; LEMOS; CRUSCIOL, 2011; JUSTINO et al., 2019). Dentre os fatores que contribuem para a baixa produtividade do feijão, a deficiência hídrica tem papel de destaque e por esse motivo o tema será aprofundado na sequência.

## 6.2 DEFICIT HÍDRICO NA CULTURA DO FEIJÃO COMUM

A água é o recurso mais demandado pela planta e ao mesmo tempo em que é o mais abundante, frequentemente é o mais limitante, prejudicando a produtividade das culturas (TAIZ et al., 2017). O estresse abiótico por deficiência hídrica no solo, ou deficit hídrico no solo, inicia quando a taxa de transpiração é superior à taxa de absorção de água. O termo estresse pode ser definido como um fator externo que influencia negativamente a planta, e tolerância, refere-se à capacidade da planta em enfrentar um ambiente desfavorável (TAIZ et al., 2017). Dentre as primeiras respostas das plantas ao deficit hídrico, está a redução da expansão celular e, conseqüentemente, diminuição da área foliar e radicular (TAIZ et al., 2017). Pela redução do

potencial hídrico e turgescência das células, pode ocorrer concentração de solutos no citosol e resultar em diminuição da absorção e transporte de nutrientes, diminuindo o metabolismo das plantas e, por consequência, sua área foliar, produção fotossintética e produtividade (MERWAD; DESOKY; RADY, 2018).

A demanda hídrica do feijoeiro é de cerca de 300 mm de água em todo o ciclo, variando ao decorrer dos estádios fenológicos, com necessidade máxima entre o florescimento e maturação dos grãos (COMISSÃO ESTADUAL DE PESQUISA DE FEIJÃO FEIJÃO, 2000). O feijoeiro é considerado uma espécie pouco tolerante a deficit hídrico severo por apresentar sistema radicular pouco desenvolvido e não possuir alta capacidade de recuperação (MORAES et al., 2010). Seus efeitos causam danos durante todo o ciclo da cultura, entretanto, são mais severos em três estádios críticos, que são: germinação, florescimento e enchimento de grãos (SORATTO et al., 2003). Para Mackay e Eaves (1962), o período mais crítico é o pré-florescimento, pois é o início da fase reprodutiva (FERREIRA, 2017).

O deficit hídrico prejudica o feijão da germinação até a maturação dos grãos. Ao testar genótipos de feijão, milho e soja perante a deficiência hídrica, Viçosi et al. (2017) observaram que o feijão apresentou redução da germinação, comprimento do hipocótilo e da radícula a  $-0,6$  Mpa de potencial osmótico, mais sensível do que o milho e soja, cuja germinação foi afetada em potencias abaixo de  $-1,2$  MPa.

Em trabalho buscando avaliar os efeitos da escassez hídrica em todas as fases fenológicas do feijoeiro, Miorini, Saad e Menegale (2011) observaram as maiores reduções da produtividade quando o déficit hídrico ocorreu na floração, com 76,2 % e na fase vegetativa de 75,1 %. Em outro estudo, Guimarães et al. (2011) observaram que as plantas sob deficit hídrico apresentaram redução de 58,6% na produtividade, com valores médios de 863 e 2.084 kg ha<sup>-1</sup>, com e sem deficiência hídrica, respectivamente. Com suspensão da irrigação por 15 dias durante o florescimento em nove genótipos de feijão, Vale et al. (2012) observaram que o déficit hídrico afetou negativamente todas as variáveis morfológicas e produtivas avaliadas, com exceção do diâmetro do caule.

Metodologias que avaliem de forma precisa a tolerância de genótipos ao estresse por deficiência hídrica são fundamentais para a escolha das melhores cultivares para as lavouras. Na sequência será abordada uma metodologia que atende essa demanda.

### 6.3 FRAÇÃO DE ÁGUA TRANSPIRÁVEL NO SOLO (FATS)

Para avaliar a resposta ao deficit hídrico de diferentes genótipos é necessário que o teor de umidade do solo seja semelhante (KING; PURCELL, 2017). Para isso, existem algumas metodologias disponíveis, dentre elas se destacam a quantidade total de água armazenada (QTA), a capacidade de armazenamento de água disponível (CAD), a fração de água disponível (FAD) e a fração de água transpirável no solo (FATS).

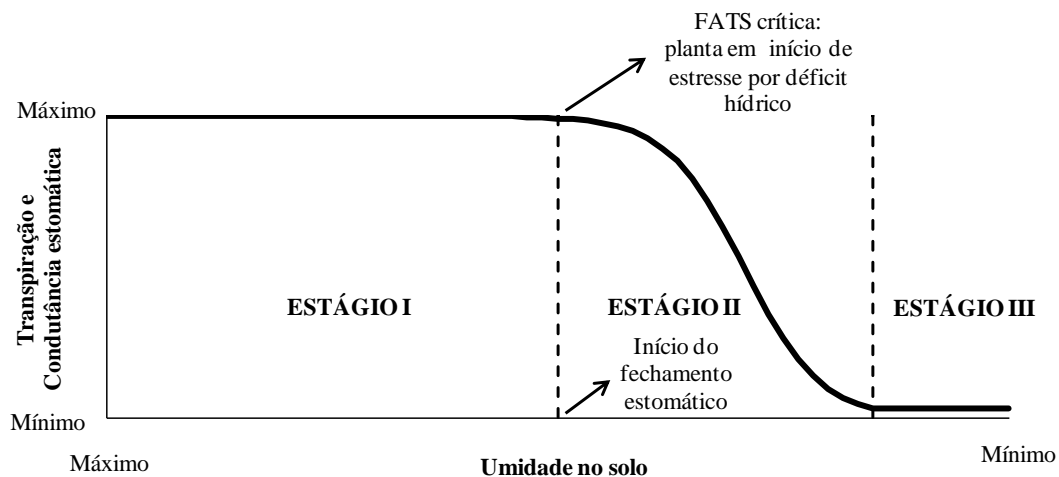
A QTA representa a quantidade de água que o solo pode reter entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente, desconsiderando o fato de que algumas plantas reduzem seu crescimento antes de atingir o ponto de murcha permanente (CARLESSO; ZIMMERMANN, 2000). A CAD expressa a diferença do conteúdo volumétrico de água entre os limites superior e inferior de disponibilidade de água às plantas (CARLESSO, 1995). Apesar desse método considerar cada camada do perfil do solo explorado pelo sistema radicular da cultura, um dos limitantes desse método é que para determinar o limite inferior, a planta não pode ter sofrido nenhum estresse para não prejudicar o desenvolvimento da raiz no solo. A FAD corresponde a razão entre a quantidade total de água e a quantidade potencial de água no solo. (CARLESSO, 1995), entretanto, nem toda a água disponível no solo pode ser extraída pelas raízes.

Uma alternativa em experimentos que utilizam plantas em vaso para avaliar o deficit hídrico é através da fração de água transpirável no solo (FATS). Entre os métodos existentes para avaliar o conteúdo de água no solo, a FATS é considerada o melhor indicador que expressa o valor real de água disponível no solo que pode ser absorvida pela planta para a transpiração (SANTOS; CARLESSO, 1998), pois a redução da absorção de água pelas raízes e/ou diminuição da taxa de respiração são respostas naturais das plantas ao deficit hídrico (RALLO; PROVENZANO, 2013)

O método pressupõe que o conteúdo de água no solo absorvido pela planta para a transpiração, varia entre a capacidade de campo (CC), quando há a máxima transpiração até o conteúdo de água em que a transpiração da planta atinge 10 % da capacidade máxima (SINCLAIR; LUDLOW, 1986). Segundo esta metodologia, existem três estágios de hidratação das plantas (Figura 2), sendo o estágio I, quando há água disponível de forma abundante no solo e a transpiração é máxima; o estágio II, a quantidade de água disponível no solo diminui

e, por consequência, a planta diminui sua transpiração para manter seu equilíbrio hídrico e turgescência celular; e, o estágio III; acontece quando ocorre o fechamento estomático e a perda de água ocorre apenas pela condutância epidérmica (SINCLAIR; LUDLOW, 1986). A FATS crítica (FATS<sub>c</sub>) corresponde ao início do estágio II, momento em que inicia o fechamento estomático, iniciando a diminuição da transpiração das plantas. Altos valores de FATS<sub>c</sub>, indicam que a planta fecha seus estômatos com um reservatório maior de água no solo, o que pode favorecer essa planta em estiagens prolongadas, considerado um diferencial entre a percepção do estresse e conservação de água do solo. Essa característica pode ser classificada como uma estratégia de tolerância da planta.

Figura 2 - Representação dos três estágios de hidratação das plantas associados à redução da umidade no solo.



Fonte: (SINCLAIR; LUDLOW, 1986 adaptado por LAGO, 2011).

As plantas apresentam dois comportamentos em consequência ao déficit hídrico. A primeira estratégia é conservadora, as plantas fecham seus estômatos quando a FATS ainda é alta, e segunda é uma estratégia produtiva, em que as plantas fecham seus estômatos em um valor baixo de FATS, buscando não diminuir a produção na suposição de que haverá chuva ou irrigação em pouco tempo (SINCLAIR; MUCHOW, 2001). A primeira estratégia favorece a produção em secas prolongadas e a segunda em curtas estiagens. A FATS<sub>c</sub> em que inicia o

fechamento estomático e, conseqüentemente, quando ocorre o início da redução da transpiração das plantas, foi determinada para várias espécies entre culturas agrícolas anuais, frutíferas (BINDI et al., 2005; PIZETTA et al., 2016), espécies florestais (MARTINS et al., 2008; ABREU et al., 2015) e ornamentais (KELLING et al., 2015; BECKER et al., 2021). O trabalho pioneiro foi de Sinclair e Ludlow (1986) que em experimentos em vasos obtiveram valores de FATSc de 0,40 para as culturas do feijão mungo (*Vigna mungo* L. Hepper), guandu (*Cajanus cajan* L.) e soja (*Glycine max* L. Merrill), e 0,30 para o feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.). Na seqüência, várias culturas foram estudadas.

Em ervilha o valor de FATSc para a transpiração e crescimento foliar foi de 0,40 (LEUCOEUR; SINCLAIR, 1996). Em milho, Ray e Sinclair (1997) estudaram oito híbridos em três experimentos e encontraram valores entre 0,36 e 0,60. Ray et al. (2002) estudando dois híbridos de milho, com quatro níveis de deficit de pressão de vapor (DPV) (11, 20, 29 e 36 hPa,) obtiveram valores médios de FATSc de 0,34 e 0,35. Para a cultura da batata, Lago et al. (2012) encontraram FATSc de 0,39, 0,47 e 0,28 no clone Macaca e de 0,47, 0,49 e 0,33 no clone SMINIA793101-3 para três experimentos. Em crisântemo, os valores foram de 0,51 a 0,63 em diferentes cultivares (KELLING et al., 2015). Em Santa Maria, RS, Langner (2018) estudou genótipos de milho crioulo em dois anos agrícolas e obtiveram valores de FATSc de 0,73 a 0,64. Em experimento com 22 linhagens de amendoim, Sinclair et al. (2018) observaram FATSc de 0,53 para 21 dos 22 genótipos estudados.

Também existem vários estudos em soja. Os mais recentes buscam selecionar genótipos tolerantes ao deficit hídrico não somente pela transpiração, mas também pela fixação biológica de nitrogênio. Utilizando um modelo de simulação com 50 anos de dados meteorológicos para 2.655 locais nos Estados Unidos, Sinclair et al. (2010) observaram que a conservação de água no solo resultou em aumento de até 70% na produtividade, e que a fixação de nitrogênio foi a que apresentou maior influência, alcançando ganhos em produtividade de até 85%. Em outro estudo, Devi e Sinclair (2013) em Raleigh, EUA observaram que nos dois experimentos o valor limite para transpiração relativa normalizada (TRN) foi de 0,44 e 0,40 para a cultivar de murchamento rápido e de 0,43 e 0,45 para a de murchamento lento, e valores limites para atividade da acetileno redutase normalizada (AARN) de 0,49 e 0,50 e de 0,21 e 0,26, respectivamente. Mais recente, Riar et al. (2018) em Raleigh, EUA obtiveram valores de 0,24 a 0,51 para TRN e de valores aproximados entre 0,10 a 0,70 para AARN e concluíram que a

tolerância a seca da fixação de nitrogênio pode ser transferida para as linhagens de progênie. Em Santa Maria, RS Martins (2020) avaliou três cultivares em três épocas de semeadura e observou valores de FATSc para TRN de 0,33, 0,29 e 0,31 no E1 (semeadura em novembro), de 0,35, 0,41 e 0,43 no E2 (semeadura em dezembro) e de 0,31, 0,49 e 0,45 no E3 (semeadura em outubro), para a cultivar BMX GARRA, DM 66I68 e NA 5909, respectivamente.

Em feijão comum, três estudos foram conduzidos para avaliar a tolerância ao déficit hídrico através da metodologia da FATS comparada a transpiração e a fixação biológica de nitrogênio. O primeiro estudo avaliou as cultivares Roma e Kentucky Wonder em casa de vegetação nos Estados Unidos, realizado por Serraj; Sinclair (1998). Os autores observaram valor de 0,40 para TRN e 0,30 para AARN, concluindo que AARN é relativamente menos sensível à redução na disponibilidade de água no solo em comparação com as trocas gasosas da folha. Estudando a cultivar Bronco, Wakrim et al. (2005) verificaram FATSc para TRN de 0,43 no tratamento em que 100% do solo ao redor da raiz sofreu déficit hídrico e de 0,40 nos tratamentos em que 50% do sistema radicular sofreu déficit hídrico. Em casa de vegetação em Raleigh, EUA, 12 genótipos foram avaliados por Devi et al. (2013) e apresentaram valores de 0,40 a 0,54 para TRN e de 0,21 a 0,40 para AARN, indicando que a fixação biológica de nitrogênio é mais tolerante que a transpiração, já que apresenta limites inferiores. A FATSc para cultivares adaptadas às condições edafoclimáticas e culturais brasileiras não foram abordadas na literatura.

Existem alguns fatores que influenciam o comportamento da planta perante ao estresse hídrico e reflete nos valores da FATSc. Dentre eles, o aumento do DPV reflete em um aumento da demanda evaporativa da atmosfera e, conseqüentemente, da transpiração das culturas (RAY et al., 2002; FLETCHER et al., 2007). O limite considerado pela literatura é de um DPV em torno de 15 hPa, valores inferiores são considerados dias com baixa, e valores acima, de alta demanda evaporativa do ar (KINIRY et al., 1998).

Os autores Lago et al. (2011) observaram que os valores de FATSc, tanto para transpiração como crescimento foliar, são mais elevados nos plantios realizados da primavera em comparação com os plantios realizados no outono. A principal hipótese apontada pelos autores para a menor FATSc nos experimentos realizados durante o outono é a baixa disponibilidade da radiação solar incidente nesta época do ano em regiões subtropicais como Santa Maria (HELDWIEN et al., 2009; LAGO, 2011).

A influência direta do DPV sobre a FATSc foi inicialmente observada por Ray et al. (2002). Os autores formularam a hipótese de que em uma condição de alta demanda evaporativa do ar as plantas apresentam uma taxa de transpiração alta, o que poderia resultar em valores de FATSc altos por fechar seus estômatos precocemente e por consequência diminuir o fluxo transpiratório em um conteúdo de água alto no solo. Porém, em seu estudo com dois híbridos de milho em quatro níveis de DPV (11, 20, 29 e 36 hPa) não encontraram variação significativa nos valores de FATSc entre os tratamentos de DPV. Entretanto, Devi et al. (2009) observaram aumento linear da transpiração com o aumento do DPV em 8 genótipos de amendoim e em nove genótipos os aumentos foram lineares até um determinado ponto (2,2 kPa), comprovando a hipótese anterior da influência do DPV sobre a tolerância das cultivares.

Dessa forma, o estudo de cultivares nas condições edafoclimáticas do RS em diferentes condições meteorológicas são dados faltantes na literatura e de suma importância para o avanço produtivo tecnológico na região.

#### 6.4 CURVAS DE CRESCIMENTO

O conhecimento sobre o crescimento de um vegetal é importante na escolha do manejo mais adequado e na detecção e resolução de possíveis problemas durante o desenvolvimento da cultura. A análise de crescimento não destrutiva contribui para o aumento do conhecimento sobre a resposta do crescimento das plantas, mensurando os dados durante o ciclo biológico sem precisar destruí-las, principalmente quanto a valores primários de estatura, diâmetro do caule e área foliar (CARDOSO et al., 2006). A regressão linear é amplamente utilizada, mas em períodos de maior tempo de análise do crescimento do organismo, os modelos não lineares apresentam parâmetros de interpretação biológica, que ajudam a explicar os resultados (REGAZZI, 2003). Nas plantas anuais, as fases de crescimento ao longo do tempo ou de acúmulo térmico, apresentam uma curva do tipo sigmoide, existindo um crescimento inicial lento, seguido por um crescimento exponencial, linear e novamente lento com paralisação da variável, devido à senescência da planta (PEIXOTO; CRUZ; PEIXOTO, 2011).

As funções de crescimento são uma alternativa eficaz para estudar a resposta das plantas e explicar complexas interações temporais e espaciais de crescimento, e através da modelagem computacional é possível realizar previsões que podem ser usadas para gerar novas

hipóteses experimentais (CHICKARMANE et al., 2010). Os modelos de crescimento podem auxiliar no planejamento sobre o manejo das propriedades, através da previsão da época de diferentes estágios fenológicos e a possíveis escapes de períodos de estresses, como o déficit hídrico (RODRIGUES et al., 2001).

Dentre as curvas utilizadas, Regazzi (2003) realizou um levantamento de alguns modelos mais usados, como o gompertz, richards e logístico. O autor menciona que as curvas sigmóides são características de fenômenos encontrados na agricultura, caracterizados por um crescimento até o ponto de inflexão quando o crescimento começa a diminuir até um valor final chamado de assíntota.

O modelo logístico foi o mais adequado em algumas pesquisas. Em cultivares de alface, Carini et al. (2020) analisando modelos gompertz e logístico para a matéria fresca e seca das folhas e raízes, concluíram que o logístico descreveu melhor o crescimento. Buscando ajustar um modelo que representasse o peso e número de frutos por planta de tomate ao longo do tempo de colheita, Sari et al. (2019) testaram os modelos brody, gompertz, logístico e von bertalanffy e concluíram que o logístico se ajustou melhor a ambas variáveis. Em alho, avaliando os modelos mirtscherlich, gompertz, logístico, brody e von bertalanffy, Reis et al. (2014) concluíram que o logístico ajustou melhor aos dados para descrever o comportamento do acúmulo de massa seca do bulbo, da raiz e total da planta.

Recentemente, Silva e Savian et al. (2019) ajustaram dados de cacau a um modelo ainda pouco estudado, o chanter. Buscando descrever o comprimento e diâmetro do fruto do cacau ao longo do tempo, os autores observaram que os modelos logísticos, gompertz e chanter representavam adequadamente estas variáveis, entretanto, o chanter se mostrou mais flexível e preciso.

A vantagem de modelos na agricultura está em resumir o crescimento vegetal em alguns parâmetros com aplicação prática. Um estudo buscando descrever o crescimento do feijoeiro através dos modelos logístico e chanter é uma informação faltante na literatura.

## 6.5 NÚMERO DE AMOSTRAS

O número de plantas utilizado para mensurar um caractere é um fator que influencia a qualidade experimental. A amostragem retrata a população de forma representativa quando não



é possível avaliar toda a área experimental (STORCK et al., 2011). Uma amostra é um subconjunto representativo da população de estudo e sua representatividade está relacionada ao seu tamanho, costuma ser mais preciso quanto maior for, desde que os procedimentos metodológicos sejam corretos (FONSECA e MARTINS, 2011).

A utilização do número adequado de amostras permite a estimação média mais precisa do caractere desejado. O tamanho da amostra é diretamente proporcional a variabilidade dos dados e ao nível de precisão desejada para a estimativa do caractere. Por esse motivo, a determinação do tamanho amostral otimiza a eficiência da pesquisa e possibilita estimativas mais precisas (BARBETTA; REIS; BORNIA, 2004).

Para determinação do tamanho da amostra, os intervalos de confiança são utilizados para fazer inferências estatísticas sobre uma população (FONSECA e MARTINS, 2011) e independe da distribuição de probabilidade dos dados (FERREIRA, 2009). Os tamanhos de amostras por esse procedimento já foram determinados para caracteres de várias culturas.

Em tremoço branco foi calculado o tamanho da amostra para altura de planta, diâmetro do colmo, número de vagens, massa fresca de vagens e da parte aérea e massa seca de vagens, e da parte aérea, e concluíram que com amplitude do intervalo de confiança de 95% igual a 25% da estimativa da média, são necessárias 81 plantas (BURIN et al., 2014). No milho foi determinada para altura de planta, diâmetro do colmo, número de afilhos, nós por colmo e por afilho, massa fresca e seca de parte aérea, e obtiveram que, com amplitude do intervalo de confiança de até 30% da estimativa da média, são necessárias 193 plantas (KLEINPAUL et al., 2017). Em linho foram avaliados caracteres da cápsula, quanto a massa de cápsula, massa de grãos por cápsula, número de grãos por cápsula e massa de mil grãos e obtiveram que, com amplitude do intervalo de confiança de 10% da estimativa da média, são necessárias 78 cápsulas (CARGNELUTTI FILHO et al., 2018a). Com feijão de porco foram avaliados altura da planta, diâmetro de cale, número de nós, número de folhas, número de vagens, massa fresca de vagem e da parte aérea e massa seca da parte aérea e obtiveram o valor 114 plantas ao nível de 40% da estimativa (CARGNELUTTI FILHO et al., 2018b). Em feijão guandu anão foram avaliados comprimento, largura, espessura e massa de sementes e constataram que 54 sementes com amplitude do intervalo de confiança de 10% da estimativa da média são necessárias (CARGNELUTTI FILHO et al., 2018c). Em alecrim foi avaliada a massa fresca e seca da parte aérea e raízes e comprimento da maior raiz, concluindo ser necessário 42 plantas para a

amplitude do intervalo de confiança de 40 % (SCHOFFEL et al., 2019). Em mandioca, a partir de dados do número de folhas e altura da muda no transplante, Schoffel et al. (2020) verificaram que 87 plantas foram suficientes em intervalo de confiança de 20% da estimativa média. Essas informações para a cultura do feijão comum são dados faltantes na literatura, destacando a importância desse estudo.

## 1 7 CAPÍTULO 1

### 2 Estimação da área foliar de feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) através do comprimento do folíolo 3 central em condições hídricas irrigada e não irrigada

### 5 Estimation of the leaf area of common beans (*Phaseolus vulgaris*) by the length of the central 6 leaflet

#### 8 Pontos principais

9 A equação geral pode ser usada para as cultivares em condição irrigada e não irrigada.

10 A equação geral facilita a estimação da AF com apenas o comprimento dos folíolos.

11 A equação geral pode ser utilizada como ferramenta que otimiza as avaliações.

#### 13 Resumo

14 O objetivo desse trabalho foi determinar modelos matemáticos que estimem a área foliar de feijão  
15 comum (*Phaseolus vulgaris*) em condição hídrica irrigada e não irrigada, a partir de dimensões lineares.

16 Para isso, foi realizado um experimento em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial  
17 3x2 (três cultivares: Triunfo, Garapiá e FC104; dois regimes hídricos: irrigado, não irrigado) com 25  
18 repetições cada. Foram coletados 523 trifólios ao longo do ciclo da cultura, mensurando-se o  
19 comprimento (C) (cm), largura (L) (cm) e realizado seu produto (CL) (cm<sup>2</sup>) do folíolo central do trifólio.

20 Na sequência, a área foliar foi determinada pelos métodos de fotos digitais com auxílio do software  
21 ImageJ<sup>®</sup> e por discos foliares. O número de amostras necessárias para estimar a área foliar de um trifólio,  
22 foi investigada, e assim, determinar qual método é o mais preciso na determinação da área foliar em  
23 feijoeiro. A relação entre a área por fotos digitais e as dimensões do folíolo central do trifólio (C, L, CL)  
24 foi ajustada por modelos lineares, quadráticos e de potência e a capacidade preditiva das equações foi  
25 avaliada através da raiz quadrada média do erro (cm<sup>2</sup> trifólio<sup>-1</sup>), erro médio absoluto (cm<sup>2</sup> trifólio<sup>-1</sup>),  
26 índice de concordância e coeficiente de correlação de Pearson. Os resultados indicam que o tamanho de  
27 amostra variou entre as cultivares, condições hídricas e métodos de avaliação. Os modelos derivados  
28 com dados obtidos do ImageJ foram mais precisos do que os modelos com dados dos discos foliares. A  
29 equação geral  $AF = 1,092C^{1,945}$  pode ser utilizada nas condições testadas sem perda na precisão.

30 **Palavras chave:** comprimento do folíolo, fotos digitais, modelo matemático, *Phaseolus vulgaris*.

## 1 **Abstract**

2 This work aimed to establish mathematical models that estimate the leaf area of common beans  
 3 (*Phaseolus vulgaris*) in irrigated and non-irrigated conditions using linear dimensions. For this, a trial  
 4 was carried out in a completely randomized design in a 3x2 factorial scheme (three cultivars: Triunfo,  
 5 Garapiá, and FC104; two water regimes: irrigated, non-irrigated) with 25 replicates each. 523 trifoliate  
 6 leaves were collected throughout the crop cycle. Central leaflet length (L) (cm), width (W) (cm), and  
 7 their product (LW) (cm<sup>2</sup>) were measured. Subsequently, the leaf area was determined by digital photo  
 8 methods with ImageJ® software and by leaf discs. The number of samples necessary to estimate the leaf  
 9 area of a trefoil was explored, and therefore, define which technique is the most accurate in determining  
 10 the leaf area in common bean. The relationship between the digital photos area and the central leaflet  
 11 dimensions (L, W, LW) were adjusted by linear, quadratic, and power models and the predictive  
 12 capacity of the equations was weighed using RMSE (cm<sup>2</sup> trefoil<sup>-1</sup>), MAE (cm<sup>2</sup> trefoil<sup>-1</sup>), Willmott's  
 13 index of agreement and Pearson's correlation coefficient. The results indicate that the sample size varied  
 14 between cultivars, water conditions, and evaluation methods. The digital photo method was more  
 15 accurate than that of leaf discs and was related to linear dimensions. The general equation  $LA =$   
 16  $1.092L^{1.945}$  can be used in the tested conditions without losing accuracy.

17 **Key words:** digital photos, leaf length, mathematical model, *Phaseolus vulgaris*.

## 18 **Introdução**

19 O feijão (*Phaseolus vulgaris*) é uma importante fonte proteica para a população mundial,  
 20 principalmente nas regiões mais carentes. Apesar da sua importância, a produtividade com média de  
 21 1.014,6 kg ha<sup>-1</sup> nas últimas safras (Companhia Nacional de Abastecimento, 2021) está inferior ao seu  
 22 potencial produtivo, próximo a 3.000 kg ha<sup>-1</sup> em lavouras irrigadas (Justino et al., 2019). Entre os fatores  
 23 redutores da produtividade no feijoeiro, se destaca o estresse por déficit hídrico (Schwerz et al., 2017).  
 24 A deficiência hídrica diminui a turgescência celular, induz o fechamento estomático, reduz os processos  
 25 fisiológicos e a área foliar da planta e compromete, por fim, a produção de grãos (Taiz, Zeiger, Moller,  
 26 & Murphy, 2017).

27 A área foliar é um dos parâmetros mais importantes na avaliação do crescimento e  
 28 desenvolvimento vegetal, uma vez que está interligada a taxa fotossintética (Taiz, Zeiger, Moller, &  
 29 Murphy, 2017). A sua mensuração pode ser realizada por métodos destrutivos e não destrutivos, em  
 30 campo ou em laboratório (Hara, Gonçalves, Maller, Hashiguti, & Oliveira, 2019). Métodos destrutivos  
 31 necessitam retirar as folhas da planta, o que os tornam métodos limitantes em experimentos com poucas  
 32 amostras ou que estas precisam ser mantidas até o final do ciclo. Já métodos não destrutivos, preservam

1 a integridade da folha, permitindo fazer medições repetidas durante o ciclo de desenvolvimento da  
2 cultura (Bakhshandeh, Kamkar, & Tsialtas, 2011; Richter et al., 2014).

3 Entre os métodos não destrutivos, o uso de modelos matemáticos é considerado simples, fácil,  
4 confiável e não demanda equipamentos sofisticados (Lakitan, Widuri, & Meihana, 2017; Hara,  
5 Gonçalves, Maller, Hashiguti & Oliveira, 2019). No feijão, existem relatos desde a década de 1970 sobre  
6 o tema com cultivares do grupo carioca. Os estudos iniciaram por Benincasa, Benicasa, Latanze e  
7 Jenquetti (1976) e continuaram com a cultivar UEL-2 de feijão vagem (Queiroga, Romano, Souza &  
8 Miglioranza, 2003), cultivar Pérola (Figueiredo, Santos, & Garcia, 2012) e com a cultivar IPR Tangará  
9 (Hara, Gonçalves, Maller, Hashiguti, & Oliveira, 2019).

10 A partir dos trabalhos supracitados de feijão, verificou-se uma variabilidade nas equações  
11 encontradas. É necessário o desenvolvimento de modelos para um maior número de cultivares, pois, as  
12 estas possuem padrões morfológicos das folhas característicos entre as cultivares (Toebe et al., 2019).  
13 É importante destacar que a extrapolação dos modelos específicos para outras cultivares é hábito usual.  
14 Assim, além de ajustar modelos específicos, ajuste de modelos gerais é uma alternativa que vem sendo  
15 usada e facilita a aplicação prática, visto que anualmente são lançadas novas cultivares no mercado  
16 (Richter et al., 2014; Schwab et al., 2014).

17 Além disso, o deficit hídrico pode alterar a morfologia da folha, como verificado em soja  
18 (Gonçalves et al., 2017). O feijão é uma espécie sensível a esse estresse e a previsão de aumento de  
19 períodos com estiagens devido a menor precipitação pluvial e maior demanda evaporativa do ar  
20 (Vicente-Serrano, Quiring, Peña-Gallardo, Yuan & Domínguez-Castro, 2020), justificam a abordagem.  
21 Desse modo, o objetivo desse trabalho foi determinar modelos matemáticos que estimem a área foliar  
22 de feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) em condição hídrica irrigada e não irrigada a partir de dimensões  
23 lineares de folíolos.

24

## 25 **Material e Métodos**

### 26 ***Delineamento experimental***

27 O experimento foi conduzido em um abrigo de 150 m<sup>2</sup> coberto com polietileno de baixa  
28 densidade de 200 µm, com paredes laterais revestidas com tela antiafídeos, localizado no Departamento  
29 de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, RS (29°43'S, 53°43'W, 95 m). O clima do local  
30 é do tipo Cfa, subtropical úmido com verões quentes e sem estação seca definida (Kuinchtner & Buriol,  
31 2001).

32 O experimento para coleta dos trifólios para determinação dos modelos foi semeado em agosto  
33 de 2019 e conduzido até a colheita, em dezembro de 2019. O experimento para coleta dos trifólios para  
34 validação da equação determinada foi semeado em janeiro de 2020 e conduzido até abril de 2020. Assim,

1 a validação com trifólios da safrinha para validar a equação determinada a partir de trifólios obtida na  
2 safra, podem indicar que o modelo matemático será válido para todas as épocas de semeadura do  
3 feijoeiro na região sul do Brasil.

4 A área foliar foi determinada a partir de um experimento conduzido em delineamento  
5 inteiramente casualizado em esquema fatorial 3x2: três cultivares de feijão (Triunfo, Garapiá e FC104)  
6 e dois regimes hídricos (irrigado e não irrigado), com 25 repetições por tratamento. As cultivares  
7 Garapiá (*Phaseolus vulgaris*) e FC104 (*Phaseolus vulgaris*) pertencem ao grupo de grãos carioca e a  
8 Triunfo (*Phaseolus vulgaris*) ao de grãos pretos. Cada unidade experimental foi composta por um vaso  
9 com uma planta, sendo o vaso com capacidade de 8 L preenchido com Argissolo Bruno-Acizentado  
10 alítico típico (Santos et al., 2018). A adubação de base e a inoculação com bactérias fixadoras de  
11 nitrogênio foram de acordo com as recomendações técnicas da cultura (Comissão de Química e de  
12 Fertilidade do Solo RS/SC, 2016).

13 As condições hídricas foram impostas no pré-florescimento, através da metodologia da fração  
14 de água transpirável no solo (FATS). No início da imposição dos regimes hídricos, todos os vasos foram  
15 saturados e deixados drenar por 24 horas, a fim de atingirem a capacidade de campo. Depois de 24 horas  
16 de drenagem, foi determinada a massa inicial de cada vaso. A partir desse dia os vasos da condição  
17 hídrica não irrigado não receberam mais irrigação até as plantas atingirem 10% da transpiração das  
18 plantas em condição hídrica irrigado. Diariamente a partir das 15 horas e 30 minutos foi determinada a  
19 massa de todos os vasos, em uma balança eletrônica com capacidade de 50 kg, em que cada vaso sem  
20 deficit hídrico foi irrigado com a quantidade de água perdida pela transpiração diária da planta, através  
21 da diferença em g, do peso diário subtraído do peso inicial, de cada vaso, com auxílio de uma proveta,  
22 conforme metodologia proposta por Sinclair e Ludlow (1986).

#### 23 ***Variáveis analisadas***

24 Os trifólios foram coletados quinzenalmente após a emergência, retirando todos os trifólios sem  
25 danos mecânicos ou com manchas de doenças de três plantas por tratamento, ao longo do ciclo da  
26 cultura. No total foram coletados 523 trifólios em 6 coletas. Estas foram coletadas no início da manhã  
27 para evitar o murchamento, e imediatamente analisadas para manutenção do turgor. Foram medidos o  
28 comprimento (C) (cm) e a maior largura (L) (cm) do folíolo central com auxílio de régua milimetrada,  
29 considerando o espaço entre as extremidades da inserção do pecíolo e o final da nervura central para o  
30 C, e a maior medida perpendicular à nervura central na L, e assim, calculado o produto CL (cm<sup>2</sup>) (Figura  
31 1) (Richter et al 2014; Hara, Gonçalves, Maller, Hashiguti, & Oliveira, 2019).

32  
33 A determinação da área foliar medida pelo software ImageJ® (Image Processing e Análise em  
34 Java) ocorreu após a obtenção de imagens digitais através de uma câmera de 13 megapixels de resolução,

1 perpendicularmente em relação a exposição dos trifólios, a uma altura aproximada de 30 cm medida  
 2 com uma régua milimetrada e a câmera segurada pela mesma pessoa. Foi aplicado contraste de cores  
 3 nos trifólios presentes nas fotos a fim de torná-las mais escuras para a análise.

4 Para posterior comparação, a área de cada trifólio também foi determinada pela metodologia de  
 5 discos foliares, com o auxílio de um cortador com 0,785 cm<sup>2</sup>, quando obteve-se o número maior possível  
 6 de discos do limbo, incluindo as nervuras. Após, essas áreas circulares e o restante dos três folíolos  
 7 foram secados em estufa (65°C) até massa constante e pesados. A área do trifólio foi determinada a  
 8 partir da multiplicação do número de discos pela área do cortador (0,785cm<sup>2</sup>), pela massa fresca dos  
 9 discos, e o total, dividido pela massa seca dos discos, conforme a equação

$$10 \quad AF = \frac{(0,785 \times N) \times MSF}{MSD} \quad (1)$$

11 em que AF é a área foliar (cm<sup>2</sup> trifólio<sup>-1</sup>), N é o número de discos, MSF a massa seca do trifólio  
 12 (g trifólio<sup>-1</sup>) e MSD a massa seca dos discos (g discos<sup>-1</sup>).

13

#### 14 ***Tamanho amostral***

15 Os dados de C, L e CL foram submetidos à análise de variância, e as médias, comparadas pelo  
 16 teste de Scott Knott em 0,05 de probabilidade de erro pelo software Sisvar (Ferreira, 2011).

17 Para determinar o método a ser utilizado como padrão para o ajuste das equações, foi avaliada  
 18 a precisão do método pelo número de amostras de trifólios necessárias para estimar a área do trifólio,  
 19 por ImageJ<sup>®</sup> e por discos foliares. Com os dados de C, L e CL dos 523 trifólios coletados, realizou-se  
 20 um processo iterativo com 2.000 reamostragens, com reposição, utilizando diferentes tamanhos de  
 21 amostras (n), iniciando com 2 e acrescentando 1 em cada iteração até o tamanho máximo de 1.000  
 22 leituras. Obtêm-se, assim, 2.000 médias para cada um dos 999 tamanhos de amostras utilizados  
 23 (Ferreira, 2009).

24 A partir das médias, foram estimadas as estatísticas: valor mínimo, percentil 2,5%, média,  
 25 percentil 97,5%, valor máximo e a amplitude do intervalo de confiança (AIC<sub>95%</sub>). O tamanho da amostra  
 26 para estimação da média foi determinado pelo número de plantas a partir do qual a amplitude do  
 27 intervalo de confiança de 95% (AIC<sub>95%</sub>) foi igual a 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35% e 40% da estimativa  
 28 da média (Schoffel, Koefender, Camera, Golle, & Horn, 2019). As análises foram realizadas no software  
 29 R (R Core Team, 2020).

30

#### 31 ***Análise e validação dos dados***

32 A determinação das equações para a estimativa da área foliar (variável dependente), foi através  
 33 da regressão entre a área foliar obtida pelo ImageJ<sup>®</sup>, com as variáveis independentes, medidas com o  
 34 uso da régua milimetrada: C, L e CL. Foram ajustados modelos lineares ( $y = bx$ ), quadráticos ( $y = bx +$

1  $cx^2$ ) e de potência ( $y = ax^b$ ). Os modelos lineares e quadráticos foram gerados com a interseção na  
2 origem, pois é o procedimento mais adequado do ponto de vista biológico (Schwab et al., 2014). A  
3 significância dos parâmetros do modelo foi avaliada por meio do teste t de Student, em 0,05 de  
4 probabilidade de erro.

5       Para a validação das equações, 20 trifólios independentes, tomados aleatoriamente, por condição  
6 hídrica e cultivar foram coletados em um segundo experimento conduzido em janeiro de 2020, nas  
7 mesmas condições do outro experimento supracitado. O desempenho das equações em estimar a área  
8 foliar das cultivares de feijão foi avaliado com base nas estatísticas raiz do quadrado médio do erro  
9 (RQME), erro médio absoluto (EMA), índice de concordância de Willmott (d) (Willmott, 1981) e  
10 correlação de Pearson (r) através do pacote hydroGOF (Zambrano-Bigiarini, 2020) do software R (R  
11 Core Team, 2020). Para a escolha da melhor equação, considerou-se os maiores coeficientes de  
12 determinação ( $R^2$ ), coeficientes de determinação ajustados ( $R^2a$ ), d e r e os menores valores de RQME  
13 e EMA. A RQME e EMA expressam a magnitude do erro produzido pelo modelo, valores próximos a  
14 zero indicam melhores modelos. O índice d indica a concordância dos dados estimados com os  
15 observados em que o valor de 1 expressa a concordância perfeita. O r indica o grau de dispersão e  
16 associação dos dados simulados em relação aos dados observados, quanto maior seu valor, melhor o  
17 modelo.

18

## 19 **Resultados e Discussão**

20       O tamanho da amostra necessário para estimar a área foliar nas cultivares em cada condição  
21 hídrica apresentou maior variabilidade em intervalo de confiança de 10% da estimativa média, variando  
22 de 469 a 698 nos dados por fotos digitais por ImageJ<sup>®</sup>, e de 572 a 911 por discos foliares de massa seca  
23 (Tabela 1). Para todas as cultivares e condições hídricas avaliadas, 27 trifólios são suficientes para  
24 estimar a área foliar em um intervalo de confiança de 95 % igual a 40 % da estimativa da média por  
25 ImageJ<sup>®</sup> e de 33 trifólios para o método dos discos foliares, pois estes são os maiores valores observados  
26 em cada método. Essas informações possibilitam aos pesquisadores dimensionarem o tamanho da  
27 amostra, considerando o número de plantas disponíveis e a precisão desejada.

28       Devido a maior precisão das fotos digitais por avaliar o trifólio inteiro e não apenas partes do  
29 trifólio por discos, foram necessários menores tamanhos de amostras por ImageJ<sup>®</sup> em todos os níveis de  
30 precisão avaliados. Esses dados comprovam que a determinação de equação com base nas fotos digitais  
31 é um método adequado, bem como constatado por Lopes et al. (2007) e por Padrón et al. (2016). Em  
32 pesquisa com feijão (*Phaseolus vulgaris*), Martin et al. (2013) constataram que o método considerado  
33 como padrão para obter a área foliar real, o integrador de área foliar (LI3100 LI-COR) pode ser  
34 substituído pelo software ImageJ<sup>®</sup>. Para feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris*), o método dos discos foliares



1 subestima a área foliar em virtude de haver diferença entre a massa das nervuras do restante da folha, o  
 2 que pode influenciar em erros na estimação da área foliar (Toebe, Cargnelutti Filho, Loose, Heldwein,  
 3 & Zanon Filho, 2012). Dessa forma, é mais adequada a determinação da equação que estima a área foliar  
 4 por medidas lineares utilizando as fotos digitais por ImageJ®, pois o menor tamanho da amostra é  
 5 proporcional à menor variabilidade dos dados e inversamente proporcional ao erro de estimação. Além  
 6 da maior precisão do ImageJ®, também possui as vantagens por ser um método não destrutivo.

7 As equações ajustadas da área foliar determinada por fotos digitais versus seu comprimento  
 8 (C), sua largura (L) e o seu produto comprimento x largura (CL) através dos modelos de potência,  
 9 quadrático e linear, juntamente aos respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e de determinação  
 10 ajustado ( $R^2a$ ), e para as diferentes condições hídricas, estão na Tabela 2. Os modelos possuem ajustes  
 11 satisfatórios com  $R^2$  acima de 0,65 em todas as cultivares e condições hídricas, entretanto, os piores  
 12 desempenhos ocorreram no modelo linear que usaram C e/ou L com  $R^2$  e  $R^2a$  inferior a 0,80. Os outros  
 13 modelos apresentaram  $R^2$  e  $R^2a$  acima de 0,90 (Yuan, Peng, & Li, 2017), indicando que qualquer um  
 14 destes poderia ser usado para estimar a área foliar. As equações com melhores ajustes ocorreram com o  
 15 produto CL, com  $R^2$  e  $R^2a$  acima de 0,94.

16 O deficit hídrico afetou o tamanho do folíolo central do trifólio do feijoeiro sob deficit hídrico.  
 17 O C do folíolo apresentou diferença significativa para condição hídrica F ( $1, 517$ ) = 7,934,  $p=0,005$ . O  
 18 mesmo resultado foi obtido para L do folíolo F ( $1, 517$ ) = 5,860,  $p=0,016$  e para CL F ( $1, 517$ ) = 7,941,  
 19  $p=0,005$ . Os folíolos sob deficit hídrico apresentaram menor C, L e CL, devido a limitação no seu  
 20 desenvolvimento, em virtude da falta de água para manter a turgescência celular e realizar os processos  
 21 bioquímicos para obtenção de fotoassimilados (TAIZ et al., 2017). Isso indica ser possível confeccionar  
 22 equações gerais para as condições hídricas, desconsiderando o efeito do fator cultivar.

23 Aliado a isso, a pequena variação dos coeficientes em x para as equações lineares de CL (1,604  
 24 a 1,402), dos coeficientes em  $x^2$  para as equações quadráticas de CL (0,003 a 0,00) e de C (1,046 a  
 25 0,515) e do coeficiente em  $x^b$  para as equações de potência de CL (1,067 a 0,957) e de C (2,252 a 1,789)  
 26 em comparação as outras equações, indica um potencial para se utilizar uma equação geral para as 3  
 27 cultivares e 2 regimes hídricos (Tabela 2). Além disso, o erro médio dessas mesmas equações para a  
 28 RQME e para o EMA foram os menores e com maiores d e r (Tabela 2). Desse modo, realizou-se uma  
 29 equação geral baseada apenas nos dados dos trifólios irrigados, nos trifólios não irrigados e em todos os  
 30 dados (Tabela 3) para as equações supracitadas, com exceção das equações quadráticas de CL, pois o  
 31 coeficiente em  $x^2$ , que delimita a concavidade da parábola e representa o comportamento quadrático é  
 32 próximo a zero e não diferiu significativamente ( $p>0,05$ ) (Tabela 2). As equações  $AF = 1,092C^{1,945}$  ( $R^2$   
 33 = 0,911) e  $AF = 0,932C^2 + 0,376C$  ( $R^2 = 0,896$ ) foram determinadas a partir de todos os dados (cultivares  
 34 e condições hídricas) (Tabela 3), apresentaram as menores RQME e EMA para a maioria das cultivares

1 e condições hídricas, inclusive para as gerais de cada condição hídrica, sendo, portanto, as que  
2 apresentam melhor ajuste.

3 Comparando as estatísticas da capacidade preditiva das equações gerais ( $AF = 1,092C^{1,945}$  e  $AF$   
4  $= 0,932C^2 + 0,376C$ ), obtidas a partir de todos os dados, demonstradas na Tabela 3 com as equações  
5 específicas da Tabela 2, observou que a RQME variou de 6,68 a 48,44  $\text{cm}^2 \text{ trifólio}^{-1}$  nas equações  
6 específicas (Tabela 2) e de 7,03 a 14,47  $\text{cm}^2 \text{ trifólio}^{-1}$  nas equações gerais (Tabela 3). A RQME máxima  
7 das gerais (7,03 a 14,47  $\text{cm}^2 \text{ trifólio}^{-1}$ ) também está inferior às das equações gerais irrigadas (6,99 a  
8 18,74  $\text{cm}^2 \text{ trifólio}^{-1}$ ) e não irrigadas (7,13 a 18,13  $\text{cm}^2 \text{ trifólio}^{-1}$ ). Os valores das equações gerais estão  
9 próximos aos encontrados para soja, que foi de 6,48 a 16,92  $\text{cm}^2 \text{ folha}^{-1}$  (Richter et al., 2014) e menor  
10 do que para feijão vagem, que foi de 12,56 a 39,94  $\text{cm}^2 \text{ trifólio}^{-1}$  (Toebe et al., 2012). Comparando as  
11 estatísticas das equações específicas com a geral, observa-se um erro de estimativa similar, com  
12 melhores valores do que as específicas para algumas equações em cada cultivar e condição hídrica.

13 Apesar das equações baseadas nas variáveis CL apresentarem maior  $R^2$  e  $R^2a$ , e estarem entre  
14 as equações com menor erro de estimativa (Tabela 2, 3), as equações de potência de C e quadrática de  
15 C também se destacam por apresentar baixos valores de RQME e EMA. O uso de apenas uma variável  
16 independente, no caso o C, é benéfico, pois necessita de menor tempo na coleta dos dados, resultando  
17 em menor margem de erro na coleta de dados e estimação da área foliar (Padrón et al., 2016). Resultado  
18 semelhante foi observado por Queiroga, Romano, Souza & Miglioranza (2003) em feijão-vagem  
19 (*Phaseolus vulgaris*), em que concluíram que uma equação de potência apenas com dados de L foi  
20 suficiente para estimar a área foliar.

21 O ajuste das duas equações gerais ( $AF = 1,092C^{1,945}$  e  $AF = 0,932C^2 + 0,376C$ ) a linha 1:1 é  
22 similar (Figuras 2). Deste modo, o critério para selecionar a melhor equação consiste no menor erro  
23 (RQME, EMA) e maior precisão da estimativa (d, r) em que se destaca a equação  $AF = 1,092C^{1,945}$  com  
24 média de 11,11  $\text{cm}^2 \text{ trifólio}^{-1}$  da RQME, 8,62  $\text{cm}^2 \text{ trifólio}^{-1}$  do EMA, de 0,96 de d e 0,95 de r. Além  
25 disso, na Figura 2 é possível observar que quando a equação geral (Figuras 2 A) foi comparada às  
26 equações específicas (Figuras 2 B) para as cultivares e regimes hídricos, o comportamento foi  
27 semelhante, com pouca discrepância, pois os formatos dos trifólios são semelhantes, o que justificaria o  
28 uso da equação geral, que possibilita o uso em outras cultivares já disponíveis no mercado ou que serão  
29 lançadas e não possuem equações específicas, o contrário observado em soja, em que a restrição hídrica  
30 alterou a morfologia da folha (Gonçalves et al., 2017). Mesmo em cultivares com formatos variáveis de  
31 folhas em soja, a equação geral pode ser usada no lugar das específicas (Richter et al., 2014).

32 Usando-se a equação geral  $AF = 1,092C^{1,945}$  em comparação com as equações específicas  
33 (Tabela 3), a diferença na estimativa entre os dados desta com a melhor equação específica para cada  
34 condição hídrica e cultivar foi de 0,35  $\text{cm}^2 \text{ trifólio}^{-1}$  para Triunfo irrigado, 0,88  $\text{cm}^2 \text{ trifólio}^{-1}$  para Triunfo

1 não irrigado, 2,84 cm<sup>2</sup> trifólio<sup>-1</sup> para Garapiá irrigado, 1,24 cm<sup>2</sup> trifólio<sup>-1</sup> para Garapiá não irrigado, 1,03  
2 cm<sup>2</sup> trifólio<sup>-1</sup> para FC104 irrigado e 3,77 cm<sup>2</sup> trifólio<sup>-1</sup> para FC104 não irrigado. Assim, o baixo valor  
3 de RQME médio de 1,69 cm<sup>2</sup> trifólio<sup>-1</sup>, reafirma a possibilidade do uso da equação geral para todas as  
4 cultivares e condições hídricas. Os outros parâmetros de EMA, d e r acompanham esse comportamento.  
5 A determinação de uma equação geral é importante devido à escassez de equações específicas para todas  
6 as cultivares disponíveis no mercado, desde que as características morfológicas das folhas sejam  
7 semelhantes (Richter et al., 2014).

8         Esse estudo fornece diversas informações relacionadas a área foliar de cultivares de feijão em  
9 condição hídrica irrigada e não irrigada, que podem auxiliar na pesquisa e no manejo das lavouras. Os  
10 dados apresentados sobre a necessidade apenas dos dados de C para estimar a área foliar de feijoeiro,  
11 destoam de outros trabalhos com feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris*). Os autores Toebe, Cargnelutti  
12 Filho, Heldwein & Zanon Junior (2012) e Queiroga, Romano, Souza & Miglioranza (2003) observaram  
13 que apenas dados da L do folíolo central do trifólio são suficientes para estimar a área foliar, a partir de  
14 equações quadráticas e de potência, e de potência, respectivamente. Isso pode ser explicado pela maior  
15 variabilidade nos dados de C, com desvio padrão de 2,42 cm em comparação a 1,70 cm para L.

16         A partir do conhecimento da Tabela 1, o utilizador possui a alternativa de amostrar o número  
17 adequado de trifólios da sua unidade experimental a fim de estimar de forma precisa a área foliar do  
18 trifólio. A equação para determinar a área foliar a partir do C do folíolo central do trifólio ( $AF = 1,092C^{1,945}$ )  
19 resulta em um dado preciso com baixo erro de estimativa. Na Figura 3 pode ser observada  
20 a adequação do método de fotos digitais para estimar a área foliar do trifólio de feijão comum, apenas  
21 com os dados do comprimento do folíolo central.

## 22

### 23 **Conclusões**

24         O método não destrutivo a partir das dimensões lineares do folíolo central de feijoeiro, é  
25 adequado para estimar a área foliar. A equação geral  $AF = 1,092C^{1,945}$  pode ser utilizada para as  
26 cultivares Triunfo, Garapiá e FC104 nas condições hídricas irrigada e não irrigada sem perda de  
27 precisão.

### 28

### 29 **Agradecimentos**

30         Agradecemos ao Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária e a Empresa  
31 Brasileira de Pesquisa Agropecuária pela disponibilização das sementes e a Coordenação de  
32 Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pelo financiamento da pesquisa.

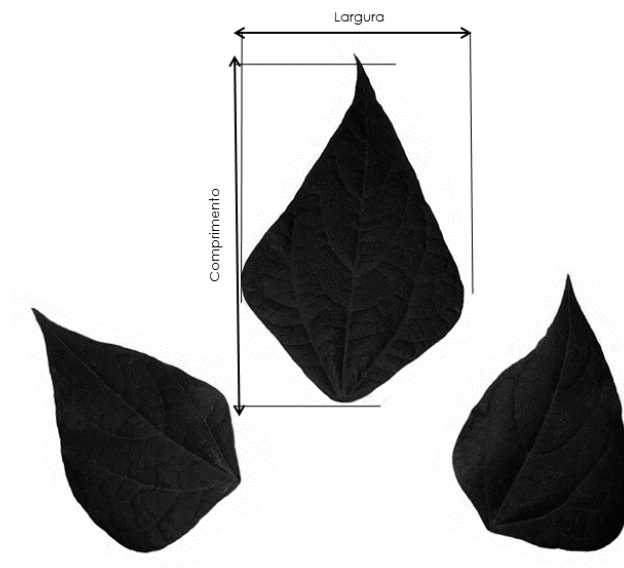
33

## 1 Referências

- 2 Bakhshandeh, E., Kamkar, B., & Tsialtas, J. T. (2011). Application of linear models for estimation of  
3 leaf area in soybean [*Glycine max* (L.) Merr]. *Photosynthetica*, 49(3): 405-416. doi:  
4 10.1007/s11099-011-0048-5.
- 5 Beebe, S. E., Rao, I. M., Blair, M. W., & Acosta-Gallegos, J. A. (2013). Phenotyping common beans  
6 for adaptation to drought. *Frontiers in Physiology*, 4 (35): 1-20. doi: 10.3389/fphys.2013.00035.
- 7 Benicasa, M. M. P., Benicasa, M., Latanze, R. J., & Jenqueti, M. T. G. (1976). Método não destrutivo  
8 para estimativa da área foliar de *Phaseolus vulgaris* L. (feijoeiro). *Científica*, 4(1): 43-48.
- 9 Comissão de Química e de Fertilidade do Solo RS/SC. (2016). *Manual de adubação e de calagem*  
10 *para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina*. Porto Alegre: SBSC/NRS.
- 11 Companhia Nacional de Abastecimento. (2021). *Série histórica das safras: feijão total: (1ª, 2ª e 3ª*  
12 *safras)*. Obtido em [https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-](https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras?start=20)  
13 [safras?start=20](https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras?start=20)>. Acesso em: 26 jan. 2021.
- 14 Ferreira, D. F. 2009. *Estatística básica*. Lavras, MG: UFLA.
- 15 Ferreira, D. F. (2011). Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia* 35(6):  
16 1039-1042. doi: 10.1590/S1413-70542011000600001.
- 17 Figueiredo, E. S., Santos, M. E., & Garcia, A. (2012). Modelos de determinação não destrutivo da área  
18 foliar do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.). *Nucleus*, 9(1): 79-84. doi:  
19 10.3738/1982.2278.749.
- 20 Gonçalves, C. G., Silva Junior, A. C., Pereira, M. R. R., Gasparino, E. C., & Martins, D. (2017).  
21 Morphological modifications in soybean in response to soil water management. *Plant Growth*  
22 *Regulation*, 83(1): 105-117. doi: 10.1007/s10725-017-0287-y.
- 23 Justino, L. F., Alves Júnior, J., Battisti, R., Heinemann, A. B., Leite, C. V., Evangeista, A. W. P. &  
24 Casaroli, D. (2019). Assessment of economic returns by using a central pivot system to irrigate  
25 common beans during the rainfed season in Central Brazil. *Agricultural Water Management* 224:  
26 105749. doi: 10.1016/j.agwat.2019.105749.
- 27 Kuinchtner, A., & Buriol, G. A. (2001). Clima do estado do rio grande do sul segundo a classificação  
28 climática de Köppen e Thornthwaite. *Disciplinarum Scientia*, 2(1): 171-182. doi:  
29 10.37779/nt.v2i1.1136.
- 30 Hara, A. T., Gonçalves, A. C. A., Maller, A., Hashiguti, H. T., & Oliveira, J. M. (2019). Ajuste de  
31 modelo de predição de área foliar do feijoeiro em função de medidas lineares. *Revista engenharia*  
32 *na agricultura*, 27(2): 179-186. doi: 10.13083/reveng.v27i2.912.

- 1 Lakitan, B., Widuri, L. I., & Meihana, M. (2017). Simplifying procedure for a non-destructive,  
2 inexpensive, yet accurate trifoliate leaf area estimation in snap bean (*Phaseolus vulgaris*). *Journal*  
3 *of Applied Horticulture*, 19(1): 15-21. doi: 10.37855 / jah.2017.v19i01.03.
- 4 Lopes, S. D., Brum, B., Santos, V. J., Fagan, E. B., Luz, G. P., & Medeiros, S. L. P. (2007). Estimativa  
5 da área foliar de meloeiro em estádios fenológicos por fotos digitais. *Ciência Rural*, 37(4): 1153-  
6 1156. doi: 10.1590/S0103-84782007000400039.
- 7 Martin, T. N., Marchese, J. A., Sousa, A. K. F., Curti, G. L., Fogolari, H., & Cunha, V. S. (2013). Uso  
8 do software ImageJ na estimativa de área foliar para a cultura do feijão. *Interciência*, 38(12): 843-  
9 848.
- 10 Padrón, R. A. R., Lopes, S. J., Swarowsky, A., Cerquera, R. R., Nogueira, C. U., & Maffei, M. (2016).  
11 Non-destructive models to estimate leaf area on bell pepper crop. *Ciência Rural* 46(11): 1938-1944.  
12 doi: 10.1590/0103-8478cr20151324.
- 13 Queiroga, J. L., Romano, E. D. U., Souza, J. R. P. & Miglioranza, E. (2003). Estimativa da área foliar  
14 do feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) por meio da largura máxima do folíolo central.  
15 *Horticultura Brasileira* 21(1): 64-68. doi: 10.1590/S0102-05362003000100013.
- 16 R Core Team (2020). *R: Uma linguagem e ambiente para computação estatística*. Viena: R Foundation  
17 for Statistical Computing.
- 18 Richter, G. L., Zanon Júnior, A., Streck, N. A., Guedes, J. V. C., Rocha, T. S. M., Winck, J. E. M., Cera,  
19 J. C. (2014). Estimativa da área de folhas de cultivares antigas e modernas de soja por método não  
20 destrutivo. *Bragantia* 73(4): 416-425. doi: 10.1590/1678-4499.0179.
- 21 Santos, H. G., Jacomine P. K. T., Anjos L. H. C., Oliveira, V. A., Lumbreras, J. F., Coelho, M. R.,  
22 Almeida, J. A., Araújo Filho, J. C., Oliveira, J. B. & Cunha, T. J. F. (2018). *Sistema brasileiro de*  
23 *classificação de solos*. Brasília: Embrapa.
- 24 Schoffel, A., Koefender, J., Camera, J. N., Golle, D. P., & Horn, R. C. (2019). Tamanho de amostra em  
25 mudas de *Rosmarinus officinalis* L. (alecrim) cultivadas em diferentes substratos. *Revista Cubana*  
26 *de Plantas Medicinales* 24(2): 1-16.
- 27 Schwab, N. T., Streck, N. A., Rehbein, A., Ribeiro, B. S. M. R., Uhlmann, L. O., Langner, J. A., Becker,  
28 C. C. (2014). Dimensões lineares da folha e seu uso na determinação do perfil vertical foliar de  
29 gladiolo. *Bragantia* 73(2): 97-105. doi: 10.1590/brag.2014.014 .
- 30 Silva, O. F., & Wander, A. E. (2013). *O feijão-comum no Brasil passado, presente e futuro*. Santo  
31 Antônio de Goiás, GO: EMBRAPA Arroz e Feijão.
- 32 Sinclair, T. R., & Ludlow, M. M. (1986). Influence of soil water supply on the plant water balance of  
33 four tropical grain legumes. *Australian Journal of Plant Physiology* 13(3): 319-340. doi:  
34 10.1071/PP9860329.

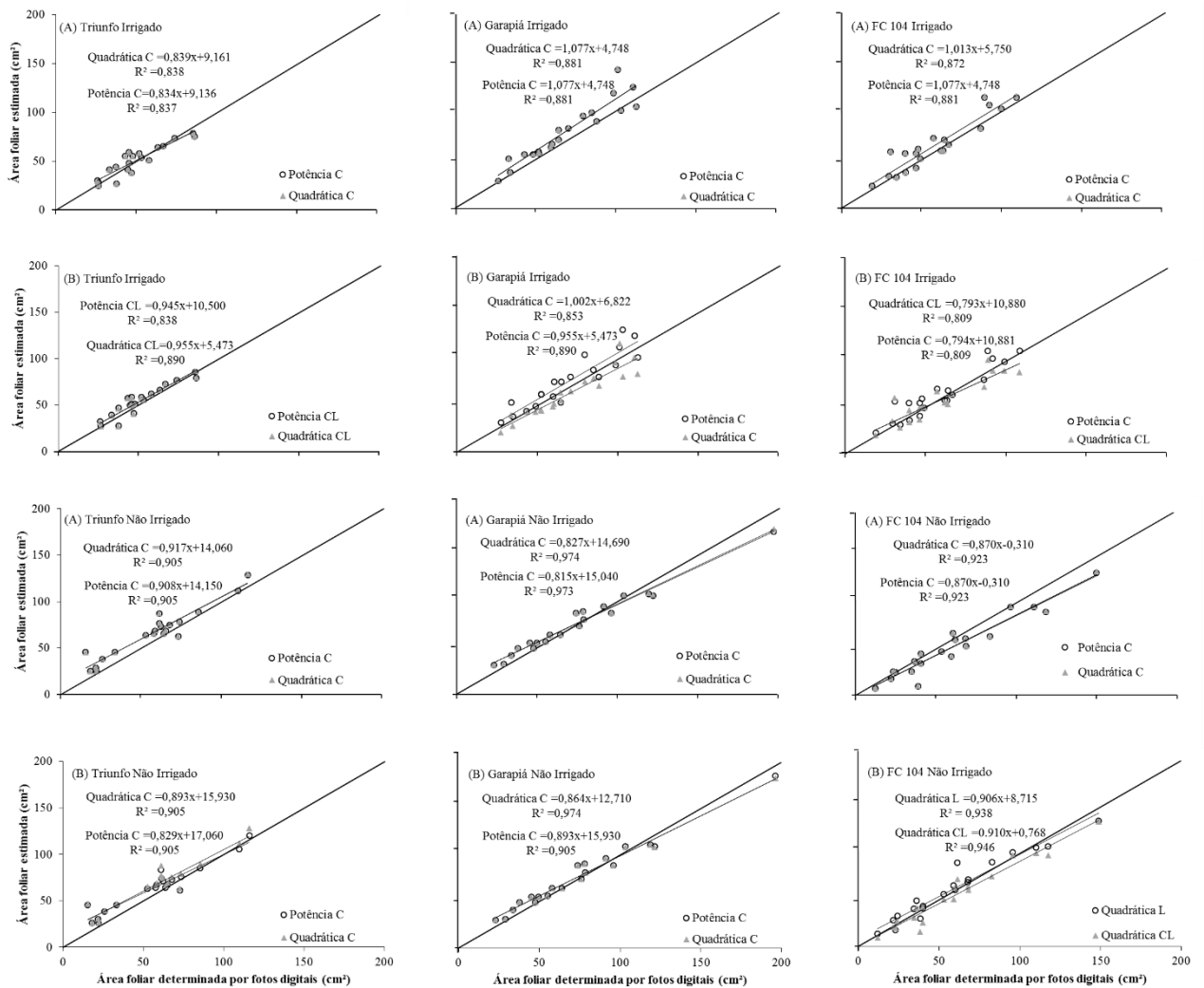
- 1 Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I. M., & Murphy, A. (2017). *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. Porto  
2 Alegre, RS: Artmed.
- 3 Toebe, M., Cargnelutti Filho, A., Loose, L. H., Heldwein, A. B., & Zanon Junior, A. (2012). Área foliar  
4 de feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) em função de dimensões foliares. *Semina: Ciências*  
5 *Agrárias* 33(1): 2491-2500. doi: 10.5433/1679-0359.2012v33Supl1p2491.
- 6 Toebe, M., Souza, R. R., Mello, A. C., Melo, P. J., Segatto, A., & Castanha, A. C. A. (2019). Leaf area  
7 estimation of squash ‘Brasileirinha’ by leaf dimensions. *Ciência Rural* 49(4): 1-11. doi:  
8 10.1590/0103-8478cr20180932.
- 9 Vicente-Serrano, S. M., Quiring, S. M., Peña-Gallardo, M., Yuan, S. & Domínguez-Castro, F. (2020).  
10 A review of environmental droughts: Increased risk under global warming? *Earth-Science*  
11 *Reviews* 201:102953. doi: 10.1016/j.earscirev.2019.102953.
- 12 Willmontt, C. J. (1981). On the validation of models. *Physical Geography* 2(2): 184-194. doi:  
13 10.1080/02723646.1981.10642213.
- 14 Yuan, S., Peng, S. & Li, T. (2017). Evaluation and application of the ORYZA rice model under  
15 different crop managements with high-yielding rice cultivars in central China. *Field Crops*  
16 *Research* 212: 115-125. doi: 10.1016/j.fcr.2017.07.010.
- 17 Zambrano-Bigiarini (2020). *HydroGOF: Goodness-of-fit functions for comparison of simulated and*  
18 *observed hydrological time series*. Viena: R Foundation for Statistical Computing.
- 19  
20  
21



1

2 Figura 1. Medidas lineares, comprimento e largura de um trifólio de *Phaseolus vulgaris*. Fonte:

3 Elaboração dos autores.



1

2 Figura 2. Correlação entre a área foliar estimada pelas equações (cm<sup>2</sup>) gerais de potência C (AF =  
 3  $1,092 \cdot C^{1,945}$ ) e quadrática C (AF =  $0,932 \cdot C^2 + 0,376 \cdot C$ ) (A) e as específicas de melhor desempenho  
 4 (B) para as cultivares Triunfo, Garapiá e FC104 nas condições hídricas irrigado e não irrigado. As  
 5 equações específicas ajustadas em cada situação estão na Tabela 2. A linha central representa a relação  
 6 1:1. Fonte: Elaboração dos autores.



1 Tabela 1. Tamanho de amostra em número de trifólios para estimação da média de área foliar nas  
 2 cultivares de feijão Triunfo, Garapiá e FC104 na condição irrigada (I) e não irrigada (NI) para as  
 3 amplitudes do intervalo de confiança menor que 10, 15, 20, 25, 30, 35 e 40 % da estimativa da média  
 4 para o método de fotos digitais por ImageJ® e dos discos foliares.

	Triunfo		Garapiá		FC104	
	I	NI	I	NI	I	NI
Fotos digitais - ImageJ®						
10%	515	548	698	691	469	480
15%	235	252	320	313	207	214
20%	131	131	174	171	121	122
25%	88	83	115	105	77	76
30%	55	63	77	76	52	53
35%	32	31	45	41	29	30
40%	22	20	27	25	19	18
Discos Foliares						
10%	744	646	911	884	572	600
15%	322	283	383	382	234	260
20%	181	162	219	221	132	149
25%	113	101	136	133	85	97
30%	80	69	96	100	61	64
35%	42	38	54	54	33	38
40%	29	26	33	33	21	22

5

6

1 Tabela 2. Equações específicas cultivar vs condição hídrica, coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e  
 2 coeficiente de determinação ajustado ( $R^2a$ ) obtidos a partir da relação entre a área do trifólio de feijão e  
 3 suas dimensões lineares comprimento (C), largura (L) e o produto comprimento vezes largura (CL)  
 4 como variáveis independentes ( $X_i$ ), e estatísticas do desempenho desses modelos empíricos de  
 5 estimativa da área do trifólio para as cultivares Triunfo, Garapiá e FC104 em dois regimes hídricos.

Modelo	$X_i$	Equações	$R^2$	$R^2a$	RQME	EMA	d	r
Triunfo Irrigado								
Potência	C	$y = 1,503^*C^{1,789^*}$	0,90	0,90	7,28	6,02	0,95	0,91
Potência	L	$y = 2,461^*(L)^{1,912^*}$	0,94	0,94	9,65	8,15	0,93	0,93
Potência	CL	$y = 1,647^*(CL)^{0,964^*}$	0,96	0,96	6,89	5,88	0,96	0,94
Quadrática	C	$y = 1,046^*(C)^2+0,478^{ns}C$	0,92	0,92	10,64	8,84	0,91	0,92
Quadrática	L	$y = 2,009^*(L)^2+0,367^{ns}L$	0,93	0,93	8,84	7,46	0,94	0,93
Quadrática	CL	$y = 0,000^{ns}(CL)^2+1,432^*CL$	0,96	0,96	6,68	5,60	0,96	0,94
Linear	C	$y = 9,075^*C$	0,74	0,74	17,25	15,59	0,71	0,90
Linear	L	$y = 13,46^*L$	0,74	0,74	20,06	18,61	0,69	0,92
Linear	CL	$y = 1,453^*CL$	0,96	0,96	7,14	6,16	0,96	0,94
Triunfo Não Irrigado								
Potência	C	$y = 1,424^*(C)^{1,810^*}$	0,93	0,93	11,40	8,86	0,95	0,95
Potência	L	$y = 2,228^*(L)^{1,941^*}$	0,96	0,96	17,12	14,70	0,92	0,97
Potência	CL	$y = 1,645^*(CL)^{0,957^*}$	0,96	0,96	13,31	11,58	0,95	0,97
Quadrática	C	$y = 0,872^*(C)^2+0,945^{ns}C$	0,94	0,94	12,99	10,80	0,94	0,95
Quadrática	L	$y = 2,790^*(L)^2-0,713^{ns}L$	0,96	0,96	43,74	38,84	0,75	0,97
Quadrática	CL	$y = 0,001^{ns}(CL)^2+1,367^*CL$	0,97	0,97	15,66	13,43	0,93	0,97
Linear	C	$y = 8,617^*C$	0,78	0,78	18,94	16,29	0,82	0,94
Linear	L	$y = 12,490^*L$	0,77	0,77	19,08	17,18	0,85	0,95
Linear	CL	$y = 1,402^*CL$	0,97	0,97	14,27	12,34	0,94	0,97
Garapiá Irrigado								
Potência	C	$y = 0,588^*(C)^{2,252^*}$	0,93	0,93	21,20	15,21	0,89	0,93
Potência	L	$y = 2,413^*(L)^{1,921^*}$	0,95	0,95	12,77	10,25	0,94	0,92
Potência	CL	$y = 1,128^*(CL)^{1,067^*}$	0,97	0,97	15,18	11,50	0,93	0,96
Quadrática	C	$y = 0,819^*(C)^2-0,466^{ns}C$	0,89	0,89	11,06	8,69	0,95	0,94
Quadrática	L	$y = 2,272^*(L)^2+0,124^{ns}L$	0,94	0,94	19,20	15,04	0,89	0,92
Quadrática	CL	$y = 5E-05(CL)^{2ns}+1,455^*CL$	0,95	0,95	13,28	10,65	0,94	0,96

Linear	C	$y = 9,948^*C$	0,68	0,68	21,93	19,94	0,78	0,95
Linear	L	$y = 14,330^*L$	0,74	0,73	19,89	17,17	0,81	0,93
Linear	CL	$y = 1,516^*CL$	0,95	0,95	16,14	13,29	0,92	0,96
Garapiá Não Irrigado								
Potência	C	$y = 0,881^*(C)^{2,050^*}$	0,94	0,94	7,91	6,70	0,99	0,99
Potência	L	$y = 1,882^*(L)^{2,050^*}$	0,96	0,96	10,78	8,51	0,98	0,97
Potência	CL	$y = 1,197^*(CL)^{1,046^*}$	0,97	0,97	8,58	7,19	0,99	0,98
Quadrática	C	$y = 1,004^*(C)^2 - 0,193^{ns}C$	0,93	0,93	8,19	6,94	0,99	0,99
Quadrática	L	$y = 3,620^*(L)^2 - 2,252^*L$	0,94	0,94	48,44	44,16	0,80	0,97
Quadrática	CL	$y = 0,003^*(CL)^2 + 1,283^*CL$	0,97	0,97	8,39	6,70	0,99	0,98
Linear	C	$y = 8,320^*C$	0,71	0,71	24,74	17,50	0,80	0,97
Linear	L	$y = 12,030^*L$	0,70	0,69	25,37	16,98	0,79	0,94
Linear	CL	$y = 1,472^*CL$	0,96	0,96	9,69	8,29	0,98	0,98
FC104 Irrigado								
Potência	C	$y = 1,085^*(C)^{1,936^*}$	0,90	0,90	10,16	7,59	0,96	0,93
Potência	L	$y = 3,773^*(L)^{1,722^*}$	0,92	0,92	17,08	12,77	0,82	0,81
Potência	CL	$y = 1,732^*(CL)^{0,965^*}$	0,97	0,97	11,11	8,64	0,94	0,90
Quadrática	C	$y = 0,515^*(C)^2 + 1,633^*C$	0,86	0,86	15,30	12,69	0,87	0,93
Quadrática	L	$y = -0,151^*(L)^2 + 6,967^*L$	0,85	0,84	37,12	30,81	0,25	0,81
Quadrática	CL	$y = -0,001^{ns}(CL)^2 + 1,609^*CL$	0,95	0,95	10,76	8,29	0,91	0,90
Linear	C	$y = 8,720^*C$	0,72	0,72	16,38	13,95	0,84	0,93
Linear	L	$y = 13,710^*L$	0,78	0,78	16,59	13,07	0,78	0,81
Linear	CL	$y = 1,510^*CL$	0,95	0,95	11,19	8,73	0,94	0,90
FC104 Não Irrigado								
Potência	C	$y = 1,400^*(C)^{1,842^*}$	0,87	0,87	12,24	9,16	0,97	0,96
Potência	L	$y = 2,989^*(L)^{1,894^*}$	0,96	0,96	10,64	7,41	0,97	0,97
Potência	CL	$y = 1,748^*(CL)^{0,977^*}$	0,96	0,96	10,15	7,66	0,98	0,97
Quadrática	C	$y = 0,968^*(C)^2 + 1,188^{ns}C$	0,88	0,88	9,91	7,54	0,98	0,96
Quadrática	L	$y = 2,610^*(L)^2 + 0,917^{ns}L$	0,95	0,94	9,32	7,04	0,98	0,97
Quadrática	CL	$y = 0,000^{ns}(CL)^2 + 1,629^*CL$	0,95	0,95	9,46	7,31	0,98	0,97
Linear	C	$y = 8,863^{ns}C$	0,71	0,70	17,80	14,68	0,89	0,93
Linear	L	$y = 14,000^{ns}L$	0,75	0,75	19,26	15,74	0,87	0,94
Linear	CL	$y = 1,604^{ns}CL$	0,95	0,95	9,97	7,63	0,98	0,97

- 1 \* Significativo a 0,05 de probabilidade de erro pelo teste t. ns = Não-significativo. RQME = raiz
- 2 quadrada média do erro ( $\text{cm} \cdot \text{trifólio}^{-1}$ ); EMA = erro médio absoluto ( $\text{cm} \cdot \text{trifólio}^{-1}$ ); d = índice de
- 3 concordância; r = coeficiente de correlação de Pearson. \* Significativo a 0,05 de probabilidade de erro
- 4 pelo teste t. ns = não-significativo.

1 Tabela 3. Equações gerais irrigadas, não irrigadas e com todos os dados, obtidos a partir da relação entre  
 2 a área do trifólio de feijão e suas dimensões lineares comprimento (C), largura (L) e o produto  
 3 comprimento vezes largura (CL) como variáveis independentes ( $X_i$ ), e estatísticas do desempenho  
 4 desses modelos empíricos de estimativa da área do trifólio para as cultivares de feijão Triunfo, Garapiá  
 5 e FC104 em dois regimes hídricos.

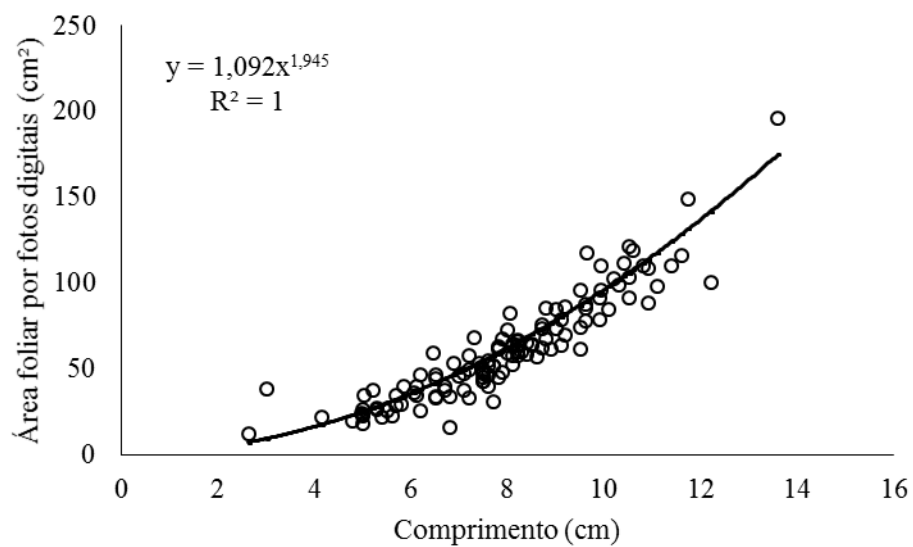
Modelo	RQME	EMA	d	r	RQME	EMA	d	r
	Equações gerais de folíolos irrigados							
	AF = 1,494*CL				AF = 0,965*(C) <sup>2</sup> +0,242 <sup>ns</sup> C			
Triunfo Irrigado	8,20	7,26	0,95	0,94	7,23	5,97	0,95	0,92
Triunfo Não Irrigado	18,74	16,57	0,91	0,97	13,09	10,95	0,94	0,95
Garapiá Irrigado	15,03	12,27	0,93	0,96	15,88	12,10	0,92	0,94
Garapiá Não Irrigado	10,07	8,63	0,98	0,98	8,78	7,60	0,99	0,99
FC104 Irrigado	11,39	8,95	0,94	0,90	12,44	9,12	0,94	0,93
FC104 Não Irrigado	12,89	9,91	0,96	0,97	12,16	9,16	0,97	0,96
	AF= 1,481*(CL) <sup>0,998*</sup>				AF = 1,008*(C) <sup>1,983*</sup>			
Triunfo Irrigado	7,64	6,71	0,95	0,94	6,99	5,65	0,95	0,92
Triunfo Não Irrigado	17,68	15,53	0,92	0,97	12,38	10,10	0,95	0,95
Garapiá Irrigado	13,96	11,28	0,94	0,96	14,47	10,75	0,93	0,94
Garapiá Não Irrigado	9,73	8,33	0,98	0,98	8,62	7,09	0,99	0,99
FC104 Irrigado	11,70	9,26	0,93	0,90	11,42	8,52	0,95	0,93
FC104 Não Irrigado	13,53	10,43	0,96	0,97	13,00	9,73	0,96	0,96
	Equações gerais de folíolos não irrigados							
	AF = 1,482*CL				AF = 0,907*(C) <sup>2</sup> +0,673 <sup>ns</sup> C			
Triunfo Irrigado	7,86	6,93	0,95	0,94	7,25	5,95	0,95	0,92
Triunfo Não Irrigado	18,13	15,96	0,91	0,97	13,14	11,00	0,94	0,95
Garapiá Irrigado	14,42	11,70	0,93	0,96	14,80	11,47	0,93	0,94
Garapiá Não Irrigado	9,84	8,44	0,98	0,98	9,28	7,85	0,98	0,99
FC104 Irrigado	11,57	9,13	0,93	0,90	11,88	8,68	0,94	0,93
FC104 Não Irrigado	13,26	10,22	0,96	0,97	12,39	9,29	0,97	0,96
	AF = 1,510*(CL) <sup>0,992*</sup>				AF = 1,209*(C) <sup>1,898*</sup>			
Triunfo Irrigado	7,48	6,55	0,95	0,94	7,13	5,81	0,95	0,91

Triunfo Não Irrigado	17,19	15,08	0,92	0,97	12,32	9,98	0,95	0,95
Garapiá Irrigado	13,42	10,88	0,94	0,96	13,44	10,43	0,94	0,94
Garapiá Não Irrigado	9,73	8,29	0,98	0,98	9,83	7,74	0,98	0,99
FC104 Irrigado	11,81	9,35	0,93	0,90	11,07	8,14	0,95	0,93
FC104 Não Irrigado	13,80	10,61	0,95	0,97	13,12	9,88	0,96	0,96

Equações gerais com todos os dados

	AF = 1,490*(CL)				AF = 0,932*(C) <sup>2</sup> +0,376 <sup>ns</sup> C			
Triunfo Irrigado	8,08	7,15	0,95	0,94	7,06	5,75	0,95	0,92
Triunfo Não Irrigado	18,53	16,36	0,91	0,97	12,60	10,37	0,95	0,95
Garapiá Irrigado	14,82	12,08	0,93	0,96	14,47	10,95	0,93	0,94
Garapiá Não Irrigado	9,99	8,57	0,98	0,98	8,90	7,37	0,98	0,99
FC104 Irrigado	11,45	9,00	0,93	0,90	11,52	8,53	0,95	0,93
FC104 Não Irrigado	13,02	10,01	0,96	0,97	12,79	9,58	0,96	0,96
	AF = 1,491*(CL) <sup>0,996*</sup>				AF = 1,092*(C) <sup>1,945*</sup>			
Triunfo Irrigado	7,52	6,59	0,95	0,94	7,03	5,71	0,95	0,92
Triunfo Não Irrigado	17,38	15,25	0,92	0,97	12,28	9,96	0,95	0,95
Garapiá Irrigado	13,64	11,03	0,94	0,96	13,90	10,53	0,94	0,94
Garapiá Não Irrigado	9,70	8,29	0,98	0,98	9,15	7,37	0,98	0,99
FC104 Irrigado	11,77	9,33	0,93	0,90	11,19	8,31	0,95	0,93
FC104 Não Irrigado	13,71	10,55	0,96	0,97	13,09	9,83	0,96	0,96

- 1 \* Significativo a 0,05 de probabilidade de erro pelo teste t. ns = Não-significativo. RQME = raiz  
2 quadrada média do erro (cm<sup>3</sup> trifólio<sup>-1</sup>); EMA = erro médio absoluto (cm<sup>3</sup> trifólio<sup>-1</sup>); d = índice de  
3 concordância; r = coeficiente de correlação de Pearson. \* Significativo a 0,05 de probabilidade de erro  
4 pelo teste t. ns = não-significativo.



1

2 Figura 3. Modelo potência da área foliar do trifólio (três folíolos) (y) de feijão comum (*Phaseolus*  
3 *vulgaris*), obtida por meio de fotos digitais em função do comprimento máximo do folíolo central (x).

4 Fonte: Elaboração dos autores.

## 1 8 CAPÍTULO 2

2

### 3 **Transpiração, crescimento e produtividade de feijão em resposta a fração de água** 4 **transpirável no solo**

5

6 **Resumo** - O estresse hídrico é o principal fator que provoca perda de produtividade em culturas  
7 agrícolas no mundo. O objetivo foi avaliar a resposta da transpiração, crescimento e  
8 produtividade de cultivares de feijão em função do deficit hídrico representado pela fração de  
9 água transpirável no solo (FATS). Foram conduzidos dois experimentos (safra: EI, safrinha:  
10 EII) no delineamento inteiramente casualizado em bifatorial 3x2 (Triunfo, Garapiá e FC104;  
11 irrigado e não irrigado). No EI, com baixa demanda atmosférica do ar (55% dias inferior a 15  
12 hPa), a cultivar Garapiá apresentou fechamento precoce dos estômatos (FATS crítica = 0,36),  
13 entretanto, foi tão produtiva quanto a Triunfo, que fechou tardiamente (FATS crítica = 0,23).  
14 No EII, com alta demanda atmosférica do ar (83,3% dias superior a 15 hPa), a cultivar Garapiá  
15 apresentou fechamento estomático precoce (FATS crítica = 0,17) e maior produtividade (392,2  
16 kg ha<sup>-1</sup> a mais que a Triunfo). A partir desses dados, os pesquisadores podem utilizar a Garapiá  
17 em programas de melhoramento em busca de novas cultivares tolerantes ao déficit hídrico, e os  
18 agricultores, podem otimizar seus recursos a partir da escolha da cultivar conforme a previsão  
19 meteorológica da safra.

20 **Termos para indexação:** *Phaseolus vulgaris* L., FATS, produção de grãos, seca.

21

22 **Abstract** - Water stress is the main factor that causes loss of productivity in agricultural crops  
23 worldwide. The objective was to evaluate the response of transpiration, growth and productivity  
24 of beans in function of the water deficit represented by the fraction of transpirable water in the



25 soil. Two experiments were carried out (harvest: EI, off-season: EII) in a completely  
26 randomized design in a 3x2 bifactorial design (Triunfo, Garapiá and FC104; irrigated and non-  
27 irrigated). In the EI, with low atmospheric air demand (55% days below 15hPa), the cultivar  
28 Garapiá presented early stoma closure (FTWS = 0.36), however, it was just as productive as  
29 Triunfo, which closed late (FTWS = 0.23). In the EII, with high atmospheric air demand (83.3%  
30 days greater than 15hPa), the cultivar Garapiá presented early stomatal closure (FTWS = 0.17)  
31 and higher productivity (392.2 kg ha<sup>-1</sup> more than Triunfo). From these data, researchers can use  
32 a Garapiá in breeding programs in search of new cultivars tolerant to water deficit, and farmers  
33 can optimize their resources based on the choice of cultivar according to the weather forecast  
34 of the harvest.

35 **Index terms:** *Phaseolus vulgaris* L., FTWS, grain production, drought.

36

37

38

### Introdução

39 O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é um alimento consumido diariamente, principalmente  
40 nos países em desenvolvimento, e se caracteriza como fonte proteica (até 25,2%) e mineral  
41 (selênio, zinco, ferro) fundamentais na segurança alimentar e nutricional (Celmeli et al., 2018).  
42 Apesar da importância sócio-econômica existe uma oscilação da oferta do grão relacionada  
43 principalmente a ocorrência de deficiência hídrica (Mironi et al., 2011), que é um dos principais  
44 limitadores da produtividade (Devi et al., 2013; Zadraznik et al., 2013; Schwerz et al., 2017).  
45 A produtividade média das lavouras de feijão no Brasil é 66,2% inferior ao potencial produtivo,  
46 com média de 1.014,6 kg ha<sup>-1</sup> nas últimas safras (2015/2016 a 2019/2020) (Conab, 2021),  
47 enquanto as melhores produtividades reportadas em experimentos e em lavouras com alta

48 tecnologia e irrigadas estão próximas de 3.000 kg ha<sup>-1</sup> e com menor variabilidade na  
49 produtividade (Justino et al., 2019). A redução da lacuna de produtividade de forma vertical e  
50 sustentável nas culturas agrícolas que são base da dieta alimentar é fundamental para atender  
51 ao aumento de até 110% na demanda global de alimentos projetado até 2050 (Tilman et al.,  
52 2011).

53 A escolha de cultivares que usem de forma mais eficiente a água disponível no solo, ou  
54 tolerantes ao déficit hídrico, e adaptados as condições edafoclimáticas das regiões produtoras é  
55 uma das principais estratégias sustentáveis no cenário atual e futuro na produção de alimentos  
56 (Peter et al., 2020) pois as condições de deficiência hídrica tornar-se-ão cada vez mais  
57 frequentes na produção subtropical devido a menor precipitação pluvial e maior demanda  
58 evaporativa do ar (Vicente-Serrano et al., 2020; Schwerz et al., 2017). Na América Latina, o  
59 déficit hídrico é um dos principais fatores limitantes para a produção do feijão (Rosales et al.,  
60 2012), porém não existem estudos com foco em testar a eficiência do uso da água das cultivares  
61 de feijão.

62 No estado do RS, o feijoeiro semeado no período principal, denominado de “safra”, cuja  
63 semeadura ocorre a partir de agosto, está exposto a condições mais favoráveis ao  
64 desenvolvimento. A intensificação do cultivo na “safrinha” com semeadura em janeiro e  
65 fevereiro pode prejudicar a oferta do produto no mercado pela baixa produção, pois está  
66 suscetível a períodos com estiagens, devido às chuvas irregulares e também as limitações na  
67 disponibilidade de radiação solar (Schwerz et al., 2017). Esses autores observaram que o déficit  
68 hídrico na safrinha em Frederico Westphalen, RS, ocorreu nos estágios de floração, enchimento  
69 e maturação das vagens, impactando negativamente a produtividade. Desse modo, a semeadura  
70 como cultivo secundário (safrinha) precisa considerar o uso da irrigação.

71 Para selecionar cultivares tolerantes à escassez hídrica, a metodologia da fração de água  
72 transpirável no solo (FATS) é uma das ferramentas mais robustas, pois as plantas que diminuem  
73 a transpiração no início do estresse hídrico no solo conseguem responder de forma mais rápida  
74 aos sinais ambientais (Devi et al., 2013; Sinclair et al., 2018). O fechamento precoce dos  
75 estômatos pode favorecer a aclimatação dessas plantas pela exposição prolongada a condição  
76 adversa (Taiz et al., 2017). A FATS considera que o conteúdo de água no solo absorvido pela  
77 planta e liberado pela transpiração varia entre a máxima transpiração, na condição de  
78 capacidade de campo, até 10% da transpiração máxima (Sinclair & Ludlow, 1986).

79 A fração de água transpirável no solo crítica (FATSc) corresponde ao início do  
80 fechamento estomático das plantas e o valor de FATSc varia de acordo com a espécie e entre  
81 genótipos, tais como: mandioca (Lago et al., 2011), batata (Lago et al., 2012), feijão comum  
82 (Devi et al., 2013; Serraj & Sinclair, 1998), soja (Riar et al., 2018), amendoim (Sinclair et al.,  
83 2018), milho crioulo (Langner, 2018) e crisântemo (Kelling et al., 2015). Assim, destaca-se a  
84 importância da realização desse estudo com genótipos adaptados às condições edafoclimáticas  
85 do sul do Brasil.

86 Apesar do deficit hídrico ser o principal fator que provoca perda de produtividade em  
87 lavouras de feijão no Brasil, ainda não foram realizados estudos com o foco de entender quais  
88 são as cultivares mais tolerantes ao deficit hídrico no solo. Desta forma, o objetivo foi avaliar  
89 a resposta da transpiração, crescimento e produtividade de três cultivares de feijão em função  
90 do deficit hídrico representado pela fração de água transpirável no solo.

91

92

### **Material e métodos**

93 Os experimentos foram conduzidos em um abrigo de 150 m<sup>2</sup>, coberto com polietileno  
94 de baixa densidade de 200 µm, com paredes laterais revestidas com tela antiafídeos, localizado

95 na área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria,  
96 RS (latitude: 29° 43' S, longitude: 53° 43' W e altitude: 95 m). Foram realizados dois  
97 experimentos, com três cultivares: FEPAGRO Triunfo, FEPAGRO Garapiá e BRS FC104. Um  
98 cultivo de safra (EI) com semeadura em 31/08/2019 (Triunfo e Garapiá) e 20/09/2019 (FC104)  
99 e outro na safrinha (EII), com semeadura em 27/01/2020 (Triunfo e Garapiá) e 16/02/2019  
100 (FC104). A semeadura da FC104 (super precoce) ocorreu em data distinta a fim de que  
101 houvesse coincidência na pré-floração das cultivares. A cultivar Triunfo é do grupo de grãos  
102 pretos, mais consumida no Rio Grande do Sul e, as cultivares Garapiá e FC104, do grupo de  
103 grãos cariocas, preferência do consumidor brasileiro.

104 O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com 6 tratamentos, em  
105 fatorial 2x3: duas condições hídricas (irrigado e não irrigado) e três cultivares (Triunfo, Garapiá  
106 e FC104), com uma planta por vaso como unidade experimental. O número de repetições no EI  
107 e EII foram, respectivamente: 10 e 19 na Triunfo irrigado, 12 e 21 na Triunfo não irrigado, 9 e  
108 22 na Garapiá irrigado, 12 e 23 na Garapiá não irrigado, 13 e 24 na FC104 irrigado e 12 e 17  
109 na FC104 não irrigado, totalizando 68 e 126 unidades experimentais, respectivamente. O número  
110 de repetições foi diferente em virtude do descarte das plantas danificadas por insetos e doenças  
111 ou por erro de irrigação. Cada unidade experimental consistiu de um vaso plástico de 8 L  
112 preenchido com horizonte A de um solo classificado como Argissolo Bruno-Acinzentado  
113 alítico típico. Os vasos foram pintados de branco para reduzir o aquecimento e dispostos sobre  
114 uma bancada de 70 cm de altura em relação ao piso. As sementes foram inoculadas com  
115 bactérias fixadoras de nitrogênio e a correção da acidez e nutrientes do solo foram realizadas  
116 conforme a análise de solo (Cqfs-RS/SC, 2016).

117 Os dados meteorológicos foram obtidos na estação meteorológica automática A803 do  
118 Instituto Nacional de Meteorologia localizada a aproximadamente 100 metros do experimento.

119 Para o período de duração do experimento foram determinadas a média dos valores de  
120 temperatura mínima e máxima do ar, de umidade relativa mínima e máxima do ar, de radiação  
121 solar global considerando-se uma transmitância da cobertura plástica de 80 % (Buriol et al.,  
122 1995) e do deficit de pressão de vapor (DPV) às 15 horas.

123 A imposição dos regimes hídricos ocorreu na pré-floração, estágio R5 (Fernandez et al.,  
124 1986) no EI e, para as cultivares Triunfo e Garapiá, no EII. A cultivar FC104, no EII foi  
125 submetida ao deficit hídrico no estágio V4 (Fernandez et al., 1986), pois houve um atraso na  
126 semeadura. O deficit hídrico foi imposto conforme método proposto por Sinclair & Ludlow  
127 (1986). No início da imposição dos regimes hídricos, todos os vasos foram saturados, cobertos  
128 com filme plástico branco para evitar a perda de água pela evaporação do solo e deixados drenar  
129 por 24 horas, a fim de atingirem a capacidade de campo. Depois de 24 horas de drenagem, foi  
130 determinada a massa inicial de cada vaso. A partir desse dia os vasos do regime hídrico não  
131 irrigado não receberam mais irrigação até as plantas atingirem 10% da transpiração das plantas  
132 do regime hídrico irrigado. Diariamente a partir das 15 horas e 30 minutos foi determinada a  
133 massa de todos os vasos, em uma balança eletrônica com capacidade de 50 kg e precisão de 5  
134 g, em que cada vaso sem deficit hídrico foi irrigado com a quantidade de água perdida pela  
135 transpiração diária da planta.

136 Os dados de transpiração passaram por duas normalizações, a primeira para minimizar  
137 a influência de grandes variações na taxa diária de transpiração ao longo dos dias, denominada  
138 de transpiração relativa (TR) (Sinclair & Ludlow, 1986):  $TR = (MNI_j - MNI_{j-1}) / \{[\sum(MI_{inicial} - MI_j)]/n\}$ , em que MNI é a massa de cada vaso não irrigado ( $g \text{ vaso}^{-1}$ ); MI é a massa de cada  
139 vaso irrigado ( $g \text{ vaso}^{-1}$ ); 'j' refere-se ao dia; 'inicial' indica que é a MI no dia de início da  
140 aplicação do deficit hídrico e 'n' representa o número de repetições no regime hídrico irrigado.  
141 A segunda normalização ocorreu para reduzir as variações entre plantas causadas por diferenças  
142

143 nas condições microambientais e nos tamanhos, para isso verificou-se que em valores de FATS  
144 acima de 0,6, a TR foi próxima do máximo. Na sequência, foi calculada para cada planta a  
145 média dos valores de TR com FATS igual ou maior que 0,6, e todas as estimativas iniciais de  
146 TR foram divididas por essas médias, obtendo-se a transpiração relativa normalizada (TRN)  
147 (Sinclair & Ludlow, 1986).

148 No final do experimento, foi calculada para cada dia a fração de água transpirável no  
149 solo (FATS) pela equação (Sinclair & Ludlow, 1986):  $FATS = (MNI_j - MNI_{final}) / (MNI_{inicial} -$   
150  $MNI_{final})$ , em que MNI é a massa de cada vaso no regime hídrico não irrigado ( $g \text{ vaso}^{-1}$ ); 'j'  
151 refere-se ao dia; 'inicial' indica que é a MNI no dia de início da aplicação do deficit hídrico; e  
152 'final' indica que é a MNI no dia do término da imposição do deficit hídrico. A imposição do  
153 deficit hídrico foi encerrada quando todas as plantas não irrigadas atingiram  $TR < 10 \%$  da  
154 transpiração média das plantas irrigadas, pois quando inferior a esse valor, os estômatos estão  
155 completamente fechados e a perda de água ocorre apenas por condutância epidérmica (Sinclair  
156 & Ludlow, 1986). No EI, a aplicação do deficit hídrico foi de 24/10/2019 até 10/11/2019 para  
157 Triunfo e Garapiá e, até 12/11/2019, para FC104. No EII, foi de 04/03/2020 até 10/03/2020  
158 para Triunfo e Garapiá e, até 21/03/2020, para FC104.

159 No início e final do deficit hídrico, três repetições/plantas de cada tratamento foram  
160 avaliadas quanto à: estatura (cm), massa seca da parte aérea (g), comprimento da raiz (cm),  
161 massa seca da raiz (g) e área foliar ( $cm^2$ ), através da equação  $AF = 1,092C^{1,945}$ . Diariamente, às  
162 15 horas foi medida a temperatura foliar no folíolo central no terço superior de quatro  
163 repetições/plantas no EI e, de 6, no EII por tratamento com um termômetro infravermelho. Após  
164 o final do deficit hídrico, algumas plantas foram reidratadas e mantidas em condição ótima de  
165 umidade até o final do ciclo para determinação da produtividade estimada, considerando a área  
166 do vaso de  $0,05 \text{ m}^2$  a partir da massa seca dos grãos a 13% de umidade. O número de repetições

167 foi no EI de 12 e 9 na Triunfo, 15 e 13 na Garapiá e de 10 e 9 plantas na FC104 no regime  
168 hídrico irrigado e não irrigado, respectivamente, enquanto no EII, foi 11 plantas em todas as  
169 combinações cultivar x regime hídrico.

170 Uma equação logística foi ajustada aos dados de TRN versus FATS de cada planta. A  
171 equação foi do tipo  $Y = 1 / \{1 + \exp [- a(x - b)]\}$ , em que Y é a TRN; X, a FATS; e “a” e “b”,  
172 coeficientes empíricos (Sinclair & Ludlow, 1986; Lecoecur & Sinclair, 1996), ajustados via  
173 análise de regressão não linear no software SAS (SAS Institute, 1999). Os valores de FATS<sub>c</sub>,  
174 para a transpiração, foram estimados pela equação logística como sendo o valor da FATS  
175 quando a TRN foi de 0,95 (Lago et al., 2012).

176 Os dados foram analisados quanto a normalidade dos erros (Shapiro-Wilk) e  
177 homogeneidade das variâncias (Bartlett) e quando não atendidos, foram transformados por Box  
178 Cox pelo software Action. Os dados foram submetidos à análise de variância, e as médias,  
179 comparadas pelo teste de Scott Knott em 0,05 de probabilidade de erro pelo software Sisvar  
180 (Ferreira, 2011).

181

## 182 **Resultados e discussão**

183 A temperatura média do ar foi 21,3°C no EI e 24,6°C no EII. As médias das temperaturas  
184 mínimas e máximas do ar foram, respectivamente, 17,1°C e 26,3°C no EI e, 18,6°C e 31,8°C  
185 no EII. A temperatura máxima absoluta do ar foi de 33,6°C no EI e 39,1°C no EII. Portanto, o  
186 EII apresentou maiores temperaturas diárias do ar, acompanhado por menor umidade relativa  
187 do ar, com média de 80,2% no EI e 69,7% no EII. Esses dados resultaram em maior DPV no  
188 EII, com DPV às 15 horas maior que 15 hPa em 83,3 % dos dias (15/18) e, no EI, em 45%  
189 (9/20). Desse modo, o EII pode ser considerado de alta demanda evaporativa da atmosfera  
190 (Kiniry et al., 1998; Lago et al., 2011) em comparação ao EI. Com o alto DPV, a duração do

191 EII para as cultivares Triunfo e Garapiá foi de apenas 7 dias, enquanto no EI foi de 18 dias. O  
192 DPV é uma variável ambiental que deve ser considerada em experimentos com deficit hídrico,  
193 principalmente quando os experimentos ocorrem em vasos pequenos (Riar et al., 2018). A  
194 radiação solar global diária média foi de 17,8 MJ m<sup>2</sup> dia<sup>-1</sup> no EI e, de 16,4 MJ m<sup>2</sup> dia<sup>-1</sup>, no EII.

195 Os valores de FATSc para as cultivares Triunfo, Garapiá e FC104 foram,  
196 respectivamente, 0,23, 0,36 e 0,27 no EI e, 0,13, 0,17 e 0,23 no EII (Figura 1). Valor mais alto  
197 de FATSc indica que a planta começa a reduzir a transpiração no início do secamento do solo,  
198 com altos valores de água disponível, o que resulta em conservação de água e permite a  
199 manutenção das atividades bioquímicas e fisiológicas no período do deficit hídrico, bem como,  
200 em períodos futuros de secamento do solo ao longo do ciclo de desenvolvimento (Devi et al.,  
201 2013; Sinclair et al., 2018). Em regiões com histórico de perdas de produção oriundas da  
202 deficiência hídrica, o fechamento estomático precoce é característica de seleção em processos  
203 de melhoramento de cultivares de soja para obter produtividades acima dos níveis atuais  
204 (Sinclair et al., 2010). Comparando as cultivares Garapiá e Triunfo, a Garapiá se manteve com  
205 maior FATSc nos dois experimentos, sugerindo que essa cultivar apresenta eficiente controle  
206 estomático e pode ser tolerante ao deficit hídrico.

207 No EI, de baixa demanda atmosférica do ar (55% dias inferior a 15 hPa) todas as  
208 cultivares iniciaram o fechamento estomático com maior teor de água disponível no solo (maior  
209 FATSc) se comparado ao EII sob alta demanda atmosférica (83,3% dias superior a 15 hPa)  
210 (Figura 1). Em soja, Riar et al. (2018) observaram que diferenças nos valores de FATSc estavam  
211 relacionadas ao DPV, em que altos valores (23,4 hPa) resultaram em baixos valores de FATSc  
212 (0,19 a 0,20), pois aumenta a TRN e diminui a FATS diária. Em batata, Lago et al. (2012)  
213 também concluíram que a FATSc é alterada pela demanda atmosférica, sendo os menores  
214 valores na safrinha de outono (FATSc = 0,28 a 0,33) e os maiores na safra na primavera (FATSc



215 = 0,39 a 0,49). Os autores ainda destacam que a menor radiação ofertada no experimento da  
216 safrinha, assim como no EII, resulta em menor transpiração, por isso as plantas fecham os  
217 estômatos com menor teor de água disponível no solo, como estratégia de crescimento. Além  
218 disso, ocorreu maior variabilidade nos valores de TR no EI (Figura 1 A, B, C), assim como  
219 observado por Lago et al. (2012) nos experimentos com temperatura do ar e radiação mais  
220 baixos, e por Sinclair & Ludlow (1986) em situação de temperaturas menores que 15°C.

221 Em condição de baixa demanda atmosférica, caracterizada no período da primavera no  
222 Rio Grande do Sul e pelo EI, os valores de FATSc variaram de 0,23 a 0,36 (Figura 1). Esses  
223 valores são próximos aos observados em outros estudos com feijão, de 0,40 (Serraj & Sinclair,  
224 1998) e de 0,40 a 0,54 (Devi et al., 2013). Também foi semelhante ao observado para feijão  
225 mungo, feijão guandu e soja, de 0,40 e, feijão caupi, de 0,30 (Sinclair & Ludlow, 1986).  
226 Entretanto, se comparado aos valores das outras culturas pesquisadas recentemente, como a  
227 mandioca com limites de 0,45 a 0,50 (Lago et al., 2011), batata de 0,28 a 0,49 (Lago et al.,  
228 2012), crisântemo de 0,51 a 0,63 (Kelling et al., 2015), amendoim de 0,38 a 0,69 (Sinclair et  
229 al., 2018), milho crioulo de 0,64 a 0,73 (Langner, 2018) e soja de 0,19 a 0,51 (Riar et al., 2018),  
230 confirma-se que o feijão é uma cultura sensível ao deficit hídrico, pois o controle estomático  
231 foi menos eficiente do que a maioria das culturas agrícolas estudadas. Esse resultado explica a  
232 migração do cultivo de feijão de pequenas propriedades familiares com baixo nível de  
233 investimento em tecnologias para lavouras de altíssimos níveis de investimento, como o feijão  
234 cultivado com irrigação de pivot central na região central do Brasil.

235 Em condições de alta demanda atmosférica, como em dias típicos do verão no Rio  
236 Grande do Sul, o feijão tende a fechar estômatos quando a FATSc está entre 0,13 a 0,23. Quando  
237 se compara este valor com os obtidos para outras culturas agrícolas supracitadas, verifica-se  
238 que esses valores são ainda mais baixos do que os verificados em situação de baixa demanda

239 atmosférica. Esses resultados preocupam a produção desse importante alimento no cenário  
240 futuro, indicando a necessidade de novas pesquisas a fim de avaliar um maior número possível  
241 de cultivares em busca das que tenham maior eficiência no uso da água (Schwerz et al., 2017).

242 Uma das ferramentas práticas para avaliar o estado hídrico nas lavouras é a medição da  
243 temperatura do dossel. Estudando o efeito do deficit hídrico sobre a temperatura nas folhas de  
244 feijão, Ghanbari et al. (2013) verificaram que as plantas sob deficit hídrico apresentaram  
245 maiores valores. Nesse estudo, o deficit hídrico resultou maiores médias na temperatura foliar  
246 no EII de alta demanda atmosférica, enquanto que no EI não houve diferença significativa  
247 (Figura 2A).

248 As cultivares Triunfo e FC104 apresentaram baixa redução nos valores de FATSc e o  
249 mesmo comportamento quanto à temperatura foliar. Em ambiente de baixa demanda (EI) com  
250 temperaturas mais amenas, a Garapiá, fechou os estômatos precocemente e apresentou menor  
251 temperatura foliar. Existe a possibilidade de o longo período exposto ao deficit hídrico (18 dias)  
252 ter expressado algum mecanismo de controle do metabolismo interno que resultou em menor  
253 temperatura. Enquanto que no experimento de alta demanda (EII), que durou apenas 7 dias,  
254 provavelmente foi tempo insuficiente para ativar defesas metabólicas e o fechamento precoce  
255 dos estômatos na Garapiá pode ter prejudicado, pois devido as altas temperaturas, a água pode  
256 ter se aquecido dentro do mesófilo e ao diminuir as trocas gasosas, tornou-se difícil dissipar sua  
257 energia, tornando-se mais quente (Guimarães et al., 2006). Em ambiente de alta demanda  
258 atmosférica, no Irã, Ghanbari et al. (2013) observaram que os genótipos tolerantes de feijão  
259 apresentaram menor condutância estomática associada a maiores temperaturas, enquanto que  
260 os genótipos mais sensíveis apresentaram maiores condutâncias e menores temperaturas  
261 foliares.

262 As variáveis respostas de crescimento estatura, massa seca da parte aérea, comprimento  
263 da raiz e massa seca da raiz, não apresentaram interação significativa entre cultivares e regime  
264 hídrico e cada fator foi analisado separadamente nos dois experimentos. O regime irrigado  
265 apresentou maiores valores de estatura, massa seca da parte aérea e massa seca da raiz (Tabela  
266 1). No EI, as variáveis não diferiram antes do deficit hídrico, com exceção da massa seca da  
267 raiz em que a Triunfo apresentou maiores valores. No EII, a Triunfo e a Garapiá estavam em  
268 R5 e a FC104 em V4 antes da imposição do estresse, por isso a FC104 apresentou menores  
269 valores em todas as características avaliadas.

270 Em pesquisa com duas cultivares antigas de feijão, Serraj & Sinclair (1998) obtiveram  
271 uma massa seca da parte aérea no final do deficit de 5,3 g a 7,8 g nas plantas irrigadas e de 4,0  
272 g a 4,6 g nas não irrigadas, médias menores do que as encontradas no estudo (Tabela 1). O  
273 trabalho supracitado não informa o estágio fenológico em que o deficit foi imposto, apenas que  
274 ocorreu seis semanas após a emergência. Além do tamanho de planta, o consumo hídrico das  
275 plantas via transpiração, de 1,2 a 2,1 L para a pesquisa de Serraj & Sinclair (1998) e de 0,5 L  
276 no estudo de Devi et al. (2013), são valores inferiores aos resultados do presente estudo (Figura  
277 2B). Os dados demonstram que os valores de FATSc das cultivares estudadas pelos autores  
278 supracitados não podem ser utilizadas como referência para as cultivares usadas e condição  
279 meteorológica do Rio Grande do Sul, devido a diferença no crescimento e consumo hídrico.

280 No final do período de deficit hídrico no EII, para área foliar houve interação  
281 significativa ( $p < 0,05$ ) entre os fatores, em que as três cultivares apresentaram menores valores  
282 sob deficit hídrico, indicando um mecanismo de defesa da planta que diminui área transpirável  
283 a fim de conservar a água do solo, considerada uma resposta fisiológica (Taiz et al., 2017). A  
284 menor expansão celular é o reflexo inicial do deficit hídrico, pois este estresse diminui o turgor  
285 das células, aumentando o pH do apoplasto da parede celular, diminuindo a ação das enzimas

286 de afrouxamento que resultariam no alongamento da célula (Taiz et al., 2017). Na sequência, o  
287 fechamento precoce dos estômatos, apesar de conservar a água no solo, vai refletir em menor  
288 crescimento, pois a abertura estomática influencia diretamente na taxa de assimilação de CO<sub>2</sub>  
289 (Taiz et al., 2017). Isso pode ser constatado ao observar que a Garapiá foi a que apresentou  
290 menor ganho de massa seca da parte aérea do início para o fim do deficit hídrico (Tabela 1), de  
291 apenas 3,05 g no EI e 0,16 g no EII, o mesmo comportamento se repete para estatura,  
292 comprimento da raiz e massa seca da raiz no EII. Outra linha de defesa das plantas ao deficit  
293 hídrico é a maior exploração do ambiente pelas raízes (Taiz et al., 2017), entretanto, o  
294 comprimento das raízes não apresentou diferença significativa entre cultivares e regimes  
295 hídricos, o que pode ser explicado pela curta duração do deficit.

296 O deficit hídrico reduziu a produtividade nos dois experimentos (Tabela 1). No EI, as  
297 cultivares Garapiá e Triunfo apresentaram as maiores produtividades. No EII, a Garapiá  
298 apresentou redução na produtividade sob deficit hídrico e a maior produtividade entre as  
299 cultivares no regime irrigado e na média geral. O fechamento precoce dos estômatos em  
300 períodos de grandes estiagens pode favorecer a produção final por preservar a água no solo,  
301 permitindo a sobrevivência das plantas. Entretanto, em períodos curtos de estiagem, o  
302 fechamento precoce pode ser prejudicial, pois irá diminuir o crescimento da planta de forma  
303 desnecessária. Os resultados apontam que para deficit na fase reprodutiva, a Garapiá apresenta  
304 fechamento precoce dos estômatos em ambas as situações de demanda evaporativa do ar,  
305 enquanto que a Triunfo apresenta o fechamento tardio em ambas as condições. Ao considerar  
306 a produtividade (Tabela 1), observa-se que em situações de curtos períodos de deficit hídrico  
307 (safra) tanto a Triunfo como a Garapiá são indicadas, pois apresentaram as maiores  
308 produtividades, enquanto que para períodos longos de deficit hídricos (safrinha), a Garapiá,  
309 fechou precocemente os estômatos e apresentou maior produtividade média entre as cultivares.

310 A FC104 é um genótipo de resposta intermediária quando a escassez hídrica ocorre em R5 sob  
311 baixa demanda atmosférica, e fechamento precoce quando ocorre em V4 sob alta demanda  
312 atmosférica e se caracteriza como excelente opção, dependendo do manejo da propriedade, já  
313 que possui a vantagem do ciclo superprecoce. Assim, esse estudo pode subsidiar informações  
314 para os programas de melhoramento genético quanto a seleção de genótipos tolerantes ao deficit  
315 hídrico a partir da cultivar Garapiá, bem como, avançar os estudos sobre as cultivares de ciclo  
316 super precoce, como a FC104 que demonstra potencial como uma alternativa produtiva de curto  
317 tempo às lavouras. O uso de cultivares de ciclo curto pode ser uma alternativa de escape à  
318 períodos de deficit hídrico, desde que bem planeada. A partir desses resultados, o produtor pode  
319 escolher a melhor cultivar pra safra e/ou safrinha dependendo da previsão de demanda  
320 evaporativa da atmosférica do período.

321

322

### Conclusão

323 1. A cultivar Garapiá apresentou maior produtividade e eficiente controle  
324 estomático, podendo ser considerada tolerante ao deficit hídrico e indicada para ambientes com  
325 períodos longos de estiagem e alto DPV.

326 2. Em agroecossistemas com períodos curtos de estiagem e baixo DPV, as  
327 cultivares Triunfo e Garapiá apresentaram maior produtividade, mesmo com fechamento tardio  
328 e precoce dos estômatos, respectivamente.

329 3. A cultivar FC104 apresentou comportamento estável e intermediário quanto ao  
330 fechamento estomático, com vantagem de possuir ciclo superprecoce.

331

332

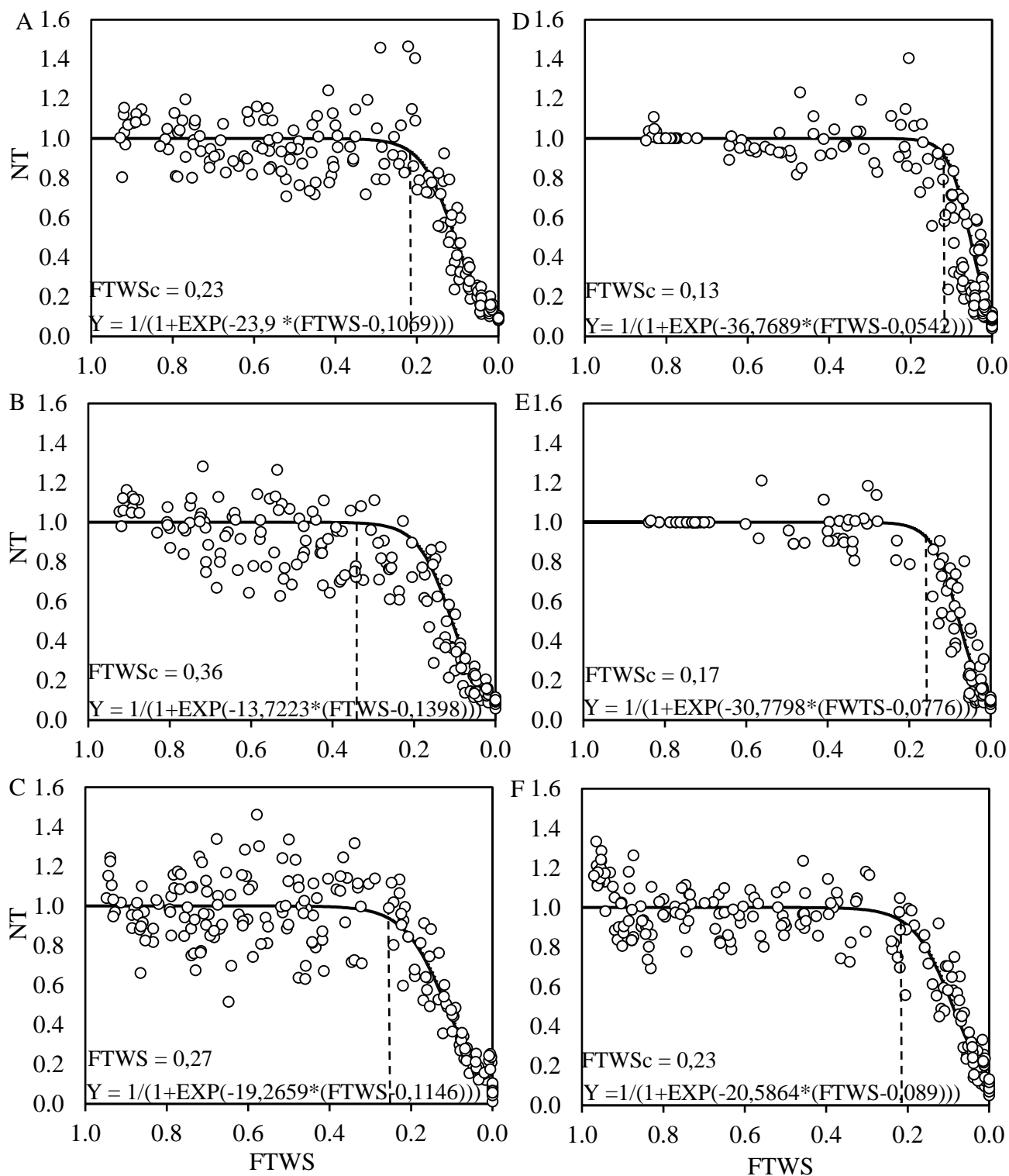
**Referências**

- 333 BURIOL, GA; STRECK, NA; PETRY, C; SCHNEIDER, FM. Transmissividade a radiação  
334 solar do polietileno de baixa densidade utilizado em estufas. **Ciência Rural**, v.25, p.1-4,  
335 1995. DOI: 10.1590/S0103-84781995000100001.
- 336  
337 CELMELI, T; SARI, HCD; ADAK, A; EKER, T; TOKER, C. The Nutritional Content of  
338 Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Landraces in Comparison to Modern Varieties.  
339 **Agronomy**, v.8, n.9, p. 2-9, 2018. DOI: 10.3390/agronomy8090166.
- 340  
341 CONAB. **Série histórica das safras**: feijão total: (1ª, 2ª e 3ª safras). Disponível em: <  
342 <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras?start=20>>. Acesso em:  
343 26 jan. 2021.
- 344  
345 CQFS-RS/SC. COMISSÃO DE QUÍMICA E DE FERTILIDADE DO SOLO RS/SC.  
346 **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa**  
347 **Catarina**. 11.ed. Porto Alegre: SBCS/NRS, 2016. 376p.
- 348  
349 DEVI, MJ; SINCLAIR, TR; BEEBE, SE; RAO, IM. Comparison of common bean  
350 (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes for nitrogen fixation tolerance to soil drying. **Plant and**  
351 **Soil**, v.364, p.2-37, 2013. DOI: 10.1007 / s11104-012-1330-4.
- 352  
353 FERNÁNDEZ, FC; GEPTS, P; LOPEZ, G. **Etapas de desarrollo de la planta de frijol**  
354 **común**. Colômbia: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1986. 34p.
- 355  
356 FERREIRA, DF. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**,  
357 v.35, p.1039-1042, 2011. DOI: 10.1590/S1413-70542011000600001
- 358  
359 GHANBARI, AA; SHAKIBA, MR; TOORCHI, M; CHOUKAN, R. Morpho-physiological  
360 responses of common bean leaf to water deficit stress. **European Journal of Experimental**  
361 **Biology**, v.3, p.487-492, 2013.
- 362  
363 GUIMARÃES, CM; STONE, LF; BRUNINI, O. Adaptação do feijoeiro comum (*Phaseolus*  
364 *vulgaris* L.) à seca. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.70-75,  
365 2006. DOI: 10.1590/S1415-43662006000100011.
- 366

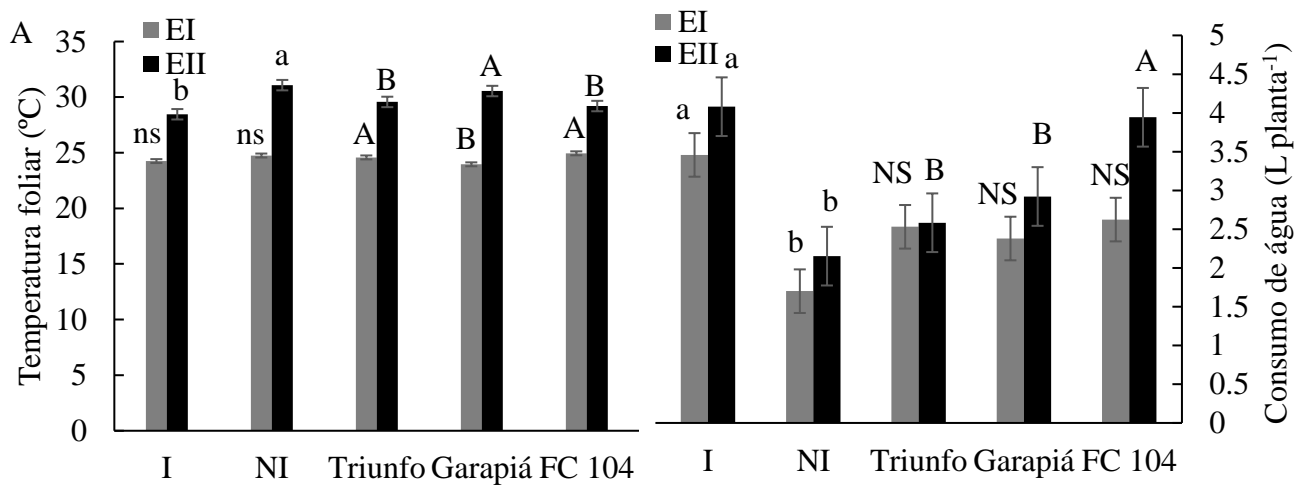
- 367 JUSTINO, LF; ALVES JÚNIOR, J; BATTISTI, R; HEINEMANN, AB; LEITE, CV;  
368 EVANGEISTA, AWP; CASAROLI, D. Assessment of economic returns by using a central  
369 pivot system to irrigate common beans during the rainfed season in Central Brazil.  
370 **Agricultural Water Management**, v.224, p. 105749, 2019. DOI:  
371 10.1016/j.agwat.2019.105749.  
372
- 373 KELLING, CRS; REICHARDT, K; STRECK, NA; LAGO, I; ZANON, AJ; RODRIGUES,  
374 MA. Transpiração e crescimento foliar de crisântemo em função da fração de água  
375 transpirável no substrato. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.50, p.735-744, 2015. DOI:  
376 10.1590/S0100-204X2015000900001.  
377
- 378 KINIRY, JR; LANDIVAR, JA; WITT, M; GERIK, TJ; CAVERO, J; WADE, LJ.  
379 Radiation-use efficiency response to vapor pressure deficit for maize and sorghum. **Field**  
380 **Crops Research**, v.56, p.265-270, 1998. DOI: 10.1016/S0378-4290(97)00092-0.  
381
- 382 LAGO, I; STRECK, NA; BISOGNIN, DA; SOUZA, AT; SILVA, MR. Transpiração e  
383 crescimento foliar de plantas de mandioca em resposta ao deficit hídrico no solo. **Pesquisa**  
384 **Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1415-1423, 2011. DOI: 10.1590/S0100-  
385 204X2011001100001.  
386
- 387 LAGO, I; STRECK, NA; ZANON, AJ; HANAUER, JG; BISOGNIN, DA; SLVA, MR.  
388 Transpiração e crescimento foliar de clones de batata em resposta à fração de água  
389 transpirável no Solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v.36, p.745-754, 2012.  
390 DOI: 10.1590/S0100-06832012000300006.  
391
- 392 LANGNER, JA. **Milho crioulo e melhorado**: Tolerância a deficiência hídrica na perspectiva  
393 da segurança e soberania alimentar. 2018. 96 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de  
394 Santa Maria, Santa Maria.  
395
- 396 LECOEUR, J; SINCLAIR, TR. Field pea transpiration and leaf growth in response to soil  
397 water deficits. **Crop Science**, v.36, p.331-335, 1996. DOI: 10.2135 /  
398 cropci1996.0011183X003600020020x.  
399
- 400 MIORINI, TJJ; SAAD, JCC; MENEGALE, ML. Supressão de água em diferentes fases  
401 fenológicas do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Irriga**, v.16, p.360-368, 2011. DOI:  
402 10.15809/irriga.2011v16n4p360.  
403
- 404 PETER, BG; MESSINA, JP; LIN, Z; SNAPP, SS. Crop climate suitability mapping on the  
405 cloud: a geovisualization application for sustainable agriculture. **Scientific Reports**, v.10,  
406 p.15487, 2020. DOI: 10.1038/s41598-020-72384-x.  
407
- 408 RIAR, MK; CERENIZI, P; MANANDHAR, A; SINCLAIR, TR; LI, T; CARTER, TE.  
409 Expression of Drought-Tolerant N<sub>2</sub> Fixation in Heterogeneous Inbred Families derived from  
410 PI471938 and Hutcheson Soybean. **Crop Science**, v.58, p.364-369, 2018. DOI:  
411 10.2135/cropsci2017.02.0089.  
412

- 413 ROSALES, MA; OCAMPO, E; RODRÍGUEZ-VALENTÍN, R; OLVERA-CARRILO, Y;  
414 ACOSTA-GALLEGOS, J; COVARRUBIAS, AA. Physiological analysis of common bean  
415 (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars uncovers characteristics related to terminal drought  
416 resistance. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.56, p.24-34, 2012. DOI: 10.1016 /  
417 j.plaphy.2012.04.007.
- 418  
419 SAS INSTITUTE. **SAS Software**: reference, version 8. 1 ed. Cary: SAS Institute, 1999.  
420 624p.
- 421  
422 SCHWERZ, F; CARON, BO; ELLI, EF; STOLZLE, JR; ELOY, E; SCHMIDT, D;  
423 SCHWERZ, L; SOUZA, VQ. Greater water availability increases the water use efficiency and  
424 productivity of corn and bean species grown in secondary crop systems. **Australian Journal**  
425 **of Crop Science**, v.11, p.43-49, 2017. DOI: 10.21475/ajcs.2017.11.01.pne205.
- 426  
427 SERRAJ, R; SINCLAIR, TR. N<sub>2</sub> Fixation Response to Drought in Common Bean (*Phaseolus*  
428 *vulgaris* L.). **Annals of Botany**, v.82, p.229-234, 1998. DOI: 10.1006/anbo.1998.0670.
- 429  
430 SINCLAIR, TR; MESSINA, C; BEATTY, A; SAMPLES, M. Assessment across the United  
431 States of the benefits of altered soybean drought traits. **Agronomy Journal**, v.102, p.475-482,  
432 2010. DOI: 10.2134/agronj2009.0195.
- 433  
434 SINCLAIR, TR; SHEKOOFA, A; ISLEIB, TG; BALOTA, M; ZHANG, A. Identification of  
435 virginia-type peanut genotypes for water-deficit conditions based on early decrease in  
436 transpiration rate with soil drying. **Crop science**, v.58, p.2607-2612, 2018. DOI: 10.2135 /  
437 cropci2018.05.0293.
- 438  
439 SINCLAIR, TR; LUDLOW, MM. Influence of soil water supply on the plant water balance  
440 of four tropical grain legumes. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.13, p.319-340,  
441 1986. DOI: 10.1071/PP9860329
- 442  
443 TAIZ, L; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5.ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918p.
- 444  
445 TILMAN, D; BALZER, C; HILL, J; BEFORT, BL. Global food demand and the sustainable  
446 intensification of agriculture. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v.108,  
447 p.20260-20264, 2011. DOI: 10.1073/pnas.1116437108.
- 448  
449 VICENTE-SERRANO, SM; QUIRING, SM; PEÑA-GALLARDO, M; YUAN, S;  
450 DOMÍNGUEZ-CASTRO, F. A review of environmental droughts: Increased risk under  
451 global warming? **Earth-Science Reviews**, v. 201, p. 102953, 2020. DOI:  
452 10.1016/j.earscirev.2019.102953
- 453  
454 ZADRAZNIK, T; HOLLUNG, K; EGGE-JACOBSEN, W; MEGLIC, VS; SUSTAR-  
455 VOZLIC, J. Differential proteomic analysis of drought stress response in leaves of common  
456 bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Proteomics**, v.78, p.254-272, 2013.  
457 DOI:10.1016/j.jprot. 2012.09.021.





458 **Figura 1.** Transpiração relativa normalizada (NTR) em função da fração de água transpirável  
 459 no solo (FWTS) para as cultivares Triunfo (A, D), Garapiá (B, E) e FC104 (C, F) no EI (A, B,  
 460 C) e EII (D, E, F). A FATS<sub>c</sub> corresponde ao valor de TRN = 0,95 estimado pela equação  
 461 logística apresentada em cada gráfico.



462 **Figura 2.** Temperatura foliar (A) e consumo de água (B) das cultivares Triunfo, Garapiá e  
 463 FC104 em sistema irrigado (I) e não irrigado (NI) em dois experimentos. Letras minúsculas  
 464 diferem significativamente nos regimes hídricos; Letras maiúsculas diferem significativamente  
 465 entre cultivares; NS=não significativo por Scott Knott a 0,05 de probabilidade de erro.

466 **Tabela 1.** Estatura (cm planta<sup>-1</sup>), diâmetro da haste principal (cm planta<sup>-1</sup>), número de nós  
 467 (unidade planta<sup>-1</sup>), comprimento da raiz (cm planta<sup>-1</sup>), massa seca da parte aérea (g planta<sup>-1</sup>),  
 468 massa seca da raiz (g planta<sup>-1</sup>), área foliar (cm<sup>2</sup> planta<sup>-1</sup>) e produtividade estimada (kg ha<sup>-1</sup>) nas  
 469 cultivares Triunfo, Garapiá e FC104 nas condições hídricas irrigado e não irrigado, no início e  
 470 final da imposição do deficit hídrico nos experimentos I (EI) e II (EII).

	EI				EII			
	Início	Final		Média	Início	Final		Média
		I	NI			I	NI	
Estatura (cm)								
Triunfo	21,6NS	107,0	69,2	88,1B	40,3B	127,5	102,2	114,8A
Garapiá	26,8	83,1	70,4	76,7B	86,7A	106,2	99,7	102,9A
FC104	16,7	124,1	115,0	119,6A	10,5C	54,5	25,0	39,7B
Média		104,7a	84,9b			96,1a	75,6b	
CV (%)	22,5		15,1		6,9		12,0	
Massa seca da parte aérea (g)								
Triunfo	5,0NS	11,7	8,6	10,1NS	5,6B	17,7	15,4	16,5A
Garapiá	6,7	10,9	8,7	9,89	15,5A	19,0	12,2	15,6A
FC104	4,0	10,7	8,0	9,4	0,9C	5,9	3,8	4,9B
Média		11,1a	8,4b			14,2a	10,5b	
CV (%)	24,1		10,8		9,8		17,1	
Comprimento da raiz (cm)								
Triunfo	48,7NS	56,8	56,7	56,7NS	75,7A	57,0	51,7	54,3NS
Garapiá	50,7	62,0	53,6	57,8	68,8A	62,3	65,7	64,0

FC104	39,8	50,7	55,5	53,1	43,7B	52,8	59,2	56,0
Média		56,5ns	55,2			57,4ns	58,8	
CV (%)	18,6		18,5		16,7		22,4	
Massa seca da raiz (g)								
Triunfo	4,0A	11,4	5,9	8,6NS	4,8B	10,9	8,2	9,5A
Garapiá	1,8B	10,0	7,3	8,7	7,5A	10,4	7,9	9,2A
FC104	1,6B	12,7	4,9	8,8	1,3C	5,5	3,4	4,4B
Média		11,7a	6,0b			8,9a	6,5b	
CV (%)	38,7		34,9		20,1		16,1	
Área foliar (cm <sup>2</sup> )								
Triunfo	490,9NS	1631,8	996,7	1314,3NS	843,0B	2033,5A	1100,8B	1567,1
Garapiá	695,8	1489,8	1225,3	1357,6	2393,8A	2621,0A	1255,7B	1938,4
FC104	520,6	1479,2	726,3	1102,7	156,1C	1286,5A	675,8B	981,2
Média		1533,6a	982,8b			1980,3	1010,8	
CV (%)	39,2		19,2		21,0		12,7	
Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )								
Triunfo		3718,9	2387,8	3148,4A		2225,6aB	1974,6aA	2100,1B
Garapiá		3477,8	2182,9	2876,6A		3087,5aA	1897,2bA	2492,3A
FC104		3312,3	1860,4	2624,6B		1935,0aB	1803,8aA	1869,4B
Média		3511,3A	2148,8B			2416,0A	1891,9B	
CV (%)			23,9				23,7	

471 Letras maiúsculas nas médias diferem entre as condições hídricas na linha e cultivares na  
472 coluna; Letras minúsculas na linha apresentam interação para cultivar vs condição hídrica e

473 letras maiúsculas na coluna apresentam interação para condição hídrica vs cultivar. Diferença  
474 significativa pelo teste Scott Knott a 0,05 de probabilidade de erro; NS = não significativo; I =  
475 irrigado e NI = não irrigado.

## 9 CAPÍTULO 3

# Modelos de crescimento não linear de caracteres de feijão comum irrigado e não irrigado

### Resumo

*O feijão comum reduz seu crescimento e produtividade perante ao deficit hídrico no solo. O conhecimento sobre sua resposta de crescimento sob essa condição pode ser uma ferramenta para seleção de cultivares e escape dos períodos de seca. Desse modo, o objetivo foi caracterizar o crescimento de cultivares de feijão em diferentes condições hídricas por modelos logístico e chanter. Foram realizados dois experimentos (safra = EI e safrinha = EII) em Santa Maria, RS, Brasil em esquema bifatorial (cultivares: Triunfo, Garapiá, FC104; condição hídrica: irrigado, não irrigado) no delineamento inteiramente casualizado. Foram realizadas avaliações quinzenais da estatura, número de nós, diâmetro da haste, comprimento da raiz, massa seca da parte aérea e raízes e massa seca dos nódulos. Os dados foram ajustados em função da soma térmica acumulada pelos modelos logístico e chanter. A partir dos resultados, observa-se que houve comportamento distinto entre condições hídricas, cultivares e experimentos. O melhor ajuste ocorreu para o diâmetro da haste, número de nós e massa seca da parte aérea. Entre os modelos, o logístico é o mais indicado para descrever o crescimento do feijoeiro.*

**Palavras-chave:** deficit hídrico; chanter; logístico; *Phaseolus vulgaris*.

### 1. Introdução

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) é um alimento de elevado teor de proteína e de minerais, consumido diariamente pela maioria da população brasileira. Apesar da sua importância sócio-econômica, a oscilação da sua oferta está relacionada às condições meteorológicas, principalmente ao deficit hídrico (Miorini et al., 2011), que reduz o crescimento e por consequência, a produtividade. O uso de genótipos tolerantes a essa condição hídrica pode ser uma alternativa sustentável. Para isso é necessário realizar análises que expliquem o crescimento dos genótipos em condição de deficit hídrico.

A análise de crescimento possibilita a mensuração das variáveis respostas das plantas durante o ciclo biológico sem precisar destruí-las (Cardoso et al., 2006). Entre as metodologias utilizadas para esse fim, os modelos não lineares possuem a vantagem sobre os modelos lineares, por apresentarem parâmetros de interpretação biológica, que ajudam a explicar o ciclo de crescimento e desenvolvimento das plantas (Regazzi, 2003). Nas plantas anuais, as fases de

crescimento ao longo do tempo ou de acúmulo térmico, apresentam uma curva do tipo sigmoide, existindo um crescimento inicial lento, seguido por um crescimento exponencial, linear e novamente lento com paralisação da variável, devido à senescência da planta (Peixoto et al., 2011).

Os modelos não lineares são utilizados para descrever as curvas de crescimento, que correspondem a medidas em sequência ao longo de um determinado tempo (Fernandes et al., 2014). As funções de crescimento são uma alternativa eficaz para estudar a resposta das plantas e explicar complexas interações temporais e espaciais, e através da modelagem computacional, é possível realizar previsões que podem ser usadas para gerar novas hipóteses experimentais (Chickarmane et al., 2010). Os modelos de crescimento podem auxiliar no planejamento sobre o manejo das propriedades, através da previsão da época de ocorrência de estágios fenológicos e a possíveis escapes de períodos de estresses, como o deficit hídrico (Rodrigues et al., 2001). Além disso, a avaliação do crescimento das plantas ao longo do seu ciclo possibilita identificar e selecionar características inerentes de cada genótipo (Deprá et al., 2016).

Dentre as curvas utilizadas, Regazzi (2003) realizou um levantamento de alguns modelos mais usados, como o logístico. O autor menciona que as curvas sigmóides são características de fenômenos encontrados na agricultura, caracterizada por um crescimento até o ponto de inflexão quando o crescimento começa a diminuir até um valor final chamado de assíntota. A escolha do melhor modelo é complexa e devem ser consideradas avaliações de qualidade do ajuste e do conhecimento sobre o objeto do estudo (Puiatti et al., 2013). Em cultivares de feijão, Martins Filho et al. (2008) avaliaram o crescimento por modelo logístico com modelo Bayesiano. Outro modelo que vem sendo estudado é o chanter, que apresenta potencial de ajuste para medidas ao longo do tempo (Silva e Savian, 2019).

Modelos que simulem o crescimento e desenvolvimento das plantas são estudados para dar suporte as novas necessidades da agricultura digital. Os estudos sobre o crescimento de feijão comum são escassos, principalmente em diferentes regimes hídricos. As frequentes estiagens, e a previsão de aumento de períodos com deficit hídrico (Vicente-Serrano et al., 2020) justificam essa abordagem. Desse modo, o objetivo do estudo foi caracterizar o crescimento de cultivares de feijão em diferentes condições hídricas por modelos logísticos e chanter.

## **2. Material e métodos**

O experimento foi conduzido no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS (29°43' S, 53°43' W. 95 m) em um abrigo de 150 m<sup>2</sup> coberto com polietileno de baixa densidade de 200 µm, com paredes laterais revestidas com tela antiafídeos. O clima do local, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa, subtropical úmido com verões quentes e sem estação seca definida (Kuinctner e Buriol, 2001).

Foram realizados dois experimentos com as cultivares Triunfo e Garapiá da Fepagro, e a FC104 da Embrapa. A semeadura do experimento I (EI), correspondente a safra, foi realizada em 31/08/2019 (Triunfo e Garapiá) e 20/09/2019 (FC104), e do experimento II (EII),

correspondente a safrinha, em 27/01/2020 (Triunfo e Garapiá) e 16/02/2019 (FC104). A semeadura da FC104 ocorreu em data distinta por apresentar ciclo super precoce, a fim de que a pré-floração de ambas as cultivares coincidisse.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com 6 tratamentos, no formato fatorial 3x2: 3 cultivares (Triunfo, Garapiá e FC104) e duas condições hídricas (irrigado e não irrigado). Cada unidade experimental foi composta por um vaso com capacidade de 8 L preenchido com Argissolo Bruno-Acizentado alítico típico (Santos et al., 2018) com uma planta. A adubação de base e a inoculação com bactérias fixadoras de nitrogênio foram de acordo com as recomendações técnicas da cultura (Comissão de Química e de Fertilidade Do Solo RS/SC, 2016).

As condições hídricas foram impostas no pré-florescimento, em R5 (Fernandez et al., 1986) através da metodologia da fração de água transpirável no solo (FATS), em que as plantas com deficit hídrico não foram irrigadas até apresentarem 10% da transpiração das plantas irrigadas que tiveram sua quantidade de água transpirada diariamente repostas, conforme metodologia proposta por Sinclair e Ludlow (1986). Após as plantas não irrigadas atingirem 10% da transpiração das irrigadas, todas as plantas foram reidratadas e mantidas em capacidade de campo até o final do ciclo de desenvolvimento.

Os dados meteorológicos referentes a temperatura do ar foram obtidos na estação meteorológica automática A803 do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localizada a 100m do abrigo telado. A soma térmica diária foi determinada pelo número de graus dias (°C dia) através da equação:

$$STd = \sum (T - T_b)$$

Em que: T é a temperatura média do ar diária (°C), observada em abrigo padrão, e T<sub>b</sub> a temperatura-base para desenvolvimento das cultivares, de 10°C (Renato et al., 2013).

A soma térmica acumulada (STa, °C dia) foi obtida pelo somatório das somas térmicas diárias (STd).

$$STa = \sum STd$$

Para as análises de crescimento foram coletadas três plantas por tratamento a cada 15 dias após a emergência (V1) até a maturação (R9) (Fernandez et al., 1986). No EI, a coleta iniciou em 23/09/2019 para Triunfo e Garapiá e 12/10/2019 para FC104, e encerrou em 10/12/2019 para todas as cultivares. No EII, iniciou em 14/02/2020 para Triunfo e Garapiá e 04/03/2020 para a FC104, e encerrou em 14/04/2020 para todas as cultivares. Portanto, para as cultivares Triunfo e Garapiá foram seis coletas no EI e EII, e para a FC104, cinco coletas no EI e quatro no EII. As plantas foram avaliadas quanto a: estatura (E) da haste principal (cm), com auxílio de régua milimétrica desde o nível do solo até o último nó; número de nós (NN), a partir do nó das folhas unifolioladas até o último nó com trifólio totalmente expandido; diâmetro da haste principal (DH) (cm), com auxílio de paquímetro, medido entre o nó cotiledonar e o nó das folhas



unifolioladas; comprimento da raiz (CR) (cm) com auxílio de régua milimétrica; massa seca da parte aérea (MSPA) e raízes (MSR) (g), em que as plantas foram levadas a secagem por 65 °C até peso constante e pesadas; massas secas dos nódulos com diâmetro maior ou igual a 2 mm quando frescos (MSN), levados a secagem por 65°C até peso constante e pesados. Estas variáveis foram consideradas como variável dependente Y e a soma térmica acumulada no período (STa, °C dia), a variável independente X, no modelo logístico:

$$Y = \frac{a + 4b(\exp(-\frac{(X-c)}{d}))}{(1 + (\exp(-\frac{(X-c)}{d}))^2)}$$

Os dados também foram ajustados ao modelo chanter como descrito por Silva e Savian (2019):

$$Y = \frac{ab}{a + (b - a)\exp\{-\frac{c}{d}[1 - \exp(-dX)]\}}$$

em que: a, b, c, d são parâmetros do modelo.

Para a estimação dos parâmetros do modelo foi usado o programa Table Curve 2D. versão 5.01 (Table Curve 2D, 2021), que utiliza o procedimento iterativo para mínimos quadrados não lineares de Levenberg – Marquardt. As estimativas dos parâmetros foram comparadas entre os experimentos para cada cultivar e condição hídrica, e entre as cultivares e condição hídrica em cada experimento, pela sobreposição dos intervalos de confiança (IC) das estimativas dos parâmetros em cada modelo. Para isso foram calculados os limites inferior e superior do intervalo de confiança de 95%.

A qualidade de ajuste dos modelos foi avaliada com base nas estatísticas: raiz do quadrado médio do erro (RQME), erro médio absoluto (EMA), índice de concordância (d) e correlação de Pearson (r) através do pacote hydroGOF do software R (R Core Team, 2020). Para a escolha da melhor equação, considerou-se os maiores valores de d e r e os menores valores de RQME e EMA. A RQME e EMA expressam a magnitude do erro produzido pelo modelo, valores próximos a zero indicam melhores modelos. O índice d indica a concordância dos dados estimados com os observados. O r indica o grau de dispersão e associação dos dados simulados em relação aos dados observados.

### 3. Resultados e discussão

A partir dos critérios para avaliar a qualidade de ajuste dos modelos (Tabela 1), foram selecionadas as curvas de crescimento que apresentaram ajustes satisfatórios com r acima de

0,70 (Tabela 1) para serem apresentadas nas Tabelas 2, 3, 4 e 5. Valores de  $r$  e  $d$  acima de 0,90, e de EMA e RQME inferiores a 5,0 foram mais frequentes nas cultivares em cada condição hídrica (Tabela 1, 2, 3, 4 e 5), enquanto que as curvas gerais apresentaram os piores desempenhos e não serão apresentadas. Desse modo, as curvas específicas para cada cultivar vs condição hídrica são mais precisas e indicadas.

Tabela 1. Erro médio absolute (EMA), raiz do quadrado médio do erro (RQME), índice de concordância ( $d$ ) e correlação de Pearson ( $r$ ) nos modelos Logístico (L) e Chanter (C) para os caracteres em função da soma térmica acumulada (em °C) das cultivares de feijão (Triunfo, Garapiá e FC104) em dois regimes hidricos (irrigado e não irrigado) no experimento I (EI) e II (EII).

Caractere	Modelo	EI				EII			
		EMA	RQME	$d$	$r$	EMA	RQME	$d$	$r$
Triunfo Irrigado									
E	L	10,85	13,00	0,98	0,97	13,67	16,30	0,98	0,96
E	C	6,70	10,51	0,99	0,98	44,87	72,55	0,56	0,33
DH	L	0,03	0,04	0,99	0,98	0,03	0,04	0,99	0,98
DH	C	0,03	0,05	0,99	0,97	0,03	0,04	0,99	0,98
NN	L	0,56	0,81	0,99	0,98	0,52	0,71	0,99	0,99
NN	C	0,55	0,70	0,99	0,99	0,45	0,60	1,00	0,99
CR	L	5,04	5,71	0,98	0,96	16,61	23,36	0,11	0,12
CR	C	3,55	4,87	0,98	0,97	7,61	10,67	0,94	0,89
MSPA	L	2,82	4,28	0,97	0,95	3,04	3,80	0,95	0,91
MSPA	C	5,81	8,67	0,85	0,82	2,28	3,22	0,97	0,94
MSR	L	1,62	2,32	0,95	0,91	0,94	1,16	0,98	0,95
MSR	C	2,00	2,98	0,91	0,84	1,34	1,78	0,94	0,89
MSN	L	0,06	0,08	0,95	0,91	0,07	0,19	0,94	0,89
MSN	C	0,05	0,08	0,94	0,89	0,07	0,19	0,94	0,89
Triunfo Não Irrigado									

E	L	6,96	9,77	0,98	0,96	12,92	16,20	0,94	0,89
E	C	6,48	9,51	0,98	0,96	12,13	15,13	0,95	0,91
DH	L	0,45	0,48	0,10	0,18	0,04	0,05	0,98	0,97
DH	C	0,02	0,03	0,99	0,98	0,05	0,06	0,98	0,96
NN	L	0,37	0,52	1,00	0,99	0,70	0,93	0,98	0,97
NN	C	0,39	0,44	1,00	0,99	0,66	0,97	0,98	0,96
CR	L	8,03	10,64	0,95	0,91	16,33	20,81	0,48	0,36
CR	C	8,13	11,18	0,95	0,90	7,01	9,51	0,95	0,90
MSPA	L	1,38	1,97	0,98	0,97	1,72	2,16	0,98	0,97
MSPA	C	4,00	5,26	0,84	0,74	1,81	2,18	0,98	0,97
MSR	L	2,34	4,05	0,89	0,82	1,08	1,29	0,97	0,94
MSR	C	3,36	5,39	0,74	0,64	1,14	1,62	0,94	0,90
MSN	L	0,02	0,05	0,97	0,94	0,07	0,09	0,77	0,66
MSN	C	0,04	0,07	0,91	0,85	0,05	0,08	0,80	0,68
Garapiá Irrigado									
E	L	4,56	7,15	0,99	0,98	12,05	16,01	0,95	0,91
E	C	12,98	17,40	0,92	0,85	9,00	11,48	0,98	0,96
DH	L	0,04	0,05	0,98	0,96	0,05	0,07	0,94	0,89
DH	C	0,04	0,05	0,98	0,97	0,03	0,05	0,97	0,94
NN	L	0,67	2,80	0,99	0,98	0,52	0,71	0,99	0,99
NN	C	0,76	1,07	0,98	0,97	0,61	0,78	0,99	0,97
CR	L	6,80	9,34	0,95	0,92	7,18	8,55	0,96	0,92
CR	C	3,55	4,87	0,98	0,97	10,50	13,37	0,82	0,92
MSPA	L	2,07	2,44	0,98	0,97	6,83	17,11	0,57	0,54
MSPA	C	3,94	5,41	0,89	0,83	6,78	16,23	0,61	0,63
MSR	L	2,23	3,21	0,93	0,87	2,13	3,17	0,48	0,71

MSR	C	2,23	3,48	0,91	0,84	1,20	1,89	0,91	0,85
MSN	L	0,08	0,12	0,94	0,90	0,14	0,17	0,94	0,89
MSN	C	0,09	0,15	0,90	0,83	0,22	0,32	0,65	0,53
Garapiá Não Irrigado									
E	L	9,83	11,95	0,92	0,86	11,61	15,10	0,96	0,92
E	C	9,67	14,38	0,87	0,78	7,70	9,12	0,99	0,97
DH	L	0,05	0,05	0,97	0,94	0,08	0,09	0,89	0,81
DH	C	0,03	0,04	0,98	0,96	0,04	0,06	0,95	0,92
NN	L	0,52	0,71	0,99	0,98	0,91	1,15	0,97	0,94
NN	C	0,50	0,71	0,99	0,98	0,93	1,23	0,97	0,94
CR	L	7,11	10,01	0,94	0,90	15,43	20,22	0,49	0,39
CR	C	6,94	9,72	0,95	0,90	9,89	12,14	0,87	0,93
MSPA	L	1,52	2,04	0,97	0,94	2,82	3,53	0,93	0,88
MSPA	C	1,93	2,58	0,95	0,90	2,25	3,16	0,95	0,90
MSR	L	1,82	2,85	0,96	0,92	1,31	1,90	0,92	0,86
MSR	C	2,57	4,12	0,90	0,83	1,16	1,76	0,93	0,88
MSN	L	0,05	0,10	0,94	0,89	0,17	0,24	0,74	0,62
MSN	C	0,05	0,10	0,94	0,89	0,18	0,26	0,67	0,55
FC104 Irrigado									
E	L	8,07	11,42	0,98	0,96	12,05	16,01	0,95	0,91
E	C	9,67	17,43	0,95	0,91	9,00	11,48	0,98	0,96
DH	L	0,09	0,12	0,42	0,92	0,05	0,07	0,94	0,89
DH	C	0,04	0,04	0,97	0,94	0,03	0,05	0,97	0,94
NN	L	2,67	3,29	0,59	0,81	0,52	0,71	0,99	0,99
NN	C	0,76	1,07	0,98	0,97	0,61	0,78	0,99	0,97
CR	L	6,80	9,34	0,95	0,92	7,18	8,55	0,96	0,92

CR	C	4,13	5,15	0,98	0,95	10,50	13,37	0,82	0,92
MSPA	L	2,95	5,35	0,85	0,72	6,83	17,11	0,57	0,54
MSPA	C	3,33	5,03	0,86	0,75	6,78	16,23	0,61	0,63
MSR	L	3,00	4,52	0,89	0,82	2,13	3,17	0,48	0,71
MSR	C	3,40	5,60	0,81	0,71	1,20	1,89	0,91	0,85
MSN	L	0,05	0,09	0,96	0,93	0,14	0,17	0,94	0,89
MSN	C	0,12	0,19	0,73	0,61	0,22	0,32	0,65	0,53
FC104 Não Irrigado									
E	L	8,33	10,82	0,98	0,96	6,08	9,00	0,99	0,99
E	C	8,07	10,91	0,98	0,96	6,08	9,28	0,99	0,98
DH	L	0,05	0,05	0,94	0,89	0,02	0,03	0,98	0,96
DH	C	0,04	0,05	0,94	0,90	0,04	0,06	0,95	0,92
NN	L	0,52	0,71	0,99	0,98	0,33	0,58	1,00	0,99
NN	C	0,50	0,71	0,99	0,98	1,83	3,06	0,93	0,92
CR	L	5,93	7,21	0,95	0,91	6,58	8,53	0,32	0,29
CR	C	5,20	6,69	0,96	0,92	9,89	12,14	0,87	0,93
MSPA	L	0,89	1,24	0,98	0,97	1,62	2,47	0,93	0,88
MSPA	C	1,16	1,41	0,98	0,96	2,25	3,16	0,95	0,90
MSR	L	1,04	1,66	0,96	0,93	1,10	1,20	0,92	0,85
MSR	C	2,67	3,76	0,68	0,57	1,16	1,76	0,93	0,88
MSN	L	0,03	0,07	0,86	0,77	0,02	0,03	0,90	0,84
MSN	C	0,05	0,09	0,55	0,47	0,18	0,26	0,67	0,55

Tabela 2. Estimativa dos parâmetros a, b, c, d, limites inferiores e limites superiores do intervalo de confiança (IC 95%), ponto de inflexão (PI) e assíntota (AS) do modelo Logístico para os caracteres em função da soma térmica acumulada (em°C) de cultivares de feijão (Triunfo, Garapiá e FC104) em dois regimes hídricos (irrigado e não irrigado) no experimento I (EI).

	a	b	c	d	PI	AS
Estatura						
Limite superior	17,85	153,5	192,35	38,46		
Triunfo Irrigado	-0,61ns	132,57*	184,68*	29,33*	146,05	215,60
Limite inferior	-19,06	111,64	177,02	20,21		
Limite superior	17,49	107,10	200,37	41,34		
Triunfo Não Irrigado	3,67 ns	91,75*	190,46*	30,33*	150,51	215,60
Limite inferior	-10,15	76,39	180,54	19,32		
Limite superior	15,32	108,78	173,47	25,83		
Garapiá Irrigado	6,69 ns	96,33*	169,71*	21,11*	141,91	197,5
Limite inferior	-1,94	83,88	165,95	16,38		
Limite superior	24,74	81,98	168,74	37,69		
Garapiá Não Irrigado	6,27 ns	60,29*	156,84*	24,60*	124,45	189,23
Limite inferior	-12,21	38,59	144,94	11,50		
Limite superior	22,47	141,90	142,25	31,36		
FC104 Irrigado	0,60 ns	118,29*	136,26*	23,51*	105,29	167,22
Limite inferior	-21,26	94,69	130,26	15,67		
Limite superior	27,03	135,64	159,38	47,36		
FC104 Não Irrigado	-4,26 ns	107,30*	148,15*	31,24*	107,01	170,84
Limite inferior	-35,55	78,96	136,92	15,12		
Diâmetro da Haste						
Limite superior	0,25	0,63	189,9	47,14		
Triunfo Irrigado	0,17*	0,56*	183,10*	37,58*	133,61	215,60
Limite inferior	0,09	0,49	176,31	28,02		
Limite superior	-	-	-	-		
Triunfo Não Irrigado	-	-	-	-	-	-

Limite inferior	-	-	-	-		
Limite superior	0,38	0,69	224,38	81,86		
Garapiá Irrigado	0,19*	0,51*	198,52*	50,08*	132,57	215,60
Limite inferior	0,00	0,33	172,66	18,29		
Limite superior	0,42	0,68	216,2	90,77		
Garapiá Não Irrigado	0,18 ns	0,46*	190,60*	51,40*	122,90	215,60
Limite inferior	-0,06	0,24	164,99	12,04		
Limite superior	62,57	62,83	497,48	11081,96		
FC104 Irrigado	0,08 ns	0,43 ns	141,29 ns	132,63 ns	35,78	170,84
Limite inferior	-62,41	-61,97	-214,89	-10816,7		
Limite superior	25,21	28,34	175,45	1242,87		
FC104 Não Irrigado	-1,34 ns	1,82 ns	141,29*	135,26 ns	35,78	170,84
Limite inferior	-27,89	-24,69	107,14	-972,35		
Número de Nós						
Limite superior	1,64	19,18	198,15	71,33		
Triunfo Irrigado	-2,40 ns	15,46*	187,27*	52,65*	117,93	215,60
Limite inferior	-6,44	11,75	176,38	33,96		
Limite superior	0,33	17,25	191,45	66,21		
Triunfo Não Irrigado	-2,45 ns	14,70*	184,50*	53,24*	114,39	215,60
Limite inferior	-5,23	12,14	177,55	40,27		
Limite superior	2,05	17,5	184,23	622,76		
Garapiá Irrigado	-1,67 ns	14,23*	176,07*	46,82*	114,41	215,60
Limite inferior	-5,40	10,75	167,91	30,87		
Limite superior	1,16	19,37	189,73	79,77		
Garapiá Não Irrigado	-3,57 ns	14,95*	180,97*	59,17*	103,05	215,6
Limite inferior	-8,30	10,52	79,77	38,56		

Limite superior	13,42	8,75	224,98	75,09		
FC104 Irrigado	9,30*	2,41 ns	145,09*	15,96 ns	124,07	166,12
Limite inferior	5,18	-3,94	65,2	-43,16		
Limite superior	-	-	-	-		
FC104 Não Irrigado	-	-	-	-	-	-
Limite inferior	-	-	-	-		
Comprimento da Raiz						
Limite superior	9,65E+05	2,69E+06	1,86E+06	1,63E+06		
Triunfo Irrigado	-5,84E+05 ns	1,18E+06 ns	1712700*	813880 *	64,09	215,60
Limite inferior	-2,13E+06	-3,36E+05	1,57E+06	1,75E+03		
Limite superior	5,18E+05	1,50E+06	2,04E+06	1,06E+06		
Triunfo Não Irrigado	-1,61E+05 ns	872460,00*	1808100,00*	555640,00*	107,63	215,60
Limite inferior	-8,39E+05	2,44E+05	1,57E+06	5,07E+04		
Limite superior	1,03E+09	1,07E+09	2,22E+06	1,17E+08		
Garapiá Irrigado	-1,84E+07 ns	1,91E+07 ns	1803400,00*	4,01E+06 ns	37,63	215,60
Limite inferior	-1,07E+09	-1,03E+09	1,39E+06	-1,09E+08		
Limite superior	2,10E+10	2,11E+10	2,42E+06	1,20E+09		
Garapiá Não Irrigado	-7,55E+07 ns	7,61E+07 ns	1847800*	8,53E+06 ns	37,63	215,60
Limite inferior	-2,11E+10	-2,10E+10	1,28E+06	-1,18E+09		
Limite superior	-	-	-	-		
FC104 Irrigado	-	-	-	-	-	-
Limite inferior	-	-	-	-		
Limite superior	2,44E+11	2,44E+11	1,92E+06	7,12E+09		
FC104 Não Irrigado	-2,17E+08 ns	2,17E+08 ns	1475300,00*	1,26E+07 ns	35,78	170,84
Limite inferior	-2,44E+11	-2,44E+11	1,03E+06	-7,09E+09		
Massa Seca da Parte Aérea						



Limite superior	5,43	44,27	258,42	54,07		
Triunfo Irrigado	-0,10 ns	34,34*	218,79*	31,11*	177,82	37,63
Limite inferior	-5,62	24,4	179,16	8,15		
Limite superior	2,77	22,05	215,02	38,56		
Triunfo Não Irrigado	0,40 ns	19,17*	202,33*	28,37*	164,97	215,60
Limite inferior	-1,97	16,28	189,65	17,18		
Limite superior	4,32	29,57	190,52	19,59		
Garapiá Irrigado	2,16*	25,51*	185,59*	16,35*	164,05	207,12
Limite inferior	0,01	21,46	180,65	13,11		
Limite superior	3,75	19,48	215,42	62,53		
Garapiá Não Irrigado	-0,64 ns	15,37*	194,63*	38,90*	143,41	215,60
Limite inferior	-5,03	11,26	173,84	15,27		
Limite superior	5,17	23,1	155,34	25,33		
FC104 Irrigado	1,95 ns	18,49*	147,49*	18,24*	123,47	170,84
Limite inferior	-1,33	13,88	139,65	11,15		
Limite superior	6,88	25,10	204,59	89,99		
FC104 Não Irrigado	-2,11 ns	15,95*	167,18*	46,46*	106,00	170,84
Limite inferior	-11,09	6,80	129,77	2,92		
Massa Seca da Raiz						
Limite superior	2,75	18,40	181,66	35,51		
Triunfo Irrigado	-0,29 ns	14,51*	172,57*	24,32*	140,55	204,59
Limite inferior	-3,32	10,62	163,48	13,12		
Limite superior	4,63	25,31	194,76	19,57		
Triunfo Não Irrigado	1,22 ns	17,20*	181,67*	12,54*	165,17	198,18
Limite inferior	-2,19	9,09	168,59	5,50		
Limite superior	3,41	20,48	196,38	37,86		

Garapiá Irrigado	-0,23 ns	15,33*	183,40*	24,18*	151,56	215,24
Limite inferior	-3,86	10,17	170,42	10,49		
Limite superior	3,03	23,88	193,19	21,03		
Garapiá Não Irrigado	0,53 ns	19,14*	185,53*	16,09*	164,33	206,72
Limite inferior	-1,97	14,41	177,87	11,16		
Limite superior	6,10	27,63	150,03	30,37		
FC104 Irrigado	-0,04 ns	18,75*	136,99*	18,46*	112,67	161,30
Limite inferior	-6,18	9,86	123,94	6,55		
Limite superior	2,59	15,94	146,84	15,70		
FC104 Não Irrigado	0,79 ns	11,99*	137,49*	11,05*	122,93	152,04
Limite inferior	-1,00	8,04	128,14	6,40		
Massa Seca dos Nódulos						
Limite superior	0,06	0,59	190,25	33,13		
Triunfo Irrigado	-0,02 ns	0,46*	180,68*	23,02*	150,37	211,00
Limite inferior	-0,11	0,34	171,11	12,91		
Limite superior	0,04	208,28	369,64	298,31		
Triunfo Não Irrigado	0,00 ns	1,24	199,44*	4,71 ns	193,24	205,64
Limite inferior	-0,04	-205,79	29,23	-288,89		
Limite superior	0,09	0,85	195,05	23,43		
Garapiá Irrigado	-0,01 ns	0,66*	185,94*	17,11*	163,4	208,47
Limite inferior	-0,11	0,47	176,83	10,79		
Limite superior	0,08	0,77	210,4	29,69		
Garapiá Não Irrigado	0,00 ns	0,52*	202,48*	14,36*	183,57	215,60
Limite inferior	-0,08	0,27	194,55	-0,97		
Limite superior	0,09	1,31	141,84	16,90		
FC104 Irrigado	0,00 ns	0,75*	132,44*	9,90*	119,41	145,48

Limite inferior	-0,10	0,20	123,04	2,89		
Limite superior	0,07	28350,9	4693,69	10232,16		
FC104 Não Irrigado	0,00 ns	2,32 ns	155,44 ns	3,37 ns	150,99	159,88
Limite inferior	-0,07	-28346,27	-4382,81	-10225,41		

\* Significativo a 0,05 de probabilidade de erro pelo teste t. ns= não significativo. – indica o não ajuste ou ajuste com r inferior a 0,7.

Tabela 3. Estimativa dos parâmetros a, b, c, d, limites inferiores e limites superiores do intervalo de confiança (IC 95%), ponto de inflexão (PI) e assíntota (AS) do modelo Logístico para os caracteres em função da soma térmica acumulada (em°C) de cultivares de feijão (Triunfo, Garapiá e FC104) em dois regimes hídricos (irrigado e não irrigado) no experimento II (EII).

	a	b	c	d	PI	AS
Estatura						
Limite superior	32,94	197,15	868,53	215,52		
Triunfo Irrigado	-6,01 ns	160,72*	826,08*	154,51*	622,6	973,95
Limite inferior	-44,97	124,29	783,63	93,49		
Limite superior	64,19	183,41	955,75	410,37		
Triunfo Não Irrigado	-14,25 ns	110,41*	841,59*	217,21*	555,54	973,95
Limite inferior	-92,69	37,41	727,44	24,04		
Limite superior	418,33	810,2	920,61	1011,62		
Garapiá Irrigado	-145,20 ns	255,90 ns	807,44*	385,92 ns	299,2	973,95
Limite inferior	-708,72	-298,39	694,27	-239,78		
Limite superior	1148,95	1760,32	954,31	1173,29		
Garapiá Não Irrigado	-256,13 ns	364,12 ns	819,05*	505,22 ns	227,4	973,95
Limite inferior	-1661,21	-1032,08	683,79	-762,85		
Limite superior	61,46	184,74	607,5	179,03		
FC104 Irrigado	0,85 ns	120,83*	542,90*	101,57*	409,13	657,78

Limite inferior	-59,77	56,93	478,31	24,12		
Limite superior	26,33	162,62	613,73	107,08		
FC104 Não Irrigado	9,49 ns	139,21*	597,46*	71,03*	503,91	657,78
Limite inferior	-7,36	115,80	581,18	34,98		
Diâmetro da Haste						
Limite superior	0,43	1,23	908,23	415,24		
Triunfo Irrigado	0,01 ns	0,83*	843,79*	273,17*	484,03	973,95
Limite inferior	-0,40	0,43	779,34	131,11		
Limite superior	0,59	1,41	1016,68	551,79		
Triunfo Não Irrigado	0,00 ns	0,82*	893,87*	311,30*	483,90	973,95
Limite inferior	-0,60	0,24	771,06	70,81		
Limite superior	970861,93	971804,04	897,70	9,93E+06		
Garapiá Irrigado	-470,70 ns	471,45 ns	775,84*	9621,09 ns	227,40	973,95
Limite inferior	-971803,34	-970861,13	653,97	-9,91E+06		
Limite superior	3431,67	3882,15	1,74E+06	2,51E+06		
Garapiá Não Irrigado	-4,68 ns	6,67 ns	5263,29 ns	4820,37 ns	227,40	973,94
Limite inferior	-3441,03	-3868,81	-1,73E+06	-2,50E+06		
Limite superior	0,77	1,16	638,88	429,08		
FC104 Irrigado	0,11 ns	0,53 ns	556,93*	188,22 ns	309,05	657,78
Limite inferior	-0,56	-0,09	474,99	-52,64		
Limite superior	0,41	0,45	713,95	275,43		
FC104 Não Irrigado	0,25*	0,31*	612,05*	146,54*	419,07	657,78
Limite inferior	0,10	0,16	510,16	17,64		
Número de Nós						
Limite superior	8,90	45,23	937,9	630,24		
Triunfo Irrigado	-10,88 ns	25,73*	866,12*	384,74*	467,39	973,95

Limite inferior	-30,66	6,24	794,33	139,25		
Limite superior	472,04	602,11	1099,76	4587,91		
Triunfo Não Irrigado	-58,74 ns	71,55 ns	898,04*	865,39 ns	227,40	973,95
Limite inferior	-589,51	-459,01	696,31	-2857,13		
Limite superior	-	-	-	-		
Garapiá Irrigado	-	-	-	-	-	-
Limite inferior	-	-	-	-		
Limite superior	1,62E+06	1,62E+06	1185417,02	1,66E+06		
Garapiá Não Irrigado	-3105,54 ns	3119,12 ns	898,97*	6134,43 ns	227,40	973,95
Limite inferior	-1,62E+06	-1,62E+06	612519,15	-1,59E+06		
Limite superior	27,78	51,55	681,53	543,12		
FC104 Irrigado	-5,17 ns	20,05 ns	570,16*	206,27 ns	298,51	657,78
Limite inferior	-38,12	-11,45	458,78	-130,59		
Limite superior	2,85	20,80	645,1	214,77		
FC104 Não Irrigado	-0,73 ns	17,44*	609,30*	163,42*	394,08	657,78
Limite inferior	-4,31	14,07	573,51	112,13		
Comprimento da Raiz						
Limite superior	-	-	-	-		
Triunfo Irrigado	-	-	-	-	-	-
Limite inferior	-	-	-	-		
Limite superior	-	-	-	-		
Triunfo Não Irrigado	-	-	-	-	-	-
Limite inferior	-	-	-	-		
Limite superior	-	-	-	-		
Garapiá Irrigado	-	-	-	-	-	-
Limite inferior	-	-	-	-		

Limite superior	7,10E+05	9,45E+09	1,51E+09	3,49E+09		
Garapiá Não Irrigado	542920,00*	3,41E+05 ns	4,36E+06 ns	1,49E+05 ns	416,71	455,83
Limite inferior	3,76E+05	-9,45E+09	-1,51E+09	-3,49E+09		
Limite superior	9,73E+06	9,30E+06	1,56E+07	2,31E+08		
FC104 Irrigado	4,26E+05 ns	6,42E+04 ns	3,56E+06 ns	2,58E+06 ns	149,60	657,78
Limite inferior	-8,88E+06	-9,18E+06	-8,45E+06	-2,25E+08		
Limite superior	-	-	-	-		
FC104 Não Irrigado	-	-	-	-	-	-
Limite inferior	-	-	-	-		
Massa Seca da Parte Aérea						
Limite superior	9,76	39,99	941,45	338,90		
Triunfo Irrigado	-4,31 ns	27,03*	847,20*	195,66*	589,52	973,95
Limite inferior	-18,37	10,06	752,95	52,42		
Limite superior	6,48	36,55	1291,29	386,51		
Triunfo Não Irrigado	-0,98 ns	25,21*	1026,56*	213,25*	745,72	227,40
Limite inferior	-8,44	13,88	761,82	39,99		
Limite superior	-	-	-	-		
Garapiá Irrigado	-	-	-	-	-	-
Limite inferior	-	-	-	-		
Limite superior	590,89	749,29	1017,69	3331,91		
Garapiá Não Irrigado	-70,51 ns	89,94 ns	825,43*	608,99 ns	227,40	973,95
Limite inferior	-731,92	-569,40	633,17	-2113,93		
Limite superior	-	-	-	-		
FC104 Irrigado	-	-	-	-	-	-
Limite inferior	-	-	-	-		
Limite superior	30,17	219227,58	173028,67	3223,96		

FC104 Não Irrigado	-0,58 ns	345,79 ns	1788,60 ns	244,99 ns	657,78	149,60
Limite inferior	-31,34	-218536,01	-169451,48	-2733,97		
Massa Seca da Raiz						
Limite superior	2,05	15,57	777,63	199,65		
Triunfo Irrigado	-1,22 ns	12,36*	746,07*	150,31*	548,12	944,01
Limite inferior	-4,49	9,16	714,5	100,96		
Limite superior	3,15	14,14	859,51	247,92		
Triunfo Não Irrigado	-0,57 ns	10,65*	806,97*	166,61*	587,54	973,95
Limite inferior	-4,29	7,17	754,42	85,31		
Limite superior	10,59	11,7	1506,01	611,97		
Garapiá Irrigado	6,59*	2,60 ns	718,51 ns	57,74 ns	642,47	794,55
Limite inferior	2,59	-6,49	-68,99	-496,48		
Limite superior	2,48E+06	2,49E+06	1237,39	2,41E+06		
Garapiá Não Irrigado	-3026,22 ns	3035,72 ns	868,41*	5864,92 ns	227,4	973,95
Limite inferior	-2,49E+06	-2,48E+06	499,42	-2,40E+06		
Limite superior	33,53	51,96	616,76	772,92		
FC104 Irrigado	-6,04 ns	13,40 ns	533,15*	234,61 ns	224,18	657,78
Limite inferior	-45,61	-25,15	449,53	-303,70		
Limite superior	6,52	698090,70	275216,09	1452,41		
FC104 Não Irrigado	1,64 ns	421,17 ns	1579,04 ns	159,83 ns	657,78	149,60
Limite inferior	-3,24	-697248,36	-272058,02	-1132,75		
Massa Seca dos Nódulos						
Limite superior	0,19	27,38	2735,15	696,78		
Triunfo Irrigado	0,01 ns	1,11 ns	711,02 ns	31,07 ns	699,95	744,32
Limite inferior	-0,18	-25,15	-1313,11	-634,64		
Limite superior	-	-	-	-		

Triunfo Não Irrigado	-	-	-	-	-	-
Limite inferior	-	-	-	-		
Limite superior	0,26	3,01	662,19	119,01		
Garapiá Irrigado	0,04 ns	1,43 ns	610,73*	60,51*	531,04	690,42
Limite inferior	-0,17	-0,15	559,27	2,02		
Limite superior	-	-	-	-		
Garapiá Não Irrigado	-	-	-	-	-	-
Limite inferior	-	-	-	-		
Limite superior	0,02	9,42	3285,44	2171,32		
FC104 Irrigado	0,00 ns	0,10 ns	617,60 ns	31,65 ns	575,92	657,78
Limite inferior	-0,02	-0,92	-2050,23	-2108,02		
Limite superior	0,04	5,36	2473,77	1514,32		
FC104 Não Irrigado	0,00 ns	0,12 ns	620,31 ns	36,66 ns	572,03	657,77
Limite inferior	-0,04	-5,12	-1233,15	-1441,00		

\* Significativo a 0,05 de probabilidade de erro pelo teste t. ns= não significativo. – indica o não ajuste ou ajuste com r inferior a 0,7.

Tabela 4. Estimativa dos parâmetros a, b, c, d, limites inferiores e limites superiores do intervalo de confiança (IC 95%), ponto de inflexão (PI) e assíntota (AS) do modelo Chanter para os caracteres em função da soma térmica acumulada (em°C) de cultivares de feijão (Triunfo, Garapiá e FC104) em dois regimes hídricos (irrigado e não irrigado) no experimento I (EI).

	a	b	c	d	PI	AS
Estatura						
Limite superior	20,98	124,84	0,00	0,00		
Triunfo Irrigado	8,46 ns	114,41*	0,00 ns	-0,04 ns	137,99	203,46
Limite inferior	-4,06	103,99	0,00	-0,08		
Limite superior	20,53	96,91	0,01	0,01		



Triunfo Não Irrigado	7,82 ns	87,44*	0,00 ns	-0,03 ns	143,35	215,60
Limite inferior	-4,89	77,97	-0,01	-0,07		
Limite superior	41,73	84,9	0,04	0,40		
Garapiá Irrigado	6,62 ns	70,78*	0,00 ns	-0,04 ns	118,62	182,11
Limite inferior	-28,49	56,65	-0,03	-0,49		
Limite superior	35,79	60,33	0,04	0,26		
Garapiá Não Irrigado	6,12 ns	48,68*	0,00 ns	-0,04 ns	111,81	182,11
Limite inferior	-23,55	37,04	-0,04	-0,33		
Limite superior	45,31	112,64	0,05	0,12		
FC104 Irrigado	7,62 ns	94,45*	0,00 ns	-0,04 ns	96,57	166,84
Limite inferior	-30,08	76,26	-0,05	-0,19		
Limite superior	33,34	107,21	0,05	0,08		
FC104 Não Irrigado	7,56 ns	95,67*	0,00 ns	-0,03 ns	102,78	170,84
Limite inferior	-18,23	84,13	-0,04	-0,14		
Diâmetro da Haste						
Limite superior	0,27	0,73	0,01	0,00		
Triunfo Irrigado	0,19*	0,68*	0,00 ns	-0,02*	124,93	215,60
Limite inferior	0,1	0,64	0,00	-0,04		
Limite superior	0,23	0,69	0,02	0,04		
Triunfo Não Irrigado	0,16*	0,64*	0,01 ns	-0,01 ns	115,41	215,60
Limite inferior	0,08	0,58	0,00	-0,02		
Limite superior	0,33	0,73	0,01	0,00		
Garapiá Irrigado	0,25*	0,68*	0,00 ns	-0,02*	126,44	215,60
Limite inferior	0,16	0,63	0,00	-0,04		
Limite superior	0,34	0,64	0,00	0,75		
Garapiá Não Irrigado	0,28*	0,61*	0,00 ns	-0,12 ns	110,70	139,39

Limite inferior	0,23	0,58	0,00	-0,99		
Limite superior	19,03	0,57	2,07	33,64		
FC104 Irrigado	0,21 ns	0,52*	0,00 ns	-0,06 ns	73,98	126,51
Limite inferior	-18,6	0,48	-2,06	-33,76		
Limite superior	2,48	0,52	0,38	2,39		
FC104 Não Irrigado	0,20 ns	0,47*	0,00 ns	-0,05 ns	70,82	138,67
Limite inferior	-2,07	0,42	-0,37	-2,48		
Número de Nós						
Limite superior	1,68	13,09	0,03	0,00		
Triunfo Irrigado	0,75 ns	12,40*	0,01 ns	-0,01 ns	114,60	215,60
Limite inferior	-0,18	11,7	-0,01	-0,03		
Limite superior	1,33	12,01	0,03	0,00		
Triunfo Não Irrigado	0,71*	11,57*	0,01 ns	-0,01*	111,42	215,60
Limite inferior	0,09	11,14	0,00	-0,02		
Limite superior	2,67	12,38	0,05	0,02		
Garapiá Irrigado	0,84 ns	11,38*	0,01 ns	-0,02 ns	108,81	215,60
Limite inferior	-0,99	10,38	-0,02	-0,05		
Limite superior	1,52	11,41	0,05	0,01		
Garapiá Não Irrigado	0,57 ns	10,77*	0,02 ns	-0,01 ns	102,90	215,60
Limite inferior	-0,37	10,13	-0,01	-0,03		
Limite superior	-	-	-	-		
FC104 Irrigado	-	-	-	-	-	-
Limite inferior	-	-	-	-		
Limite superior	-	-	-	-		
FC104 Não Irrigado	-	-	-	-	-	-
Limite inferior	-	-	-	-		

Comprimento da Raiz						
Limite superior	12,10	59,02	0,05	0,01		
Triunfo Irrigado	3,62 ns	55,05*	0,01 ns	-0,02 ns	90,60	215,57
Limite inferior	-4,85	51,09	-0,02	-0,05		
Limite superior	11,32	84,34	0,22	0,05		
Triunfo Não Irrigado	1,38 ns	67,60*	0,04 ns	0,00 ns	90,73	215,60
Limite inferior	-8,55	50,86	-0,13	-0,05		
Limite superior	-	-	-	-		
Garapiá Irrigado	-	-	-	-	-	-
Limite inferior	-	-	-	-		
Limite superior	4,29	74,59	0,41	0,06		
Garapiá Não Irrigado	0,36 ns	60,99 *	0,08 ns	0,01 ns	71,62	215,60
Limite inferior	-3,57	47,39	-0,25	-0,05		
Limite superior	2,21	793,41	8,23	0,76		
FC104 Irrigado	0,02 ns	63,17 ns	0,30 ns	0,03 ns	43,76	170,84
Limite inferior	-2,17	-667,06	-7,64	-0,69		
Limite superior	8,64	1474,97	11,97	1,33		
FC104 Não Irrigado	0,05 ns	63,10 ns	0,25 ns	0,03 ns	43,89	170,84
Limite inferior	-8,53	-1348,76	-11,48	-1,27		
Massa Seca da Parte Aérea						
Limite superior	13,54	27,83	0,86	1,36		
Triunfo Irrigado	0,09 ns	19,36*	0,01 ns	-0,04 ns	93,62	148,41
Limite inferior	-13,35	10,89	-0,85	-1,44		
Limite superior	7,29	16,85	0,44	0,70		
Triunfo Não Irrigado	0,11 ns	12,59*	0,01 ns	-0,04 ns	94,69	155,41
Limite inferior	-7,08	8,32	-0,43	-0,77		

Limite superior	4,33	22,98	0,22	0,15		
Garapiá Irrigado	0,14 ns	17,60*	0,01 ns	-0,02 ns	133,52	215,60
Limite inferior	-4,06	12,22	-0,20	-0,19		
Limite superior	5,10	14,67	0,07	0,47		
Garapiá Não Irrigado	0,37 ns	12,57*	0,00 ns	-0,04 ns	110,55	166,09
Limite inferior	-4,35	10,48	-0,06	-0,56		
Limite superior	9,17	20,92	0,33	0,30		
FC104 Irrigado	2,04 ns	17,34*	0,00 ns	-0,04 ns	115,26	170,84
Limite inferior	-5,10	13,56	-0,03	-0,38		
Limite superior	2,42	20,07	0,11	0,03		
FC104 Não Irrigado	0,56 ns	14,53*	0,03 ns	0,00 ns	100,73	170,84
Limite inferior	-1,31	8,99	-0,05	-0,04		
Massa Seca da Raiz						
Limite superior	5,37	12,85	0,53	1,15		
Triunfo Irrigado	0,09 ns	10,44*	0,00 ns	-0,03 ns	115,82	185,68
Limite inferior	-5,19	8,02	-0,52	-1,21		
Limite superior	-	-	-	-		
Triunfo Não Irrigado	-	-	-	-	-	-
Limite inferior	-	-	-	-		
Limite superior	3,67	15,89	0,14	0,13		
Garapiá Irrigado	0,18 ns	12,41*	0,01 ns	-0,02 ns	140,31	215,60
Limite inferior	-3,31	8,93	-0,12	-0,17		
Limite superior	5,86	18,61	0,04	0,26		
Garapiá Não Irrigado	0,54 ns	14,49 ns	0,00*	-0,03 ns	154,63	215,30
Limite inferior	-4,78	10,37	-0,03	-0,32		
Limite superior	4,35E+06	181559,72	2,57E+06	4,76E+06		

FC104 Irrigado	0,03 ns	12,27*	0,01 ns	-0,05 ns	73,31	115,71
Limite inferior	-4,35E+06	63871,39	-2,57E+06	-4,76E+06		
Limite superior	-	-	-	-		
FC104 Não Irrigado	-	-	-	-	-	-
Limite inferior	-	-	-	-		
Massa Seca dos Nódulos						
Limite superior	0,09	0,42	0,45	7,71		
Triunfo Irrigado	0,00 ns	0,34*	0,00 ns	-0,05 ns	144,96	185,67
Limite inferior	-0,09	0,25	-0,45	-7,80		
Limite superior	0,02	0,34	428,73	1029,77		
Triunfo Não Irrigado	0,00 ns	0,24*	0,00 ns	-0,03 ns	168,84	208,80
Limite inferior	-0,02	0,14	-428,73	-1029,84		
Limite superior	0,15	0,64	1,28	4,46		
Garapiá Irrigado	0,00 ns	0,49*	0,00 ns	-0,03 ns	151,07	212,88
Limite inferior	-0,15	0,34	-1,27	-4,53		
Limite superior	0,02	0,56	0,97	0,41		
Garapiá Não Irrigado	0,00 ns	0,42*	0,01 ns	-0,01 ns	169,71	37,63
Limite inferior	-0,02	0,29	-0,95	-0,43		
Limite superior	-	-	-	-		
FC104 Irrigado	-	-	-	-	-	-
Limite inferior	-	-	-	-		
Limite superior	-	-	-	-		
FC104 Não Irrigado	-	-	-	-	-	-
Limite inferior	-	-	-	-		

\* Significativo a 0,05 de probabilidade de erro pelo teste t. ns= não significativo. – indica o não ajuste ou ajuste com r inferior a 0,7.

Tabela 5. Estimativa dos parâmetros a, b, c, d, limites inferiores e limites superiores do intervalo de confiança (IC 95%), ponto de inflexão (PI) e assíntota (AS) do modelo Chanter para os caracteres em função da soma térmica acumulada (em°C) de cultivares de feijão (Triunfo, Garapiá e FC104) em dois regimes hídricos (irrigado e não irrigado) no experimento II (EII).

	a	b	c	d	PI	AS
Estatura						
Limite superior	-	-	-	-		
Triunfo Irrigado	-	-	-	-	-	-
Limite inferior	-	-	-	-		
Limite superior	45,81	102,64	0,01	0,03		
Triunfo Não Irrigado	8,56 ns	90,13*	0,00 ns	-0,01 ns	519,07	930,51
Limite inferior	-28,69	77,63	-0,01	-0,04		
Limite superior	26,10	113,14	0,00	0,00		
Garapiá Irrigado	8,53 ns	103,83*	0,00 ns	-0,02 ns	449,50	609,49
Limite inferior	-9,03	94,52	0,00	-0,03		
Limite superior	22,46	110,06	0,00	0,00		
Garapiá Não Irrigado	8,56	102,67*	0,00 ns	-0,02*	448,69	609,49
Limite inferior	-5,34	95,28	0,00	-0,03		
Limite superior	78,86	207,08	0,00	448,22		
FC104 Irrigado	11,75 ns	140,00*	0,00 ns	-0,05 ns	489,78	551,98
Limite inferior	-55,35	72,92	0,00	-448,31		
Limite superior	-	133,76	-	-		
FC104 Não Irrigado	10,50 ns	123,08*	0,00 ns	-0,06 ns	367,42	419,85
Limite inferior	-	112,41	-	-		
Diâmetro da Haste						
Limite superior	0,41	0,84	0,00	0,00		
Triunfo Irrigado	0,31*	0,81*	0,00 ns	-0,01 ns	508,73	804,36

Limite inferior	0,22	0,78	0,00	-0,03		
Limite superior	0,44	0,84	0,00	0,04		
Triunfo Não Irrigado	0,29*	0,79*	0,00 ns	-0,01 ns	529,92	973,95
Limite inferior	0,14	0,73	0,00	-0,02		
Limite superior	486,95	0,75	0,01	51060,51		
Garapiá Irrigado	0,33 ns	0,71*	0,00 ns	-0,05 ns	411,63	490,04
Limite inferior	-486,29	0,67	-0,01	-51060,60		
Limite superior	15,29	0,78	0,00	824,55		
Garapiá Não Irrigado	0,33 ns	0,73*	0,00 ns	-0,04 ns	413,32	497,51
Limite inferior	-14,62	0,68	0,00	-824,63		
Limite superior	-	-	-	-		
FC104 Irrigado	-	-	-	-	-	-
Limite inferior	-	-	-	-		
Limite superior	-	-	-	-		
FC104 Não Irrigado	-	-	-	-	-	-
Limite inferior	-	-	-	-		
Número de Nós						
Limite superior	2,75	15,04	0,01	0,00		
Triunfo Irrigado	1,40*	14,44*	0,00 ns	0,00 ns	467,39	973,95
Limite inferior	0,05	13,83	0,00	-0,01		
Limite superior	3,87	195,82	0,23	0,05		
Triunfo Não Irrigado	0,18 ns	16,54 ns	0,02 ns	0,00 ns	305,01	973,95
Limite inferior	-3,51	-162,73	-0,19	-0,05		
Limite superior	5,62	13,85	0,01	0,00		
Garapiá Irrigado	2,68 ns	13,22*	0,00 ns	-0,01 ns	431,30	903,98
Limite inferior	-0,27	12,59	0,00	-0,02		

Limite superior	7,33	14,00	0,01	0,01		
Garapiá Não Irrigado	2,20 ns	13,00*	0,00 ns	-0,01 ns	428,44	892,50
Limite inferior	-1,90	12,00	0,00	-0,02		
Limite superior	-	-	-	-		
FC104 Irrigado	-	-	-	-	-	-
Limite inferior	-	-	-	-		
Limite superior	7,96	20,98	0,00	1,00		
FC104 Não Irrigado	3,03 ns	16,06*	0,00 ns	-0,03 ns	488,20	577,38
Limite inferior	-1,89	11,14	0,00	-1,07		
Comprimento da Raiz						
Limite superior	2,29E+09	72,49	1349,42	8,13E+08		
Triunfo Irrigado	8,17 ns	64,99*	0,00 ns	-0,04 ns	390,32	460,18
Limite inferior	-2,29E+09	57,50	-1349,42	-8,13E+08		
Limite superior	8,41E+08	69,15	524,94	3,02E+08		
Triunfo Não Irrigado	8,15 ns	62,47*	0,00 ns	-0,04 ns	391,09	460,18
Limite inferior	-8,41E+08	55,79	-524,94	-3,02E+08		
Limite superior	2,78E+10	75,86	139,56	7,12E+10		
Garapiá Irrigado	39,06 ns	66,47*	0,00 ns	-0,06 ns	375,01	437,78
Limite inferior	-2,80E+10	57,09	-139,56	-7,12E+10		
Limite superior	-	-	-	-		
Garapiá Não Irrigado	-	-	-	-	-	-
Limite inferior	-	-	-	-		
Limite superior	-	-	-	-		
FC104 Irrigado	-	-	-	-	-	-
Limite inferior	-	-	-	-		
Limite superior	-	-	-	-		



FC104 Não Irrigado	-	-	-	-	-	-
Limite inferior	-	-	-	-		
Massa Seca da Parte Aérea						
Limite superior	7,33	23,96	0,01	0,03		
Triunfo Irrigado	1,04 ns	21,08*	0,00 ns	-0,01 ns	549,63	938,18
Limite inferior	-5,24	18,20	-0,01	-0,05		
Limite superior	3,24	43,26	0,02	0,01		
Triunfo Não Irrigado	0,65 ns	26,74*	0,00 ns	0,00 ns	723,10	227,40
Limite inferior	-1,93	10,23	-0,01	-0,01		
Limite superior	-	-	-	-		
Garapiá Irrigado	-	-	-	-	-	-
Limite inferior	-	-	-	-		
Limite superior	5,48	20,9	0,00	0,01		
Garapiá Não Irrigado	0,74 ns	18,34*	0,00 ns	-0,01 ns	442,13	661,75
Limite inferior	-4,01	15,78	0,00	-0,04		
Limite superior	-	-	-	-		
FC104 Irrigado	-	-	-	-	-	-
Limite inferior	-	-	-	-		
Limite superior	-	-	-	-		
FC104 Não Irrigado	-	-	-	-	-	-
Limite inferior	-	-	-	-		
Massa Seca da Raiz						
Limite superior	3,72	10,4	0,00	0,03		
Triunfo Irrigado	0,91 ns	8,95*	0,00 ns	-0,02 ns	477,89	646,82
Limite inferior	-1,90	7,51	0,00	-0,07		
Limite superior	3,45	9,98	0,00	0,03		

Triunfo Não Irrigado	0,83 ns	8,67*	0,00 ns	-0,01 ns	476,46	654,32
Limite inferior	-1,78	7,36	0,00	-0,06		
Limite superior	142685,11	9,48	1,01	4731130,00		
Garapiá Irrigado	0,35 ns	8,15*	0,00 ns	-0,05 ns	418,41	502,63
Limite inferior	-142684,41	6,83	-1,01	-4731100,00		
Limite superior	2,26	10,45	0,02	0,02		
Garapiá Não Irrigado	0,16 ns	9,02*	0,00 ns	-0,01 ns	435,61	743,87
Limite inferior	-1,95	7,59	-0,02	-0,04		
Limite superior	-	-	-	-		
FC104 Irrigado	-	-	-	-	-	-
Limite inferior	-	-	-	-		
Limite superior	-	-	-	-		
FC104 Não Irrigado	-	-	-	-	-	-
Limite inferior	-	-	-	-		
Massa Seca dos Nódulos						
Limite superior	0,52	0,67	49608,63	3,26E+12		
Triunfo Irrigado	0,00 <sup>ns</sup>	0,37*	3,40E-11	-0,04 <sup>ns</sup>	542,82	572,16
Limite inferior	-0,52	0,07	-49608,63	-3,26E+12		
Limite superior	-	-	-	-		
Triunfo Não Irrigado	-	-	-	-	-	-
Limite inferior	-	-	-	-		
Limite superior	-	-	-	-		
Garapiá Irrigado	-	-	-	-	-	-
Limite inferior	-	-	-	-		
Limite superior	-	-	-	-		
Garapiá Não Irrigado	-	-	-	-	-	-

Limite inferior	-	-	-	-		
Limite superior	-	-	-	-		
FC104 Irrigado	-	-	-	-	-	-
Limite inferior	-	-	-	-		
Limite superior	-	-	-	-		
FC104 Não Irrigado	-	-	-	-	-	-
Limite inferior	-	-	-	-		

\* Significativo a 0,05 de probabilidade de erro pelo teste t. ns= não significativo. – indica o não ajuste ou ajuste com r inferior a 0,7.

Entre as cultivares, a FC104 apresentou o pior ajuste. Esse resultado se explica por a cultivar apresentar ciclo super precoce, resultando em menor número de coleta ao longo do tempo e maior variabilidade dos dados. Ajustes ruins refletem a maior heterogeneidade das plantas a campo, como também observado para genótipos de milho crioulo por Deprá et al. (2016).

O ponto de inflexão (PI) corresponde ao ponto que ocorre a máxima taxa de crescimento. Devido a diferença de crescimentos dos genótipos, esse valor destoa entre as cultivares. No EI, de safra, a soma térmica média para que as plantas atingissem o PI na FC104 foi menor que nas outras cultivares (98,27 °C dia na logística e 80,12 °C dia na chanter), e os maiores valores foram encontrados no modelo logístico na Triunfo (140,49 °C dia) e no modelo chanter na Garapiá (123,90 °C dia). No EII, o déficit hídrico foi imposto na FC104 durante o crescimento vegetativo, que resultou no retardo de crescimento e maior acúmulo de soma térmica para alcançar o PI. Nesse experimento, a cultivar Garapiá apresentou menor PI (325,38 °C dia na logística e 425,40 °C dia na chanter) e a Triunfo a maior média (546,52 °C dia na logística e 490,12°C dia na chanter).

Entre as variáveis, o comprimento da raiz necessitou de menor soma térmica para atingir o PI, indicando que é a variável que se estabelece mais precocemente na cultura. Importante destacar que o experimento foi conduzido em vasos, e considerar as condições das casas de vegetações e tamanhos de vasos utilizados antes de extrapolar os resultados para as condições de campo são fundamentais (Casadebaig et al., 2008), pois o desenvolvimento radicular em experimento em vaso e a campo podem ser diferentes.

Características de seca da parte aérea e raiz apresentaram maior PI, indicando serem as variáveis que necessitam de maior acúmulo de soma térmica para atingirem o máximo crescimento. Portanto, inicialmente ocorre o estabelecimento do comprimento da raiz na planta, e então é alcançada a máxima estatura, número de nós e diâmetro do caule afim de propiciar que a planta atinja o ápice de massa seca da parte aérea e raiz.

A variável massa seca dos nódulos também apresentou valores altos de PI em relação as outras variáveis, indicando que a nodulação não se torna presente no início do crescimento da cultura, prejudicando o fornecimento de nitrogênio à planta nas fases iniciais. O feijão comum possui baixa capacidade de fixação biológica de nitrogênio em comparação a outras leguminosas (Olivera et al., 2004). Os autores Pelegrin et al. (2009) destacam que o uso de adubação nitrogenada aliada a inoculação de bactérias fixadoras de nitrogênio no início do ciclo da cultura é fundamental para o fornecimento desse nutriente e alcance produtivo dos genótipos.

As cultivares Triunfo e a Garapiá apresentam ciclo de 87 e 86 dias, respectivamente, da emergência até a maturação (Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária, 2021 a, b), enquanto que a FC104, de 65 dias até a maturação fisiológica (Melo et al., 2017). A soma térmica necessária para atingir o PI nas cultivares comprovam que o ciclo da FC104 é menor do que das outras cultivares na safra (EI). Entretanto, na safrinha (EII), essa cultivar foi semeada 20 dias após às outras cultivares, como estava ocorrendo o encurtamento dos dias após o solstício de verão em dezembro, isso pode ter resultado em P.I. intermediário em relação as outras cultivares já que ela demorou mais tempo para acumular soma térmica necessária. As cultivares Triunfo e a Garapiá, apresentaram soma térmica para atingir o PI e ciclos parecidos nos dois experimentos.

Em relação as condições hídricas, ao observar o PI dos modelos irrigados e não irrigados, estes apresentaram, na média, menores valores, de 122,83 °C dia no EI e 429,66 °C dia no EII no modelo logístico e de 110,27 °C dia no EI e 454,89 °C dia no EII no modelo chanter para a condição não irrigada e de 122,83 °C dia, 442,38 °C dia, 111,34 °C dia e 467,04 °C dia, respectivamente para a condição irrigada. A planta sob restrição hídrica limita seu desenvolvimento, inicialmente inibindo a expansão foliar e do sistema radicular (Taiz et al., 2017). O pouco tempo em exposição ao deficit hídrico pode influenciar em uma maior expansão das características relacionada as raízes devido a planta buscar mais água para manter sua turgescência celular.

Comparando épocas de semeadura, o EI apresentou maior  $r$  na maioria das variáveis em comparação ao EII (Tabela 1). As variáveis apresentaram  $d$  e  $r$  inferior a 0,9 e EMA e RQME acima de 5,0, principalmente no EII, de safrinha, no modelo chanter, indicando que o logístico foi o modelo mais preciso. O EII apresentou maior PI do que o EI. Isso ocorreu pela semeadura ter ocorrido após o solstício de verão, com o encurtamento dos dias e menor oferta diária de radiação solar.

Após o PI, geralmente a planta atingiu a assíntota, que representa o ponto máximo de inflexão da curva de ajuste, e diminuiu o incremento da variável com a continuidade do desenvolvimento da planta, como observado por Deprá et al. (2016). O crescimento das plantas é influenciado pela fotossíntese e absorção de água e nutrientes (Taiz et al., 2017), o qual possui um limite biológico.

Os estudos referenciados não buscaram ajustar curvas de crescimento a muitas variáveis por experimento, demonstrando o diferencial dessa pesquisa. Em feijoeiro foi ajustado para fitomassa total, área foliar, índice de área foliar, razão de área foliar e taxa de assimilação líquida (Nobrega et al., 2001). Em alho foram ajustados dados de massa seca da folha, do

pseudocaule, do bulbo e da raiz (Reis et al., 2014). Em milho foram avaliados a altura e número de folhas (Deprá et al., 2016). Para tomate, foram estudados sobre o peso e número de frutos por planta (Sari et al., 2019). Em alface, ajustou-se dados de massas fresca e seca de folhas e de parte aérea (Carini et al., 2020).

A partir das pesquisas supracitadas pode ser observado que o ajuste de curvas de crescimento para variáveis referentes ao caule da planta, como diâmetro da haste e número de nós, e variáveis de raízes, não foram estudadas. Em geral, as variáveis respostas que demonstraram melhor ajuste (Tabelas 2, 3, 4 e 5) e menor erro (Tabela 1) foram: diâmetro da haste, número de nós e massa seca da parte aérea, e devem ser preferencialmente utilizadas para avaliar o crescimento de feijoeiro.

As estimativas dos parâmetros (a, b, c, d) de cada cultivar vs condição hídrica foram comparadas entre cada experimento (Tabelas 2, 3, 4 e 5) através do critério de intervalos de confiança (IC) sobrepostos, utilizado por Deprá et al. (2016) e Carini et al. (2020). Considerou-se que quando uma das estimativas estava dentro do IC da outra, o efeito era não significativo. No modelo logístico, para estatura, diâmetro da haste, número de nós, massa seca da parte aérea e raiz, os parâmetros c, d foram os que mais diferiram entre experimentos. No comprimento da raiz apenas o c diferiu e para a massa seca dos nódulos os parâmetros a, b, c, d diferiram entre as variações cultivares x condição hídrica. No modelo chanter, a maioria das variações cultivar x condição hídrica não diferiram entre experimentos, e quando ocorreu, o parâmetro b foi o que mais diferiu. Esses resultados indicam que os modelos apresentaram comportamento distinto entre os experimentos e dentro de cada variável. Resultados semelhantes também foram relatado para genótipos de tomate (Sari et al., 2019) e alface (Carini et al., 2020).

Analisando as variáveis respostas dentro de cada experimento, foi possível observar que o modelo logístico apresentou maior número de parâmetros diferindo entre cultivares e entre condições hídricas nos dois experimentos. Nesse modelo, o parâmetro c foi o que mais diferiu entre cultivares nos dois experimentos. Para o modelo chanter, o parâmetro b foi o que mais diferiu entre cultivares. Entre condições hídricas, nos dois, na maioria das variáveis os parâmetros não diferiram.

O modelo chanter pouco diferiu nos parâmetros pelo teste t ( $p < 0,05$ ) (Tabelas 4 e 5). A significância ocorreu com frequência para o parâmetro b, enquanto que no modelo logístico, os parâmetros b, c, d foram significativos com maior frequência (Tabelas 2 e 3), indicando que o modelo chanter apresenta pouca diferença entre as combinações. Em estudo com alface, Carini et al. (2020) observaram que o modelo gompertz apresentou menor diferença entre algumas cultivares do que o logístico, e observaram a necessidade de determinar modelos específicos por caractere e cultivar.

Os modelos apresentaram o mesmo comportamento para a maioria das variáveis. Por exemplo, para a cultivar Triunfo Irrigada no EI, ambos superestimaram o valor da assíntota para estatura, no logístico houve uma superestimação de 16,17 cm e no chanter em torno de 15,23 cm. Em experimento com alface, Carini et al. (2020) constataram que o modelo gompertz superestimou os valores das variáveis, ao contrário do logístico.

A partir dos resultados, observa-se não ser possível utilizar uma equação para diferentes épocas de semeadura, pois os parâmetros diferiram entre experimentos. De maneira geral, todos os modelos testados apresentaram baixos EMA e RQME e altos  $d$  e  $r$  para as variáveis. Entretanto, o modelo logístico foi o que apresentou melhor desempenho para a maioria das variáveis, combinações de cultivares x condição hídrica e experimentos. Outros autores também concluíram que o modelo logístico foi o mais adequado, como em cultivares de alface, Carini et al. (2020) analisando modelos gompertz e logístico para a matéria fresca e seca das folhas e raízes, concluíram que o logístico descreveu melhor o crescimento. Buscando ajustar um modelo que representasse o peso e número de frutos por planta de tomate ao longo do tempo de colheita, Sari et al. (2019) testaram os modelos brody, gompertz, logístico e von bertalanffy e concluíram que o logístico se ajustou melhor a ambas variáveis. Em alho, avaliando os modelos mirtscherlich, gompertz, logístico, brody e von bertalanffy, Reis et al. (2014) concluíram que o logístico ajustou melhor aos dados para descrever o comportamento do acúmulo de massa seca do bulbo, da raiz e total da planta. Por outro lado, para descrever o comprimento e diâmetro do fruto do cacau ao longo do tempo, Silva e Savian (2019) observaram que os modelos logísticos, gompertz e chanter representavam adequadamente estas variáveis, entretanto, o chanter se mostrou mais flexível e preciso.

A partir dos indicadores de ajuste (EMA, RQME,  $d$ ,  $r$ ) (Tabela 1) e a limitação de ajuste do chanter no EII (Tabela 5), é possível inferir que o modelo logístico é o mais indicado para descrever o crescimento das diferentes cultivares de feijão em condição hídrica irrigada e não irrigada. Para exemplificar a forma da curva de crescimento do modelo logístico, foram selecionadas três variáveis da cultivar Triunfo em regime hídrico Irrigado do EI (Figura 1). Para as demais curvas de crescimento, estas podem ser construídas com as estimativas dos parâmetros (Tabela 2, 3, 4 e 5).

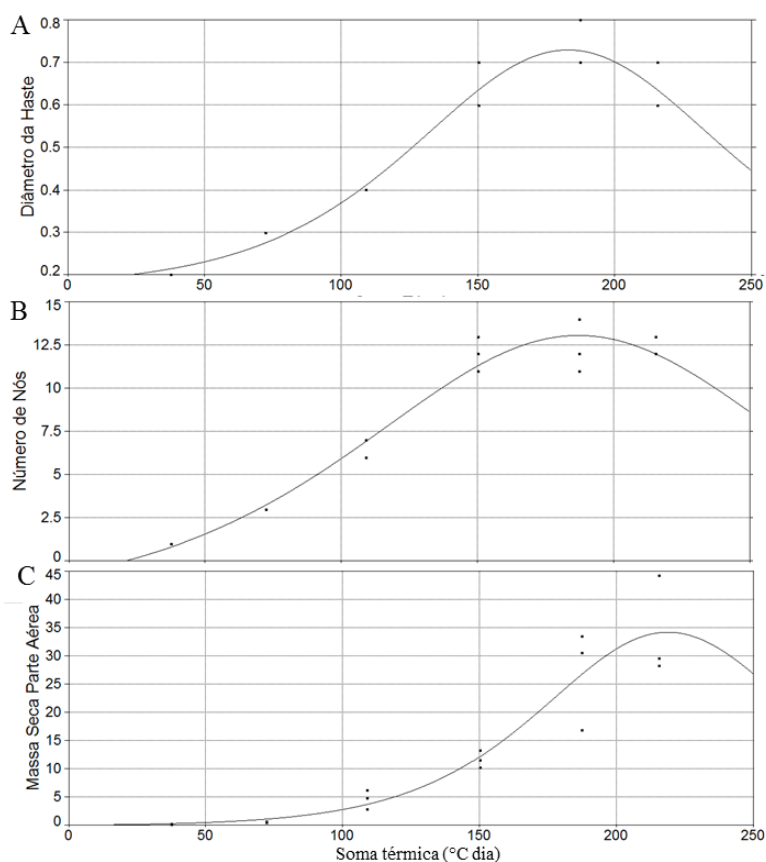


Figura 1. Modelo logístico sobre o diâmetro do caule (cm) (A), número de nós (unidade) (B) e massa seca da parte aérea (g) (C) em função da soma térmica acumulada (em °C dia) do feijão Triunfo Irrigado no experimento I.

#### 4. Conclusões

Os resultados desse estudo demonstram que o modelo de crescimento não linear logístico pode ser utilizado para descrever o crescimento do feijoeiro. Os parâmetros (a, b, c, d) estimados podem ser usados para simulação do crescimento das cultivares Triunfo, Garapiá e FC104 quando irrigadas e não irrigadas. Além disso, devido à falta de estudos sobre o tema em feijoeiro, os parâmetros gerais e específicos das condições hídricas irrigada e não irrigada, podem ser extrapolados para outras cultivares como uma referência.

#### 5. Agradecimento

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida ao primeiro autor.

## 6. Referências

- Cardoso, G.D., Alves, P.L.C.A., Beltrão, N.E.M., Barreto, A.F. 2006. Uso da análise de crescimento não destrutiva como ferramenta para avaliação de cultivares. *Revista de biologia e ciências da terra*, 6, 79-84.
- Carini, F., Cargnelutti Filho, A., Pezzini, R.V., Souza, J.M., Chaves, G.G., Provedi, A. 2020. Nonlinear models for describing lettuce growth in autumn-winter. *Ciência Rural*, 50, 20190534.
- Casadebaig, P., Debaeke, P., Lecoœur, L. 2008. Thresholds for leaf expansion and transpiration response to soil water deficit in a range of sunflower genotypes. *Europe Journal of Agronomy*, 28, 646-654.
- Chickarmane, V., Roeder, A.H.K., Tarr, P.T., Cunha, A., Tobin, C., Meyerowitz, E.M. 2010. Computational morphodynamics: a modeling framework to understand plant growth. *Annual Review of Plant Biology*. 61. 65-87.
- Comissão de Química e de Fertilidade do Solo RS/SC. 2016. Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Porto Alegre: SBCS/NRS.
- Deprá, M.S., Lopes, S.J., Noal, G., Reiniger, L.R.S., Cocco, D.T. 2016. Modelo logístico de crescimento de cultivares crioulas de milho e progênies de meios-irmãos maternos em função da soma térmica. *Ciência Rural*, 46, 36-46.
- Fernandes, T.J., Pereira, A.P., 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.
- Fundação Estadual De Pesquisa Agropecuária. 2021a. Cultivar de feijão FEPAGRO Triunfo. Disponível em: [http://www.fepagro.rs.gov.br/upload/1410787813\\_folder%20TRIUNFO.pdf](http://www.fepagro.rs.gov.br/upload/1410787813_folder%20TRIUNFO.pdf). Acessado em: 07/01/2021.
- Fundação Estadual De Pesquisa Agropecuária. 2021b. Cultivar de feijão FEPAGRO Garapiá. Disponível em: <https://www.agricultura.rs.gov.br/upload/arquivos/carga20170657/23095702-1410787800-garapi-c3-81.pdf>. Acessado em: 07/01/2021.



Kuinchtner, A., Buriol, G.A. 2001. Clima do estado do Rio Grande do Sul segundo a classificação climática de Köppen e Thornthwaite. *Disciplinarum Scientia*, 2, 171-182.

Martins Filho, S., Silva, F.F., Carneiro, A.P.S., Muniz, J.A. 2008. Abordagem Bayesiana das curvas de crescimento de duas cultivares de feijoeiro. *Ciência Rural*, 38, 1516-1521.

Melo, L.C., Pereira, H.S., Souza, T.L.P.O., Faria, L.C., Aguiar, M.S., WENDLAND, A., Carvalho, H.W.L., Almeida, V.M., Melo, C.L.P., Costa, A.F., Ito, M.A., Pereira Filho, I.A., Posse, S.C.P., Magaldi, M.C.S., Cabrera Diaz, J.L., Costa, J.G.C., Abreu, A.F.B., Martins, M., Guimarães, C.M., Trindade, N.L.S. R., Melo, P.G.S., Braz, A.J.B.P., Souza, N.P., Faria, J.C. 2017. BRS FC104: cultivar de feijão-comum carioca superprecoce. Santo Antônio de Goiás: Embrapa.

Milani, M., Lopes, S.J., Bellé, R.A., Backes, F.A.A.L. 2016. Logistic growth models of China pinks. cultivated on seven substrates. as a function of degree days. *Ciência Rural*, 46, 1924-1931.

Miorini, T.J.J., Saad, J.C.C., Menegale, M.L. 2011. Supressão de água em diferentes fases fenológicas do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). *Irriga*, 16, 360-368.

Nóbrega, J.Q., Rao, T.V.R., Beltrão, N.E.M., Fideles Filho, J. 2001. Análise de crescimento do feijoeiro submetido a quatro níveis de umidade do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 5, 437-443.

Olivera, M., Tejera, N., Iribarne, C., Ocana, A., Lluch, C. 2004. Growth. nitrogen fixation and ammonium assimilation in common bean (*Phaseolus vulgaris*): effect of phosphorus. *Physiologia Plantarum*, 121, 498-505.

Peixoto, C.P., Cruz, T.V., Peixoto, M.F.S. 2011. Análise quantitativa do crescimento de plantas: conceitos e prática. *Enciclopédia Biosfera*, 7, 51-76.

Pelegrin, R., Mercante, F.M., Otsubo, I.M.N., Otsubo, A.A. 2009. Resposta da cultura do feijoeiro à adubação nitrogenada e à inoculação com rizóbio. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 33, 219-226.

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 Core Team. 2020. R: Uma linguagem e ambiente para computação estatística. Viena: R Foundation for Statistical Computing.

Regazzi, A.J. 2003. Teste para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear. *Revista Ceres*, 50, 9-26.

REIS, R.M., CECON, P.R., PUIATTI, M., FINGER, F.L., NASCIMENTO, M., SILVA, F.F., CARNEIRO, A.P.S., SILVA, A. R. 2014. Modelos de regressão não linear aplicados a grupos de acessos de alho. *Horticultura Brasileira*, 32, 178-18.

Renato, N.S., Silva, J.B.L., Sedyama, G.C., Pereira, E.G. 2013. Influência dos métodos para cálculo de graus-dia em condições de aumento de temperatura para as culturas de milho e feijão. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 28, 382-388.

Rodrigues, O., Didonet, A.D., Lhamby, J.C.B., Bertagnolli, P.F., Luz, J.S. 2001. Resposta quantitativa do florescimento da soja à temperatura e ao fotoperíodo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 36, 431-437.

Santos, H.G., Jacomine, P.K.T., Anjos, L.H.C., Oliveira, V.A., Lumbreras, J.F., Coelho, M.R., Almeida, J.A., Araújo Filho, J.C., Oliveira, J.B., Cunha, T.J.F. 2018. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa Solos.

Sari, B.G., Lúcio, A.Dal'Col., Santana., C.S., Savian, T.V. 2019. Describing tomato plant production using growth models. *Scientia Horticulturae*, 246, 146-154.

Silva, P.V., Savian, T.V. 2019. Chanter model: nonlinear modeling of the fruit growth of cocoa. *Ciência Rural*, 49, 20190409.

Table Curve 2D. 2021. Table Curve 2D. Trial Version 5.01. San Jose. Califórnia: Systat 502 Software. 2021.<https://systatsoftware.com/products/tablecurve-2d/>. Acessado em: 27/01/2021.

Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I.M., Murphy, A. 2017. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. Porto Alegre: Artmed.

Vicente-Serrano, S.M., Quiring, S.M., Peña-Gallardo, M., Yuan, S., Domínguez-Castro, F. 2020. A review of environmental droughts: Increased risk under global warming? *Earth-Science Reviews*, 201, 102953.

## 1 10 CAPÍTULO 4

2

### 3 **Tamanho de amostra para estimativa da média de caracteres de cultivares de feijão em** 4 **condição hídrica irrigada e não irrigada**

5 **Resumo:** A lacuna produtiva do feijoeiro ainda é grande, mesmo este possuindo destaque no  
6 cenário socioeconômico do Brasil. O uso de ferramentas estatísticas para avaliar o crescimento  
7 e produção das plantas é crucial para o avanço tecnológico da cultura. O estudo determinou o  
8 tamanho de amostra para a estimação da média de caracteres mensurados em diferentes  
9 cultivares e condições hídricas. Os dados foram coletados quinzenalmente a partir de dois  
10 experimentos bifatoriais 3x2 (3 cultivares: Triunfo, Garapiá e FC104; 2 regimes hídricos:  
11 irrigado, não irrigado). Foram coletados dados de doze caracteres morfológicos, de cinco  
12 componentes de rendimento e de temperatura foliar. O tamanho da amostra foi determinado  
13 através de 2.000 reamostragens, e foi definido pelo número de plantas a partir das quais o  
14 intervalo de confiança de 95% foi de 10% a 40% da estimativa média. Como resultado, o  
15 tamanho da amostra é diferente entre os caracteres e entre as cultivares e condições hídricas  
16 utilizadas. A uma amplitude do intervalo de confiança de 95% de até 40% da estimativa da  
17 média, para avaliar todos os caracteres analisados são necessárias 44 plantas dos caracteres de  
18 parte aérea, 132 plantas para os caracteres de raiz e 12 plantas nos caracteres produtivos.  
19 Portanto, para analisar todos os caracteres estudados são necessárias 132 plantas.

20 **Palavras-chave:** *Phaseolus vulgaris*, precisão experimental, reamostragem.

21

22 **Sample size of bean cultivars in irrigated and non-irrigated water conditions**

1 **Abstract:** The productive gap of the common bean is still large, even though it has prominence  
2 in the socioeconomic scenario of Brazil. The use of statistical tools to assess plant growth and  
3 production is crucial for the technological advancement of the crop. The study determined the  
4 sample size to estimate the average of characters measured in different cultivars and water  
5 conditions. Data were collected every two weeks from two 3x2 bifactorial experiments (3  
6 cultivars: Triunfo, Garapiá and FC104; 2 water regimes: irrigated, not irrigated). Data on twelve  
7 morphological characters, five components of yield and leaf temperature were collected. The  
8 sample size was determined through 2,000 resamples, and was defined by the number of plants  
9 from which the 95% confidence interval was 10% to 40% of the average estimate. As a result,  
10 the sample size is different between characters and between cultivars and water conditions used.  
11 At an amplitude of the 95% confidence interval of up to 40% of the average estimate, 44 plants  
12 of the aerial part characters, 132 plants for the root characters and 12 plants for the productive  
13 characters are required to evaluate all the characters analyzed. Therefore, to analyze all the  
14 characters studied, 132 plants are needed.

15 **Keywords:** *Phaseolus vulgaris*, experimental accuracy, resampling.

16

## 17 **INTRODUÇÃO**

18

19 O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é um importante componente da segurança  
20 alimentar e nutricional, produzido por pequenos a grandes produtores, é consumido diariamente  
21 pela maioria da população de todas as classes sociais localizadas no meio rural e urbano  
22 (SILVA & WANDER, 2013). A produtividade média brasileira foi de 1.104 kg ha<sup>-1</sup> em  
23 2019/2020 (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2020), inferior ao seu  
24 potencial produtivo de 3.000 kg ha<sup>-1</sup> em lavouras com alta tecnologia e irrigadas (SILVA et al.,

1 2011). Existe a necessidade de diminuir essa lacuna produtiva para atender a demanda crescente  
2 por alimentos, aliada à melhoria no seu valor nutricional a fim de disponibilizar esse alimento  
3 às pessoas cuja fonte proteica é predominantemente ou exclusivamente de origem vegetal  
4 (RIBEIRO et al., 2018).

5 Um dos principais fatores redutores da produtividade em feijoeiro é o estresse por  
6 deficiência hídrica no solo (SCHWERZ et al., 2017), que culmina também na oscilação da  
7 oferta e no preço desse produto ao consumidor (MIRONI et al., 2011). O feijoeiro é considerado  
8 uma espécie pouco tolerante ao deficit hídrico por apresentar sistema radicular pouco  
9 desenvolvido e não possuir alta capacidade de recuperação (MORAES et al., 2010). O  
10 dimensionamento do tamanho de amostra, ou número de plantas para determinar a média de  
11 uma variável resposta, considerando os manejos de irrigação, é crucial para que caracteres  
12 vegetativos e reprodutivos sejam mensurados com precisão, evitando a subestimação ou a  
13 superestimação.

14 A escassez de tempo e de recursos humanos e financeiros limitam a avaliação de toda a  
15 unidade experimental, e a amostragem é uma opção para retratar a população de forma  
16 representativa (STORCK et al., 2011). Além disso, a amostra possibilita estudar de forma mais  
17 detalhada, do que se fosse avaliar toda a população (FERREIRA, 2015), principalmente em  
18 avaliações destrutivas.

19 No tamanho de amostra determinado por reamostragem, os elementos que farão parte  
20 da amostra podem ser selecionados mais de uma vez através da amostragem com reposição  
21 (FERREIRA, 2015). A determinação do tamanho de amostra por esse método vem sendo  
22 utilizada e independe da distribuição de probabilidade dos dados (FERREIRA, 2009). Os  
23 tamanhos de amostras por esse procedimento já foram determinados para caracteres de tremçoço

1 branco (BURIN et al., 2014), feijão de porco (CARGNELUTTI FILHO et al., 2018b), feijão  
2 guandu anão (CARGNELUTTI FILHO et al., 2018c) e de mandioca (SCHOFFEL et al., 2020).

3 Essas informações para a cultura do feijão comum, em condição hídrica irrigada e não  
4 irrigada, são dados faltantes na literatura. Desse modo, o objetivo deste trabalho foi determinar  
5 o tamanho de amostra, em número de plantas, para a estimação da média de caracteres  
6 mensurados nas cultivares Triunfo, Garapiá e FC104, nas condições hídricas irrigada e não  
7 irrigada.

8

## 9 **MATERIAL E MÉTODOS**

10

11 Foram conduzidos dois experimentos em abrigo de 150 m<sup>2</sup> coberto com polietileno de  
12 baixa densidade de 200µm, com paredes laterais revestidas com tela antiafídeos, localizado no  
13 Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS  
14 (29°43' S, 53°43' W, 95 m). O primeiro experimento foi conduzido de agosto a dezembro de  
15 2019 e o segundo de janeiro a abril de 2020, arranjos em bifatorial 3x2: três cultivares de  
16 feijão (Triunfo, Garapiá e FC104) e dois regimes hídricos (com déficit hídrico e sem déficit  
17 hídrico) em delineamento inteiramente casualizado, com número de plantas avaliadas variável  
18 por combinação cultivar vs condição hídrica apresentada na Tabela 1. As cultivares Garapiá e  
19 FC104 pertencem ao grupo de grãos carioca e a Triunfo ao de grãos pretos. Cada unidade  
20 experimental foi composta por um vaso com uma planta, sendo o vaso com capacidade de 8 L  
21 preenchido com Argissolo Bruno-Acizentado alítico típico (EMPRESA BRASILEIRA DE  
22 PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2006). A adubação de base, a inoculação com bactérias

1 fixadoras de nitrogênio e o controle de pragas e doenças foram de acordo com as  
2 recomendações técnicas da cultura.

3 As condições hídricas foram impostas através da metodologia da fração de água  
4 transpirável no solo (FATS) em R5 (FERNANDEZ et al., 1986) para todas as cultivares no  
5 primeiro experimento e para a Triunfo e Garapiá no experimento 2, enquanto que a FC104 no  
6 último experimento recebeu deficit hídrico em estágio vegetativo V4 (FERNANDEZ et al.,  
7 1986). As plantas com deficit hídrico não foram irrigadas até apresentarem 10% da transpiração  
8 das plantas irrigadas que tiveram sua quantidade de água transpirada diariamente repostas,  
9 conforme metodologia proposta por SINCLAIR & LUDLOW (1986).

10 Os dados referentes aos caracteres vegetativos foram coletados quinzenalmente desde a  
11 emergência até a colheita nos dois experimentos. Todos os dados dos dois experimentos foram  
12 agrupados e divididos para as combinações cultivar vs condição hídrica. A época de semeadura  
13 não foi considerada um fator. Foram mensurados dados de: estatura (E) da haste principal (cm)  
14 com auxílio de régua milimétrica desde a altura do solo até o último nó; número de nós (NN) a  
15 partir do nó das folhas unifolioladas até o último nó com trifólio totalmente expandido; diâmetro  
16 da haste principal (DH) (cm) com auxílio de paquímetro, medido entre o nó cotiledonar e o nó  
17 das folhas unifolioladas; comprimento da raiz (CR) (cm) com auxílio de régua milimétrica;  
18 massa fresca e seca da parte aérea (MFPA, MSPA) e raízes (MFR, MSR) (g), em que as plantas  
19 foram pesadas imediatamente após a coleta e levadas a secagem por 65 °C até peso constante e  
20 pesadas novamente; número de nódulos (NRN) com diâmetro maior que 2mm e suas  
21 respectivas massas frescas e secas (MFN, MSN), estes pesados imediatamente após a contagem  
22 e levados a secagem por 65°C até peso constante e novamente pesados; área foliar (AF) (cm  
23 planta<sup>-1</sup>) determinada por equação  $AF=1,092C^{1,945}$  durante os estádios V4 a R8 (FERNANDEZ  
24 et al., 1986); temperatura foliar (TF) (°C) que foi medida diariamente as 15 hrs durante o deficit

1 hídrico no folíolo central do trifólio localizado no terço superior com auxílio de um termômetro  
2 infravermelho. Os dados referentes aos componentes de rendimento foram coletados no final  
3 do ciclo da cultura em R9: número de vagens (NV), número de grãos por planta (GP) e por  
4 vagem (GV), através de contagem; comprimento das vagens (CV), com auxílio de régua  
5 milimétrica medida entre os extremos da vagem; massa seca dos grãos a 13% de umidade  
6 (MSG) pesada após secagem ao sol.

7 Para cada caractere mensurado foram calculados os valores mínimos, máximos,  
8 amplitude, média, mediana, percentis de 25% e 75%, variância, desvio padrão, coeficiente de  
9 variação, assimetria e curtose pelo software IBM SPSS, versão 22.0 (IBM SPSS, 2021).

10 Para calcular o tamanho de amostra foram planejados 999 tamanhos de amostras para  
11 estimação da média e para cada tamanho, realizado um processo iterativo com 2.000  
12 reamostragens, com reposição (FERREIRA, 2009). A partir destes dados de médias, foram  
13 estimadas as estatísticas: valor mínimo, percentil 2,5%, média, percentil 97,5%, valor máximo  
14 e a amplitude do intervalo de confiança de 95% (AIC<sub>95%</sub>). O tamanho de amostra para estimação  
15 da média foi determinado pelo número de plantas a partir do qual a amplitude do intervalo de  
16 confiança de 95% (AIC<sub>95%</sub>) foi igual a 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35% e 40% da estimativa  
17 da média (FERREIRA, 2009). As análises foram realizadas no software R (R CORE TEAM,  
18 2020).

19

## 20 **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

21

22 Houve variabilidade das estatísticas entre as cultivares e condições hídricas (Tabela 2,  
23 3, 4, 5, 6 e 7). No geral, houve maior variabilidade nas plantas irrigadas do que nas não irrigadas.

24 O deficit hídrico afeta inicialmente a expansão celular, por diminuir o turgor da célula e



1 posteriormente irá induzir ao fechamento estomático e a redução da taxa fotossintética (TAIZ  
2 & ZEIGER, 2013), desse modo, as plantas não irrigadas sofrem limitações de crescimento e  
3 desenvolvimento, o que pode ter resultado em menor amplitude dos dados e plantas mais  
4 uniformes. Outro fator que pode ter influenciado o resultado, foi a irrigação não uniforme  
5 durante o período de deficit hídrico, pois diariamente, a água perdida por transpiração das  
6 plantas irrigadas era repostada, e esse valor variava com cada planta, provocando maior  
7 variabilidade nas plantas irrigadas. Nos caracteres vegetativos, a Triunfo apresenta maior  
8 amplitude para 9 dos 13 caracteres avaliados (E, CR, MFPA, MSPA, NRN, MFR, MSR e AF)  
9 na condição irrigada, enquanto que o DH apresenta a mesma amplitude para os dois regimes  
10 hídricos. Na Garapiá, dos 13 caracteres, 6 apresentam maior amplitude na condição irrigada (E,  
11 MFPA, MSPA, NRN, MFN e AF) e mesma amplitude para a CR. Na FC104, somente 2  
12 caracteres apresentaram maior amplitude nas plantas não irrigadas (E, MFR) e o NN apresentou  
13 mesmos valores. Nos caracteres de componentes de rendimento, as cultivares Triunfo e Garapiá  
14 apresentaram o mesmo comportamento, com maiores amplitudes nas plantas irrigadas para NV,  
15 CV, GP e MSG e maior amplitude para GV nas plantas não irrigadas, enquanto que na FC104  
16 a maior amplitude foi para as plantas irrigadas em todos os caracteres.

17 A TF apresentou maior média na condição não irrigada em todas as cultivares (Tabelas  
18 5, 6 e 7), o mesmo encontrado por Ghanbari et al. (2013), pois as plantas sob deficit hídrico  
19 fecham seus estômatos a fim de reduzir seu consumo hídrico para sobreviver a essa condição  
20 adversa, e por consequência, por não conseguir dissipar sua energia, ocorre o aumento da  
21 temperatura do seu mesófilo. Para os demais caracteres, na cultivar Triunfo, todos apresentaram  
22 menor média perante ao deficit hídrico (Tabelas 2 e 5). Na Garapiá, os caracteres de raiz (MFR,  
23 MSR, NRN, MFN e MSN) apresentaram maiores valores no deficit hídrico. A FC104  
24 apresentou maior média sob deficit hídrico apenas para o NN. A deficiência hídrica causa

1 redução nas variáveis respostas de crescimento e nos componentes de produtividade por limitar  
2 o crescimento e desenvolvimento das plantas ao diminuir a assimilação de carbono por fechar  
3 seus estômatos durante o deficit hídrico (TAIZ & ZEIGER, 2013; GONÇALVES et al., 2015;  
4 MARTINS et al., 2017; HIOLANDA et al., 2018). O maior crescimento da raiz em perfil,  
5 modificando sua arquitetura pode ser considerado um mecanismo de tolerância da planta ao  
6 deficit hídrico (TAIZ & ZEIGER, 2013) e foi observado na cultivar Garapiá. Em soja foi  
7 verificado variabilidade entre os genótipos, demonstrando que o deficit hídrico antes do  
8 florescimento pode causar mudança no crescimento da raiz em profundidade (GONÇALVES  
9 et al., 2017).

10 O NN para as cultivares Triunfo e Garapiá apresentaram média menor que a mediana,  
11 resultando em assimetria negativa e positivo coeficiente da curtose. Já para os caracteres de  
12 raiz, principalmente os relacionados a nodulação, apresentaram média superior à da mediana,  
13 resultando em assimetria positiva e positivo coeficiente de curtose. Mesmo com alguns  
14 caracteres não apresentando distribuição normal, o dimensionamento de reamostragem com  
15 reposição não depende da distribuição dos dados e pode ser aplicado (FERREIRA, 2009). Além  
16 disso, a variabilidade existente entre os dados confere adequabilidade ao banco de dados, assim  
17 como observado para as cápsulas de linho (CARGNELUTTI FILHO et al., 2018a).

18 O tamanho da amostra necessário para estimar as variáveis respostas nas cultivares em  
19 cada condição hídrica apresentou maior variabilidade em intervalo de confiança de 10% da  
20 estimativa da média, em que há maior precisão (Tabelas 8, 9, 10 e 11). Nas cultivares e  
21 condições hídricas avaliadas, o número de plantas necessárias para determinar os caracteres  
22 analisados foram de: 36 para E, 13 para NN, 10 para DH, 15 para CR, 44 para MFPA, 42 para  
23 MSPA, 72 para MFR, 60 para MSR 122 NRN, 124 MFN, 132 MSN, 37 de AF, 5 de TF, 8 de  
24 NV, 2 de CV, 7 de GV, 12 de GP e 11 de MSG, considerando um intervalo de confiança de

1 40% da estimativa da média. Na prática, por exemplo, se o usuário quiser determinar a E das  
2 plantas de um experimento, considerando um experimento com 4 repetições, será necessário  
3 avaliar 9 plantas em cada unidade experimental por tratamento, ou uma simples amostragem de  
4 uma área sem delineamento experimental, como uma lavoura, 36 plantas aleatórias no total. A  
5 uma amplitude do intervalo de confiança de 95% de até 40%, o número de amostras para avaliar  
6 todos os caracteres analisados são 132 plantas, valor próximo ao encontrado para feijão de  
7 porco de 114 plantas (CARGNELUTTI FILHO et al., 2018b) e superior para mudas de alecrim  
8 de 42 plantas (SCHOFFEL et al., 2019).

9 Dentro de cada combinação cultivar vs condição hídrica, com exceção da MFPA, os  
10 maiores CV resultaram em maiores tamanhos da amostra (Tabelas 2 a 11), o mesmo também  
11 foi observado por KLEINPAUL et al. (2017), CARGNELUTTI FILHO et al (2018b) e  
12 SCHOFFEL et al. (2019, 2020). Portanto, considerando a mesma precisão para a estimação da  
13 média dos caracteres de feijão, o tamanho da amostra é diferente entre os caracteres e entre as  
14 cultivares e condições hídricas utilizadas. Essa variabilidade no tamanho das amostras reflete  
15 que os resultados são adequados por refletir situações reais de experimentos. O mesmo foi  
16 encontrado para milho (KLEINPAUL et al., 2017), linho (CARGNELUTTI FILHO et al.,  
17 2018a), feijão de porco (CARGNELUTTI FILHO et al., 2018b), alecrim (SCHOFFEL et al.,  
18 2019) e mandioca (SCHOFFEL et al., 2020).

19 Ocorreu grande variabilidade nos caracteres de raízes. Gonçalves et al. (2017) destacam  
20 que estudar os caracteres relacionado a raiz são complexos e difíceis, ainda mais em cultivo em  
21 solo. Em mudas de alecrim com substrato composto por 100% de solo, SCHOFFEL et al. (2019)  
22 observaram altos valores de CV para MSR e CR, de 54,65 e 46,31%, respectivamente. A maior  
23 variabilidade de CV e tamanho de amostra entre os caracteres estudados aconteceu com os  
24 relacionados a nodulação (NRN, MFN e MSN). Essa variabilidade provavelmente esteja

1 associada a variabilidade natural causada pela nodulação. De acordo com XAVIER et al.  
2 (2007), essa variabilidade em feijão caupi ocorre pela diferença genética entre os rizóbios e as  
3 cultivares. Entretanto, os CV estão superiores aos encontrados em outros estudos, como em  
4 feijão comum do grupo carioca (35,34% NRN, 33,45% MSN) (ARAÚJO et al., 2007) e em  
5 feijão caupi (36,35% NRN, 38,50 MSN) (ALCANTARA et al., 2014). Isso pode ser explicado  
6 porque no presente estudo os dados foram coletados durante todo o ciclo de crescimento e  
7 desenvolvimento das plantas, o que causa maior variabilidade, resultando na necessidade de  
8 mensuração de um maior número de plantas do que em outros caracteres. Sendo assim, a  
9 determinação do número de amostras a partir de dados ao longo do ciclo de feijoeiro para  
10 caracteres de raízes talvez não seja o mais adequado, e sim, a determinações a partir de dados  
11 em estádios fenológicos específicos.

12 Ao desconsiderar o CV dos caracteres de nodulação, os quais apresentaram elevados  
13 valores, os caracteres de contagem apresentaram menor média, de 25,78% para todas cultivares  
14 e condições hídricas, enquanto os obtidos por medida, uma média de 43,61%, sugerindo que  
15 para o mesmo nível de precisão, é necessário maior número de amostras para os caracteres  
16 medidos do que os contados. Esse mesmo resultado foi observado em mandioca por  
17 SCHOFFEL et al. (2020) ao avaliarem caracteres vegetativos.

18 O uso de maior precisão, com intervalo de confiança de 95% de até 15%, dificulta sua  
19 execução pelo elevado número de plantas requeridas, com exceção dos caracteres de TF e CV  
20 que necessitam ser amostrados 36 e 7 plantas, respectivamente. Essas informações possibilitam  
21 ao usuário determinar o número de amostragem a partir do tamanho da sua área experimental,  
22 mão de obra, recursos financeiros e precisão experimental requerida.

23

## 1 CONCLUSÃO

2

3 Para as cultivares Triunfo, Garapiá e FC104 nos regimes hídricos irrigado e não irrigado,  
4 a uma amplitude do intervalo de confiança de 95% até 40% da estimativa da média, para avaliar  
5 todos os caracteres de parte aérea são necessárias 44 plantas (estatura, diâmetro da haste,  
6 número de nós, massa fresca e seca da parte aérea, área foliar e temperatura foliar), 132 plantas  
7 para os caracteres de raiz (comprimento da raiz, massa fresca e seca das raízes e dos nódulos, e  
8 número de nódulos) e 12 plantas nos caracteres produtivos (número de vagens, número de grãos  
9 por vagem, grãos por planta, comprimento das vagens e massa seca dos grãos). Portanto, para  
10 analisar todos os caracteres estudados são necessárias 132 plantas.

11

## 12 REFERÊNCIAS

13

14 ALCANTARA, RCM. et al. Eficiência simbiótica de progenitores de cultivares brasileiras  
15 de feijão-caupi. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 1, p. 1-9, 2014. Disponível em:  
16 <<https://doi.org/10.1590/S1806-66902014000100001>>. Acesso em: 10 jan. 2021. doi:  
17 10.1590/S1806-66902014000100001.

18

19 ARAÚJO, FF et al. Fixação biológica de N<sub>2</sub> no feijoeiro submetido a dosagens de inoculante e  
20 tratamento químico na semente comparado à adubação nitrogenada. **Acta Scientiarum**  
21 **Agronomy**, v. 29, n. 4, p. 535-540, 2007. Disponível em:  
22 <<https://doi.org/10.4025/actasciagron.v29i4.416>>. Acesso em: 10 jan. 2021. doi:  
23 10.4025/actasciagron.v29i4.416

24

- 1 BURIN, C et al. Dimensionamento amostral para a estimação da média e da mediana de  
2 caracteres de tremoço branco (*Lupinus albus* L.). *Comunicata Scientiae*, v. 5, n. 2, p. 205-  
3 212, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.5039/agraria.v13i1a5492>>. Acesso em: 10  
4 jan. 2021. doi: 10.5039/agraria.v13i1a5492.
- 5
- 6 CARGNELUTTI FILHO, A et al. Tamanho de amostra para avaliar caracteres produtivos de  
7 linho. **Revista Agrarian**, v. 11, n. 42, p. 387-392, 2018 (a). Disponível em:  
8 <<https://doi.org/10.30612/agrarian.v11i42.4570>>. Acesso em: 10 jan. 2021. doi:  
9 10.30612/agrarian.v11i42.4570.
- 10
- 11 CAGNELUTTI FILHO, A.; ALVES, B.M.; TOEBE, M.; BRIN, C.; WARTHA, C.A. Sample  
12 size to estimate the mean of traits in jack bean. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.13,  
13 n.1, e5505, p. 1-7, 2018 (b). Disponível em: <<https://doi.org/10.5039/agraria.v13i1a5505>>.  
14 Acesso em: 10 jan. 2021. doi: 10.5039/agraria.v13i1a5505.
- 15
- 16 CAGNELUTTI FILHO, A et al. Tamanho de amostra para a estimação da média de  
17 caracteres de sementes de feijão guandu anão. *Agrarian*, v. 11, n. 41, p. 294-298, 2018 (c).  
18 Disponível em: <<https://doi.org/10.30612/agrarian.v11i41.4577>>. Acesso em: 10 jan. 2021.  
19 doi: 10.30612/agrarian.v11i41.4577.
- 20
- 21 COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira**  
22 **de grãos**: v.7, safra 2019/2020, n.12, setembro 2020. Brasília, 2020. Disponível em:

- 1 <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos> CONAB 2020>.  
2 Acesso em: 26 out. 2020.  
3
- 4 EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de**  
5 **classificação de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006. 306p.  
6
- 7 FERNÁNDEZ, FC et al. **Etapas de desarrollo de la planta de frijol común**. Colômbia: Centro  
8 Internacional de Agricultura Tropical, 1986. 17p.  
9
- 10 FERREIRA, V. **Estatística básica**. Rio de Janeiro: SESES, 2015. 200p.  
11
- 12 FERREIRA, DF. **Estatística básica**. Lavras: UFLA, 2009. 664p.  
13
- 14 GHANBARI, AA et al. Morpho-physiological responses of common bean leaf to water deficit  
15 stress. **European Journal of Experimental Biology**, v. 3, n. 1, p. 487-492, 2013. Disponível  
16 em: <<https://doi.org/10.18805/LR-429>>. Acesso em: 10 jan. 2021. doi: 10.18805/LR-429.  
17
- 18 GONÇALVES, JGR et al. Análise da capacidade combinatória em feijoeiro comum submetido  
19 ao deficit hídrico. **Bragantia**, v. 74, n. 2, p. 149-155, 2015. Disponível em:  
20 <<https://doi.org/10.1590/1678-4499.0345>>. Acesso em: 10 jan. 2021. doi: 10.1590/1678-  
21 4499.0345.  
22

- 1 GONÇALVES, SL et al. **Efeito do estresse hídrico e variabilidade genética na arquitetura**  
2 **da raiz de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2017. 24p.  
3
- 4 HIOLANDA, R et al. Desempenho de genótipos de feijão carioca no Cerrado Central do Brasil.  
5 **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 3, p. 815-824, 2018. Disponível em:  
6 <<https://doi.org/10.19084/RCA17285>>. Acesso em: 10 jan. 2021. doi: 10.19084/RCA17285.  
7
- 8 IBM SPSS. **IBM SPSS Statistics**. 2021. Disponível em: < [https://www.ibm.com/br-](https://www.ibm.com/br-pt/analytics/spss-statistics-software)  
9 [pt/analytics/spss-statistics-software](https://www.ibm.com/br-pt/analytics/spss-statistics-software)>. Acesso em: 27 fev. 2021.  
10
- 11 KLEINPAUL, A et al. Tamanho de amostra para estimação da média de caracteres de milho  
12 em épocas de avaliação. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 16, n. 2, p. 251-262, 2017.  
13 Disponível em: <<https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v16n2p251-262>>. Acesso em: 10  
14 jan. 2021. doi: 10.18512/1980-6477/rbms.v16n2p251-262.  
15
- 16 MARTINS, CAS et al. Crescimento e produção do feijoeiro comum cultivado sob deficit  
17 hídrico. **Water Resources and Irrigation Management**, v. 6, n. 1, p. 95-106, 2017. Disponível  
18 em: <<https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v16n2p251-262>>. Acesso em: 10 jan. 2021.  
19 doi: 10.18512/1980-6477/rbms.v16n2p251-262.  
20
- 21 MIORINI, TJJ et al. Supressão de água em diferentes fases fenológicas do feijoeiro (*Phaseolus*  
22 *vulgaris* L.). **Irriga**, v. 16, n. 4, p. 360-368, 2011. Disponível em:  
23 <<https://doi.org/10.15809/irriga.2011v16n4p360>>. Acesso em: 10 jan. 2021. doi:  
24 10.15809/irriga.2011v16n4p360.



- 1
- 2 MORAES, W. B. et al. Seleção de genótipos de feijoeiro à seca. **Idesia**, v. 28, n. 2, p. 53-59,
- 3 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.4067/S0718-34292010000200006>>. Acesso em: 10
- 4 jan. 2021. doi: 10.4067/S0718-34292010000200006.
- 5
- 6 R CORE TEAM. **R**: Uma linguagem e ambiente para computação estatística. Viena: R
- 7 Foundation for Statistical Computing, 2020.
- 8
- 9 RIBEIRO, ND et al. Phenological, plant architecture, and grain yield traits on common bean
- 10 lines selection. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 3, p. 657-666, 2018. Disponível em:
- 11 <<https://doi.org/10.1590/1983-21252018v31n314rc>>. Acesso em: 10 jan. 2021. doi:
- 12 10.1590/1983-21252018v31n314rc.
- 13
- 14 SCHOFFEL, A et al. Tamanho de amostra em mudas de *Rosmarinus officinalis* L. (alecrim)
- 15 cultivadas em diferentes substratos. **Revista Cubana de Plantas Medicinales**, v. 24, n. 2, p.
- 16 1-16, 2019. Disponível em:
- 17 <<http://www.revplantasmedicinales.sld.cu/index.php/pla/article/view/707>>. Acesso em: 10
- 18 jan. 2021.
- 19
- 20 SCHOFFEL, A et al. Sample size for estimation of averages of agronomic traits in cassava
- 21 seedlings. **International Journal for Innovation Education and Research**, v. 8, n. 5, p.73-
- 22 82, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.31686/ijer.vol8.iss5.2312>>. Acesso em: 10 jan.
- 23 2021. doi: 10.31686/ijer.vol8.iss5.2312.
- 24

1 SCHWERZ, F et al. Greater water availability increases the water use efficiency and  
2 productivity of corn and bean species grown in secondary crop systems. **Australian Journal**  
3 **of Crop Science**, v. 11, n. 1, p. 43-49, 2017. Disponível em:  
4 <<https://doi.org/10.21475/ajcs.2017.11.01.pne205>>. Acesso em: 10 jan. 2021. doi:  
5 10.21475/ajcs.2017.11.01.pne205.

6  
7 SILVA, TRB et al. Produtividade e características tecnológicas de cultivares de feijão em  
8 resposta à calagem superficial em plantio direto. **Bragantia**, v. 70, n. 1, p. 196-205, 2011.  
9 Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052011000100026>>. Acesso em: 10 jan.  
10 2021. doi: 10.1590/S0006-87052011000100026.

11  
12 SILVA, OF.; WANDER, AE. **O feijão-comum no brasil passado, presente e futuro**. Goiás:  
13 Embrapa Arroz e Feijão, 2013. 63p.

14  
15 SINCLAIR, TR.; LUDLOW, MM. Influence of soil water supply on the plant water balance of  
16 four tropical grain legumes. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 13, n. 3, p. 319-340,  
17 1986. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1071/PP9860329>>. Acesso em: 10 jan. 2021. doi:  
18 10.1071/PP9860329.

19  
20 STORCK L et al. **Experimentação vegetal**. 3 ed. Santa Maria: UFSM, 2011. 198p.

21  
22 TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 5 ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918p.

23

- 1 XAVIER, TF et al. Ontogenia da nodulação em duas cultivares de feijão-caupi. *Ciência Rural*,
- 2 v. 37, n. 2, p. 572-575, 2007. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1590/S0103-](http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782007000200042)
- 3 [84782007000200042](http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782007000200042)>. Acesso em: 10 jan. 2021. doi: [10.1590/S0103-84782007000200042](https://doi.org/10.1590/S0103-84782007000200042) .

1 Tabela 1 – Número de plantas utilizadas para cada caractere mensurado nas cultivares

2 Triunfo, Garapiá e FC104 em regime hídrico irrigado e não irrigado.

	Triunfo Irrigado	Triunfo Não Irrigado	Garapiá Irrigado	Garapiá Não Irrigado	FC104 Irrigado	FC104 Não Irrigado
E	81	77	83	82	67	65
NN	81	77	83	82	67	65
DH	63	60	65	64	52	50
CR	63	60	65	64	52	50
MFPA	63	60	65	64	52	50
MSPA	63	60	54	64	52	50
MFR	57	60	65	62	52	50
MSR	63	60	65	64	52	50
NRN	43	35	58	54	33	25
MFN	36	27	51	45	27	16
MSN	38	28	52	47	28	17
AF	42	41	49	43	40	39
TF	145	139	139	135	190	162
NRV	23	20	26	24	21	20
CV	23	20	26	24	21	20
GV	23	20	26	24	21	20
GP	23	20	26	24	21	20
MSG	23	20	26	24	21	20

3 E= estatura (cm); NN= número de nós (unidade); DH= diâmetro da haste (cm); CR=  
 4 comprimento da raiz (cm); MFPA= massa fresca parte aérea (g); MSPA= massa seca parte  
 5 aérea (g); MFR = massa fresca raiz (g); MSR= massa seca raiz (g), NRN = número de nódulos  
 6 (unidade), MFN= massa fresca nódulos (g); MSN=massa seca nódulos (g); AF=área foliar  
 7 (cm<sup>2</sup>); TF= temperatura foliar (°C); NRV = número de vagens (unidade); CV= comprimento  
 8 das vagens (cm); GV= grãos por vagem (unidade); GP= grãos por plant (unidade); MSG=  
 9 massa seca dos grãos (g).

1 Tabela 2 – Variabilidade dos caracteres estatura (E), número de nós (NN), diâmetro da haste  
 2 (DH), comprimento da raiz (CR), massa fresca e seca da parte aérea (MFPA,  
 3 MSPA) e raízes (MFR, MSR) e área foliar (A) de feijão Triunfo na condição  
 4 irrigada e não irrigada.

Caracteres	E	NN	DH	CR	MFPA	MSPA	AF	MFR	MSR
Triunfo Irrigado									
Mínimo	8,40	1,00	0,20	6,30	2,85	0,22	268,77	0,47	0,07
Percentil 25%	61,15	10,00	0,50	43,00	30,56	6,13	750,87	19,01	3,38
Mediana	118,00	12,00	0,70	55,00	45,22	22,44	1386,04	30,00	5,31
Percentil 75%	130,90	13,00	0,75	65,00	75,00	29,33	1734,01	46,68	7,89
Máximo	177,00	15,00	0,90	97,00	158,01	44,31	2648,37	115,00	15,80
Amplitude	168,60	14,00	0,70	90,70	155,17	44,09	2379,60	114,53	15,73
Média	96,42	10,98	0,62	52,28	53,15	19,28	1289,66	34,39	5,91
Variância	2182,83	13,80	0,03	454,11	1204,35	159,02	364583,37	622,54	15,90
DP	46,72	3,71	0,18	21,31	34,70	12,61	603,81	24,95	3,99
CV	48,45	33,85	29,67	40,76	65,29	65,40	46,82	72,55	67,43
Assimetria	-0,79	-1,37	-0,87	-0,57	0,75	-0,11	0,09	0,95	0,55
Curtose	-0,74	1,05	-0,22	0,20	0,70	-1,11	-0,89	1,43	-0,19
Triunfo Não Irrigado									
Mínimo	8,40	1,00	0,20	6,30	2,85	0,22	187,22	0,47	0,07
Percentil 25%	57,00	9,00	0,50	43,00	30,87	5,87	773,14	19,79	3,08
Mediana	90,00	11,00	0,60	51,50	43,50	17,83	1000,00	27,50	5,36
Percentil 75%	103,10	12,00	0,79	62,50	59,00	22,80	1092,12	48,77	7,98
Máximo	153,50	17,00	0,90	93,50	115,00	30,57	1436,32	85,00	29,73
Amplitude	145,10	16,00	0,70	87,20	112,15	30,35	1249,10	84,53	29,67
Média	77,46	10,14	0,60	49,92	45,99	14,91	927,42	31,83	5,92
Variância	1380,31	11,89	0,04	416,21	758,26	88,95	78574,01	461,18	22,38
DP	37,15	3,45	0,19	20,40	27,54	9,43	280,31	21,48	4,73
CV	47,96	33,99	31,70	40,87	59,87	63,27	30,22	67,46	79,92
Assimetria	-0,58	-1,18	-0,50	-0,55	0,59	-0,23	-0,70	0,44	2,26
Curtose	-0,66	1,17	-0,58	0,24	0,46	-1,29	0,11	-0,32	9,90

5 DP= desvio padrão. CV= coeficiente de variação (%).

1 Tabela 3 – Variabilidade dos caracteres estatura (E), número de nós (NN), diâmetro da haste  
 2 (DH), comprimento da raiz (CR), massa fresca e seca da parte aérea (MFPA,  
 3 MSPA) e raízes (MFR, MSR) e área foliar (A) de feijão Garapiá na condição  
 4 irrigada e não irrigada.

Caracteres	E	NN	DH	CR	MFPA	MSPA	AF	MFR	MSR
Garapiá Irrigado									
Mínimo	6,20	1,00	0,20	6,10	2,79	0,36	117,07	0,44	0,10
Percentil 25%	38,00	9,00	0,60	51,85	41,75	8,05	877,61	22,44	3,82
Mediana	77,00	12,00	0,70	64,00	58,86	17,70	1494,51	40,00	6,68
Percentil 75%	102,00	13,00	0,70	70,75	80,09	28,70	1927,07	60,00	8,77
Máximo	136,00	15,00	0,85	89,00	150,00	42,06	3017,88	120,00	22,51
Amplitude	129,80	14,00	0,65	82,90	147,21	41,71	2900,81	119,57	22,40
Média	70,58	10,59	0,63	57,81	61,46	18,25	1442,31	41,46	6,83
Variância	1417,92	11,51	0,02	421,61	1298,59	151,56	581402,91	708,60	21,28
DP	37,66	3,39	0,16	20,53	36,04	12,31	762,50	26,62	4,61
CV	53,35	32,04	24,99	35,52	58,63	67,47	52,87	64,21	67,57
Assimetria	-0,17	-1,30	-1,18	-1,14	0,53	0,12	0,07	0,45	0,86
Curtose	-1,20	1,21	0,54	0,83	0,23	-1,08	-0,71	0,27	1,32
Garapiá Não Irrigado									
Mínimo	6,20	1,00	0,20	6,10	2,79	0,36	117,07	0,44	0,10
Percentil 25%	31,95	10,00	0,51	47,53	42,00	8,86	895,58	20,00	3,90
Mediana	48,50	11,00	0,60	59,50	54,95	16,88	1049,29	40,00	6,54
Percentil 75%	88,38	12,00	0,70	67,50	74,34	23,88	1153,91	70,00	9,38
Máximo	123,50	16,00	0,90	89,00	145,00	31,22	2767,71	126,00	25,52
Amplitude	117,30	15,00	0,70	82,90	142,21	30,86	2650,64	125,57	25,41
Média	58,66	10,15	0,60	55,65	56,02	15,68	1026,93	45,32	7,06
Variância	1168,42	9,81	0,02	400,43	817,74	77,12	275522,67	979,08	23,69
DP	34,18	3,13	0,16	20,01	28,60	8,78	524,90	31,29	4,87
CV	58,27	30,86	26,29	35,96	51,05	56,02	51,11	69,04	68,90
Assimetria	0,28	-1,34	-0,55	-0,98	0,09	-0,34	0,90	0,46	1,11
Curtose	-1,16	1,83	0,15	0,71	0,72	-1,00	2,69	-0,35	3,11

5 DP= desvio padrão. CV= coeficiente de variação (%).

6

1 Tabela 4 – Variabilidade dos caracteres estatura (E), número de nós (NN), diâmetro da haste  
 2 (DH), comprimento da raiz (CR), massa fresca e seca da parte aérea (MFPA,  
 3 MSPA) e raízes (MFR, MSR) e área foliar (A) de feijão FC104 na condição irrigada  
 4 e não irrigada.

Caracteres	E	NN	DH	CR	MFPA	MSPA	AF	MFR	MSR
FC104 Irrigado									
Mínimo	9,00	3,00	0,20	8,80	5,00	0,77	105,78	0,33	0,06
Percentil 25%	54,50	10,00	0,50	39,25	27,28	6,64	744,19	14,80	4,21
Mediana	92,80	12,00	0,50	47,75	37,15	14,59	1366,86	29,81	6,86
Percentil 75%	126,10	14,00	0,60	58,60	58,79	20,49	1736,34	44,00	8,92
Máximo	168,00	20,00	0,80	73,60	110,17	37,88	4985,09	83,00	29,34
Amplitude	159,00	17,00	0,60	64,80	105,17	37,10	4879,31	82,67	29,28
Média	89,92	11,97	0,50	46,91	42,58	14,37	1343,34	31,64	7,21
Variância	2118,96	17,48	0,01	199,48	613,12	77,92	714739,04	447,35	26,49
DP	46,03	4,18	0,12	14,12	24,76	8,83	845,42	21,15	5,15
CV	51,19	34,93	24,14	30,11	58,15	61,41	62,93	66,85	71,43
Assimetria	-0,28	-0,46	-0,70	-0,68	0,90	0,26	1,80	0,60	1,66
Curtose	-0,97	0,28	0,69	0,78	0,87	-0,35	7,83	-0,32	5,53
FC104 Não Irrigado									
Mínimo	9,00	3,00	0,20	8,80	5,00	0,77	105,78	0,33	0,06
Percentil 25%	59,50	10,50	0,40	38,00	21,00	5,08	654,95	10,00	2,52
Mediana	104,00	12,00	0,50	46,95	30,03	10,85	879,18	16,63	3,38
Percentil 75%	122,00	15,00	0,50	55,00	43,20	15,02	1115,89	25,15	7,09
Máximo	181,00	20,00	0,60	70,50	95,00	22,21	1818,67	90,00	15,86
Amplitude	172,00	17,00	0,40	61,70	90,00	21,44	1712,89	89,67	15,80
Média	89,15	12,06	0,45	45,06	33,20	10,41	858,80	21,56	4,44
Variância	2012,71	18,46	0,01	182,46	413,07	35,75	155253,50	340,31	10,43
DP	44,86	4,30	0,09	13,51	20,32	5,98	394,02	18,45	3,23
CV	50,33	35,63	20,64	29,98	61,21	57,42	45,88	85,54	72,67
Assimetria	-0,46	-0,51	-1,00	-0,74	1,01	-0,04	0,01	1,94	1,22
Curtose	-0,75	-0,01	0,57	0,73	1,20	-0,97	0,11	4,02	2,22

5 DP= desvio padrão. CV= coeficiente de variação (%).

1 Tabela 5 – Variabilidade dos caracteres número de nódulos (MRN), massa fresca e seca dos  
 2 nódulos (MFN, MSN), temperatura foliar (TF), número de vagens (NV),  
 3 comprimento das vagens (CV), grãos vagem<sup>-1</sup> (GV), grãos planta<sup>-1</sup>(G) e massa seca  
 4 dos grãos (MSG) de cultivares de feijão Triunfo na condição irrigada e não irrigada.

Caracteres	NRN	MFN	MSN	TF	NV	CV	GV	GP	MSG
Triunfo Irrigado									
Mínimo	1,00	0,07	0,01	16,40	8,00	8,44	3,36	31,00	8,08
Percentil 25%	28,00	0,54	0,07	22,25	11,00	9,08	4,17	49,00	11,58
Mediana	92,00	1,15	0,18	26,00	13,00	9,65	4,82	61,00	14,23
Percentil 75%	205,00	1,88	0,38	28,00	14,00	10,38	5,36	74,00	19,04
Máximo	604,00	7,77	1,57	33,20	19,00	11,50	6,20	103,00	23,27
Amplitude	603,00	7,71	1,56	16,80	11,00	3,06	2,84	72,00	15,19
Média	143,60	1,57	0,27	25,33	12,78	9,78	4,74	61,22	15,03
Variância	24130,39	2,63	0,09	15,76	8,54	0,75	0,56	317,00	20,78
DP	155,34	1,62	0,31	3,97	2,92	0,87	0,75	17,80	4,56
CV	108,17	103,52	115,11	15,67	22,86	8,85	15,75	29,08	30,34
Assimetria	1,46	2,28	2,62	-0,42	0,35	0,33	-0,05	0,39	0,25
Curtose	1,62	6,34	8,77	-0,61	-0,15	-0,92	-0,88	0,09	-0,88
Triunfo Não Irrigado									
Mínimo	1,00	0,64	0,01	17,30	7,00	8,44	2,50	27,00	6,35
Percentil 25%	12,00	0,04	0,09	23,50	9,00	8,83	3,78	34,25	8,12
Mediana	90,00	1,24	0,16	27,00	10,00	9,20	4,06	43,50	10,98
Percentil 75%	154,00	2,34	0,29	30,20	12,75	9,65	4,76	49,75	12,93
Máximo	282,00	4,92	0,56	41,50	15,00	11,05	5,44	60,00	16,54
Amplitude	281,00	4,88	0,55	24,20	8,00	2,61	2,94	33,00	10,19
Média	96,89	1,40	0,20	26,88	10,75	9,31	4,08	43,25	10,80
Variância	6486,28	1,20	0,02	28,19	5,57	0,49	0,62	104,20	7,75
DP	80,54	1,10	0,16	5,31	2,36	0,70	0,79	10,21	2,78
CV	83,13	78,09	78,63	19,75	21,95	7,49	19,31	23,60	25,76
Assimetria	0,52	1,31	0,95	0,31	0,33	1,01	-0,02	0,10	0,04
Curtose	-0,62	2,58	0,10	-0,04	-1,08	0,88	-0,29	-0,97	-0,56

5 DP= desvio padrão. CV= coeficiente de variação (%).

6



1 Tabela 6 – Variabilidade dos caracteres número de nódulos (MRN), massa fresca e seca dos  
 2 nódulos (MFN, MSN), temperatura foliar (TF), número de vagens (NV),  
 3 comprimento das vagens (CV), grãos vagem<sup>-1</sup> (GV), grãos planta<sup>-1</sup>(G) e massa seca  
 4 dos grãos (MSG) de cultivares de feijão Garapiá na condição irrigada e não irrigada.

Caracteres	NRN	MFN	MSN	TF	NV	CV	GV	GP	MSG
Garapiá Irrigado									
Mínimo	2,00	0,01	0,01	17,00	8,00	8,05	3,32	43,00	10,33
Percentil 25%	30,75	0,78	0,10	22,30	12,75	8,50	3,75	54,00	12,53
Mediana	104,00	1,37	0,22	25,70	17,00	9,54	4,63	69,00	16,24
Percentil 75%	202,25	3,33	0,44	28,30	19,00	10,13	5,25	86,25	20,83
Máximo	794,00	9,33	1,21	34,40	21,00	10,87	6,14	94,00	22,83
Amplitude	792,00	9,33	1,20	17,40	13,00	2,82	2,83	51,00	12,50
Média	151,34	2,18	0,31	25,26	15,81	9,42	4,55	70,08	16,57
Variância	24361,95	4,01	0,08	17,47	16,08	0,78	0,73	267,35	15,79
DP	156,08	2,00	0,28	4,18	4,01	0,88	0,86	16,35	3,97
CV	103,13	91,81	91,68	16,55	25,37	9,38	18,83	23,33	23,99
Assimetria	1,87	1,46	1,59	-0,22	-0,48	0,01	-0,01	-0,08	0,18
Curtose	4,54	2,43	2,46	-0,72	-1,01	-1,30	-1,29	-1,17	-1,14
Garapiá Não Irrigado									
Mínimo	1,00	1,61	0,02	14,50	5,00	7,33	2,53	20,00	3,89
Percentil 25%	55,50	0,15	0,17	22,30	9,00	8,35	3,83	39,25	8,97
Mediana	153,00	2,31	0,26	27,20	10,50	8,86	4,35	43,50	10,72
Percentil 75%	260,00	3,16	0,42	29,90	11,75	9,47	4,98	51,75	11,67
Máximo	673,00	7,96	1,22	43,90	17,00	9,94	5,70	58,00	14,50
Amplitude	672,00	7,81	1,21	29,40	12,00	2,61	3,17	38,00	10,61
Média	173,54	2,52	0,32	26,64	10,42	8,83	4,31	44,04	10,26
Variância	18735,16	2,49	0,05	32,44	6,95	0,50	0,64	99,35	6,48
DP	136,88	1,58	0,23	5,70	2,64	0,71	0,80	9,97	2,55
CV	78,87	62,69	71,49	21,38	25,31	7,99	18,50	22,63	24,82
Assimetria	1,02	1,05	1,69	0,22	0,36	-0,35	-0,55	-0,81	-0,81
Curtose	1,88	1,81	4,35	0,03	0,68	-0,61	-0,04	0,64	0,88

5 DP= desvio padrão. CV= coeficiente de variação (%).

1 Tabela 7 – Variabilidade dos caracteres número de nódulos (MRN), massa fresca e seca dos  
 2 nódulos (MFN, MSN), temperatura foliar (TF), número de vagens (NV),  
 3 comprimento das vagens (CV), grãos vagem<sup>-1</sup> (GV), grãos planta<sup>-1</sup> (G) e massa seca  
 4 dos grãos (MSG) de cultivares de feijão FC104 na condição irrigada e não irrigada.

Caracteres	NRN	MFN	MSN	TF	NV	CV	GV	GP	MSG
FC104 Irrigado									
Mínimo	2,00	0,08	0,01	17,20	8,00	7,82	2,46	28,00	7,23
Percentil 25%	14,00	0,17	0,03	24,50	11,50	8,69	3,17	40,00	9,01
Mediana	42,00	0,41	0,07	26,80	13,00	9,89	4,15	50,00	11,78
Percentil 75%	100,50	2,22	0,26	29,30	15,50	10,41	5,03	71,50	16,58
Máximo	248,00	3,98	0,73	48,20	19,00	11,06	5,67	100,00	24,25
Amplitude	246,00	3,90	0,72	31,00	11,00	3,25	3,21	72,00	17,02
Média	66,63	1,13	0,17	26,51	13,43	9,62	4,13	55,67	12,95
Variância	4432,34	1,59	0,04	19,54	8,36	1,01	1,10	403,83	21,63
DP	66,58	1,26	0,20	4,42	2,89	1,00	1,05	20,10	4,65
CV	99,92	111,93	117,16	16,67	21,53	10,45	25,37	36,10	35,91
Assimetria	1,23	1,11	1,53	0,25	-0,13	-0,12	-0,20	0,69	0,82
Curtose	0,74	-0,23	1,57	2,38	-0,49	-1,19	-1,32	-0,36	-0,08
FC104 Não Irrigado									
Mínimo	1,00	0,10	0,01	16,40	6,00	8,67	3,54	24,00	4,52
Percentil 25%	4,00	0,03	0,04	24,10	7,25	9,23	3,90	33,50	7,51
Mediana	23,00	0,43	0,09	27,50	10,50	9,78	4,26	44,00	8,74
Percentil 75%	75,00	0,85	0,13	30,03	12,75	10,05	4,70	50,75	10,97
Máximo	179,00	1,97	0,41	42,30	15,00	10,35	5,25	67,00	14,93
Amplitude	178,00	1,94	0,40	25,90	9,00	1,68	1,71	43,00	10,40
Média	40,84	0,55	0,11	26,93	10,20	9,66	4,29	43,60	9,15
Variância	2156,14	0,28	0,01	26,79	7,96	0,24	0,24	157,20	7,60
DP	46,43	0,53	0,11	5,18	2,82	0,49	0,49	12,54	2,76
CV	113,70	95,67	95,48	19,22	27,66	5,02	11,38	28,76	30,14
Assimetria	1,30	1,41	2,00	0,11	0,04	-0,39	0,44	0,21	0,37
Curtose	1,59	2,35	3,88	0,11	-1,19	-0,76	-0,71	-0,72	-0,09

5 DP= desvio padrão. CV= coeficiente de variação (%).

6

1 Tabela 8 - Tamanho de amostra, em número de plantas, para estimação da média de caracteres  
 2 das cultivares de feijão Triunfo, Garapiá e FC104 na condição irrigada (I) e não  
 3 irrigada (NI) para as amplitudes do intervalo de confiança menor que 10, 15, 20,  
 4 25, 30, 35 e 40 % da estimativa da média.

Cv	CH	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%
Estatura								
Triunfo	I	372	162	91	61	40	31	23
Triunfo	NI	375	157	89	56	37	28	22
Garapiá	I	449	199	117	72	49	36	30
Garapiá	NI	544	243	128	85	58	42	36
FC104	I	408	189	100	65	47	25	32
FC104	NI	407	178	96	63	44	32	25
Número de nós								
Triunfo	I	182	82	46	28	20	15	11
Triunfo	NI	178	79	45	29	20	15	12
Garapiá	I	161	75	38	25	17	13	10
Garapiá	NI	152	66	37	24	16	12	9
FC104	I	197	85	49	31	21	16	12
FC104	NI	201	85	47	29	22	17	13
Diâmetro da haste								
Triunfo	I	142	59	35	22	16	11	8
Triunfo	NI	158	73	38	25	18	13	10
Garapiá	I	99	45	25	15	11	8	6
Garapiá	NI	111	47	26	18	12	9	7
FC104	I	91	40	22	15	10	7	6
FC104	NI	62	31	15	11	8	6	4
Comprimento da raiz								
Triunfo	I	269	117	63	39	29	22	15
Triunfo	NI	266	114	67	40	28	21	15
Garapiá	I	193	90	50	32	20	17	12
Garapiá	NI	205	95	50	32	23	17	13
FC104	I	142	62	36	21	16	12	9
FC104	NI	137	64	35	22	15	11	9
Massa fresca da parte aérea								
Triunfo	I	673	292	172	105	77	56	39
Triunfo	NI	600	248	136	88	64	41	34
Garapiá	I	532	240	134	84	62	34	44
Garapiá	NI	418	182	103	66	45	32	25
FC104	I	550	235	135	85	57	43	32

FC104	NI	607	268	145	94	65	45	36
-------	----	-----	-----	-----	----	----	----	----

---

1

2

1 Tabela 9 - Tamanho de amostra, em número de plantas, para estimação da média de caracteres  
 2 das cultivares de feijão Triunfo, Garapiá e FC104 na condição irrigada (I) e não  
 3 irrigada (NI) para as amplitudes do intervalo de confiança menor que 10, 15, 20,  
 4 25, 30, 35 e 40 % da estimativa da média.

Cv	CH	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%
Massa seca da parte aérea								
Triunfo	I	697	305	168	112	71	54	42
Triunfo	NI	650	283	151	98	73	48	36
Garapiá	I	728	340	173	110	78	59	42
Garapiá	NI	475	212	127	78	52	44	32
FC104	I	619	254	145	91	64	47	36
FC104	NI	538	233	122	81	59	43	32
Massa fresca da raiz								
Triunfo	I	837	366	203	143	92	66	50
Triunfo	NI	736	317	189	114	78	61	43
Garapiá	I	664	290	160	103	69	52	40
Garapiá	NI	754	341	196	123	81	59	47
FC104	I	714	324	176	114	77	55	46
FC104	NI	>1000	518	283	181	126	92	72
Massa seca da raiz								
Triunfo	I	776	328	175	113	75	58	44
Triunfo	NI	>1000	461	254	170	109	80	60
Garapiá	I	729	328	189	123	78	60	43
Garapiá	NI	799	330	187	116	85	63	46
FC104	I	813	355	199	126	95	65	51
FC104	NI	860	378	208	136	89	66	49
Número de nódulos								
Triunfo	I	>1000	834	480	288	199	144	112
Triunfo	NI	>1000	493	268	172	118	86	64
Garapiá	I	>1000	750	411	279	189	137	106
Garapiá	NI	>1000	458	244	161	111	80	60
FC104	I	>1000	755	401	252	168	124	98
FC104	NI	>1000	917	497	317	218	163	122
Massa fresca dos nódulos								
Triunfo	I	>1000	748	416	272	184	137	101
Triunfo	NI	938	435	223	146	102	72	57
Garapiá	I	>1000	609	329	215	147	111	78

Garapiá	NI	637	282	157	96	67	50	38
FC104	I	>1000	914	486	310	217	162	124
FC104	NI	>1000	529	360	234	148	114	85

---

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

1 Tabela 10 - Tamanho de amostra, em número de plantas, para estimação da média de caracteres  
 2 das cultivares de feijão Triunfo, Garapiá e FC104 na condição irrigada (I) e não  
 3 irrigada (NI) para as amplitudes do intervalo de confiança menor que 10, 15, 20,  
 4 25, 30, 35 e 40 % da estimativa da média.

Cv	CH	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%
Massa seca dos nódulos								
Triunfo	I	>1000	974	522	343	225	179	121
Triunfo	NI	949	427	230	151	104	75	56
Garapiá	I	>1000	592	334	211	144	106	82
Garapiá	NI	823	359	207	127	94	62	51
FC104	I	>1000	974	554	336	235	168	132
FC104	NI	>1000	611	361	222	153	114	84
Temperatura foliar								
Triunfo	I	38	17	10	6	4	3	3
Triunfo	NI	63	26	14	10	7	5	4
Garapiá	I	53	24	14	9	6	5	4
Garapiá	NI	71	33	18	11	8	6	5
FC104	I	43	20	12	7	5	4	3
FC104	NI	67	28	17	11	8	6	5
Área foliar								
Triunfo	I	332	144	85	52	38	26	21
Triunfo	NI	138	65	34	22	17	12	9
Garapiá	I	441	198	107	69	50	34	25
Garapiá	NI	413	188	100	66	44	34	25
FC104	I	634	271	161	93	68	51	37
FC104	NI	327	145	78	52	35	26	20
Número de vagens								
Triunfo	I	80	34	20	13	9	6	5
Triunfo	NI	76	33	18	12	8	6	4
Garapiá	I	100	11	25	15	11	8	6
Garapiá	NI	96	44	24	16	10	8	6
FC104	I	69	32	18	12	8	6	5
FC104	NI	115	50	28	17	13	9	8
Comprimento das vagens								
Triunfo	I	12	5	3	2	2	2	2
Triunfo	NI	8	4	2	2	2	2	2
Garapiá	I	13	6	4	2	2	2	2

Garapiá	NI	10	5	3	2	2	2	2
FC104	I	16	7	4	3	2	2	2
FC104	NI	4	2	2	2	2	2	2

---

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22



1 Tabela 11 - Tamanho de amostra, em número de plantas, para estimação da média de caracteres  
 2 das cultivares de feijão Triunfo, Garapiá e FC104 na condição irrigada (I) e não  
 3 irrigada (NI) para as amplitudes do intervalo de confiança menor que 10, 15, 20,  
 4 25, 30, 35 e 40 % da estimativa da média.

Cv	CH	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%
Grãos vagem <sup>-1</sup>								
Triunfo	I	35	16	9	6	4	3	3
Triunfo	NI	59	24	14	9	7	5	4
Garapiá	I	55	24	14	9	7	5	4
Garapiá	NI	49	24	12	9	6	4	3
FC104	I	96	43	26	16	11	8	7
FC104	NI	20	9	6	4	3	2	2
Grãos planta <sup>-1</sup>								
Triunfo	I	132	55	31	20	15	11	8
Triunfo	NI	82	37	19	13	9	7	5
Garapiá	I	84	36	20	14	9	7	5
Garapiá	NI	81	35	20	12	9	7	5
FC104	I	197	84	50	30	21	17	12
FC104	NI	126	55	31	20	14	10	8
Massa seca dos grãos								
Triunfo	I	144	62	34	23	16	11	9
Triunfo	NI	99	44	25	16	10	9	6
Garapiá	I	87	39	22	14	10	7	6
Garapiá	NI	90	41	24	14	11	8	6
FC104	I	195	82	46	32	22	16	11
FC104	NI	141	62	34	24	16	11	8

## 11 DISCUSSÃO

A busca por aumento de produção de grãos afim de atender a demanda oriunda do crescimento populacional possui duas barreiras: alcance do potencial produtivo dos genótipos e limitação na abertura de novas áreas. O avanço em novas áreas agrícolas, pensando na preservação dos ecossistemas, não é a melhor opção. Portanto, manejos que busquem otimizar os recursos e diminuir a lacuna produtiva nas lavouras é a melhor escolha.

O feijão comum, apesar de ser produzido desde o início da humanidade, em virtude de ser, primordialmente produzido para subsistência e principalmente por agricultores familiares e camponeses, resultou em um avanço tecnológico lento, em comparação com outras graníferas. O feijoeiro é um alimento rico em nutrientes, dos quais, seu teor proteico se destaca. É essencial para sobrevivência de muitos povos com baixo recurso financeiro, e também, para a população que por escolha, não consome proteína de origem animal.

Essa espécie é muito sensível a intempéries meteorológicas por possuir raízes superficiais, ciclo rápido e ser uma planta C3. Por esse motivo, é uma planta sensível a deficiência hídrica no solo. Em virtude do aquecimento global, existe a tendência da diminuição da precipitação pluvial total, disponibilizada em alta intensidade e mal distribuída ao longo do ano, o que aliada a elevação da temperatura do ar, ocasiona períodos de deficit hídrico no solo. Esse cenário é preocupante para o futuro próximo, tendo em vista a necessidade do aumento da produção, o feijão ser uma espécie sensível e o aumento dos períodos com estiagem.

Entre as variáveis respostas para avaliar o estado de crescimento da planta, se destaca a área foliar, pois reflete diretamente sua provável produção, desde que esta tenha água e nutrientes disponíveis e saúde fitossanitária. Para isso, o uso de método não destrutivo para estimar a área foliar, tanto para lavoura quanto para experimento, é uma ferramenta que possibilita ter essa informação ao longo do ciclo da cultura sem precisar destruir a planta. No capítulo I foi demonstrado que a equação geral ( $AF = 1,092C^{1,945}$ ) pode ser utilizada, sem perda de precisão, para estimar a área foliar de todas as cultivares analisadas e em condição hídrica irrigada e não irrigada. Além disso, uma equação que necessite apenas do dado de comprimento (C) da folha economiza tempo de análise e propicia menor manuseio da folha. Destaca-se a importância de desenvolver um aplicativo de smartphone que calcule a área foliar a partir da

inserção dos dados dos C dos folíolos, a fim de facilitar a determinação da área foliar pelo produtor rural e extensionistas.

Entre as alternativas de manejo para diminuir os efeitos do déficit hídrico na produtividade, se destaca o uso de cultivares adaptadas as condições edafoclimáticas do local e meteorológicas da safra. A partir da pesquisa referente ao capítulo II através da metodologia da fração de água transpirável no solo (FATS) foi possível distinguir a tolerância de três cultivares em duas épocas de semeadura.

No primeiro experimento, época de safra, com semeadura em final de agosto de 2019, a época apresentou comportamento de baixa demanda atmosférica do ar, com temperaturas do ar mais baixas e umidade relativa do ar mais alta. Nesse experimento, ambas as cultivares estavam em pré-florescimento quando o déficit hídrico foi imposto. Foi possível observar que a cultivar Garapiá apresentou maior valor de FATS crítica (FATSc), o que indica que esta cultivar fecha seus estômatos precocemente, com maior conteúdo de água no solo, a fim de preservar e poder sobreviver por um maior tempo com essa condição hídrica desfavorável. Por outro lado, a cultivar Triunfo apresentou o menor valor de FATSc, indicando ser uma cultivar sensível ao estresse, fechando seus estômatos tardiamente com baixo conteúdo de água disponível no solo. A cultivar FC104 apresentou comportamento intermediário. Entretanto, ao observar a produtividade das cultivares, a Garapiá e a Triunfo, apresentaram as maiores produtividades, não diferindo significativamente entre si. Desse modo, em períodos com baixa demanda atmosférica do ar, característico de curtas estiagens, a cultivar Triunfo, que fechou seus estômatos tardiamente não apresentou redução na sua produtividade, pois apesar de ter diminuído sua taxa fotossintética, com baixo teor de água disponível no solo, logo esta voltou a ser irrigada. Enquanto isso, a Garapiá que fechou precocemente, diminuiu sua taxa fotossintética por mais tempo e perdeu produtividade, se igualando a Triunfo. Sendo assim, em períodos com curtas estiagens, ambas podem ser utilizadas. Nesse caso a escolha depende da preferência do produtor e consumidor, já que a Triunfo é do grupo de grãos pretos e a Garapiá do grupo de grãos cariocas.

No segundo experimento, de safrinha com semeadura em janeiro de 2020, a condição meteorológica foi de alta demanda evaporativa do ar, com altas temperaturas do ar e baixa umidade relativa do ar. As cultivares Triunfo e Garapiá estavam no pré-florescimento no início do déficit hídrico e permaneceram com o mesmo comportamento dos valores de FATSc, alto

para a Garapiá e baixo para a Triunfo. Contudo, a Garapiá apresentou maior produtividade e a Triunfo, a menor. Isso demonstra que em períodos de longas estiagens a capacidade da Garapiá em fechar precocemente os estômatos favorece a manutenção dos seus processos fisiológicos, acarretando em menor perda de produtividade e indicada como tolerante ao deficit hídrico no solo. Por outro lado, a FC104 estava em V4 na imposição do deficit hídrico e apresentou o maior valor de FATSc, pelo fato de que as plantas são mais tolerantes durante o período vegetativo do que reprodutivo aos estresses, e não diferiu estatisticamente da cultivar Triunfo quanto a produtividade.

As cultivares superprecoce naturalmente possuem menor produtividade por apresentar menos tempo de absorção da radiação solar e produção de fotoassimilados. Apesar disso, pode-se concluir que a FC104 é uma excelente opção como alternativa em propriedades que se deseja realizar duas safras devido ao seu ciclo superprecoce e apresentar tolerância mediana ao deficit hídrico.

Outra tecnologia de manejo que vem sendo utilizada pela agricultura moderna é a previsão do comportamento da lavoura. Com o recurso de modelos matemáticos não lineares é possível saber o real estado de desenvolvimento da cultura. Para isso são necessários os dados da soma térmica da localidade, facilmente calculada a partir dos dados da temperatura do ar, e o dado de uma variável resposta, como por exemplo, a massa seca da parte aérea ou o diâmetro do caule. No Capítulo III foi realizado uma curva de crescimento para cada combinação cultivar vs condição hídrica, além das gerais. Esses modelos de crescimento foram realizados para doze variáveis respostas e dois modelos diferentes, logístico e chanter. Foi possível concluir que o modelo logístico foi o que apresentou melhor ajuste e menor erro de estimação. Esses dados podem ser utilizados em futuras pesquisas e desenvolvimento de programas que estimem a produtividade final da cultura.

A amostragem é outra ferramenta importante para otimizar tempo e recursos financeiro e humano, pois nem sempre é possível coletar os dados de toda a área experimental. No Capítulo IV foi determinado o número de amostras suficientes para estimar o dado médio da área experimental de dezoito variáveis respostas para as três cultivares e condições hídricas. Concluiu-se que, de forma geral, para avaliar todos os caracteres analisados a uma amplitude do intervalo de confiança de 95% de até 40%, são necessárias 132 plantas.

Os resultados desta pesquisa contribuíram para o avanço do conhecimento sobre o manejo do feijão comum, e é fundamental que essas informações cheguem na forma de tecnologia para os extensionistas e produtores rurais. Todos os dados obtidos nessa dissertação eram dados faltantes na literatura. A partir desses dados, foi possível conhecer o comportamento sobre o comportamento das cultivares utilizadas no Rio Grande do Sul quanto a tolerância ao deficit hídrico no solo. Foram disponibilizados uma equação geral para estimar a área foliar da planta, modelos de crescimento para doze variáveis respostas do feijoeiro e o número de amostras suficientes para realizar uma amostragem precisa e eficiente.

Apesar da disponibilização desses importantes estudos, ainda são necessárias novas pesquisas sobre o tema. O estudo sobre outras cultivares e em outras condições edafoclimáticas é necessário. Ainda, estudos avaliando níveis de adubação e estádios fenológicos de imposição do deficit hídrico, e seu reflexo sobre a resposta na tolerância a esse estresse e ao crescimento também são de suma importância para o alcance produtivo dos genótipos disponíveis.

## 12 CONCLUSÕES

A equação geral  $AF = 1,092C^{1,945}$  pode ser utilizada para determinar a área foliar de feijoeiro nas condições hídricas irrigada e não irrigada sem perda de precisão.

A cultivar Garapiá apresentou maior produtividade e eficiente controle estomático, podendo ser considerada tolerante ao deficit hídrico e indicada para ambientes com períodos longos de estiagem e alto deficit de pressão de vapor.

Em períodos curtos de estiagem e baixo deficit de pressão de vapor, as cultivares Triunfo e Garapiá apresentaram maior produtividade, mesmo com fechamento tardio e precoce dos estômatos, respectivamente, e qualquer uma pode ser indicada.

A cultivar FC104 apresentou comportamento estável e intermediário quanto ao fechamento estomático, com vantagem de possuir ciclo superprecoce.

O modelo de crescimento não linear logístico pode ser utilizado para descrever o crescimento do feijoeiro.

O número de amostras é de 132 plantas a uma amplitude do intervalo de confiança de 95% até 40% para avaliar todos os caracteres analisados nas cultivares Triunfo, Garapiá e FC104 nos regimes hídricos irrigado e não irrigado.

### 13 REFERÊNCIAS

- ABREU, M. C.; MARTINS, F. B.; FREITAS, C. H.; PEREIRA, R. A. A.; MELLONI, E. G. P. Valores limítrofes para transpiração, desenvolvimento e crescimento de *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson em resposta à deficiência hídrica no solo. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 39, n. 5, p. 841-852, 2015.
- ALMEIDA, P. R. V.; WANDER, A. E.; FIGUEIREDO, R. S. Panorama do mercado internacional de feijões: análise dos principais players mundiais com competitividade do setor de exportações brasileira. **Revista Gestão, Inovação e Negócios**, Anápolis, v. 1, n. 2, p. 1-23, 2016.
- BAKSHANDEH, E.; KAMKAR, B.; TSIALTAS, J. T. Application of linear models for estimation of leaf area in soybean [*Glycine max* (L.) Merr]. **Photosynthetica**, Holanda, v. 49, n. 3, p. 405-416, 2011.
- BARBETTA, P. A.; REIS, M. M.; BORNIA, A. C. **Estatística para cursos de engenharia e informática**. São Paulo: Editora Atlas, 2004.
- BASSINELLO, P. Z. **Grãos**. Brasília, 2018. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/feijao/arvore/CONTAG01\\_2\\_28102004161635.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/feijao/arvore/CONTAG01_2_28102004161635.html)>. Acesso em: 19 out. 2018.
- BECKER, C. C.; STRECK, N. A.; GUBIANI, P. I.; UHLMANN, L. O.; LANGNER, J. A.; TOMIOZZO, R.; BALEST, D. S.; PETRY, M. T. Transpiration and leaf growth of gladiolus in response to soil water deficit. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 283, n. 1, p. 110031, 2021.
- BINDI, M.; BLLSI, S.; ORLANDINI, S.; FIBBI, L.; MORIONDO, M.; SINCLAIR, T. Influence of water déficit stress on leaf área dvelopment and transpiration of sangiove grapevines grown in pots. **American Jounal of Enology and Viticulture**, Davis, v. 56, p. 68-72, 2005.
- BINOTTI, F. F. S. et al. Fontes, doses e modo de aplicação de nitrogênio em feijoeiro no sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 2, p. 473-481, 2009.
- BONETT, L. P. et al. Compostos nutricionais e fatores antinutricionais do feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Arquivos de Ciências da Saúde Unipar**, Umuarama, v. 11, n. 3, p. 235-246, 2007.
- BURIN, C.; CARGNELUTTI FILHO, A.; TOEBE, M.; ALVES, B.M.; FICK, A.L. Dimensionamento amostral para a estimação da média e da mediana de caracteres de treçoço branco (*Lupinus albus* L.). **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 5, n. 2, p. 205-212, 2014.

- CAMPOS, A. F. L. et al. Identificação e análise dos fatores antinutricionais nas possíveis interações entre medicamentos e alimento/ nutrientes em pacientes hospitalizados. **Einstein**, São Paulo, v. 9, n. 3, p. 319-325, 2011.
- CARDOSO, G. D. et al. Uso da análise de crescimento não destrutiva como ferramenta para avaliação de cultivares. **Revista de biologia e ciências da terra**, Sergipe, v. 6, n. 3, p. 79-84, 2006.
- CARGNELUTTI FILHO, A.; ALVES, B. M.; FACCO, G.; WARTA, C. A.; KLEINPAUL, A.; NEU, I. M. M.; SILVEIRA, D. L.; SIMÕES, F. M. Tamanho de amostra para avaliar caracteres produtivos de linho. **Revista Agrarian**, Dourados, v.11, n.42, p.387-392, 2018. (a)
- CAGNELUTTI FILHO, A.; ALVES, B. M.; TOEBE, M.; BRIN, C.; WARTHA, C. A. Sample size to estimate the mean of traits in jack bean. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.13, n.1, e5505, p. 1-7, 2018. (b)
- CAGNELUTTI FILHO, A.; ALVES, B. M.; FOLMANN, D. N.; BEM, C. M.; KLEINPAUL, J. A.; PESSINI, F. V. SIMÕES, F. M. Tamanho de amostra para a estimação da média de caracteres de sementes de feijão guandu anão. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 11, n. 41, p. 294-298, 2018. (c)
- CARINI, F.; CARGNELUTTI FILHO, A.; PEZZINI, R. V.; SOUZA, J. M.; CHAVES, G. G.; PROCEDI, A. Nonlinear models for describing lettuce growth in autumn-winter. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.50, n.7, p.20190534, 2020.
- CARLESSO, R. Absorção de água pelas plantas: Água disponível versus extraível e a produtividade das culturas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 25, n. 1, p. 183-188, 1995.
- CARLESSO, R.; ZIMMERMANN, L. F. Água no solo: parâmetros para dimensionamento de sistemas de irrigação. Santa Maria: UFSM- Departamento de Engenharia Rural, 2000.
- CERA, J. **Relatório sobre a estiagem na safra 2019/2020**. Porto Alegre, 2020. Disponível em: < <https://irga.rs.gov.br/relatorio-sobre-a-estiagem-da-safra-2019-2020>>. Acesso em: 15 jan. 2021.
- CHEN, Y. et al. Dietary Fiber Analysis of Four Pulses Using AOAC 2011.25: Implications for Human Health. **Nutrientes**, cidade, v. 8, n. 12, p. 829, 2016.
- CHICKARMANE, V. et al. Computational morphodynamics: a modeling framework to understand plant growth. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 61, n. 1, p. 65-87, 2010.
- COMISSÃO ESTADUAL DE PESQUISA DE FEIJÃO FEIJÃO. **Feijão: recomendações técnicas para cultivo no Rio Grande do Sul**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2000.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**: v.7, safra 2019/2020, n.12, setembro 2020. Brasília, 2020. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos-CONAB-2020>>. Acesso em: 26 out. 2020.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Perspectivas para a agropecuária**: v. 7, safra 2019-2020. Brasília, 2019. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/perspectivas-para-a-agropecuaria>>. Acesso em: 07 jan. 2021.

CUELLAR-ORTIZ, S. M. et al. Relationship between carbohydrate partitioning and drought resistance in common bean. **Plant, Cell e Environment**, v. 31, n. 10, p. 1399-1409, 2008.

CUSTÓDIO, C. C. et al. Tolerância cruzada induzida por choque térmico na germinação de semente de feijão. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 31, n. 1, p. 131-143, 2009.

DEPRÁ, M. S.; LOPES, S. J.; NOAL, G.; REINIGER, L. R. S.; COCCO, D. T. Modelo logístico de crescimento de cultivares crioulas de milho e progênies de meios-irmãos maternos em função da soma térmica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 46, n.1, p. 36-46, 2016.

DEVI, M. J.; SINCLAIR, T. R. Drought tolerance of soybean withering withered wilting PI 471938. **Crop Science**, Madison, v. 53, n. 5 p. 2072, 2013.

DEVI, M.J. et al. Peanut genotypic variation in transpiration efficiency and decreased transpiration during progressive soil drying. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.114, n.2, p. 280-285, 2009.

DEVI, M. J.; SINCLAIR, T. R.; BEEBE, S. E.; RAO, I. M. Comparison of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes for nitrogen fixation tolerance to soil drying. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 364, n. 1-2, p. 2-37, 2013

DIDONET, A. D.; CARVALHO, M. A. de F. **Fisiologia**. In: GONZAGA, A.C. Feijão: o produtor pergunta, a embrapa responde. Brasília: EMBRAPA, 2014. 31-40p.

FANG, Y.; XIONG, L. General mechanisms of drought response and their application in drought resistance improvement in plants. **Cellular and Molecular Life Sciences**, Cambridge, v. 72, n. 4, p. 673-689, 2014.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Cultivar de feijão FEPAGRO Triunfo**. Porto Alegre, 2021. Disponível em: <[http://www.fepagro.rs.gov.br/upload/1410787813\\_folder%20TRIUNFO.pdf](http://www.fepagro.rs.gov.br/upload/1410787813_folder%20TRIUNFO.pdf)>. Acesso em: 07. Jan. 2021. (a)

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Cultivar de feijão FEPAGRO Garapiá**. Porto Alegre, 2021. Disponível em: <<https://www.agricultura.rs.gov.br/upload/arquivos/carga20170657/23095702-1410787800-garapi-c3-81.pdf>>. Acesso em: 07. Jan. 2021. (b)



FERNÁNDEZ, F. C.; GEPTS, P; LOPEZ, G. **Etapas de desarrollo de la planta de frijol común**. Colômbia: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1986.

FERREIRA, A. C. **Fisiologia e morfologia de plantas de feijão sob deficiência hídrica**. 2017. 62 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, 2017.

FERREIRA, D. F. **Estatística básica**. Lavras: UFLA, Brasil, 2009.

FLETCHER, A. L.; SINCLAIR, T. R.; ALLEN JR., L. H. Transpiration responses to vapor pressure deficit in well watered ‘slow-wilting’ and commercial soybean. **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v. 61, n. 2, p. 145–151, 2007.

FONSECA, J. S.; MARTINS, G. A. **Curso de estatística**. São Paulo: Atlas, 2011.

GUIMARÃES, C. M. et al. Genótipos de feijoeiro comum sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 7, p. 649-656, 2011.

HEINEMANN, A. B.; STONE, L. F.; FAGERIA, N. K. Transpiration response to water deficit during vegetative and reproductive phases of upland rice cultivars. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 68, n. 1, p. 24-30, 2011.

JUSTINO, L.F. et al. Assessment of economic returns by using a central pivot system to irrigate common beans during the rainfed season in Central Brazil. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.224, p. 105749, 2019.

HELDWEIN, A. B.; STRECK, N. A.; BISOGNIN, D. A. **Batata**. In: MONTEIRO, J.E.B.A., org. Agrometeorologia dos cultivos: O fator meteorológico na produção agrícola. Brasília: INMET, 2009. 91-108p.

KELLING, C. R. S.; REICHARDT, K.; STRECK, N. A.; LAGO, I.; ZANON, A. J.; RODRIGUES, M. A. Transpiração e crescimento foliar de crisântemo em função da fração de água transpirável no substrato. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n. 9, p. 735-744, 2015.

KING, C. A.; PURCELL, L. C. Evaluation of methods for estimating transpiration response to soil drying for container-grown plants. **Crop Science**, Madison, v. 57, n. 4, p. 2143-2148, 2017.

KINIRY, J. R. et al. Radiation-use efficiency response to vapor pressure deficit for maize and sorghum. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 56, n. 3, p. 265–270, 1998.

KLEINPAUL, A.; CARGNELUTTI FILHO, A.; ALVES, B. M.; BURIN, C.; NEU, I. M. M.; SILVEIRA, D. L.; SIMÕES, F. M. Tamanho de amostra para estimação da média de caracteres de milho em épocas de avaliação. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 16, n. 2, p. 251-262, 2017.

LAGO, I.; STRECK, N. A.; ZANON, A. J.; HANAUER, J. G.; BISOGNIN, D. A.; SILVA, M. R. Transpiração e Crescimento Foliar de Clones de Batata em Resposta à Fração de Água Transpirável no Solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 3, p. 745-754, 2012.

LAGO, I.; STRECK, N. A.; BISOGNIN, D. A.; SOUZA, A. T.; SILVA, M. R. Transpiração e crescimento foliar de plantas de mandioca em resposta ao deficit hídrico no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 11, p. 1415-1423, 2011.

LANGNER, J. A. **Milho crioulo e melhorado**: Tolerância a deficiência hídrica na perspectiva da segurança e soberania alimentar. 2018. 96 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2018.

LECOEUR, J.; SINCLAIR, R. T. Field pea transpiration and leaf growth in response to soil water deficits. **Crop Science**, Madison, v. 36, n. 2, p. 331-335, 1996.

LOS, F. G. B.; ZIELINSKI, A. A. F.; WOJEICCHOWSKI, J. P.; NOGUEIRA, A.; DEMIATE, I. M. Beans (*Phaseolus vulgaris* L.): whole seeds with complex chemical composition. **Current Opinion in Food Science**, v. 19, n. 1, p. 63-71, 2018.

MACKAY, D. C.; EAVES, C. A. The influence of irrigation treatments on yields and on fertilizer utilization by sweet corn and snap beans. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 42, n. 2, p. 219-228, 1962.

MARTINS, J. T. S. **Transpiração, crescimento e resposta bioquímica de cultivares de soja submetidas ao déficit hídrico no solo**. 2020. 85 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2020.

MARTINS, F. B.; STRECK, N. A.; SILVA, J. C.; MORAIS, W. W.; SUSIN, F.; NAVROSKI, M. C.; VIVIAN, M. A. Deficiência hídrica no solo e seu efeito sobre transpiração, crescimento e desenvolvimento de mudas de duas espécies de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 1297-1306, 2008.

MELO, L. C. et al. **BRS FC104**: cultivar de feijão-comum carioca superprecoce. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA, 2017.

MERWAD, A. R. M. A.; DESOKY, E. S. M.; RADY, M. M. Response of water deficit-stressed *Vigna unguiculata* performances to silicon, proline or methionine foliar application. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 228, n. 1, p. 132-144, 2018.

MIORINI, T. J. J.; SAAD, J. C. C.; MENEGALE, M. L. Supressão de água em diferentes fases fenológicas do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Irriga**, Botucatu, v. 16, n. 4, p. 360-368, 2011.

MORAES, W. B. et al. Seleção de genótipos de feijoeiro à seca. **Idesia**, Arica, v. 28, n. 2, p. 53-59, 2010.

- PEIXOTO, C. P.; CRUZ, T. V.; PEIXOTO, M. F. S. Análise quantitativa do crescimento de plantas: conceitos e prática. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 7, n. 13, p. 51-76, 2011.
- PIZETTA, S. C.; RANGEL, R. R.; RIBEIRO, W. R.; REIS, E. FIALHO DOS.; TAFAREL, V. Análise do crescimento do cafeeiro arábica, em relação à fração de água transpirável do solo. **Coffee Science**, Lavras, v. 11, n. 1, p. 46-54, 2016.
- RALLO, G.; PROVENZANO, G. Modelling eco-physiological response of table olive trees (*Olea europaea* L.) to soil water deficit conditions. **Agricultural water management**, Amsterdam, v. 120, n. 79-88, 2013.
- RAY, J. D.; SINCLAIR, T. R. Stomatal conductance of maize hybrids in response to drying soil. **Crop Science**, Madison, v. 37, n. 3, p. 803-807, 1997.
- RAY, J. D. et al. The effect of vapor pressure deficit on maize transpiration response to a drying soil. **Plant and Soil**, Netherlands, v. 239, n. 1, p. 113-121, 2002.
- REGAZZI, A. J. Teste para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 50, n. 287, p. 9-26, 2003.
- REIS R. M. et al. Modelos de regressão não linear aplicados a grupos de acessos de alho. **Horticultura Brasileira**, Recife, v. 32, n. 2, p. 178-18, 2014.
- RIAR, M. K. et al. Expression of drought-tolerant N<sub>2</sub> fixation in heterogeneous inbred families derived from PI471938 and hutcheson soybean. **Crop Science**, Madison, v. 58, n. 1, p. 364-369, 2018.
- RIBEIRO, N. D.; SANTOS, G. G.; MAZIERO, S. M.; STECKLING, S. M. Phenological, plant architecture, and grain yield traits on common bean lines selection. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 31, n. 3, p. 657-666, 2018.
- RICHTER, G. L. et al. Estimativa da área de folhas de cultivares antigas e modernas de soja por método não destrutivo. **Bragantia**, Campinas, v. 73, n. 4, p. 416-425, 2014.
- RODRIGUES, O. et al. Resposta quantitativa do florescimento da soja à temperatura e ao fotoperíodo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 3, p. 431-437, 2001.
- ROSALES, M. A. et al. Physiological analysis of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars uncovers characteristics related to terminal drought resistance. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v.56, p.24-34, 2012.
- SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Deficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998.

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

SCHOFFEL, A. et al. Tamanho de amostra em mudas de *Rosmarinus officinalis* L. (alecrim) cultivadas em diferentes substratos. **Revista Cubana de Plantas Medicinales**, La Habana, v. 24, n. 2, p. 1-16, 2019.

SCHOFFEL, A. et al. Sample size for estimation of averages of agronomic traits in cassava seedlings. **International Journal for Innovation Education and Research**, Dhaka, v. 8, n. 5, p.73-82, 2020.

SERRAJ, R.; SINCLAIR, T. R. N<sub>2</sub> Fixation Response to Drought in Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Annals of Botany**, Oxford, v. 82, n. 2, p. 229-234, 1998.

SCHWERZ, F. et al. Greater water availability increases the water use efficiency and productivity of corn and bean species grown in secondary crop systems. **Australian Journal of Crop Science**, Lismore, v.11, n., p.43-49, 2017.

SILVA, P. V.; SAVIAN, T. V. Chanter model: nonlinear modeling of the fruit growth of cocoa. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.49, n.11, p. 1-7, 2019.

SILVA, T. R. B.; LEMOS, L. B.; CRUSCIOL, C. A. C. Produtividade e características tecnológicas de cultivares de feijão em resposta à calagem superficial em plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v.70, n. 1, p.196-205, 2011.

SILVA, O. F.; WANDER, A. E. **O feijão-comum no brasil passado, presente e futuro**. Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2013.

SINCLAIR, T. R.; MUCHOW, R. C. System analysis of plant traits to increase grain yield on limited water supplies. **Agronomy Journal**, Madison, v. 93, n. 2, p. 263-270, 2001.

SINCLAIR, T. R. et al. Assessment across the United States of the benefits of altered soybean drought traits. **Agronomy Journal**, Madison, v. 102, n. 2, p. 475–482, 2010.

SINCLAIR, T. R. et al. Identification of virginia-type peanut genotypes for water-deficit conditions based on early decrease in transpiration rate with soil drying. **Crop science**, Madison, v. 58, n. 6, p. 2607-2612, 2018.

SINCLAIR, T. R; LUDLOW, M. M. Influence of soil water supply on the plant water balance of four tropical grain legumes. **Australian Journal Plant Physiology**, Victoria, v. 13, n. 3, p. 329-341, 1986.

SORATTO, R. P. et al. Resposta do feijoeiro ao preparo do solo, manejo de água e parcelamento do nitrogênio. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v. 25, n. 1, p. 89-96, 2003.

STORCK L. et al. **Experimentação Vegetal**. Santa Maria: UFSM, 2011.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2017.

VALE, N. M. et al. Avaliação para tolerância ao estresse hídrico em feijão. **Biotemas**, Florianópolis, v. 25, n. 3, p. 135-144, 2012.

VICENTE-SERRANO, SM et al. A review of environmental droughts: Increased risk under global warming? **Earth-Science Reviews**, v. 201, p. 102953, 2020.

VIÇOSI, K. A. et al. Estresse hídrico simulado em genótipos de feijão, milho e soja. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 4, n. 1, p. 36-42, 2017.

WAKRIM, R. et al. Efeitos comparativos da secagem parcial da raiz (PRD) e da irrigação deficitária regulada (RDI) nas relações hídricas e na eficiência do uso da água em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 106, n. 2-3, p. 275-287, 2005.

YANG, S. et al. Narrowing down the targets: towards successful genetic engineering of drought tolerant crops. **Molecular Plant**, Cambridge, v.3, n. 3, p.469-490, 2010.