

**Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Respostas agronômicas e parametrização do modelo CROPGRO-  
Perennial Forage para simulação do crescimento de duas espécies de  
amendoim forrageiro sob duas intensidades de desfolhação**

**Theyson Duarte Maranhão**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em  
Ciências. Área de concentração: Ciência Animal e  
Pastagens

**Piracicaba  
2023**

**Theyson Duarte Maranhão**  
**Engenheiro Agrônomo**

**Respostas agronômicas e parametrização do modelo CROPGRO-Perennial Forage para  
simulação do crescimento de duas espécies de amendoim forrageiro sob duas  
intensidades de desfolhação**

versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:

Prof. Dr. **CARLOS GUILHERME SILVEIRA PEDREIRA**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em  
Ciências. Área de concentração: Ciência Animal e  
Pastagens

**Piracicaba**  
**2023**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação**  
**DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP**

Maranhão, Theyson Duarte

Respostas agronômicas e parametrização do modelo CROPGRO-Perennial Forage para simulação do crescimento de duas espécies de amendoim forrageiro sob duas intensidades de desfolhação / Theyson Duarte Maranhão. - - versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2023.

109 p.

Tese (Doutorado) - - USP / Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

1. Altura do resíduo 2. *Arachis glabrata* 3. *Arachis pintoi* 4. Manejo da colheita 5. Modelagem I. Título

**DEDICO**

**À minha família, Francisca Sandra Duarte Maranhão, Francisco das Chagas Maranhão e  
Thais Duarte Maranhão.**

## AGRADECIMENTOS

À minha família, Francisca Sandra Duarte Maranhã, Francisco das Chagas Maranhão, Thais Duarte Maranhão, Jamyle Martins de Sousa pelo apoio, amor e incentivo durante minha formação acadêmica.

À Escola de Agronomia do Ceará - Universidade Federal do Ceará pela formação de uma sólida base acadêmica, sobre a qual desenvolvi meu doutoramento.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal e Pastagens pela oportunidade de realização do curso de Doutorado.

Ao Prof. Dr. Carlos Guilherme Silveira Pedreira pela orientação e ensinamentos durante meu doutoramento.

Ao Dr. Diego Noletto Luz Pequeno pela participação na banca de qualificação e pelas valiosas sugestões para a tese de doutorado.

Ao Dr. Cristiam Bosi pela ajuda, paciência e pelos ensinamentos durante o processo de modelagem do crescimento das plantas.

À Dra. Patricia Menezes Santos por integrar meu comitê de orientação, defesa do meu doutorado e por suas contribuições para melhoria do projeto de pesquisa e da tese de doutorado.

Ao Professor Dr. Bruno Carneiro e Pedreira pela composição da banca de defesa do doutorado e pelas sugestões para aprimoramento da tese.

Aos bolsistas do “Projeto *Arachis*” Rogério Furlan Júnior, Pedro Henrique Melem Cavalcanti, Gabriel de Camargo Botechia, Lucas Prado Gomes dos Santos pela ajuda, companheirismo e compromisso durante a execução do experimento.

Aos colaboradores Vitor Domarco Passini, Rafael Aguiar Azevedo e André Sader Garcia por realizarem seus trabalhos de conclusão de curso em conjunto com meu projeto de doutorado e pela imensa ajuda durante esse período.

Ao Professor Dr. Eduardo Francisquine Delgado pela supervisão no estágio do Programa de Aperfeiçoamento de Ensino, período de muitos aprendizados.

Ao Professor Dr. Sila Carneiro da Silva pelo empréstimo do analisador de dossel utilizado durante parte do experimento de campo.

Aos Professores Dra. Carla Maris Machado Bittar e Dr. Brunno da Silva Cerozi, coordenadores do PPG em Ciência Animal e Pastagens durante meu doutoramento, pela atenção e ajuda.

Aos amigos Fagner Junior Gomes e Solange Garcia Holschuch pela mentoria e ajuda durante meu doutoramento.

Aos colaboradores: Amanda Parisotto Rezende; Beatriz Bianchi; Camila Alves de Alcantara; Camila Mamprin Losano; Felipe Sousa Franco; Gabriela Pompei Silva; Julia Marrafon; João Vitor Grillo; Leonardo Bressan Lancellotti; Marcos Vinícius Gardenal Martins; Maria Eduarda Scorzoni; Maria Fernanda Nachbar Sanches; Milena Rodrigues Ravanini; Pedro Catão Guimarães; Pedro Vinicius Nogueira De Oliveira; Rigles Maia Coelho e Vinícius Grillo pela imensa ajuda nas atividades do projeto da tese.

Ao servidor do Departamento de Genética Francisco José Mandro pela prestatividade e comprometimento em viabilizar a condição necessária para realização do manejo da irrigação do projeto da tese.

Aos membros do Grupo de Pesquisa em Pastagens: Juliana Aparecida de Assis; Júnior Issamu Yasuoka; Otávio Goulart de Almeida; Patrícia Luizão Barbosa; Paulo César da Silva Santos pelo convívio e aprendizado durante meu doutoramento.

Aos orientadores e coorientadores de minha jornada acadêmica: Magno José Duarte Cândido; Roberto Cláudio Fernandes Franco Pompeu; Francisco das Chagas Vidal Neto; Márcio Cleber de Medeiros Corrêa; Maria Socorro de Souza Carneiro; Marcos Neves Lopes; Ismail Soares e Carlos Guilherme Silveira Pedreira.

Aos amigos Fabiano França e Lucas Nunes pelo companheirismo e pelos bons momentos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela concessão das bolsas de estudo.

## SUMÁRIO

RESUMO.....	9
ABSTRACT.....	10
LISTA DE FIGURAS.....	10
LISTA DE TABELAS.....	14
1. INTRODUÇÃO .....	17
1.1. Hipótese .....	20
1.2. Objetivos .....	20
Referências.....	21
Material suplementar.....	25
2. PARÂMETROS FISIOLÓGICOS E ACÚMULO DE FORRAGEM DE <i>Arachis pintoi</i> CV. BELMONTE E <i>Arachis glabrata</i> CV. FLORIGRAZE EM RESPOSTA A DUAS INTENSIDADES DE DESFOLHAÇÃO .....	27
Resumo.....	27
Abstract .....	28
2.1. Introdução .....	28
2.2. Material e Métodos .....	30
2.2.1. Local da pesquisa, tratamentos e design experimental .....	30
2.2.2. Variáveis resposta .....	32
2.2.2.1. Respostas fisiológicas .....	32
2.2.2.2. Modelagem da taxa de fotossíntese do dossel .....	33
2.2.2.3. Taxa de acúmulo de forragem.....	34
2.2.2.4. Índice de área foliar e área foliar específica .....	34
2.2.2.5. Análise estatística.....	35
2.3. Resultados .....	35
2.3.1. Respostas fisiológicas e taxa de acúmulo de forragem na época quente .....	35
2.3.2. Respostas fisiológicas e taxa de acúmulo de forragem na época fria .....	36
2.4. Discussão .....	37
2.5. Conclusões .....	39
Referências.....	40
Material suplementar.....	47

3. RESPOSTAS AGRONÔMICAS DE <i>Arachis pintoi</i> CV. BELMONTE E <i>Arachis glabrata</i> CV. FLORIGRAZE SOB DUAS INTENSIDADES DE DESFOLHAÇÃO .....	49
Resumo .....	49
Abstract.....	49
3.1. Introdução.....	50
3.2. Material e Métodos.....	51
3.2.1. Local da pesquisa, tratamentos e design experimental.....	51
3.2.2. Variáveis respostas .....	54
3.2.2.1. Acúmulo de forragem, proporção dos componentes morfológicos e de plantas daninhas do dossel.....	54
3.2.2.2. Interceptação de luz, altura do dossel e índice de área foliar .....	54
3.2.3. Análise estatística .....	55
3.3. Resultados.....	55
3.3.1. Acúmulo de forragem anual e sazonal .....	55
3.3.2. Respostas agronômicas na época quente.....	56
3.3.3. Respostas agronômicas na época fria .....	57
3.4. Discussão.....	58
3.5. Conclusões.....	61
Referências .....	61
Material suplementar .....	66
4. PARAMETRIZAÇÃO DO MODELO CROPGRO-PERENNIAL FORAGE PARA SIMULAÇÃO DO CRESCIMENTO DE <i>Arachis pintoi</i> CV. BELMONTE E <i>Arachis glabrata</i> CV. FLORIGRAZE.....	69
Resumo .....	69
Abstract.....	70
4.1. Introdução.....	70
4.2. Material e Métodos.....	73
4.2.1. Local da pesquisa, tratamentos e design experimental.....	73
4.2.2. Coleta dos dados de campo usados na calibração e validação do modelo .....	75
4.2.2.1. Quantificação da massa de forragem acima do resíduo .....	75
4.2.2.2. Quantificação da massa de forragem do resíduo .....	75
4.2.2.3. Quantificação da área foliar específica.....	76
4.2.2.4. Coleta de folíolos verdes e senescidos e determinação do teor de nitrogênio.....	77
4.2.2.5. Quantificação da massa de rizomas, raízes e sementes .....	77

4.2.3. Parametrização do modelo .....	78
4.2.4. Avaliação estatística do desempenho do modelo.....	79
4.3. Resultados .....	80
4.3.1. Simulações de massa de forragem e componentes morfológicos geradas pelo modelo CROPGRO-Perennial Forage para <i>Arachis pintoi</i> cv. Belmonte com maior intensidade de desfolhação.....	84
4.3.2. Simulações de massa de forragem e componentes morfológicos geradas pelo modelo CROPGRO-Perennial Forage para <i>Arachis pintoi</i> cv. Belmonte com menor intensidade de desfolhação.....	85
4.3.3. Simulações de massa de forragem e componentes morfológicos geradas pelo modelo CROPGRO-Perennial Forage para <i>Arachis glabrata</i> cv. Florigraze com maior intensidade de desfolhação.....	87
4.3.4. Simulações de massa de forragem e componentes morfológicos geradas pelo modelo CROPGRO-Perennial Forage para <i>Arachis glabrata</i> cv. Florigraze com menor intensidade de desfolhação.....	88
4.4. Discussão .....	89
4.5. Conclusões .....	92
Referências.....	93
Material suplementar.....	98
5 CONCLUSÕES GERAIS .....	109

## RESUMO

### **Respostas agronômicas e parametrização do modelo CROPGRO-Perennial Forage para simulação do crescimento de duas espécies de amendoim forrageiro sob duas intensidades de desfolhação**

Os genótipos de *Arachis perene* possuem alta produtividade, qualidade e persistência. Estudos que investiguem, comparativamente, as respostas fisiológicas e aspectos agronômicos do crescimento de forrageiras, sob condições controladas, podem ajudar na recomendação de novas leguminosas forrageiras. Nossos objetivos foram: avaliar as características fisiológicas e as respostas produtivas, e variações sazonais, do *Arachis pintoi* Krapov. W. C. & Greg cv. Belmonte (Belmonte), não rizomatoso, e *Arachis glabrata* Benth cv. Florigraze (Florigraze), rizomatoso, em resposta à duas intensidades de desfolhação representadas pela altura do resíduo (4 cm [maior intensidade] e 8 cm [menor intensidade]), em manejo sob corte. E com esses dados parametrizar o modelo CROPGRO-Perennial Forage para alfafa, para simular o crescimento e a produtividade desses cultivares. Para tanto, foi conduzido um experimento por dois anos (fevereiro de 2020 a março de 2022) na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/ESALQ/USP, em Piracicaba, São Paulo, Brasil. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, em arranjo de parcelas subdivididas, sendo as espécies alocadas na parcela e as alturas do resíduo na subparcela, com seis repetições. Belmonte teve maior taxa de fotossíntese do dossel que o Florigraze, nas duas épocas de rebrotação, assim como maior taxa de fotossíntese foliar (época quente [36 vs. 33  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ] e fria [34 vs. 25]) e maior condutância estomática (época quente [0,88 vs. 0,64  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ] e fria [0,91 vs. 0,64]). Por outro lado, Florigraze teve maior déficit de pressão de vapor foliar que o Belmonte (época quente [2,49 vs. 1,95 kPA] e fria [2,94 vs. 2,17 kPA]), assim como maior eficiência do uso da água na época fria (2,20 vs. 2,04  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$ ). Na época quente, as respostas fisiológicas das espécies não foram afetadas pela intensidade de desfolhação. O Belmonte teve maior acúmulo de forragem (AF) anual (11,1 vs. 7,2  $\text{Mg MS ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ), na época fria (1,3 vs. 0,7  $\text{Mg MS ha}^{-1}$ ) e na época quente (9,8 vs. 6,5) do que Florigraze. O Belmonte teve maior proporção de folíolos, índice de área foliar (IAF), área foliar específica (AFE) e menor proporção de plantas daninhas (PD) que o Florigraze, nas duas épocas de rebrotação. Na época quente, a menor intensidade de desfolhação apresentou maior altura do dossel pré-colheita, proporção de estolão, menor razão folíolo:estolão e AFE, todavia o AF não foi afetado pela intensidade de desfolhação. O modelo foi capaz de simular a massa de forragem (MF), massa de folíolo, massa de pecíolo + estolão, massa de coroa + semente (Belmonte), massa de rizoma (Florigraze) e massa de raiz, do Belmonte e Florigraze. A MF do Belmonte foi simulada com precisão e exatidão muito boas na maior ( $R^2 = 0,89$ ;  $d = 0,97$ ) e na menor intensidade de desfolhação ( $R^2 = 0,88$ ;  $d = 0,96$ ). A MF do Florigraze foi simulada com precisão e exatidão satisfatórias na maior intensidade de desfolhação ( $R^2 = 0,72$ ;  $d = 0,91$ ) e na menor ( $R^2 = 0,61$ ;  $d = 0,87$ ). O CROPGRO-PFM apresenta simulações satisfatórias da massa de forragem do Belmonte e Florigraze, podendo ser utilizado para o planejamento e tomadas de decisões.

Palavras-chave: Altura do resíduo, *Arachis glabrata*, *Arachis pintoi*, Manejo da colheita, Modelagem

**ABSTRACT****Agronomic responses and CROPGRO-PFM parameterization for growth simulation of two forage peanut species under two defoliation intensities**

Perennial *Arachis* genotypes have high productivity, quality and persistence. Studies comparatively investigating the physiological responses and agronomic aspects of forage growth under controlled conditions may help in recommending new forage legumes. Our objectives was: to evaluate physiological characteristics and production responses, as well as seasonal variations of *Arachis pintoi* Krapov. W. C. & Greg cv. Belmonte (Belmonte), non-rhizomatous, and *Arachis glabrata* Benth cv. Florigraze (Florigraze), rhizomatous, in response to two defoliation intensities represented by the residue height (4 cm [greater intensity] and 8 cm [lesser intensity]), under cutting management, and with these data, parameterize the CROPGRO-Perennial Forage alfalfa model, to simulate growth and yield of these cultivars. A two-year experiment was carried out (February 2020 to March 2022) at the Luiz de Queiroz College of Agriculture/ESALQ/USP, in Piracicaba, São Paulo, Brazil. The experimental design was completely randomized in split-plot arrangement, with the two *Arachis* species in the plot and the two residue heights in the subplot, in six replications. Belmonte had greater canopy photosynthesis rate than Florigraze in both regrowth seasons, as well as greater leaf photosynthesis rate (warm season [36 vs. 33  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ] and cold season [34 vs. 25]) and greater stomatal conductance (warm season [0.88 vs. 0.64  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ] and cold season [0.91 vs. 0.64]). On the other hand, Florigraze had greater leaf vapor pressure deficit than Belmonte (warm season [2.49 vs. 1.95 kPA] and cold season [2.94 vs. 2.17 kPA]), as well as greater water use efficiency in the cold season (2.20 vs. 2.04  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$ ). In the warm season, the physiological responses of the species were not affected by defoliation intensity. Belmonte had greater annual forage accumulation (FA) than Florigraze (11.1 vs. 7.2  $\text{Mg DM ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ ) in the cold season (1.3 vs. 0.7  $\text{Mg DM ha}^{-1}$ ) and in the warm season (9.8 vs. 6.5). Belmonte had greater leaflet proportion, leaf area index (LAI), specific leaf area (SLA) and lesser weed proportion (WP) than Florigraze in both regrowth seasons. In the warm season, the lesser defoliation intensity resulted in greater pre-harvest canopy height, greater stolon proportion, and lesser leaf:stolon ratio and SLA, however, LAI was not affected by the defoliation intensity. The model was able to simulate forage mass (FM), leaflet mass, petiole + stolon mass, crown + seed mass (Belmonte), rhizome mass (Florigraze) and root mass, of Belmonte and Florigraze. Forage mass of Belmonte was simulated with very good precision and accuracy at the highest defoliation intensity ( $R^2 = 0.89$ ;  $d = 0.97$ ) and lesser ( $R^2 = 0.88$ ;  $d = 0.96$ ). Florigraze FM was simulated with satisfactory accuracy and precision at the highest defoliation intensity ( $R^2 = 0.72$ ;  $d = 0.91$ ) and lowest defoliation intensity ( $R^2 = 0.61$ ;  $d = 0.87$ ). CROPGRO-PFM presents statistical simulations of the forage mass of Belmonte and Florigraze and can be used for planning and decision making.

Keywords: Stubble height, *Arachis glabrata*, *Arachis pintoi*, Harvest management, Modeling

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Flor (A), copa do dossel (B) e perfil do dossel (C) do *Arachis pintoi* cv. Belmonte. flor (D), copa do dossel (E) e perfil do dossel (F) do *Arachis glabrata* cv. Florigraze. .... 25
- Figura 2. Avaliação das respostas fotossintéticas em unidade experimental de *Arachis glabrata* cv. Florigraze (A). Medição dos parâmetros de trocas gasosas com medidor de fotossíntese portátil modelo LI-6400 (LI-COR, Lincoln, NE, EUA) em folíolo de *Arachis glabrata* cv. Florigraze presente no topo do dossel (B).. .... 47
- Figura 3. Corte das unidades experimentais realizado ao final dos ciclos de rebrotação (42° dia). .... 47
- Figura 4. Medição da altura do dossel pré-colheita (A) e altura do resíduo (B) em unidades experimentais de *Arachis pintoi* cv. Belmonte realizado ao final dos ciclos de rebrotação (42° dia). .... 48
- Figura 5. Altura do resíduo mensurada após o corte das unidades experimentais ao final de cada ciclo (42° dia) de rebrotação em *Arachis pintoi* cv. Belmonte (A) e *Arachis glabrata* cv. Florigraze (B). .... 48
- Figura 6. Medição da interceptação de luz pelo dossel com analisador de dossel modelo lai-2000 (LI-COR, Lincoln, Nebraska, EUA). Leitura de referência, acima do dossel (A) e leitura no inteiro do dossel, ao nível do solo (B). .... 66
- Figura 7. Coleta da massa de forragem acima da altura do resíduo (meta de manejo: 4 e 8 cm) usando moldura de 0,25 m<sup>2</sup> em unidade experimental de *Arachis pintoi* cv. Belmonte (A). Imagem de parte da massa de forragem pré e pós-corte dentro da moldura em unidade experimental de *Arachis glabrata* cv. Florigraze (B). .... 66
- Figura 8. Subamostra de *Arachis pintoi* cv. Florigraze após separação morfológica nos componentes: folíolo (A); pecíolo (B); estolão (C); alíquota de folíolo para obtenção da área foliar (D); material morto (E) e plantas daninhas (F). .... 67
- Figura 9. Folíolos de *Arachis glabrata* cv Florigraze (A) e *Arachis pintoi* cv Belmonte (B) dispostos em lâmina de acetato para leitura da área em integrador de área foliar (modelo LAI-3100; LI-COR Biosciences, Lincoln, NE, EUA). .... 67
- Figura 10. Massa de forragem estimada pelo modelo CROPGRO-Perennial Forage e observada a campo para o *Arachis pintoi* cv. Belmonte manejado com resíduo de 4 cm de altura (maior intensidade de desfolhação) em Piracicaba. .... 85
- Figura 11. Massa de forragem estimada pelo modelo CROPGRO-Perennial Forage e observada a campo para o *Arachis pintoi* cv. Belmonte manejado com resíduo de 8 cm de altura (maior intensidade de desfolhação) em Piracicaba. .... 86
- Figura 12. Massa de forragem estimada pelo modelo CROPGRO-Perennial Forage e observada a campo para o *Arachis glabrata* cv. Florigraze manejado com resíduo de 4 cm de altura (maior intensidade de desfolhação) em Piracicaba. .... 88

- Figura 13. Massa de forragem estimada pelo modelo CROPGRO-Perennial Forage e observada a campo para o *Arachis glabrata* cv. Florigraze manejado com resíduo de 8 cm de altura (maior intensidade de desfolhação) em Piracicaba..... 89
- Figura 14. Local amostrado com moldura de 0,04 m<sup>2</sup> utilizada para colher a massa de forragem do resíduo, alocada dentro da moldura de 0,25 m<sup>2</sup>, após colher a massa de forragem acumulada e antes de colher a massa de forragem do resíduo (A) e após colher a massa de forragem do resíduo (B). ..... 98
- Figura 15. Corte do bloco de solo contendo a amostra da massa de raiz e rizoma (A); retirada da amostra (B); lavagem da amostra para retirada do solo (C); massa de rizoma e raiz de *Arachis glabrata* cv Florigraze (D). ..... 99
- Figura 16. Massa seca de amostra de raiz principal (coroa) e secundária de *Arachis pintoi* cv Belmonte (A); massa seca rizoma de *Arachis glabrata* cv Florigraze (B). ..... 99
- Figura 17. Massa de folíolo estimada pelo modelo CROPGRO-Perennial Forage e observada a campo para o *Arachis pintoi* cv. Belmonte manejado com resíduo de 4 cm de altura (maior intensidade de desfolhação) em Piracicaba..... 100
- Figura 18. Massa de pecíolo + estolão estimada pelo modelo CROPGRO-Perennial Forage e observada a campo para o *Arachis pintoi* cv. Belmonte manejado com resíduo de 4 cm de altura (maior intensidade de desfolhação) em Piracicaba. .... 100
- Figura 19. Massa de coroa + semente estimada pelo modelo CROPGRO-Perennial Forage e observada a campo para o *Arachis pintoi* cv. Belmonte manejado com resíduo de 4 cm de altura (maior intensidade de desfolhação) em Piracicaba. .... 101
- Figura 20. Massa de raiz estimada pelo modelo CROPGRO-Perennial Forage e observada a campo para o *Arachis pintoi* cv. Belmonte manejado com resíduo de 4 cm de altura (maior intensidade de desfolhação) em Piracicaba. .... 101
- Figura 21. Massa de folíolo estimada pelo modelo CROPGRO-Perennial Forage e observada a campo para o *Arachis pintoi* cv. Belmonte manejado com resíduo de 8 cm de altura (maior intensidade de desfolhação) em Piracicaba. .... 102
- Figura 22. Massa de pecíolo + estolão estimada pelo modelo CROPGRO-Perennial Forage e observada a campo para o *Arachis pintoi* cv. Belmonte manejado com resíduo de 8 cm de altura (maior intensidade de desfolhação) em Piracicaba. .... 102
- Figura 23. Massa de coroa + semente estimada pelo modelo CROPGRO-Perennial Forage e observada a campo para o *Arachis pintoi* cv. Belmonte manejado com resíduo de 8 cm de altura (maior intensidade de desfolhação) em Piracicaba. .... 103
- Figura 24. Massa de raiz estimada pelo modelo CROPGRO-Perennial Forage e observada a campo para o *Arachis pintoi* cv. Belmonte manejado com resíduo de 8 cm de altura (maior intensidade de desfolhação) em Piracicaba. .... 103

- Figura 25. Massa de folíolo estimada pelo modelo CROPGRO-Perennial Forage e observada a campo para o *Arachis glabrata* cv. Florigraze manejado com resíduo de 4 cm de altura (maior intensidade de desfolhação) em Piracicaba..... 104
- Figura 26. Massa de pecíolo + estolão estimada pelo modelo CROPGRO-Perennial Forage e observada a campo para o *Arachis glabrata* cv. Florigraze manejado com resíduo de 4 cm de altura (maior intensidade de desfolhação) em Piracicaba. .... 104
- Figura 27. Massa de rizoma estimada pelo modelo CROPGRO-Perennial Forage e observada a campo para o *Arachis glabrata* cv. Florigraze manejado com resíduo de 4 cm de altura (maior intensidade de desfolhação) em Piracicaba..... 105
- Figura 28. Massa de raiz estimada pelo modelo CROPGRO-Perennial Forage e observada a campo para o *Arachis glabrata* cv. Florigraze manejado com resíduo de 4 cm de altura (maior intensidade de desfolhação) em Piracicaba. .... 105
- Figura 29. Massa de folíolo estimada pelo modelo CROPGRO-Perennial Forage e observada a campo para o *Arachis glabrata* cv. Florigraze manejado com resíduo de 8 cm de altura (maior intensidade de desfolhação) em Piracicaba..... 106
- Figura 30. Massa de pecíolo + estolão estimada pelo modelo CROPGRO-Perennial Forage e observada a campo para o *Arachis glabrata* cv. Florigraze manejado com resíduo de 8 cm de altura (maior intensidade de desfolhação) em Piracicaba. .... 106
- Figura 31. Massa de rizoma estimada pelo modelo CROPGRO-Perennial Forage e observada a campo para o *Arachis glabrata* cv. Florigraze manejado com resíduo de 8 cm de altura (maior intensidade de desfolhação) em Piracicaba..... 107
- Figura 32. Massa de raiz estimada pelo modelo CROPGRO-Perennial Forage e observada a campo para o *Arachis glabrata* cv. Florigraze manejado com resíduo de 8 cm de altura (maior intensidade de desfolhação) em Piracicaba. .... 107

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1. Dados meteorológicos mensais durante os três anos do período experimental e a média histórica em Piracicaba, São Paulo, Brasil.....30
- Tabela 2. Distribuição dos ciclos nas épocas frias e quentes de acordo com a temperatura máxima e mínima dos dois anos experimentais.....31
- Tabela 3. Taxa de fotossíntese do dossel (FD) das espécies *Arachis glabrata* cv. Florigraze (Florigraze) e *Arachis pintoi* cv. Belmonte (Belmonte) afetada pela interação espécie × intensidade de desfolhação (4 e 8 cm) durante época quente, em Piracicaba, SP, Brasil.....35
- Tabela 4. Área foliar específica (AFE), taxa de acúmulo de forragem (TA), taxa de fotossíntese foliar (A), taxa de acúmulo de folíolo (TAF), condutância estomática (gs) e déficit de pressão de vapor foliar (DPV) das espécies *Arachis glabrata* (Florigraze) e *Arachis pintoi* (Belmonte) afetado pela espécie durante a época quente, em Piracicaba, SP, Brasil.....36
- Tabela 5. Condutância estomática (gs), taxa de transpiração foliar (E), déficit de pressão de vapor foliar (DPV), eficiência do uso da água (EUA) das espécies *Arachis glabrata* cv. Florigraze (Florigraze) e *Arachis pintoi* cv. Belmonte (Belmonte) afetadas pela espécie durante a época fria, em Piracicaba, SP, Brasil. ....36
- Tabela 6. Área foliar específica (AFE), taxa de fotossíntese foliar (A), taxa de fotossíntese do dossel (FD) e taxa de acúmulo de folíolo (TAF) das espécies *Arachis glabrata* cv. Florigraze (Florigraze) e *Arachis pintoi* cv. Belmonte (Belmonte) afetadas pela espécie durante a época fria, em Piracicaba, SP, Brasil.....36
- Tabela 7. Taxa de transpiração foliar (E), taxa de fotossíntese foliar (A), taxa de fotossíntese do dossel (FD), taxa de acúmulo de folíolo (TAF), taxa de acúmulo de forragem (TA) das espécies *Arachis glabrata* cv. Florigraze e *Arachis pintoi* cv. Belmonte afetada pela intensidade de desfolhação durante e época fria, em Piracicaba, SP, Brasil. ....37
- Tabela 8. Dados meteorológicos mensais durante dois anos e a média histórica de Piracicaba, São Paulo, Brasil. ....52
- Tabela 9. Acúmulo de forragem anual e sazonal (época fria e quente) das espécies *Arachis glabrata* cv. Florigraze (Florigraze) e *Arachis pintoi* cv. Belmonte (Belmonte) afetado pela espécie em Piracicaba, SP, Brasil. ....55
- Tabela 10. Altura do dossel pré-colheita (altura), interceptação de luz pelo dossel (IL), índice de área foliar, área foliar específicas (AFE), densidade volumétrica de forragem (DVF), proporção de folíolo (folíolo), proporção de pecíolo (pecíolo), proporção de estolão (estolão), proporção de planta daninha (daninha) e razão folíolo:estolão (F:E) da forragem acumulada das espécies *Arachis glabrata* cv. Florigraze (Florigraze) e *Arachis pintoi* cv. Belmonte (Belmonte) afetadas pela espécie durante a época quente, em Piracicaba, SP, Brasil.....56
- Tabela 11. Altura do dossel pré-colheita (altura), área foliar específica (AFE), interceptação de luz pelo dossel (IL), densidade volumétrica da forragem (DVF), proporção de estolão (estolão) e razão folíolo:estolão (F:E) da forragem acumulada das espécies *Arachis glabrata*

cv. Florigraze (Florigraze) e *Arachis pintoi* cv. Belmonte (Belmonte) afetadas pela intensidade de desfolhação durante a época quente, em Piracicaba, SP, Brasil..... 56

Tabela 12. Altura do dossel pré-colheita (altura), razão folíolo:estolão (F:E), proporção de pecíolo (pecíolo), proporção de estolão (estolão) e índice de área foliar (IAF) de *Arachis glabrata* cv. Florigraze (Florigraze) e *Arachis pintoi* cv. Belmonte (Belmonte) afetado pela interação espécie × intensidade de desfolhação (4 e 8 cm) durante a época fria, em Piracicaba, SP, Brasil. .... 57

Tabela 13. Interceptação de luz pelo dossel (IL), área foliar específica (AFE), proporção de folíolo (folíolo) e proporção de plantas daninhas (daninhas) da acúmulo de forragem das espécies *Arachis glabrata* cv. Florigraze (Florigraze) e *Arachis pintoi* cv. Belmonte (Belmonte) afetadas pela espécie durante a época fria, em Piracicaba, SP, Brasil. .... 58

Tabela 14. Dados meteorológicos mensais durante dois anos e a média histórica de Piracicaba, São Paulo, Brasil. .... 74

Tabela 15. Nomes, definições, valores iniciais para alfafa (Malik et al. 2018) e valores calibrados dos parâmetros de composição da planta, fenologia e produtividade (fotossíntese e respiração) para as espécies *Arachis glabrata* cv. Florigraze (Florigraze) e *Arachis pintoi* cv. Belmonte (Belmonte). .... 81

Tabela 16. Nomes, definições, valores iniciais para alfafa (Malik et al. 2018) e valores calibrados (para as espécies *Arachis glabrata* cv. Florigraze [Florigraze] e *Arachis pintoi* cv. Belmonte [Belmonte]) dos parâmetros do modelo para o efeito da temperatura, da radiação solar e do fotoperíodo na partição vegetativa, área foliar específica e fotossíntese. .... 82

Tabela 17. Nomes, definições, valores iniciais para alfafa (Malik et al. 2018) e valores calibrados (para as espécies *Arachis glabrata* cv. Florigraze [Florigraze] e *Arachis pintoi* cv. Belmonte [Belmonte]) dos parâmetros do modelo para armazenamento e mobilização de carbono e nitrogênio. .... 83

Tabela 18. Nomes, definições, valores iniciais para alfafa (Malik et al. 2018) e valores calibrados (para as espécies *Arachis glabrata* cv. Florigraze [Florigraze] e *Arachis pintoi* cv. Belmonte [Belmonte]) dos parâmetros do modelo para senescência. .... 84

Tabela 19. Nomes, definições, valores iniciais para alfafa (Malik et al. 2018) e valores calibrados (para as espécies *Arachis glabrata* cv. Florigraze [Florigraze] e *Arachis pintoi* cv. Belmonte [Belmonte]) dos parâmetros do modelo para fixação de nitrogênio. .... 84

Tabela 20. Índices estatísticos para as simulações de massa de forragem, massa de folíolo, massa de pecíolo + estolão, massa de coroa + estolão, massa de coroa + semente e massa de raiz geradas pelo modelo CROPGRO-Perennial Forage para *Arachis pintoi* cv. Belmonte manejado com altura do resíduo de 4 cm.  $R^2$  = coeficiente de determinação,  $d$  = índice de concordância, RMSE = raiz quadrada do erro médio. .... 85

Tabela 21. Índices estatísticos para as simulações de massa de forragem, massa de folíolo, massa de pecíolo + estolão, massa de coroa + estolão, massa de coroa + semente e massa de raiz geradas pelo modelo CROPGRO-Perennial Forage para *Arachis pintoi* cv. Belmonte manejado com altura do resíduo de 8 cm.  $R^2$  = coeficiente de determinação, d = índice de concordância, RMSE = raiz quadrada do erro médio. ....86

Tabela 22. Índices estatísticos para as simulações de massa de forragem, massa de folíolo, massa de pecíolo + estolão, massa de rizoma e massa de raiz utilizados na validação do modelo CROPGRO-Perennial Forage para *Arachis glabrata* cv. Florigraze manejado com altura do resíduo de 4 cm.  $R^2$  = coeficiente de determinação, d = índice de concordância, RMSE = raiz quadrada do erro médio. ....87

Tabela 23. Índices estatísticos para as simulações de massa de forragem, massa de folíolo, massa de pecíolo + estolão, massa de rizoma e massa de raiz utilizados na validação do modelo CROPGRO-Perennial Forage para *Arachis glabrata* cv. Florigraze manejado com altura do resíduo de 8 cm.  $R^2$  = coeficiente de determinação, d = índice de concordância, RMSE = raiz quadrada do erro médio. ....89

## 1. INTRODUÇÃO

A domesticação e criação de ruminantes foi uma atividade importante ao longo do desenvolvimento das sociedades humanas, pois possibilitou a produção de alimentos com grande densidade nutricional e valor calórico, a partir de alimentos fibrosos, de pouco ou nenhum valor nutricional para o ser humano. Além de sua importância para segurança alimentar, a atividade pecuária tornou-se um importante segmento do mercado global, e pilar econômico de muitos países. As plantas forrageiras, por serem a base da dieta dos ruminantes, na maioria dos sistemas de produção, constituem um componente chave para o sucesso dos sistemas agropecuários.

A busca pela sustentabilidade econômica e ambiental nos sistemas de produção agropecuários tem aumentado o interesse no uso de leguminosas forrageiras, seja em consorciação com gramíneas ou monocultivo (Braz et al., 2013; Muir et al., 2011; Sollenberger et al., 2019). Por promoverem a fixação biológica do N (FBN) atmosférico, via processos simbiotes no sistema radicular o uso de leguminosas reduz ou dispensa a utilização de adubos nitrogenados (Lüscher et al., 2014). Além da redução de custos de produção, o aporte de N via FBN nos agroecossistemas evita a contaminação ambiental por nitrato, possível de ocorrer via adubação nitrogenada (Xu et al., 2019). A eficiência de utilização do N também é maior em relação à adubação convencional, pois com a FBN a liberação do N por meio de exsudados e decomposição radicular é gradativa, o que minimizam as perdas de N (Dubeux et al., 2017; Trannin et al., 2000).

O amendoim forrageiro (*Arachis* spp.) é uma leguminosa forrageira perene que tem despertado grande interesse de pesquisadores e pecuaristas em diversas regiões de clima tropical e subtropicais do globo. A esse gênero têm sido atribuídas características como alta produtividade, bom valor nutritivo, promoção da FBN e uma persistência muito superior quando comparada com outras leguminosas forrageiras. Existem diversas espécies de *Arachis* perenes com algumas delas tendo aptidões agronômicas para diferentes condições edafoclimáticas.

O *A. pintoii* é uma espécie de *Arachis* perene não rizomatoso, com hábito de crescimento estolonífero. Segundo Montenegro e Pinzon (1997), essa forrageira se adapta bem a regiões tropicais, entre 0 e 1.300 m de altitude, com precipitação pluvial anual bem distribuída, acima de 1.200 mm, ou em regiões com períodos secos inferiores a quatro meses. Embora tolere bem solos mal drenados, possui melhor desempenho em solos franco-arenosos. É tolerante a solos com baixa fertilidade e ácidos (pH  $\approx$  5,0) e até a presença de alumínio. O

*A. glabrata* é uma espécie de *Arachis* perene rizomatoso, com hábito de crescimento decumbente. É uma espécie muito tolerante a pragas, doenças e estresses causados por fatores abióticos, provavelmente devido a partição pronunciada de fotoassimilados para os rizomas, que lhe permite sobreviver a condições pedoclimáticas desfavoráveis e/ou proibitivas ao crescimento de outras leguminosas forrageiras.

Em 1991 a Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira no estado da Bahia (CEPLAC) lançou o *A. pintoii* cv. Belmonte (BRA 0311828), material com alto potencial agrônomo e valor forrageiro (Alonzo et al., 2017; Barbero et al., 2010; Bresolin et al., 2008a; Valentim et al., 2001). O Belmonte é adaptado e se desenvolve bem em diversas condições pedoclimáticas nos trópicos, além de apresentar flexibilidade de manejo da colheita, sendo bem adaptado tanto ao corte quanto ao pastejo (Carvalho et al., 2019; Fisher & Cruz, 1994).

O *A. glabrata* cv. Florigraze foi lançado em 1986 e tornou-se o cultivar mais utilizado no sul dos EUA (Prine, Dunavin, Glennon, et al., 1986). Como o *A. pintoii*, o *A. glabrata* é uma espécie forrageira perene, mas diferentemente do *A. pintoii*, possui muitos rizomas (seu nome vulgar em Inglês é "rhizoma peanut"), o que lhe confere grande tolerância ao período invernal ou déficit hídrico prolongados (Ocumpaugh, 1990; Prine et al., 2010). Semelhante ao *A. pintoii*, o *A. glabrata* também pode ser manejado sob corte ou pastejo (Alencar et al., 2019; Cathey et al., 2012; Ortega-S. et al., 1992; Shepard et al., 2018), o que faz dessas duas espécies recursos forrageiros promissores para diferentes tipos de sistemas tropicais de produção animal.

Analisando a literatura sobre leguminosas forrageiras do gênero *Arachis* spp., evidências observacionais indicam que os genótipos não rizomatosos foram mais amplamente estudados e difundidos nas regiões da América Central e do Sul, já os genótipos rizomatosos, na América do Norte, principalmente nos estados da Flórida e Geórgia – EUA (Prine et al., 1986; Saldivar et al., 1990; Venuto et al., 2008). Apesar da literatura existente, há carência de informações sobre os processos fotossintéticos e acúmulo de forragem em resposta ao manejo da desfolhação, do Belmonte e principalmente para o Florigraze manejado nas condições tropicais.

A escolha inadequada da espécie forrageira e/ou manejo errôneo estão entre os fatores resonsáveis pela degradação das pastagens (Dias-Filho, 2017). A escolha correta da planta forrageira e do manejo, requer o conhecimento prévio das características fisiológicas e respostas agrônômicas da forrageira ao manejo da colheita (Silva & Júnior, 2006). Informações sobre o uso do *A. glabrata* em regiões de clima tropical (particularmente no

Brasil) são escassas na literatura, incluindo sua adaptação pedoclimática e suas respostas ao manejo da desfolhação. Essas informações são fundamentais aos produtores para o planejamento dos sistemas de produção que usem essa espécie. Existe, portanto, necessidade de estudos investigando comparativamente os aspectos agronômicos do crescimento e as respostas morfofisiológicas e o desenvolvimento dessas duas leguminosas forrageiras do gênero *Arachis*.

O uso de modelos mecanísticos para simulação de respostas agronomicas de culturas tem se firmado como ferramenta para predição de produtividade. Os modelos idealmente são capazes de prever a produtividade e simular as respostas produtivas das culturas em função de variáveis edáficas e climáticas. Assim, a modelagem pode ser uma importante ferramenta de auxílio em programas de melhoramento genético e no manejo de culturas agrícolas e espécies forrageiras, além de fornecer subsídios para o manejo dos solos agrícolas (Boote et al., 1998).

O CROPGRO-Perennial Forage é um modelo mecanístico genérico escrito em linguagem de programação FORTRAN capaz de simular a produção de culturas a partir de características da espécie, atributos de cultivares, práticas agronômicas, clima, e solo (Boote et al., 2002). O CROPGRO foi um modelo desenvolvido com o propósito de ser adaptável para simulação de diferentes culturas, surgindo a partir da integração dos modelos SOYGRO, PNUTGRO, e BEANGRO. Esta estrutura possibilitou a modelagem de novas espécies ou cultivares a partir da inserção de novos parâmetros (Boote et al., 1998). O modelo CROPGRO já foi utilizado para estimar a produtividade de diferentes espécies, dentre essas a soja [*Glycine max* (L.) Merr.], amendoim (*Arachis hypogaea* L.), feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) (Scholberg et al., 1997) e a fava (*Vicia faba* L.) (Boote et al., 1998, 2002).

Em 1990 o CROPGRO foi adaptado para simular o crescimento do amendoim (*Arachis hypogaea* L.) e do capim Pensacola (*Paspalum notatum* Flügge), num sistema de rotação de culturas (Kelly, 1995). Posteriormente, os arquivos utilizados nas simulações parametrizadas foram lançados como modelo de pastagens no DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer), versão 3.5 (Icasa, 1998). Esta versão foi utilizada para simular a produção de feno de *P. notatum*, mas verificou-se superestimava da produção de forragem nos meses mais frios. Assim, constatou-se a necessidade de se realizar adaptações no modelo para representações mais realistas dos padrões sazonais de crescimento. Para isso foram incluídas funções para a simulação de órgãos de armazenamento de reservas orgânicas

e dos padrões de rebrotação para *P. notatum* (Rymph et al., 2004). Com isso, esse modelo para pastagens perenes passou a ser chamado CROPGRO-Perennial Forage.

A modelagem de gramíneas forrageiras foi aprimorada no modelo CROPGRO-Perennial Forage. Foram realizadas adaptações nesse modelo para diversas forrageiras de grande expressão: o capim Tifton 85 (*Cynodon* spp. cv. Tifton 85) (Pequeno et al., 2018), capim Xaraés (*Urochloa brizantha* cv. Xaraés) (Pedreira et al., 2011), capim Tanzânia (*Megathyrus maximus* cv. Tanzânia) (Brunetti et al., 2021; Lara et al., 2012), capim Marandu (*Urochloa brizantha* cv. Marandu) (Pequeno, Pedreira, Boote, et al., 2014; Santos et al., 2019), capim Mulato II (*Urochloa hybrid* cv. Mulato II) (Pequeno et al., 2018), capim Piatã (Bosi et al., 2020). Tratando-se de leguminosas forrageiras o modelo CROPGRO-Perennial Forage foi adaptado para simular a rebrotação da alfafa (*Medicago sativa* L.) (Jing et al., 2020; Malik et al., 2018). Até o momento, os avanços na modelagem de leguminosas forrageiras foram modestos e faltam estudos que visem a construção de bancos de dados adequados para modelar o crescimento de leguminosas forrageiras. A parametrização de modelos com dados de genótipos forrageiros manejados sob condições controladas possibilita a estimativa da produtividade de forma mais fidedigna, além de um melhor entendimento dos efeitos de fatores ambientais sobre o crescimento dessas.

### **1.1. Hipótese**

(1) Florigraze é uma opção para sistemas de produção intensiva de forragem manejada sob corte com menor intensidade de desfolhação manejados nos trópicos úmidos, por ser uma forrageira produtiva e perene; (2) as respostas fisiológicas e agronômicas entre o Florigraze e Belmonte são distintas e são afetadas pela intensidade de desfolhação e possuem variação sazonal; (3) o modelo CROPGRO-Perennial Forage adaptado para Alfafa (*Medicago sativa* L.) pode ser utilizado para simular o crescimento durante as estações do ano e com diferentes manejos de colheita do *Arachis pintoi* cv. Belmonte e do *Arachis glabrata* cv. Florigraze.

### **1.2. Objetivos**

Avaliar comparativamente as respostas fisiológicas e agronômicas do *A. pintoi* cv. Belmonte e do *A. glabrata* cv. Florigraze em resposta a duas intensidades de desfolhação (4 e

8 cm de altura de resíduo); e, utilizando esses dados, parametrizar o modelo CROPGRO-Perennial Forage para estimar a massa de forragem desses cultivares.

## Referências

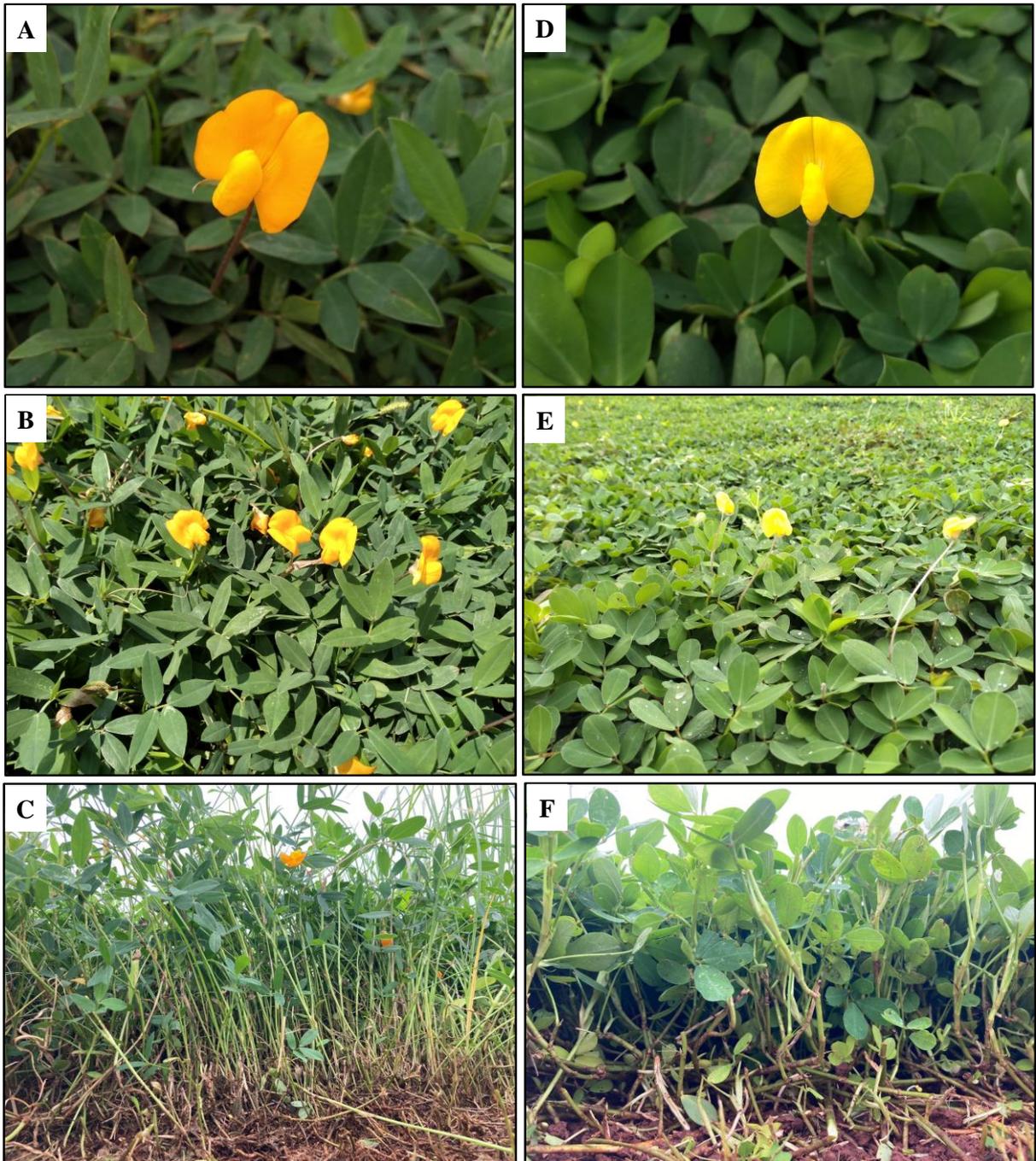
- Alencar, N. M., Vendramini, J. M. B., Dubeux, J. C. B., Santos, A. C. S., Sanchez, J. M. D., Silva, H. M., Silveira, M. L., Sousa, L. F., & Neiva, J. N. M. (2019). Impact of Leaf and Stem Proportions on Dry Matter and Crude Protein In Situ Disappearance of Rhizoma Peanut Genotypes. *Crop Science*, 59(4), 1815–1821. <https://doi.org/10.2135/CROPSCI2019.02.0114>
- Alonzo, L. A. G., Ferreira, O. G. L., Vaz, R. Z., Costa, O. A. D., Motta, J. F., & Brondani, W. C. (2017). Amendoim forrageiro manejado com baixos resíduos de pastejo por ovinos. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 69(1), 173–180. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-9157>
- Barbero, L. M., Cecato, U., Lugão, S. M. B., Gomes, J. A. N., Limão, V. A., Abrahão, J. J. S., & Roma, C. F. C. (2010). Produção animal e valor nutritivo da forragem de pastagem de coastcross consorciada com amendoim forrageiro. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 62(3), 645–653. <https://doi.org/10.1590/S0102-09352010000300021>
- Boote, K. J., Jones, J. W., & Hoogenboom, G. (1998). Simulation of Crop Growth: CROPGRO Model. Em Robert M., W. Peart, & S. David (Orgs.), *Agricultural Systems modeling and Simulation* (1st Edition, p. 651–692). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781482269765-18>
- Boote, K. J., Mínguez, M. I., & Sau, F. (2002). Adapting the CROPGRO Legume Model to Simulate Growth of Faba Bean. *Agronomy Journal*, 94(4), 743–756. <https://doi.org/10.2134/AGRONJ2002.7430>
- Bosi, C., Sentelhas, P. C., Pezzopane, J. R. M., & Santos, P. M. (2020). CROPGRO-Perennial Forage model parameterization for simulating Piatã palisade grass growth in monoculture and in a silvopastoral system. *Agricultural Systems*, 177, 102724. <https://doi.org/10.1016/J.AGSY.2019.102724>
- Braz, S. P., Urquiaga, S., Alves, B. J. R., Jantalia, C. P., Guimarães, A. Paula., Santos, C. A. dos, Santos, S. C. dos, Pinheiro, É. F. M., & Boddey, R. M. (2013). Soil Carbon Stocks under Productive and Degraded Brachiaria Pastures in the Brazilian Cerrado. *Soil Science Society of America Journal*, 77(3), 914–928. <https://doi.org/10.2136/SSSAJ2012.0269>
- Bresolin, A. P. S., Castro, C. M., Herter, F. G., de Oliveira, A. C., de Carvalho, F. I. F., Pereira, F. B., Vieira, C. L., & Bertoli, R. F. (2008). Tolerância ao frio do amendoim forrageiro. *Ciência Rural*, 38(4), 1154–1157. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782008000400041>

- Brunetti, H. B., Boote, K. J., Santos, P. M., Pezzopane, J. R. M., Pedreira, C. G. S., Lara, M. A. S., Moreno, L. S. B., & Hoogenboom, G. (2021). Improving the CROPGRO Perennial Forage Model for simulating growth and biomass partitioning of guineagrass. *Agronomy Journal*, *113*(4), 3299–3314. <https://doi.org/10.1002/AGJ2.20766>
- Carvalho, L. R., Pereira, L. E. T., Hungria, M., Camargo, P. B., & da Silva, S. C. (2019). Nodulation and biological nitrogen fixation (BNF) in forage peanut (*Arachis pintoi*) cv. Belmonte subjected to grazing regimes. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *278*, 96–106. <https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2019.02.016>
- Cathey, S. E., Sinclair, T. R., & Mackowiak, C. L. (2012). Nitrogen Limitation of Rhizoma Peanut Growth. *Journal of Plant Nutrition*, *36*(2), 311–328. <https://doi.org/10.1080/01904167.2012.739250>
- Dias-Filho, M. B. (2017). *Degradação de pastagens* (Embrapa Amazônia Oriental, Org.; 21. ed.). 2017.
- Dubeux, J. C. B., Blount, A. R. S., Mackowiak, C., Santos, E. R. S., Pereira Neto, J. D., Riveros, U., Garcia, L., Jaramillo, D. M., & Ruiz-Moreno, M. (2017). Biological N<sub>2</sub> Fixation, Belowground Responses, and Forage Potential of Rhizoma Peanut Cultivars. *Crop Science*, *57*(2), 1027–1038. <https://doi.org/10.2135/CROPSCI2016.09.0810>
- Fisher, M. J., & Cruz, P. (1994). Some ecophysiological aspects of *Arachis pintoi*. Em P.C. Kerridge & B. Hardy (Orgs.), *Biology and Agronomy of forages Arachis*. CIAT (p. 53–70).
- Jing, Q., Qian, B., Bélanger, G., VanderZaag, A., Jégo, G., Smith, W., Grant, B., Shang, J., Liu, J., He, W., Boote, K., & Hoogenboom, G. (2020). Simulating alfalfa regrowth and biomass in eastern Canada using the CSM-CROPGRO-perennial forage model. *European Journal of Agronomy*, *113*, 125971. <https://doi.org/10.1016/J.EJA.2019.125971>
- Kelly, T. C. (1995). *A bioeconomic systems approach to sustainability analysis at the farm level* [Thesis]. University of Florida.
- Lara, M. A. S., Pedreira, C. G. S., Boote, K. J., Pedreira, B. C., Moreno, L. S. B., & Alderman, P. D. (2012). Predicting Growth of *Panicum maximum*: An Adaptation of the CROPGRO–Perennial Forage Model. *Agronomy Journal*, *104*(3), 600–611. <https://doi.org/10.2134/AGRONJ2011.0272>
- Lüscher, A., Mueller-Harvey, I., Soussana, J. F., Rees, R. M., & Peyraud, J. L. (2014). Potential of legume-based grassland–livestock systems in Europe: a review. *Grass and Forage Science*, *69*(2), 206–228. <https://doi.org/10.1111/GFS.12124>
- Malik, W., Boote, K. J., Hoogenboom, G., Cavero, J., & Dechmi, F. (2018). Adapting the CROPGRO Model to Simulate Alfalfa Growth and Yield. *Agronomy Journal*, *110*(5), 1777–1790. <https://doi.org/10.2134/AGRONJ2017.12.0680>
- Muir, J. P., Pitman, W. D., & Foster, J. L. (2011). Sustainable, low-input, warm-season, grass–legume grassland mixtures: mission (nearly) impossible? *Grass and Forage Science*, *66*(3), 301–315. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2494.2011.00806.X>

- Ocuppaugh, W. R. (1990). Production and Nutritive Value of Florigraze Rhizoma Peanut in a Semiarid Climate. *Agronomy Journal*, 82(2), 179–182. <https://doi.org/10.2134/AGRONJ1990.00021962008200020002X>
- Ortega-S., J. A., Sollenberger, L. E., Bennett, J. M., & Cornell, J. A. (1992). Rhizome Characteristics and Canopy Light Interception of Grazed Rhizoma Peanut Pastures. *Agronomy Journal*, 84(5), 804–809. <https://doi.org/10.2134/AGRONJ1992.00021962008400050009X>
- Pequeno, D. N. L., Pedreira, C. G. S., Boote, K. J., Alderman, P. D., & Faria, A. F. G. (2018). Species-genotypic parameters of the CROPGRO Perennial Forage Model: Implications for comparison of three tropical pasture grasses. *Grass and Forage Science*, 73(2), 440–455. <https://doi.org/10.1111/GFS.12329>
- Pequeno, D. N. L., Pedreira, C. G. S., Boote, K. J., Pequeno, D. N. L., Pedreira, C. G. S., & Boote, K. J. (2014). Simulating forage production of Marandu palisade grass (*Brachiaria brizantha*) with the CROPGRO-Perennial Forage model. *Crop and Pasture Science*, 65(12), 1335–1348. <https://doi.org/10.1071/CP14058>
- Prine, G. M., Dunavin, L. S., Glennon, R. J., & Roush, R. D. (1986). “Arbrook” rhizoma peanut, a perennial forage legume. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US8718583>
- Prine, G. M., French, E. C., Blount, A. R., Williams, M. J., & Quesenberry, K. H. (2010). Registration of Arblick and Ecoturf Rhizoma Peanut Germplasms for Ornamental or Forage Use. *Journal of Plant Registrations*, 4(2), 145–148. <https://doi.org/10.3198/JPR2009.07.0392CRG>
- Rymph, S. J., Boote, K. J., Irmak, A., & Mislevy, P. (2004). Adapting the CROPGRO model to predict growth and composition of tropical grasses: developing physiological parameters. *Soil and Crop Science Society of Florida Proceedings*, 63, 37–51.
- Santos, M. G., Boote, K. J., Faria, R. T., Hoogenboom, G., Santos, M. G., Boote, K. J., Faria, R. T., & Hoogenboom, G. (2019). Simulation of productivity and soil moisture under Marandu palisade grass using the CSM-CROPGRO-Perennial Forage model. *Crop and Pasture Science*, 70(2), 159–168. <https://doi.org/10.1071/CP18258>
- Scholberg, J. M. S., Boote, K. J., Jones, J. W., & McNeal, B. L. (1997). Adaptation of the CROPGRO model to simulate the growth of field-grown tomato. Em *undefined*. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-0754-1\\_9](https://doi.org/10.1007/978-94-017-0754-1_9)
- Shepard, E. M., Sollenberger, L. E., Kohmann, M. M., da Silva, L. S., Dubeux, J. C. B., & Vendramini, J. M. B. (2018). Phenotypic Plasticity and Other Forage Responses to Grazing Management of Ecoturf Rhizoma Peanut. *Crop Science*, 58(5), 2164–2173. <https://doi.org/10.2135/CROPSCI2018.03.0150>
- Silva, S. C., & Júnior, D. do N. (2006). Sistema Intensivo de Produção de Pastagens. II *Congresso Latino-Americano de Nutrição Animal*.

- Sollenberger, L. E., Kohmann, M. M., Dubeux, J. C. B., & Silveira, M. L. (2019). Grassland Management Affects Delivery of Regulating and Supporting Ecosystem Services. *Crop Science*, 59(2), 441–459. <https://doi.org/10.2135/CROPSCI2018.09.0594>
- Trannin, W. S., Urquiaga, S., Guerra, G., Ibibijen, J., & Cadisch, G. (2000). Interspecies competition and N transfer in a tropical grass-legume mixture. *Biology and Fertility of Soils* 2000 32:6, 32(6), 441–448. <https://doi.org/10.1007/S003740000271>
- Valentim, Judson. Ferreira., Carneiro, Jailton. da Costa., & Sales, Maykel. Franklin. Lima. (2001). *Amendoim forrageiro cv. Belmonte: leguminosa para a diversificação das pastagens e conservação do solo no Acre*. (Nº 43; Circular Técnica).
- Xu, R., Tian, H., Pan, S., Prior, S. A., Feng, Y., Batchelor, W. D., Chen, J., & Yang, J. (2019). Global ammonia emissions from synthetic nitrogen fertilizer applications in agricultural systems: Empirical and process-based estimates and uncertainty. *Global Change Biology*, 25(1), 314–326. <https://doi.org/10.1111/GCB.14499>

## Material suplementar



**Figura 1.** Flor (A), copa do dossel (B) e perfil do dossel (C) do *Arachis glabrata* cv. Florigraze. Flor (D), copa do dossel (E) e perfil do dossel (F) do *Arachis pintoi* cv. Belmonte.



## 2. PARÂMETROS FISIOLÓGICOS E ACÚMULO DE FORRAGEM DE *Arachis pintoi* CV. BELMONTE E *Arachis glabrata* CV. FLORIGRAZE EM RESPOSTA À DUAS INTENSIDADES DE DESFOLHAÇÃO

### Resumo

Compreender as características fisiológicas e as respostas produtivas de espécies de *Arachis perene* ao manejo da colheita, em estudos comparativos, pode ajudar na recomendação de novos genótipos forrageiros. Nossos objetivos foram: descrever e explicar os parâmetros fisiológicos, o acúmulo de forragem (AF) e variações sazonais, do *Arachis pintoi* Krapov. W. C. & Greg cv. Belmonte (Belmonte), não rizomatosa, e *Arachis glabrata* Benth cv. Florigraze (Florigraze), rizomatosa, em resposta à duas intensidades de desfolhação, representadas pela altura do resíduo (4 cm [maior intensidade] e 8 cm [menor intensidade]). Parcelas irrigadas e manejadas sob corte, foram arranjadas usando um delineamento inteiramente casualizado, em esquema de parcela subdividida, onde as espécies foram alocadas nas parcelas e as intensidades de desfolhação, nas subparcelas, com seis repetições em Piracicaba, São Paulo, Brasil. Belmonte teve maior taxa de fotossíntese do dossel (FD) que o Florigraze, nas duas épocas de rebrotação, assim como maior taxa de fotossíntese foliar (A) (época quente [36 vs. 33  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ] e fria [34 vs. 25  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ]) e maior condutância estomática (época quente [0,88 vs. 0,64  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ] e fria [0,91 vs. 0,64  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ]). Por outro lado, Florigraze teve maior déficit de pressão de vapor foliar que o Belmonte (época quente [2,49 vs. 1,95 kPA] e fria [2,94 vs. 2,17 kPA]), assim como maior eficiência do uso da água na época fria (2,20 vs. 2,04  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$ ). Belmonte teve maior FD que o Florigraze, nas duas intensidades de desfolhação e épocas de rebrotação. Na época quente, Belmonte teve maior taxa de acúmulo de forragem (TA; 53,19 vs. 35,00  $\text{kg MS ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ) que o Florigraze. Belmonte teve maior taxa de acúmulo de fólolo (TAF) que o Florigraze, na época quente (TAF: 36,64 vs. 23,47  $\text{kg MS ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ) e fria (TAF; 8,69 vs. 5,82  $\text{kg MS ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ). Na época quente, os parâmetros fisiológicos não foram afetados pela intensidade de desfolhação. Na época fria, a A e FD foram maiores, na menor intensidade de desfolhação, porém a TAF e TA foram maiores na menor intensidade de desfolhação. O Belmonte possui respostas fotossintéticas que permitem melhor aproveitamento dos fatores abióticos do que o Florigraze. Por outro lado, as respostas fisiológicas do Florigraze são mais conservadoras e o tornam mais eficiente no uso da água. As características fisiológicas e a menor TA do Florigraze, indicaram que esse, não é uma opção tão boa quanto o Belmonte para produção de forragem sob corte, em sistemas tropicais manejados intensivamente com irrigação.

Palavras-chave: Fotossíntese do dossel, Assimilação de carbono, Amendoim forrageiro perene

## Abstract

Understanding the physiological characteristics and productive responses of perennial *Arachis* species to harvest management in comparative studies may aid in the recommendation of new forage genotypes. Our objectives was to describe and explain the physiological parameters, forage accumulation (FA) and their seasonal variations of *Arachis pintoii* Krapov. W. C. & Greg cv. Belmonte (Belmonte), non-rhizomatous, and *Arachis glabrata* Benth cv. Florigraze (Florigraze), rhizomatous, in response to two defoliation intensities, represented by the residue height (4 cm [greater intensity] and 8 cm [lesser intensity]). Irrigated plots, and managed under cutting, were arranged in a completely randomized design, arranged in a split-plot scheme, where species were allocated in the plots and defoliation intensities in the subplots, in six replications, in Piracicaba, São Paulo, Brazil. Belmonte had greater canopy photosynthesis rate than Florigraze in both regrowth seasons, as well as higher leaf photosynthesis rate ( $A$ ) (warm season [36 vs. 33  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ] and cold season [34 vs. 25  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ]), and greater stomatal conductance (warm season [0.88 vs. 0.64  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ] and cold season [0.91 vs. 0.64  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ]). On the other hand, Florigraze had greater leaf vapor pressure deficit than Belmonte (warm season [2.49 vs. 1.95 kPA] and cold season [2.94 vs. 2.17 kPA]), as well as greater water use efficiency in the cold season (2.20 vs. 2.04  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$ ). Belmonte had greater canopy photosynthesis rate (PR) than Florigraze, in both defoliation intensities and regrowth seasons. In the warm season, Belmonte had greater forage accumulation rate (AR; 53.19 vs. 35.00  $\text{kg DM ha}^{-1} \text{ day}^{-1}$ ) than Florigraze. Belmonte had greater leaflet accumulation rate (LAR) than Florigraze in the warm (LAR: 36.64 vs. 23.47  $\text{kg DM ha}^{-1} \text{ day}^{-1}$ ) and cold season (LAR; 8.69 vs. 5.82  $\text{kg DM ha}^{-1} \text{ day}^{-1}$ ). In the warm season, physiological parameters were not affected by the defoliation intensity. In the cold season,  $A$  and PR were greater at the lesser defoliation intensity, but LAR and AR were greater at the lesser defoliation intensity. Belmonte has photosynthetic responses that allow better utilization of abiotic factors than Florigraze. On the other hand, the physiological responses of Florigraze are more conservative and make it more efficient in water use. The physiological characteristics and lesser AR of Florigraze indicate that Florigraze is not as good an option as Belmonte for forage production under cutting in tropical systems intensively managed with irrigation.

Keywords: Canopy photosynthesis, Carbon assimilation, Perennial forage peanut

## 2.1. Introdução

O aporte de N por meio da fixação biológica e a melhoria nas características químicas, físicas e biológicas do solo promovidas pelas leguminosas (Santos et al., 2020), tem incentivado a inclusão dessas nos agroecossistemas (Hassen et al., 2017; Schultze-Kraft et al., 2018). O ciclo perene das forrageiras do gênero *Arachis* spp., associado ao porte herbáceo são

características que as destacam entre as leguminosas forrageiras tropicais, que em sua maioria, são anuais ou semiperenes. O *A. pintoii* cv. Belmonte e o *A. glabrata* cv. Florigraze são forrageiras de alta produtividade (Quesenberry et al., 2010; Simeão et al., 2016), qualidade (Fernades et al., 2017; Vasco et al., 2021b), possuem versatilidade no manejo da colheita e persistência (Carvalho et al., 2020; Costa et al., 2020).

O Belmonte é um cultivar de crescimento estolonífero e sem rizomas, cultivado nas regiões tropicais por adaptar-se à diferentes condições edafoclimáticas (Fernandes et al., 2017; Lessa De Assis et al., 2008). O Florigraze é um cultivar de crescimento decumbente e rizomatoso, amplamente cultivado no sudeste dos Estados Unidos, recomendado por tolerar o período invernal e rebrotar com vigor no verão agrostológico subsequente e pela alta resistência a pragas e doenças (Prine et al., 1986; Rice et al., 1996). Embora o Florigraze seja uma forrageira em potencial para sistemas tropicais baseados em pastagens colhidas mecanicamente, há ainda carência de informações sobre suas respostas fisiológicas e agronômicas e recomendações de manejo para essas regiões.

O acúmulo de forragem é determinado pela interação das características fisiológicas genotípicas (Taiz et al., 2017), índice de área foliar (Yasuoka et al., 2018), disponibilidade e eficiência no uso dos fatores abióticos (Cooper & Wilson, 1970; Pedreira & Pedreira, 2007) e pelas estratégias de desfolhação (Cacho, 1993; Matches, 1992). A intensidade de desfolhação afeta a massa de forragem do resíduo, que associada ao hábito de crescimento da forrageira, determinam o ambiente luminoso do dossel, que afeta as características morfoanatômicas e respostas fotossintéticas das folhas em formação (Coupe et al., 2006; Lake et al., 2001; Yano & Terashima, 2001, 2004).

O estudo contrastando as respostas fisiológicas e o efeito da intensidade de desfolhação, pode contribuir para melhorar a compreensão das respostas agronômicas e do efeito de diferentes estratégias de desfolhação sobre o desempenho de diferentes forrageiras. Apesar do Belmonte e Florigraze estarem entre as principais leguminosas forrageiras cultivadas nos agroecossistemas globais, não há registros na literatura de estudos comparando as respostas fisiológicas do Belmonte e do Florigraze sob condições tropicais.

Diante do exposto, objetivamos com esse estudo descrever e comparar as respostas fisiológicas e produtivas do cv. Florigraze com um cultivar já recomendado para os trópicos úmidos (Belmonte), manejados sob duas intensidades de desfolhação (baseada na altura do resíduo: 4 e 8 cm), nas épocas quente e fria durante dois anos experimentais em condições tropicais.

## 2.2. Material e Métodos

### 2.2.1. Local da pesquisa, tratamentos e design experimental

O experimento foi realizado em Piracicaba, estado de São Paulo, Brasil (22°42'19" S, 47°38'28" W, 516 m alt) na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo (ESALQ - USP). O clima do local é do tipo Cwa (mesotérmico úmido subtropical de inverno seco) segundo a classificação de Köppen-Geiser (Peel et al., 2007). O solo da área experimental é classificado como Nitossolo Vermelho Eutroférico típico (Santos et al., 2018) de alta fertilidade, ou Kandiudalfic Eutrudox (SOIL SURVEY STAFF, 1990). Os dados meteorológicos do período experimental foram registrados em estação meteorológica localizado a 2 km da área experimental (Tabela 1).

**Tabela 1.** Dados meteorológicos mensais durante os três anos do período experimental e a média histórica em Piracicaba, São Paulo, Brasil.

Variáveis meteorológicas	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
	-----2020-----											
Temperatura máx. (°C)	31	29	30	29	27	27	28	28	33	33	31	30
Temperatura mín. (°C)	20	20	18	15	10	14	12	12	16	18	17	20
Chuva (mm)	180	399	72	3	13	70	7,6	54	13	28	180	135
Irrigação (mm)	-	-	47	101	109	61	109	84	146	145	81	37
	-----2021-----											
Temperatura máx. (°C)	32	31	32	28	27	26	26	29	33	29	31	30
Temperatura mín. (°C)	21	19	19	15	12	12	8	13	16	17	17	18
Chuva (mm)	172	94	143	30	23	13	23	12	4	132	146	141
Irrigação (mm)	98	95	113	188	112	81	92	119	129	66	96	74
	-----2022-----											
Temperatura máx. (°C)	30	31	32	30	26	25	29	27	27	30	30	30
Temperatura mín. (°C)	20	19	20	17	12	12	12	12	14	17	16	19
Chuva (mm)	405	132	125	22	46	14	1	28	88	110	66	209
Irrigação (mm)	8	94	59	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-----Média histórica <sup>a</sup> -----											
Temperatura máx. (°C)	30	30	30	28	26	25	25	27	28	30	30	30
Temperatura mín. (°C)	19	20	18	16	12	11	10	11	14	16	17	18
Chuva (mm)	228	180	141	66	54	44	28	30	61	109	136	197

<sup>a</sup>Média histórica de 1917 a 2021.

As espécies de leguminosas estudadas, *A. glabrata* cv. Florigraze, rizomatosa, e *A. pintoi* cv. Belmonte, não rizomatosa, foram estabelecidas vegetativamente em março de 2011, em parcelas de 4 por 4,5 m. Os estolões de Belmonte e rizomas de Florigraze utilizados para estabelecer as unidades experimentais foram obtidos na Embrapa Acre. Os corredores entre as parcelas tinham 1 m de largura e foram mantidos limpos por meio de roçada mecânica e aplicação de herbicida durante o período experimental. O delineamento experimental foi

inteiramente casualizado em esquema de parcelas subdivididas. As duas espécies de leguminosas foram alocadas nas parcelas e as duas intensidades de desfolhação (aplicada como alturas de resíduo de 4 [mais intensa] e 8 cm [menos intensa]) foram alocadas nas subparcelas.

Em 14 de fevereiro de 2020, as subparcelas foram cortadas mecanicamente acima da altura do resíduo (4 e 8 cm). O primeiro ciclo de rebrotação (14 de fevereiro a 27 de março de 2020) foi desconsiderado, pois o padrão de resposta desse foi distinto dos demais ciclos avaliados. Os dados experimentais foram coletados de 27 de março de 2020 a 11 de março de 2022. Cada ano experimental foi dividido em época quente e fria usando como critério o valor médio das temperaturas mínimas e máximas diárias (Tabela 2) e os padrões de respostas das plantas. Na época fria, foram alocados os ciclos de rebrota cujas temperaturas médias mínima e máxima corresponderam à  $\leq 15$  °C e  $\leq 30$  °C, respectivamente: de março a setembro de 2020 e de maio a setembro de 2021. Na época quente, foram alocados os ciclos de rebrotação cuja temperatura média mínima corresponderam à  $\geq 15$  °C e média máxima  $\geq 30$  °C: de outubro de 2020 a abril de 2021 e de outubro de 2021 a março de 2022. Dados foram coletados durante dois anos, de março de 2020 a março de 2021 (Ano 1) e de abril de 2021 a março de 2022 (Ano 2).

**Tabela 2.** Distribuição dos ciclos nas épocas frias e quentes de acordo com a temperatura máxima e mínima dos dois anos experimentais.

	Época fria			Época quente		
	Ciclo	T. Mín. (°C)	T. Máx. (°C)	Ciclo	T. Mín. (°C)	T. Máx. (°C)
Ano 1 (2020 - 2021)	2	14,5	28,7	6	17,3	32,8
	3	11,9	27,1	7	17,0	31,2
	4	11,7	27,8	8	19,7	30,8
	5	13,8	29,2	9	19,9	31,5
		10		18,6		30,9
	Média	12,97 ± 1,4	28,2 ± 0,9	Média	18,5 ± 1,3	31,4 ± 0,8
Ano 2 (2021 - 2022)	11	13,8	27,9	14	15,5	32,4
	12	11,2	25,9	15	16,5	29,9
	13	8,8	26,4	16	17,4	30,8
				17	19,0	30,4
				18	19,7	31,5
	Média	11,26 ± 2,5	26,7 ± 1,0	Média	17,62 ± 1,7	31,0 ± 0,9

Amostras de solo (0 - 20 cm de profundidade) foram coletadas nos quatro tratamentos, em 8 de janeiro de 2020 (Ano 1) e 2 de agosto de 2021 (Ano 2) para análise da fertilidade e recomendação de adução conforme as exigências nutricionais das forrageiras (Quaggio et al., 2022; Rao & Kerridge, 1994). No ano 1, as características químicas do solo (0-20 cm) foram: P = 51 mg dm<sup>-3</sup> (resina); matéria orgânica = 30 g dm<sup>-3</sup>; pH

(0,01 mol L<sup>-1</sup> CaCl<sub>2</sub>) = 5; K = 3 mmolc dm<sup>-3</sup>; Ca = 37 mmolc dm<sup>-3</sup>; Mg = 12 mmolc dm<sup>-3</sup>; H + Al = 34 mmolc dm<sup>-3</sup>; soma de bases = 50 mmolc dm<sup>-3</sup>; capacidade de troca catiônica = 85 mmolc dm<sup>-3</sup>; e saturação por bases = 60%. As proporções de argila, silte e areia foram 431, 202 e 367 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. No Ano 1 não foi necessário adubar o experimento. No ano 2, as características químicas do solo (0-20 cm) foram: P = 48mg dm<sup>-3</sup> (método de extração de resina de troca iônica); matéria orgânica = 33 g dm<sup>-3</sup>; pH (0,01 mol L<sup>-1</sup> CaCl<sub>2</sub>) = 5; K = 1,3 mmolc dm<sup>-3</sup>; Ca = 66 mmolc dm<sup>-3</sup>; Mg = 16 mmolc dm<sup>-3</sup>; H + Al = 47 mmolc dm<sup>-3</sup>; soma de bases = 83 mmolc dm<sup>-3</sup>; capacidade de troca catiônica = 130 mmolc dm<sup>-3</sup>; e saturação por bases = 64%. No ano 2, foi observado necessidades de potássio e fósforo distintas entre os tratamentos. Para não incluir uma fonte de variação no experimento, a dose de cada adubo foi padronizada, tomando como base a maior demanda por nutriente. Assim, em 02/10/2021 as unidades experimentais foram adubadas com doses equivalentes a 1 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico, 1 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso agrícola, 167 kg ha<sup>-1</sup> (30 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) de superfosfato simples e 84 kg ha<sup>-1</sup> (50 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O) de cloreto de potássio.

Como a época fria no local é caracterizada por temperaturas amenas e porque as leguminosas forrageiras podem ser comercializadas como feno de alta qualidade e usadas para suplementar animais com altas exigências de nutrientes, as parcelas foram irrigadas usando um sistema de irrigação automática por aspersão. Tensiômetros instalados a 20 cm de profundidade foram usados para monitorar o estado de umidade do solo. A área foi irrigada (lâmina de irrigação: 7 a 14 mm) sempre que a tensão de água no solo atinja 30 kPa (Tabela 1).

## 2.2.2. Variáveis resposta

### 2.2.2.1. Respostas fisiológicas

Os parâmetros de trocas gasosas foram medidos em um dos folíolos da folha mais jovem, completamente formada, presente no topo do dossel. Foram avaliados dois folíolos por subparcela. Foram mensurados os parâmetros: taxa de fotossíntese foliar ( $A$ ,  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), condutância estomática ( $g_s$ ,  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), taxa de transpiração foliar ( $E$ ,  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) e déficit de pressão de vapor foliar (DPV) com um medidor de fotossíntese portátil modelo LI-6400 (LI-COR, Lincoln, NE, EUA) (Figura 2). As avaliações foram realizadas no final de cada ciclo de rebrotação (aos 42 dias) no intervalo entre 9 h e 12 h. A eficiência do uso da água ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ ) foi calculada pela razão  $A:E$ . A

intensidade de luz e concentração de CO<sub>2</sub> (mantida constante por meio de um cilindro de CO<sub>2</sub> acoplado) utilizadas na câmara foliar foram de 2000 µmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> e 400 µmol mol m<sup>-1</sup>, respectivamente.

### 2.2.2.2. Modelagem da taxa de fotossíntese do dossel

A taxa de fotossíntese do dossel foi calculada utilizando o modelo de “folhas de sol e de sombra” proposto por Boote & Jones (1987), o qual considera o coeficiente de extinção de luz (k), reflexão e a transmissão de luz através do dossel. O índice de área foliar (IAF) de sol foi calculado por meio do IAF total e do k (Eq. 1), e o IAF da sombra foi obtido pela subtração do IAF do sol, do IAF total (Eq. 2).

$$IAF_{sol} = (1/k) (1 - \exp(-k \times IAF_{total})) \quad (1)$$

$$IAF_{sombra} = IAF_{total} - IAF_{sol} \quad (2)$$

A assimilação de C de folhas de sol foi calculada usando uma curva de resposta exponencial negativa, onde a assíntota correspondeu à fotossíntese máxima das folhas, a inclinação inicial representa a eficiência de utilização da luz e a variável de entrada foi a irradiância fotossinteticamente ativa absorvida (RFA):  $(k(1 - \sigma)RAF)$ , conforme a Eq. 3:

$$F_{sol} = F_{max}(1 - \exp(-Q_e \times k(1 - \sigma)RFA/F_{max})) \quad (3)$$

onde  $RFA_{max}$  é a fotossíntese máxima de folhas individuais ( $\mu\text{g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ),  $Q_e$  é a eficiência de utilização de luz ( $\mu\text{g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} : \text{J m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), e  $\sigma$  é o coeficiente de reflexão e transmissão. A RFA é medida como fótons  $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . A RFA incidente para a fotossíntese de folhas sombreadas, que considera o mesmo k e a mesma eficiência no uso da luz refletida e transmitida por todas as folhas sombreadas, é determinado na Eq. 4:

$$RFA_{sombra} = \sigma \times RAF(1 - \exp(-k \times IAF_{sombra}))/IAF_{sombra} \quad (4)$$

onde  $RFA_{sombra}$  é a RFA para folhas sombreadas. Assim, a assimilação de C pelas folhas sombreadas é calculada de maneira análoga à das folhas de sol, conforme a Eq. 5:

$$RAF_{sombra} = F_{max}(1 - \exp(-Q_e \times RFA_{sombra}/F_{max})) \quad (5)$$

onde  $F_{sombra}$  é a assimilação de C pelas folhas sombreadas. A assimilação total do dossel foi dada pelo somatório de ambas as categorias de folhas segundo a Eq. 6:

$$F_{dossel} = F_{sol} \times IAF_{sol} + F_{sombra} \times IAF_{sombra} \quad (6)$$

onde  $F_{dossel}$  é a assimilação total de C pelo dossel.

Foi assumido um valor de 23,6% para o coeficiente de reflexão e transmissão de luz (s) dentro do dossel (Leitão & Gertrudes, 2000). O coeficiente de extinção da luz (k) foi calculado como:  $k = -(\log_e(I/I_0))/IAF$  (Boote & Jones, 1987), onde I e I<sub>0</sub> correspondem a

valores de irradiância abaixo e acima da folhagem, respectivamente. Para a eficiência de utilização de luz ( $Q_e$ ) foi utilizado o valor de  $0,0524 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , conforme proposto por (Boote & Jones, 1987).

### **2.2.2.3. Taxa de ac\u00famulo de forragem**

No final de cada ciclo de rebrota\u00e7\u00e3o (42 dias) foram colhidas duas amostras, por subparcela, da forragem acumulada acima das metas de alturas de res\u00edduo (4 e 8 cm), usando molduras de  $0,25 \text{ m}^2$  (Figura 7). As amostras foram acondicionadas em isopor com gelo, levadas ao laborat\u00f3rio, pesadas e depois foi retirada uma subamostra (~ 30% de cada). As subamostras foram separadas em fol\u00edolo, pec\u00edolo, estol\u00e3o, material morto e plantas daninhas, que posteriormente foram secas em estufa de ventila\u00e7\u00e3o for\u00e7ada a  $60 \text{ }^\circ\text{C}$ , at\u00e9 atingir peso constante e depois foram pesadas para calcular a concentra\u00e7\u00e3o de mat\u00e9ria seca (MS). A taxa de ac\u00famulo de forragem (TA) foi calculada pela divis\u00e3o da massa de forragem acumulada no ciclo pelo n\u00famero de dias de rebrota\u00e7\u00e3o do respectivo ciclo, a taxa de ac\u00famulo de fol\u00edolos (TAF) foi calculada de modo an\u00e1logo sendo utilizado a MS de fol\u00edolos como denominador da raz\u00e3o. As TA e TAF anual foram obtidas a partir da m\u00e9dia de todos os ciclos de rebrota\u00e7\u00e3o de cada ano. Ap\u00f3s a colheita de todas as amostras, cada subparcela foi ro\u00e7ada acima da respectiva altura meta de manejo (4 e 8 cm). A taxa de ac\u00famulo de forragem sazonal e taxa de ac\u00famulo de fol\u00edolo sazonal foram obtidas a partir da m\u00e9dia de todos os ciclos ocorridos dentro de cada \u00e9poca (quente e fria) de rebrota\u00e7\u00e3o.

### **2.2.2.4. \u00cdndice de \u00e1rea foliar e \u00e1rea foliar espec\u00edfica**

A \u00e1rea foliar espec\u00edfica e o \u00cdndice de \u00e1rea foliar (IAF) foram quantificados em todos os ciclos de rebrota\u00e7\u00e3o, nas subamostras utilizadas para quantificar a propor\u00e7\u00e3o de fol\u00edolos, e usadas para estimativa da TAF. Ap\u00f3s a separa\u00e7\u00e3o das subamostras, uma al\u00edquota representativa de fol\u00edolos verdes foram escaneados em integrador de \u00e1rea foliar modelo LI-3100 (Li-Cor, Lincoln, Nebraska, EUA) para obten\u00e7\u00e3o da \u00e1rea foliar (Figura 9), depois esses fol\u00edolos foram colocados em estufa de ventila\u00e7\u00e3o for\u00e7ada a  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  at\u00e9 atingir peso constante e posteriormente pesados. A rela\u00e7\u00e3o \u00e1rea foliar e peso de fol\u00edolos foi utilizada para calcular a \u00e1rea foliar espec\u00edfica, e na sequ\u00eancia para calcular o IAF, que foram usados no modelo da fotoss\u00edntese do dossel.

### 2.2.2.5. Análise estatística

Os dados foram analisados usando o PROC MIXED do SAS® (SAS Institute, 2013) usando espécie, intensidade de desfolhação e suas interações como efeitos fixos, dentro das épocas quente e fria. O ano foi considerado um efeito aleatório (Littell et al., 2006). A matriz de covariância foi escolhida usando o Critério de Informação de Akaike (Wolfinger, 1993). As médias dos tratamentos foram estimadas usando “LSMEANS” e a comparação entre elas foi feita pela probabilidade da diferença (“PDIFF”), usando o teste t de Student ( $P < 0,05$ ).

## 2.3. Resultados

### 2.3.1. Respostas fisiológicas e taxa de acúmulo de forragem na época quente

A taxa de fotossíntese do dossel (FD) foi afetada pela interação espécie  $\times$  intensidade de desfolhação ( $P = 0,0011$ ). O Florigraze apresentou maior FD quando manejado na menor intensidade de desfolhação (8 cm de altura do resíduo). O Belmonte apresentou maior FD quando manejado com maior intensidade de desfolhação (4 cm de altura do resíduo). O Belmonte apresentou maior FD que o Florigraze em ambas as intensidades de desfolhação estudadas (Tabela 3).

**Tabela 3.** Taxa de fotossíntese do dossel (FD) das espécies *Arachis glabrata* cv. Florigraze (Florigraze) e *Arachis pintoi* cv. Belmonte (Belmonte) afetada pela interação espécie  $\times$  intensidade de desfolhação (4 e 8 cm) durante época quente, em Piracicaba, SP, Brasil.

Intensidade de desfolhação (cm)	Florigraze	Belmonte	<i>P</i> -valor	EPM
	----- FD ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) -----			
4	30,78	45,97	<0,0001	1,05
8	35,50	42,10	0,0002	
<i>P</i> -valor	0,0049	0,0172		
EPM	1,05			

<sup>‡</sup>EPM: erro padrão da média.

A área foliar específica (AFE), taxa de acúmulo de forragem (TA), taxa de fotossíntese foliar (A), taxa de acúmulo de folíolo (TAF), condutância estomática (gs) e déficit de pressão de vapor foliar (DPV) foram afetados pela espécie (Tabela 4). O Belmonte apresentou maior AFE, A, gs, TAF e TA. O Florigraze apresentou maior DPV (Tabela 4). A área foliar específica também foi afetada pela altura do resíduo ( $P = 0,0001$ ), com valores de 243,16 e 228,77  $\text{cm g}^{-1}$  nos resíduos de 4 e 8 cm de altura, respectivamente. A *E* e a EUA não foram afetadas pela espécie ( $P = 0,7014$  e  $P = 0,5621$ , respectivamente) e pela intensidade de

desfolhação ( $P = 0,1776$  e  $P = 0,6327$ , respectivamente). A  $E$  apresentou valores médios de  $15,10 \pm 4,80$  e  $2,52 \pm 0,53$   $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , respectivamente.

**Tabela 4.** Área foliar específica (AFE), taxa de acúmulo de forragem (TA), taxa de fotossíntese foliar (A), taxa de acúmulo de folíolo (TAF), condutância estomática (gs) e déficit de pressão de vapor foliar (DPV) das espécies *Arachis glabrata* (Florigraze) e *Arachis pintoi* (Belmonte) afetado pela espécie durante a época quente, em Piracicaba, SP, Brasil.

Espécie	AFE	A	gs	DPV	TA	TAF
	$\text{cm g}^{-1}$	$\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$	$\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$	kPa	--- $\text{kg ha}^{-1} \text{dia}^{-1}$ ---	
Florigraze	204,98	33,13	0,64	2,49	35,00	23,47
Belmonte	266,95	36,60	0,88	1,95	53,19	36,64
<i>P</i> -valor	<0,0001	0,0012	0,0349	<0,0001	0,0018	0,0021
EPM <sup>‡</sup>	3,31	5,56	0,09	0,48	7,11	4,40

<sup>‡</sup>EPM: erro padrão da média.

### 2.3.2. Respostas fisiológicas e taxa de acúmulo de forragem na época fria

A taxa de transpiração foliar ( $E$ ), gs, DPV e eficiência do uso da água (EUA) foram afetadas pela espécie (Tabela 5). O Belmonte apresentou maior gs e  $E$ . Em contrapartida, o Florigraze apresentou maior DPV e EUA (Tabela 5). A área foliar específica,  $A$ , FD e TAF foram afetadas pela espécie (Tabela 6). O Belmonte apresentou maiores valores de AFE,  $A$ , FD e TAF comparado ao Florigraze (Tabela 6).

**Tabela 5.** Condutância estomática (gs), taxa de transpiração foliar ( $E$ ), déficit de pressão de vapor foliar (DPV), eficiência do uso da água (EUA) das espécies *Arachis glabrata* cv. Florigraze (Florigraze) e *Arachis pintoi* cv. Belmonte (Belmonte) afetadas pela espécie durante a época fria, em Piracicaba, SP, Brasil.

Espécie	gs	$E$	DPV	EUA
	$\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$	$\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$	kPa	$\mu\text{mol CO}_2 \text{mol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$
Florigraze	0,64	11,25	2,94	2,20
Belmonte	0,91	16,90	2,17	2,04
<i>P</i> -valor	0,0012	<0,0001	<0,0001	0,0468
EPM <sup>‡</sup>	0,05	0,50	0,03	0,05

<sup>‡</sup>EPM: erro padrão da média.

**Tabela 6.** Área foliar específica (AFE), taxa de fotossíntese foliar ( $A$ ), taxa de fotossíntese do dossel (FD) e taxa de acúmulo de folíolo (TAF) das espécies *Arachis glabrata* cv. Florigraze (Florigraze) e *Arachis pintoi* cv. Belmonte (Belmonte) afetadas pela espécie durante a época fria, em Piracicaba, SP, Brasil.

Espécie	AFE	$A$	FD	TAF
	$\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$	--- $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ---		$\text{kg ha}^{-1} \text{dia}^{-1}$
Florigraze	193,77	25,59	28,23	5,82
Belmonte	226,68	34,74	35,87	8,69
<i>P</i> -valor	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0441
EPM <sup>‡</sup>	17,56	0,78	4,67	0,97

<sup>‡</sup>EPM: erro padrão da média.

A taxa de transpiração foliar, *A*, FD, TAF e TA foram afetadas pela intensidade de desfolhação (Tabela 7). O manejo com menor intensidade de desfolhação apresentou maior *E*, *A* e FD. Já a maior intensidade de desfolhação apresentou maior TAF e TA (Tabela 7).

**Tabela 7.** Taxa de transpiração foliar (*E*), taxa de fotossíntese foliar (*A*), taxa de fotossíntese do dossel (FD), taxa de acúmulo de fólíolo (TAF), taxa de acúmulo de forragem (TA) das espécies *Arachis glabrata* cv. Florigraze e *Arachis pintoi* cv. Belmonte afetada pela intensidade de desfolhação durante e época fria, em Piracicaba, SP, Brasil.

Intensidade de desfolhação (cm)	<i>E</i> mmol H <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	<i>A</i> --- μmol CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ---	FD	TAF --- kg ha <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> ---	TA
4	13,25	27,74	29,52	10,05	11,97
8	14,90	32,59	34,58	4,45	5,19
<i>P</i> -valor	0,0324	0,0003	0,0017	0,0002	0,0003
EPM <sup>‡</sup>	0,50	0,78	4,67	0,97	1,20

<sup>‡</sup>EPM: erro padrão da média.

## 2.4. Discussão

As maiores TAF e TA do Belmonte comparada ao Florigraze estão relacionadas às diferenças nas características morfoanatômicas foliares e respostas fisiológicas intrínsecas aos genótipos (Fisher & Cruz, 1994; Nautiyal et al., 2002; Vinson et al., 2018). A maior AFE do Belmonte representa maior área fotossintetizante por unidade de carbono investido em tecido foliar, permitindo melhor utilização da radiação solar interceptada (Tabela 4 e 6) (Ballaré & Pierik, 2017). Gobbi et al. (2011) relataram que maiores valores de AFE no *A. pintoi* cv. Amarelo estavam associados à maior proporção de parênquima lacunoso no mesofilo foliar. Essa característica está fortemente associada à maior difusão de CO<sub>2</sub>, dispersão de radiação solar no mesofilo foliar (Lambers & Poorter, 1992; Ward & Woolhouse, 1986) e maior eficiência na utilização de radiação difusa (Healey et al., 1998; Vogelmann, 1993). Assim, o Belmonte foi mais eficiente na utilização da radiação solar e CO<sub>2</sub> absorvido, o que também resultou em maior *A*, FD e, em última instância, em maior TA (Tabela 3, 4 e 6).

A maior gs do Belmonte comparado com Florigraze pode estar relacionada a diferenças interespecíficas na densidade e morfologia estomática (Veiga et al., 1992, 1994). Essa resposta associada à maior AFE, menor DPV (Tabela 4 e 6) com os fólíolos anfiestomáticos do Belmonte (Jáuregui & Zerpa-Zerpa, 2017), configuram uma camada limítrofe menos resistente à difusão de vapor de água e gás carbônico (Grant, 1987; Steudle, 1989), resultando na maior *E* e menor EUA do Belmonte na época fria (Tabela 4). Porém, na época quente, a *E* e EUA foram semelhantes entre os cultivares (*P* > 0,05), possivelmente pela melhoria na etapa fotoquímica da fotossíntese, devido às maiores temperaturas (Taiz et

al., 2017). Assim, na época quente, o Belmonte foi mais eficiente quanto ao uso da água, pois apresentou maior  $A$ ,  $FD$ ,  $TA$  e  $TAF$  (Tabela 4), para os mesmos valores de  $E$  e  $EUA$  que o Florigraze.

O maior  $DPV$  e menor  $E$  do Florigraze (Tabela 4 e 5) é resultado da camada cerosa epicuticular presente em seus folíolos (Samdur et al., 2003), que resulta em maior resistência à transpiração foliar e maior reflexão da luz incidente, permitindo o arrefecimento foliar com menor transpiração (Kramer & Boyer, 1995). A menor  $AFE$  do Florigraze (Tabela 4 e 6) possibilita maior concentração interna de  $CO_2$  (Nautiyal et al., 2002), o que pode conferir maior eficiência de carboxilação (Bowes et al., 1972; Nageswara Rao et al., 1995). Assim, a menor  $gs$  do Florigraze comparado ao Belmonte está associada à sua  $AFE$  e  $DPV$  (Tabela 4, 5 e 6) (Nautiyal et al., 2008; Wright et al., 1993), pois a abertura estomática é regulada pelo  $DPV$  atmosférico e concentração de  $CO_2$  no mesofilo foliar (Taiz et al., 2017; Terashima et al., 2001).

A associação dessas respostas previamente relatadas permite ao Florigraze a manutenção de valores de  $gs$  e transpiração foliar, razoavelmente baixos (Nautiyal et al., 2008; Wright et al., 1993), explicando a maior  $EUA$  em comparação ao Belmonte na época fria (Tabela 5). Embora as respostas fotossintéticas conservadoras do Florigraze estejam negativamente relacionadas a  $TA$ , essas mesmas características podem ser interessantes em regiões com baixa disponibilidade hídrica (Ballaré, 1999; Grady et al., 2013), já que, de modo geral, a taxa de difusão de vapor de água é 1,6 vezes maior do que a de gás carbônico (Hetherington & Woodward, 2003).

A maior  $FD$  do Belmonte comparado com o Florigraze em ambas as épocas está associada à maior  $A$  (Tabela 2 e 3) e índice de área foliar do Belmonte (dados não apresentados). O efeito da interação espécie  $\times$  intensidade de desfolhação na  $FD$  (Tabela 2) pode estar relacionada à diferença no hábito de crescimento dos cultivares. O crescimento estolonífero do Belmonte possibilitou maiores valores de índice de área foliar residual e massa de forragem do resíduo comparado ao Florigraze, que possui crescimento decumbente (dados não apresentados). Isso associado à maior intensidade de desfolhação pode ter afetado, de forma diferente, o pool de reservas orgânicas entre os cultivares, resultando em maior  $FD$  no Belmonte e Florigraze na maior e menor intensidade de desfolhação, respectivamente (Johnson et al., 1994; Saldivar et al., 1990). Esses resultados indicam que o Belmonte é mais tolerante à desfolhação intensa que o Florigraze (Dávila et al., 2011; Subbarao et al., 2010).

As diferenças genotípicas na  $TAF$  e respostas fisiológicas entre os cultivares podem auxiliar na recomendação de cultivo do Belmonte e Florigraze em ambientes distintos

(Silveira et al. 2010). O Belmonte investe grande parte dos fotoassimilados para produção de folíolos (Brunetti et al., 2016; Kröning et al., 2019; Silva et al., 2010; Silva et al., 2017), o que resultou em maior TAF em ambas as épocas. O Belmonte faz melhor uso dos fatores abióticos, tornando-o mais recomendado para sistemas intensivos de produção de forragem nos trópicos. Por outro lado, as respostas fotossintéticas conservadoras do Florigraze (menor TAF associado ao menor A, FD e gs e maior DPV e EUA), sugere que este cultivar é mais recomendado para sistemas de produção com menor disponibilidade hídrica (Poorter & Garnier, 2007; Westoby, 1998).

As maiores A, E e FD nos dosséis manejados com menor intensidade de desfolhação durante a época fria (Tabela 7), pode decorrer do processo de segmentação das plantas em unidades clonais autónomas menores (Carvalho et al., 2020; Chen et al., 2015; Thomas & Hay, 2004). Este aumenta a eficiência na captação de recursos bióticos e melhora os processos fisiológicos (Birch & Hutchings, 1999). Por outro lado, a maior intensidade de desfolhação pode ter modificado o ambiente luminoso na base do dossel, causada pela grande remoção da parte aérea, o que provavelmente aumentou o desenvolvimento de gemas basais, reduzindo a necessidade de segmentação.

Durante a época fria, a maior TAF no resíduo de 4 cm de altura, provavelmente ocorreu em resposta à maior intensidade de desfolhação visando a recuperação da área foliar (Alonzo et al., 2017; Costa et al., 2020; Grant et al., 1981), o que possibilitou maior TA nesse manejo (Tabela 7). Apesar da maior intensidade de desfolhação apresentar maior TAF e TA na época fria, a menor A, FD e E nesse manejo (Tabela 7), podem ser indicadores de baixa persistência dos cultivares a longo prazo em situações de baixa disponibilidade de fatores abióticos, podendo comprometer também o processo de FBN (Carvalho et al., 2019). Logo, esse manejo na época fria deve ser evitado, pois pode comprometer a assimilação de carbono e o armazenamento de fotoassimilados nos órgãos de reserva, sendo este um dos processos responsáveis pela produtividade e perenidade dessas forrageiras (Kendall et al., 1994; Saldivar et al., 1992).

## 2.5. Conclusões

As respostas fotossintéticas do Belmonte e Florigraze no presente estudo sugerem funcionalidades distintas para esses cultivares de *Arachis perene*. O Belmonte possui respostas fotossintéticas que o tornam mais hábil na utilização dos fatores abióticos, tornando esse cultivar mais recomendado para produção intensiva de forragem em sistemas com baixa

restrição de fatores abióticos. Por outro lado, o Florigraze possui características fisiológicas que o tornam uma opção para produção de forragem em sistemas tropicais com disponibilidade hídrica irregular. Belmonte apresentou maior taxa de fotossíntese do dossel manejado com maior intensidade de desfolhação, contrariamente ao Florigraze que apresentou maior taxa de fotossíntese do dossel manejado com menor intensidade de desfolhação. Na época fria, Belmonte e Florigraze devem ser manejados com menor intensidade de desfolhação para manutenção de maiores taxas fotossintéticas.

## Referências

- Ballaré, C. L. (1999). Keeping up with the neighbours: phytochrome sensing and other signalling mechanisms. *Trends in Plant Science*, 4(3), 97–102. [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(99\)01383-7](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(99)01383-7)
- Ballaré, C. L., & Pierik, R. (2017). The shade-avoidance syndrome: multiple signals and ecological consequences. *Plant, Cell & Environment*, 40(11), 2530–2543. <https://doi.org/10.1111/PCE.12914>
- Birch, C. P. D., & Hutchings, M. J. (1999). Clonal segmentation – The development of physiological independence within stolons of *Glechoma hederacea* L. (Lamiaceae). *Plant Ecology* 1999 141:1, 141(1), 21–31. <https://doi.org/10.1023/A:1009810731100>
- Boote, K. J., & Jones, J. W. (1987). Equations to define canopy photosynthesis from quantum efficiency, maximum leaf rate, light extinction, leaf area index, and photon flux density. In J. Biggens (Ed.), *Progress in Photosynthesis Research: Vol. IV* (pp. 415–418). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-0519-6\\_85](https://doi.org/10.1007/978-94-017-0519-6_85)
- Bowes, G., Ogren, W. L., & Hageman, R. H. (1972). Light Saturation, Photosynthesis Rate, RuDP Carboxylase Activity, and Specific Leaf Weight in Soybeans Grown Under Different Light Intensities I. *Crop Science*, 12(1), 77–79. <https://doi.org/10.2135/CROPSCI1972.0011183X001200010025X>
- Brunetti, H. B., Carvalho, L. da R., Chiavegato, M. B., Silva, S. C. (2016). Sward structure, light interception and herbage accumulation in forage peanut cv. Belmonte subjected to strategies of intermittent grazing management. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 38(4), 395–404. <https://doi.org/10.4025/ACTASCIANIMSCI.V38I4.32207>
- Cacho, O. J. (1993). A practical equation for pasture growth under grazing. *Grass and Forage Science*, 48(4), 387–394. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2494.1993.TB01873.X>
- Carvalho, L. R., Pereira, L. E. T., Silva, S. C. (2020). Rotational grazing management of forage peanut. *Experimental Agriculture*, 56(4), 495–505. <https://doi.org/10.1017/S0014479720000113>

- Carvalho, L. R., Pereira, L. E. T., Hungria, M., Camargo, P. B., Silva, S. C. (2019). Nodulation and biological nitrogen fixation (BNF) in forage peanut (*Arachis pintoi*) cv. Belmonte subjected to grazing regimes. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 278, 96–106. <https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2019.02.016>
- Cooper, J. P., Wilson, D. (1970). Variation in photosynthetic rate in *Lolium*. *International Grassland Congress. Proceedings*, 522–527. <https://doi.org/10.3/JQUERY-UIJS>
- Costa, O. A. D., Ferreira, O. G. L., Henrique, D. S., Vaz, R. Z., Fluck, A. C., Paris, W., Kröning, A. B., Griffith, L. A. A., & Matos, O. I. T. (2020). Morphophysiology of forage peanut submitted to different intensities of defoliation on grazing with sheep. *Tropical Animal Health and Production*, 52(2), 547–554. <https://doi.org/10.1007/S11250-019-02041-7/TABLES/5>
- Coupe, S. A., Palmer, B. G., Lake, J. A., Overy, S. A., Oxborough, K., Woodward, F. I., Gray, J. E., & Quick, W. P. (2006). Systemic signalling of environmental cues in *Arabidopsis* leaves. *Journal of Experimental Botany*, 57(2), 329–341. <https://doi.org/10.1093/JXB/ERJ033>
- Dávila, C., Urbano, D., Castro, F. (2011). Efecto de la altura y frecuencia de corte sobre tres variedades de maní forrajero (*Arachis pintoi*) en el estado Mérida: II. Características morfológicas y producción de semilla. *Zootecnia Tropical*, 29(1), 7–15.
- Fernandes, F. D., Ramos, A. K. B., Carvalho, M. A., Maciel, G. A., de Assis, G. M. L., & Braga, G. J. (2017). Forage yield and nutritive value of *Arachis* spp. genotypes in the Brazilian savanna. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, 5(1), 19–28. [https://doi.org/10.17138/TGFT\(5\)19-28](https://doi.org/10.17138/TGFT(5)19-28)
- Fisher, M. J., & Cruz, P. (1994). Some ecophysiological aspects of *Arachis pintoi*. In P.C. Kerridge & B. Hardy (Eds.), *Biology and Agronomy of forages Arachis*. CIAT (pp. 53–70).
- Gobbi, K. F., Garcia, R., Ventrella, M. C., Neto, A. F. G., & Rocha, G. C. (2011). Área foliar específica e anatomia foliar quantitativa do capim-braquiária e do amendoim-forrageiro submetidos a sombreamento. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40(7), 1436–1444. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982011000700006>
- Grady, K. C., Laughlin, D. C., Ferrier, S. M., Kolb, T. E., Hart, S. C., Allan, G. J., & Whitham, T. G. (2013). Conservative leaf economic traits correlate with fast growth of genotypes of a foundation riparian species near the thermal maximum extent of its geographic range. *Functional Ecology*, 27(2), 428–438. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12060>
- Grant, L. (1987). Diffuse and specular characteristics of leaf reflectance. *Remote Sensing of Environment*, 22(2), 309–322. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(87\)90064-2](https://doi.org/10.1016/0034-4257(87)90064-2)
- Hassen, A., Talore, D. G., Tesfamariam, E. H., Friend, M. A., & Mpanza, T. D. E. (2017). Potential use of forage-legume intercropping technologies to adapt to climate-change impacts on mixed crop-livestock systems in Africa: a review. *Regional Environmental Change*, 17(6), 1713–1724. <https://doi.org/10.1007/S10113-017-1131-7>

- Healey, K. D., Rickert, K. G., Hammer, G. L., & Bange, M. P. (1998). Radiation use efficiency increases when the diffuse component of incident radiation is enhanced under shade. *Australian Journal of Agricultural Research*, 49(4), 665–672. <https://doi.org/10.1071/A97100>
- Hetherington, A. M., & Woodward, & F. I. (2003). The role of stomata in sensing and driving environmental change. *Nature*, 424, 901–908. <https://doi.org/10.1038/nature01843>
- Jáuregui, D., & Zerpa-Zerpa, M. (2017). Anatomía de los órganos vegetativos de *Arachis pintoi* Krapov. & W. C. Greg. (Fabaceae). *Ernstia*, 27(1), 41–58.
- Johnson, S. E., Sollenberger, L. E., & Bennett, J. M. (1994). Yield and Reserve Status of Rhizoma Peanut Growing under Shade. *Crop Science*, 34(3), 757–761. <https://doi.org/10.2135/CROPSCI1994.0011183X003400030028X>
- Kendall, W. A., Shaffer, J. A., & Hill, R. R. (1994). Effect of temperature and water variables on the juvenile growth of lucerne and red clover. *Grass and Forage Science*, 49(3), 264–269. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2494.1994.TB02000.X>
- Kramer, P. J., & Boyer, J. S. (1995). *Water Relations of Plants and Soils*. Elsevier Science.
- Kröning, A. B., Costa, O. A. D., Farias, P. P., Martins, L. A., Ott, O. G., Macari, S., & Ferreira, O. G. L. (2019). Grazing criteria for perennial peanut (*Arachis pintoi* cv. Amarillo) consumed by sheep in rotational stocking. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 71(3), 997–1004. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-10506>
- Lake, J. A., Quick, W. P., Beerling, D. J., & Woodward, F. I. (2001). Signals from mature to new leaves. *Nature* 2001 411:6834, 411(6834), 154–154. <https://doi.org/10.1038/35075660>
- Lambers, H., & Poorter, H. (1992). Inherent Variation in Growth Rate Between Higher Plants: A Search for Physiological Causes and Ecological Consequences. *Advances in Ecological Research*, 23(C), 187–261. [https://doi.org/10.1016/S0065-2504\(08\)60148-8](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(08)60148-8)
- Leitão, M. de M. V. B. R., & Gertrudes, M. de O. (2000). Influência da irrigação sobre o albedo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 4(2), 214–218. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662000000200014>
- Lessa De Assis, G. M., Ferreira Valentim, J., Marques, J., Júnior, C., Araújo De Azevedo, J. M., & Ferreira, A. S. (2008). Seleção de genótipos de amendoim forrageiro para cobertura do solo e produção de biomassa aérea no período de estabelecimento utilizando-se metodologia de modelos mistos 1. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37(11), 1905–1911. <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/S1516-35982008001100001>
- Littell, R. C., Milliken, G. A., Stroup, W. W., Wolfinger, R. D., & Shabenberger, O. (2006). SAS for Mixed Models, Second Edition. *SAS for Mixed Models. (2nd Ed.)*. SAS Institute., 363–365. <https://doi.org/10.1080/10543400601001600>

- Matches, A. G. (1992). Plant Response to Grazing: A Review. *Journal of Production Agriculture*, 5(1), 1–7. <https://doi.org/10.2134/JPA1992.0001>
- Nageswara Rao, R. C., Udaykumar, M., Farquhar, G. D., Talwar, H. S., & Prasad, T. G. (1995). Variation in Carbon Isotope Discrimination and Its Relationship to Specific Leaf Area and Ribulose-1,5-Bisphosphate Carboxylase Content in Groundnut Genotypes. *Functional Plant Biology*, 22(4), 545–551. <https://doi.org/10.1071/PP9950545>
- Nautiyal, P. C., Rachaputi, N. R., & Joshi, Y. C. (2002). Moisture-deficit-induced changes in leaf-water content, leaf carbon exchange rate and biomass production in groundnut cultivars differing in specific leaf area. *Field Crops Research*, 74(1), 67–79. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(01\)00199-X](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(01)00199-X)
- Nautiyal, P. C., Rajgopal, A. K., Zala, A. P. v, Dipti, A. E., Pujari, S., Manojit, A. E., Ae, B., Ae, B. A. D., Nandre, B. M., Rajgopal, Á. K., Zala, Á. P. v, Pujari, Á. D. S., Dhadhal, B. A., Nandre, Á. B. M., & Basu, M. (2008). Evaluation of wild *Arachis* species for abiotic stress tolerance: I. Thermal stress and leaf water relations. *Euphytica*, 159, 43–57. <https://doi.org/10.1007/s10681-007-9455-x>
- Pedreira, B. C., & Pedreira, C. G. S. (2007). Fotossíntese foliar do capim-xaraés [*Brachiaria brizantha* (A. Rich.) Stapf. cv. Xaraés] e modelagem da assimilação potencial de dosséis sob estratégias de pastejo rotativo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36(4), 773–779. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982007000400004>
- Poorter, H., & Garnier, E. (2007). Functional Plant Ecology. In F. Pugnaire & F. Valladares (Eds.), *Functional Plant Ecology* (2nd Edition). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420007626>
- Prine, G. M., Dunavin, L. S., Moore, J. E., & Roush, R. D. (1986). Registration of ‘Florigraze’ Rhizoma Peanut. *Crop Science*, 26(5), 1084–1085. <https://doi.org/10.2135/CROPSCI1986.0011183X002600050060X>
- Quesenberry, K. H., Blount, A. R., Mislevy, P., French, E. C., Williams, M. J., & Prine, G. M. (2010). Registration of ‘UF Tito’ and ‘UF Peace’ Rhizoma Peanut Cultivars with High Dry Matter Yields, Persistence, and Disease Tolerance. *Journal of Plant Registrations*, 4(1), 17–21. <https://doi.org/10.3198/JPR2009.07.0397CRC>
- Rice, R. W., Sollenberger, L. E., Quesenberry, K. H., Prine, G. M., & French, E. C. (1996). Establishment of Rhizoma Perennial Peanut with Varied Rhizome Nitrogen and Carbohydrate Concentrations. *Agronomy Journal*, 88(1), 61–66. <https://doi.org/10.2134/AGRONJ1996.00021962008800010013X>
- Saldivar, A. J., Ocumpaugh, W. R., Gildersleeve, R. R., & Moore, J. E. (1990). Growth Analysis of ‘Florigraze’ Rhizoma Peanut: Forage Nutritive Value. *Agronomy Journal*, 82(3), 473–477. <https://doi.org/10.2134/AGRONJ1990.00021962008200030006X>

- Saldivar, A. J., Ocumpaugh, W. R., Gildersleeve, R. R., & Prine, G. M. (1992). Total Nonstructural Carbohydrates and Nitrogen of 'Florigraze' Rhizoma Peanut. *Agronomy Journal*, *84*(3), 439–444. <https://doi.org/10.2134/AGRONJ1992.00021962008400030017X>
- Samdur, M. Y., Manivel, P., Jain, V. K., Chikani, B. M., Gor, H. K., Desai, S., & Misra, J. B. (2003). Genotypic Differences and Water-Deficit Induced Enhancement in Epicuticular Wax Load in Peanut. *Crop Science*, *43*(4), 1294–1299. <https://doi.org/10.2135/CROPSCI2003.1294>
- Santos, E. R. S., Dubeux, J. C. B., Jaramillo, D. M., Garcia, L., Mackowiak, C. L., Blount, A. R. S., Pereira-Neto, J. D., Queiroz, L. M. D., & Ruiz-Moreno, M. (2020). Herbage responses and nitrogen agronomic efficiency of bahiagrass–legume mixtures. *Agronomy Journal*, *112*(5), 4057–4068. <https://doi.org/10.1002/AGJ2.20278>
- Santos, H. G., Jacomine, P. K. T., Anjos, L. H. C., Oliveira, V. Á., Oliveira, J. B., Coelho, M. R., Lumberras, J. F., & Cunha, T. J. F. (2018). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. In *Rio de Janeiro: Embrapa Solos-SPI: Vol. 2 ed.* Embrapa Solos, 2006.
- SAS Institute. (2013). *SAS: deployment wizard and SAS deployment manager 9.4: User's guide*.
- Schultze-Kraft, R., Rao, I. M., Peters, M., Clements, R. J., Bai, C., & Liu, G. (2018). Tropical forage legumes for environmental benefits: An overview Leguminosas forrajeras tropicales para beneficios ambientales: Una sinopsis. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, *6*(1), 1–14. [https://doi.org/10.17138/TGFT\(6\)1-14](https://doi.org/10.17138/TGFT(6)1-14)
- Silva, V. J., Dubeux, J. C. B. J., Teixeira, V. I., Santos, M. V. F. dos, Lira, M. de A., & Mello, A. C. L. de. (2010). Características morfológicas e produtivas de leguminosas forrageiras tropicais submetidas a duas frequências de corte. *Revista Brasileira de Zootecnia*, *39*(1), 97–102. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010000100013>
- Silva, G. P., Fialho, C. A., Carvalho, L. R., Fonseca, L., Carvalho, P. C. F., Bremm, C., & da Silva, S. C. (2017). Sward structure and short-term herbage intake in *Arachis pintoi* cv. Belmonte subjected to varying intensities of grazing. *The Journal of Agricultural Science*, *156*(1), 92–99. <https://doi.org/10.1017/S0021859617000855>
- Silveira, M. C. T. da, do Nascimento, D., da Silva, S. C., Euclides, V. P. B., Montagner, D. B., Sbrissia, A. F., Rodrigues, C. S., Sousa, B. M. de L., Pena, K. da S., & Vilela, H. H. (2010). Morphogenetic and structural comparative characterization of tropical forage grass cultivars under free growth. *Scientia Agricola*, *67*(2), 136–142. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162010000200002>
- Simeão, R. M., Assis, G. M. L., Montagner, D. B., & Ferreira, R. C. U. (2016). Forage peanut (*Arachis* spp.) genetic evaluation and selection. *Grass and Forage Science*, 1–11. <https://doi.org/10.1111/gfs.12242>
- SOIL SURVEY STAFF. (1990). *Keys to Soil Taxonomy* (4 ed.).

- Steudle, E. (1989). Water flow in plants and its coupling to other processes: An overview. In *Methods in Enzymology* (Vol. 174, Issue C, pp. 183–225). [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(89\)74019-2](https://doi.org/10.1016/0076-6879(89)74019-2)
- Subbarao, G. v., Johansen, C., Slinkard, A. E., Nageswara Rao, R. C., Saxena, N. P., & Chauhan, Y. S. (2010). Strategies for Improving Drought Resistance in Grain Legumes. *Critical Reviews in Plant Sciences*, *14*(6), 469–523. <https://doi.org/10.1080/07352689509701933>
- Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I. M., & Murphy, A. (2017). Fotossíntese: Considerações Fisiológicas e Ecológicas. In *Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal* (6th ed., pp. 245–267). Artmed.
- Terashima, L., Miyazawa, S.-L., & Hanba, Y. T. (2001). Why are Sun Leaves Thicker than Shade Leaves? Consideration based on Analyses of CO<sub>2</sub>, Diffusion in the Leaf. *Journal of Plant Research*, *114*, 93–105. <https://doi.org/10.1007/PL00013972>
- Vasco, A. C. C. M., Morrison, A. S., Brinkley-Bissinger, K. J., Bobel, J. M., Dubeux, J. C. B., Warren, L. K., & Wickens, C. L. (2021). 50 Intake, digestibility, and nitrogen balance in horses fed rhizoma peanut hay. *Journal of Equine Veterinary Science*, *100*, 103513. <https://doi.org/10.1016/J.JEVS.2021.103513>
- Veiga, R. F. de A., Corso, G. M., & Curi, P. R. (1992). Morfologia dos estômatos em folíolos de amendoim, cultivares Tatu e SO-909. *Bragantia*, *51*(1), 7–15. <https://doi.org/10.1590/S0006-87051992000100002>
- Veiga, R. F. de A., Corso, G. M., & Curi, P. R. (1994). Aspectos da organografia e anatomia foliar do amendoim: genótipos SO-53 e SO-909. *Bragantia*, *53*(1), 1–17. <https://doi.org/10.1590/S0006-87051994000100001>
- Vinson, C. C., Paula, A., Mota, Z., Oliveira, T. N., Guimaraes, L. A., Cristina, S., Leal-Bertioli, M., Christopher, T., Williams, R., Lima Nepomuceno, A., Alfredo, M., Saraiva, P., Claudia, A., Araujo, G., Guimaraes, P. M., & Brasileiro, A. C. M. (2018). Early responses to dehydration in contrasting wild *Arachis* species. *PLOS ONE*, *13*(5), 1–28. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198191>
- Vogelmann, T. C. (1993). Plant tissue optics. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, *44*, 231–251. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.44.060193.001311>
- Ward, D. A., & Woolhouse, H. W. (1986). Comparative effects of light during growth on the photosynthetic properties of NADP-ME type C<sub>4</sub> grasses from open and shaded habitats. II. Photosynthetic enzyme activities and metabolism. *Plant, Cell & Environment*, *9*(4), 271–277. <https://doi.org/10.1111/1365-3040.EP11611683>
- Westoby, M. (1998). A leaf-height-seed (LHS) plant ecology strategy scheme. *Plant and Soil*, *199*(2), 213–227. <https://doi.org/10.1023/A:1004327224729>
- Wolfinger, R. (1993). Generalized linear mixed models a pseudo-likelihood approach. *Communications in Statistics – Simulation and Computation*, *22*(4), 1079–1106. <https://doi.org/10.1080/03610919308813143>

- Wright, G. C., Hubick, K. T., Farquhar, G. D., & Rao, R. C. N. (1993). Genetic and Environmental Variation in Transpiration Efficiency and Its Correlation with Carbon Isotope Discrimination and Specific Leaf Area in Peanut. *Stable Isotopes and Plant Carbon-Water Relations*, 247–267. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-091801-3.50025-8>
- Yano, S., & Terashima, I. (2001). Separate Localization of Light Signal Perception for Sun or Shade Type Chloroplast and Palisade Tissue Differentiation in *Chenopodium album*. *Plant and Cell Physiology*, 42(12), 1303–1310. <https://doi.org/10.1093/PCP/PCE183>
- Yano, S., & Terashima, I. (2004). Developmental process of sun and shade leaves in *Chenopodium album* L. *Plant, Cell & Environment*, 27(6), 781–793. <https://doi.org/10.1111/J.1365-3040.2004.01182.X>
- Yasuoka, J. I., Pedreira, C. G. S., da Silva, V. J., Alonso, M. P., da Silva, L. S., & Gomes, F. J. (2018). Canopy height and N affect herbage accumulation and the relative contribution of leaf categories to photosynthesis of grazed brachiariagrass pastures. *Grass and Forage Science*, 73(1), 183–192. <https://doi.org/10.1111/GFS.12302>

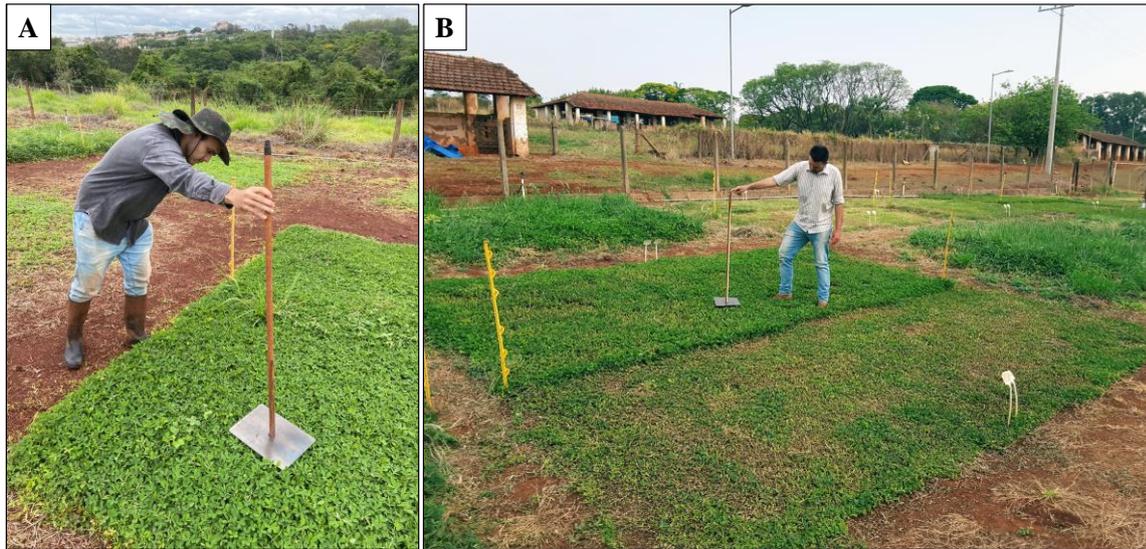
## Material suplementar



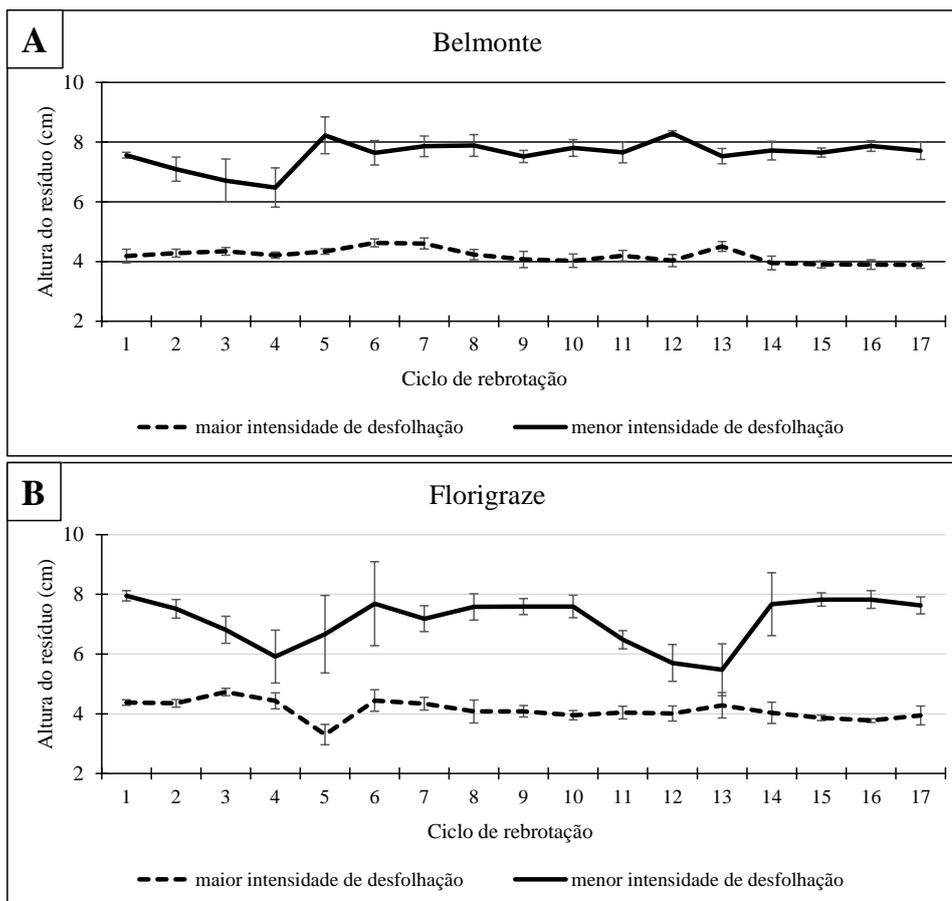
**Figura 2.** Avaliação das respostas fotossintéticas em unidade experimental de *Arachis glabrata* cv. Florigraze (A). Medição dos parâmetros de trocas gasosas com medidor de fotossíntese portátil modelo LI-6400 (LI-COR, Lincoln, NE, EUA) em folíolo de *Arachis glabrata* cv. Florigraze presente no topo do dossel (B).



**Figura 3.** Corte das unidades experimentais com motosegadora de barra (A) e posteriormente com roçadeira costal (B), realizado ao final dos ciclos de rebrotação (42° dia).



**Figura 4.** Medição da altura do dossel pré-colheita (A) e altura do resíduo (B) em unidades experimentais de *Arachis pintoi* cv. Belmonte realizado ao final dos ciclos de rebrotação (42° dia).



**Figura 5.** Altura do resíduo mensurada após o corte das unidades experimentais ao final de cada ciclo (42° dia) de rebrotação em *Arachis pintoi* cv. Belmonte (A) e *Arachis glabrata* cv. Florigraze (B).

### 3. RESPOSTAS AGRONÔMICAS DE *Arachis pintoii* cv. BELMONTE E *Arachis glabrata* CV. FLORIGRAZE SOB DUAS INTENSIDADES DE DESFOLHAÇÃO

#### Resumo

Compreender as respostas agronômicas e a composição do dossel de espécies de *Arachis* perene ao manejo da colheita pode ajudar na recomendação de novos genótipos forrageiros e a traçar estratégias de desfolhação que otimizem o acúmulo de forragem e a persistência do dossel. Nossos objetivos foram: descrever e explicar a variação sazonal no acúmulo de forragem (AF) e nas características do dossel do *Arachis pintoii* Krapov. W. C. & Greg cv. Belmonte (Belmonte), não rizomatosa, e *Arachis glabrata* Benth cv. Florigraze (Florigraze), rizomatosa, em resposta à duas intensidades de desfolhação, representadas pela altura do resíduo (4 cm [maior intensidade] e 8 cm [menor intensidade]). Parcelas irrigadas, e manejadas sob corte, foram arranjadas usando um delineamento inteiramente casualizado, em esquema de parcela subdividida, onde as espécies foram alocadas nas parcelas e as intensidades de desfolhação, nas subparcelas, com seis repetições em Piracicaba, São Paulo, Brasil. Belmonte teve maior AF anual (11,1 vs. 7,2 Mg MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>), na época quente (9,8 vs. 6,5 Mg MS ha<sup>-1</sup>) e fria (1,3 vs. 0,7 Mg MS ha<sup>-1</sup>) comparado ao Florigraze. Na época quente, o Belmonte teve maior índice de área foliar (4,9 vs. 2,6), área foliar específica (AFE; 266,9 vs. 204,9 cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>), proporção de folíolo (65,0 vs. 47,5%), pecíolo (15,0 vs. 10,0%), estolão (16,6 vs. 13,2%), razão folíolo:estolão (F:E; 3,9 vs. 3,5) e menor proporção de plantas daninhas (2,8 vs. 28,1%). Na época fria, Belmonte teve maior proporção de pecíolo (10,3 vs. 8,8%) e estolão (5,1 vs. 2,8%), na menor intensidade de desfolhação. Também teve maior razão F:E (30,8 vs. 11,3) do que Florigraze. Na época quente, a menor intensidade de desfolhação resultou em maior altura do dossel pré-colheita (15,6 vs. 12,1 cm), proporção de estolão (16,0 vs. 13,5%) e menor AFE (228,8 vs. 243,2 cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>) e menor razão F:E (3,4 vs. 4,0). Durante a época quente, o manejo da colheita do Belmonte e Florigraze pode ser realizado com qualquer uma das intensidades de desfolhação estudadas (4 e 8 cm de altura do resíduo), para a frequência de colheita de 42 dias, quando manejado sob irrigação e corte. Todavia na época fria, a utilização da menor intensidade de desfolhação é mais recomendada, por não comprometer os mecanismos ecofisiológicos de persistência dessas leguminosas. O menor AF anual e sazonal e a maior proporção de plantas daninhas do Florigraze indicaram que esse não é uma opção tão boa quanto o Belmonte para produção intensiva de forragem sob corte, em sistemas tropicais manejados com irrigação.

Palavras-chave: Acúmulo de forragem, Altura do resíduo, Índice de área foliar

#### Abstract

Understanding the agronomic responses and canopy composition of perennial *Arachis* species to harvest management in comparative studies may aid in recommending new forage genotypes and devising defoliation strategies that

optimize forage accumulation of these genotypes. Our objectives was to describe and explain seasonal variation in forage accumulation (FA) and canopy characteristics of *Arachis pintoii* Krapov. W. C. & Greg cv. Belmonte (Belmonte), non-rhizomatous, and *Arachis glabrata* Benth cv. Florigraze (Florigraze), rhizomatous, in response to two defoliation intensities, represented by the stubble height (4 cm [greater intensity] and 8 cm [lesser intensity]) during two years in Piracicaba, São Paulo, Brazil. Small irrigated plots managed under cutting, were arranged in a completely randomized design, in split-plot scheme, where species were allocated in the plots and defoliation intensities in the subplots, with six replications. Belmonte had greater annual FA than Florigraze (11.1 vs. 7.2 Mg DM ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>) in the warm season (9.8 vs. 6.5 Mg DM ha<sup>-1</sup>) and cold season (1.3 vs. 0.7 Mg DM ha<sup>-1</sup>). In the warm season, Belmonte had greater leaf area index (4.9 vs. 2.6), specific leaf area (SLA; 266.9 vs. 204.9 cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>), leaflet proportions (65.0 vs. 47.5%), petiole (15.0 vs. 10.0%), and stolon (16.6 vs. 13.2%), leaf:stolon ratio (L:S; 3.9 vs. 3.5) and lesser weed proportion (2.8 vs. 28.1%). In the cold season, Belmonte had greater petiole (10.3 vs. 8.8%) and stolon (5.1 vs. 2.8%) proportions at the lesser defoliation intensity, in addition to a greater L/S ratio (30.8 vs. 11.3) than Florigraze. In the warm season, the lower defoliation intensity resulted in greater pre-harvest canopy height (15.6 vs. 12.1%), stolon proportion (16.0 vs. 13.5%) and lesser SLA (228.8 vs. 243.2 cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>) as well as lesser L:S ratio (3.4 vs. 4.0). Harvest management of Belmonte and Florigraze can be performed with either of the defoliation intensities assessed (4 and 8 cm of stubble height) for the 42-day harvest frequency when managed under irrigation and cutting. However, in the cold season, the use of lesser defoliation intensity seems to be more reasonable, due to the eco-physiological mechanisms of persistence of these legumes. The lesser annual and seasonal FA and greater weed proportion in Florigraze indicated that it is not as good an option as Belmonte for forage production under cutting in tropical systems intensively managed with irrigation.

Keywords: Herbage accumulation, Stubble height, Leaf area index

### 3.1. Introdução

A produção e comercialização de forragens, verdes ou conservadas, é uma atividade importante para garantir a oferta de forragem aos rebanhos, durante as estações ambientais restritivas ao crescimento das plantas, em sistemas de produção baseados em pastagens. As leguminosas forrageiras perenes do gênero *Arachis* spp. são opções interessantes para essa finalidade (Carvalho et al., 2016; Simeão et al., 2016; Vasco et al., 2022). O *A. pintoii* cv. Belmonte foi lançado em 1991 pela Comissão Executiva do Plano de Lavoura Cacaueira, CEPLAC, Bahia - Brasil (Fisher & Cruz, 1994). É o cultivar, da espécie, mais produtivo (Ferreira et al., 2013) e amplamente cultivado nas regiões tropicais, por adaptar-se bem à diferentes condições edafoclimáticas (Andrade & Valentim, 1999). O *A. glabrata* foi lançado em 1978 pela Universidade da Flórida, Flórida - EUA como forrageira de verão com alta

resistência a pragas e doenças (Prine et al., 1986). É o cultivar, desse gênero, com maior área de cultivo na região sul do Golfo dos EUA, por sobreviver nas estações ambientais frias e rebrotar vigorosamente na estação de crescimento seguinte (Martin et al., 2021; Quesenberry et al., 2010).

O cultivo do Florigraze e do Belmonte em sistemas de uso intensivo nas regiões tropicais, onde há utilização frequente e intensa de insumos agrícolas, é uma opção interessante para produção de forragem em escala comercial para atender os mercados de forragens, verdes ou conservadas (Fernandes et al., 2017; Ruiz & Cancel, 2003). Todavia, faltam informações sobre as respostas agronômicas e recomendações de manejo para essas forrageiras em sistemas de uso intensivo, e para o Florigraze sob condições tropicais.

Na escolha de uma nova forrageira, é importante utilizar um protocolo comparando o desempenho dessa, com outra forrageira adaptada à região, sob uma variedade de estratégias de desfolhação (Butler et al., 2006; Inyang et al., 2010; Shepard et al., 2018). Isso se torna ainda mais importante em sistemas de uso intensivo, onde maiores quantidades de insumos são utilizadas para aumentar o acúmulo de forragem e minimizar os efeitos sazonais na produção de forragem (Lara et al., 2021; Pequeno et al., 2015; Silva et al., 2015, 2019).

A intensidade de desfolhação é uma das principais recomendações de manejo e um dos fatores determinantes do acúmulo de forragem (Alencar et al., 2019), e persistência do dossel, em forrageiras manejadas sob colheita mecânica (Hodgson, 1966). Nessas, a intensidade de desfolhação deve ser recomendada considerando o hábito de crescimento (Cooley et al., 2020), características morfológicas da planta (Aryal et al., 2020), e a disponibilidade de fatores abióticos (Interrante et al., 2011). Diante do exposto, o objetivo desse estudo foi descrever e comparar as respostas agronômicas, acúmulo de forragem anual e sazonal do Florigraze com um cultivar já recomendado para os trópicos úmidos (Belmonte), manejados sob duas intensidades de desfolhação (baseada na altura do resíduo: 4 e 8 cm), nas épocas quente e fria, durante dois anos experimentais em condições tropicais.

## **3.2. Material e Métodos**

### **3.2.1. Local da pesquisa, tratamentos e design experimental**

O experimento foi realizado em Piracicaba, estado de São Paulo, Brasil (22°42'19" S, 47°38'28" W, 516 m alt) na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo (ESALQ- USP). O clima do local é do tipo Cwa (mesotérmico

úmido subtropical de inverno seco) segundo a classificação de Köppen-Geiser (Peel et al., 2007). O solo da área experimental é classificado como Nitossolo Vermelho Eutroférico típico (Santos et al., 2018) de alta fertilidade, ou Kandiualfic Eutradox (SOIL SURVEY STAFF, 1990). Os dados meteorológicos do período experimental foram registrados em estação meteorológica localizado a 2 km da área experimental (Tabela 8).

**Tabela 8.** Dados meteorológicos mensais durante dois anos e a média histórica de Piracicaba, São Paulo, Brasil.

Variáveis meteorológicas	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
-----2020-----												
Temperatura máx. (°C)	31	29	30	29	27	27	28	28	33	33	31	30
Temperatura mín. (°C)	20	20	18	15	10	14	12	12	16	18	17	20
Chuva (mm)	180	399	72	3	13	70	7,6	54	13	28	180	135
Irrigação (mm)	-	-	47	101	109	61	109	84	146	145	81	37
-----2021-----												
Temperatura máx. (°C)	32	31	32	28	27	26	26	29	33	29	31	30
Temperatura mín. (°C)	21	19	19	15	12	12	8	13	16	17	17	18
Chuva (mm)	172	94	143	30	23	13	23	12	4	132	146	141
Irrigação (mm)	98	95	113	188	112	81	92	119	129	66	96	74
-----2022-----												
Temperatura máx. (°C)	30	31	32	30	26	25	29	27	27	30	30	30
Temperatura mín. (°C)	20	19	20	17	12	12	12	12	14	17	16	19
Chuva (mm)	405	132	125	22	46	14	1	28	88	110	66	209
Irrigação (mm)	8	94	59	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-----Média histórica <sup>a</sup> -----												
Temperatura máx. (°C)	30	30	30	28	26	25	25	27	28	30	30	30
Temperatura mín. (°C)	19	20	18	16	12	11	10	11	14	16	17	18
Chuva (mm)	228	180	141	66	54	44	28	30	61	109	136	197

<sup>a</sup>Média histórica de 1917 a 2021.

As espécies leguminosas estudadas, *A. glabrata* cv. Florigraze (Florigraze), rizomatosa, e *A. pintoi* cv. Belmonte (Belmonte), não rizomatosas, foram estabelecidas vegetativamente em março de 2011, em parcelas de 4 × 4,5 m. Os corredores entre as parcelas tinham 1 m de largura e foram mantidos limpos por meio de roçada mecânica e aplicação de herbicida durante o período experimental. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema de parcelas subdivididas. As duas espécies de leguminosas foram alocadas nas parcelas e a intensidade de desfolhamento (aplicada como alturas de resíduo de 4 cm [mais intensa] e 8 cm [menos intensa]) foi alocada nas subparcelas.

Em 14 de fevereiro de 2020, as subparcelas foram cortadas mecanicamente acima da altura do resíduo (4 e 8 cm). O primeiro ciclo de rebrotação (14 de fevereiro a 27 de março de 2020) foi desconsiderado das análises, pois o padrão de resposta foi distinto dos demais ciclos do período experimental. Os dados experimentais foram coletados de março de 2020 a março de 2021 (Ano 1) e de abril de 2021 a março de 2022 (Ano 2). Cada ano experimental foi

dividido em época quente e fria usando como critério o valor médio das temperaturas mínimas e máximas diárias (Tabela 2) os padrões de respostas das plantas. Na época fria, situaram-se os ciclos de rebrotação cuja temperatura média mínima foi  $\leq 15$  °C e a temperatura média máxima  $\leq 30$  °C: março a setembro de 2020 e maio 2021 a setembro de 2021. Na época quente, foram colocados ciclos de rebrota cuja temperatura média mínima foi  $\geq 15$  °C e a temperatura média máxima  $\geq 30$  °C (Tabela 2).

Amostras de solo (0 - 20 cm de profundidade) foram coletadas nos quatro tratamentos, em 8 de janeiro de 2020 (Ano 1) e 2 de agosto de 2021 (Ano 2) para análise da fertilidade e recomendação de adução conforme as exigências nutricionais das forrageiras (Quaggio et al., 2022; Rao & Kerridge, 1994). No ano 1, as características químicas do solo (0-20 cm) foram: P = 51 mg dm<sup>-3</sup> (resina); matéria orgânica = 30 g dm<sup>-3</sup>; pH (0,01 mol L<sup>-1</sup> CaCl<sub>2</sub>) = 5; K = 3 mmolc dm<sup>-3</sup>; Ca = 37 mmolc dm<sup>-3</sup>; Mg = 12 mmolc dm<sup>-3</sup>; H + Al = 34 mmolc dm<sup>-3</sup>; soma de bases = 50 mmolc dm<sup>-3</sup>; capacidade de troca catiônica = 85 mmolc dm<sup>-3</sup>; e saturação por bases = 60%. As proporções de argila, silte e areia foram 431, 202 e 367 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. No Ano 1 não foi necessário adubar o experimento. No ano 2, as características químicas do solo (0-20 cm) foram: P = 48mg dm<sup>-3</sup> (método de extração de resina de troca iônica); matéria orgânica = 33 g dm<sup>-3</sup>; pH (0,01 mol L<sup>-1</sup> CaCl<sub>2</sub>) = 5; K = 1,3 mmolc dm<sup>-3</sup>; Ca = 66 mmolc dm<sup>-3</sup>; Mg = 16 mmolc dm<sup>-3</sup>; H + Al = 47 mmolc dm<sup>-3</sup>; soma de bases = 83 mmolc dm<sup>-3</sup>; capacidade de troca catiônica = 130 mmolc dm<sup>-3</sup>; e saturação por bases = 64%. No ano 2, foi observado necessidades de potássio e fósforo distintas entre os tratamentos. Para não incluir uma fonte de variação no experimento, a dose de cada adubo foi padronizada, tomando como base a maior demanda por nutriente. Assim, em 02/10/2021 as unidades experimentais foram adubadas com doses equivalentes a 1 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico, 1 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso agrícola, 167 kg ha<sup>-1</sup> (30 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) de superfosfato simples e 84 kg ha<sup>-1</sup> (50 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O) de cloreto de potássio.

Como a época fria no local é caracterizada por temperaturas amenas e porque as leguminosas forrageiras podem ser comercializadas como feno de alta qualidade e usadas para suplementar animais com altas exigências de nutrientes, as parcelas foram irrigadas usando um sistema de irrigação automática por aspersão. Tensiômetros instalados a 20 cm de profundidade foram usados para monitorar o estado de umidade do solo. A área foi irrigada (lâmina de irrigação: 7 a 14 mm) sempre que a tensão de água no solo atingia 30 kPa (Tabela 8).

### **3.2.2. Variáveis respostas**

#### **3.2.2.1. Acúmulo de forragem, proporção dos componentes morfológicos e de plantas daninhas do dossel**

A cada 42 dias, no último dia do ciclo de rebrotação, duas amostras de massa de forragem foram colhidas de cada subparcela usando uma moldura de 0,25 m<sup>2</sup> e tesouras (Figura 7). As amostras foram colhidas na respectiva altura de tratamento da subparcela (4 ou 8 cm), levadas ao laboratório e pesadas a fresco. Cada amostra, foi subamostrada ( $\approx 30\%$ ). Cada subamostra foi pesada fresca, uma delas foi seca em estufa de circulação forçada de ar a 60°C até atingir peso constante, depois pesada novamente para a obtenção do peso seco e da concentração de matéria seca (MS). Após a amostragem no campo, cada subparcela foi cortada em sua altura de resíduo designada, 4 ou 8 cm (Figura 3). O acúmulo de forragem (AF) sazonal e anual foi calculado como a soma dos AF da respectiva época de crescimento (quente e fria) ou ano inteiro, respectivamente.

A segunda subamostra de cada amostra foi usada para determinar a composição morfológica da forragem das leguminosas e a porcentagem de plantas daninhas na amostra. Essas subamostras foram separadas nas partes da planta: folíolo, pecíolo, estolão, material morto e plantas daninhas (Figura 8). Cada fração foi então seca em estufa de circulação forçada a 60°C até peso constante. O peso seco de cada fração foi utilizado para determinar a composição das partes da planta e a razão folíolo:estolão na forragem acumulada.

#### **3.2.2.2. Intercepção de luz, altura do dossel, índice de área foliar e densidade volumétrica da forragem**

A intercepção da luz pelo dossel (IL) foi medida no final de cada ciclo de rebrotação (ou seja, no 42º dia de rebrota) imediatamente antes da amostragem destrutiva da subparcela, com um analisador de dossel modelo LAI-2000 (LI-COR, Lincoln, Nebraska, EUA) (Figura 6), em dez locais representativos da subparcela (por avaliação visual), com uma leitura de referência feita a 2 m acima do dossel, para cada 5 leituras feitas no nível do solo. As medições de IL foram realizadas em horários de predominância de radiação difusa, com baixa elevação solar (início da manhã e final da tarde ou céu nublado) considerando as recomendações de uso do analisador de dossel (Welles & Norman, 1991). O índice de área foliar (IAF) foi calculado a partir da subamostra de composição das partes vegetais (Figura 8).

Todos os folíolos verdes da subamostra foram escaneados em um medidor de área foliar modelo LI 3100 (Li-Cor, Lincoln, Nebraska, EUA) para obter a área foliar total. Em seguida, os folíolos foram secos em estufa de circulação forçada a 60 °C, até peso constante e pesados. A razão entre a área foliar e o peso do folíolo foi usada para calcular a área foliar específica e esta foi usada para calcular o IAF. A altura do dossel pré-colheita foi medida no final de cada ciclo de rebrotação em 15 locais representativos por subparcela. A densidade volumétrica da forragem (DVF) de cada ciclo de rebrotação foi calculada por meio da razão entre a massa de forragem acumulada acima das alturas metas de manejo (4 e 8 cm) e a altura desse estrato (obtida pela diferença da altura do dossel pré-colheita e altura do resíduo mensurada no final do ciclo anterior).

### 3.2.3. Análise estatística

Os dados foram analisados usando o PROC MIXED do SAS® (SAS Institute, 2013) usando espécie, intensidade de desfolhação e suas interações como efeitos fixos, dentro das épocas quente e fria. O ano foi considerado um efeito aleatório (Littell et al., 2006). A matriz de covariância foi escolhida usando o Critério de Informação de Akaike (Wolfinger, 1993). As médias dos tratamentos foram estimadas usando “LSMEANS” e a comparação entre elas foi feita pela probabilidade da diferença (“PDIF”), usando o teste t de Student ( $P < 0,05$ ).

## 3.3. Resultados

### 3.3.1. Acúmulo de forragem anual e sazonal

O Belmonte teve maior acúmulo de forragem (AF) anual (35%), durante a época quente (34%) e fria (46%) que o Florigraze. Na época fria, o AF (0,7 Mg MS ha<sup>-1</sup>) foi maior (51%;  $P < 0,0001$ ) nos dosséis manejados com maior intensidade de desfolhação (Tabela 9).

**Tabela 9.** Acúmulo de forragem anual e sazonal (época fria e quente) das espécies *Arachis gabrata* cv. Florigraze (Florigraze) e *Arachis pintoi* cv. Belmonte (Belmonte) afetado pela espécie em Piracicaba, SP, Brasil.

Espécie	Anual	Época fria	Época quente
	----- Mg MS ha <sup>-1</sup> -----		
Florigraze	7,2	0,7	6,5
Belmonte	11,1	1,3	9,8
P-valor	0,0061	<0,0001	0,0079
EPM <sup>‡</sup>	0,7	0,3	0,8

<sup>‡</sup>EPM: erro padrão da média.

### 3.3.2. Respostas agronômicas na época quente

A altura do dossel pré-colheita, interceptação de luz pelo dossel (IL), índice de área foliar (IAF), área foliar específica (AFE), densidade volumétrica da forragem (DVF), a proporção de folíolo, pecíolo, estolão, planta daninha e a razão folíolo:estolão foram afetadas pela espécie (Tabela 10). A altura do dossel pré-colheita, IL, IAF, AFE, a proporção de folíolo, pecíolo, estolão e a razão folíolo:estolão foram maiores no Belmonte, já a proporção de plantas daninhas foi maior no Florigraze (Tabela 10).

**Tabela 10.** Altura do dossel pré-colheita (Altura), interceptação de luz pelo dossel (IL), índice de área foliar, área foliar específicas (AFE), densidade volumétrica de forragem (DVF), proporção de folíolo (folíolo), proporção de pecíolo (pecíolo), proporção de estolão (estolão), proporção de planta daninha (daninha) e razão folíolo:estolão (F:E) da forragem acumulada das espécies *Arachis glabrata* cv. Florigraze (Florigraze) e *Arachis pintoi* cv. Belmonte (Belmonte) afetadas pela espécie durante a época quente, em Piracicaba, SP, Brasil.

Espécie	Altura cm	IL %	IAF -	AFE cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup>	DVF kg cm <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup>	Folíolo ----- %	Pecíolo ----- %	Estolão ----- %	Daninha ----- %	F:E -
Florigraze	14,4	98,4	2,6	204,9	256,8	47,5	10,0	13,2	28,1	3,5
Belmonte	13,3	99,6	4,9	266,9	371,3	65,0	15,0	16,6	2,8	3,9
<i>P</i> -valor	0,0112	0,0006	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0250
EPM <sup>‡</sup>	0,2	0,2	0,1	3,3	17,9	2,3	1,0	0,4	5,2	0,1

<sup>‡</sup>EPM: erro padrão da média.

A altura do dossel pré-colheita, IAF, AFE, IL, DVF, proporção de estolão e razão folíolo:estolão foram afetadas pela intensidade de desfolhação (Tabela 11). Na menor intensidade de desfolhação houve maior altura do dossel pré-colheita, proporção de estolão e menor AFE (Tabela 11). Provavelmente a grande homogeneidade das unidades experimentais causou a diferença da IL entre as intensidades de desfolhação, porém essa diferença estatística é biologicamente insignificante.

**Tabela 11.** Altura do dossel pré-colheita (Altura), área foliar específica (AFE), interceptação de luz pelo dossel (IL), densidade volumétrica da forragem (DVF), proporção de estolão (Estolão) e razão folíolo:estolão (F:E) da forragem acumulada das espécies *Arachis glabrata* cv. Florigraze (Florigraze) e *Arachis pintoi* cv. Belmonte (Belmonte) afetadas pela intensidade de desfolhação durante a época quente, em Piracicaba, SP, Brasil.

Intensidade de desfolhação (cm)	Altura cm	AFE cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup>	IL %	DVF kg cm <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup>	Estolão %	F:E -
4	12,1	243,2	98,8	287,88	13,8	4,0
8	15,6	228,8	99,2	340,19	16,1	3,4
<i>P</i> -valor	<0,0001	0,0001	0,0069	0,0005	<0,0001	0,0063
EPM <sup>‡</sup>	0,23	3,3	0,1	17,4	0,4	0,1

<sup>‡</sup>EPM: erro padrão da média.

### 3.3.3. Respostas agronômicas na época fria

A interação espécie  $\times$  intensidade de desfolhação afetou a altura do dossel pré-colheita ( $P = 0,0385$ ), razão folíolo:estolão ( $P = 0,0024$ ), proporção de pecíolo ( $P = 0,0043$ ), estolão ( $P = 0,0282$ ) e IAF ( $P = 0,0237$ ) (Tabela 12). No manejo com menor intensidade de desfolhação, Belmonte e Florigraze tiveram maior altura do dossel pré-colheita, Belmonte teve maior proporção de pecíolo e estolão, menor razão folíolo:estolão e o Florigraze teve menor IAF. O Belmonte apresentou maior altura do dossel pré-colheita e IAF que o Florigraze na menor intensidade de desfolhação. A proporção de pecíolo e estolão do Belmonte foi menor que do Florigraze na maior intensidade de desfolhação. Nesse manejo, a razão folíolo:estolão do Belmonte foi maior que o Florigraze (Tabela 12).

**Tabela 12.** Altura do dossel pré-colheita (Altura), razão folíolo:estolão (F:E), proporção de pecíolo (Pecíolo), proporção de estolão (Estolão) e índice de área foliar (IAF) de *Arachis glabrata* cv. Florigraze (Florigraze) e *Arachis pintoi* cv. Belmonte (Belmonte) afetado pela interação espécie  $\times$  intensidade de desfolhação (4 e 8 cm) durante a época fria, em Piracicaba, SP, Brasil.

Intensidade de desfolhação (cm)	Florigraze	Belmonte	P-valor	EPM <sup>‡</sup>
----- Altura (cm) -----				
4	6,1	6,5	0,0965	0,3
8	7,7	8,8	0,0001	
P-valor	<0,0001	<0,0001		
EPM <sup>‡</sup>	0,3			
----- F:E -----				
4	11,3	30,8	<0,0001	5,5
8	12,2	19,1	0,0735	
P-valor	0,8265	0,0041		
EPM	5,5			
----- Pecíolo (%) -----				
4	10,8	8,8	0,0005	0,3
8	10,1	10,3	0,7624	
P-valor	0,2018	0,0052		
EPM	0,3			
----- Estolão (%) -----				
4	6,6	2,8	0,0010	1,7
8	6,6	5,1	0,1341	
P-valor	0,9874	0,0017		
EPM	1,7			
----- IAF -----				
4	1,7	1,9	0,0892	0,4
8	1,3	1,9	0,0002	
P-valor	0,0034	0,7529		
EPM	0,4			

<sup>‡</sup>EPM: erro padrão da média.

A proporção de folíolo, plantas daninhas, IL, AFE e IAF foram afetadas pela espécie (Tabela 13). Belmonte teve maior IL, AFE e proporção de folíolos que o Florigraze. A proporção de plantas daninhas do Florigraze foi maior que no Belmonte (Tabela 13). A

interceptação de luz pelo dossel foi afetada ( $P = 0,0024$ ) pela intensidade de desfolhação, com valores de 90,3 e 92,5% nas alturas de 4 e 8 cm, respectivamente.

**Tabela 13.** Interceptação de luz pelo dossel (IL), área foliar específica (AFE), proporção de folíolo (Folíolo) e proporção de plantas daninhas (Daninhas) da acumulada de forragem das espécies *Arachis glabrata* cv. Florigraze (Florigraze) e *Arachis pintoi* cv. Belmonte (Belmonte) afetadas pela espécie durante a época fria, em Piracicaba, SP, Brasil.

Espécie	IL	AFE	Folíolo	Daninhas
	%	cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup>	----- % -----	
Florigraze	86,7	193,8	69,2	13,0
Belmonte	95,7	226,7	85,0	0,9
P-valor	0,0120	<0,0001	<0,0001	<0,0001
EPM <sup>‡</sup>	4,3	17,5	2,3	3,9

<sup>‡</sup>EPM: erro padrão da média.

A DVF não foi afetada pelo efeito de tratamento na época fria, provavelmente devido à semelhança no AF, e pequena variação da altura do dossel pré-colheita entre os manejos. A proporção de material morto não foi afetada ( $P > 0,05$ ) pelos fatores de tratamento, na época quente ( $0,29 \pm 0,22\%$ ) e fria ( $0,70 \pm 0,52\%$ ), possivelmente devido à alta abscisão foliar e a rápida decomposição proporcionada pela baixa relação C:N do tecido vegetal.

### 3.4. Discussão

A maior proporção de folíolo, IAF do Belmonte comparado com Florigraze possibilitou maior IL para os processos fotossintéticos do Belmonte (Tabelas 10, 12 e 13). Ainda, sua maior AFE indica que seus folíolos possuem parênquima paliçádico menos espesso, com cloroplastos maiores e dispostos perpendicularmente à luz incidente, o que permite maior difusão de CO<sub>2</sub> no mesófilo foliar (Gobbi et al., 2011; Lambers & Poorter, 1992; Ward & Woolhouse, 1986) e maior eficiência fotossintética (Beinhart, 1963). A maior AFE do Belmonte comparado ao Florigraze é uma diferença genotípica que provavelmente está associada à diferença nas características estruturais entre esses cultivares (Kiniry et al., 1999). A maior DVF e IAF do Belmonte (Tabela 10) causam maior sombreamento no dossel, dessa forma os folíolos do Belmonte com maior AFE utilizam mais eficientemente a radiação difusa disponível nos estratos do dossel. Essas características agrônômicas foram responsáveis pelo maior AF anual e sazonal do Belmonte comparado com Florigraze.

A maior proporção de plantas daninhas do Florigraze comparado ao Belmonte nas épocas quente (28,2 vs. 2,3%) e fria (13 vs. 0,9%) provavelmente está associada a rebrotação lenta do Florigraze no início do ciclo, possibilitando o povoamento da unidade experimental

por diferentes espécies de plantas daninhas, que geralmente possuem maiores taxas de crescimento e ciclo curto, como mecanismos de sobrevivência. Isso indica que o Florigraze foi pouco competitivo e que provavelmente teve a disponibilidade de fatores abióticos limitada pelas plantas daninhas, o que também contribuiu para o menor AF anual e sazonal desse cultivar (Tabela 9, 10 e 13) (Canudas et al., 1989). Essa resposta pode ser um indicativo de degradação do estande do Florigraze no longo prazo. Esta resposta pode estar, pelo menos em parte, associada à textura argilosa do solo do local experimental, muito diferente dos solos arenosos onde o Florigraze foi desenvolvido e lançado (Prine et al., 1986), embora isso seja especulativo.

O Florigraze utiliza os rizomas como principal órgão de armazenamento de reservas orgânicas (Aryal et al., 2020; Cooley et al., 2020; Saldivar et al., 1992), já o Belmonte provavelmente utiliza os estolões. Dessa forma, o menor AF anual e sazonal do Florigraze comparado o Belmonte provavelmente também está relacionado à diferença na partição de fotoassimilados entre a parte aérea e subterrânea desses cultivares (Bokhari, 1977). Os genótipos de *A. glabrata* foram identificados em regiões da América do Sul com precipitação pluvial anual irregular, o que explica a presença de rizomas como adaptação evolutiva para tolerar a restrição hídrica. Por outro lado, os genótipos de *A. pintoii* foram identificados em diversas regiões dos trópicos úmidos, devido à hidrocoria de partes vegetativas e sementes, indicando que essa espécie evoluiu com alta disponibilidade hídrica (Krapovickas & Gregory, 2007; Simpson et al., 2001). O Florigraze foi desenvolvido com enfoque em rusticidade, capaz de sobreviver durante as estações ambientais frias no estado da Flórida, EUA e rebrotar vigorosamente na estação de crescimento seguinte (Prine et al., 1986). O Belmonte, por sua vez, foi selecionado com enfoque em alta produtividade, sob condições tropicais de precipitação pluvial anual bem distribuída no sul do estado da Bahia, Brasil (Pereira et al., 1999).

As diferenças morfológicas entre Belmonte e Florigraze refletem o histórico evolutivo dessas forrageiras (Gregory et al., 1980). Isso, em parte, explica a menor proporção de folíolos, IAF e AFE do Florigraze (Tabela 10 e 12), pois essas características possibilitam maior economia de água pela planta, inclusive porque a menor AFE indica a presença de camadas de parênquima paliádico mais espesso, o que confere ao folíolo maior tolerância à estresses térmicos (Nautiyal et al., 2002, 2008). Essas características implicam em taxas de crescimento conservadoras (Peters et al., 2000). Por outro lado, a maior proporção de folíolos, IAF, IL e AFE (Tabela 10 e 12) do Belmonte possibilita maior captação e eficiência na utilização de fatores abióticos, possibilitando rápida colonização da área de cultivo tornando-o

mais competitivo com plantas daninhas e mais produtivo (Azevedo et al., 2011; Lessa De Assis et al., 2008). Assim, o Belmonte indica ser um ideótipo de leguminosa forrageira para sistemas de produção intensiva de forragem e o Florigraze parece ser uma opção mais interessante para sistemas agropecuários de regiões com disponibilidade hídrica baixa ou irregular (Ocumpaugh, 1990).

Durante a época quente, provavelmente a maior altura do dossel pré-colheita na menor intensidade de desfolhação intensificou o sombreamento, causando maior proporção de estolão e conseqüentemente maior DVF (Tabela 11) devido alongamento de estolões para modificar a arquitetura da planta e melhorar a distribuição de luz no dossel (Holmes, 1983; Rodrigues da Cruz et al., 2020). Por outro lado, na maior intensidade de desfolhação, provavelmente houve maior decapitação de meristemas apicais e incidência de luz na base do dossel, aumentando a densidade populacional de plantas (Deregibus et al., 1983; Wareing & Smith, 1983), cronologicamente mais jovens e com maior razão folíolo:estolão e AFE (Tabela 11). O que possibilitou maior eficiência na utilização de fatores abióticos (Gautier et al., 1999; Lara & Pedreira, 2011; Valladares et al., 2000; Yao et al., 2016). Essas respostas evidenciam a adaptação plástica do dossel de Florigraze à intensidade de desfolhação nos trópicos úmidos e reforçam as evidências científicas sobre a flexibilização das estratégias de desfolhação das espécies de *Arachis perene* (Carvalho et al., 2020; Kröning et al., 2019; Silva et al., 2017).

Durante a época fria, o menor AF nos dosséis manejados com menor intensidade de desfolhação ocorreu devido ao menor número de ciclos nesse manejo, pois a partir do segundo ciclo de rebrotação da época fria, o AF cessou. Essa resposta deve estar relacionada as variações sazonais na massa de forragem do resíduo (Lara et al., 2022), porém isso não é bem compreendido para espécies forrageiras de *Arachis perene*.

Durante a época fria, provavelmente a semelhança ( $P > 0,05$ ) no IAF entre os manejos associada à maior altura do dossel pré-colheita do Belmonte nos dosséis manejados com menor intensidade de desfolhação (Tabela 12), provocou maior sombreamento. Em resposta, houve maior proporção de pecíolo e estolão para melhorar a distribuição de luz no dossel (Hérait-Bron et al., 2001). Esse padrão de resposta não ocorreu no Florigraze (Tabela 12), provavelmente devido ao nível de sombreamento interespecífico causado pela alta proporção de plantas daninhas ( $P > 0,05$ ) nas duas intensidades de desfolhação.

A maior razão folíolo:estolão do Belmonte na maior intensidade de desfolhação na época fria está associada a menor altura do dossel pré-colheita (Tabela 12). Dessa forma, o AF correspondeu ao estrato superior do dossel de aproximadamente 2,3 cm, onde predomina o componente folíolo. O menor IAF do Florigraze no manejo com menor intensidade de

desfolhação deve estar associado a redução do crescimento e à senescência pronunciada de folíolos nesse manejo, conforme observação de campo.

### 3.5. Conclusões

O Florigraze não é uma opção tão boa para produção intensiva de forragem sob irrigação nos trópicos úmidos comparado o Belmonte. A maior proporção de plantas daninhas no dossel do Florigraze indica baixa adaptação desse cultivar às condições do presente estudo. A diferença na proporção de folíolo, IAF, AFE e IL entre Florigraze e Belmonte indica que os cultivares possuem aptidões agrônômicas distintas. O Belmonte é mais recomendado para sistemas de produção intensiva de forragem sob irrigação e o Florigraze para sistemas com menor disponibilidade hídrica. A intensidade de desfolhação não afetou o AF durante a época quente. Durante a época quente, a maior intensidade de desfolhação apresetou menor proporção de estolão e maior razão folíolo:estolão.

### Referências

- Beinhart, G. (1963). Effects of Environment on Meristematic Development, Leaf Area, and Growth of White Clover. *Crop Science*, 3(3), 209–213. <https://doi.org/10.2135/CROPSCI1963.0011183X000300030010X>
- Bircham, J. S., & Hodgson, J. (1983). The influence of sward condition on rates of herbage growth and senescence in mixed swards under continuous stocking management. *Grass and Forage Science*, 38, 323–331. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1983.tb01656.x>
- Bokhari, U. G. (1977). Regrowth of Wertern Wheatgrass Utiling 14C-Labelled Assimilates Stored in Belowground Parts. *Plant and Soil*, 48, 115–127. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/BF00015162>
- Butler, T. J., Muir, J. P., Islam, M. A., & Bow, J. R. (2007). Rhizoma peanut yield and nutritive value are influenced by harvest technique and timing. *Agronomy Journal*, 99(6), 1559–1563. <https://doi.org/10.2134/agronj2007.0035>
- Carvalho, L. R., Pereira, L. E. T., Silva, S. C. (2020). Rotational grazing management of forage peanut. *Experimental Agriculture*, 56(4), 495–505. <https://doi.org/10.1017/S0014479720000113>

- Cooley, K. D., Sollenberger, L. E., Kohmann, M. M., Blount, A. S., Dubeux, J. C. B., Silveira, M. L., da Silva, L. S., & Aryal, P. (2020). Rhizoma peanut herbage and root–rhizome responses to extended regrowth periods. *Crop Science*, 60(5), 2802–2813. <https://doi.org/10.1002/CSC2.20236>
- Davies, Alison, & Thomas, H. (1983). Rates of Leaf and Tiller Production in Young Spaced Perennial Ryegrass Plants in Relation to Soil Temperature and Solar Radiation on JSTOR. *Annals of Botany*, 51(5), 519–597.
- Deregibus, A., Sanchez, R. A., & Casal, J. J. (1983). Effects of Light Quality on Tiller Production in *Lolium* spp. *Plant Physiology*, 72, 900–902. <https://doi.org/doi:10.1104/pp.72.3.900>.
- Ferreira, A. L., Maurício, R. M., Pereira, L. G. R., Azevêdo, J. A. G., Oliveira, L. S., & Pereira, J. M. (2012). Nutritional divergence in genotypes of forage peanut. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41(4), 856–863. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982012000400005>
- Ferreira, A. S., Pedreira, C. G. S., & Marassatto, C. M. (2013). Sward structural characteristics of perennial peanut genotypes as affected by harvest frequency. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, 1(1), 74–75. [https://doi.org/10.17138/TGFT\(1\)74-75](https://doi.org/10.17138/TGFT(1)74-75)
- Fisher, M. J., & Cruz, P. (1994). Some ecophysiological aspects of *Arachis pintoi*. Em P.C. Kerridge & B. Hardy (Orgs.), *Biology and Agronomy of forages Arachis*. CIAT (p. 53–70).
- Gobbi, K. F., Garcia, R., Ventrella, M. C., Neto, A. F. G., & Rocha, G. C. (2011). Área foliar específica e anatomia foliar quantitativa do capim-braquiária e do amendoim-forrageiro submetidos a sombreamento. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40(7), 1436–1444. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982011000700006>
- Hassen, A., Talore, D. G., Tesfamariam, E. H., Friend, M. A., & Mpanza, T. D. E. (2017). Potential use of forage-legume intercropping technologies to adapt to climate-change impacts on mixed crop-livestock systems in Africa: a review. *Regional Environmental Change*, 17(6), 1713–1724. <https://doi.org/10.1007/S10113-017-1131-7>
- Héraut-Bron, V., Robin, C., Varlet-Grancher, C., & Guckert, A. (2001). Phytochrome Mediated Effects on Leaves of White Clover: Consequences for Light Interception by the Plant under Competition for Light. *Annals of Botany*, 88(4), 737–743. <https://doi.org/10.1006/ANBO.2001.1510>
- Hodgson, J. (1966). The Frequency of Defoliation of Individual Tillers in a Set-Stocked Sward. *Grass and Forage Science*, 21(4), 258–263. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2494.1966.TB00483.X>
- Holmes, M. G. (1983). Perception of shade. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 303(1116), 503–521.

- Hutchings, M. J., & de Kroon, H. (1994). Foraging in Plants: The Role of Morphological Plasticity in Resource Acquisition. *Advances in Ecological Research*, 25(C), 159–238. [https://doi.org/10.1016/S0065-2504\(08\)60215-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(08)60215-9)
- Kendall, W. A., Shaffer, J. A., & Hill, R. R. (1994). Effect of temperature and water variables on the juvenile growth of lucerne and red clover. *Grass and Forage Science*, 49(3), 264–269. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2494.1994.TB02000.X>
- Kröning, A. B., Costa, O. A. D., Farias, P. P., Martins, L. A., Ott, O. G., Macari, S., & Ferreira, O. G. L. (2019). Grazing criteria for perennial peanut (*Arachis pintoii* cv. Amarelo) consumed by sheep in rotational stocking. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 71(3), 997–1004. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-10506>
- Lambers, H., & Poorter, H. (1992). Inherent Variation in Growth Rate Between Higher Plants: A Search for Physiological Causes and Ecological Consequences. *Advances in Ecological Research*, 23(C), 187–261. [https://doi.org/10.1016/S0065-2504\(08\)60148-8](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(08)60148-8)
- Lessa De Assis, G. M., Ferreira Valentim, J., Marques, J., Júnior, C., Araújo De Azevedo, J. M., & Ferreira, A. S. (2008). Seleção de genótipos de amendoim forrageiro para cobertura do solo e produção de biomassa aérea no período de estabelecimento utilizando-se metodologia de modelos mistos 1. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37(11), 1905–1911. <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/S1516-35982008001100001>
- Littell, R. C., Milliken, G. A., Stroup, W. W., Wolfinger, R. D., & Shabenberger, O. (2006). SAS for Mixed Models, Second Edition. SAS for Mixed Models. (2nd Ed.). SAS Institute., 363–365. <https://doi.org/10.1080/10543400601001600>
- Mittelman, A., Amarante, L., Pezzopane, J. R. M., Matta, F. de P., Fávero, A. P., & Silva, J. L. S. da. (2013). Características morfoanatômicas e fisiológicas de gramíneas associadas à tolerância ao frio e à geada. Em F. H. D. de Souza, F. de P. Matta, & A. P. Fávero (Orgs.), *Construção de ideótipos de gramíneas para usos diversos* (1o ed, p. 81–102). Embrapa Pecuária Sudeste.
- Mullenix, M. K., Sollenberger, L. E., Wallau, M. O., Blount, A. R., Vendramini, J. M. B., & Silveira, M. L. (2016). Herbage Accumulation, Nutritive Value, and Persistence Responses of Rhizoma Peanut Cultivars and Germplasm to Grazing Management. *Crop Science*, 56(2), 907–915. <https://doi.org/10.2135/CROPSCI2015.08.0507>
- Mullenix, M. Kimberly., Sollenberger, L. E., Wallau, Marcelo. O., Rowland, Diane. L., Blount, Ann. R., Vendramini, João. M. B., & Silveira, Maria. L. (2016). Sward Structure, Light Interception, and Rhizome-Root Responses of Rhizoma Peanut Cultivars and Germplasm to Grazing Management. *Crop Science*, 56, 899–906. <https://doi.org/10.2135/cropsci2015.08.0508>
- Rodrigues da Cruz, P. J., Santos, M. V., Silva, L. D. da, Ferreira, E. A., Magalhães, M. A., Martuscello, J. A., & Fonseca, D. M. da. (2020). Morphogenetic, physiological, and productive of forage peanut responses to shading. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 55, 1–7. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.PAB2020.V55.01746>

- Rolim, G. de S., Sentelhas, P. S., & Barbieri, V. (1998). Spreadsheets in EXCEL™ environment to calculation of water balance: normal, sequential, culture, and potential, real productivity. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 6, 133–137.
- Saldívar, A. J., Ocumpaugh, W. R., Gildersleeve, R. R., & Prine, G. M. (1992). Total Nonstructural Carbohydrates and Nitrogen of ‘Florigraze’ Rhizoma Peanut. *Agronomy Journal*, 84(3), 439–444.  
<https://doi.org/10.2134/AGRONJ1992.00021962008400030017X>
- Santos, H. G., Jacomine, P. K. T., Anjos, L. H. C., Oliveira, V. Á., Oliveira, J. B., Coelho, M. R., Lumberras, J. F., & Cunha, T. J. F. (2018). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Em Rio de Janeiro: Embrapa Solos-SPI: Vol. 2 ed. Embrapa Solos, 2006.
- SAS Institute. (2013). SAS: deployment wizard and SAS deployment manager 9.4: User’s guide.
- Schultze-Kraft, R., Rao, I. M., Peters, M., Clements, R. J., Bai, C., & Liu, G. (2018). Tropical forage legumes for environmental benefits: An overview Leguminosas forrajeras tropicales para beneficios ambientales: Una sinopsis. *Tropical Grasslands-Forrajeras Tropicales*, 6(1), 1–14. [https://doi.org/10.17138/TGFT\(6\)1-14](https://doi.org/10.17138/TGFT(6)1-14)
- Silva, G. P., Fialho, C. A., Carvalho, L. R., Fonseca, L., Carvalho, P. C. F., Bremm, C., Silva, S. C. (2017). Sward structure and short-term herbage intake in *Arachis pintoi* cv. Belmonte subjected to varying intensities of grazing. *The Journal of Agricultural Science*, 156(1), 92–99. <https://doi.org/10.1017/S0021859617000855>
- SOIL SURVEY STAFF. (1990). Keys to Soil Taxonomy (4 ed.).
- Thornthwaite, C. W., & Mather, J. R. (1955). The Water Balance. Laboratory of Climatology.
- Wan, C., & Sosebee, R. E. (1998). Tillering responses to red: far-red light ratio during different phenological stages in *Eragrostis curvula*. *Environmental and Experimental Botany*, 40(3), 247–254. [https://doi.org/10.1016/S0098-8472\(98\)00044-6](https://doi.org/10.1016/S0098-8472(98)00044-6)
- Ward, D. A., & Woolhouse, H. W. (1986). Comparative effects of light during growth on the photosynthetic properties of NADP-ME type C4 grasses from open and shaded habitats. II. Photosynthetic enzyme activities and metabolism. *Plant, Cell & Environment*, 9(4), 271–277. <https://doi.org/10.1111/1365-3040.EP11611683>
- Wareing, P. F., & Smith, H. (1983). Photoperception by plants. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 303(1116), 345–536.
- Welles, J. M., & Norman, J. M. (1991). Instrument for Indirect Measurement of Canopy Architecture. *Agronomy Journal*, 83(5), 818–825.  
<https://doi.org/10.2134/AGRONJ1991.00021962008300050009X>
- Wolfinger, R. (1993). Generalized linear mixed models a pseudo-likelihood approach. *Communications in Statistics – Simulation and Computation*, 22(4), 1079–1106.  
<https://doi.org/10.1080/03610919308813143>

Yao, H., Zhang, Y., Yi, X., Zhang, X., & Zhang, W. (2016). Cotton responds to different plant population densities by adjusting specific leaf area to optimize canopy photosynthetic use efficiency of light and nitrogen. *Field Crops Research*, 188, 10–16. <https://doi.org/10.1016/J.FCR.2016.01.012>

## Material suplementar



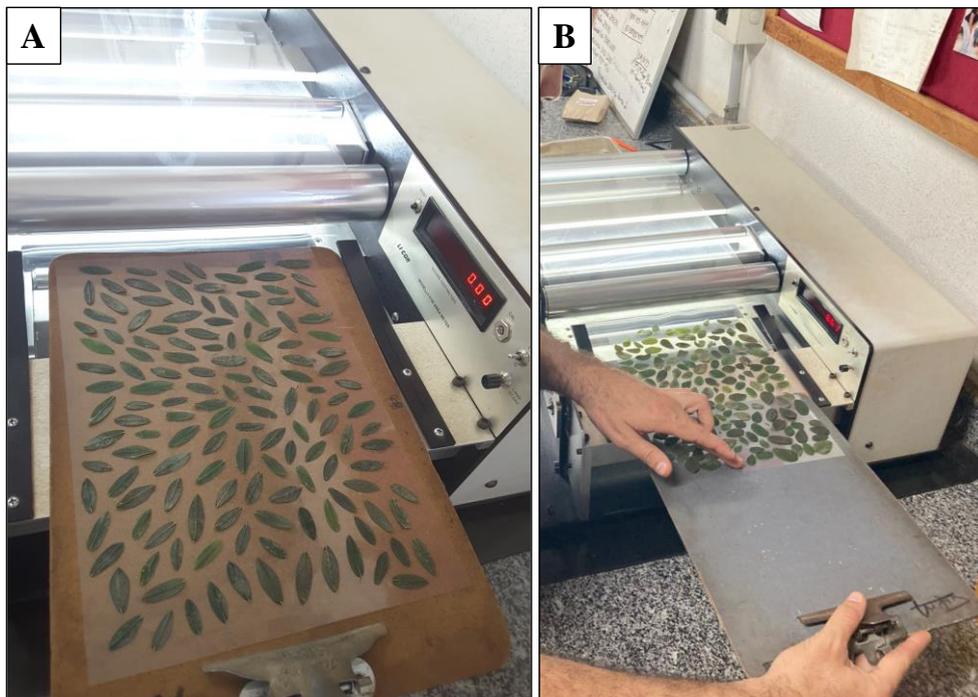
**Figura 6.** Medição da interceptação de luz pelo dossel com analisador de dossel modelo LAI-2000 (LI-COR, Lincoln, Nebraska, EUA). Leitura de referência, acima do dossel (A) e leitura no inteiro do dossel, ao nível do solo (B).



**Figura 7.** Coleta da massa de forragem acima da altura do resíduo (meta de manejo: 4 e 8 cm) usando moldura de 0,25 m<sup>2</sup> em unidade experimental de *Arachis pinto* cv. Belmonte (A). Imagem de parte da massa de forragem pré e pós-corte presente dentro da moldura em unidade experimental de *Arachis glabrata* cv. Florigraze (B).



**Figura 8.** Subamostra de *Arachis pintoi* cv. Florigraze após separação morfológica nos componentes: folíolo (A); pecíolo (B); estolão (C); alíquota de folíolo para obtenção da área foliar (D); material morto (E) e plantas daninhas (F).



**Figura 9.** Folíolos de *Arachis glabrata* cv. Florigraze (A) e *Arachis pintoi* cv. Belmonte (B) dispostos em lâmina de acetato para leitura da área em integrador de área foliar (modelo LAI-3100; LI-COR Biosciences, Lincoln, NE, EUA).



#### 4. PARAMETRIZAÇÃO DO MODELO CROPGRO-PERENNIAL FORAGE PARA SIMULAÇÃO DO CRESCIMENTO DE *Arachis pintoi* CV. BELMONTE E *Arachis glabrata* CV. FLORIGRAZE

##### Resumo

As espécies de *Arachis perene* se destacam entre as leguminosas forrageiras, pois possuem características morfofisiológicas, que conferem alta persistência, além de produtividade, qualidade e realização de serviços ecossistêmicos. No entanto, estudos realizados para adaptar modelos de cultivo para simular o crescimento de espécies de *Arachis perene* são inexistentes. O objetivo deste estudo foi parametrizar o modelo CROPGRO-Perennial Forage da alfafa para simular o crescimento do *Arachis pintoi* Krapov. W. C. & Greg cv. Belmonte (Belmonte), espécie não rizomatosa, e *Arachis glabrata* Benth cv. Florigraze (Florigraze), espécie rizomatosa. Os dados utilizados foram obtidos em parcelas irrigadas, e manejadas sob corte. As espécies de *Arachis perene*, colhidas a cada 42 dias, foram manejadas sob duas intensidades de desfolhação representadas pela altura do resíduo (4 cm [maior intensidade] e 8 cm [menor intensidade]), durante dois anos em Piracicaba, São Paulo, Brasil. Foi usado um delineamento inteiramente casualizado e um esquema de parcela subdividida, onde as espécies foram alocadas nas parcelas e as intensidades de desfolhação nas subparcelas, com seis repetições. O modelo foi capaz de simular o crescimento do Belmonte na maior intensidade de desfolhação: massa de forragem ( $R^2 = 0,89$ ;  $d = 0,97$ ), massa de folíolo ( $R^2 = 0,84$ ;  $d = 0,95$ ), massa de pecíolo + estolão ( $R^2 = 0,83$ ;  $d = 0,95$ ), massa de coroa + semente ( $R^2 = 0,87$ ;  $d = 0,90$ ), massa de raiz ( $R^2 = 0,58$ ;  $d = 0,66$ ) e na menor intensidade de desfolhação: massa de forragem ( $R^2 = 0,88$ ;  $d = 0,96$ ), massa de folíolo ( $R^2 = 0,76$ ;  $d = 0,91$ ), massa de pecíolo + estolão ( $R^2 = 0,86$ ;  $d = 0,96$ ), massa de coroa + semente ( $R^2 = 0,81$ ;  $d = 0,91$ ), massa de raiz ( $R^2 = 0,44$ ;  $d = 0,60$ ). O modelo foi capaz de simular o crescimento do Florigraze na maior intensidade de desfolhação: massa de forragem ( $R^2 = 0,72$ ;  $d = 0,91$ ), massa de folíolo ( $R^2 = 0,67$ ;  $d = 0,88$ ), massa de pecíolo + estolão ( $R^2 = 0,61$ ;  $d = 0,87$ ), massa de rizoma ( $R^2 = 0,21$ ;  $d = 0,31$ ), massa de raiz ( $R^2 = 0,01$ ;  $d = 0,35$ ) e na menor intensidade de desfolhação: massa de forragem ( $R^2 = 0,61$ ;  $d = 0,87$ ), massa de folíolo ( $R^2 = 0,63$ ;  $d = 0,88$ ), massa de pecíolo + estolão ( $R^2 = 0,25$ ;  $d = 0,70$ ), massa de rizoma ( $R^2 = 0,29$ ;  $d = 0,32$ ), massa de raiz ( $R^2 = 0,00$ ;  $d = 0,45$ ). O modelo conseguiu simular com realismo o padrão sazonal de crescimento do Belmonte e Florigraze, porém melhorias devem ser realizadas, para que o modelo simule melhor a retomada do crescimento no verão agrostológico e para melhorar a precisão e acurácia das simulações do Florigraze.

Palavras-chave: Amendoim forrageiro perene, Modelagem, Intensidade de desfolhação

## Abstract

Perennial *Arachis* species stand out among forage legumes due to their morphophysiological characteristics, which confer them high persistence, in addition to yield, quality, and ecosystem services. However, there is a lack of studies adapting cropping models to simulate growth of perennial *Arachis* species. The objective of this study was to parameterize the CROPGRO - Perennial Forage model of alfalfa to simulate the growth of *Arachis pintoii* Krapov. W. C. & Greg cv. Belmonte (Belmonte), non-rhizomatous, and *Arachis glabrata* Benth cv. Florigraze (Florigraze), rhizomatous. The data used were obtained from small irrigated plots managed under cutting. *Arachis* perennial species, harvested every 42 days, were managed under two defoliation intensities represented by the residue height (4 cm [higher intensity] and 8 cm [lower intensity]), during two years in Piracicaba, São Paulo, Brazil. A completely randomized design in split-plot scheme was used, where species were allocated in the plots and defoliation intensities in the subplots, in six repetitions. The model was able to simulate the growth of Belmonte at the highest defoliation intensity: forage mass ( $R^2 = 0.89$ ;  $d = 0.97$ ), leaflet mass ( $R^2 = 0.84$ ;  $d = 0.95$ ), petiole + stolon mass ( $R^2 = 0.83$ ;  $d = 0.95$ ), crown + seed mass ( $R^2 = 0.87$ ;  $d = 0.90$ ), and root mass ( $R^2 = 0.58$ ;  $d = 0.66$ ), and at the lowest defoliation intensity: forage mass ( $R^2 = 0.88$ ;  $d = 0.96$ ), leaflet mass ( $R^2 = 0.76$ ;  $d = 0.91$ ), petiole + stolon mass ( $R^2 = 0.86$ ;  $d = 0.96$ ), crown + seed mass ( $R^2 = 0.81$ ;  $d = 0.91$ ), and root mass ( $R^2 = 0.44$ ;  $d = 0.60$ ). The model was able to simulate Florigraze growth at the highest defoliation intensity: forage mass ( $R^2 = 0.72$ ;  $d = 0.91$ ), leaflet mass ( $R^2 = 0.67$ ;  $d = 0.88$ ), petiole + stolon mass ( $R^2 = 0.61$ ;  $d = 0.87$ ), rhizome mass ( $R^2 = 0.21$ ;  $d = 0.31$ ), and root mass ( $R^2 = 0.01$ ;  $d = 0.35$ ), and at the lowest defoliation intensity: forage mass ( $R^2 = 0.61$ ;  $d = 0.87$ ), leaflet mass ( $R^2 = 0.63$ ;  $d = 0.88$ ), petiole + stolon mass ( $R^2 = 0.25$ ;  $d = 0.70$ ), rhizome mass ( $R^2 = 0.29$ ;  $d = 0.32$ ), and root mass ( $R^2 = 0.00$ ;  $d = 0.45$ ). The model was able to realistically simulate the seasonal growth pattern of Belmonte and Florigraze, however improvements should be made, so that the model better simulates the resumption of growth in the agrostological summer and to improve precision and accuracy of Florigraze simulations.

Keywords: Perennial forage peanut, Modeling, Defoliation intensity

### 4.1. Introdução

O interesse pela utilização de leguminosas nos sistemas agropecuários é crescente. O aumento no preço dos adubos nitrogenados, a maior eficiência do uso do nitrogênio (N) quando seu aporte ocorre via fixação biológica de N (Guerra et al., 2022; Santos et al., 2020; Wang et al., 2019) a melhoria nas características químicas físicas e biológicas do solo e a realização de serviços ecossistêmicos pelas leguminosas (Berg & Smalla, 2009; Kohmann et al., 2019; Muir et al., 2011) são alguns dos fatores responsáveis pelo interesse. As espécies de amendoim forrageiro (*Arachis* spp.) estão entre as principais leguminosas forrageiras

utilizadas nos sistemas agropecuários tropicais e subtropicais, devido à sua alta produtividade (Costa et al., 2020), qualidade (Fernandes et al., 2017; Vasco et al., 2021a) e principalmente pelos seus mecanismos morfofisiológicos que lhes conferem grande tolerância à desfolhação e persistência do dossel forrageiro (Kröning et al., 2019; Silva et al., 2017). *A. pintoi* cv. Belmonte e o *A. glabrata* cv. Florigraze são as espécies forrageiras do gênero (não rizomatosa e rizomatosa, respectivamente) mais cultivadas nas regiões tropicais e subtropicais, respectivamente (Quesenberry et al., 2010; Simeão et al., 2016).

Entretanto, mesmo diante das inúmeras vantagens, o cultivo do amendoim forrageiro ainda é modesto, em parte devido à escassez de informações sobre as respostas produtivas e ecofisiológicas dessas forrageiras nos agroecossistemas. Dentre as tecnologias disponíveis para a geração dessas informações, a utilização de modelos de simulação tem despertado o interesse de pesquisadores e do setor produtivo. Essa tecnologia permite a racionalização das respostas agrônomicas resultantes das interações entre os componentes de um agroecossistema, possibilitando a geração de informações que auxiliam no planejamento destes (Barioni et al., 2011).

O CROPGRO, disponível na plataforma do *Decision Support System for Agrotechnology Transfer* (DSSAT), é um modelo baseado em processos, com estrutura modular que permite a inclusão de novas culturas sem alterar códigos-fonte do computador, por meio da modificação de dados em arquivos de espécies. O CROPGRO é composto por sub-modelos capazes de simular o balanço hídrico, o balanço de N do solo, a dinâmica da matéria orgânica no solo, processos fisiológicos, partição de fotoassimilados nos órgãos vegetais e o efeito de pragas e doenças sobre as culturas. Isso permite a realização de análises sistêmicas das respostas de culturas a variações ambientais (Boote et al., 1998; Jones et al., 2003).

A primeira adaptação do CROPGRO para uma forrageira foi realizada por Kelly (1995) para simular o crescimento do capim Pensacola (*Paspalum notatum* Flüggé) num sistema de rotação de culturas com amendoim (*Arachis hypogaea* L.). Os arquivos utilizados nessas simulações foram lançados como modelo de pastagens no DSSAT versão 3.5, o marco inicial na simulação de plantas forrageiras no DSSAT. Apesar disso, existiam deficiências estruturais que impediam a reprodução de processos fisiológicos de culturas perenes com as forrageiras. Rymph et al. (2004) propuseram modificações que consideraram o crescimento dos órgãos de reserva, o armazenamento e utilização de composto de reserva e o início da rebrotação após a desfolha, por meio da massa do resíduo e proporção de folhas remanescentes, aspectos importantes para forrageiras. Essas proposições resultaram no

modelo CROPGRO-Perennial Forage, com maior poder preditivo e capaz de simular respostas agronômicas e processos morfofisiológicos de várias espécies forrageiras perenes de forma mais fidedigna.

O CROPGRO-Perennial Forage já foi adaptado e utilizado para simular respostas agronômicas de várias forrageiras: *Urochloa brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) R. D. Webster cv. Xaraés (Pedreira et al., 2011); [*Panicum maximum* Jacq. syn. *Megathyrsus maximus* (Jacq.) BK Simon & SWL Jacobs] cv. Tazânia (Lara et al., 2012); *Urochloa brizantha* cv. Marandu (Pequeno, Pedreira, & Boote, 2014; Santos et al., 2022; Santos et al., 2019); *Cynodon dactylon* cv. Tifton 85 e *Urochloa híbrido* cv. Mulato II (Pequeno et al., 2018); [*Brachiaria* (syn. *Urochloa*) *brizantha* cv. BRS Piatã] (Bosi et al., 2020); [*Panicum maximum* Jacq. syn. *Megathyrsus maximus* (Jacq.) BK Simon & SWL Jacobs] cultivares Tanzânia e Mombaça (Brunetti et al., 2021). Essas diversas adaptações foram possíveis devido ao código interno genérico do CROPGRO-Perennial Forage, que usa arquivos de entrada que definem características de espécies e atributos de cultivares para representar diferenças intrínsecas ao genótipo a nível de espécie e cultivares.

O CROPGRO-PF já foi utilizado para simular o crescimento de várias leguminosas anuais, como grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.) (Singh & Virmani, 1996), soja (*Glycine max* L. Merr.), amendoim (*Arachis hypogaea* L.), feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) (Boote et al., 1998); mucuna (*Mucuna Pruriens*) (Hartkamp et al., 2002), fava (*V. Faba* L. cv. major e *V. Faba* cv. Equina L.) (Boote et al., 2002). Até o momento poucas leguminosas forrageiras tiveram suas respostas produtivas modeladas com o CROPGRO-Perennial Forage. Tais como, o feijão-guandú (*Cajanus cajan* [(L.) Huth]) (Alderman et al., 2015) e alfafa (*Medicago sativa* [(L.) f. gaetula Urb. L.] (Jing et al., 2020; Malik et al., 2018).

Apesar da importância e potencial de utilização global das leguminosas de *Arachis* perene, são inexistentes modelos mecanísticos e estudos de genótipos de *Arachis* spp. manejados sob condições controladas, que possam gerar os parâmetros necessários para a realização de simulações realistas das respostas produtivas da forrageira, o que pode auxiliar no processo de recomendação do genótipo por meio de abordagens sistêmicas. Os objetivos deste estudo foram 1) parametrizar o modelo CROPGRO-PF para simular o crescimento do Belmonte e Florigraze manejados sob duas intensidades de desfolhação, usando dados experimentais colhidos no sudeste do Brasil, 2) avaliar e comparar o desempenho das simulações do Belmonte e Florigraze nas duas intensidades de desfolhação.

## 4.2. Material e Métodos

### 4.2.1. Local da pesquisa, tratamentos e design experimental

Os dados utilizados para calibrar e validar o modelo CROPGRO-Perennial Forage foram obtidos em um ensaio de campo realizado na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo (ESALQ- USP), em Piracicaba, estado de São Paulo, Brasil (22°42’19” S, 47°38’28” W, 516 m alt). O clima do local é do tipo Cwa (mesotérmico úmido subtropical de inverno seco) segundo a classificação de Köppen-Geiser (Peel et al., 2007). O solo da área experimental é classificado como Nitossolo Vermelho Eutroférico típico (Santos et al., 2018) de alta fertilidade, ou Kandiudalfic Eutrudox (SOIL SURVEY STAFF, 1990). Foram quantificadas proporções de argila, silte e areia de 431, 202 e 367 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente no solo da área experimental. As forrageiras estudadas, *A. glabrata* cv. Florigraze e *A. pintoi* cv. Belmonte, foram implantadas em março de 2011 e após o estabelecimento foram manejadas sob corte em intervalos desconhecidos, até o início desse estudo (fevereiro de 2020).

O período experimental foi de fevereiro de 2020 até março de 2022, totalizando 18 ciclos de rebrotação ininterruptos. As forrageiras foram manejadas sob duas intensidades de desfolhação, usando como critério a altura do resíduo (4 cm [maior intensidade] e 8 cm [menor intensidade]). Foram realizados cortes mecânicos em intervalos fixos de 42 dias, assim nessas datas toda a massa de forragem presente acima de 4 e 8 cm de altura foi cortada e retirada da subparcela, para o início do ciclo consecutivo. Foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado com um esquema de parcelas subdivididas, onde as espécies foram alocadas nas parcelas e as intensidades de desfolhação (alturas do resíduo) nas subparcelas. Foram utilizadas seis repetições, unidades experimentais com dimensões de 4,5 × 4,0 m.

Amostras de solo (0 - 20 cm de profundidade) foram coletadas nos quatro tratamentos, em 8 de janeiro de 2020 (Ano 1) e 2 de agosto de 2021 (Ano 2) para análise da fertilidade e recomendação de adução conforme as exigências nutricionais das forrageiras (Quaggio et al., 2022; Rao & Kerridge, 1994). No ano 1, as características químicas do solo (0-20 cm) foram: P = 51 mg dm<sup>-3</sup> (resina); matéria orgânica = 30 g dm<sup>-3</sup>; pH (0,01 mol L<sup>-1</sup> CaCl<sub>2</sub>) = 5; K = 3 mmolc dm<sup>-3</sup>; Ca = 37 mmolc dm<sup>-3</sup>; Mg = 12 mmolc dm<sup>-3</sup>; H + Al = 34 mmolc dm<sup>-3</sup>; soma de bases = 50 mmolc dm<sup>-3</sup>; capacidade de troca catiônica = 85 mmolc dm<sup>-3</sup>; e saturação por bases = 60%. As proporções de argila, silte e areia foram 431, 202 e 367 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. No Ano 1 não foi necessário adubar o

experimento. No ano 2, as características químicas do solo (0-20 cm) foram: P = 48mg dm<sup>-3</sup> (método de extração de resina de troca iônica); matéria orgânica = 33 g dm<sup>-3</sup>; pH (0,01 mol L<sup>-1</sup> CaCl<sub>2</sub>) = 5; K = 1,3 mmolc dm<sup>-3</sup>; Ca = 66 mmolc dm<sup>-3</sup>; Mg = 16 mmolc dm<sup>-3</sup>; H + Al = 47 mmolc dm<sup>-3</sup>; soma de bases = 83 mmolc dm<sup>-3</sup>; capacidade de troca catiônica = 130 mmolc dm<sup>-3</sup>; e saturação por bases = 64%. No ano 2, foi observado necessidades de potássio e fósforo distintas entre os tratamentos. Para não incluir uma fonte de variação no experimento, a dose de cada adubo foi padronizada, tomando como base a maior demanda por nutriente. Assim, em 02/10/2021 as unidades experimentais foram adubadas com doses equivalentes a 1 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico, 1 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso agrícola, 167 kg ha<sup>-1</sup> (30 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) de superfosfato simples e 84 kg ha<sup>-1</sup> (50 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O) de cloreto de potássio.

Como a época fria no local é caracterizada por temperaturas amenas e porque as leguminosas forrageiras podem ser comercializadas como feno de alta qualidade e usadas para suplementar animais com altas exigências de nutrientes, as parcelas foram irrigadas usando um sistema de irrigação automática por aspersão. Tensiômetros instalados a 20 cm de profundidade foram usados para monitorar o estado de umidade do solo. A área foi irrigada (lâmina de irrigação: 7 a 14 mm) sempre que a tensão de água no solo atingia 30 kPa (Tabela 14). As informações meteorológicas do período experimental foram registradas em estação meteorológica localizado a 2 km da área experimental (Tabela 14).

**Tabela 14.** Dados meteorológicos mensais durante dois anos e a média histórica de Piracicaba, São Paulo, Brasil.

Variáveis meteorológicas	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
	-----2020-----											
Temperatura máx. (°C)	31	29	30	29	27	27	28	28	33	33	31	30
Temperatura mín. (°C)	20	20	18	15	10	14	12	12	16	18	17	20
Chuva (mm)	180	399	72	3	13	70	76	54	13	28	180	135
Irrigação (mm)	-	-	47	101	109	61	109	84	146	145	81	37
	-----2021-----											
Temperatura máx. (°C)	32	31	32	28	27	26	26	29	33	29	31	30
Temperatura mín. (°C)	21	19	19	15	12	12	8	13	16	17	17	18
Chuva (mm)	172	94	143	30	23	13	23	12	4	132	146	141
Irrigação (mm)	98	95	113	188	112	81	92	119	129	66	96	74
	-----2022-----											
Temperatura máx. (°C)	30	31	32	30	26	25	29	27	27	30	30	30
Temperatura mín. (°C)	20	19	20	17	12	12	12	12	14	17	16	19
Chuva (mm)	405	132	125	22	46	14	1	28	88	110	66	209
Irrigação (mm)	8	94	59	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-----Média histórica <sup>a</sup> -----											
Temperatura máx. (°C)	30	30	30	29	26	25	25	27	28	30	30	30
Temperatura mín. (°C)	19	20	18	16	12	11	10	11	14	16	17	18
Chuva (mm)	228	180	141	66	54	44	28	30	61	109	136	197

<sup>a</sup>Média histórica de 1917 a 2021.

## **4.2.2. Coleta dos dados de campo usados na calibração e validação do modelo**

### **4.2.2.1. Quantificação da massa de forragem acima do resíduo**

A massa de forragem acima do resíduo foi quantificada aos 14, 28 e 42 dias (final do ciclo de rebrotação) de crescimento usando duas molduras 0,25 m<sup>2</sup> por subparcela. As molduras foram colocadas em locais representativos da condição média do dossel, excluindo-se as bordaduras (20 cm), conforme avaliação visual da massa de forragem e altura do dossel. Toda a massa de forragem compreendida dentro da moldura, acima de 4 e 8 cm conforme o respectivo tratamento, foi cortada com tesouras, colocada em sacos plásticos e acondicionadas em caixa térmica com gelo. As amostras foram levadas ao laboratório para a quantificação da massa fresca em balança digital, posteriormente foi retirada uma subamostra representativa de cerca de 30% da amostra, que foi pesada em balança analítica. Posteriormente as subamostras foram separadas nos componentes morfológicos: folíolo, pecíolo, estolão e material morto, que foram acondicionados em sacos de papel e levados à estufa de circulação forçada a 60 °C, onde permaneceram até atingir peso constante. Posteriormente foram pesados em balança analítica para cálculo do teor de matéria seca (MS) para estimativa da massa dos respectivos componentes morfológicos.

### **4.2.2.2. Quantificação da massa de forragem do resíduo**

A massa de forragem do resíduo (presente entre o nível do solo e as alturas metas de manejo, 4 e 8 cm) foi coletada em molduras quadradas com 0,04 m<sup>2</sup>, posicionadas dentro das molduras de 0,25 m<sup>2</sup> utilizadas para coletar a massa de forragem acima do resíduo (Item 4.2.2.1). As colheitas foram realizadas a cada dois ciclos de rebrotação (84 dias) em ciclos com início e término dentro de uma estação climática característica (primavera, verão, outono, inverno). As amostras foram coletadas e passaram pelo mesmo protocolo descrito para a massa de forragem acima do resíduo (Item 4.2.2.1).

Para que a massa de forragem residual não fosse amostrada duas vezes no mesmo local, no mesmo ano de avaliação, as subparcelas foram divididas virtualmente em quatro sub-áreas e essas foram subdivididas em duas partes. No ano 1 as amostras foram colhidas na porção mais distante do centro da unidade experimental e no ano 2 foram coletadas mais próximo no centro da unidade experimental, respeitando uma bordadura de 20 cm. No total foram realizadas oito amostragens de massa de forragem do resíduo durante o período

experimental: 05/2020 (1° ciclo característico de outono), 09/2020 (1° ciclo característico de inverno), 12/2020 (1° ciclo característico de primavera), 02/2021 (1° ciclo característico de verão), 05/2021 (2° ciclo característico de outono), 08/2021 (2° ciclo característico de inverno), 11/2021 (2° ciclo característico de primavera), 01/2022 (2° ciclo característico de verão). Para obtenção da massa de forragem do resíduo dos ciclos em que essa não foi quantificada, foi realizada estimativa por meio de interpolação linear, considerando valores médios diários estimados a partir dos dados existentes. Os valores de massa de forragem acima do resíduo e de massa de forragem do resíduo foram somados para gerar os dados de massa de forragem.

#### 4.2.2.3. Quantificação da área foliar específica

A área foliar específica (AFE) foi medida na massa de forragem acima do resíduo aos 14, 28 e 42 dias e na massa de forragem do resíduo nas coletas de resíduo realizadas. Logo após a separação morfológica das subamostras utilizadas para quantificar as massas de forragem do resíduo, foi retirada uma alíquota de folíolos frescos representativos da subamostra. Esses foram organizados sob uma lâmina de acetato, que foi perpassada em integrador de área foliar (modelo LAI-3100; LI-COR Biosciences, Lincoln, NE, EUA) para obtenção da área foliar da subamostra. Após, os folíolos foram acondicionados em sacos de papel e levados a estufa de ventilação forçada a 60 °C, onde permaneceram até atingir peso constante e depois foram pesados em balança analítica. A área foliar e o peso de folíolos da subamostra foram usados para calcular a área foliar específica pela equação:  $AFE = AFSA \text{ (cm}^2\text{)}/PFSA \text{ (g)}$ , sendo: AFE = área foliar específica da subamostra; AFSA = área foliar da subamostra; PFSA = peso de folíolos da subamostra. Em seguida, admitindo-se que a proporção de folíolos na amostra foi a mesma da subamostra, foi estimada a proporção de folíolos na amostra através do cálculo da proporção de folíolos na subamostra pela equação:  $FSA = [FSA \text{ (g)}/\{FSA \text{ (g)} + RSA \text{ (g)}\}]$ , sendo: FSA = proporção de folíolos da subamostra; FSA = folíolos da subamostra; RSA = resto da subamostra. Na sequência foi estimado o peso seco da fração folíolos na amostra pela equação:  $FA = [\{FSA \text{ (g)} + RSA \text{ (g)} + RA \text{ (g)}\} * \{\text{proporção de FSA}\}]$ , sendo: FA = peso de folíolos na amostra; FSA = folíolos na subamostra; RSA = resto da subamostra; RA = resto da amostra. Com base nesses, foi calculado a área total de folhas na amostra pela equação:  $AFA = FA \text{ (g)} * AFE \text{ (cm}^2 \text{ g}^{-1}\text{)}$ , sendo: AFA = área total de folíolos verdes da amostra; FA = peso seco de folíolos na amostra; AFE = área específica de folíolos.

Também foi medida a AFE, obtida a partir do valor médio da AFE de folíolos coletados no final de cada ciclo de rebrotação (idade 42) nos dois anos experimentais. Em todas as subparcelas foram coletados folíolos presentes no topo do dossel, expostos à luz e folíolos sombreados pela copa do dossel. Os folíolos foram acondicionados em caixa térmica com gelo e levados ao laboratório. Após, foram dispostos em folhas de acetado e tiveram sua área foliar medida no integrador de área foliar modelo LAI-3100; LI-COR Biosciences, Lincoln, NE, EUA), posteriormente foram acondicionados em sacos de papel e levados a estufa de circulação forçada de ar a 60 °C, onde permaneceram até atingir peso constante. A AFE foi obtida pela razão da área dos folíolos pelo peso seco e posteriormente foi calculada a AFE média de folíolos.

#### **4.2.2.4. Coleta de folíolos verdes e senescidos e determinação do teor de nitrogênio**

Ao final de cada ciclo de rebrotação (idade 42) foram colhidos separadamente folíolos verdes e folíolos em senescência em todas as subparcelas. Posteriormente foram acondicionados em sacos de papel e levados à estufa de circulação forçada à 60°C, onde permaneceram até atingir peso constante. Posteriormente as amostras secas foram moídas em moinho de facas tipo Wiley (peneira de 1 mm), e depois foi determinado o teor nitrogênio dos folíolos verdes e folíolos em senescência pelo método de combustão de Dumas com o auxílio do analisador automático de nitrogênio (LECO FP-528) (Wiles et al., 1998).

#### **4.2.2.5. Quantificação da massa de rizomas, raízes e sementes**

A coleta do sistema radicular ocorreu após a coleta da massa de forragem do resíduo, nos mesmos ciclos descritos no Item 4.2.2.2. A massa do sistema radicular foi colhida dentro das dimensões (20 x 20 cm) da moldura usada para colher a massa de forragem do resíduo (Figura 14B e 15A - B). A amostragem foi feita até a profundidade de 20 cm, com auxílio de espátulas metálicas e marretas, colhendo-se duas amostras (bloco de solo de 8000 cm<sup>3</sup>) por subparcela. Após a retirada as amostras foram colocadas sobre um conjunto de peneiras sobrepostas com 3 malhas distintas: 8 x 15mm; 3 x 6 mm e 2 x 2 mm, e lavadas em água corrente para a retirada do solo presente no sistema radicular (Figura 15C - D). Posteriormente as amostras foram levadas à estufa de circulação forçada a 100 °C, onde permaneceram por uma hora, posteriormente foram secas em estufa de circulação forçada a

60 °C, onde permaneceram até atingir peso constante. Posteriormente o material foi pesado em balança digital e subamostrado em cerca de 40% do peso da amostra. As subamostras de Belmonte foram pesadas e separadas em: raiz principal (nesse estudo denominada de coroa) raiz secundária, sementes e impurezas (pedriscos, terra). As subamostras de Florigraze foram separadas em rizomas, raízes e impurezas. Não houve produção de sementes de Florigraze. Posteriormente os componentes foram pesados em balança analítica para estimar o peso total de cada componente na amostra (Figura 16).

No total foram realizadas nove amostragens de massa de sistema radicular. A primeira foi realizada em 02/2020 (início do período experimental) e oito durante o período experimental: realizados em 05/2020 (1° ciclo característico de outono), 09/2020 (1° ciclo característico de inverno), 12/2020 (1° ciclo característico de primavera), 02/2021 (1° ciclo característico de verão), 05/2021 (2° ciclo característico de outono), 08/2021 (2° ciclo característico de inverno), 11/2021 (2° ciclo característico de primavera), 01/2022 (2° ciclo característico de verão). Para obtenção da massa de rizoma e raiz dos ciclos em que essa não foi quantificada, foi realizada estimativa por meio de interpolação linear, considerando valores médios diários estimados a partir dos dados existentes.

#### **4.2.3. Parametrização do modelo**

Todas as simulações desse estudo foram realizadas utilizando-se a versão do DSSAT 4.7.5. A parametrização de Malik et al. (2018) para alfafa (*Medicago sativa*) foi utilizada como ponto de partida para iniciar o processo de parametrização para o *A. pinto* cv. Belmonte, enquanto que, a parametrização para o Belmonte foi utilizada como ponto de partida na parametrização para o Florigraze. O método de plantio utilizado nas simulações foi o de transplante, que simula uma pastagem já estabelecida. As simulações foram iniciadas um ano antes do início do experimento, com as pastagens mantidas em crescimento livre, ou seja, sem cortes.

A AFE sob condições de crescimento padrão (SLAVR) foi calculada como a média dos valores de AFE dos folíolos coletados acima do resíduo, considerando apenas o tratamento com altura de resíduo de 4 cm, para ambas as espécies de amendoim forrageiro. Os dados relativos ao teor de proteína dos folíolos foram determinados com base nas análises dos folíolos verdes e senescidos, coletados no experimento. A concentração máxima de proteína nos folíolos (PROLFI) foi considerada igual ao maior valor de proteína obtido dentre as análises de folíolos verdes. A concentração de proteína dos folíolos sob crescimento normal

(PROLFG) foi considerada igual à média de proteína dos folíolos verdes, durante todo o experimento. A concentração final de proteína dos folíolos (PROLFF) foi considerada como o menor valor obtido dentre as análises de proteína bruta dos folíolos senescidos.

Durante o processo de parametrização, os parâmetros obtidos ou calculados usando-se dados coletados a campo tiveram os seus valores modificados antes que os demais parâmetros. Dessa forma, os parâmetros SLAVR e AFE de referência (SLAREF) (que possuem valores iguais dentro do CROPGRO-PF, por corresponderem à mesma variável), AFE medida em folhas sob baixa luminosidade (SLAMAX), AFE medida em folhas sob alta luminosidade (SLAMIN), PROLFI, PROLFG e PROLFF, foram os alterados inicialmente.

Posteriormente, os demais parâmetros do modelo foram calibrados em um processo de tentativa e erro, até que os valores estimados de massa de forragem e dos componentes da planta atingissem os melhores resultados estatísticos possíveis, em relação aos valores observados. A exceção a essa regra foi o conjunto de parâmetros de fixação biológica de nitrogênio, que teve seus valores mantidos iguais aos utilizados na simulação de alfafa por Malik et al. (2018), para ambas as espécies de amendoim forrageiro.

#### **4.2.4. Avaliação estatística do desempenho do modelo**

Foram utilizados três índices estatísticos para avaliar o desempenho do CROPGRO-PF na estimativa da massa de forragem, massa de folíolo, massa de pecíolo + estolão, massa de coroa + semente e massa de raiz do Belmonte e massa de forragem, massa de folíolo, massa de pecíolo + estolão, massa de rizoma e massa de raiz do Florigraze em relação às condições de manejo estudadas.

Essas estatísticas foram:

- a) Regressão linear entre os valores observados e estimados de cada variável, e o respectivo coeficiente de determinação ( $R^2$ ), que quantifica a precisão do modelo e foi classificado como insatisfatório ( $R^2 \leq 0,6$ ), satisfatório ( $0,6 < R^2 \leq 0,7$ ), bom ( $0,7 < R^2 \leq 0,8$ ) e muito bom ( $R^2 > 0,8$ ), segundo critério de Bosi et al. (2020);
- b) Índice de concordância de Willmott (1981) (d), que quantifica a precisão do modelo e foi classificado como insatisfatório ( $d \leq 0,75$ ), satisfatório ( $0,75 < d \leq 0,85$ ), bom ( $0,85 < d \leq 0,95$ ) e muito bom ( $d > 0,95$ ), segundo critério de Bosi et al. (2020);
- c) Raiz quadrada do erro médio;

### 4.3. Resultados

Os valores de concentração de proteína em fração do tecido sob “crescimento normal” (PRO\_ \_G), concentração de proteína máxima do tecido (PRO\_ \_I) e concentração de proteína final do tecido foliar (PRO\_ \_F) do tecido foliar foram modificadas para o Belmonte e Florigraze (Tabela 15). A PRO\_ \_G da alfafa (0,291) foi modificada para 0,243 e 0,236 para Belmonte e Florigraze, respectivamente. A PRO\_ \_I da alfafa (0,372) foi modificada para 0,263 e 0,265 para Belmonte e Florigraze, respectivamente. A PRO\_ \_F da alfafa (0,112) foi modificada para 0,153 e 0,186 para Belmonte e Florigraze, respectivamente. O FNPGN(1,2) foi reduzido com valores de 1,9:5,5 para alfafa, 1,8:4,2 para o Belmonte e 1,7:5,5 para o Florigraze. Os demais parâmetros de composição da planta, fenologia e produtividade foram mantidos calibrados para alfafa (Tabela 15).

A partição de matéria seca para folha (YLFEST), caule (YSTEST), órgãos de reserva (YSREST), área foliar específica da cultivar sob condições de crescimento padrão (SLAVR), sob baixa luminosidade (SLAMAX), sob alta luminosidade (SLAMIN), efeito relativo da temperatura mínima noturna sobre a taxa de fotossíntese foliar [FNPGL(1,2)] e sensibilidade relativa à dormência (RDRMT) foram modificadas para o Belmonte e Florigraze (Tabela 16).

A YLFEST seguiu padrão de redução e a YSTEST seguiu padrão de aumento da alfafa para Belmonte e Florigraze. A SLAVR da alfafa foi 280 e do Belmonte e Florigraze foram de 250 e 210, respectivamente. A SLAMAX da alfafa foi 460 e do Belmonte e Florigraze foi de 380 e 300, respectivamente. A SLAMIN da alfafa foi 250 e do Belmonte e Florigraze foi de 180 e 130, respectivamente. O FNPGL(1,2) da alfafa foi -5,1;8,2 e do Belmonte e Florigraze foi de 5,0;15,0 e 12,0;16,0, respectivamente. Os demais parâmetros do modelo para o efeito da temperatura, da radiação solar e do fotoperíodo na partição vegetativa, área foliar específica e fotossíntese foram mantidos calibrados para alfafa (Tabela 16).

A taxa mínima diária de mobilização de CH<sub>2</sub>O da reserva (CMOBSRN) foi modificada para o Belmonte e Florigraze e a taxa máxima diária de mobilização de CH<sub>2</sub>O da reserva (CMOBSRX) foi modificada para o Florigraze (Tabela 17). A CMOBSRN da alfafa foi 0,020 e do Belmonte e Florigraze foram de 0,007 e 0,009, respectivamente. A CMOBSRX da alfafa foi 0,080 e do Florigraze foi de 0,076. Os demais parâmetros do modelo para armazenamento e mobilização de carbono e nitrogênio foram mantidos calibrados para alfafa (Tabela 17).

A senescência de raiz (RTSEN), senescência de caule em função da massa senescida de folha (PORPT) e a taxa de senescência de tecidos do órgão de reserva (SENSR) foram modificadas para o Belmonte e Florigraze (Tabela 18). A RTSEN da alfafa foi 0,008 e do Belmonte e Florigraze foram de 0,009 e 0,010, respectivamente. A PORPT da alfafa foi 0,27 e do Belmonte e Florigraze foi de 0,40 e 0,45, respectivamente. A SENSR da alfafa foi 0,009 e do Belmonte e Florigraze foram de 0,006 e 0,008, respectivamente. Os demais parâmetros do modelo para senescência foram mantidos calibrados para alfafa (Tabela 18). Os parâmetros do modelo para fixação de nitrogênio foram mantidos calibrados para alfafa (Tabela 19).

**Tabela 15.** Nomes, definições, valores iniciais para alfafa (Malik et al. 2018) e valores calibrados dos parâmetros de composição da planta, fenologia e produtividade (fotossíntese e respiração) para as espécies *Arachis glabrata* cv. Florigraze (Florigraze) e *Arachis pintoi* cv. Belmonte (Belmonte).

Nome	Definição	Alfafa	Belmonte	Florigraze
PRO_G	Concentração de proteína em fração do tecido sob “crescimento normal” (folha = LF, raiz = RT, caule = ST, órgão de reserva = SR)	LF = 0,291; RT = 0,064; ST = 0,145; SR = 0,064	LF = 0,243; RT = 0,064; ST = 0,145; SR = 0,064	LF = 0,236; RT = 0,064; ST = 0,145; SR = 0,064
PRO_I	Concentração “máxima” de proteína do tecido	LF = 0,372; RT = 0,092; ST = 0,194; SR = 0,092	LF = 0,263; RT = 0,092; ST = 0,194; SR = 0,092	LF = 0,265; RT = 0,092; ST = 0,194; SR = 0,092
PRO_F	Concentração “final” de proteína do tecido (na senescência)	LF = 0,112; RT = 0,056; ST = 0,035; SR = 0,056	LF = 0,153; RT = 0,056; ST = 0,035; SR = 0,056	LF = 0,186; RT = 0,056; ST = 0,035; SR = 0,056
Tb	Temperatura base para o desenvolvimento vegetativo, °C	3,0	3,0	3,0
TO1	Primeira temperatura ótima para o desenvolvimento vegetativo, °C	25,0	25,0	25,0
TO2	Segunda temperatura ótima para o desenvolvimento vegetativo, °C	33,0	33,0	33,0
TM	Temperatura máxima para o desenvolvimento vegetativo, °C	45,0	45,0	45,0
MRSWITCH	Respiração: M = baseada em massa ou P = baseada em proteína	M	M	M
RES30C	Constante que descreve a respiração de manutenção como função da massa seca total da planta (menos óleo, proteína e amido na semente), g CH <sub>2</sub> O (massa seca) <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>	1,0 × 10 <sup>-4</sup>	1,0 × 10 <sup>-4</sup>	1,0 × 10 <sup>-4</sup>
R30C2	Constante que descreve a respiração de manutenção como função da fotossíntese do dossel, g CH <sub>2</sub> O/g CH <sub>2</sub> O photoassimilado/h	0,0024	0,0024	0,0024
LFMAX	Taxa de fotossíntese máxima da folha a 30°C, 350 ppm CO <sub>2</sub> , e alta luminosidade, mg CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	1,40	1,40	1,40
FNPGN (1,2)	Efeito da concentração de N na folha na fotossíntese ou FNPGN(2), que é uma curva quadrática de dois lados e descreve a resposta da fotossíntese foliar à concentração de N foliar: aumenta de zero na concentração mínima de N na folha até a concentração máxima de N na folha.	1,9; 5,5	1,8; 4,2	1,7; 4,2
SLWREF	Massa específica da folha na qual LFMAX é definido (g/m <sup>2</sup> )	0,0026	0,0026	0,0026

**Tabela 16.** Nomes, definições, valores iniciais para Alfafa (Malik et al. 2018) e valores calibrados (para as espécies *Arachis glabrata* cv. Florigraze [Florigraze] e *Arachis pintoi* cv. Belmonte [Belmonte]) dos parâmetros do modelo para o efeito da temperatura, da radiação solar e do fotoperíodo na partição vegetativa, área foliar específica e fotossíntese.

Nome	Definição	Alfafa	Belmonte	Florigraze
XLFEST	Número de folhas ou estágio vegetativo no qual a partição é definida	0,0;	0,0;	0,0;
		2,0;	2,0;	2,0;
		3,0;	3,0;	3,0;
		5,0;	5,0;	5,0;
		7,0;	7,0;	7,0;
		10,0;	10,0;	10,0;
		30,0;	30,0;	30,0;
		40,0	40,0	40,0
YLFEST	Descreve a partição de matéria seca para folha, somente entre os órgãos vegetativos, em função do estágio vegetativo (fração)	0,55;	0,43;	0,40;
		0,55;	0,43;	0,40;
		0,55;	0,43;	0,40;
		0,51;	0,39;	0,36;
		0,40;	0,28;	0,25;
		0,38;	0,23;	0,20;
		0,35;	0,24;	0,21;
		0,35	0,24	0,21
YSTEST	Descreve a partição de matéria seca para caule, somente entre os órgãos vegetativos, em função do estágio vegetativo (fração)	0,17;	0,13;	0,10;
		0,17;	0,13;	0,10;
		0,17;	0,13;	0,10;
		0,21;	0,17;	0,14;
		0,25;	0,21;	0,18;
		0,32;	0,22;	0,19;
		0,37;	0,23;	0,20;
		0,37	0,23	0,20
YSREST	Descreve a partição de matéria seca para órgão de reserva, somente entre os órgãos vegetativos, em função do estágio vegetativo (fração)	0,08;	0,43;	0,49;
		0,08;	0,43;	0,49;
		0,08;	0,43;	0,49;
		0,09;	0,43;	0,49;
		0,10;	0,50;	0,56;
		0,11;	0,54;	0,60;
		0,11;	0,52;	0,58;
		0,11	0,52	0,58
PGEFF	Eficiência quântica da fotossíntese foliar, definida a 350 ppm CO <sub>2</sub> , 21% de oxigênio, e 30 °C	0,0541	0,0541	0,0541
PGREF	Valor de referência para a fotossíntese foliar, usado na curva de resposta à luz diária (mg CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )			
SLAVR	Área foliar específica da cultivar sob condições de crescimento padrão (cm <sup>2</sup> /g)	280	250	210
SLAMAX	Área foliar específica medida nas folhas mais finas sob baixa luminosidade (cm <sup>2</sup> /g)	460	380	300
SLAMIN	Área foliar específica medida nas folhas mais grossas sob alta luminosidade (cm <sup>2</sup> /g)	250	180	130
FINREF	Área foliar específica (cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> ) de folhas na emergência da planta, escalada via SLAVAR	180	180	180
FNPGL (1,2)	Efeito relativo da temperatura mínima noturna sobre a taxa de fotossíntese foliar no dia seguinte, sob saturação de luz. Forma quadrática, o primeiro valor define a base (0.0) e o segundo valor define o máximo (1.0) (°C)	-5,1; 8,2	5,0; 15,0	12,0; 16,0
XLMAXT (2,3)	Taxa relativa de transporte fotossintético	0,2; 33,0	0,2; 33,0	0,2; 33,0

	de elétrons em resposta à temperatura, linear da base (0.0) ao máximo (1.0) (°C)			
XSLATM (3,4)	Efeito relativo da temperatura sobre a área foliar específica de folhas recentemente formadas, °C (x vs. y par)	7,0: 22,5	7,0: 22,5	7,0: 22,5
YSLATM (3,4)	Efeito relativo da temperatura sobre a área foliar específica de folhas recentemente formadas, fração de redução (x vs. y par)	0,5: 1,0	0,5: 1,0	0,5: 1,0
FNPTD (2,3)	Efeito do fotoperíodo (h) na partição	11,1: 12,2	11,8: 11,9	11,8: 11,9
FNPMD (1,3)	Efeito do fotoperíodo (h) na mobilização	8,5: 12,5; 0,63	8,5: 12,5; 0,63	8,5: 12,5; 0,63
RDRMT	Sensibilidade relativa à dormência, efeito do fotoperíodo na partição	0,421	0,999	0,999
RDRMM	Sensibilidade relativa à dormência, efeito do fotoperíodo na mobilização	0,850	0,850	0,850

**Tabela 17.** Nomes, definições, valores iniciais para Alfafa (Malik et al. 2018) e valores calibrados (para as espécies *Arachis glabrata* cv. Florigraze [Florigraze] e *Arachis pintoi* cv. Belmonte [Belmonte]) dos parâmetros do modelo para armazenamento e mobilização de carbono e nitrogênio.

Nome	Definição	Alfafa	Belmonte	Florigraze
CMOBSRN	Taxa mínima diária de mobilização de CH <sub>2</sub> O da reserva (fração)	0,020	0,007	0,009
CMOBSRX	Taxa máxima diária de mobilização de CH <sub>2</sub> O da reserva (fração)	0,080	0,080	0,076
NMOBSRN	Taxa mínima diária de mobilização de N da reserva (fração)	0,010	0,010	0,010
NMOBSRX	Taxa máxima diária de mobilização de N da reserva (fração)	0,068	0,068	0,068
ALPHSR	Fração do crescimento de tecido novo de reserva que é CH <sub>2</sub> O disponível (fração)	0,20	0,20	0,20
CADPV	Fração máxima de fotoassimilados disponíveis que podem ser alocados para a reposição de CH <sub>2</sub> O sob condições não estressantes	0,356	0,356	0,356
LRMOB (3,4)	Efeito do índice de área foliar na mobilização (mais rápido a menos rápido)	0,41; 2,75	0,41; 2,75	0,41; 2,75
CRREF (2,3,4)	Efeito do status de carboidratos na reposição do estoque de CH <sub>2</sub> O no tecido de reserva	0,33; 0,81; 0,29	0,33; 0,81; 0,29	0,33; 0,81; 0,29
LRREF (1,2)	Efeito do índice de área foliar na reposição do estoque de CH <sub>2</sub> O no tecido de reserva (mais rápido a menos rápido)	0,68; 2,58	0,68; 2,58	0,68; 2,58
PRREF (1,2)	Efeito da fotossíntese do dossel na reposição de CH <sub>2</sub> O no tecido de reserva	0,12; 0,38	0,12; 0,38	0,12; 0,38
CMOBMX	Mobilização máxima de CH <sub>2</sub> O de tecidos vegetativos, fração do estoque de CH <sub>2</sub> O por dia	0,055	0,055	0,055
NMOBMX	Mobilização máxima de proteína de tecidos vegetativos, fração do estoque de proteína por dia	0,080	0,080	0,080
CADSRF	Fração das reservas de carboidratos que é adicionada ao órgão de reserva (remanescente é alocado para caule e folha)	0,500	0,500	0,500

**Tabela 18.** Nomes, definições, valores iniciais para Alfafa (Malik et al. 2018) e valores calibrados (para as espécies *Arachis glabrata* cv. Florigraze [Florigraze] e *Arachis pintoi* cv. Belmonte [Belmonte]) dos parâmetros do modelo para senescência.

Nome	Definição	Alfafa	Belmonte	Florigraze
LFSEN	Taxa de senescência natural de folha por dia fototérmico (0,01 significa 25 dias de tempo de vida da folha)	0,01	0,01	0,01
RTSEN	Senescência de raiz (fração por dia fisiológico)	0,008	0,009	0,010
ICMP	Ponto de compensação de luz (mol de densidade de fluxo de fótons fotossintéticos $m^{-2} d^{-1}$ ) para senescência de folhas inferiores, devido ao autossombreamento excessivo pelo dossel da cultura	1,17	1,17	1,17
TCMP	Constante de tempo (dias) para a senescência de folhas inferiores, devido ao autossombreamento excessivo pelo dossel da cultura	13,1	13,1	13,1
PORPT	Senescência de caule em função da massa senescida de folha (fração)	0,27	0,40	0,45
SENSR	Taxa de senescência de tecidos do órgão de reserva (proporção da perda cumulativa de massa de reserva por dia fisiológico)	0,009	0,006	0,008

**Tabela 19.** Nomes, definições, valores iniciais para Alfafa (Malik et al. 2018) e valores calibrados (para as espécies *Arachis glabrata* cv. Florigraze [Florigraze] e *Arachis pintoi* cv. Belmonte [Belmonte]) dos parâmetros do modelo para fixação de nitrogênio.

Nome	Definição	Alfafa	Belmonte	Florigraze
NDTHMX	Taxa máxima de morte de nódulos, fração por dia	0,02	0,02	0,02
SNACTM	Atividade específica da nitrogenase dos tecidos dos nódulos, g N fixado por g de massa de nódulos por dia	0,05	0,05	0,05
FNFXT(4)	Curva de temperatura (LIN para função linear de quatro pontos) descrevendo a atividade específica da nitrogenase versus a temperatura do solo	-2,0; 15,0; 30,0; 44,0	-2,0; 15,0; 30,0; 44,0	-2,0; 15,0; 30,0; 44,0
FNNGT(4)	Curva de temperatura (LIN para função linear de quatro pontos) descrevendo a taxa relativa de crescimento de nódulos versus a temperatura do solo	-1,0; 19,0; 30,0; 44,0	-1,0; 19,0; 30,0; 44,0	-1,0; 19,0; 30,0; 44,0

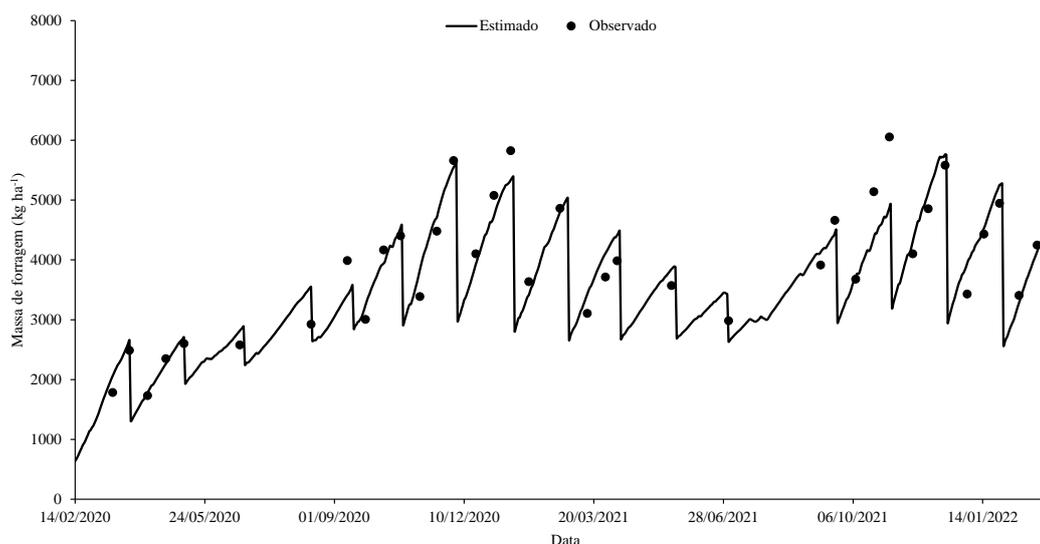
#### 4.3.1. Simulações de massa de forragem e componentes morfológicos geradas pelo modelo CROPGRO-Perennial Forage para *Arachis pintoi* cv. Belmonte com maior intensidade de desfolhação

As simulações das variáveis do Belmonte com maior intensidade de desfolhação, com o modelo CROPGRO-Perennial Forage apresentaram desempenho satisfatório a muito bom, em sua maioria, exceto para a simulação de massa de raiz. A massa de forragem foi simulada com precisão muito boa ( $R^2 = 0,89$ ), exatidão muito boa ( $d = 0,97$ ) e com raiz quadrada do erro médio (RMSE) baixa (Tabela 20 e Figura 10). A massa de folíolo foi simulada com precisão muito boa ( $R^2 = 0,84$ ), boa exatidão ( $d = 0,95$ ) e com RMSE baixa (Tabela 20 e Figura 17). A massa de pecíolo + estolão foi simulada com precisão muito boa ( $R^2 = 0,83$ ), boa exatidão ( $d = 0,95$ ) e com RMSE baixa (Tabela 20 e Figura 18). A simulação

da massa de coroa + semente foi simulada com precisão muito boa ( $R^2 = 0,87$ ), boa exatidão ( $d = 0,90$ ) e com RMSE baixa (Tabela 20 e Figura 19). A simulação da massa de raiz foi simulada com precisão insatisfatória ( $R^2 = 0,58$ ) e exatidão insatisfatória ( $d = 0,66$ ) e com RMSE baixa (Tabela 20 e Figura 20).

**Tabela 20.** Índices estatísticos para as simulações de massa de forragem, massa de folíolo, massa de pecíolo + estolão, massa de coroa + estolão, massa de coroa + semente e massa de raiz geradas pelo modelo CROPGRO-Perennial Forage para *Arachis pintoii* cv. Belmonte manejado com altura do resíduo de 4 cm.  $R^2$  = coeficiente de determinação,  $d$  = índice de concordância, RMSE = raiz quadrada do erro médio.

Variável	Índice estatístico		
	$R^2$	$d$	RMSE (kg ha <sup>-1</sup> )
Massa de forragem	0,89	0,97	364
Massa de folíolo	0,84	0,95	213
Massa de pecíolo + estolão	0,83	0,95	265
Massa de coroa + semente	0,87	0,90	1939
Massa de raiz	0,58	0,66	116



**Figura 10.** Massa de forragem estimada pelo modelo CROPGRO-Perennial Forage e observada a campo para o *Arachis pintoii* cv. Belmonte manejado com resíduo de 4 cm de altura (maior intensidade de desfolhação) em Piracicaba.

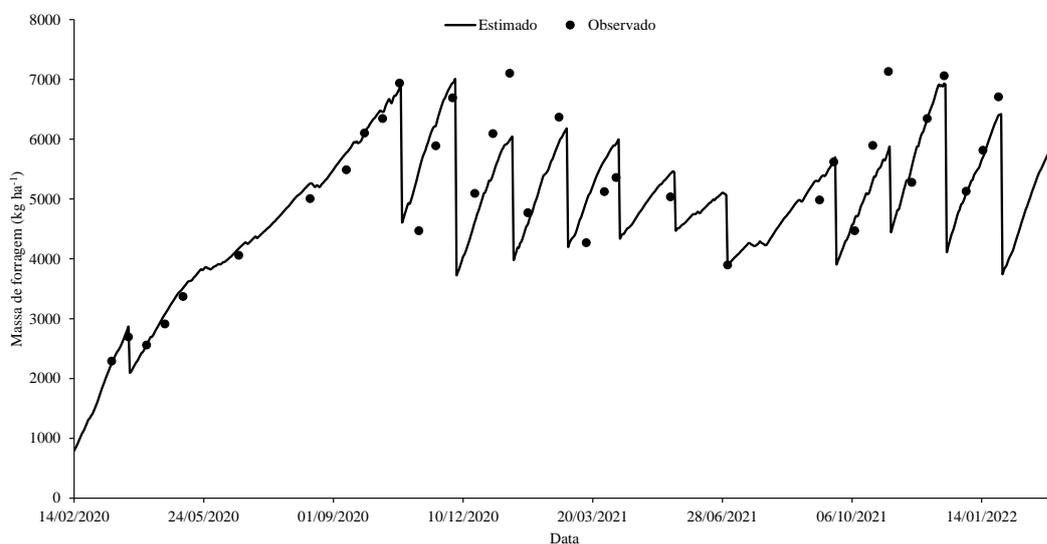
#### 4.3.2. Simulações de massa de forragem e componentes morfológicos geradas pelo modelo CROPGRO-Perennial Forage para *Arachis pintoii* cv. Belmonte com menor intensidade de desfolhação

As simulações das variáveis do Belmonte, manejado com menor intensidade de desfolhação, com o modelo CROPGRO-Perennial Forage apresentaram desempenho satisfatório a muito bom, em sua maioria, exceto para a simulação de massa de raiz. A massa

de forragem foi simulada com precisão muito boa ( $R^2 = 0,88$ ;  $d = 0,96$ ) e com RMSE baixa (Tabela 21 e Figura 11). A massa de folíolo foi simulada com boa precisão ( $R^2 = 0,84$ ), boa exatidão ( $d = 0,95$ ) e com RMSE baixa (Tabela 20 e Figura 21). A massa de pecíolo + estolão foi simulada com precisão muito boa ( $R^2 = 0,83$ ), boa exatidão ( $d = 0,95$ ) e com RMSE baixa (Tabela 20 e Figura 22). A simulação da massa de coroa + semente foi simulada com precisão muito boa ( $R^2 = 0,87$ ), boa exatidão ( $d = 0,90$ ) e com RMSE baixa (Tabela 21 e Figura 23). A simulação da massa de raiz foi simulada com precisão insatisfatória ( $R^2 = 0,58$ ) exatidão ( $d = 0,66$ ) e com RMSE baixa (Tabela 21 e Figura 24).

**Tabela 21.** Índices estatísticos para as simulações de massa de forragem, massa de folíolo, massa de pecíolo + estolão, massa de coroa + estolão, massa de coroa + semente e massa de raiz geradas pelo modelo CROPGRO-Perennial Forage para *Arachis pintoi* cv. Belmonte manejado com altura do resíduo de 8 cm.  $R^2$  = coeficiente de determinação,  $d$  = índice de concordância, RMSE = raiz quadrada do erro médio.

Variável	Índice estatístico		
	$R^2$	$d$	RMSE (kg ha <sup>-1</sup> )
Massa de forragem	0,88	0,96	467
Massa de folíolo	0,76	0,91	318
Massa de pecíolo + estolão	0,86	0,96	314
Massa de coroa + semente	0,81	0,91	1685
Massa de raiz	0,44	0,60	125



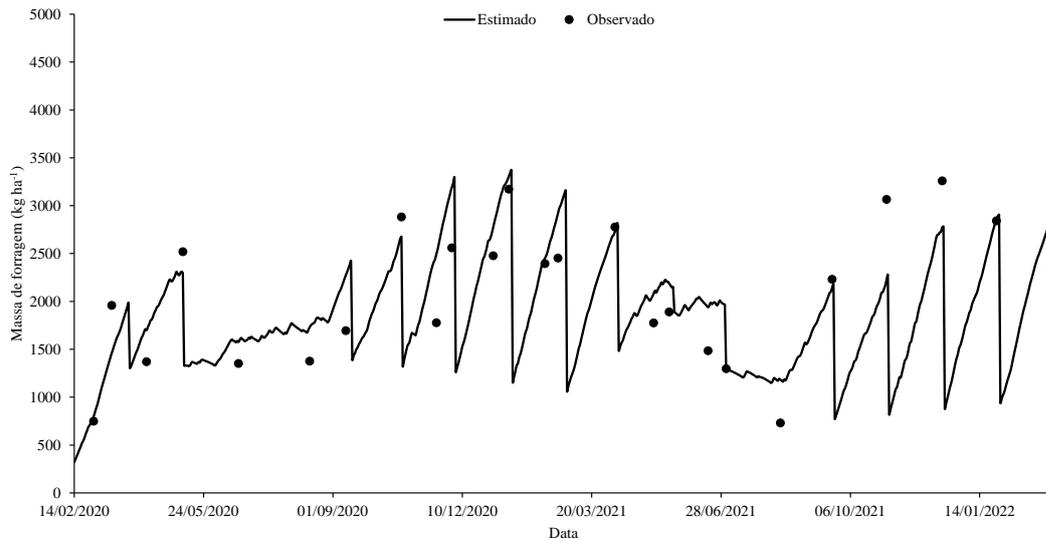
**Figura 11.** Massa de forragem estimada pelo modelo CROPGRO-Perennial Forage e observada a campo para o *Arachis pintoi* cv. Belmonte manejado com resíduo de 8 cm de altura (maior intensidade de desfolhação) em Piracicaba.

### 4.3.3. Simulações de massa de forragem e componentes morfológicos geradas pelo modelo CROPGRO-Perennial Forage para *Arachis glabrata* cv. Florigraze com maior intensidade de desfolhação

As simulações das variáveis do Florigraze, manejado com maior intensidade de desfolhação, com o modelo CROPGRO-Perennial Forage apresentaram desempenho satisfatório a muito bom, em sua maioria, exceto para a simulação de massa de raiz. A massa de forragem foi simulada com boa precisão ( $R^2 = 0,72$ ), boa exatidão ( $d = 0,91$ ) e com RMSE baixa (Tabela 22 e Figura 12). A massa de folíolo foi simulada com precisão satisfatória ( $R^2 = 0,67$ ), boa exatidão ( $d = 0,88$ ) e com RMSE baixa (Tabela 22 e Figura 25). A massa de pecíolo + estolão foi simulada com boa precisão muito ( $R^2 = 0,61$ ), exatidão satisfatória ( $d = 0,87$ ) e com RMSE baixa (Tabela 22 e Figura 26). A massa de rizoma foi simulada com precisão insatisfatória ( $R^2 = 0,21$ ), exatidão insatisfatória ( $d = 0,31$ ) e com RMSE alto (Tabela 22 e Figura 27). A massa de raiz foi simulada com precisão insatisfatória ( $R^2 = 0,01$ ), exatidão insatisfatória ( $d = 0,35$ ) e com RMSE baixa (Tabela 22 e Figura 28).

**Tabela 22.** Índices estatísticos para as simulações de massa de forragem, massa de folíolo, massa de pecíolo + estolão, massa de rizoma e massa de raiz utilizados na validação do modelo CROPGRO-Perennial Forage para *Arachis glabrata* cv. Florigraze manejado com altura do resíduo de 4 cm.  $R^2$  = coeficiente de determinação,  $d$  = índice de concordância, RMSE = raiz quadrada do erro médio.

Variável	Índice estatístico		
	$R^2$	$d$	RMSE (kg ha <sup>-1</sup> )
Massa de forragem	0,72	0,91	404
Massa de folíolo	0,67	0,88	283
Massa de pecíolo + estolão	0,61	0,87	198
Massa de rizoma	0,21	0,31	16111
Massa de raiz	0,01	0,35	226



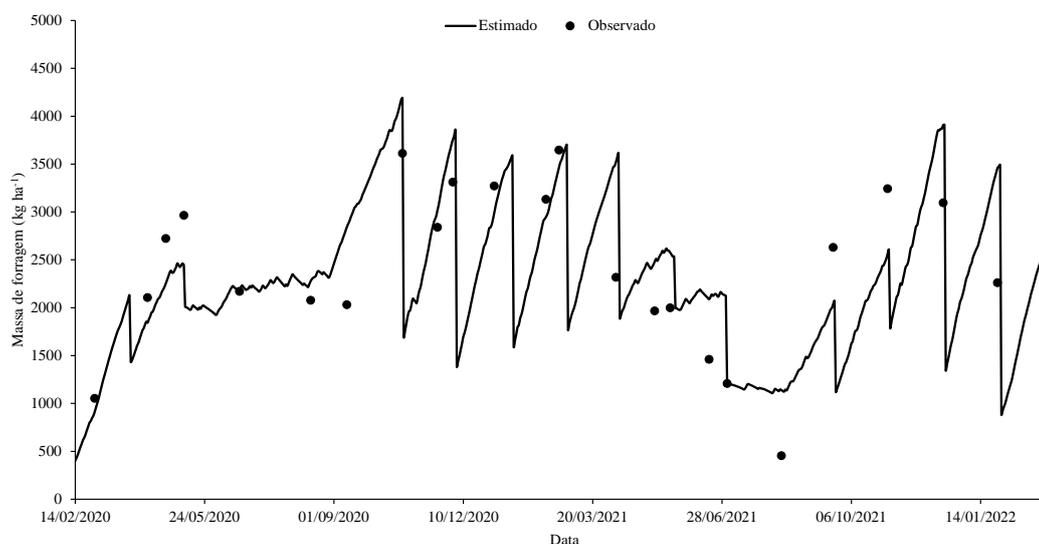
**Figura 12.** Massa de forragem estimada pelo modelo CROPGRO-Perennial Forage e observada a campo para o *Arachis glabrata* cv. Florigraze manejado com resíduo de 4 cm de altura (maior intensidade de desfolhação) em Piracicaba.

#### 4.3.4. Simulações de massa de forragem e componentes morfológicos geradas pelo modelo CROPGRO-Perennial Forage para *Arachis glabrata* cv. Florigraze com menor intensidade de desfolhação

As simulações das variáveis do Florigraze, manejado com menor intensidade de desfolhação, com o modelo CROPGRO-Perennial Forage apresentaram desempenho satisfatório a muito bom, em sua maioria, exceto para a simulação de massa de raiz. A massa de forragem foi simulada com precisão satisfatória ( $R^2 = 0,61$ ), boa exatidão ( $d = 0,87$ ) e com RMSE baixa (Tabela 23 e Figura 13). A massa de folíolo foi simulada com boa precisão ( $R^2 = 0,63$ ), boa exatidão ( $d = 0,88$ ) e com RMSE baixa (Tabela 23 e Figura 29). A massa de pecíolo + estolão foi simulada com precisão insatisfatória ( $R^2 = 0,25$ ), exatidão insatisfatória ( $d = 0,70$ ) e com RMSE baixa (Tabela 23 e Figura 30). A massa de rizoma foi simulada com precisão insatisfatória ( $R^2 = 0,29$ ), exatidão insatisfatória ( $d = 0,32$ ) e com RMSE alto (Tabela 23 e Figura 31). A massa de raiz foi simulada com precisão insatisfatória ( $R^2 = 0,00$ ), exatidão insatisfatória ( $d = 0,45$ ) e com RMSE baixa (Tabela 23 e Figura 32).

**Tabela 23.** Índices estatísticos para as simulações de massa de forragem, massa de folíolo, massa de pecíolo + estolão, massa de rizoma e massa de raiz utilizados na validação do modelo CROPGRO-Perennial Forage para *Arachis glabrata* cv. Florigraze manejado com altura do resíduo de 8 cm.  $R^2$  = coeficiente de determinação,  $d$  = índice de concordância, RMSE = raiz quadrada do erro médio.

Variável	Índice estatístico		
	$R^2$	$d$	RMSE (kg ha <sup>-1</sup> )
Massa de forragem	0,61	0,87	578
Massa de folíolo	0,63	0,88	344
Massa de pecíolo + estolão	0,25	0,70	389
Massa de rizoma	0,29	0,32	23095
Massa de raiz	0,00	0,45	220



**Figura 13.** Massa de forragem estimada pelo modelo CROPGRO-Perennial Forage e observada a campo para o *Arachis glabrata* cv. Florigraze manejado com resíduo de 8 cm de altura (maior intensidade de desfolhação) em Piracicaba.

#### 4.4. Discussão

De maneira geral, o modelo CROPGRO-PF alfafa parametrizado para *Arachis* spp. possibilitou simular o crescimento do Belmonte e Florigraze, manejados nas duas intensidades de desfolhação ao longo das estações ambientais com boa eficiência (Figuras 10 - 13). As simulações da massa de forragem do Belmonte e Florigraze pelo modelo foram classificadas como muito boa e boa, respectivamente (Tabelas 20 - 24). Os indicadores de exatidão para as simulações da massa de forragem desse estudo foram superiores aos obtidos por Malik et al. (2018) ( $d = 0,76$ ;  $RMSE = 728 \text{ kg ha}^{-1}$ ) para a alfafa, e são semelhantes aos valores documentados na literatura para estudos de modelagem com o modelo CROPGRO-PF: Pequeno et al. (2014) ( $d = 0,90$  e  $0,93$ ;  $RMSE = 523$  e  $526 \text{ kg ha}^{-1}$  sob irrigação e sequeiro, respectivamente) para a *Urochloa brizantha* cv. Marandu; Pequeno

et al. (2018) ( $d = 0,90$ ;  $RMSE = 464 \text{ kg ha}^{-1}$ ) para a *Urochloa brizantha* cv. Marandu, ( $d = 0,97$ ;  $RMSE = 313 \text{ kg ha}^{-1}$ ) para o capim Tifton 85; Bosi et al. 2020 ( $d = 0,88$  a  $0,96$   $RMSE = 222$  a  $1097 \text{ kg ha}^{-1}$ ) para o capim *Urochloa brizantha* cv. Piatã.

Os menores coeficientes de determinação ( $R^2$ ) das simulações da massa de forragem do Florigraze, nas duas intensidades de desfolhação (Tabela 23 e 24), podem estar relacionados a variação das respostas agrônômicas mensuradas no campo, pois o Florigraze demonstrou ser pouco adaptado as condições do presente estudo. O que pode ter contribuído para a maior dispersão dos dados. A menor precisão ( $R^2 = 0,25$ ) e exatidão ( $d = 0,70$ ;  $RMSE = 389 \text{ kg ha}^{-1}$ ) da simulação da massa de pecíolo + estolão do Florigraze manejado com maior intensidade de desfolhação (Figura 30), pode estar associado a senescência pronunciada da massa de forragem do resíduo durante a época fria, o que resultou em redução da altura e da massa de forragem do resíduo, um padrão de resposta que parece não ser bem expresso pelo modelo.

Uma das inovações desse estudo foi a calibração e validação da partição de biomassa de sistema radicular (rizoma e raízes) com dados observados à campo, um componente pouco estudado, dado a dificuldade financeira e logística para coleta e processamento dessas amostras. As simulações desse componente podem auxiliar na identificação do efeito de tratamentos, não observados nas respostas do acúmulo de forragem ou na composição morfológica da parte aérea, o que pode conferir uma melhoria substancial no CROPGRO-PF. As simulações da massa de rizoma e de raiz do Florigraze (Figura 27, 28, 31 e 32), tiveram baixa precisão e acurácia, assim modificações estruturais no código do modelo parecem ser necessárias para aprimorar a simulação desse componente. Apesar dos baixos índices de precisão e acurácia, o modelo conseguiu descrever o padrão sazonal da massa de rizomas.

A fenologia no CROPGRO-PF é coordenada pelo conjunto de parâmetros de desenvolvimento vegetativo ( $T_b$ ,  $T_M$ ,  $TO_1$  e  $TO_2$ ). Os valores desses parâmetros propostos para alfafa contemplaram satisfatoriamente as simulações de Belmonte e Florigraze (Tabela 15). Esses parâmetros foram estabelecidos por Malik et al. (2018) com base em diferentes genótipos de alfafa, onde as temperaturas cardinais para os estágios reprodutivos foram mantidas semelhantes às da fase vegetativa. O que é particularmente interessante para a descrição da fenologia das espécies de *Arachis* desse estudo. Belmonte possui floração indeterminada e contínua, sem depender do fotoperíodo para produção de sementes (Assis et al., 2013; Miqueloni & Lessa De Assis, 2020). De forma que a partição de fotoassimilados ocorre sem grande distinção entre partes vegetativas e reprodutivas ao longo de seu crescimento, comparativamente a outras culturas (Macêdo et al., 2005). Por outro lado, o

Florigraze possui floração densa, porém não produz sementes, uma característica comum aos genótipos de *Arachis* da seção Rhizomatosae, que embora possam apresentar pólen viável, também podem possuir incompatibilidade genética, flores com características impeditivas à fecundação, como pequena superfície estigmática e presença de pêlos unicelulares no ápice do estigma (Lu et al., 1990).

O N é o componente principal das enzimas fotossintéticas. As espécies de *Arachis* perene e a alfafa possuem um padrão e sensibilidade da fotossíntese à concentração foliar de N semelhantes. Inclui o parâmetro PGEFF de 0,0541 (Tabela 16) proposto por Ehleringer & Bjorkman (1977) parece ser um valor consistente para várias culturas de metabolismo C3. O efeito do N na fotossíntese é contabilizado através de uma curva parabólica unilateral e os parâmetros FNPGN 1 e 2 são as concentrações foliares de N para taxas de fotossíntese zero e máxima, respectivamente (Pequeno et al., 2014). O efeito da concentração foliar de N sob a taxa de fotossíntese foliar do dia seguinte (FNPGN(1,2); Tabela 15) calibrados para o Belmonte e Florigraze indicam que o Florigraze tem sua fotossíntese mais sensível as variações de temperatura noturna.

O arquivo de espécies do DSSAT contém uma função que descreve a partição diária instantânea entre folha (YLEAF), caule (YSTEM) e órgão de armazenamento (YSTOR). Belmonte e Florigraze possuem padrões de alocação de fotoassimilados semelhantes, porém os parâmetros possuem valores específicos para as espécies (Tabela 16). Os maiores valores de YLEAF e YSTEM calibrados para o Belmonte em relação aos valores calibrados para o Florigraze, indicam diferenças intraespecíficas na partição de fotoassimilados no folíolo e estolão. Pequeno et al. (2018), ao parametrizar o CROPGRO-PF para três gramíneas tropicais, também relataram maior YSTEM no capim Tifton 85, forrageira rizomatosa, em relação às demais, não rizomatosas. Por outro lado, os valores calibrados para YSTOR foram superiores no Florigraze, o que pode estar relacionado a maior massa de rizomas dessa espécie, que pode ser um dreno de fotoassimilados potencialmente maior do que os estolões e coroa da raiz do Belmonte (Warren Wilson, 1967).

O padrão sazonal de crescimento do Belmonte e Florigraze foram simulados de maneira realista pelo modelo nas duas intensidades de desfolhação (Figura 10 - 13), todavia o modelo teve baixo desempenho na simulação da retomada do crescimento das forrageiras no início do verão agrostológico, conforme observado entre as datas 01/09/2021 e 06/10/2021 (Figura 10, 11, 12 e 13). Os parâmetros FNPTD(2,3) e RDRMT que expressam o efeito do fotoperíodo e sensibilidade à dormência relativa ao fotoperíodo, foram aumentados para o Belmonte e Florigraze (Tabela 16), indicando que esses genótipos exibem maiores mudanças

na partição de fotoassimilados no período de dias curtos. A dormência, também descrita como repouso hibernal, é uma condição temporária onde as atividades fisiológicas associadas ao crescimento cessam de maneira reversível (McKenzie et al., 1988). Essa dificuldade do modelo pode estar relacionada à partição preferenciada de fotoassimilados órgãos de reserva, em detrimento aos demais componentes morfológicos, na época fria (Pequeno et al. 2018).

O CROPGRO-PF tem como base estrutural modelos especializados na simulação de soja (*Glycine max* [L.] Merr.) e amendoim (*Arachis hypogea* L.), leguminosas que apresentam abscisão de folíolos e pecíolos (Boote et al., 2002). A diferença de valores do PORPT (Tabela 18) entre Belmonte e Florigraze pode estar associado a maior intensidade de abscisão de folíolos e pecíolos do Florigraze, conforme observações *in loco* durante as avaliações de campo. Assim é possível que os maiores valores de PORTP do Florigraze seja necessário para melhorar a partição de fotoassimilados em YSTET (Brunetti et al., 2021).

A diferença de valores para os parâmetros para senescência RTSEN e SENSR (Tabela 18) entre Belmonte e Florigraze, pode estar relacionado a diferenças no metabolismo dos órgãos de armazenamento. Os maiores valor de PORPT e SENSR utilizados no Florigraze sugerem que há maior taxa de renovação de tecidos em relação ao Belmonte (Pequeno et al. 2018). O componente rizoma do Florigraze parece ter papel central na dinâmica de participação de fotoassimilados.

Os parâmetros CMOBSRX e CMOBSRN governam as taxas de mobilização de carboidratos de tecidos do rizoma (Alderman, 2008). Segundo Rymph (2004), a mobilização de carboidratos disponíveis e N foi modificada em CROPGRO-PF por meio dos parâmetros CMOBSRX e CMOBSRN para aumentar a mobilização e acelerar o crescimento quando o índice de área foliar for baixo. A diferença de valores parametrizados para CMOBSRX e CMOBSRN entre Belmonte e Florigraze (Tabela 17) sugere uma diferença intraespecífica na mobilização de fotoassimilados armazenados para a rebrotação. Pequeno et al. (2014), ao parametrizar o CROPGRO-PF para três gramíneas forrageiras, relataram que um maior CMOBSRX esteve associado à baixos valores de índice de área foliar e maior demanda de fotoassimilados dos rizomas, para a rebrotação.

#### **4.5. Conclusões**

O CROPGRO-PF alfafa parametrizado para *Arachis* spp. foi capaz de simular a massa de forragem do *Arachis pintoi* cv. Belmonte e *Arachis glabrata* cv. Florigraze com precisão e exatidão, expressando de forma realista o padrão sazonal da massa de forragem.

Além de propor um modelo para simulação das respostas agronômicas de *Arachis perene*, outra inovação desse estudo foi a calibração da partição para biomassa de sistema radicular e rizoma com dados observados a campo. O modelo CROPGRO-PF da alfafa parametrizado para *Arachis* spp. simulou a variação sazonal da massa de forragem e dos componentes morfológicos: massa de folíolo, massa de pecíolo + estolão, massa de coroa + semente e massa de raiz do *Arachis pintoi* cv. Belmonte de maneira fidedigna com boa precisão e exatidão. O modelo CROPGRO-PF da alfafa parametrizado para *Arachis* spp. simulou a variação sazonal da massa de forragem e dos componentes morfológicos: massa de folíolo, massa de pecíolo + estolão do *Arachis glabrata* cv. Florigraze com precisão e exatidão aceitáveis e a massa de rizoma e massa de raiz com precisão e exatidão insatisfatórias. Os tratamentos de intensidade de colheita foram bem simulados pelo modelo, fornecendo estatísticas satisfatórias para a massa de forragem e os demais componentes morfológicos simulados.

## Referências

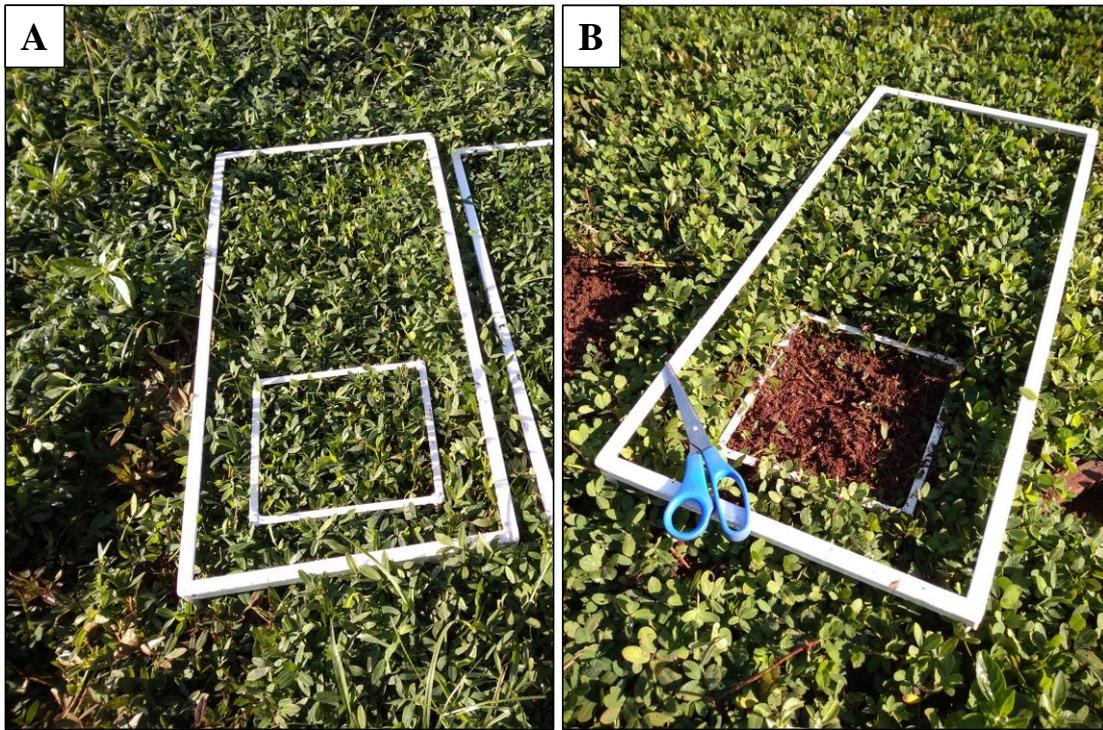
- Alderman, P. D., Boote, K. J., Jones, J. W., & Bhatia, V. S. (2015). Adapting the CSM-CROPGRO model for pigeonpea using sequential parameter estimation. *Field Crops Research*, *181*, 1–15. <https://doi.org/10.1016/J.FCR.2015.05.024>
- Assis, G. M. L., Valentim, J. F., & Andrade, C. M. S. (2013). BRS Mandobi: a new forage peanut cultivar propagated by seeds for the tropics. *Tropical Grasslands – Forrajes Tropicales*, *1*, 39–41. [https://doi.org/10.17138/tgft\(1\)39-41](https://doi.org/10.17138/tgft(1)39-41)
- Barioni, G. L., Tonato, F., & Albertini, T. Z. (2011). Orçamentação forrageira: revisitando os conceitos e atualizando as ferramentas. *26º Simpósio de Manejo Da Pastagem*.
- Berg, G., & Smalla, K. (2009). Plant species and soil type cooperatively shape the structure and function of microbial communities in the rhizosphere. *FEMS Microbiology Ecology*, *68*(1), 1–13. <https://doi.org/10.1111/J.1574-6941.2009.00654.X>
- Boote, K. J., Jones, J. W., & Hoogenboom, G. (1998). Simulation of Crop Growth: CROPGRO Model. Em Robert M., W. Peart, & S. David (Orgs.), *Agricultural Systems modeling and Simulation* (1st Edition, p. 651–692). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781482269765-18>
- Boote, K. J., Mínguez, M. I., & Sau, F. (2002). Adapting the CROPGRO Legume Model to Simulate Growth of Faba Bean. *Agronomy Journal*, *94*(4), 743–756. <https://doi.org/10.2134/AGRONJ2002.7430>

- Bosi, C., Sentelhas, P. C., Pezzopane, J. R. M., & Santos, P. M. (2020). CROPGRO-Perennial Forage model parameterization for simulating Piatã palisade grass growth in monoculture and in a silvopastoral system. *Agricultural Systems*, *177*, 102724. <https://doi.org/10.1016/J.AGSY.2019.102724>
- Brunetti, H. B., Boote, K. J., Santos, P. M., Pezzopane, J. R. M., Pedreira, C. G. S., Lara, M. A. S., Moreno, L. S. B., & Hoogenboom, G. (2021). Improving the CROPGRO Perennial Forage Model for simulating growth and biomass partitioning of guineagrass. *Agronomy Journal*, *113*(4), 3299–3314. <https://doi.org/10.1002/AGJ2.20766>
- Costa, O. A. D., Ferreira, O. G. L., Henrique, D. S., Vaz, R. Z., Fluck, A. C., Paris, W., Kröning, A. B., Griffith, L. A. A., & Matos, O. I. T. (2020). Morphophysiology of forage peanut submitted to different intensities of defoliation on grazing with sheep. *Tropical Animal Health and Production*, *52*(2), 547–554. <https://doi.org/10.1007/S11250-019-02041-7>
- Fernandes, F. D., Ramos, A. K. B., Carvalho, M. A., Maciel, G. A., de Assis, G. M. L., & Braga, G. J. (2017). Forage yield and nutritive value of *Arachis* spp. genotypes in the Brazilian savanna. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, *5*(1), 19–28. [https://doi.org/10.17138/TGFT\(5\)19-28](https://doi.org/10.17138/TGFT(5)19-28)
- Guerra, V. A., Beule, L., Mackowiak, C. L., Dubeux, J. C. B., Blount, A. R. S., Wang, X. B., Rowland, D. L., & Liao, H. L. (2022). Soil bacterial community response to rhizoma peanut incorporation into Florida pastures. *Journal of Environmental Quality*, *51*(1), 55–65. <https://doi.org/10.1002/JEQ2.20307>
- Hartkamp, A. D., Hoogenboom, G., & White, J. W. (2002). Adaptation of the CROPGRO growth model to velvet bean (*Mucuna pruriens*): I. Model development. *Field Crops Research*, *78*(1), 9–25. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(02\)00091-6](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(02)00091-6)
- Jing, Q., Qian, B., Bélanger, G., VanderZaag, A., Jégo, G., Smith, W., Grant, B., Shang, J., Liu, J., He, W., Boote, K., & Hoogenboom, G. (2020). Simulating alfalfa regrowth and biomass in eastern Canada using the CSM-CROPGRO-perennial forage model. *European Journal of Agronomy*, *113*, 125971. <https://doi.org/10.1016/J.EJA.2019.125971>
- Johnson, S. E., Sollenberger, L. E., & Bennett, J. M. (1994). Yield and Reserve Status of Rhizoma Peanut Growing under Shade. *Crop Science*, *34*(3), 757–761. <https://doi.org/10.2135/CROPSCI1994.0011183X003400030028X>
- Jones, J. W., Hoogenboom, G., Porter, C. H., Boote, K. J., Batchelor, W. D., Hunt, L. A., Wilkens, P. W., Singh, U., Gijsman, A. J., & Ritchie, J. T. (2003). The DSSAT cropping system model. *European Journal of Agronomy*, *18*(3–4), 235–265. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(02\)00107-7](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(02)00107-7)
- Kelly, T. C. (1995). *A bioeconomic systems approach to sustainability analysis at the farm level* [Thesis]. University of Florida.

- Kohmann, M. M., Sollenberger, L. E., Dubeux, J. C. B., Silveira, M. L., & Moreno, L. S. B. (2019). Legume Proportion in Grassland Litter Affects Decomposition Dynamics and Nutrient Mineralization. *Agronomy Journal*, *111*(3), 1079–1089. <https://doi.org/10.2134/AGRONJ2018.09.0603>
- Kröning, A. B., Costa, O. A. D., Farias, P. P., Martins, L. A., Ott, O. G., Macari, S., & Ferreira, O. G. L. (2019). Grazing criteria for perennial peanut (*Arachis pintoii* cv. Amarello) consumed by sheep in rotational stocking. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, *71*(3), 997–1004. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-10506>
- Lara, M. A. S., Pedreira, C. G. S., Boote, K. J., Pedreira, B. C., Moreno, L. S. B., & Alderman, P. D. (2012). Predicting Growth of *Panicum maximum*: An Adaptation of the CROPGRO–Perennial Forage Model. *Agronomy Journal*, *104*(3), 600–611. <https://doi.org/10.2134/AGRONJ2011.0272>
- Macêdo, G. A. R., Purcino, H. M. A., Viana, M. C. M., Oliveira, P., & Freire, F. M. (2005). Efeito de métodos de colheita na produção e qualidade de sementes de *Arachis pintoii*. *Pasturas Tropicais*, *27*(1), 21–26. [https://www.tropicalgrasslands.info/public/journals/4/Elements/DOCUMENTS/2005-vol27-rev1-2-3/Vol\\_27\\_rev1\\_05\\_pags\\_21-26.pdf](https://www.tropicalgrasslands.info/public/journals/4/Elements/DOCUMENTS/2005-vol27-rev1-2-3/Vol_27_rev1_05_pags_21-26.pdf)
- Malik, W., Boote, K. J., Hoogenboom, G., Cavero, J., & Dechmi, F. (2018). Adapting the CROPGRO Model to Simulate Alfalfa Growth and Yield. *Agronomy Journal*, *110*(5), 1777–1790. <https://doi.org/10.2134/AGRONJ2017.12.0680>
- McKenzie, J. S., Paquin, R., & Duke, S. H. (1988). Cold and Heat Tolerance. Em *Alfalfa and Alfalfa Improvement* (p. 259–302). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.2134/AGRONMONOGR29.C8>
- Miqueloni, D. P., & Lessa De Assis, G. M. (2020). Amendoim forrageiro: principais características, uso e melhoramento genético. Em M. A. Júnior (Org.), *Docência, Pesquisa e Liderança em Zootecnia* (p. 1–27). ATENA. <https://doi.org/10.22533/at.ed.0162018091>
- Muir, J. P., Pitman, W. D., & Foster, J. L. (2011). Sustainable, low-input, warm-season, grass–legume grassland mixtures: mission (nearly) impossible? *Grass and Forage Science*, *66*(3), 301–315. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2494.2011.00806.X>
- Pedreira, B. C., Pedreira, C. G. S., Boote, K. J., Lara, M. A. S., & Alderman, P. D. (2011). Adapting the CROPGRO perennial forage model to predict growth of *Brachiaria brizantha*. *Field Crops Research*, *120*(3), 370–379. <https://doi.org/10.1016/J.FCR.2010.11.010>
- Peel, M. C., Finlayson, B. L., & McMahon, T. A. (2007). Updated world map of the Köppen–Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*, *11*(5), 1633–1644. <https://doi.org/10.5194/HESS-11-1633-2007>
- Pequeno, D. N. L., Pedreira, C. G. S., & Boote, K. J. (2014). Simulating forage production of Marandu palisade grass (*Brachiaria brizantha*) with the CROPGRO–Perennial Forage model. *Crop and Pasture Science*, *65*(12), 1335–1348. <https://doi.org/10.1071/CP14058>

- Pequeno, D. N. L., Pedreira, C. G. S., Boote, K. J., Alderman, P. D., & Faria, A. F. G. (2018). Species-genotypic parameters of the CROPGRO Perennial Forage Model: Implications for comparison of three tropical pasture grasses. *Grass and Forage Science*, 73(2), 440–455. <https://doi.org/10.1111/GFS.12329>
- Quesenberry, K. H., Blount, A. R., Mislevy, P., French, E. C., Williams, M. J., & Prine, G. M. (2010). Registration of ‘UF Tito’ and ‘UF Peace’ Rhizoma Peanut Cultivars with High Dry Matter Yields, Persistence, and Disease Tolerance. *Journal of Plant Registrations*, 4(1), 17–21. <https://doi.org/10.3198/JPR2009.07.0397CRC>
- Rolim, G. de S., Sentelhas, P. S., & Barbieri, V. (1998). Spreadsheets in EXCEL™ environment to calculation of water balance: normal, sequential, culture, and potential, real productivity. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 6, 133–137. <https://docplayer.com.br/128815257-Planilhas-no-ambiente-excel-tm-para-os-calculos-de-balancos-hidricos-normal-sequencial-de-cultura-e-de-produtividade-real-e-potencial.html>
- Rymph, S. J., Boote, K. J., Irmak, A., & Mislevy, P. (2004). Adapting the CROPGRO model to predict growth and composition of tropical grasses: developing physiological parameters. *Soil and Crop Science Society of Florida Proceedings*, 63, 37–51.
- Santos, M. L. dos, Santos, P. M., Boote, K. J., Pequeno, D. N. L., Barioni, L. G., Cuadra, S. V., & Hoogenboom, G. (2022). Applying the CROPGRO Perennial Forage Model for long-term estimates of Marandu palisadegrass production in livestock management scenarios in Brazil. *Field Crops Research*, 286, 108629. <https://doi.org/10.1016/J.FCR.2022.108629>
- Santos, E. R. S., Dubeux, J. C. B., Jaramillo, D. M., Garcia, L., Mackowiak, C. L., Blount, A. R. S., Pereira-Neto, J. D., Queiroz, L. M. D., & Ruiz-Moreno, M. (2020). Herbage responses and nitrogen agronomic efficiency of bahiagrass–legume mixtures. *Agronomy Journal*, 112(5), 4057–4068. <https://doi.org/10.1002/AGJ2.20278>
- Santos, H. G., Jacomine, P. K. T., Anjos, L. H. C., Oliveira, V. Á., Oliveira, J. B., Coelho, M. R., Lumberras, J. F., & Cunha, T. J. F. (2018). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Em *Rio de Janeiro: Embrapa Solos-SPI: Vol. 2 ed.* Embrapa Solos, 2006.
- Santos, M. G., Boote, K. J., Faria, R. T., Hoogenboom, G., Santos, M. G., Boote, K. J., Faria, R. T., & Hoogenboom, G. (2019). Simulation of productivity and soil moisture under Marandu palisade grass using the CSM-CROPGRO-Perennial Forage model. *Crop and Pasture Science*, 70(2), 159–168. <https://doi.org/10.1071/CP18258>
- Silva, G. P., Fialho, C. A., Carvalho, L. R., Fonseca, L., Carvalho, P. C. F., Bremm, C., & da Silva, S. C. (2017). Sward structure and short-term herbage intake in *Arachis pintoi* cv. Belmonte subjected to varying intensities of grazing. *The Journal of Agricultural Science*, 156(1), 92–99. <https://doi.org/10.1017/S0021859617000855>
- Singh, P., & Virmani, S. M. (1996). Modeling growth and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Field Crops Research*, 46(1–3), 41–59. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(95\)00085-2](https://doi.org/10.1016/0378-4290(95)00085-2)

- SOIL SURVEY STAFF. (1990). *Keys to Soil Taxonomy* (4 ed.).
- Thorntwaite, C. W., & Mather, J. R. (1955). *The Water Balance. Laboratory of Climatology.*
- Vasco, A. C. C. M., Brinkley-Bissinger, K. J., Bobel, J. M., Dubeux, J. C. B., Warren, L. K., & Wickens, C. L. (2021). Digestibility and nitrogen and water balance in horses fed rhizoma peanut hay. *Journal of Animal Science*, 99(11). <https://doi.org/10.1093/JAS/SKAB284>
- Wang, X. B., Hsu, C. M., Dubeux, J. C. B., Mackowiak, C., Blount, A., Han, X. G., & Liao, H. L. (2019). Effects of rhizoma peanut cultivars (*Arachis glabrata* Benth.) on the soil bacterial diversity and predicted function in nitrogen fixation. *Ecology and Evolution*, 9(22), 12676–12687. <https://doi.org/10.1002/ECE3.5735>
- Wiles, P. G., Gray, I. K., Kissling, R. C., Delahanty, C., Evers, J., Greenwood, K., Grimshaw, K., Hibbert, M., Kelly, K., Luckin, H., McGregor, K., Morris, A., Petersen, M., Ross, F., & Valli, M. (1998). Routine Analysis of Proteins by Kjeldahl and Dumas Methods: Review and Interlaboratory Study Using Dairy Products. *Journal of AOAC INTERNATIONAL*, 81(3), 620–632. <https://doi.org/10.1093/JAOAC/81.3.620>
- Willmott, Cort. J. (1981). On the validation of models. *Physical Geography*, 2(2), 184–194. <https://doi.org/10.1080/02723646.1981.10642213>

**Material suplementar**

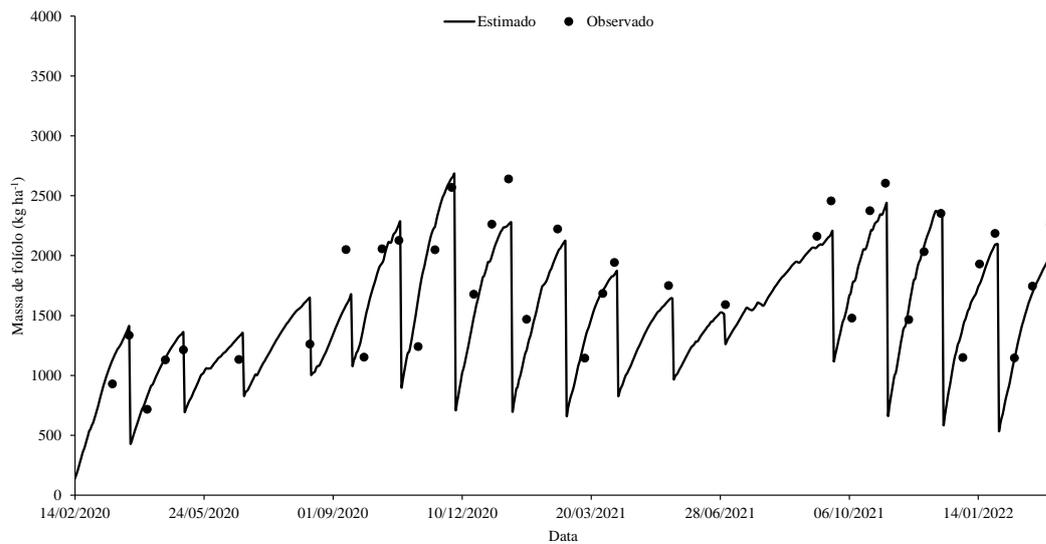
**Figura 14.** Local amostrado com moldura de 0,04 m<sup>2</sup> utilizada para colher a massa de forragem do resíduo, alocada dentro da moldura de 0,25 m<sup>2</sup>, após colher a massa de forragem acumulada e antes de colher a massa de forragem do resíduo (A) e após colher a massa de forragem do resíduo (B).



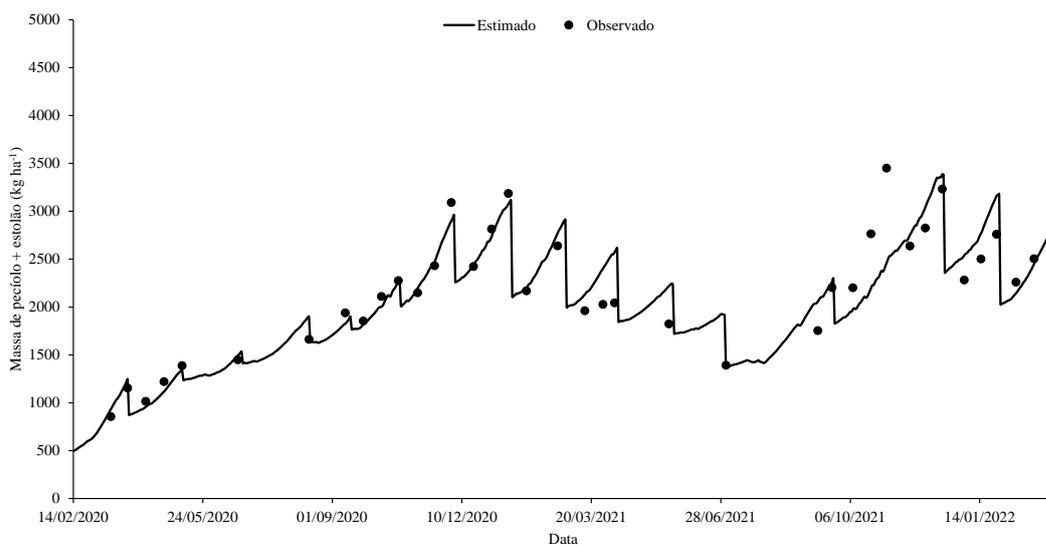
**Figura 15.** Corte do bloco de solo contendo a amostra da massa de raiz e rizoma (A); retirada da amostra (B); lavagem da amostra para retirada do solo (C); massa de rizoma e raiz de *Arachis glabrata* cv Florigraze (D).



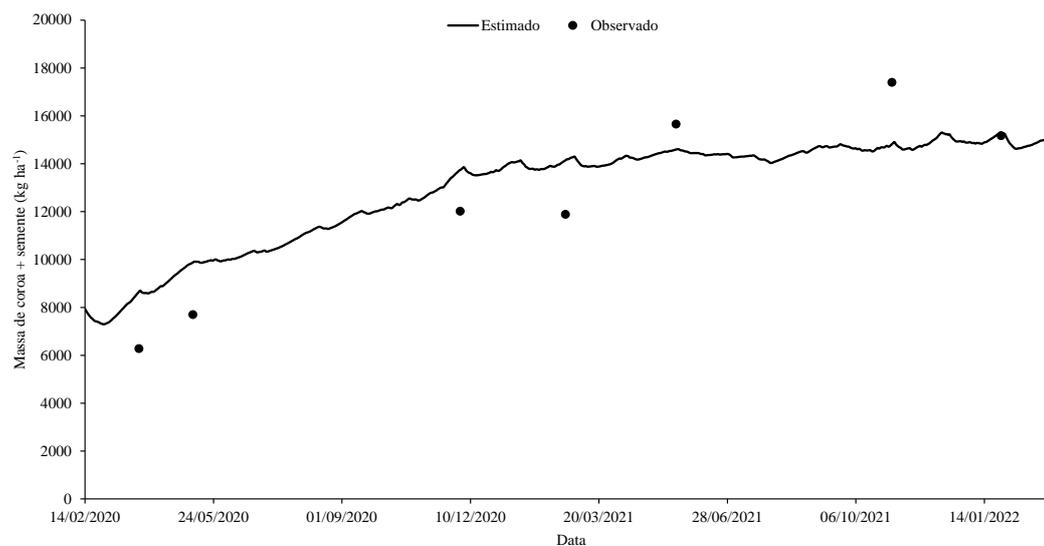
**Figura 16.** Massa seca de amostra de raiz principal (coroa) e secundária de *Arachis pintoi* cv Belmonte (A); massa seca rizoma de *Arachis glabrata* cv Florigraze (B).



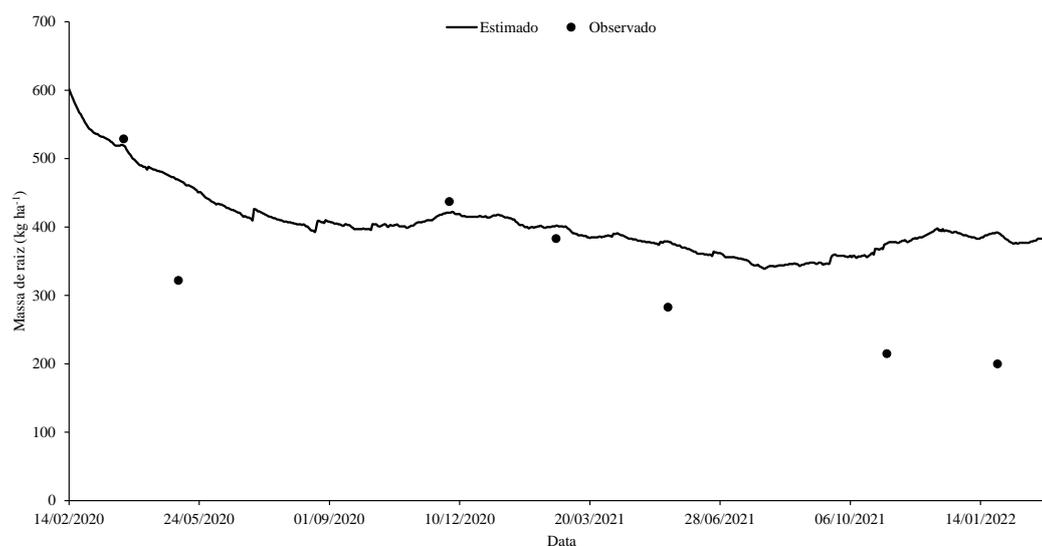
**Figura 17.** Massa de folíolo estimada pelo modelo CROPGRO-Perennial Forage e observada a campo para o *Arachis pintoi* cv. Belmonte manejado com resíduo de 4 cm de altura (maior intensidade de desfolhação) em Piracicaba.



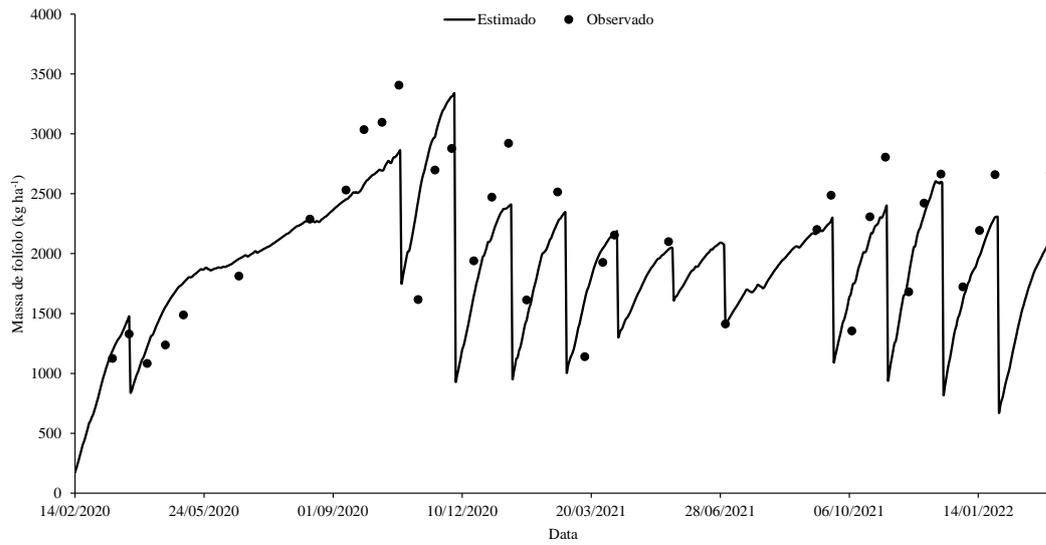
**Figura 18.** Massa de pecíolo + estolão estimada pelo modelo CROPGRO-Perennial Forage e observada a campo para o *Arachis pintoi* cv. Belmonte manejado com resíduo de 4 cm de altura (maior intensidade de desfolhação) em Piracicaba.



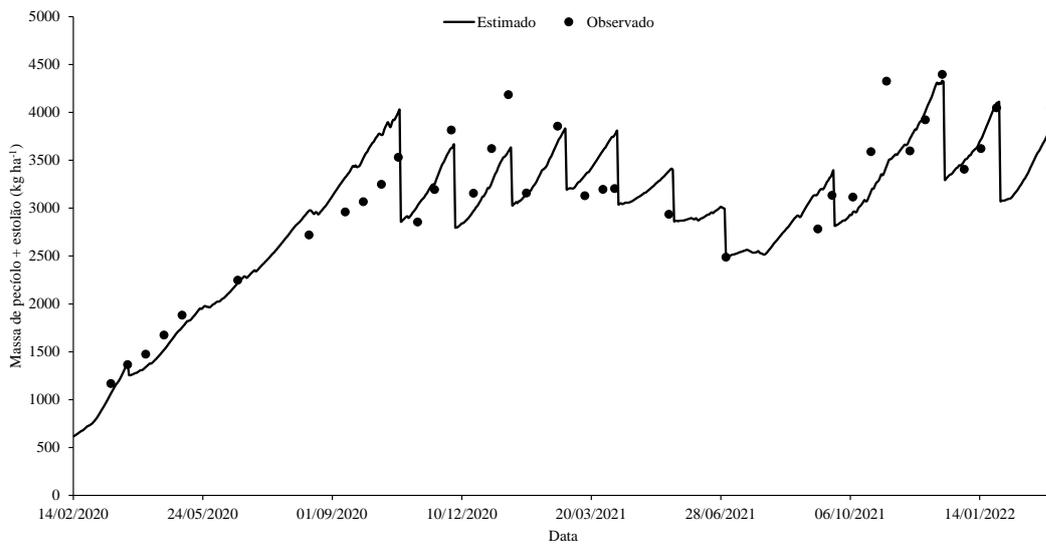
**Figura 19.** Massa de coroa + semente estimada pelo modelo CROPGRO-Perennial Forage e observada a campo para o *Arachis pintoi* cv. Belmonte manejado com resíduo de 4 cm de altura (maior intensidade de desfolhação) em Piracicaba.



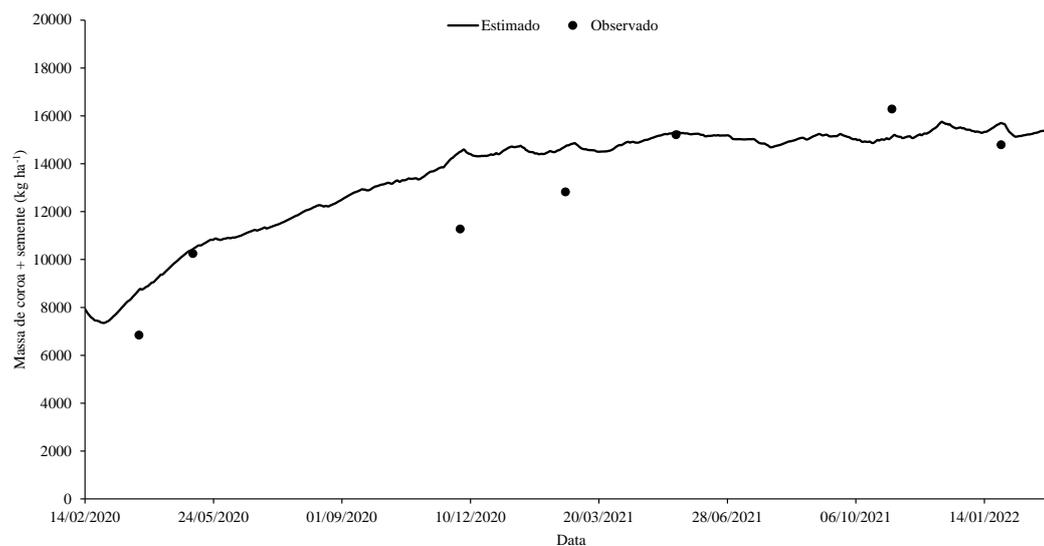
**Figura 20.** Massa de raiz estimada pelo modelo CROPGRO-Perennial Forage e observada a campo para o *Arachis pintoi* cv. Belmonte manejado com resíduo de 4 cm de altura (maior intensidade de desfolhação) em Piracicaba.



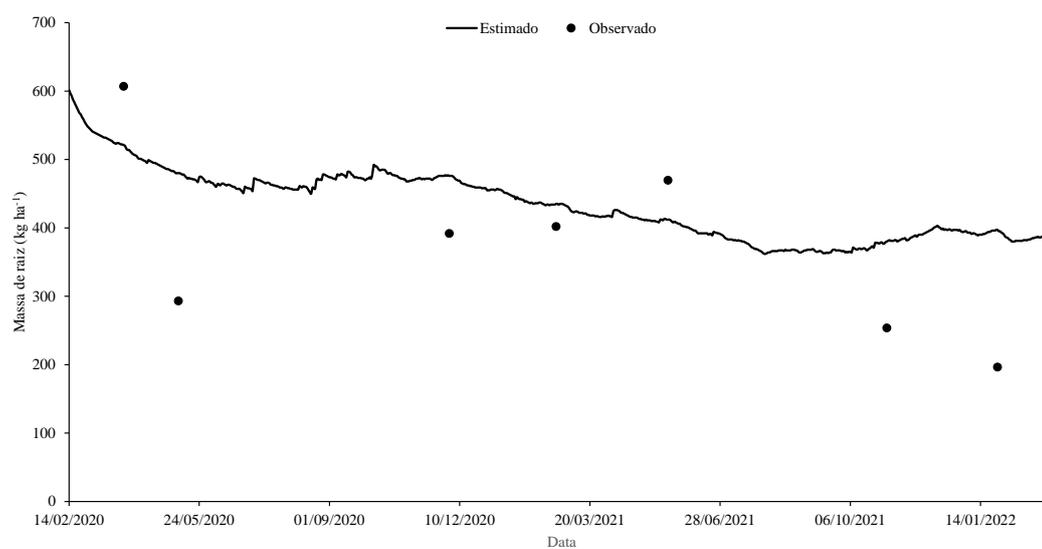
**Figura 21.** Massa de folíolo estimada pelo modelo CROPGRO-Perennial Forage e observada a campo para o *Arachis pintoi* cv. Belmonte manejado com resíduo de 8 cm de altura (maior intensidade de desfolhação) em Piracicaba.



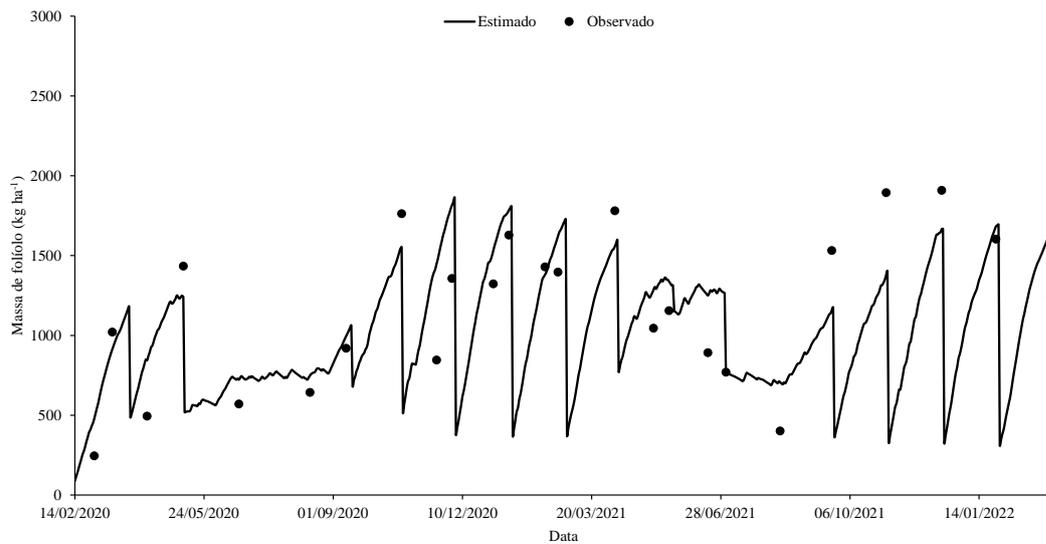
**Figura 22.** Massa de pecíolo + estolão estimada pelo modelo CROPGRO-Perennial Forage e observada a campo para o *Arachis pintoi* cv. Belmonte manejado com resíduo de 8 cm de altura (maior intensidade de desfolhação) em Piracicaba.



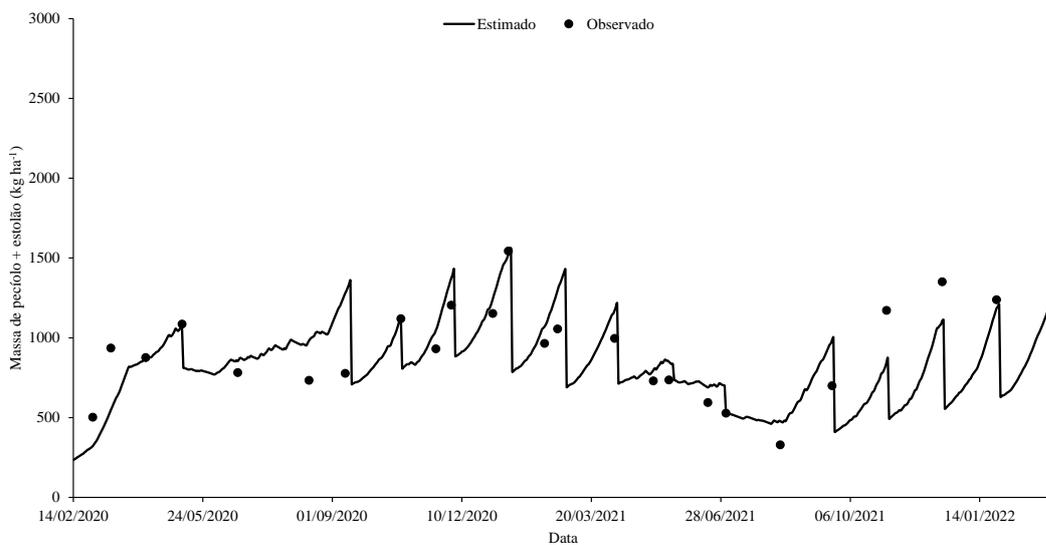
**Figura 23.** Massa de coroa + semente estimada pelo modelo CROPGRO-Perennial Forage e observada a campo para o *Arachis pintoi* cv. Belmonte manejado com resíduo de 8 cm de altura (maior intensidade de desfolhação) em Piracicaba.



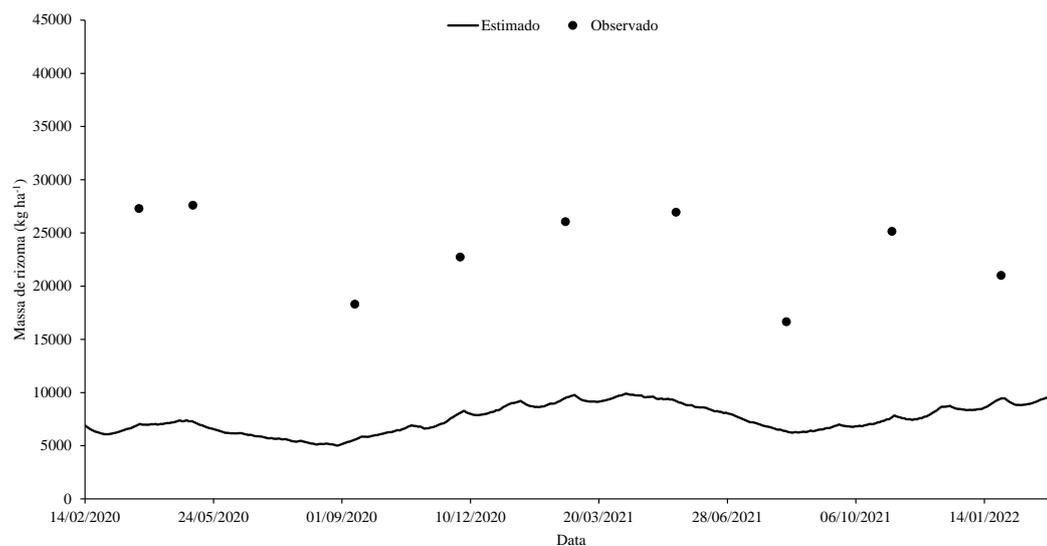
**Figura 24.** Massa de raiz estimada pelo modelo CROPGRO-Perennial Forage e observada a campo para o *Arachis pintoi* cv. Belmonte manejado com resíduo de 8 cm de altura (maior intensidade de desfolhação) em Piracicaba.



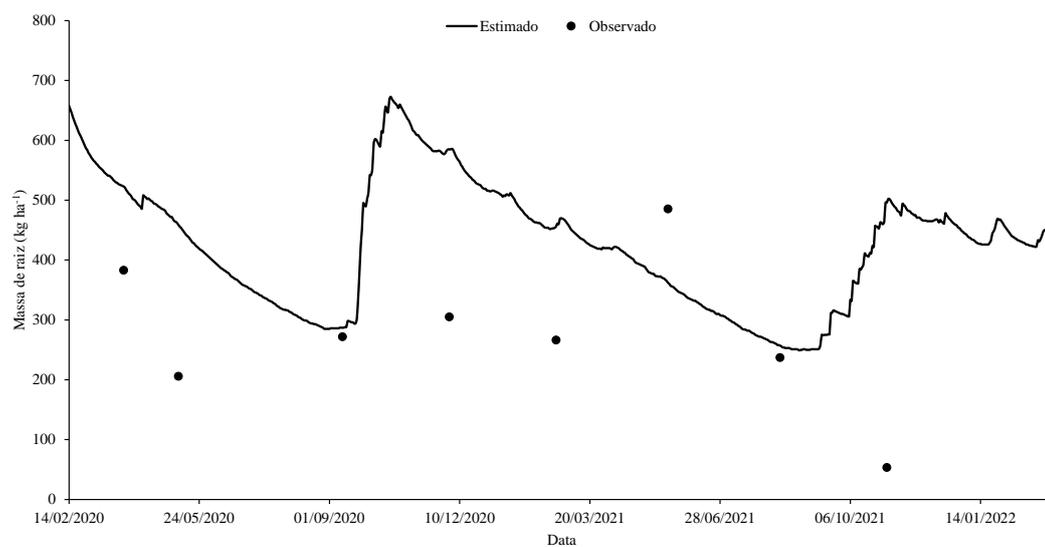
**Figura 25.** Massa de folíolo estimada pelo modelo CROPGRO-Perennial Forage e observada a campo para o *Arachis glabrata* cv. Florigraze manejado com resíduo de 4 cm de altura (maior intensidade de desfolhação) em Piracicaba.



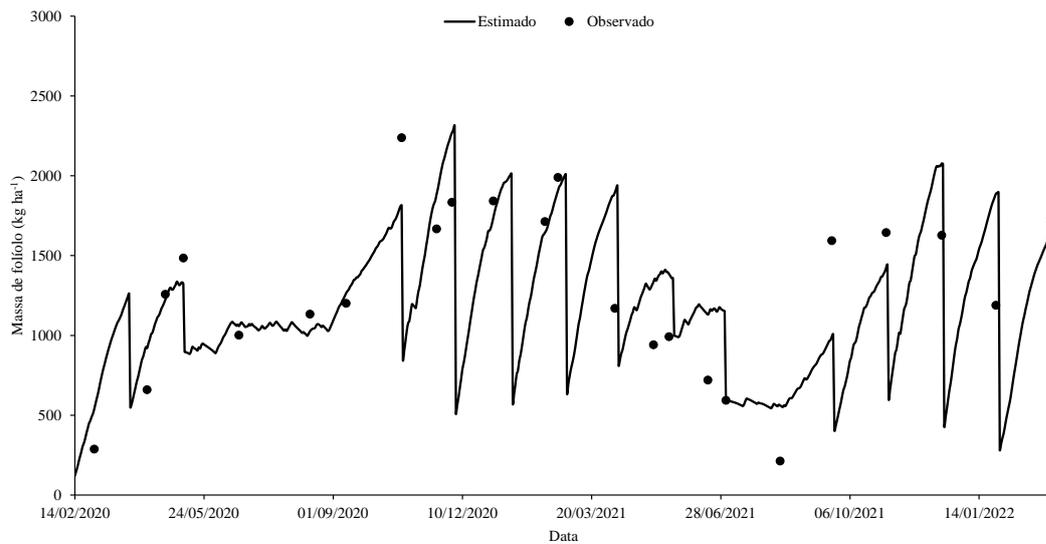
**Figura 26.** Massa de pecíolo + estolão estimada pelo modelo CROPGRO-Perennial Forage e observada a campo para o *Arachis glabrata* cv. Florigraze manejado com resíduo de 4 cm de altura (maior intensidade de desfolhação) em Piracicaba.



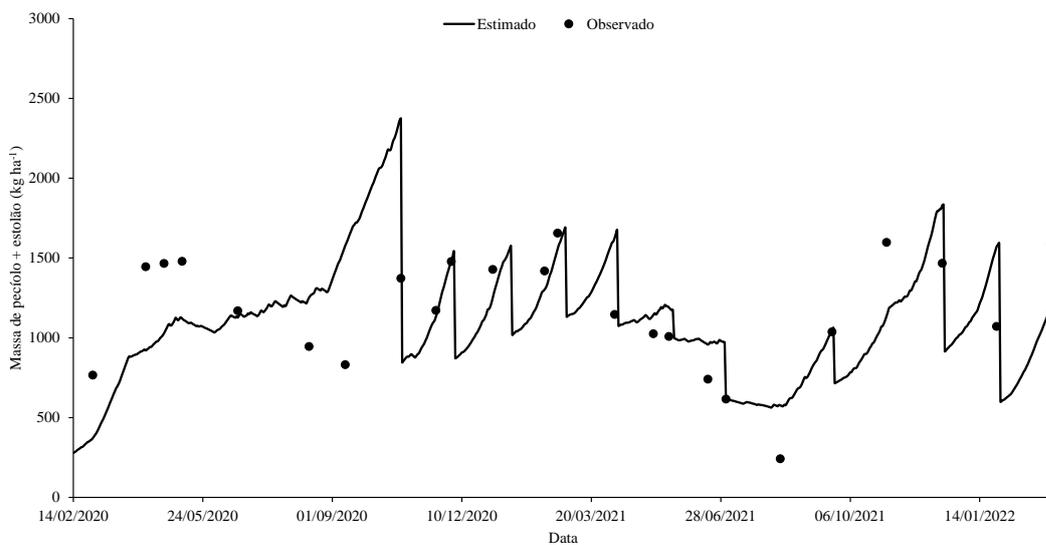
**Figura 27.** Massa de rizoma estimada pelo modelo CROPGRO-Perennial Forage e observada a campo para o *Arachis glabrata* cv. Florigraze manejado com resíduo de 4 cm de altura (maior intensidade de desfolhação) em Piracicaba.



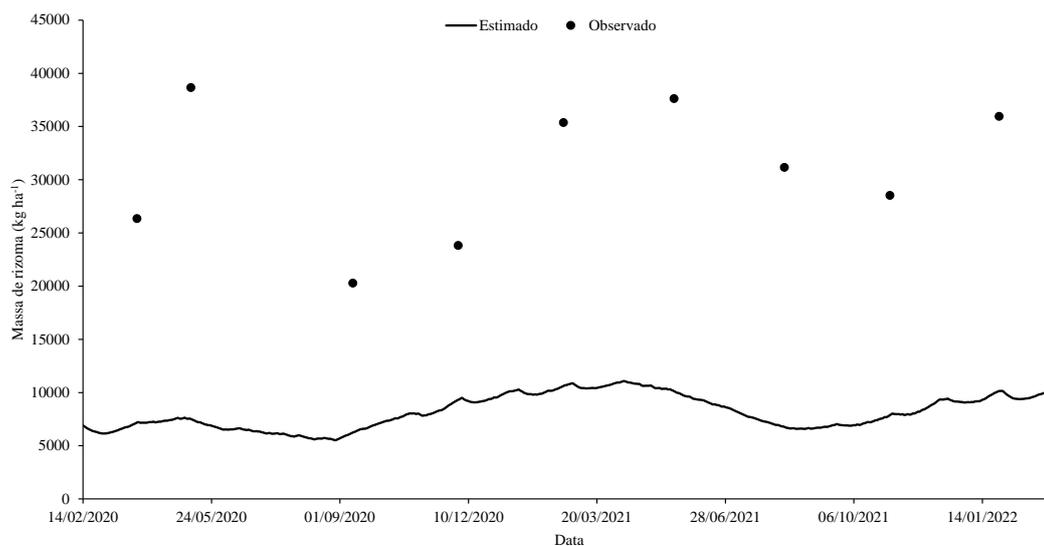
**Figura 28.** Massa de raiz estimada pelo modelo CROPGRO-Perennial Forage e observada a campo para o *Arachis glabrata* cv. Florigraze manejado com resíduo de 4 cm de altura (maior intensidade de desfolhação) em Piracicaba.



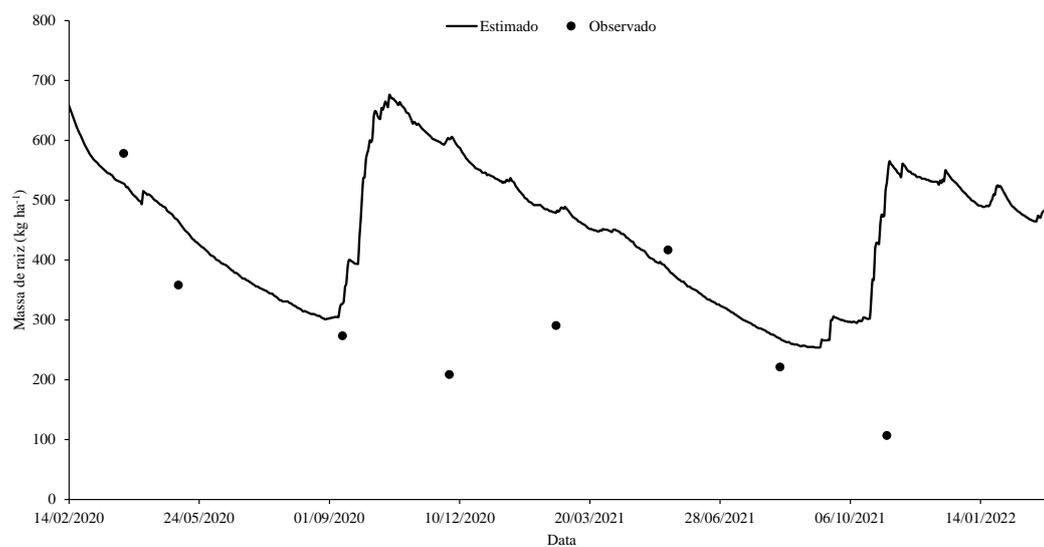
**Figura 29.** Massa de folíolo estimada pelo modelo CROPGRO-Perennial Forage e observada a campo para o *Arachis glabrata* cv. Florigraze manejado com resíduo de 8 cm de altura (maior intensidade de desfolhação) em Piracicaba.



**Figura 30.** Massa de pecíolo + estolão estimada pelo modelo CROPGRO-Perennial Forage e observada a campo para o *Arachis glabrata* cv. Florigraze manejado com resíduo de 8 cm de altura (maior intensidade de desfolhação) em Piracicaba.



**Figura 31.** Massa de rizoma estimada pelo modelo CROPGRO-Perennial Forage e observada a campo para o *Arachis glabrata* cv. Florigraze manejado com resíduo de 8 cm de altura (maior intensidade de desfolhação) em Piracicaba.



**Figura 32.** Massa de raiz estimada pelo modelo CROPGRO-Perennial Forage e observada a campo para o *Arachis glabrata* cv. Florigraze manejado com resíduo de 8 cm de altura (maior intensidade de desfolhação) em Piracicaba.



## 5 CONCLUSÕES GERAIS

O interesse pelo uso de leguminosas forrageiras do gênero *Arachis* spp. é crescente, mas seu uso ainda é modesto. Em parte, isso se deve à falta de mudas e sementes para o estabelecimento de pastagens e problemas na manutenção da perenidade das plantas devido à má escolha de genótipos e más práticas de manejo. Dessa forma, o sucesso do empreendimento agropecuário voltado para produção de forragem, requer a escolha acertiva da planta forrageira e utilização de técnicas de manejo adequadas. Estudos como o aqui reportado tem informações que poderão auxiliar no processo de tomada de decisão, sobre a escolha entre genótipos de *Arachis* perene.

As características fisiológicas conservadoras do Florigraze, constatadas nesse estudo pela menor A, gs, AFE e maior DPV e EUA indicam que essa espécie é mais recomendada para sistemas de produção de forragem, nos trópicos úmidos, com menor disponibilidade hídrica. As melhores respostas fotossintéticas do Belmonte (maior A e menor DPV) associados à suas características agrônômicas: maior proporção de folíolo, IAF, AFE e IL, indicam que essa espécie é mais recomendada para sistemas de produção intensiva de forragem. Belmonte teve maior AF que o Florigraze nas condições de manejo intensivo, o que possibilita um maior retorno econômico dos fatores de produção investidos no sistema. O Florigraze apresentou maior proporção de plantas daninhas, indicando baixa adaptação as condições do presente estudo.

Para sistemas de produção intensiva de forragem sob corte e irrigação nos trópicos úmidos, Belmonte e Florigraze podem ser manejados com intensidades de desfolhação de 4 ou 8 cm de altura do resíduo, durante a época quente. Por outro lado, durante a época fria o manejo com menor intensidade de desfolhação parece ser mais vantajoso. O modelo CROPGRO-Perennial Forage alfafa parametrizado para *Arachis* spp. foi capaz de simular o padrão sazonal de crescimento do Belmonte e Florigraze de forma eficiente nas duas intensidades de desfolhação adotadas nesse estudo.