

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes

Tese



**Ecofisiologia do desenvolvimento e a estimativa por uso de modelos matemáticos
em Poaceas e Fabaceas**

Letícia Barão Medeiros

Pelotas, 2023

Letícia Barão Medeiros

**Ecofisiologia do desenvolvimento e a estimativa por uso de modelos matemáticos
em Poaceas e Fabaceas**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Ciências.

Orientador:

Prof. Dr. Tiago Pedó (FAEM/UFPEL)

Coorientadores:

Prof. Dr. Tiago Zanatta Aumonde (FAEM/UFPEL)

Pelotas, 2023

Ubirajara Buddin Cruz – CRB 10/901
Biblioteca Campus Capão do Leão - UFPel

M488e Medeiros, Leticia Barão

Ecofisiologia do desenvolvimento e estimativa por uso de modelos matemáticos em Poaceas e Fabaceas [recurso eletrônico] / Leticia Barão Medeiros ; Tiago Pedó, orientador ; Tiago Zanatta Aumonde, co-orientador. — Pelotas, 2023.
88 f.

Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2023.

1. *Glycine max*. 2. Híbrido. 3. Nitrogênio. 4. *Phaseolus vulgaris*.
5. *Sorghum bicolor*. 6. *Zea mays*. I. Pedó, Tiago, orient. II.
Aumonde, Tiago Zanatta, co-orient. III. Título.

CDD: 633.3

Letícia Barão Medeiros

Ecofisiologia do desenvolvimento e a estimativa por uso de modelos matemáticos em Poaceas e Fabaceas

Tese aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Doutora em Ciências, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 29/12/2023.

Banca examinador

.....
Prof. Dr. Tiago Pedó (Orientador)
Doutor em Ciência pela Universidade Federal de Pelotas

.....
Prof. Dr. Tiago Zanatta Aumonde (Co Orientador)
Doutor em Ciência pela Universidade Federal de Pelotas

.....
Prof^a Lilian Vanussa Madruga de Tunes
Doutora em Agronomia pela Universidade Federal de Santa Maria

.....
Prof. Dr. Cláudio Becker
Doutor Ciências Sociais Agrárias da Universidade Federal de Pelotas

.....
Dra. Danielle Almeida
Doutora em Fitotecnia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

.....
Dra. Angelita Celente Martins
Doutora em Fisiologia Vegetal pela Universidade Federal de Pelotas

À Deus;
À família;
Aos amigos e colegas que me apoiaram;

Dedico

Agradecimentos

À Deus, por guiar meus pensamentos nas horas difíceis e me mostrar o caminho certo.

Aos meus pais, Sílvia e Alencar (*in memoriam*), que me proporcionaram chegar até aqui, me apoiando e fazendo que os meus sonhos se tornassem deles também.

Ao meu irmão Alencar, que sempre com muito amor e carinho esteve presente e me deu força nessa caminhada.

Ao meu orientador, Tiago Pedó, pela atenção, paciência, conselhos, sabedoria e todos os conhecimentos passados durante esse tempo de doutorado.

Aos meus colegas e estagiários do grupo de pesquisa em Plantas de Lavoura do PPG Ciência e Tecnologia de Sementes, juntamente com a pós doutoranda Angelita.

Aos colegas pós-graduação pelo conhecimento trocado e pelos anos de convivência e amizade.

À Universidade Federal de Pelotas e ao PPG de Ciência e Tecnologia de Sementes pela oportunidade e à CAPES pela bolsa concedida durante a realização do estudo de doutorado.

À todos que de alguma maneira contribuíram para realização deste trabalho, muito obrigada!

Sumário

1. Introdução Geral.....	11
2. Capítulo I – Ecofisiologia do crescimento de híbridos de milho na safrinha	19
2.1 Introdução.....	19
2.2 Material e métodos.....	21
2.3 Resultados e Discussão	23
2.4. Conclusão.....	29
3.Capítulo II – Ecofisiologia do crescimento do sorgo sob efeito do manejo do nitrogênio.....	30
3.1 Introdução.....	30
3.2 Material e métodos.....	31
3.3 Resultados e discussão.....	33
3.4 Conclusões.....	37
4. Capítulo III. Análise morfofisiológica: técnica não destrutiva para avaliar o crescimento de feijão e soja	39
4.1 Introdução.....	39
4.2 Material e métodos.....	40
4.3 Resultados.....	43
4.4 Discussão	50
4.5 Conclusão.....	51
5. Capítulo IV. Técnica não destrutiva de avaliação do crescimento de plantas de milho e sorgo:.....	52
análise de crescimento morfofisiológica	52
5.1 Introdução.....	52
5.2 Material e métodos.....	53
5.3 Resultados.....	56
5.4 Discussão	65
5.5 Conclusões.....	66
6. Considerações finais.....	67
Referências bibliográficas	68

Resumo

MEDEIROS, Letícia Barão. **Ecofisiologia do desenvolvimento e a estimativa por uso de modelos matemáticos em Poaceas e Fabaceas**. Orientador: Tiago Pedó. 2023. 88f. Tese (Doutorado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2023.

O aumento da produtividade agrícola está relacionado com o manejo e o posicionamento de genéticas adaptadas as mais variadas condições de ambiente, sendo assim, determinar o crescimento de plantas é fundamental para obtermos os elevados rendimentos. Desse modo, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o desenvolvimento de plantas de milho, sorgo, soja e feijão com diferentes métodos. No capítulo I foi avaliada a ecofisiologia do crescimento de híbridos de milho na safrinha, a intervalos regulares de 14 dias após a semeadura (DAS) pelo método da logística simples, para seis híbridos comerciais. No capítulo II foi avaliada a ecofisiologia do crescimento do sorgo sob efeito do manejo do nitrogênio, a intervalos regulares de 14 DAS pelo método da logística simples, para doses de nitrogênio, sendo: T1: 0 N; T2: 10 Kg de N na semeadura + 55 kg em cobertura; T3: 20 Kg de N na semeadura + 55 kg em cobertura e T4: 30 Kg de N na semeadura + 55 kg em cobertura. No capítulo III foi avaliada uma análise morfofisiológica: técnica não destrutiva para avaliar o crescimento de feijão e soja, os dados foram coletados a intervalos regulares DAS pelo método destrutivo a fim de determinar modelos não destrutivos de crescimento, para soja sob efeito de alagamento do solo e feijão sob a aplicação de regulador de crescimento. No capítulo IV foi avaliada uma técnica não destrutiva de avaliação do crescimento de plantas de milho e sorgo: análise de crescimento morfofisiológica, os dados foram coletados a intervalos regulares DAS pelo método destrutivo a fim de determinar modelos não destrutivos de crescimento, para híbridos de milho e doses de nitrogênio em sorgo. Os resultados demonstraram que plantas de diferentes híbridos de milho apresentaram uma variação de 1239,08 a 1681,36 g m⁻² em acúmulo de massa seca. Diferentes doses de nitrogênio em cobertura nas plantas sorgo apresentaram variações de T1 16,65% e T4 51,11% em acúmulo de massa seca. Os fatores de correção do feijão foram respectivamente de 0,104 e 0,0006 para (Af) e (Wf). Para a soja, os fatores foram de 0,14 (Af) e 0,301 (Wf). Os resultados

obtidos nestes trabalhos, também demonstraram que os fatores de correção para a Af foi de 10,35 e para Wf foi de 0,072 para milho. Já, para sorgo o fator de correção para a Af foi de 8,75 e para Wf foi de 0,038. A eficiência do milho e do sorgo em transformar luz solar em biomassa é limitada por variações ambientais, afetando a produtividade. Modelos que calculam a área foliar e a biomassa ajudam a melhorar a produção. Soja e feijão reagem de maneiras diferentes ao alagamento, com a soja se ajustando aos 60 dias e o feijão atingindo seu pico aos 38 dias após a semeadura. Conclui-se que esses dados são fundamentais para aprimorar o manejo agrícola em condições variáveis, podendo afetar o acúmulo de reservas nutritivas, acarretando implicações significativas no rendimento final das culturas.

Palavras-chave: *Glycine max*, híbrido, nitrogênio, *Phaseolus vulgaris*, *Sorghum bicolor*, *Zea mays*.

Abstract

MEDEIROS, Letícia Barão. **Developmental ecophysiology and estimation for the use of mathematical models in Poaceas and Fabaceas.** Advisor: Tiago Pedó. 2023. 88f. Thesis (Doctor of Science) – Program in Science and Technology of Seeds, Faculty of Agronomy Eliseu Maciel, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2023.

The increase in agricultural productivity is related to the management and positioning of genetics adapted to the most varied environmental conditions, therefore, determining plant growth is essential to obtain high yields. Thus, the present study aimed to evaluate the development of corn, sorghum, soybean and bean plants using different methods. In Chapter I, the ecophysiology of the growth of corn hybrids in the second crop was evaluated, at regular intervals of 14 days after sowing (DAS) by the simple logistic method, for six commercial hybrids. In Chapter II, the ecophysiology of sorghum growth under the effect of nitrogen management was evaluated, at regular intervals of 14 DAS by the simple logistic method, for nitrogen doses, being: T1: 0 N; T2: 10 kg of N at sowing + 55 kg in topdressing; T3: 20 kg of N at sowing + 55 kg in topdressing and T4: 30 kg of N at sowing + 55 kg in topdressing. In Chapter III, a morphophysiological analysis was evaluated: a non-destructive technique to evaluate the growth of beans and soybeans. Data were collected at regular DAS intervals by the destructive method in order to determine non-destructive growth models for soybeans under the effect of soil flooding and beans under the application of growth regulator. In Chapter IV, a non-destructive technique to evaluate the growth of maize and sorghum plants was evaluated: morphophysiological growth analysis. Data were collected at regular DAS intervals by the destructive method in order to determine non-destructive growth models for maize hybrids and nitrogen doses in sorghum. The results demonstrated that plants of different corn hybrids presented a variation of 1239.08 to 1681.36 g m⁻² in dry mass accumulation. Different doses of nitrogen topdressing in sorghum plants presented variations of T1 16.65% and T4 51.11% in dry mass accumulation. The correction factors for beans were 0.104 and 0.0006 for (Af) and (Wf), respectively. For soybeans, the factors were 0.14 (Af) and 0.301 (Wf). The results obtained in these studies also demonstrated that the correction factors for Af were 10.35 and for Wf were 0.072 for corn. For sorghum, the correction factor for Af was 8.75 and for Wf was 0.038. The efficiency of corn and sorghum in transforming sunlight into biomass is limited by environmental variations, affecting productivity. Models that calculate leaf area and biomass help to improve production. Soybeans and beans react differently to flooding, with soybeans adjusting at 60 days and beans reaching their peak at 38 days after sowing. It is concluded that these data are fundamental to improve agricultural management in variable conditions, and may affect the accumulation of nutritional reserves, leading to significant implications on the final yield of crops.

Keywords: *Glycine max*, hybrid, nitrogen, *Phaseolus vulgaris*, *Sorghum bicolor*, *Zea mays*.

1. Introdução Geral

CULTURA DO MILHO

O milho (*Zea mays* L.) é uma cultura de extrema importância mundial e um dos grãos mais versáteis produzidos e consumidos, sendo cultivado em quase todos os países, sob diferentes climas e manejos (ALMEIDA et al., 2017).

É uma das plantas mais eficientes na armazenagem de energia na natureza, graças à sua elevada capacidade de acumular fotoassimilados (BALDO, 2007). De uma semente que pesa pouco mais de 0,3 g surgirá uma planta que geralmente atinge mais de 2,0 m de altura em aproximadamente nove semanas. Nos meses seguintes, essa planta produz cerca de 600 a 1.000 sementes semelhantes àquela da qual se originou (ALDRICH et al. 1982).

No que se refere ao período de cultivo, o Brasil, sendo um país tropical, possui grande vantagem em comparação às regiões de clima temperado, onde esse período é bem definido e relativamente curto (PATERNIANI et al., 2000). No entanto, há desvantagens nos ambientes tropicais, como a imprevisibilidade das condições climáticas e as variações acentuadas tanto entre regiões quanto entre anos. Com o avanço das mudanças climáticas, é provável que observemos modificações ainda maiores no ambiente (PINTO; ASSAD, 2008).

É a cultura agrícola mais produzida no mundo e está prestes a atingir a segunda maior marca já vista na história. Para a safra 2023/24, estima-se de uma área de 21.135 milhões ha será cultivado aproximadamente 21,1 milhões hectares atingindo a produtividade 5.63 t ha⁻¹ e produção estimada de 119,1 milhões toneladas (CONAB 2023b).

Notavelmente, os estados de Rio Grande do Sul, Minas Gerais, Paraná e Santa Catarina são responsáveis por mais de 90% da produção de milho no Brasil (CONAB 2023a).

O milho é considerado um dos principais cereais do mundo, fornecendo vários produtos que são largamente utilizados para a alimentação humana e alimentação animal, sendo bastante utilizado para fornecer matérias-primas para a indústria, principalmente em função da quantidade e qualidade das reservas acumuladas que o mesmo possui em seus grãos (ALVES et al., 2015).

Dentre os cereais de significativa relevância econômica, o milho destaca-se como a cultura com o maior potencial de produção de biomassa. A partir de uma única semente de milho, que pesa aproximadamente 300 mg, em um período de aproximadamente 3 meses, é possível cultivar uma planta que atinge uma altura que varia entre 2 e 3 metros, e essa planta tem a capacidade de produzir entre 500 e 1000 grãos, equivalente ao seu grão original (SANGOI & SILVA, 2012).

O milho é uma planta altamente eficiente em fotossíntese, seguindo o mecanismo C4. Devido às suas características botânicas e morfológicas, essa cultura apresenta uma notável capacidade de adaptação a uma ampla variedade de ambientes. O ciclo de crescimento das variedades de milho, nas condições de cultivo no Brasil, abrange um período que varia de 105 a 180 dias, desde a semeadura até a colheita, conforme indicado por Von Pinho et al. (2015).

O metabolismo C4 do milho permite otimizar a fotossíntese em condições de alta disponibilidade de radiação solar (BERGAMASCHI et al., 2004). A interceptação da radiação incidente pode ser maximizada ao aumentar a densidade de plantio (SANGOI et al., 2013), o que, por sua vez, pode potencializar a produtividade da cultura.

Em condições ideais de calor e umidade, a emergência das plantas geralmente ocorre em um período de aproximadamente quatro a cinco dias após a semeadura. No entanto, como ressaltado por Ritche et al. (2003), em ambientes caracterizados por temperaturas baixas ou períodos de seca, esse processo pode demandar duas semanas ou até mais.

O milho apresenta um período crítico bem definido, que se concentra entre o florescimento e o início do enchimento de grãos (MAGALHÃES; DURÃES, 2006). Precipitações pluviométricas elevadas na safra verão aumentam a disponibilidade hídrica do solo e proporcionam adequado desenvolvimento da cultura (FREITAS et al., 2013).

No mercado atual, existem híbridos de milho cujos grãos apresentam rápida perda de umidade. Essa característica é desejável, pois contribui para a redução do custo de produção, uma vez que demanda menor necessidade de secagem artificial, conforme destacado por Magari et al. (1996).

A análise de crescimento, segundo Magalhães et al. (2002), descreve as condições morfofisiológicas da planta em intervalos regulares de tempo,

possibilitando o acompanhamento da dinâmica da produtividade por meio da avaliação de índices fisiológicos e bioquímicos. Também oferece a oportunidade de avaliar a participação das diversas estruturas vegetais no acúmulo de matéria seca e no rendimento das espécies, proporcionando assim uma estimativa do desenvolvimento e da influência dos processos morfofisiológicos no desempenho vegetal (PEIXOTO; PEIXOTO, 2009).

Os métodos não destrutivos indiretos são caracterizados por relações entre fatores, como área foliar e medições lineares realizadas em folhas. Estas relações são expressas em geral por equações de regressão que são utilizadas na estimativa da área foliar (RAMKHELAWAN et al., 2002).

CULTURA DO SORGO

O sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) é uma planta da família Poaceae originária da África, caracterizada por possuir um metabolismo C4 que confere alta capacidade fotossintética. Essa espécie demonstra uma notável adaptação a climas áridos e semiáridos, destacando-se por sua resistência a elevadas temperaturas e à escassez de água. Apresenta uma considerável adaptabilidade a diversos tipos de solo, possibilitando seu cultivo em terras onde outras culturas podem não alcançar resultados significativos (BEHLING et al. 2017, HMIELOWSKI 2017, EMENDACK et al. 2018).

Durante o ciclo de crescimento, a planta de sorgo depende das folhas como seus principais órgãos fotossintéticos. A taxa de crescimento da planta é influenciada pela taxa de expansão da área foliar e pela eficiência da fotossíntese por unidade de área foliar. Conforme a copa da planta se fecha, aumentos adicionais no índice de área foliar têm pouco ou nenhum efeito na fotossíntese, que passa a depender principalmente da radiação solar incidente e da estrutura da copa vegetal (EMBRAPA, 2003).

O número total de folhas em uma planta varia de 7 a 30, comumente situando-se entre 7 e 14 para genótipos adaptados de sorgo granífero. O comprimento das folhas pode alcançar mais de 1 metro, enquanto a largura varia de 0,5 a 15 cm. Os principais fatores que determinam o número de folhas no sorgo são a cultivar específica, o fotoperíodo e a temperatura ambiente (EMBRAPA, 2003).

Comparado ao milho, o sorgo demonstra maior tolerância a temperaturas altas e menor tolerância a temperaturas baixas. Baixas temperaturas afetam principalmente o desenvolvimento da panícula, especialmente pela sua influência na esterilidade das espiguetas. A sensibilidade a temperaturas baixas é mais pronunciada durante o estágio de meiose.

Sua utilização abrange diversas finalidades, sendo empregado tanto como alimento para seres humanos quanto para animais. Além disso, o sorgo serve como matéria-prima na produção de álcool, tintas, açúcar e bebidas. Adicionalmente, desempenha um papel significativo como forragem na alimentação de ruminantes, conforme destacado por Lyumugabe et al. (2012). No contexto brasileiro, o uso preponderante do sorgo está associado à produção de ração animal.

O desenvolvimento robusto do sistema radicular possibilita a exploração de água em camadas mais profundas do solo, conferindo ao sorgo a capacidade de ser cultivado em regiões sujeitas a períodos de estiagem, evidenciando uma maior resistência ao estresse hídrico, conforme destacado por Botelho et al. (2010).

A cultura do sorgo apresenta uma significativa vantagem, que é a capacidade de rebrota, resultando em custos de produção reduzidos. Essa capacidade de rebrota é viabilizada pelo fato de a planta manter seu sistema radicular vivo mesmo após a colheita dos grãos ou da parte aérea, conforme destacado por Foloni et al. (2020).

Até o ano de 2027, há previsões indicando um notável aumento de 78,7% na área plantada nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, atingindo aproximadamente 124 mil hectares (EMBRAPA, 2018). Este crescimento expressivo está condicionado ao desenvolvimento de híbridos eficientes e altamente adaptados a áreas encharcadas ou de várzea.

O sorgo, nesse contexto, surge como uma excelente opção para a rotação de culturas com o arroz, contribuindo significativamente para a redução de plantas daninhas, como o arroz vermelho, em regiões de cultivo de arroz. Essa estratégia de rotação de culturas não apenas promove a diversificação agrícola, mas também oferece benefícios no controle de ervas invasoras, de acordo com as perspectivas delineadas para a região (EMBRAPA, 2022).

O estudo de crescimento viabiliza a avaliação da contribuição das diversas

estruturas vegetais no acúmulo de matéria seca e no rendimento das espécies. Isso possibilita estabelecer estimativas do desenvolvimento e compreender a influência dos processos morfofisiológicos sobre o desempenho das plantas (PEIXOTO e PEIXOTO, 2009).

Existem diversos estudos utilizando a técnica de análise de crescimento de plantas em diferentes condições ambientais, práticas de manejo ou níveis de capacidade produtiva, como em mini melancia (AUMONDE et al., 2011), pimenta (PEDÓ et al., 2013a), maria-pretinha (AUMONDE et al., 2013), cevada (SILVA et al., 2007), arroz (FALQUETO et al., 2009), feijão (REYES-CUESTA et al., 1995; PEDÓ et al., 2016), soja (MELGES et al., 1989; MARENCO e LOPES, 2007) centeio (PEDÓ et al., 2015) e trigo (KOCH et al., 2017).

A técnica viabiliza a dedução da influência de diversos processos fisiológicos no desempenho das plantas, representando o ponto inicial para a interpretação e avaliação da produção primária (PEDÓ et al., 2013b).

A busca por métodos indiretos, de fácil aplicação, rápidos e não invasivos, destinados à precisa estimativa de metodologias, emerge como uma abordagem essencial para a avaliação do crescimento das plantas em ambientes de campo (VIEIRA JUNIOR et al., 2006).

CULTURA DA SOJA

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) se destaca como uma das principais culturas cultivadas em larga escala globalmente. As plantas de soja apresentam uma plasticidade notável em relação ao ambiente, o que lhes permite responder de diversas maneiras a diferentes arranjos de plantio. Elas adaptam-se através da emissão de ramos, variação no número de entrenós e na quantidade de nós reprodutivos.

Essas mudanças na morfologia da planta possibilitam alcançar rendimentos de sementes semelhantes, mesmo com densidades menores (LEE et al., 2008; DE OLIVEIRA PROCÓPIO et al., 2013; PETTER et al., 2016).

O ambiente de produção influencia diretamente o crescimento das plantas de soja (PEDÓ et al., 2015). O melhoramento genético permitiu a expansão do cultivo da soja para diversos ambientes agrícolas, incluindo aqueles frequentemente considerados desfavoráveis devido às condições ambientais

adversas ao pleno desenvolvimento da cultura (ÁVILA et al., 2003; BAILEY-SERRES et al., 2019).

Essa planta representa uma fonte significativa de óleo e proteína vegetal, desempenhando um papel essencial na produção de diversos produtos na indústria alimentícia em todo o mundo (KOESTER et al. (2014, 2016), destacam a importância econômica e nutricional da soja nesse contexto. Ocupa uma posição central como uma das principais commodities do Brasil, exercendo impacto significativo tanto na exploração agrícola quanto na economia nacional. Sua presença tem desencadeado uma verdadeira revolução no cenário da agricultura brasileira, conforme destacado por Bonato (2000).

A introdução da soja no Brasil ocorreu por volta de 1882. No entanto, nesse período, o foco não estava no cultivo do grão, mas sim na utilização da planta como forrageira e na rotação de culturas. Os grãos eram destinados principalmente aos animais, uma vez que ainda não havia sua aplicação na indústria (Centro de Inteligência da Soja, 2014).

O êxito na lavoura de soja e o desempenho superior no campo são influenciados por vários fatores, sendo o mais crucial deles a seleção de sementes de alta qualidade, as quais, por sua vez, resultam em plantas de vigor elevado (FRANÇA NETO, 2016).

A soja desempenha um papel essencial na alimentação humana, possui uma ampla gama de usos, destacando-se na produção de rações e biocombustíveis (FREITAS, 2009). Sua relevância econômica e multifuncionalidade consolidam a soja como um dos cultivos mais significativos e amplamente negociados globalmente.

Na safra 2023/24, as estimativas são de crescimento tanto na área como na produtividade. Com uma área prevista de 45,18 milhões de toneladas e uma produtividade média inicial estimada em 3.586 quilos por hectare, a produção deve alcançar um pouco mais de 162 milhões de toneladas.

A qualidade das sementes está fundamentada sobre quatro pilares essenciais. Em primeiro lugar, a qualidade fisiológica, refletida por sementes de alto vigor e germinação, resultando em uma emergência adequada de plântulas no campo. Em seguida, a qualidade genética, que se traduz na ausência de misturas varietais, assegurando a pureza genética da cultivar desejada para semeadura. A qualidade sanitária representa outro pilar crucial, englobando

sementes isentas de outras sementes provenientes de plantas daninhas e de patógenos, incluindo bactérias, vírus, nematoides e fungos. Por último, a qualidade física compreende sementes puras, desprovidas de qualquer material inerte, como contaminantes, fragmentos de plantas, insetos, torrões e outras impurezas (FRANÇA NETO, 2007).

Em relação ao processo de produção, França Neto et al, (1994) destacam que a qualidade das sementes pode ser influenciada por diversos fatores. Esses fatores se manifestam não apenas no campo, antes e durante a colheita, mas também em todas as etapas da produção, incluindo a secagem, o beneficiamento, o armazenamento, o transporte e a semeadura. O êxito no cultivo é primordialmente determinado pela escolha de sementes de soja de elevada qualidade.

O crescimento vegetal envolve a síntese e a distribuição de carbono entre os diversos órgãos da planta, sendo um reflexo da interação entre seu genótipo e o ambiente circundante (MARCELIS, 1994).

A preocupação central nas ciências agrícolas é desenvolver modelos não destrutivos que prevejam com precisão o crescimento e a produtividade das culturas. Com esse propósito têm sido desenvolvidos e testados inúmeras técnicas não destrutíveis que avaliam o potencial dessas culturas frente a fatores ambientais, em forma de proteção em relação as modificações que ocorrem durante todo processo do crescimento das cultivares (MONDO et al., 2009).

CULTURA DO FEIJÃO

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é amplamente cultivado em todo o território do Brasil, e seus grãos se destacam pela presença de teores elevados de proteína, lisina, carboidratos, vitaminas, minerais e elevado teor de fibra alimentar comparativamente às diferentes espécies de cereais (LONDERO et al., 2008). Um dos principais desafios na produção de feijão é a dificuldade de colheita mecanizada, atribuída principalmente à baixa posição de inserção das vagens em relação à superfície do solo, conforme observado por Baldissera et al. (2012) e destacado por estudos anteriores (FURLANI et al., 2008; SILVA et al., 2008, 2013). A estimativa da safra de grãos 2023/24, deve chegar a 316,7 milhões de toneladas, com uma expectativa de crescimento previsto de 3,3% na

área total a ser semeada de feijão, com as três safras, estimada em 2,8 milhões de hectares, e com a produção total no país de 3,1 milhões de toneladas (CONAB 2023/24).

A cultura do feijão é de extrema importância para a dieta alimentar da população brasileira, visto que representa uma fonte rica de proteínas, ferro, fibras, vitaminas e minerais essenciais na nutrição. Este alimento desempenha um papel crucial na alimentação, oferecendo benefícios para a saúde e ocupando um lugar característico nos pratos da culinária brasileira, conforme ressaltado por Yokoyama em 2002. No Brasil, o feijão é consumido em larga escala, especialmente pela população de baixa renda. Sua produção é contínua ao longo do ano, abrangendo diversas regiões, graças às condições ambientais propícias.

Em algumas regiões, o feijão tem se tornado uma cultura significativa, sendo cultivado como segunda safra, em sucessão às principais culturas, como o milho e a soja. O Brasil figura entre os principais produtores globais dessa leguminosa, ocupando a terceira posição, precedido por Myanmar e Índia. De acordo com dados da FAOSTAT (2017).

As plantas desenvolvem mecanismos fisiológicos, anatômicos e morfológicos responsáveis pela prevenção do estresse bióticos e abióticos. Um exemplo desse fenômeno é evidenciado pelo aumento nas taxas de alongamento das folhas, no fortalecimento das paredes celulares e na redistribuição dos cloroplastos em direção à superfície foliar (MOMMER et al., 2005).

Entretanto, a maior resistência dos genótipos às adversidades ambientais também está correlacionada ao acúmulo de compostos, como o aumento nos teores de carboidratos e açúcares (SAIRAM et al., 2009), o acúmulo de proteínas específicas (ZABALZA et al., 2009) e a presença de um sistema enzimático antioxidante eficiente (SHAO et al., 2008).

Alterações metabólicas específicas e inter-relacionadas são essenciais para confrontar os efeitos do estresse abiótico, com destaque para os compostos fenólicos que desempenham um papel protetor na estrutura celular contra o estresse oxidativo (GILL & TUTEJA, 2010). O aumento na atividade de enzimas antioxidantes também está vinculado ao agravamento das condições estressantes e à capacidade de neutralização de espécies reativas de oxigênio

(MATÉS, 2000).

Essas alterações podem levar à diminuição do volume radicular, afetar a absorção de nutrientes e resultar na senescência foliar, o que impacta diretamente na inadequada translocação e distribuição de fotoassimilados entre os diversos órgãos vegetais (PEDÓ et al., 2013a). Esse cenário culmina na redução da produtividade e da qualidade das sementes.

A análise de crescimento é um método acessível, preciso e empregado para avaliar o comportamento vegetal em distintas condições de meio e manejo. Essa abordagem possibilita a inferência sobre a contribuição dos diversos processos fisiológicos para o desempenho da planta (RADFORD, 1967).

Equações matemáticas que estabelecem correlações entre análises não destrutivas, como comprimento e largura de folhas, e a área real, demonstram ser estimativas eficientes para o desenvolvimento foliar das plantas.

Portanto, a procura por métodos indiretos, de fácil aplicação, rápidos e não destrutivos, que permitam uma estimativa precisa da área foliar, revela-se essencial para avaliar o crescimento das plantas em condições de campo.

2. Capítulo I – Ecofisiologia do crescimento de híbridos de milho na safrinha

2.1 Introdução

O milho (*Zea mays* L.) é o cereal mais cultivado no mundo, sendo o Brasil o terceiro produtor mundial, depois dos EUA e China (FAO, 2012) é, na atualidade, uma das maiores commodities do agronegócio brasileiro, destacando-se globalmente, e a dinâmica de sua produção continua a passar por transformações constantes (DUAN 2016, ORT 2014).

O crescente interesse no cultivo desta planta deriva da sua versatilidade, possibilitando sua aplicação universal como alimento, ração animal, bem como para usos industriais ou energéticos (HUMA, 2019). Independentemente da direção do cultivo do milho, a agricultura moderna procura soluções tecnológicas que visem aumentar a produtividade e, ao mesmo tempo, melhorar a sua qualidade (CARUSO, 2019). Outro aspecto importante é que nas últimas décadas, a cultura passou por transformações profundas, com destaque para a redução do cultivo exclusivamente como cultura de subsistência de pequenos

produtores e para o aumento do seu papel em uma agricultura comercial eficiente, com deslocamento geográfico e temporal da produção (CONTINI et al., 2019).

Entre os fatores que mais têm afetado a produtividade de milho, destacam-se o clima, manejo de nutrientes, fertilidade do solo, práticas culturais, potencial genético dos materiais e manejo de pragas e doenças (AMADO et al. 2002; FANCELLI; DOURADO NETO 2004).

No Brasil, cerca de 28 milhões de hectares de solos são propensos ao encharcamento (MAGALHÃES et al., 2005). No estado do Rio Grande do Sul, a extensão aproximada de solos de várzea atinge 5,4 milhões de hectares (EMBRAPA, 2008). A subutilização dessas áreas é uma ocorrência comum, com a prevalência do cultivo de arroz irrigado e da prática de pecuária extensiva (MARCHEZAN et al., 2002). O Rio Grande do Sul (RS) possui uma área de terras baixas de aproximadamente 5,4 milhões de hectares correspondendo a cerca de 20% da área total do Estado (PINTO et al., 2017).

O cultivo de plantas em terras baixas, tem como principais fatores limitantes do estabelecimento e a produtividade, as características físicas do solo e a dinâmica hídrica, por ser solos rasos necessitando de descompactação mecânica. (GUBIANE, et al., 2013). Uma técnica eficiente de plantio aplicada nestas áreas, garante boa produtividade e desempenho das plantas que dependem do ambiente radicular, níveis de aeração e umidade do solo.

Do ponto de vista agrônômico e econômico, o cultivo de milho safrinha apresenta inúmeras vantagens e desafios, em particular, resulta em uma redução significativa nos gastos com adubação, devido à decomposição da biomassa e à ciclagem eficiente de nutrientes (EMBRAPA, 2013).

Essencialmente, não há diferenciação substancial entre o milho destinado ao cultivo na safra de verão em comparação com o milho plantado na safrinha. Em outras palavras, não existem características específicas que distingam as plantas de milho safrinha. No entanto, a época de plantio dentro do zoneamento durante a safrinha pode influenciar o comportamento do ciclo e outras características relevantes para a escolha do cultivar e, conseqüentemente, para a produção de grãos (CRUZ; PEREIRA 1999).

Efeito do ambiente no crescimento das plantas, refere-se à alocação de carbono na produção e distribuição pelos diversos órgãos da planta, refletindo a

interação entre o genótipo da planta e o ambiente em que ela se desenvolve. A análise de crescimento emerge como um método acessível, de custo reduzido e notável precisão, empregado para avaliar o desenvolvimento vegetal diante de diversas condições ambientais e práticas de manejo (AUMONDE et al., 2013).

A técnica possibilita inferir a contribuição de diversos processos fisiológicos para o desempenho vegetal, representando o primeiro passo na interpretação e análise da produção primária (PEDÓ et al., 2013). Nesse contexto, a avaliação de características fisiológicas de crescimento e de distribuição de assimilados ao longo do desenvolvimento vegetal emerge como uma ferramenta crucial em estudos relacionados à ecofisiologia vegetal.

Dentro desse contexto, o objetivo do trabalho foi avaliar, comparativamente o crescimento de híbridos de milho cultivados na safrinha no Sul do RS.

2.2 Material e métodos

O experimento foi conduzido na área didática e experimental das Plantas de Lavoura no Centro Agropecuário da Palma, com localização geográfica de 31°48'02" S e 52°29'46" W, da Universidade Federal de Pelotas. O clima da região caracteriza-se por ser temperado, com chuvas distribuídas e verão quente, classificado por Köppen em Cfa. Os dados de ambiente foram obtidos a partir do boletim da Estação Agroclimatológica de Pelotas (Figura 1).

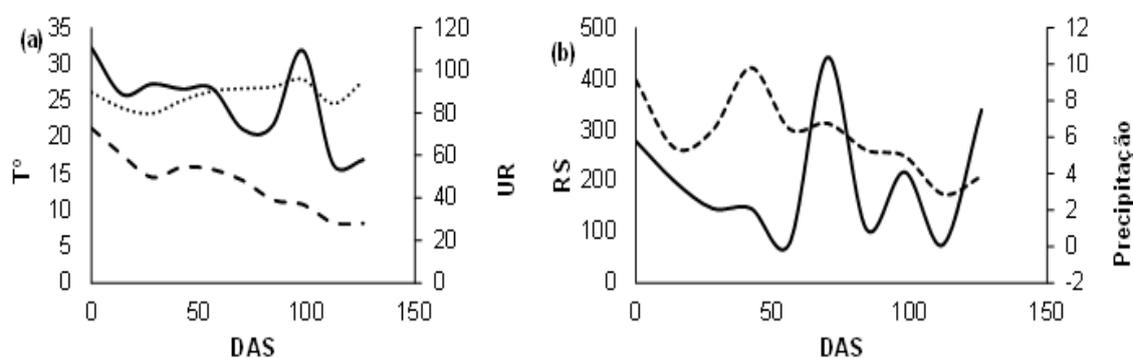


Figura 1. Análise de ambiente, temperatura máxima (—), temperatura média (....), umidade relativa (---) (a) e Radiação solar (—) e precipitação (---) (b), no Centro Agropecuário da Palma, durante o crescimento de híbridos de milho cultivados na safrinha no Sul do RS.

Foram utilizadas sementes de híbridos de milho (H1 - AS1633PRO3, H2 - MG408PWU, H3 - NK520VIP3, H4 - B2401PWU, H5 - K9606VIP3, H6 - NK467VIP3) graus dias, cuja semeadura foi efetuada em 22/02/2022. As sementes foram dispostas no espaçamento 45cm, contendo quatro plantas por metro linear em um Planossolo Háplico Eutrófico Solódico, pertencente à unidade de mapeamento Pelotas (STRECK et al., 2008), previamente corrigido, de acordo com análise prévia do solo e baseado no Manual de Adubação e Calagem (CQFS RS/SC, 2016).

O delineamento experimental foi em faixas com três repetições, seis tratamentos (híbridos) e nove épocas de coleta. Os tratamentos consistiram em seis híbridos. As avaliações foram efetuadas no material obtido de coletas sucessivas dos dados primários de crescimento, a intervalos regulares de quatorze dias após a semeadura (DAS), durante todo o ciclo de desenvolvimento das plantas. Em cada coleta, as plantas foram cortadas rente ao solo, separadas em órgãos. Para a obtenção da matéria seca, o material foi transferido para estufa de ventilação forçada, a temperatura de 70 ± 2 °C, por 72 horas.

A área foliar (A_f) foi determinada com medidor de área Licor modelo LI-3100 e o índice de área foliar (L) calculado pela fórmula: $L = A_f/S_t$, sendo A_f a área foliar e S_t a superfície de canteiro ocupada pela planta. Os dados primários de matéria seca total acumulada (W_t) foram ajustados pela equação logística simples: $W_t = W_m/(1 + Ae^{-Bt})$, sendo “ W_m ” a estimativa assintótica do crescimento máximo, “ A ” e “ B ” constantes de ajustamento, “ e ” a base natural de logaritmo neperiano e “ t ” o tempo em dias após a emergência (RICHARDS, 1969). Os valores instantâneos da taxa de produção de matéria seca (C_t) foram determinados por meio de derivadas das equações ajustadas da matéria seca total (W_t) em relação ao tempo (RADFORD, 1967). Para a determinação dos valores instantâneos da taxa de crescimento relativo (R_w) foi empregada à equação: $R_w = 1/W_t \cdot d_w/d_t$. Os valores instantâneos da taxa assimilatória líquida (E_a), a razão de área foliar (F_a) e de massa foliar (F_w) foram estimados por meio das equações: $E_a = 1/A_f \cdot d_w/d_t$; $F_a = A_f/W_t$ e $F_w = W_f/W_t$ conforme Radford (1967).

A eficiência de conversão da energia solar (ξ) foi determinada pela equação ξ (%) = $(100 \cdot C_t \cdot \delta) / R_s$, sendo R_s o valor médio da radiação solar incidente (cal

$m^{-2} \text{ dia}^{-1}$) quatorze dias anteriores ao Ct correspondente e δ valor calorífico de 4.515 cal g^{-1} de acordo com Protásio et al. (2011).

Os dados primários de crescimento foram submetidos à análise de variância, e no caso em que os valores de F foram significativos, aplicou-se teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Dados de crescimento foram analisados pela equação logística simples pelo fato desta técnica de análise de crescimento não atender as pressuposições básicas da análise de variância, sendo modelo não aditivo e não linear (PEDÓ et al., 2015).

Além disso, na análise logística, os erros são correlacionados ao longo do tempo e assim não independentes (DIAS, 2009). Neste sentido, por constituir-se em dados quantitativos, os dados de crescimento ao longo do desenvolvimento vegetal foram avaliados por meio de análise da tendência das curvas de crescimento (RADFORD, 1967; BARREIRO et al., 2006).

2.3 Resultados e Discussão

O resumo da análise de variância apresentado na (Tabela 1), foi possível verificar que as diferentes épocas no tratamento dos seis híbridos de milho, promoveram efeitos significativos para as variáveis área foliar, matéria seca de folha e colmo, apresentando diferença estatística significativa. Em relação aos híbridos, pode-se observar diferenças significativas para todas variáveis. Contudo, constatou-se que não foi significativa a interação entre híbridos e os dias de coleta para as variáveis, área foliar, matéria seca de folha, matéria seca de colmo.

Tabela 1. Resumo da análise de variância com os quadrados médios das variáveis relacionadas à crescimento de híbridos de milho cultivados na safrinha em diferentes épocas no Capão do Leão, 2022.

Quadrados Médios				
FV	GL	Af	wf	wcolmo
HIB	5	1,844*	510,7807*	1664,33*
DIAS	8	3,359*	2896,141*	16233,66*
HIB X DIAS	16	4520344.1 ^{ns}	15,66948 ^{ns}	60,17767 ^{ns}
Resíduo	<u>130</u>	1,113	37,204	184

Total	161		
Média	4,3588	21,49	41,33
CV	67,147	28,38	32,85

Significativo pelo teste de F a 5% de probabilidade. F.V- fatores de variação; GI- graus de liberdade; CV- coeficiente de variação

A matéria seca total (W_t) seguiu tendência logística com moderado coeficiente de determinação ($R^2 \geq 0,63$), ao longo do ciclo de desenvolvimento das plantas de milho (Figura 2a). Independentemente do híbrido avaliado, houve inicialmente, crescimento reduzido até os 42 dias após a semeadura (DAS), ao longo do ciclo de desenvolvimento o H1 foi maior que os demais híbridos, enquanto, aos 126 DAS o H1 apresentou igualdade para o W_t com o H4, seguido pelo H6, H3, H5 e H2 que apresentou os menores acúmulos de W_t ao longo do ciclo). De acordo com Kappes et al. (2013), cerca de 80% da área de milho safrinha é semeada entre 5 de janeiro e 20 de fevereiro. As cultivares plantadas nesse período têm maiores chances de alcançar seu potencial produtivo máximo, pois há uma menor probabilidade de estresse hídrico durante o ciclo.

O crescimento da planta é função do armazenamento de carbono estrutural (AUMONDE et al., 2011).

Inicialmente o crescimento é lento devido à baixa absorção de água, de nutrientes e reduzida área foliar (MONTEITH, 1969), que para cereais tendem a aumentar ao longo do ciclo de desenvolvimento. (todos os artigos de crescimento). O estresse hídrico do solo impacta adversamente o crescimento e o desempenho fisiológico das plantas sujeitas a esse desafio ambiental. Plantas oriundas de híbridos distintos e mantidas em capacidade de campo podem apresentar maiores valores para a maioria de variáveis de crescimento. Tendem a tolerar condições de estresse e adversidade, obtendo assim melhores resultados, embora a imposição da condição estressante também afete essas plantas (KOCH et al., 2018).

As taxas de produção de matéria seca (C_t) foram baixas até os 28 DAS, o que vai ao encontro da matéria seca total (W_t) (Figuras 2b e 2a). Indiferentemente do híbrido avaliado, houve a partir dos 42 DAS elevação (C_t), que atingiu o máximo aos 84 DAS para o H1, sendo que as plantas do H2 apresentaram menos (C_t), enquanto o H4 e H6 aumentaram até os 126 DAS.

Tal ocorrência demonstra que a (C_t) responde aos ganhos de matéria seca em diferentes períodos do desenvolvimento dos híbridos de milho. De acordo com Pedó et al. (2013) o aumento na taxa de produção de matéria seca pode ser atribuído, dentro de certos limites, ao aumento da área foliar e do montante de assimilados sintetizados e destinados ao crescimento e ao desenvolvimento vegetal.

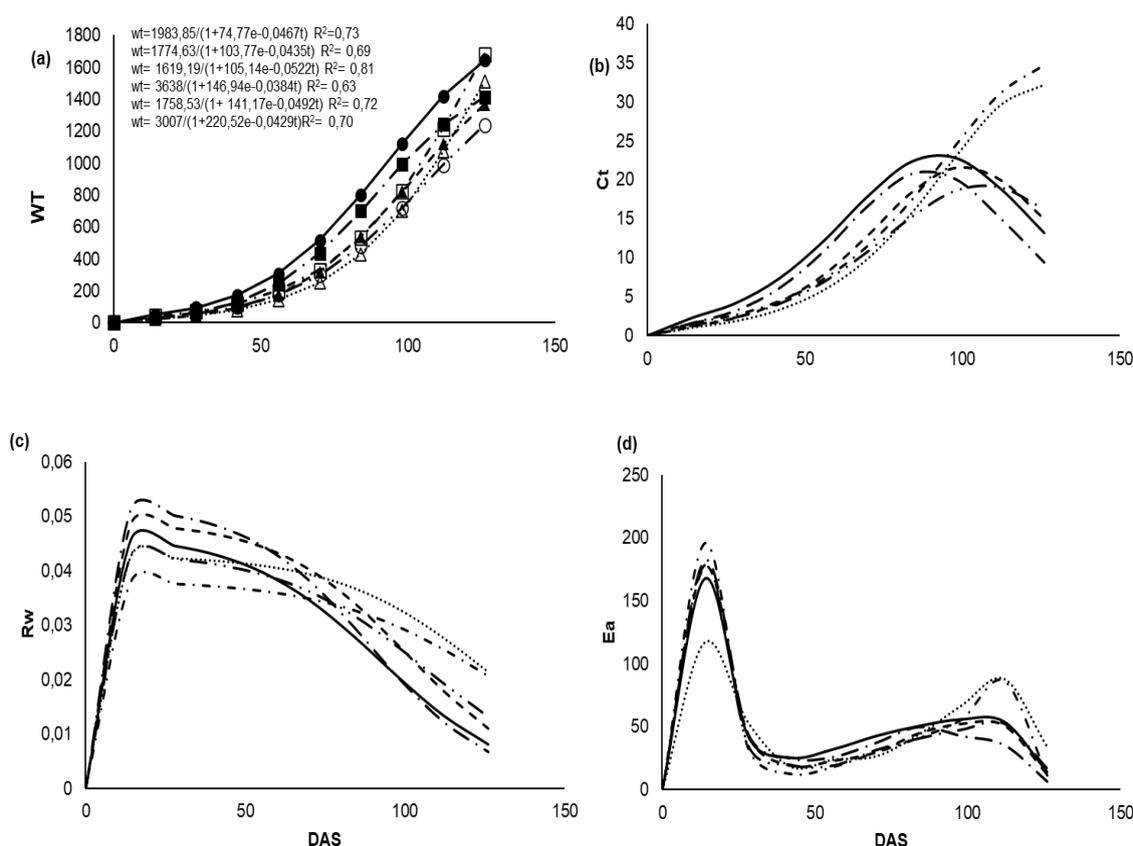


Figura 2. Matéria seca total (a), taxa de produção de matéria seca (b), de crescimento relativo (c) e assimilatória líquida (d), H1 (—), H2 (— · —), H3 (— · · —), H4 (— · · · —), H5 (-----) e H6 (·····) de plantas de milho produzidas na safrinha do Sul do RS.

A taxa de crescimento relativo (R_w) para todos os híbridos atingiram os maiores incrementos de matéria seca aos 14 DAS, com posterior redução até o final do ciclo de cultivo (Figura 2c). Plantas do H3 apresentaram superiores valores de R_w , comparativamente aos demais híbridos H5, H1, H6, H2 e H4, respectivamente. Após os 98 DAS o H6 e H4 apresentaram os maiores valores, reduzindo até os 126 DAS para todos os híbridos.

A R_w demonstrou que todos os híbridos de milho, atingiram os maiores incrementos de matéria seca em relação àquela pré-existente aos 14 DAE, com posterior redução sistemática até o final do ciclo de cultivo conforme observado para outros cereais. Ocorre uma diminuição na relação de massa foliar, na taxa de produção de massa seca e na taxa de crescimento relativo em plantas submetidas ao estresse hídrico, em comparação com plantas mantidas em capacidade de campo (KOLESNY et al., 2022).

A diminuição de R_w com a idade da planta é, em parte, devido ao aumento gradual de tecidos não fotossintetizantes durante o desenvolvimento da planta (REYES-CUESTA et al., 1995). Observa-se que as variações de ambiente (Figura 1b) reduz a eficiência no processo de conversão de radiação solar em massa de matéria seca, impedindo que reservas de açúcar e amido sejam depositadas (PEDÓ et al., 2015).

A taxa assimilatória líquida (E_a) apresentou dois picos ao longo do desenvolvimento das plantas de milho (Figura 2d). O maior pico de E_a aos 14 DAS para todos os híbridos, sendo maior para o H4 seguido pelo H3, H2, H5 e menor para o H1 e H6. No segundo pico de E_a aos 98 DAS para o H1 e H5, já, para o H2, H4 e H6 foi aos 112 DAS. Enquanto, para o H3 o segundo pico foi aos 84 DAS. É importante destacar que os maiores valores no segundo pico foram observados para o H6 e H4, e o menor para o H3.

É possível visualizar que os híbridos de milho apresentaram curvas de E_a conforme padrão ontogênico (PEDÓ et al., 2013). Além disso, plantas sob alterações de ambiente pode modificar a E_a , pela diferença entre a fotossíntese e respiração (LOPES; LIMA, 2015). A principal causa do aumento na Eficiência Fotossintética Líquida (E_a) é, em parte, associada ao aumento da área foliar. O segundo pico pode ser atribuído ao aumento na taxa fotossintética da folha (AUMONDE et al., 2013). Todavia, cabe salientar que a taxa assimilatória líquida não é determinada somente pela taxa fotossintética, também mantém relação à dimensão de área foliar e duração do período vegetativo, distribuição das folhas no dossel e ângulo foliar, translocação e partição de carbono (PEDÓ et al., 2013).

O índice de área foliar (L) foi obtido com elevado coeficiente de determinação para todos os híbridos ($R^2 \geq 0,90$). Até os 42 DAS, o L manteve-se baixo, tendo os máximos valores atingidos aos 70 DAS para o H6, 84 DAS

para o H1 e aos 98 DAS para o H2, H3, H4 e H5. O maior L foi obtido pelo H3 com 4,17 (Figura 3a).

Até os 28 DAS, o L manteve-se baixo e colaborou para a redução de E_a (Figura 2d) e W_t (Figura 2a) no referido período. Segundo (MANFRON et al., 2003), a variação do índice de área foliar durante o ciclo de determinada cultura é um dado importante para a determinação da data de semeadura e transplante. Como a fotossíntese depende da área foliar, o rendimento da cultura será maior quanto mais rápido a planta atingir o índice de área foliar máximo e quanto mais tempo a área foliar permanecer ativa. (PEREIRA; MACHADO, 1987).

A razão de área foliar (F_a) foi máxima no início (aos 42 DAS) do desenvolvimento para todos os híbridos (Figura 3b). Sendo que, os maiores valores de F_a foram obtidos para os híbridos H4, H5 e H6, já, os menores valores foram encontrados para os H2, H3 e H1.

Os maiores valores de F_a no início estão relacionadas com destinação maior parte dos assimilados provenientes do processo fotossintético para à formação de folhas (AUMONDE et al., 2011). Por outro lado, o decréscimo observado nas curvas de F_a pode ser explicado pelo aumento gradual de tecidos não assimilatórios e também à formação de estruturas reprodutivas, dreno forte e definitivo (PEDÓ et al., 2013; AUMONDE et al., 2011).

A razão de massa foliar (F_w) foi superior e máxima aos 42 DAS, sendo superior para os híbridos H4, H6 e H5 comparativamente aos demais (Figura 3c). Houve decréscimo de F_w ao longo do desenvolvimento das plantas.

A superior F_w indica maior investimento de alocação de carbono nas folhas (AUMONDE et al., 2011). De acordo com Lopes; Lima (2015) e PEDÓ et al. (2013), a redução de F_w durante a formação de estruturas reprodutivas, as folhas deixam de ser o principal destino dos assimilados e passam a transferi-los para os órgãos reprodutivos.

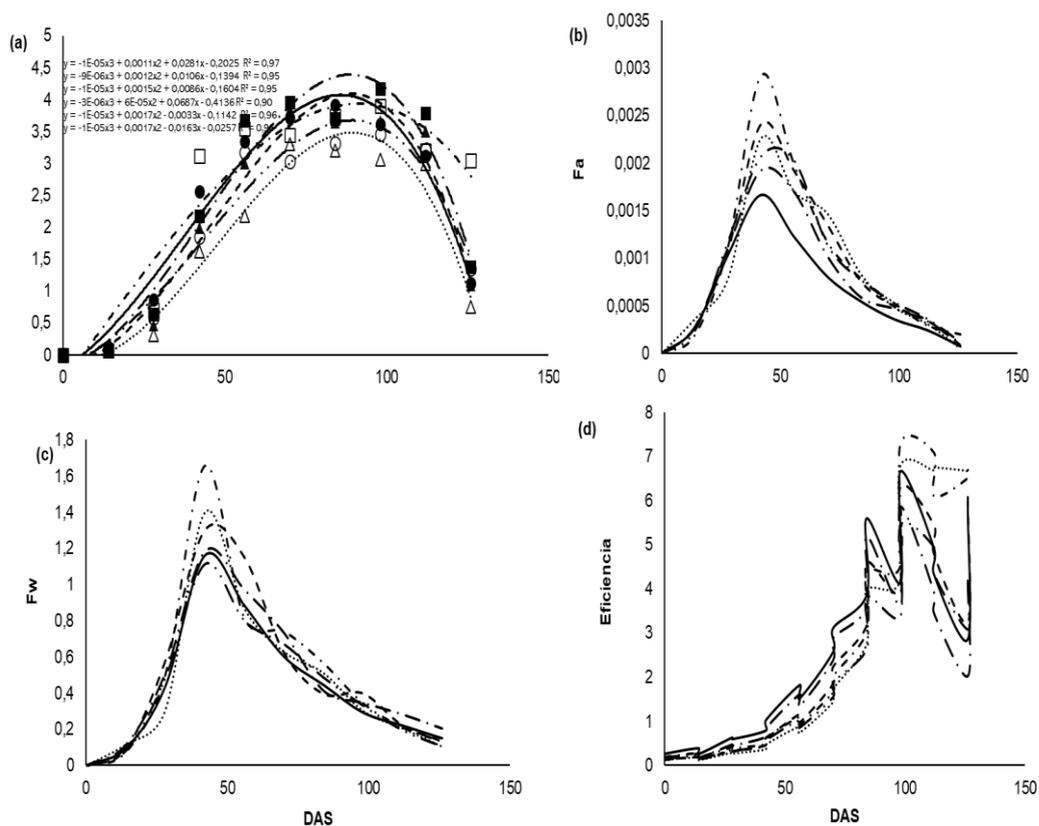


Figura 3. Avaliação do Índice de área foliar (a), razão de área foliar (b), massa foliar (c) conversão de energia solar (d), H1 (—), H2(— · —), H3(— · —), H4(— · —), H5(-----) e H6(.....) de plantas de milho produzidas na safrinha do Sul do RS.

A eficiência de conversão de energia solar (ξ) apresentou respostas distintas entre os híbridos estudados. O máximo foi verificado aos 98 DAS para o híbrido H1 (6,7%), H2 (5,5%), H3 (5,9%), H4 (7,3%), H5 (6,3%) e H6 (6,8%). Os maiores valores foram atingidos pelo híbrido H4 (Figura 3d).

Os híbridos de milho apresentaram diferenças na distribuição de assimilados ao longo do desenvolvimento, sendo folhas as estruturas responsáveis pela maior alocação de assimilados (Figura 3a), com o surgimento das espigas, aos 84 DAS houve aumento da ξ (Figura 3d), modificando o dreno metabólico preferencial, onde as sementes passaram a atuar como dreno forte e definitivo na importação de assimilados sintetizados nas folhas ou alocados em outras estruturas da planta, conforme observado por Pedó et al. (2015a).

As plantas de milho do híbrido H1 e H3 ao longo do ciclo de desenvolvimento tiveram maior W_t , C_t e ξ comparativamente às plantas dos demais híbridos.

A eficácia de conversão de energia solar (ξ) revelou variações nas respostas entre as plantas submetidas a tratamentos distintos o que vai de encontro com os resultados apresentados por (KOCHK et al., 2021), ao trabalhar com plantas de trigo.

2.4 Conclusões

Plantas dos diferentes híbridos de milho apresentaram uma variação de 1239,08 a 1681,36 g m⁻² em acúmulo de massa seca.

Em condições de safrinha a maior média de massa seca do melhor híbrido (16,8 t ha⁻¹) versus o a menor média (12,4 t ha⁻¹) pode resultar em ganhos estratégicos para os produtores.

3.Capítulo II – Ecofisiologia do crescimento do sorgo sob efeito do manejo do nitrogênio.

3.1 Introdução

O sorgo (*Sorghum bicolor* L) é uma planta originária dos trópicos, caracterizada como tipo C4. Destaca-se pela sua notável facilidade de cultivo, elevada produção de biomassa para silagem, resistência a doenças e robusta capacidade de resistência à perda de água. Com um ótimo desenvolvimento radicular, quando gerenciado adequadamente, é considerado uma das opções mais versáteis e eficientes para a produção de forragem. (XIN; AIKEN; BURKE, 2009; BORBA et al., 2012; BEHLING-NETTO et al., 2017).

O sorgo é uma planta da família Poaceae, sendo o quinto cereal mais plantado no mundo, vindo logo depois do trigo, do arroz, do milho e da cevada. No Brasil, o cereal é cultivado principalmente para produção de grãos e forragem. Ainda que, durante todo o seu ciclo, a planta do sorgo possua tolerância a períodos de estiagem, ela ainda permite colheitas de grãos e massa verde economicamente compensadora em condições de pluviosidade baixa e instável (EMBRAPA, 2015).

Amplamente cultivada na região sul brasileira e área cultivada de aproximadamente 1,417 milhões hectares atingindo a produtividade de 3,074 t ha⁻¹ e produção de 4,3 milhões toneladas, (CONAB, 2023b).

O sorgo é uma planta que, tolera mais o déficit de água no solo do que a maioria dos outros cereais podendo ser cultivada numa ampla faixa de condições de solo (MAGALHÃES; 2006). É uma planta resistente à seca, e a sua capacidade de recuperação após sofrer este stress é o que o diferencia de outros cereais, como exemplo o milho. No entanto, quando cultivado no período chuvoso, pode ser prejudicado pela ocorrência de excesso de água, inibindo o desenvolvimento normal da planta, que afeta diretamente a produção de grãos, e sua importância varia com o estágio fenológico em que se encontra a planta (SOUSA, 2007).

O estado do Rio Grande do Sul abriga diversas agroecossistemas, incluindo o ecossistema de várzea, que ocupa aproximadamente 20% do território gaúcho, correspondendo a uma extensão de 5.400.000 hectares

(MARCHEZAN et al., 2002). Os solos de várzea, classificados como planossolos, demonstram compactação no horizonte B e uma taxa desconsiderável de percolação profunda de água (BAMBERG et al., 2009), reduzida porosidade e uma frequente ocorrência de alagamentos durante períodos chuvosos estão associadas à elevada capacidade de retenção de água no solo, característica acentuada durante épocas de clima seco (PAULETTO et al., 2004).

Quando ocorre excesso de precipitação pluvial, no período que vai da maturação à colheita, possibilita a germinação dos grãos nas panículas, com a consequente queda na qualidade ou perda total dos grãos (AVELAR, 1982).

A análise de crescimento é um método acessível, preciso e amplamente empregado para avaliar o desenvolvimento vegetal, pois permite descrever as mudanças na produção vegetal ao longo do tempo. Essa abordagem vai além do simples registro do rendimento, sendo essencial para a avaliação do desempenho e a caracterização do crescimento e desenvolvimento de plantas. (URCHEI et al., 2000).

Essa técnica possibilita inferir, de maneira simples e econômica, a contribuição de diversos processos fisiológicos para o comportamento vegetal. Constitui o primeiro passo na interpretação e análise da produção primária, sendo uma ferramenta crucial no estudo do comportamento das plantas em diversas condições ambientais e práticas de manejo (AUMONDE et al., 2013).

Neste contexto, este trabalho teve como objetivo analisar comparativamente o crescimento e desenvolvimento de plantas de sorgo submetidas a diferentes doses de nitrogênio.

3.2 Material e métodos

O experimento foi conduzido na área didática e experimental do PPG em Ciência e Tecnologia de Sementes em canteiros, com localização geográfica de 31°48'13" S e 52°24'55" W, na Universidade Federal de Pelotas. O clima da região caracteriza-se por ser temperado, com chuvas distribuídas e verão quente, classificado por Köppen em Cfa. Os dados de ambiente foram obtidos a partir do boletim da Estação Agroclimatológica de Pelotas (Figura 1).

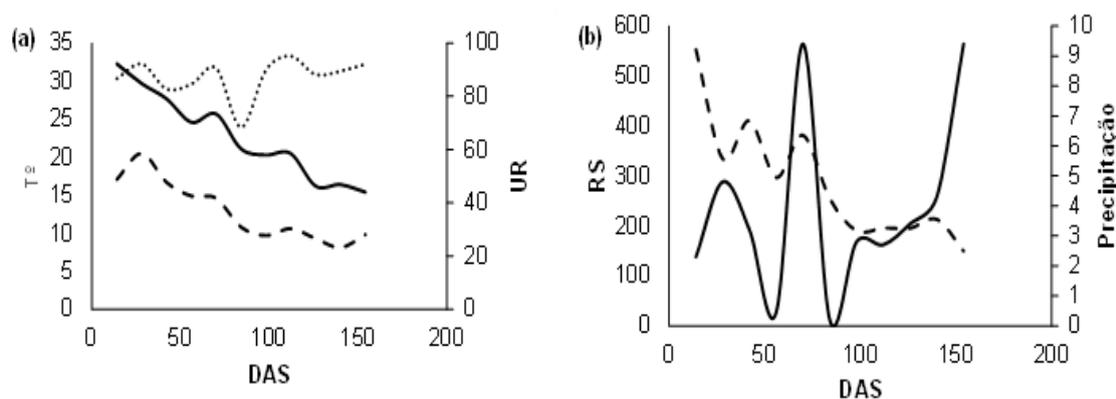


Figura 1. Análise de ambiente, temperatura (—), temperatura média (....) e umidade relativa (---) (a) e Radiação solar (—) e precipitação (---) (b).

Foram utilizadas sementes da cultivar de sorgo Advanta, cuja semeadura foi efetuada em 03/03/2022. As sementes foram dispostas para germinar e se desenvolver em canteiros de 1,2 x 5 metros, contendo como substrato solo do horizonte A1 de um Planossolo Háplico Eutrófico Solódico, pertencente à unidade de mapeamento Pelotas (STRECK et al., 2008), previamente corrigido, de acordo com análise prévia do solo e baseado no Manual de Adubação e Calagem (CQFS RS/SC, 2016). As sementes foram dispostas no espaçamento de 45cm.

O delineamento experimental foi blocos casualizado com quatro repetições, quatro tratamentos e 11 coletas de crescimento. Os tratamentos consistiram em doses de nitrogênio, sendo, utilizado a uréia como fonte : T1: 0 N; T2: 10 Kg de N na semeadura + 55 kg em cobertura; T3: 20 Kg de N na semeadura + 55 kg em cobertura e T4: 30 Kg de N na semeadura + 55 kg em cobertura. A segunda dose de nitrogênio foi aplicada no estágio V_3 .

As avaliações foram efetuadas por meio de coletas sucessivas, a intervalos regulares de quatorze dias após a semeadura, durante todo o ciclo do genótipo. Em cada coleta, as plantas foram cortadas rente ao solo, separadas em órgãos. Para a obtenção da matéria seca, o material foi transferido para estufa de ventilação forçada a temperatura de 70 ± 2 °C, até massa constante.

A área foliar (A_f) foi determinada com medidor de área Licor modelo LI-3100 e o índice de área foliar (L) calculado pela fórmula: $L = A_f/S_t$, sendo A_f a área foliar e S_t a superfície de canteiro ocupada pela planta. Os dados primários de matéria seca total acumulada (W_t) foram ajustados pela equação logística

simples: $W_t = W_m / (1 + Ae^{-Bt})$, sendo “ W_m ” a estimativa assintótica do crescimento máximo, “ A ” e “ B ” constantes de ajustamento, “ e ” a base natural de logaritmo neperiano e “ t ” o tempo em dias após a emergência (RICHARDS, 1969). Os valores instantâneos da taxa de produção de matéria seca (C_t) serão determinados por meio de derivadas das equações ajustadas da matéria seca total (W_t) em relação ao tempo (RADFORD, 1967). Para a determinação dos valores instantâneos da taxa de crescimento relativo (R_w) foi empregue à fórmula: $R_w = 1/W_t \cdot d_w/d_t$. Os valores instantâneos da taxa assimilatória líquida (E_a), a razão de área foliar (F_a) e de massa foliar (F_w) foram estimados por meio das equações: $E_a = 1/A_f \cdot d_w/d_t$; $F_a = A_f/W_t$ e $F_w = W_f/W_t$ conforme Radford (1967).

A eficiência de conversão da energia solar (ξ) foi determinada pela equação $\xi (\%) = (100 \cdot C_t \cdot \delta) / R_s$, sendo R_s o valor médio da radiação solar incidente (cal m⁻² dia⁻¹) quatorze dias anteriores ao C_t correspondente e δ valor calorífico de 4000 cal g⁻¹ (PIMENTEL et al., 2017).

Os dados primários de crescimento foram submetidos à análise de variância, e quando os valores de F foram significativos, aplicou-se teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Dados de crescimento foram analisados pela equação logística simples pelo fato desta técnica de análise de crescimento não atender as pressuposições básicas da análise de variância, sendo modelo não aditivo e não linear (PEDÓ et al., 2015). Além disso, na análise logística, os erros são correlacionados ao longo do tempo e assim não independentes (DIAS & BARROS, 2009). Neste sentido, por constituir-se em dados quantitativos, os dados de crescimento ao longo do desenvolvimento vegetal foram avaliados por meio de análise da tendência das curvas de crescimento (RADFORD, 1967; BARREIRO et al., 2006).

3.3 Resultados e discussão

Através do resumo da análise de variância apresentado na (Tabela 1), foi possível verificar que as diferentes doses de nitrogênio, promoveram efeitos significativos para as variáveis área foliar, matéria seca de folha e colmo, apresentando diferença estatística significativa. Em relação aos dias, pode-se observar diferenças significativas para todas variáveis.

Constatou-se que não foi significativa a interação entre doses e os períodos de coleta para as variáveis, área foliar, matéria seca de folha, matéria seca de colmo.

Tabela 1. Resumo da análise de variância com os quadrados médios da área foliar (Af), matéria seca de folha (wf), matéria seca de colmo (Wcolmo) e matéria seca total, submetidas a doses de nitrogênio em cobertura. Capão do Leão 2022.

FV	GL	Quadrados Médios		
		Af	wf	Wcolmo
Doses	3	761399,4*	22,2617*	148,13*
Dias	10	1397232*	26,86392*	231,89*
Trat x Dias	30	25289,35 ^{ns}	0,9127287 ^{ns}	2,54 ^{ns}
Resíduo	129	24766,92	0,6812409	3,45
Média		540,74	2,48	5,46
CV(%)		29,11	33,18	34,00

*Significativo pelo teste de F a 5% de probabilidade. F.V- fatores de variação; GL- graus de liberdade; CV- coeficiente de variação

A matéria seca total (W_t) de plantas de sorgo submetidas ao manejo de nitrogênio ajustou-se a tendência logística com moderado coeficiente de determinação ($R^2 \geq 0,65$) (Figura 2a). Inicialmente o crescimento foi lento até os 42 dias após a semeadura (DAS), seguido por período de crescimento até os 140 DAS. Plantas sob o manejo T3, T4, T2 e T1 foram aumentando até 140 DAS, respectivamente, ressaltando que T3 e T4, com as doses de N, mesmo sendo baixas a adubação é um fator de extrema importância para o crescimento e desenvolvimento da planta. É importante destacar que após o 140 DAS o T2 foi maior quando comparados aos demais manejos. Inicialmente a W_t é baixa e reduz pela baixa absorção de água, de nutrientes e pequena área foliar (MONTEITH, 1969). Neste sentido, o crescimento sob efeito de doses de nitrogênio favorece a produção de matéria seca e a expansão da área foliar Ekbladh et al. (2007).

A taxa de produção de matéria seca (C_t) em plantas de sorgo sob o manejo de nitrogênio T3 e T4 atingiram as máximas C_t aos 98 DAS, enquanto, plantas sob o manejo T2 e T1 atingiram o maior valor de C_t aos 154 DAS (Figura 2b). É possível inferir que as doses de nitrogênio promoveram alteração na quantidade

de matéria seca produzida por unidade de tempo, enquanto, àquelas submetidas a menores doses não atingiram o máximo de acúmulo, provavelmente em função das condições ambientais (Figura 1).

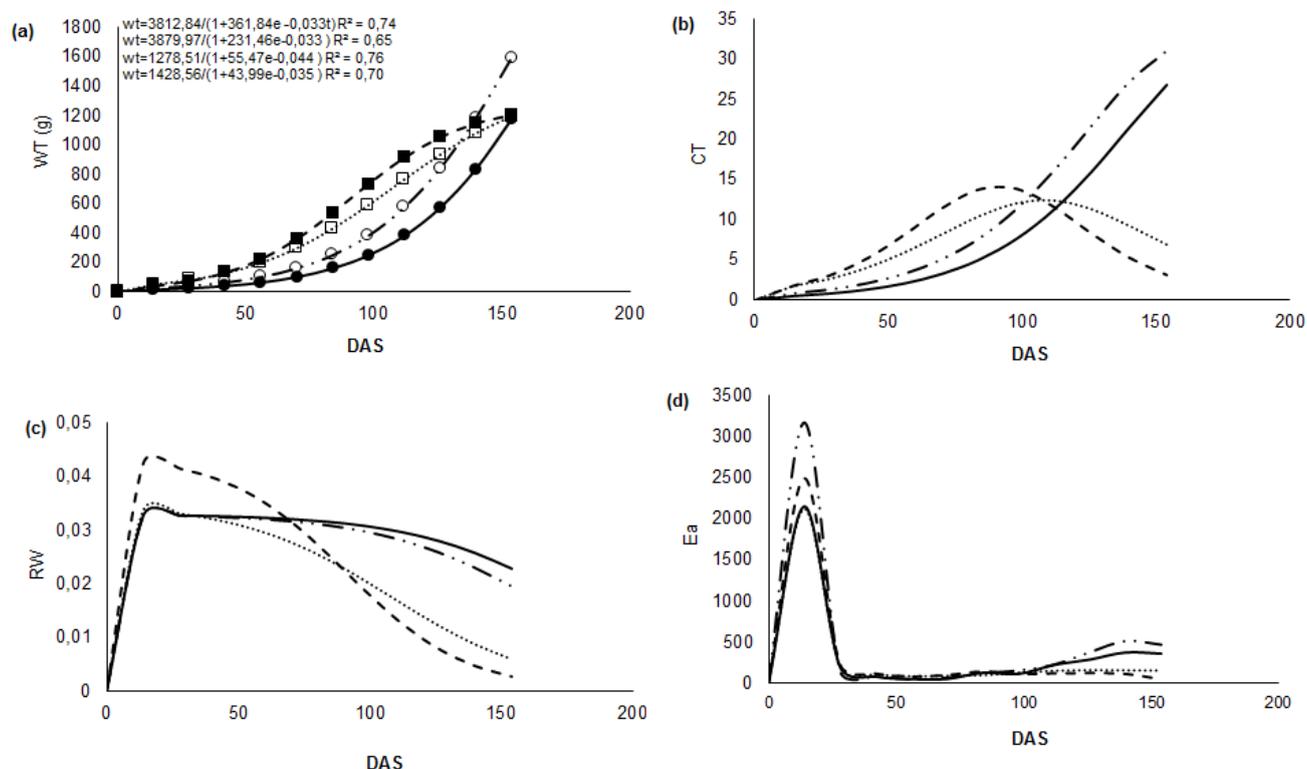


Figura 2. Matéria seca total (a), taxa de produção de matéria seca (b), crescimento relativo (c) e taxa assimilatória líquida (d) T1(—), T2 (..), T3 (---) e T4 (....), de plantas de sorgo submetidas a doses de nitrogênio em cobertura.

A taxa de crescimento relativo (R_w) foi máxima aos 14 DAS em plantas mantidas sob manejo T3, enquanto, os demais manejos de nitrogênio não diferiram entre si. Após os 70 DAS plantas sob manejo T1 e T2 apresentaram desempenho superior de R_w em relação àquelas dos demais tratamentos (Figura 2c). Desse modo, é possível verificar que o manejo T3 influenciou na capacidade de acúmulo de massa seca em relação àquela pré-existente. Contudo, a elevada R_w no início da ontogenia das plantas se relaciona a maior parte de a área foliar da planta ser constituída por folhas jovens com elevada capacidade fotossintética e com alta taxa de crescimento (PEDÓ et al., 2015). Por outro lado, o decréscimo de R_w com a idade da planta é resultado, em parte, do aumento gradativo de tecidos não fotossintetizantes com o desenvolvimento da planta (AUMONDE, et al., 2011).

A taxa assimilatória líquida (E_a) apresentou dois picos ao longo do desenvolvimento das plantas de sorgo (Figura 2d). O maior pico de E_a ocorreu aos 14 DAS para todos os manejos T2 e T3, enquanto, o T1 e T4 não diferiram entre si. A E_a apresentou um segundo pico aos 126 DAS para os tratamentos T3 e T4, sendo superior em plantas sob os manejos T1 e T2 com pico aos 140 DAS.

A E_a em plantas sob os diferentes manejos de nitrogênio, mantém relação com os valores de W_t e C_t (Figura 2a e 2b). Neste contexto, existe evidência da maior eficiência na produção líquida de assimilados ao longo do ciclo de desenvolvimento das plantas de sorgo sob o efeito das doses de nitrogênio (LOPES; LIMA, 2015). Todavia, cabe salientar que E_a não é determinada somente pela taxa fotossintética, mas também pela dimensão da área foliar, dentre outros fatores (AUMONDE et al., 2011). Sendo que, no início do ciclo de desenvolvimento, a maior E_a , esta relacionada ao maior investimento de assimilados na formação do aparato fotossintético, visando incrementar a biossíntese de compostos carbonados para alocação nas sementes (PEDÓ et al., 2013).

O índice de área foliar (L) ajustou-se a tendência cúbica com moderado coeficiente de determinação para todos os manejos de nitrogênio ($R^2 \geq 0,82$) (Figura 3a). Plantas submetidas aos diferentes manejos apresentaram o ponto de máxima aos 98 DAS para o T3 (4,97), T2 (3,16) e T1 (2,78), embora para o manejo T4 (4,87) o máximo foi atingido aos 84 DAS. Desse modo, é possível verificar que as doses de nitrogênio durante a fase vegetativa de plantas de sorgo, promove o incremento da área de solo ocupada por folhas (TAIZ, ZEIGER, 2013).

A razão de área foliar (F_a) foi máxima no início do ciclo de desenvolvimento das plantas aos 56 DAS para todos os manejos de nitrogênio, com posterior tendência de decréscimo até o final do ciclo de cultivo (Figura 3b). A F_a reflete na maior parte dos assimilados ser destinada à formação de folhas visando a maior captação de radiação solar (URCHEI et al., 2000), conforme observado pelo índice de área foliar (Figura 3a). Por outro lado, a forte tendência de decréscimo ao longo do ciclo da espécie (AUMONDE et al., 2011; PEDÓ et al., 2013a).

A razão de massa foliar (F_w) atingiu o máximo aos 56 DAS, em plantas submetidas aos diferentes manejos de nitrogênio, com posterior tendência ao decréscimo ao longo do desenvolvimento das plantas de sorgo (Figura 3c).

Plantas sob o manejo T2 e T1 atingiram superior razão de massa foliar. Desse modo, atingiram maior alocação de carbono e outros compostos nas folhas, comparativamente às plantas dos demais tratamentos (PEDÓ et al., 2013a).

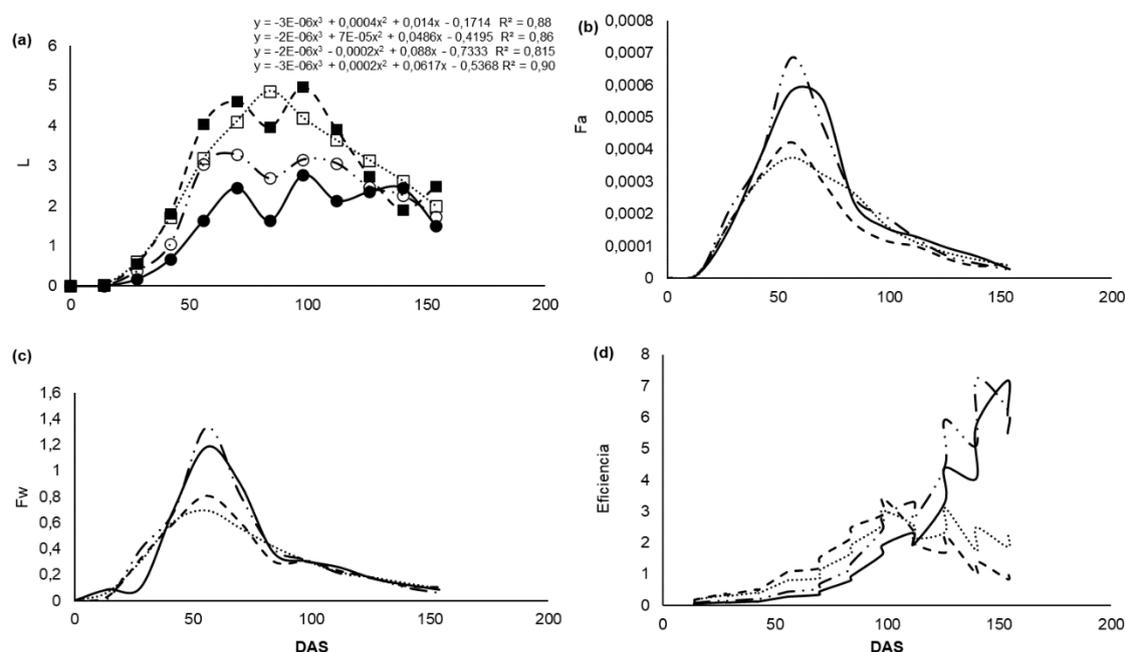


Figura 3 Índice de área foliar (a), razão de área foliar (b), razão de massa foliar (c) e eficiência (d) T1(—), T2 (- -), T3 (· · ·) e T4 (· · · ·), de plantas de sorgo submetidas a doses de nitrogênio em cobertura.

A eficiência de conversão de energia solar (ξ) apresentou efeitos pronunciados em respostas das doses sobre as plantas de sorgo. Os valores máximos foram atingidos aproximadamente aos 140 DAS para o T2 (7,23%), aos 154 DAS para o manejo T1 (7,17%) (Figura d). Enquanto, para os manejos T3 e T4 o máximo foi atingido aos 98 DAS com valores de ξ de 3,43 e 3,02%, respectivamente. As plantas mantidas no manejo T2 e T1 apresentaram maior ξ ao final do ciclo de desenvolvimento, devido, plantas de sorgo nestes dois tratamentos apresentaram maior acúmulo de W t e E_a.

3.4 Conclusões

Plantas de sorgo sob influência da adubação nitrogenada em cobertura apresentaram respostas diferenciadas no crescimento entre suas estruturas, sendo a intensidade dependente da dose utilizada.

Diferentes doses de nitrogênio em semeadura nas plantas sorgo apresentaram variações de 16,65 a T4 51,11 gm^{-2} em acúmulo de massa seca.

Na condição de fertilização nitrogenada, a eficiência da energia solar obteve-se resultados de T1 (7,17%) em comparação com a dose T2 (7,23%). Tanto T1 quanto T2 exibiram maiores valores de ξ ao término do ciclo de desenvolvimento. Isso ocorreu devido ao aumento significativo no acúmulo de peso total. Pode-se presumir através dos resultados encontrados, que T1 e T2 por apresentarem menores índices de N, acabaram convertendo energia solar em maior escala somente no final do ciclo da cultura, o que pode acarretar prejuízos no enchimento de grãos e refletindo em produtividade.

4. Artigo III. Análise morfofisiológica: técnica não destrutiva para avaliar o crescimento de feijão e soja

4.1 Introdução

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e a soja (*Glycine max* Merrill) são uns dos principais cultivos do agronegócio brasileiro, sendo uma importante fonte de proteína para a população e produção animal. A produção destas espécies está baseada em dois distintos hábitos de crescimento distinto, respondendo de forma diferencial aos mais variados manejos e ambiente de produção.

No Brasil, tem utilizado cultivares com hábito de crescimento indeterminado, em função dos ganhos produtivos em situações adversas (SILVA et al., 2018). No entanto, cultivares com hábito de crescimento determinado possuem mercado entre os produtores (FIOREZE et al. 2011), em decorrência das melhorias de manejos de plantas (TEIXEIRA et al., 2020).

Os reguladores de crescimento estimulam ou reduzem o alongamento do caule (CORREIA; LEITE, 2012), dentre eles, as giberelinas com ação no alongamento e na divisão celular (BUCHANAN, 2015), sendo obtidas de forma sintética na forma de ácido giberélico (CARRAHER JR, et al., 2010). Embora, possam afetar drasticamente os componentes de rendimento (MOREIRA et al., 2020). Outra resposta dos reguladores é a função de apoio e/ou superação de condições de ambiente estressor (LANZA et al., 2013).

Os estresses ambientais são predominantes no desenvolvimento das plantas (SILVA et al., 2018), afetam significativamente o crescimento e a produção das culturas (LACERDA et al., 2010). O alagamento do solo quando ocorre nos estádios vegetativo e reprodutivo, podem afetar o ciclo total de cultivares de soja, o número de nós na haste principal e a estatura das plantas (LUDWIG et al., 2016).

A fim de avaliar os impactos do manejo e do ambiente de produção sobre as plantas, pode-se utilizar a análise de crescimento que é uma técnica baseada na matéria seca acumulada pelas plantas ao longo do seu desenvolvimento e pela área foliar responsável pela atividade fotossintética (BENINCASA, 2003).

Para a obtenção da massa seca e área foliar são necessários equipamentos especiais como uma estufa com ventilação forçada e um medidor de área foliar, sendo assim, a análise de crescimento não destrutiva surge como alternativa para mensurar o crescimento de plantas ao longo do ciclo (SILVA et al., 2000).

A utilização de análise quantitativa de crescimento vegetal (LUCCHESI, 1984), permite inferir sobre a adaptação e o potencial produtivo das mais variadas espécies, sob as mais distintas condições ecofisiológicas (PEIXOTO et al., 2011; LOPES; LIMA, 2015). De acordo com CONFALONE et al. (2010) prever o crescimento e a produtividade das culturas com precisão é uma das principais preocupações das ciências agrícolas.

Para tanto, o uso de técnicas não destrutivas baseadas em modelos, possuem alto potencial de aplicação como ferramenta no entendimento das relações entre as culturas e os elementos climáticos (FERREIRA et al., 2007). Tornando a introdução de modelos de simulação do crescimento das plantas importante no estudo da relação entre as plantas e as condições ambientais (CONFALONE et al., 2010). Sendo assim, este trabalho teve por objetivo desenvolver uma análise de crescimento não destrutiva para avaliar o crescimento de feijão e soja.

4.2 Material e métodos

Os experimentos foram conduzidos no Campus Capão do Leão da Universidade Federal de Pelotas, nas coordenadas geográficas de latitude 31°52' S, longitude 52°21' W. O clima dessa região é temperado com chuvas bem distribuídas e verão quente, sendo do tipo Cfa pela classificação de Köppen. As avaliações foram realizadas no PPG em Ciência e Tecnologia de Sementes da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, sendo realizados em duas fases:

Fase I: crescimento do feijão

Foram utilizadas sementes de feijão da cultivar BRS Embaixador, dispostas em vasos de polietileno de 20 litros contendo como substrato solo do tipo Planossolo - horizonte A1 (Streck et al., 2008), previamente corrigido (CQFS RS/SC, 2004).

A aplicação do regulador de crescimento (ácido giberélico) foi realizado

quando as plantas estavam no estágio V2 correspondente ao de folhas primárias totalmente abertas nas concentrações de zero (T1), 50 (T2), 100 (T3) e 200 (T4) mg L⁻¹. A aplicação foi realizada via foliar e por meio de pulverizador de barras pressurizado com CO₂ e pontas tipo leque (110-020), com volume de calda de 50 L ha⁻¹. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, sendo realizadas 10 coletas de três plantas para cada dose e época.

As avaliações foram efetuadas por meio de coletas sucessivas, em intervalos regulares de tempo, de sete em sete dias após a semeadura (DAS) durante todo o ciclo da cultura.

Fase II: crescimento da soja

Foi utilizado sementes da cultivar de soja BMX Potência, dispostas para germinar e se desenvolver em vasos de polietileno preto de 12 litros contendo como substrato solo do horizonte A1 de um Planossolo Háplico Eutrófico Solódico, previamente corrigido, de acordo com análise prévia do solo e baseado no Manual de Adubação (Cqfs RS/SC 2004).

Os tratamentos consistiram de períodos de alagamento do solo de 2 e 4 dias durante o estágio vegetativo - V5. Para possibilitar o estabelecimento dos tratamentos, os vasos de polietileno contendo solo foram perfurados na parte inferior para facilitar a drenagem do excesso de água e a manutenção da capacidade de campo do solo. A capacidade de campo foi determinada a partir da metodologia da mesa de tensão (EMBRAPA 1997), sendo mantida uma lâmina de 20 mm de água sobre a superfície do solo através do encaixe de um segundo vaso de polietileno preto sem perfurações sobre os vasos contendo solo, visando evitar trocas gasosas e a aeração do solo. Para a drenagem do solo encharcado, procedeu-se a retirada o vaso sobreposto ao vaso perfurado e sem perfurações, permitindo a drenagem da água até a capacidade de campo. Como tratamento controle, um conjunto de plantas foi mantido sob capacidade de campo durante todo o período experimental.

As avaliações foram efetuadas por meio de coletas sucessivas dos dados primários de crescimento, a intervalos regulares de 14 dias após a semeadura, durante todo o ciclo de desenvolvimento da cultura.

Coleta dos dados:

Em cada coleta, as plantas foram separadas em órgãos (folhas, caule,

raízes e vagens) e acondicionados, separadamente, em envelopes de papel pardo. 42

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, sendo realizadas 10 coletas de três plantas para cada dose e época

Área foliar (A_f): foi determinada com o medidor de área marca Licor, modelo LI-3100.

Dimensões das folhas (D): foram obtidos por paquímetro digital.

Massa seca de caule, folha, raiz e vagens (W): foram obtidas por plantas, sendo acondicionadas em envelopes de papel pardo e submetidas à secagem em estufa de ventilação forçada sob temperatura de 70 °C, por 72 horas.

Modelos:

Fator correção (F) foi baseada em Benicasa (2003):

Área foliar: $F = (A_f)/C*L$

Massa seca de folhas: $F = (W_f)/C*L$

Sendo: Fator correção =F; A_f = área foliar; C = comprimento limbo; L= largura do limbo; W_f = massa seca de folha

Análise estatísticas:

O delineamento experimental foi inteiramente casualizados com três repetições, distribuídos num fatorial (tratamentos e épocas de coleta). Na primeira etapa, os dados primários de crescimento de área foliar e matéria seca foram submetidos à análise de variância a 5% de probabilidade, sendo a apresentados por regressão polinomial.

Na segunda fase, os dados foram submetidos ao modelo de regressão linear multivariada, com teste de significância de cada coeficiente do modelo geral ($p \leq 0,05$) e avaliação da multicolinearidade entre os fatores. A verificação da simplificação do modelo foi realizada através do método Stepwise ($p \leq 0,05$). A relação matemática do modelo geral é expressa pela equação: $y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_k x_{ki} + \epsilon_i$

- y_i : valores da variável resposta, $i=1,2,\dots,n=1,2,\dots$, observações;
- x : valores das variáveis explicativas, $k=1,2,\dots,K=1,2,\dots$, variáveis;
- β_k : parâmetros do modelo;
- ε_i : erro aleatório.
- b_k : coeficientes estimados.

As variáveis independentes de entrada nos modelos foram: fator de correção de área e massa foliar, bem como, a área foliar estimada a partir do fator. As variáveis dependentes foram área foliar obtida e massa secas (DRAPER & SMITH, 1966; RIBOLDI, 2005; DETMANN et al., 2011).

4.3 Resultados

Fase I: crescimento do feijão

A área foliar ajustou-se ao modelo quadrático com ponto de máxima aos 38 (DAS) após a semeadura (Figura 1a) com bom coeficiente de determinação ($R^2 \geq 0,74$) (Tabela 1) de plantas de feijão sob efeito de regulador de crescimento.

As massas secas ajustaram-se ao modelo cúbico (Tabela 1) com o máximo crescimento do caule até os 50 DAS para o controle e aos 55 DAS para as doses de regulador de crescimento (Figura 1b) e com elevado coeficiente ($R^2 \geq 0,97$), para as raízes o máximo crescimento foi aos 55 DAS (Figura 1c) e com bom coeficiente ($R^2 \geq 0,87$).

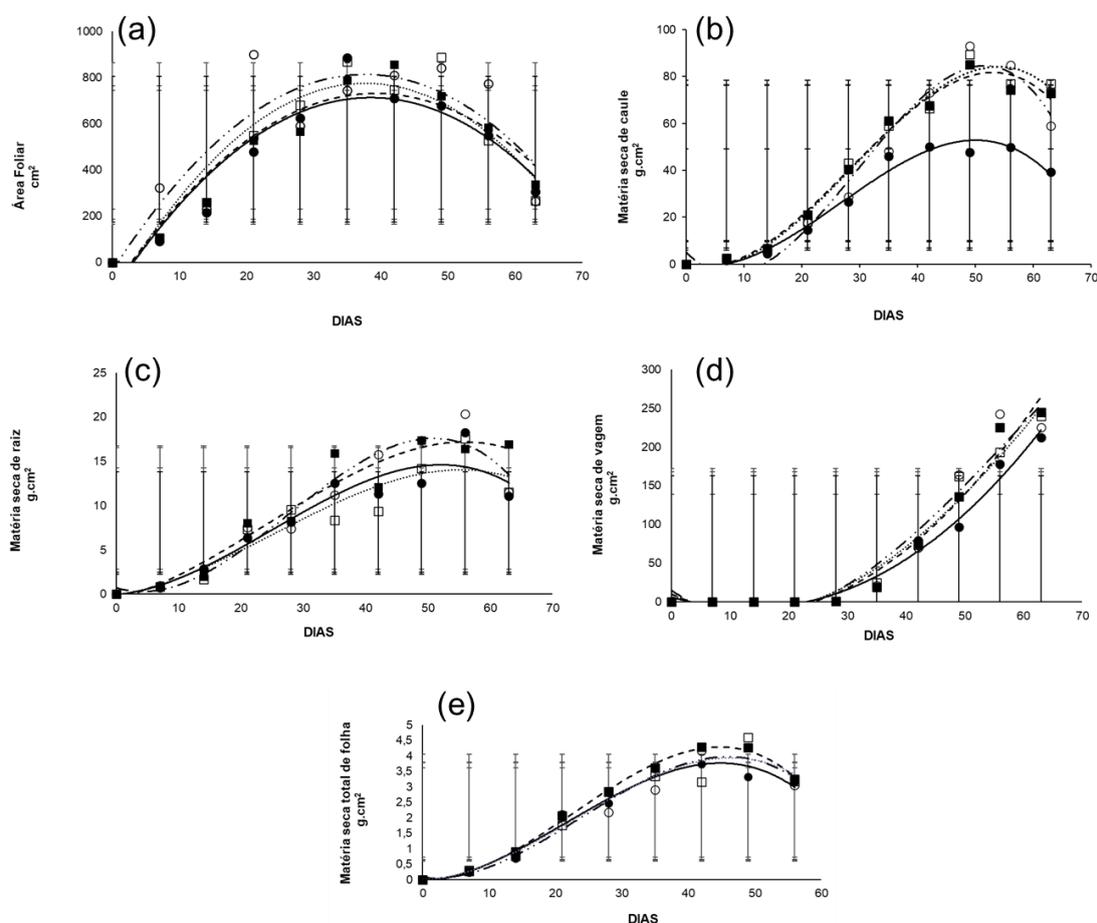


Figura 1. Área foliar (a), massa seca de caule (b), raiz (c), vagens (d) e folhas (e) de plantas de feijão sob efeito de regulador de crescimento. Sendo: 0 (___), T2 (___), T3 (- - -) e T4 (.....).

Já, para a massa seca de vagens houve crescimento exponencial até os 63 DAS (Figura 1d) e com elevado coeficiente de determinação ($R^2 \geq 0,93$), enquanto, para a massa seca de folhas o máximo foi atingido aos 45 DAS (Figura 1e) e com elevado coeficiente de determinação ($R^2 \geq 0,97$) de plantas de feijão sob efeito de regulador de crescimento.

Tabela 1. Equações da área foliar, massa seca de raiz, folhas, caule e vagens de plantas de feijão sob efeito de regulador de crescimento.

T	EQ	R ²	EQ	R ²
Área Foliar		Ms raiz		
t1	$y = -0,571x^2 + 43,98x - 133,3$	0,88	$y = -0,000x^3 + 0,013x^2 + 0,063x - 0,052$	0,91
t2	$y = -0,600x^2 + 45,20x - 36,48$	0,74	$y = -0,000x^3 + 0,028x^2 - 0,216x + 0,725$	0,93
t3	$y = -0,553x^2 + 43,40x - 119,6$	0,90	$y = -0,000x^3 + 0,010x^2 + 0,173x - 0,513$	0,93
t4	$y = -0,646x^2 + 48,77x - 143,5$	0,87	$y = -0,000x^3 + 0,010x^2 + 0,102x - 0,105$	0,87

Ms folha		Ms caule	
t1	$y = -0,001x^3 + 0,084x^2 - 0,526x + 0,002$	0,98	$y = -0,001x^3 + 0,084x^2 - 0,526x + 0,002$
t2	$y = -0,002x^3 + 0,186x^2 - 2,505x + 5,185$	0,97	$y = -0,002x^3 + 0,186x^2 - 2,505x + 5,185$
t3	$y = -0,001x^3 + 0,113x^2 - 0,713x + 0,198$	0,98	$y = -0,001x^3 + 0,113x^2 - 0,713x + 0,198$
t4	$y = -0,001x^3 + 0,117x^2 - 0,845x + 0,659$	0,98	$y = -0,001x^3 + 0,117x^2 - 0,845x + 0,65$
Ms vagem			
t1	$y = 0,000x^3 + 0,075x^2 - 2,110x + 5,924$	0,97	
t2	$y = -0,001x^3 + 0,219x^2 - 5,254x + 14,92$	0,93	
t3	$y = -9E-05x^3 + 0,122x^2 - 3,340x + 9,875$	0,97	
t4	$y = -0,000x^3 + 0,149x^2 - 3,676x + 10,07$	0,97	

As equações lineares para os fatores de correção de área foliar e massa seca de folhas, juntamente com a área foliar estimada são apresentadas na tabela 2, para plantas de feijão. Estes fatores foram obtidos pela largura e comprimento de folhas, bem como, pelos valores reais de área foliar e massa seca para estimar área e massa seca de folhas de uma planta de feijão.

Para os fatores de correção (F) de área e massa seca de folhas, além da área foliar estimada foram obtidas com bom coeficiente de determinação ($R^2 \geq 0,85$) (Tabela 2).

Tabela 2. Equações das análises de regressão multivariada.

Modelos	Equação	R ²	p
F	$F = -4,928524e-05 + 1,933000e-07 * Doses + 1,081190e-05 * DAS - 4,581943e-07 * Af_{estim} + 4,906669e-03 * F_{AF}$	0,9	0,00
Wf	$F = 7,555293e-03 + 2,943563e-05 * Doses - 4,174752e-04 * DAS + 1,273544e-04 * Af_{estim} + 64,40716 * F_{Wf}$	0,8	0,00
Af	$Af = 8,647030 - 0,1864409 * Doses + 2,933979 * DAS - 360977,7 * F_{Wf} + 6403,988 * F_{AF}$	0,8	0,00
estim		5	1

F=fator de correção

Af estim=área foliar estimada

Pode-se verificar que de forma geral o modelo consegue prever com confiança a estimativa da área foliar, conforme figura 2a, a qual demonstra a dispersão dos dados para área foliar observada e estimada na cultura do feijão, em relação a equação da área foliar gerada pelo modelo descrito anteriormente (Tabela 2).

Pode-se verificar para o gráfico de dispersões entre os dados observados e estimados para o fator de correção para a área foliar (Figura 2b) para o feijoeiro, que de forma geral, o modelo consegue prever com confiança os valores, em relação a equação gerada pelo modelo descrito anteriormente (Tabela 2).

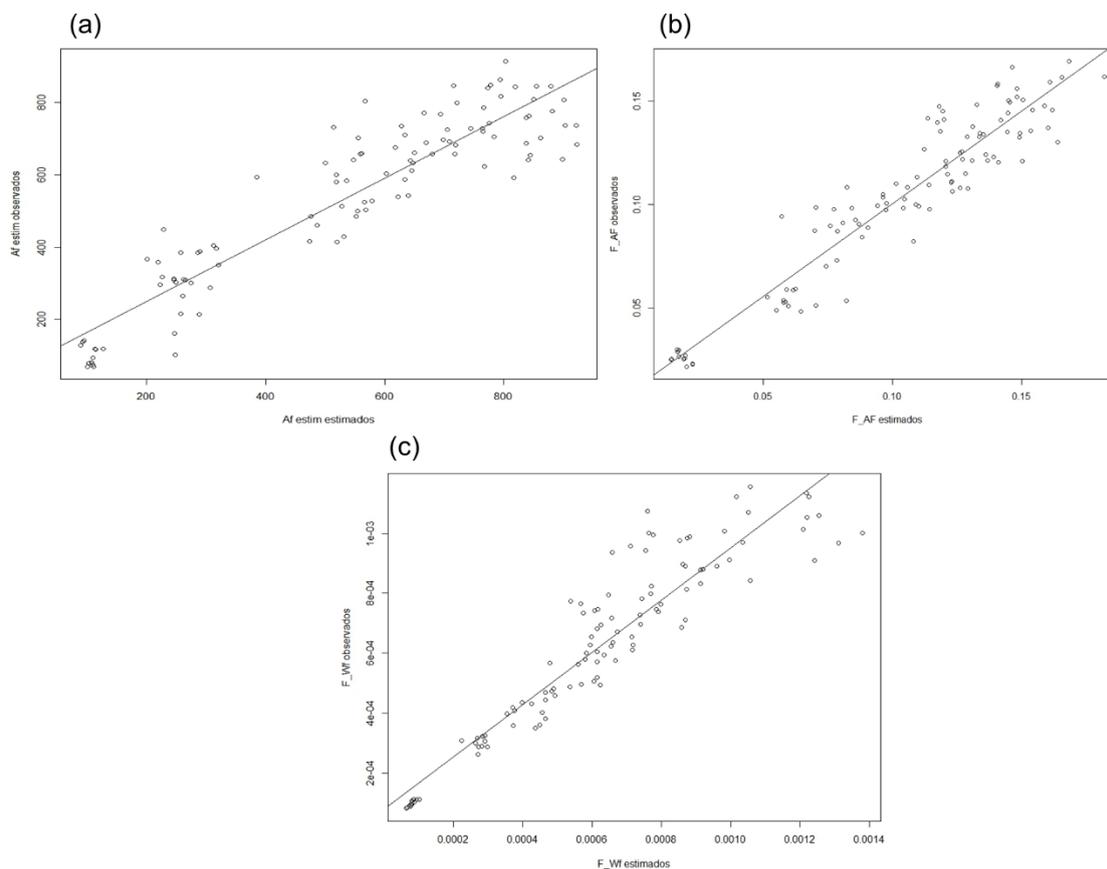


Figura 2. Dispersão dos dados para área foliar observada (Af estim observados) e estimada pelo fator (Af estim estimados) (a), fator de correção para a área foliar observada (F_Af observados) e estimada (F_Af estimados) (b) e fator de correção para estimar massa seca de folhas com base nos dados observados (F_Wf observados) e estimados (F_Wf estimados) (c) para a cultura do feijão em função do modelo matemático.

Pode-se verificar para o gráfico de dispersões entre os dados observados e estimados para o fator de correção para estimar massa seca de folhas (Figura 2c) para o feijoeiro, que de forma geral, o modelo consegue prever com confiança os valores, em relação a equação gerada pelo modelo descrito anteriormente (Tabela 2).

Fase II: crescimento da soja

A área foliar de plantas de soja submetida aos tempos de alagamento ajustaram-se ao modelo quadrático com ponto de máxima aos 60 DAS (Figura 3a) com bom coeficiente de determinação ($R^2 \geq 0,80$) (Tabela 3).

As massas secas ajustaram-se ao modelo cúbico (Tabela 3) com o máximo crescimento das folhas até os 70 DAS para o controle e aos 98 DAS para os tempos de alagamento do solo (Figura 3b) e com bom coeficiente ($R^2 \geq 0,83$), para o caule o máximo crescimento foi até os 98 DAS (Figura 3c) e com bom coeficiente ($R^2 \geq 0,87$).

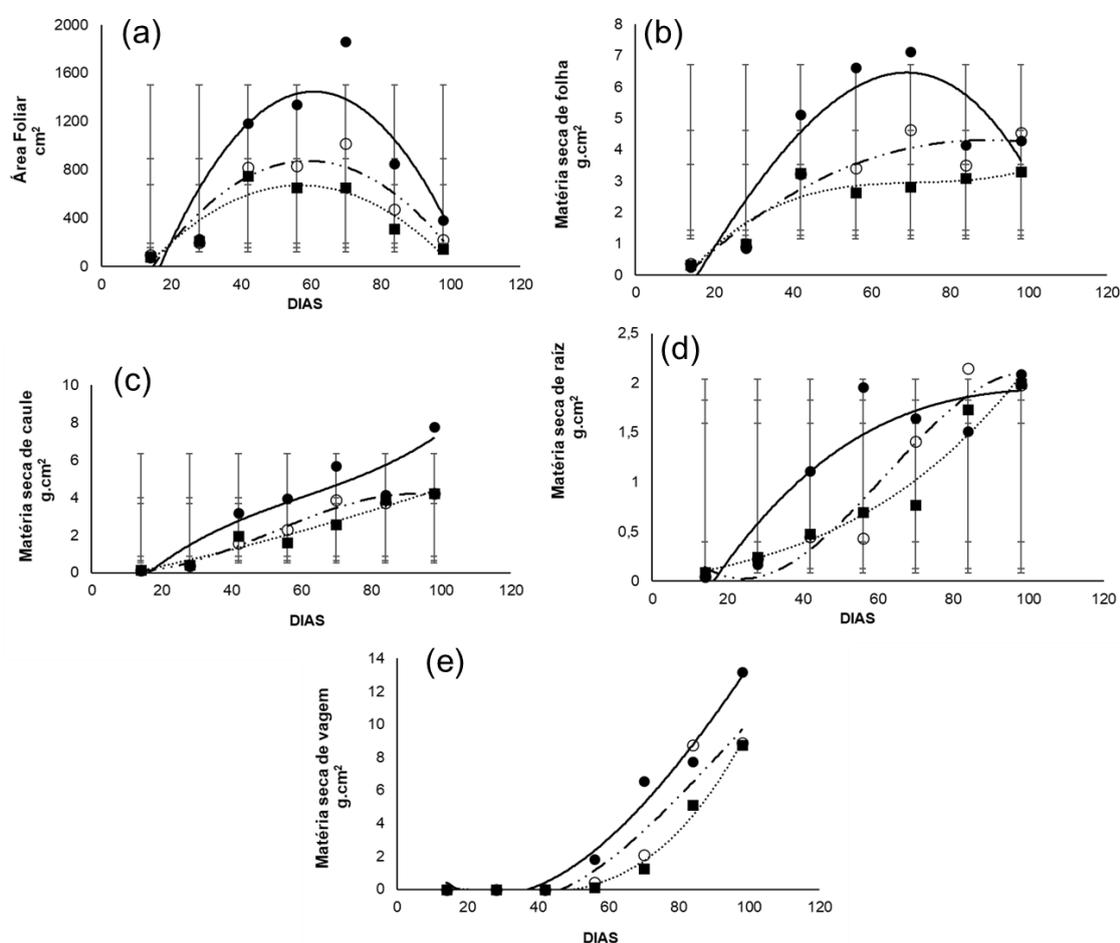


Figura 3. Área foliar (a), massa seca de folha (b), caule (c), raiz (d) e vagem (e) de plantas de soja sob efeito do alagamento do solo. Sendo: T1 (—), T2 (---) e T3 (.....).

Já, para a massa seca de raízes houve crescimento exponencial até os 98 DAS (Figura 3d) e com bom coeficiente de determinação ($R^2 \geq 0,85$), semelhantemente a massa seca de vagens houve crescimento exponencial até os 98 DAS (Figura

3e) e com elevado coeficiente de determinação ($R^2 \geq 0,90$) de plantas de soja sob efeito de tempos de alagamento do solo. 48

Tabela 3. Equações da área foliar, massa seca de folhas, caule, raiz e vagens de plantas de feijão sob efeito de regulador de crescimento.

T	EQ	R ²	T	EQ	R ²
Área Foliar			Ms folha		
t0	$y = -0,743x^2 + 90,455x - 1306,5$	0,80		$y = -1E-05x^3 - 0,0003x^2 + 0,2266x - 3,4358$	0,83
t2	$y = -0,4401x^2 + 52,147x - 671,1$	0,83		$y = 1E-06x^3 - 0,001x^2 + 0,1471x - 1,761$	0,89
t4	$y = -0,3461x^2 + 39,474x - 453,54$	0,84		$y = 1E-05x^3 - 0,003x^2 + 0,2149x - 2,3508$	0,86
Ms caule			Ms raiz		
t0	$y = 1E-05x^3 - 0,0025x^2 + 0,2169x - 2,932$	0,87		$y = 2E-06x^3 - 0,0006x^2 + 0,0742x - 1,0559$	0,85
t2	$y = -2E-05x^3 + 0,0024x^2 - 0,0456x + 0,2945$	0,97		$y = -1E-05x^3 + 0,0018x^2 - 0,0694x + 0,7941$	0,93
t4	$y = 5E-08x^3 + 0,0001x^2 + 0,0382x - 0,4702$	0,94		$y = 1E-06x^3 + 4E-05x^2 + 0,0061x + 0,0111$	0,95
Ms vagem					
t0	$y = -1E-05x^3 + 0,0043x^2 - 0,1999x + 2,0814$	0,97			
t2	$y = -2E-05x^3 + 0,0055x^2 - 0,2883x + 3,427$	0,90			
t4	$y = 2E-05x^3 - 0,0016x^2 + 0,0185x + 0,0801$	0,98			

Para o crescimento não destrutivo para a soja foram obtidas equações lineares para os fatores de correção de área foliar e massa seca de folhas, juntamente com a área foliar estimada (Tabela 4). Estes fatores foram obtidos pela largura e comprimento de folhas, bem como, pelos valores reais de área foliar e massa seca para estimar área e massa seca de folhas de uma planta de soja.

Para os fatores de correção (F) de área e massa seca de folhas, além da área foliar estimada foram obtidas com bom coeficiente de determinação de ($R^2 \geq 0,85$) (Tabela 3).

Tabela 4. Equações das análises de regressão multivariada.

Modelo	Equação	R ²	p
Wf	$F = 0.0323572719 - 0,0219654125 \cdot \text{Dias} + 0,0019761548 \cdot \text{DAS} - 0,0001257311 \cdot \text{Af estim} + 1,9975193624 \cdot F_AF$	0,8	0,00
Af	$F = -0,0129735772 + 0,0003893102 \cdot \text{DAS} + 0,0001035775 \cdot \text{Af estim} + 0,2150176611 \cdot F_Wf$	0,9	0,00
Af		0,8	0,00
estim	$\text{Af} = 224,978969 - 5,781685 \cdot \text{DAS} + 5315,794904 \cdot F_AF$	6	1

F=fator de correção

Af estim=área foliar estimada

Pode-se verificar que de forma geral o modelo consegue prever com confiança a estimativa da área foliar, conforme figura 4a, a qual demonstra a dispersão dos dados para área foliar observada e estimada na cultura da soja, em relação a equação da área foliar gerada pelo modelo descrito anteriormente (Tabela 4).

Pode-se verificar para o gráfico de dispersões entre os dados observados e estimados para o fator de correção para a área foliar (Figura 4b) para a soja, que de forma geral, o modelo consegue prever com confiança os valores, em relação a equação gerada pelo modelo descrito anteriormente (Tabela 4).

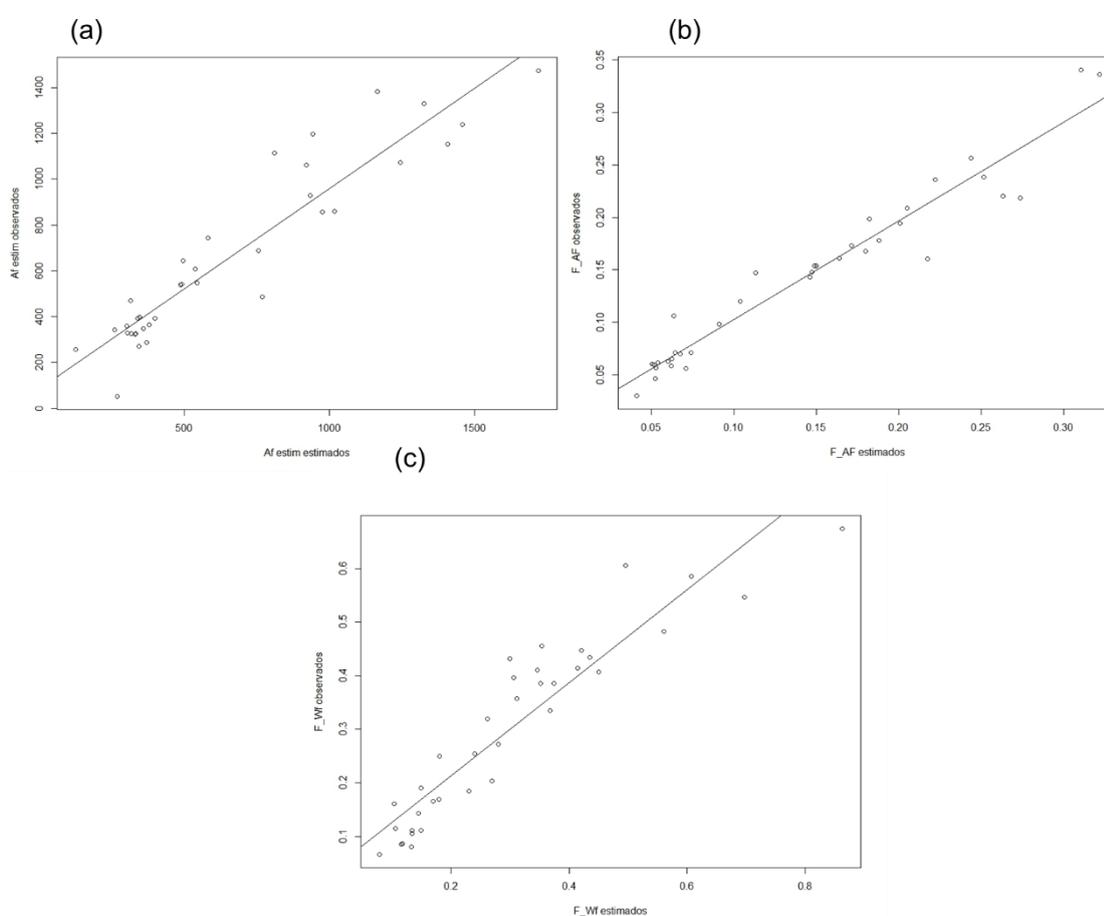


Figura 4. Dispersão dos dados para área foliar observada (Af estim observados) e estimada pelo fator (Af estim estimados) (a), fator de correção para a área foliar observada (F_Af observados) e estimada (F_Af estimados) (b) e fator de correção para estimar massa seca de folhas com base nos dados observados (F_Wf observados) e estimados (F_Wf estimados) (c) para a cultura da soja em função do modelo matemático.

Pode-se verificar para o gráfico de dispersões entre os dados observados e estimados para o fator de correção para estimar massa seca de folhas (Figura

4c) para a soja, que de forma geral, o modelo consegue prever com confiança os valores, em relação a equação gerada pelo modelo descrito anteriormente (Tabela 4). 50

4.4 Discussão

Os modelos de crescimento propostos para feijão e soja se ajustaram com tendências similares aos obtidos pelas coletas destrutivas (Figura 1 e 2). A utilização de outras formas de coleta de dados com a utilização de dispositivos com alta precisão e praticidade, que permitem a análise de grande quantidade de material em pouco tempo (MONDO et al., 2009).

A busca pela área foliar que melhor se adapta as mais variadas condições ambientais e manejos é determinante para potencializarmos o rendimento das mais variadas genéticas. A soja apresenta plasticidade relativa de acordo com a cultivar adotada e comportamento diferenciado frente ao ambiente em que é submetida e tipo de manejo adotado. Devido a disponibilidade de luz para atividade fotossintética afetar o tamanho das folhas (CARVALHO; CHRISTOFFOLETI, 2007). Assim, o equilíbrio na distribuição de fotoassimilados e na absorção de nutrientes é essencial para otimizar os rendimentos (LI et al., 2018).

Segundo Mondo et al. (2009) estudar a posição das folhas da planta mostra diferenças para os parâmetros foliares. Para feijão-vagem os métodos de discos foliares e de fotos digitais são discordantes em relação à estimativa de área foliar (TOEBE et al., 2012). A elevada demanda em prever o crescimento e a produtividade das culturas com precisão é fundamental (CONFALONE et al., 2010).

Na literatura modelos que estudam a sensibilidade às variações climáticas possuem elevado potencial de aplicação como ferramenta no entendimento das relações da soja com o ambiente, devido a temperatura influenciar o crescimento, a floração e o enchimento de grãos, por afetar as taxas de respiração, fotossíntese, absorção de água e nutrientes (FERREIRA et al., 2007).

O crescimento da cultura da soja pode ser descrito pela função linear

(CONFALONE et al., 2010). Sendo assim, a determinação de área foliar pode ser realizada por métodos não-destrutivos, ressaltando que estes métodos necessitam de uma fonte de calibração, em condições similares a que o método será aplicado (ADAMI et al., 2008) e podendo ser ajustados modelos lineares, quadráticos e cúbicos, entre área foliar e o comprimento, a largura (comprimento x largura) (OLIVEIRA et al., 2015), apresentando excelente correlação (FIGUEIREDO et al., 2012). 51

De forma geral, ao analisar as figuras dos gráficos de dispersão para a cultura do feijão (Figura 2), pode-se perceber que ambas obtiveram bons ajustes. Contudo, o melhor ajuste foi observado para o Fator de correção para a área foliar (Figura 2b), seguido da (Figura 2c) e da Área foliar estimada pelo fator (Figura 2a). Já, ao analisarmos as figuras dos gráficos de dispersão para a cultura da soja (Figura 4), pode-se perceber que os ajustes foram semelhantes em ambas.

4.5 Conclusão

Os resultados obtidos nestes trabalhos, demonstram que os fatores de correção para a Af foi de 0,104 e para Wf foi de 0,0006 para feijão. Já, para soja o fator de correção para a Af foi de 0,14 e para Wf foi de 0,301.

5. Artigo IV. Técnica destrutiva de avaliação do crescimento de plantas de milho e sorgo: análise de crescimento morfofisiológica

52

5.1 Introdução

O crescimento e desenvolvimento das plantas é um assunto vital, o que gera ampla discussão entre todos os elos da ciência. Com a análise de crescimento tradicional é possível avaliar os efeitos de diversas condições ambientais sobre os atributos morfofisiológicos ao longo da ontogenia das plantas (PEDÓ et al. 2013). Por meio da avaliação da área foliar e da matéria seca de órgão, dada pela interação genótipo x ambiente, aliada ao efeito das práticas agronômicas sobre o crescimento vegetal (BARREIRO et al. 2006).

A análise de crescimento é uma ferramenta que permite avaliar o manejo racional das espécies cultivadas para expressão do seu potencial de produção (PEDÓ et al. 2013). Também tem sido adotada na elaboração de modelos (BENINCASA, 2003), com a determinação da matéria seca (da planta e/ou de suas partes: frutos, caule, folhas e outros) (TAIZ et al., 2021) e pela área foliar (BENINCASA, 2003).

A avaliação do crescimento é um método padrão para estimar a produção fotossintética líquida, baseado nos valores primários de massa seca e área foliar. (SILVA et al., 2000), número, tamanho e quantidade dos diferentes órgãos (LUCCHESI, 1984). Sendo assim, a análise do crescimento é uma técnica visa estudar os índices fisiológicos sob diferentes condições de meio: luz, temperatura, umidade e fertilidade do solo (PEIXOTO et al., 2011; LOPES; LIMA, 2015) para as mais variadas espécies.

O milho (*Zea mays* L.) e o sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) estão entre os principais cereais cultivados ao redor do globo, em especial nas Américas, por serem importante fonte de carboidratos, podendo serem cultivados nas mais variadas épocas e manejos de plantas.

A cultura do milho e sorgo podem ser produzidos na safrinha (GOMES et al., 2018; FERREIRA et al., 2019), respondendo as doses e parcelamento de nitrogênio (FAVARATO et al, 2016). O nitrogênio (N) é o nutriente exigido e

assimilado em maiores quantidades (FRANÇA-NETO et al. 2011), o N pode modificar a área foliar e afetar a interceptação da radiação solar até a dose de maior eficiência (LYRA et al., 2014), sendo que aumentar doses não acarreta em ganhos de rendimento (PAIVA et al., 2021).

Estudos sobre análises de crescimento não destrutivo tem-se mostrado de relevante interesse para os pesquisadores e profissionais. A análise consistiu na mensuração do comprimento (*C*) e da largura (*L*) de cada folha (MONDO et al., 2009), bem como, número de folhas, altura de plantas, diâmetros, dentre outros. Usando modelos matemáticos-fisiológicos para estimar o acúmulo de matéria seca de plantas (DOURADO NETO et al., 2005). Sendo assim, esse trabalho objetivo desenvolver uma técnica de análise de crescimento não destrutiva de plantas de milho e sorgo.

5.2 Material e métodos

Os experimentos foram conduzidos na Universidade Federal de Pelotas. O clima dessa região é temperado com chuvas bem distribuídas e verão quente, sendo do tipo Cfa pela classificação de Köppen. As avaliações foram realizadas no PPG em Ciência e Tecnologia de Sementes da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, sendo realizados em duas fases:

Fase I: crescimento do milho

O experimento foi conduzido na área didática e experimental das Plantas de Lavoura no Centro Agropecuário da Palma, com localização geográfica de 31°48'02" S e 52°29'46" W, da Universidade Federal de Pelotas.

Foram utilizadas sementes de híbridos de milho (H1 - AS1633PRO3, H2 - MG408PWU, H3 - NK520VIP3, H4 - B2401PWU, H5 - K9606VIP3, H6 - NK467VIP3), cuja semeadura foi efetuada em 22/02/2022. As sementes foram dispostas no espaçamento 45cm, contendo quatro plantas por metro linear em um Planossolo Háplico Eutrófico Solódico, previamente corrigido, de acordo com análise prévia do solo e baseado no Manual de Adubação e Calagem (CQFS RS/SC, 2016).

O delineamento experimental foi em faixas com três repetições, seis tratamentos (híbridos) e nove épocas de coleta. Os tratamentos consistiram em

seis híbridos. As avaliações foram efetuadas no material obtido de coletas sucessivas dos dados primários de crescimento, a intervalos regulares de quatorze dias após a semeadura (DAS), durante todo o ciclo de desenvolvimento das plantas.

Fase II: crescimento do sorgo

O experimento foi conduzido na área didática e experimental do PPG em Ciência e Tecnologia de Sementes em canteiros, com localização geográfica de 31°48'13" S e 52°24'55" W, na Universidade Federal de Pelotas.

Foram utilizadas sementes da cultivar de sorgo Advanta, cuja semeadura foi efetuada em 03/03/2022. As sementes foram dispostas para germinar e se desenvolver em canteiros de 1,2 a 5 metros, contendo como substrato solo do horizonte A1 de um Planossolo Háplico Eutrófico Solódico, previamente corrigido, de acordo com análise prévia do solo e baseado no Manual de Adubação e Calagem (CQFS RS/SC, 2016). As sementes foram dispostas no espaçamento 45cm contendo quatro plantas por m².

O delineamento experimental foi blocos casualizado com quatro repetições, quatro tratamentos e 11 coletas de crescimento. Os tratamentos consistiram em doses de nitrogênio, sendo: T1: 0 N; T2: 10 Kg de N na semeadura + 55 kg em cobertura; T3: 20 Kg de N na semeadura + 55 kg em cobertura e T4: 30 Kg de N na semeadura + 55 kg em cobertura.

As avaliações foram efetuadas por meio de coletas sucessivas, a intervalos regulares de quatorze dias após a semeadura, durante todo o ciclo do genótipo.

Coleta dos dados:

Em cada coleta, as plantas foram separadas em órgãos (folhas, colmo, raízes e espigas/panículas) e acondicionados, separadamente, em envelopes de papel pardo.

Área foliar (A_f): foi determinada com o medidor de área marca Licor, modelo LI-3100.

Dimensões das folhas (D): foram obtidos por paquímetro digital.

Massa seca de caule, folha, raiz e espigas/panículas (W): foram obtidas por plantas, sendo acondicionadas em envelopes de papel pardo e submetidas à secagem em estufa de ventilação forçada sob temperatura de 70 °C, por até atingir massa seca constante.

Modelos:

Fator correção (F) foi baseada em Benicasa (2003):

Área foliar: $F = (A_f)/C \cdot L$

Massa seca de folhas: $F = (W_f)/C \cdot L$

Sendo: Fator correção =F; A_f = área foliar; C = comprimento limbo; L= largura do limbo; W_f = massa seca de folha

Análise estatísticas:

O delineamento experimental foi inteiramente casualizados com cinco plantas de milho por repetição e quatro para sorgo, distribuídos num fatorial (tratamentos e épocas de coleta). Na primeira etapa, os dados primários de crescimento de área foliar e matéria seca foram submetidos à análise de variância a 5% de probabilidade, e apresentados por regressão polinomial.

Na segunda etapa, os dados foram submetidos ao modelo de regressão linear multivariada, com teste de significância de cada coeficiente do modelo geral ($p \leq 0,05$) e avaliação da multicolinearidade entre os fatores. A verificação da simplificação do modelo foi realizada através do método Stepwise ($p \leq 0,05$). A relação matemática do modelo geral é expressa pela equação: $y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_k x_{ki} + \epsilon_i$

- y_i : valores da variável resposta, $i=1,2,\dots,n=1,2,\dots$, observações;
- x : valores das variáveis explicativas, $k=1,2,\dots,K=1,2,\dots$, variáveis;
- β_k : parâmetros do modelo;
- ϵ_i : erro aleatório.
- b_k : coeficientes estimados.

Para os dados referentes ao milho foi utilizada a variável Dummy no modelo de regressão, por apresentar a variável independente categórica. A normalidade dos resíduos foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilks.

As variáveis independentes de entrada nos modelos foram: fator de correção de área e massa foliar, bem como, a área foliar estimada a partir do fator. As variáveis dependentes foram área foliar obtida e massa secas

5.3 Resultados

Fase I - milho

A área foliar ajustou-se ao modelo quadrático com crescimento até os 126 dias após a semeadura (DAS) (Figura 1a) com bom coeficiente de determinação ($R \geq 0,60$) (Tabela 1) de plantas de híbridos de milho ao longo do desenvolvimento da cultura.

A massa seca de folhas dos híbridos ajustaram-se ao modelo cúbico (Tabela 1) com o máximo crescimento do caule até os 90 DAS para o híbrido 1 e aos 100 DAS para os demais híbridos (Figura 1b) e com bom coeficiente ($R \geq 0,84$).

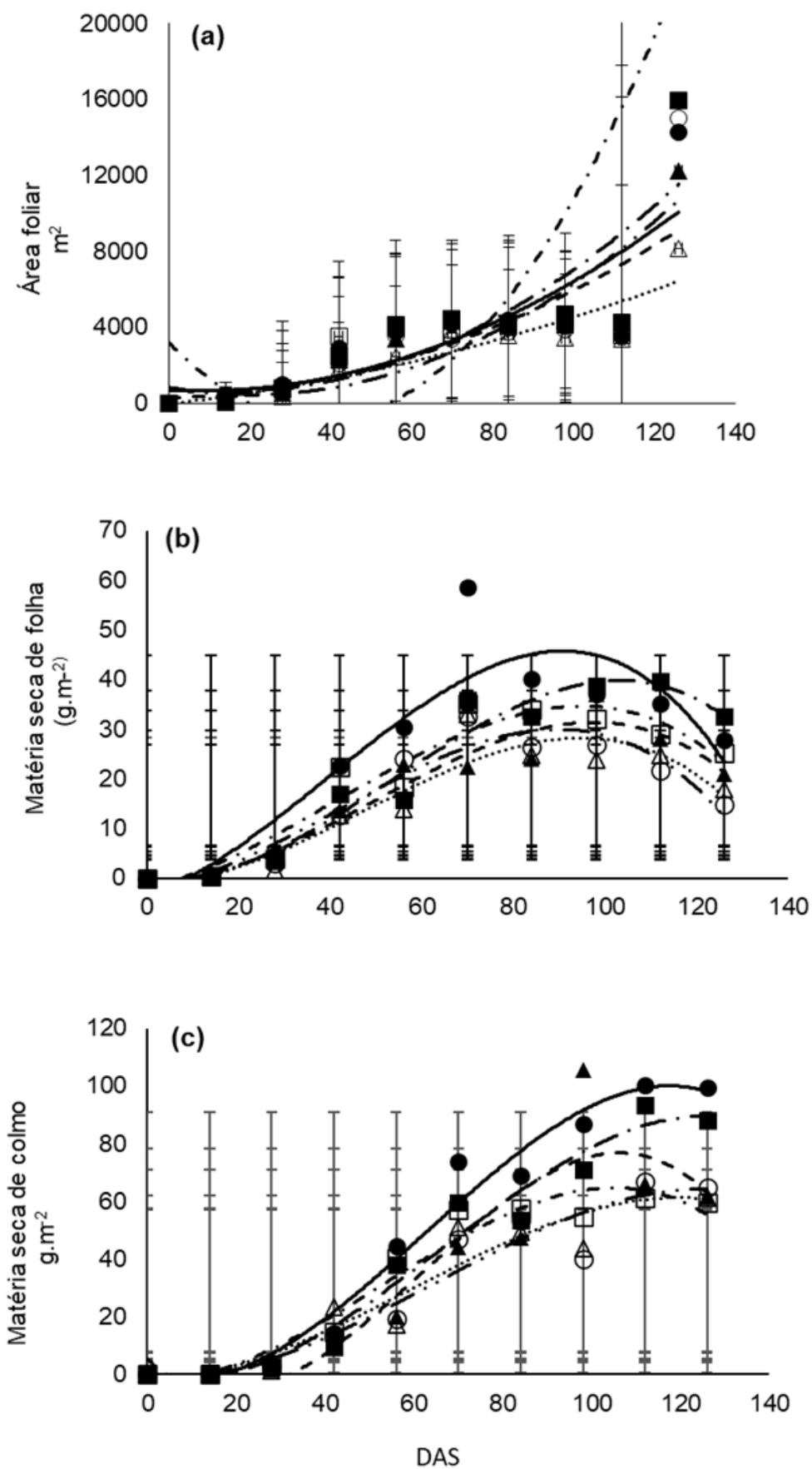


Figura 1. Área foliar (a), massa seca de folha (b) e de colmo (c) de plantas de diferentes híbridos de milho. Sendo H1 (____), H2 (-.-), H3 (._.), H4 (-.-), H5 (- -) e H6 (....).

Já, para a massa seca do colmo houve crescimento sigmoide até os 126 DAS (Figura 1d) e com bom coeficiente de determinação ($R \geq 0,86$), de plantas de híbridos de milho.

Tabela 1. Equações da área foliar, massa seca de folhas e colmo de plantas de híbridos de milho.

Híbridos	EQ	R ²
Área foliar		
h1	$y = 0,661x^2 - 8,757x + 670,1$	0,67
h2	$y = 0,921x^2 - 37,74x + 834,7$	0,69
h3	$y = 0,867x^2 - 23,51x + 725,4$	0,71
h4	$y = 2,933x^2 - 217,7x + 3178,0$	0,60
h5	$y = 0,520x^2 + 4,337x + 308,3$	0,75
h6	$y = 0,214x^2 + 24,11x - 23,56$	0,81
Matéria seca de folha		
h1	$y = -9E-05x^3 + 0,011x^2 + 0,314x - 3,662$	0,84
h2	$y = -7E-05x^3 + 0,009x^2 + 0,112x - 1,922$	0,92
h3	$y = -8E-05x^3 + 0,012x^2 - 0,078x - 0,466$	0,95
h4	$y = -6E-05x^3 + 0,007x^2 + 0,215x - 2,029$	0,91
h5	$y = -7E-05x^3 + 0,010x^2 - 0,024x - 0,626$	0,93
h6	$y = -7E-05x^3 + 0,009x^2 + 0,001x - 1,194$	0,87
Matéria seca de colmo		
h1	$y = -0,000x^3 + 0,028x^2 - 0,402x - 0,878$	0,97
h2	$y = -8E-05x^3 + 0,014x^2 - 0,128x - 0,994$	0,92
h3	$y = -0,000x^3 + 0,022x^2 - 0,346x - 0,563$	0,96
h4	$y = -0,000x^3 + 0,019x^2 - 0,039x - 2,514$	0,95
h5	$y = -0,000x^3 + 0,044x^2 - 1,332x + 5,038$	0,86
h6	$y = -0,000x^3 + 0,044x^2 - 1,332x + 5,038$	0,86

As equações lineares para os fatores de correção de área foliar e massa seca de folhas, juntamente com a área foliar estimada são apresentadas na (Tabela 2), para plantas de diferentes híbridos de milho. Estes fatores foram obtidos pela largura e comprimento de folhas, bem como, pelos valores reais de área foliar e massa seca para estimar área e massa seca de folhas de uma planta de milho.

Para os fatores de correção (F) de área e massa seca de folhas, além da área foliar estimada foram obtidas com bom coeficiente de determinação ($R^2 \geq 0,83$) (Tabela 2).

Tabela 2. Equações das análises de regressão multivariada.

Modelo	Equação	R ²	p
Wf	$F = 0,03920 - 0,03589 * \text{híbrido2} - 0,02656 * \text{híbrido3} - 0,03753 * \text{híbrido4} - 0,03973 * \text{híbrido5} - 0,03483 * \text{híbrido6} + 8,560e-6 * \text{Af estim} + 3,221e-3 * F_{AF}$	0,83	0,001
Af	$F = 2,2131120 + 1,1422669 * \text{híbrido2} + 2,1026334 * \text{híbrido3} + 0,6626596 * \text{híbrido4} + 0,9008934 * \text{híbrido5} + 1,9059684 * \text{híbrido6} - 0,0764886 * \text{DAS} + 0,0025786 * \text{Af estim} + 53,6132243 * F_{Wf}$	0,84	0,001
Af estim	$Af = -1191,223 + 515,776 * \text{híbrido2} + 139,553 * \text{híbrido3} + 713,691 * \text{híbrido4} + 709,622 * \text{híbrido5} + 223,989 * \text{híbrido6} + 23,486 * \text{DAS} + 168,823 * F_{AF} + 10064,984 * F_{Wf}$	0,91	0,001

Pode-se verificar que de forma geral o modelo consegue prever com confiança a estimativa da área foliar, conforme figura 2a, a qual demonstra a dispersão dos dados para área foliar observada e estimada na cultura do Milho, em relação a equação da área foliar gerada pelo modelo descrito anteriormente (Tabela 2).

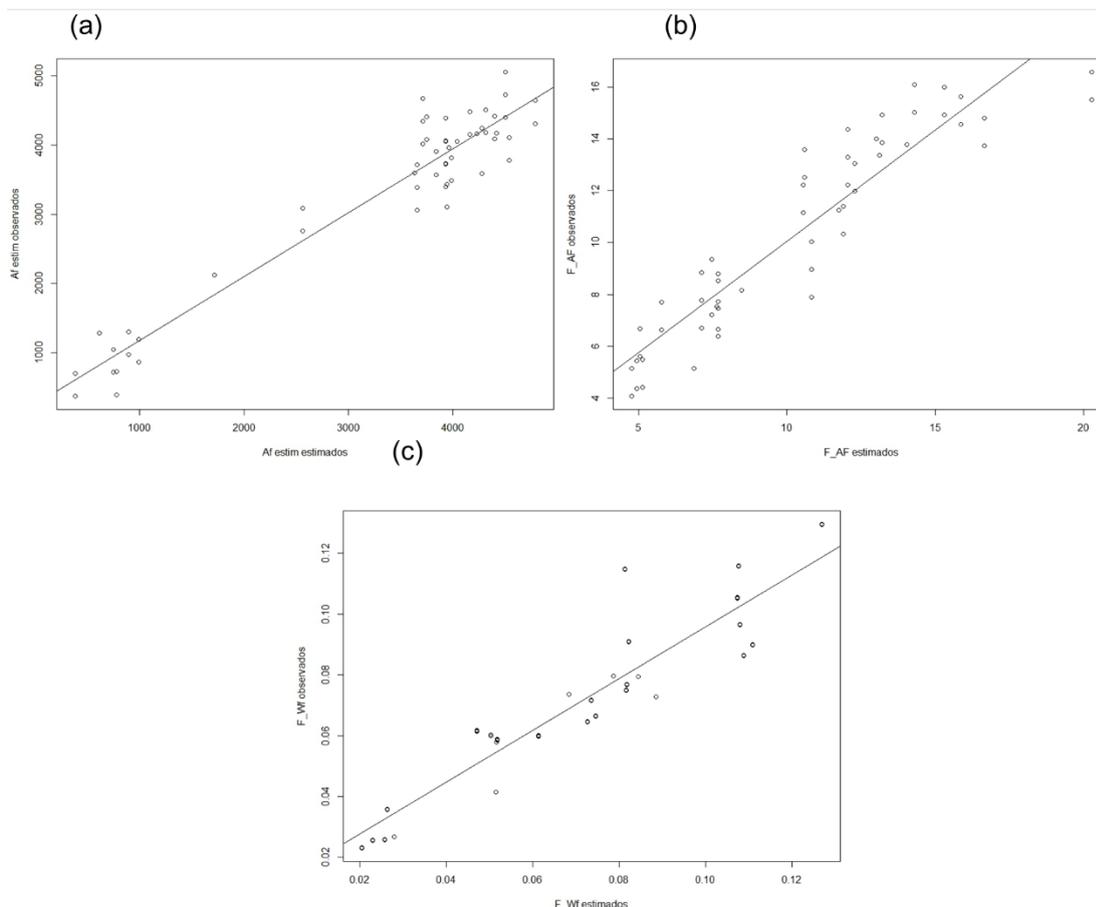


Figura 2. Dispersão dos dados para área foliar observada (Af estim observados) e estimada pelo fator (Af estim estimados) (a), fator de correção para a área foliar observada (F_Af observados) e estimada (F_Af estimados) (b) e fator de correção para estimar massa seca de folhas com base nos dados observados (F_Wf observados) e estimados (F_Wf estimados) (c) para a cultura do milho em função do modelo matemático.

Pode-se verificar para o gráfico de dispersões entre os dados observados e estimados para o fator de correção para a área foliar (Figura 2b) para o milho, que de forma geral, o modelo consegue prever com confiança os valores, em relação a equação gerada pelo modelo descrito anteriormente (Tabela 2).

Para o gráfico de dispersões entre os dados observados e estimados para o fator de correção para estimar massa seca de folhas (Figura 2c) para o milho, que de forma geral, o modelo consegue prever com confiança os valores, em relação a equação gerada pelo modelo descrito anteriormente (Tabela 2).

Fase II – sorgo

A área foliar de plantas de sorgo submetida a doses de nitrogênio ajustaram-se ao modelo quadrático com ponto de máxima aos 140 DAS para o T1, 112 DAS para o T2 e aos 98 DAS para o T3 e T4 (Figura 3a), com um bom coeficiente de determinação ($R \geq 0,81$) (Tabela 3).

A massa seca de folha ajustaram-se ao modelo cúbico (Tabela 3) com o máximo crescimento das folhas até os 70 DAS para as doses de nitrogênio e aos 98 DAS para o controle (Figura 3b) e com bom coeficiente ($R \geq 0,83$).

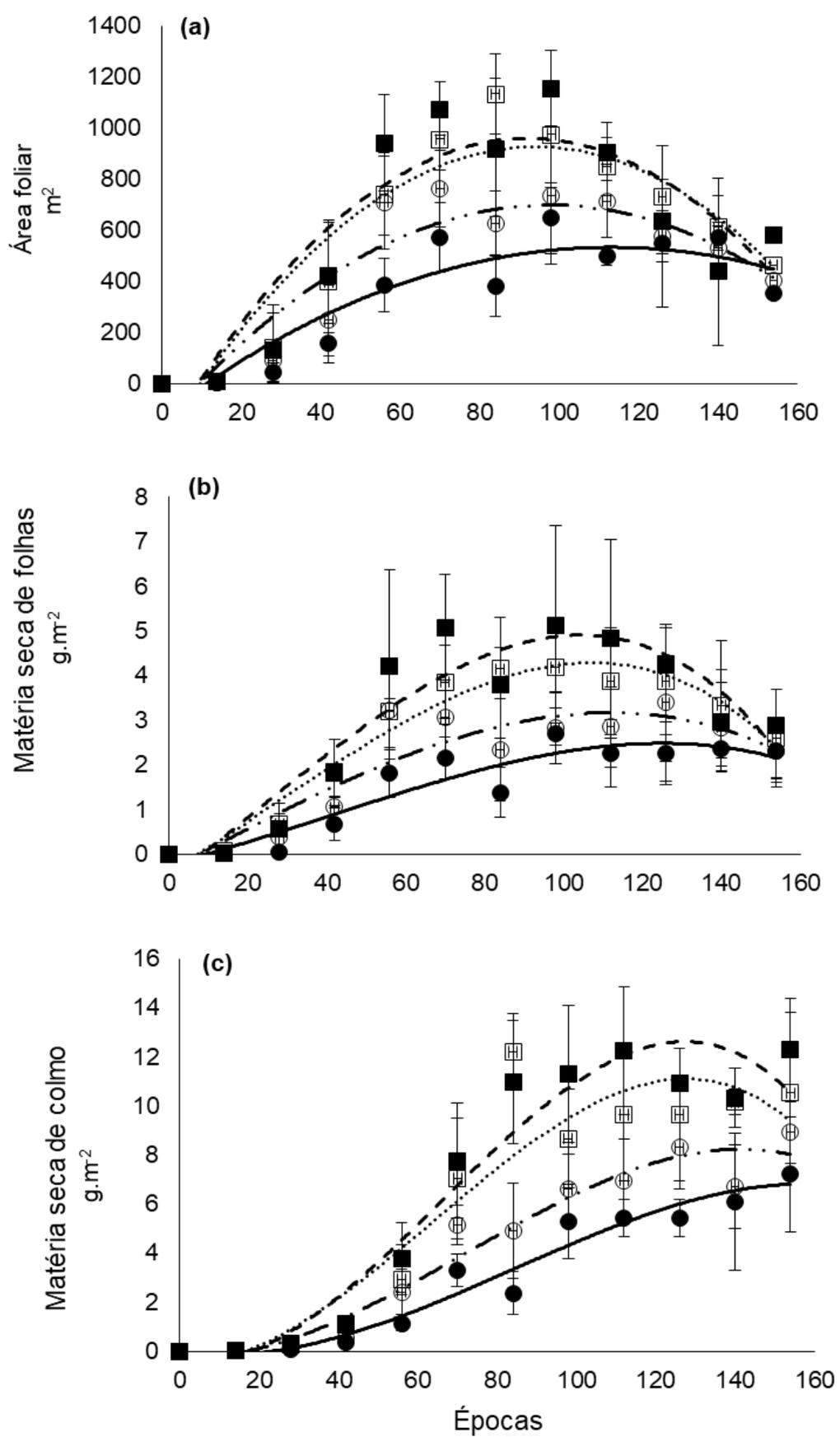


Figura 3. Área foliar (a), massa seca de folha (b) e de colmo (c) de plantas de sorgo sob doses de nitrogênio. Sendo: T1 (___), T2 (-.-), T3 (- - -) e T4 (....). 63

Já, para a massa seca de colmo houve crescimento exponencial até os 154 DAS (Figura 3d) e com bom coeficiente de determinação ($R \geq 0,88$), de plantas de sorgo sob efeito de doses de nitrogênio.

Tabela 3. Equações da área foliar, massa seca de folhas e colmo de plantas de sorgo sob doses de nitrogênio.

Tratamentos	EQ	R ²
Área foliar		
t1	$y = -0,051x^2 + 11,60x - 123,1$	0,83
t2	$y = -0,090x^2 + 17,61x - 160,5$	0,84
t3	$y = -0,139x^2 + 25,72x - 222,8$	0,81
t4	$y = -0,130x^2 + 24,54x - 226,5$	0,87
Matéria seca de folhas		
t1	$y = -1E-06x^3 + 0,000x^2 + 0,021x - 0,225$	0,87
t2	$y = -1E-06x^3 + 8E-06x^2 + 0,046x - 0,364$	0,84
t3	$y = -4E-06x^3 + 0,000x^2 + 0,066x - 0,578$	0,87
t4	$y = -3E-06x^3 + 0,000x^2 + 0,053x - 0,405$	0,95
Matéria seca de colmo		
t1	$y = -4E-06x^3 + 0,001x^2 - 0,022x - 0,028$	0,95
t2	$y = -6E-06x^3 + 0,001x^2 - 0,007x - 0,246$	0,95
t3	$y = -1E-05x^3 + 0,002x^2 - 0,020x - 0,470$	0,94
t4	$y = -1E-05x^3 + 0,002x^2 - 0,000x - 0,546$	0,88

Para o crescimento não destrutivo de plantas de sorgo sob efeito de doses de nitrogênio foram obtidas equações lineares para os fatores de correção de área foliar e massa seca de folhas, juntamente com a área foliar estimada (Tabela 4). Estes fatores foram obtidos pela largura e comprimento de folhas, bem como, pelos valores reais de área foliar e massa seca para estimar área e massa seca de folhas de uma planta de sorgo.

Para os fatores de correção (F) de área e massa seca de folhas, além da

área foliar estimada foram obtidas com elevado coeficiente de determinação ($R^2 \geq 0,85$) para os fatores de área e massa foliar (Tabela 3), enquanto, para a área foliar estimada o coeficiente de determinação ($R^2 \geq 0,57$) foi mediano. 64

Tabela 4. Equações das análises de regressão multivariada.

Modelos	Equação	R ²	p
Wf	$F = 0,0034021 + 0,0039140 * F_AF$	0,90	0,001
Af	$F = 0,650843012 - 0,013000257 * DAS + 213,417522809 * F_Wf + 0,001629917 * Af \text{ estim}$	0,91	0,001
Af estim	$Af = -329,342608 - 63,789308 * DOSE_N + 5,709487 * DAS + 36,209884 * F_AF$	0,57	0,001

Pode-se verificar que de forma geral o modelo não deu um bom ajuste para prever com confiança a estimativa da área foliar, conforme figura 4a, para a cultura do sorgo, em relação a equação da área foliar gerada pelo modelo descrito anteriormente (Tabela 4).

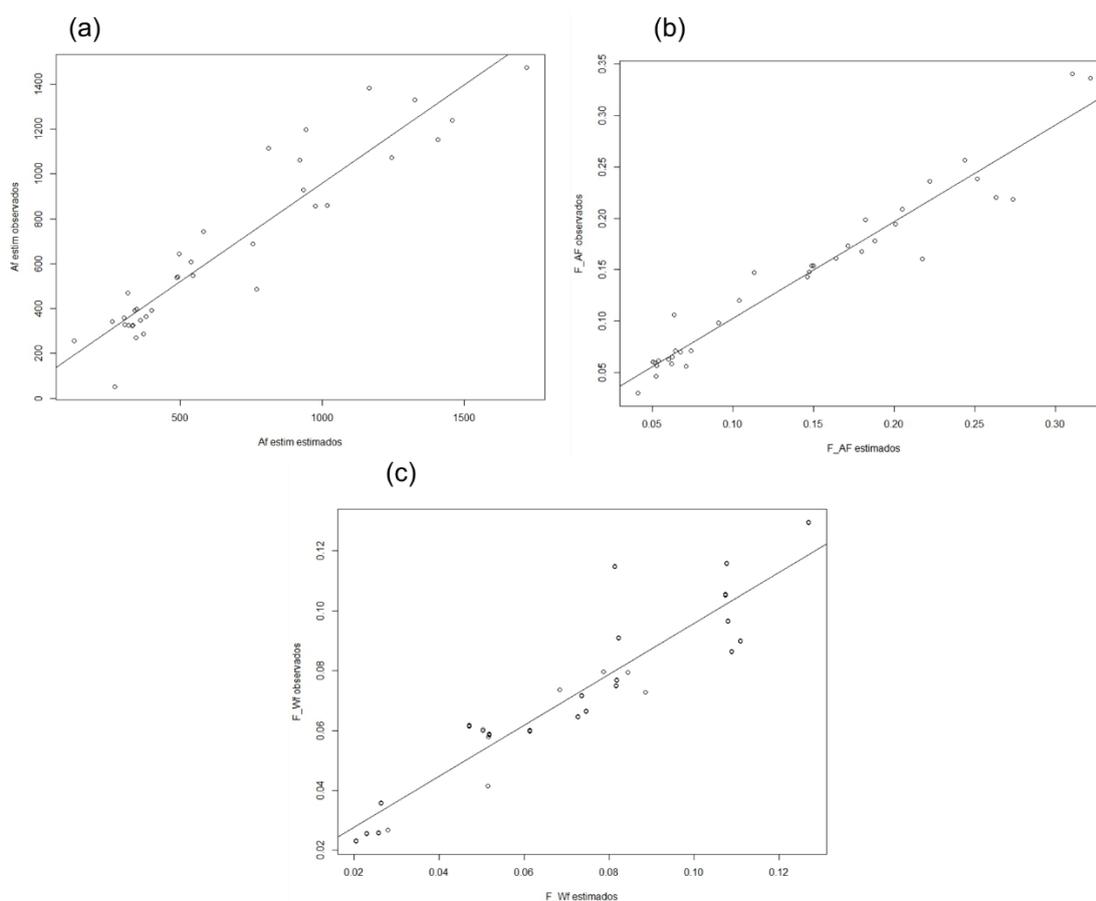


Figura 4. Dispersão dos dados para área foliar observada (Af estim observados) e estimada pelo fator (Af estimados) (a), fator de correção para a área foliar observada (F_Af observados) e estimada (F_Af estimados) (b) e fator de

correção para estimar massa seca de folhas com base nos dados observados (F_{Wf} observados) e estimados (F_{Wf} estimados) (c) para a cultura do sorgo em função do modelo matemático.

Pode-se verificar para o gráfico de dispersões entre os dados observados e estimados para o fator de correção para a área foliar (Figura 4b) para o sorgo, o modelo consegue prever com uma certa confiança os valores em relação à equação gerada pelo modelo descrito anteriormente. (Tabela 4).

Para o gráfico de dispersões entre os dados observados e estimados para o fator de correção para estimar massa seca de folhas (Figura 4c) para o sorgo, que de forma geral, o modelo consegue prever os valores, em relação a equação gerada pelo modelo descrito anteriormente (Tabela 4).

5.4 Discussão

O uso de modelos a fim de estimar a área foliar e massa seca é importante para estimar o crescimento de plantas de milho e sorgo. Estes modelos podem ser baseados na transformação dos dados ambientais em matéria seca acumulada (MULLER e BERGAMASCHI, 2005), aliada as determinações de Área foliar (LESSA et al., 2018).

Estas determinações são impactadas pelas técnicas de manejo e posicionamento de genéticas. Sendo dependente da arquitetura da planta e da fertilidade do solo, podendo serem determinantes para a definição de população e espaçamento entre fileiras de plantas (DOURADO NETO et al., 2005).

É importante destacar que a relação entre A_f e a atividade fotossintética é determinante para obtermos os elevados rendimentos, desse modo, a arquitetura do dossel é importante para a A_f (VIEIRA JÚNIOR et al., 2006).

De acordo com Magalhães, et al (2003), durante o ciclo, a planta de sorgo depende das folhas como os principais órgãos fotossintéticos, e a taxa de crescimento da planta depende tanto da taxa de expansão da área foliar como da taxa de fotossíntese por unidade de área foliar

De acordo com Alvim et al. (2010) a redução da área foliar em plantas de milho altera a atividade fisiológica e conseqüentemente o rendimento de grãos.

A seleção de genótipos e de ambientes de produção que favorecem o

máximo acúmulo de metabólitos e que determinam o melhor manejo de nitrogênio em cobertura (DOURADO NETO et al., 2005). Outro ponto determinante para o uso de técnicas não destrutivas é em programas de melhoramento por apresentar poucas plantas e muitos genótipos avaliados (VIEIRA JÚNIOR et al., 2006).

A leitura do comprimento (C) e da largura (L) de cada folha, para uso nas equações matemáticas que correlacionam estas variáveis com Af é eficiente para estimar o desenvolvimento foliar das plantas (MONDO et al., 2009). A determinação da Af pode ser realizada por medições diretas das folhas, análise de imagens em softwares ou ainda estimativas em função de características dimensionais (LESSA et al., 2018), principalmente por serem métodos mais simples e rápidos que garantam a viabilidade das pesquisas de campo (CARGNELUTTI FILHO et al., 2015; SOUZA et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2016).

Uso modelos para estimar a área foliar em diferentes condições ambientais, genotípicas e nos sistemas de manejo (MULLER; BERGAMASCHI, 2005) contribuem para planejarmos os cultivos agrícolas. Segundo Lessa et al. (2018) coeficientes de determinação superiores a 0,90 foram verificados para os modelos referentes a Af. Sendo assim, modelos são capazes de simular os aspectos fisiológicos e fenológicos das plantas (SOARES et al., 2015). Estimar a produtividade de uma cultura é importante (DOURADO NETO et al., 2005), pois as folhas acima da espiga são responsáveis a 20% na produtividade e de 8% no peso de 1.000 grãos (ALVIM et al., 2010).

De forma geral, ao analisar as figuras de dispersão para a cultura do milho (Figura 2), pode-se perceber que ambas obtiveram bons ajustes. Contudo, o melhor ajuste foi observado para a área foliar estimada pelo fator (Figura 2a), seguido do fator de correção para estimar massa seca de folhas (Figura 2c) e do fator de correção para a área foliar (Figura 2b). Já, para as figuras de dispersão para a cultura do sorgo o único que não apresenta um bom ajuste e, por este motivo não consegue o modelo descrever com tanta confiança os dados é a área foliar estimada (Figura 4a).

5.5 Conclusões

Os resultados obtidos nestes trabalhos, demonstram que os fatores de correção para a Af foi de 10,35 e para Wf foi de 0,072 para milho. Já, para sorgo o fator de correção para a Af foi de 8,75 e para Wf foi de 0,038. 67

6. Considerações finais

Diante das condições ambientais variáveis, há uma limitação na capacidade das plantas de milho e sorgo em converter eficientemente a radiação solar em matéria seca. Essa limitação afeta o acúmulo de reservas nutritivas nas plantas, o que pode ter implicações significativas no rendimento final da cultura de milho

Para o setor agrícola, é crucial empregar modelos que ajudem a calcular a área foliar e a massa seca em plantações de milho e sorgo. Esses modelos traduzem informações ambientais em estimativas práticas sobre a quantidade de material seco que as plantas estão acumulando, fornecendo insights valiosos para otimizar o manejo e aumentar a eficiência da produção agrícola.

A análise da área foliar de plantas de soja sujeitas a diferentes períodos de alagamento revelou uma propensão para ajustes ao modelo quadrático aos 60 DAS. No caso do feijão, a aplicação do modelo quadrático mostrou um ponto de máxima área foliar aos 38 DAS

Esses resultados enfatizam a influência crucial do tempo de alagamento na dinâmica da área foliar, evidenciando padrões distintos de resposta ao longo do tempo para ambas as culturas. Esta compreensão é de extrema importância para o setor agrícola, proporcionando resultados que irão otimizar práticas de cultivo e gestão de lavouras diante de condições variáveis do ambiente.

7. Referências bibliográficas

68

ADAMI, M., HASTENREITER, F. A., FLUMIGNAN, D. L., & FARIA, R. T. D. Estimativa de área de folíolos de soja usando imagens digitais e dimensões foliares. **Bragantia**, 67, 1053-1058. 2008.

ALDRICH, S.R.; SCOTT, W.O.; LENG, E.R. **Modern corn production**. 2.ed. Champaign: A & L Publication, 1982. 371 p.

ALMEIDA, A. C. S. et al. Produtividade e eficiência de uso da água em milho cultivado com diferentes estratégias de manejo hídrico. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, n. 3, p. 1448-1457, 2017.

ALVES, B. M.; CARGNELUTTI FILHO, A.; TOEBE, C. B. M. et al. Divergência genética de milho transgênico em relação à produtividade de grãos e da qualidade nutricional. **Ciência Rural**, Santa Maria v.45, n.5, p.884-891, 2015.

AVELAR, B. C. Aspectos climáticos. In: EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa em Milho e Sorgo. Recomendações técnicas para a cultura do sorgo. Sete Lagoas, p.15-16 (**Circular Técnica**, 1). 1982.

ÁVILA, M. R., BRACCINI, A. D. L., MOTTA, I. D. S., SCAPIM, C. A., & BRACCINI, M. D. C. L. Sowing seasons and quality of soybean seeds. **Scientia Agricola**, 60, 245-252, 2003.

ALVIM, K. R. D. T., BRITO, C. H. D., BRANDÃO, A. M., GOMES, L. S., & LOPES, M. T. G. (2010). Quantificação da área foliar e efeito da desfolha em componentes de produção de milho. **Ciência Rural**, 40, 1017-1022.

AMADO, T. J. C. et al. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 1, p. 241- 248, 2002.

AUMONDE T.Z, LOPES NF, MORAES DM, PEIL RMN, PEDÓ T Análise de crescimento do híbrido de mini melancia Smile® enxertada e não enxertada. **Interciência** 36(9):677-681. 2011. 69

AUMONDE, T.Z.; PEDÓ, T.; MARTINAZZO, E.G.; MORAES, D.M.; VILLELA, F.A.; LOPES, N.F. Análise de crescimento e partição de assimilados em plantas de maria-pretinha submetidas a níveis de sombreamento. **Planta Daninha**, v. 31, p. 99- 108, 2013.

BALDISSERA, J. N. R.; VALENTINI, G.; COAN, M.M.D.; ALMEIDA, C.B.; GUIDOLIN, A.F. & COIMBRA, J.L.M.–Capacidade combinatória e efeito recíproco em característica agrônômicas do feijão. **Semina: Ciências Agrárias**, vol. 33, n. 2, p. 471-480. 2012. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n2p471>.

BAMBERG, A. L.; PAULETTO, E.A.; GOMES, A. da S.; TIMM, L.C.; PINTO, L.F.S.; LIMA, A.C.R. de; SILVA, T.R. da. Densidade de um Planossolo sob sistemas de cultivo avaliada por meio da tomografia computadorizada de raios gama. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1079-1086, 2009. DOI: 10.1590/S0100- 06832009000500001.

BARREIRO, A. P.; ZUCARELI, A.; ONO, E. O.; RODRIGUES, J.D. Análise de crescimento de plantas de manjeriço tratadas com reguladores vegetais. **Bragantia**, Campinas, v.65, n.4, p.563-567, 2006.

BAILEY-SERRES, J., PARKER, J. E., AINSWORTH, E. A., OLDROYD, G. E., & SCHROEDER, J. I. (2019). Genetic strategies for improving crop yields. **Nature**, 575(7781), 109-118.

BALDO, M.N. **Comportamento anatômico, fisiológico e agrônômico do milho (Zea mays L.) submetido a estresses de ambiente em diferentes estádios fenológicos**. 2007. 92p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba.

BEHLING NETO, A.; REIS, R. H. P.; CABRAL, L. S.; ABREU, J. G.; SOUSA, D. P.; SOUSA, F. G. Nutritional value of sorghum silage of different purposes. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 41, n. 3, p. 288-299, 2017.

BEHLING, A.; NETO, REIS, R. H. P., CABRAL, L. D. S., ABREU, J. G. de, SOUSA, D. D. P., PEDREIRA, B. C., & CARVALHO, A. P. S. Fermentation characteristics of different purpose sorghum silage. **Semina: Ciências Agrárias**, 2017. 38(4, Supl. 1), 2607. 10.5433/1679-0359.2017v38n4supl1p2607

BENINCASA, M.M.P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. 2003. Jaboticabal: FUNEP, 41p.

BERGAMSCHI, H.; DALMAGO, G. A.; BERGONCI, J. I; BIANCHI, C. A. M.; MULLER, A. G.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.9, p.831-839, 2004

BONATO, E. R., BERTAGNOLLI, P. F., LANGE, C. E., RUBIN, S. A. L. Teor de óleo e de proteína em genótipos de soja desenvolvidos após 1990. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.35, p.2391-2398, 2000.

BORBA, L.F.P.; FERREIRA, M. A.; GUIM, A.; TABOSA, J. N.; GOMES, L. H. S.; SANTOS, V. L. F. Nutritive value of different silage sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) cultivars. **Acta Scientiarum**. Animal Sciences, Maringá, v. 34, n. 2, p. 123-129, 2012.

BOTELHO, P. R. F.; et al. Avaliação de genótipos de sorgo em primeiro corte e rebrota para produção de silagem. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 9, n. 3, p. 287–297, 2010. Disponível em: <http://rbms.cnpms.embrapa.br/index.php/ojs/article/view/309>. Acesso em: 7 nov. 2020.

BUCHANAN, B. B.; GRUISSSEN, W.; JONES, R. L. **Biochemistry and molecular biology of plants**. 2. ed. Blackwell: Wiley, 2015. 1283p. 71

CARGNELUTTI FILHO, A.; TOEBE, M.; ALVES, B. M.; BURIN, C.; KLEINPAUL, J. A. Estimação da área foliar de canola por dimensões foliares. **Bragantia**, Campinas, v. 74, n. 2, p. 139-148, 2015.

CARRAHER Jr., C. E.; CARRAHER, S. M.; STEWART, H.H. Metal-containing polymer structures for enhanced seed germination and plant growth. *Advances in Environmental Biology*, 4(1): 108-116, 2010.

CARUSO G., De PASCALE Se.; et al. Protein hydrolysate or plant extract-based biostimulants enhanced yield and quality performances of greenhouse perennial wall rocket grown in different seasons. **Plants**. 2019;8:208. doi: 10.3390/plants8070208.

CARVALHO, S. J. P.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Estimativa da área foliar de cinco espécies do gênero *Amaranthus* usando dimensões lineares do limbo foliar. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 25, p. 317-324, 2007.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. v. 12, n. 11- Safra 2023/24 –**Primeiro levantamento**, Brasília, p. 1-16, 2023a.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. v. 12, n. 2- Safra 2023/24 –**Segundo levantamento**, Brasília, p. 1-12, 2023b.

CONFALONE, A. E. ; BERNARDES, M. S. ; COSTA, L. C. ; RIGHI, C. A. ; Dourado Neto, Durval ; MARTIN, T. N. ; MANFRON, P. A. ; PEREIRA, C. R. Exponential model on soybean growth in Argentina and Brazil. **Ciência Rural**, v. 40, p. 1009-1016, 2010.

CONTINI, Elisio; MOTA, Mierson M.; MARRA, Renner; BORGHI, Emerson; MIRANDA, Rubens A.; SILVA, Alexandre F.; SILVA, Dagma D.; MACHADO, Jane R. A.; COTA, Luciano V.; COSTA, Rodrigo V.; MENDES, Simone M. Milho: caracterização e desafios tecnológicos. **Brasília: Embrapa**. (Desafios do Agronegócio Brasileiro, 2), 2019.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – **CQFS RS/SC**. Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 11. ed. Porto Alegre, SBCS/NRS,. 376 p. 2016.

CORREIA, N. M.; LEITE, G. J. Selectivity of the plant growth regulators trinexapac-ethyl and sulfometuron-methyl to cultivated species. **Scientia Agricola**, v.69, n.3, p.194-200, 2012.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A. **Milho: cultivares para 2009/2010**. Disponível em:. Acesso em: 01 ago. 2009.

DETMANN, M. P. et al. Uso de técnicas de regressão na avaliação, em bovinos de corte, da eficiência de conversão do alimento em produto: proposição de método e significância nutricional. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, p.2827-2834, 2011.

DE OLIVEIRA PROCÓPIO, S., JUNIOR, A. A. B., DEBIASI, H., DOS SANTOS, J. C. F., & PANISON, F. (2013). Plantio cruzado na cultura da soja utilizando uma cultivar de hábito de crescimento indeterminado. **Revista de Ciências Agrárias**. Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences, 56(4), 319-325.

DIAS, L.A.S.; BARROS, W.S. Biometria Experimental. 1. ed. Viçosa: **Suprema Gráfica e Editora Ltda**, 2009. 408p.

DOURADO NETO, Durval ; NASS, L. L. ; MANFRON, P. A. ; MEDEIROS, S. L. P. ; PILAU, F. G. ; OHSE, S. ; BONNECARRÈRE, R. A. G. . Modelos

matemáticos-fisiológicos para estimar matéria seca da parte aérea e produtividade de grãos de milho. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 11, n.4, p. 409-418, 2005. 73

DUAN, J. **The antecedents and consequences of consumption-related posting behavior on social media**. 2016. Dissertation – The University of Rhode Island. 2016. Disponível em: < https://digitalcommons.uri.edu/oa_diss/451/>. Acesso em: 10 jan. 2019.

DUAN P. Resposta de genótipos de milho com diferentes eficiências de uso de nitrogênio a baixos estresses de nitrogênio. **Acta Ecol. Pecado**; 39 :77–80. doi: 10.1016/j.chnaes.2018.05.005 . 2018.

DRAPER, N.R. AND SMITH, H. (1966) Applied regression analysis. John Wiley & Sons Ltd., **New York**, 407 p.

EKBLADH G; WITTER E; ERICSSON T. Ontogenetic decline in the nitrogen concentration of field grown white cabbage - Relation to growth components. **Scientia Horticulturae** 112: 149-155. 2007.

EMBRAPA Milho e Sorgo. Cultivo do sorgo. Disponível em: Acesso. 2003. **Embrapa Milho e Sorgo**. Disponível em: Acesso em: 3. dez 2023.

EMBRAPA. Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil. Fundamentos e Prática. Volume 1. 2ª edição revista e atualizada. presa Brasileira de Pesquisa Agropecuária **Embrapa Agropecuária** Oeste Ministério da Agricultura e Pecuária, 2013.

EMBRAPA. Milho e Sorgo. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. 2015. P.15, Disponível: acesso em: 06/11/2023.

EMBRAPA. Produção de sorgo no brasil sobe mais de 36% em apenas uma safra. XXXIII Congresso Nacional de Milho e Sorgo, **Embrapa**, 2022. Disponível

em: < <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/73811127/producao-de-sorgo-no-brasil-sobe-mais-de-36-em-apenas-uma-safra> >, acesso em: 04/08/2023. 74

EMBRAPA. Visão 2030: **o futuro da agricultura brasileira**. – Brasília, DF: Embrapa, 2018. P. 212, Disponível: <https://www.embrapa.br/documents/10180/9543845/Vis%C3%A3o+2030+o+futuro+da+agricultura+brasileira/2a9a0f27-0ead-991a8cbfaf8e89d62829?version=1.1>, acesso em: 04/07/2023.

EMENDACK, Y., BURKE, J., SANCHEZ, J., LAZA, H. E., & HAYES, C. Agromorphological characterization of diverse sorghum lines for pre-and post-flowering drought tolerance. **Australian Journal of Crop Science**, 12(1), 135-150. (2018). <https://doi.org/10.21475/ajcs.18.12.01.pne790>

EKBLADH G; WITTER E; ERICSSON T. Ontogenetic decline in the nitrogen concentration of field grown white cabbage – Relation to growth components. **Scientia Horticulturae** 112: 149-155 2007.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de Milho**. 2. ed. Guaíba: Agropecuária, 360p. 2004.

(FAO). Production: **crops**. 2012. Disponível em: <www.faostat.fao.org>. Acesso em: 29 mar. 2022.

FAO. Food and Agriculture Organization. Production: **crops**. 2012. Disponível em: Acesso em: agosto de maio de 2023.

FAOSTAT (2017). Colheitas (**Crops**). 2017. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 15 out. 2022.

FALQUETO, A. R.; CASSOL, D.; MAGALHÃES JÚNIOR, A.M. de.; OLIVEIRA, A.C. de.; BACARIN, M.A. Crescimento e partição de assimilados em cultivares de arroz diferindo no potencial de produtividade de grãos. **Bragantia**, v.68, n.3,

FAVARATO, L. F. et al. Crescimento e produtividade do milho-verde sobre diferentes coberturas de solo no sistema plantio direto orgânico. **Bragantia**, Campinas, v. 75, n. 4, p. 497-506, 2016.

FERREIRA, L. A.; OLIVEIRA, J. A.; VON PINHO, E. V. R.; QUEIROZ, D. L. Bioestimulante e fertilizante associados ao tratamento de sementes de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, DF, v. 29, n. 2, p. 80-89, 2007.

FOLONI, J. S. S.; et al. Rebrotas de soqueiras de sorgo em função da altura de corte e da adubação nitrogenada. **Ceres**, v. 55, n. 2, 2015. Disponível em: <http://www.ceres.ufv.br/ojs/index.php/ceres/article/view/3301>. Acesso em: 7 nov. 2020.

FRANÇA-NETO, J. B.; HENNING, A. A.; KRZYZANOWSKI, F. C. Seed production and technology for the tropics. In: Tropical soybean – improvement and production. **Embrapa** –CNPSO. Plant Production and Protection Series. n. 27. FAO, Rome. p.217- 240. 1994.

FRANÇA NETO, J. .; Krzyzanowski, F.; Pádua, G.; Costa, N.; Henning, A. Tecnologia da produção de semente de soja de alta qualidade: Série Sementes. Londrina: Embrapa Soja. 2007. 12p. (**Circular Técnica 40**).

FRANÇA-NETO, J.B.; HENNING, A.A.; KRZYZANOWSKI, F.C.; PEREIRA, O.A.P.; LORINI, I.; PANOFF, B.; BRZEZINSKI, C.R.; BERGONSI, J.S. Efeito do tratamento de sementes de soja com micronutrientes e bioestimulantes sobre o desenvolvimento de plântulas. In: **REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL**, 32, 2011, São Pedro, SP. Resumos Expandidos... Londrina: Embrapa Soja, 2011. p.345-347.

FRANÇA-NETO, J. B. et al. Tecnologia da produção de sementes de alta qualidade. Londrina: **Embrapa Soja**,. 82 p. (Documentos/Embrapa Soja, ISSN

FREITAS, M. A cultura da soja no Brasil: o crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, n. 12, 2013.

FREITAS, R. de O. Caracterização ecofisiológica de linhagens de milho submetidas a baixa disponibilidade hídrica durante o florescimento. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 8, n. 3, p. 223-232, 2009.

FERREIRA, W. P. M., COSTA, L. C., & SOUZA, C. D. F. (2007). Modelo de estimativa de produtividade de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) em função da variabilidade da temperatura. **Engenharia na Agricultura**, 400-407.

FIOREZE, S. L., PIVETTA, L. G., FANO, A., MACHADO, F. R. and Guimarães, V. F. (2011). Comportamento de genótipos de soja submetidos a déficit hídrico intenso em casa de vegetação. **Revista Ceres**, 58, 342-349.

FIGUEIREDO, E. da SILVA, dos SANTOS, M. E., & GARCIA, A. Modelos de determinação não destrutivo da área foliar do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Nucleus**, 9(1), 79-84. 2012.

FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P.; FILHO, A. F.; CORTEZ, J. W. & GROTTA, D.C.C. (2008) – Semeadora-adubadora: exigências em função do preparo do solo, da pressão de inflação do pneu e da velocidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 32, n. 1, p. 345-352. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000100032>

GILL, S. S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.48, p.909-930, 2010.

GOMES, M. de P.; CORDIDO, J. P. de B. R.; SANTOS, M. L. dos; PEREIRA, A.

M. Desenvolvimento inicial do milho em resposta a doses de potássio. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 17, n. 1, p. 27-36, 2018. 77

GUBIANI P. I, et al. Indicadores hídrico-mecânicos de compactação do solo e crescimento de plantas. Revisão de literatura • **Rev. Bras. Ciênc. Solo** 37 (1) • Fev 2013 • <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000100001>

HMIELOWSKI, T. Sorghum: state of the art and future perspectives. **CSA News**, 62(1), 4-7. 10.21 34/csa.2017.62.1109. 2017.

HUMA B., HUSSAIN M., NING C., YUESUO Y. Human benefits from maize. **Sch. J. Appl. Sci. Res**;2:4–7. 2019.

KAPPES, C.; ZANCANARO, L.; CORADINI, D.; VALENDORFF, J. D. P.; VERONESE, M.; DAVID, M. A.; FRANCISCO, E. A. B. Sistemas de produção de grãos no estado de mato Grosso. In: GALHARDI JÚNIOR, A.; SIQUERI, F.; CAJU, J.; CAMACHO, S. (ed.). **Boletim de pesquisa de soja** 2013/2014. Rondonópolis: Fundação MT, p. 288-299. (Boletim de Pesquisa de Soja, 16). 2013.

KOCH F, AISENBERG, G.R.; MONTEIRO, M.A.; PEDÓ, T.; ZIMMER P.D.; VILLELA, F. A, AUMONDE, T. Z. Growth of wheat plants submitted to the application of the growth regulator Trinexapac-ethyl and vigor of the produced seeds. **Agrociência Uruguay**, v.21, n.1, p.24-32, 2017.

KOCH, F. MONTEIRO, M.A. ; PIMENTEL, J. R. ; TROYJACK, C. ; DUBAL, I. T. P. ; BORGES, E.G. ; SZARESCKI, V. J. ; DEMARi, G.H. ; JAQUES, L. B. A. ; CARVALHO, I. R. ; VILLELA, F.A. ; PEDÓ, T. ; AUMONDE, T. Z. Ecology of Upland Rice Plants and Seeds Subjected to Growth Regulator. **American journal of plant sciences**, v. 9, p. 60-73, 2018.

KOCH, F. ; ROLIM, J. M. ; MARTINAZZO, E. G. ; PEDO, T. ; VILLELA, F. A. ; AUMONDE, T. Z. . Growth and dry matter partition wheat plants in response to

seed vigor and water restriction. **Journal of Seed Sciences** (antiga Revista Brasileira de Sementes) **JCR**, v. 43, p. e202143019, 2021. 78

KOESTER, R. P.; SKONECZKA, J. A.; CARY, T. R.; DIERS, D. W.; AINSWORTH, E. A. Historical gains in soybean (*Glycine max* Merr.) seed yield are driven by linear increases in light interception, energy conversion, and partitioning efficiencies. **Journal of Experimental Botany**, p.1-11, 2014.

KOESTER, R. P.; NOHL, B. M.; DIERS, B. W.; AINSWORTH, E. A. Has photosynthetic capacity increased with 80 years of soybean breeding? An examination of historical soybean cultivars. **Plant, Cell and Environment**, p.1-10, 2016.

KOLESNY, V. M. ; PIMENTEL, JOÃO R. ; SZARESKI, VINÍCIUS J. ; MONTEIRO, M. A. ; AUMONDE, TIAGO Z. ; PEDÓ. Growth analysis of maize under waterlogging conditions. **Scientia agraria paranaensis**, v. 21, p. 200-206, 2022.

LACERDA, C. F. CARVALHO, C.M.; VIEIRA, M.R.; NOBRE, J.G.A.; NEVES, A.L.R.; RODRIGUES, C.F. Análise de crescimento de milho e feijão sob diferentes condições de sombreamento. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.5, n.1, p.18-24, 2010.

LANZA, L. N. M., ROSSI, S. C., & SODEK, L. (2013). Adubação nitrogenada beneficia soja alagada. **Bragantia**, 72, 2-09.

LEE, C. D., EGLI, D. B., & TEKRONY, D. M. Soybean response to plant population at early and late planting dates in the Mid-South. **Agronomy Journal**, 100(4), 971-976. 2008.

LESSA, B. F.T., DA SILVA, T. M., DUTRA, A. S., & DE OLIVEIRA, A. B. Modelos matemáticos para a estimativa da área foliar total em sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Energia na agricultura**, Botucatu, vol. 33, n.2, p.175-182, 2018.

LI, S., TIAN, Y., WU, K., YE, Y., YU, J., ZHANG, J., ... & FU, X. (2018). Modulating plant growth–metabolism coordination for sustainable agriculture. **Nature**, 560(7720), 595-600.

LONDERO, P. M. G.; RIBEIRO, N. D.; CARGENLUTTI FILHO, A. Teores de fibra e rendimento de grãos em populações de feijão. **Ciência e Agrotecnologia**, v.32, n.1, p.167-173, 2008.

LOPES, N.F.; LIMA, M. G. S. **Fisiologia da Produção**. Edição: 1ª, Editora UFV, 492p. 2015.

LYRA, G. B., ROCHA, A. E. Q. D., LYRA, G. B., SOUZA, J. L. D., & TEODORO, I. Crescimento e produtividade do milho, submetido a doses de nitrogênio nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. **Revista Ceres**, 61, 578-586, 2014.

LYUMUGABE, L.; GROS, J.; NZUNGIZE, J.; BAJYANA, E.; THONART, P. Characteristics of African traditional beers brewed with sorghum malt: **a review**. **Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement; Gembloux**, v. 16, n. 4, p. 509-530, 2012.

LUCCHESI, A. A. (1984). **Utilização prática da análise quantitativa de crescimento vegetal**. Anais da escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” 41(1), 181-202.

LUDWIG, M. P., SCHUCH, L. O. B., de OLIVEIRA, S., JUNIOR, F. D. J. V., LEMES, E. S., CORREA, M. F., & SEUS, R. Desempenho morfofisiológico de cultivares de soja de ciclo precoce sob alagamento do solo. **Revista Cultivando o Saber**, 9(1), 30-45. 2016.

MAGALHÃES, P.C.; COELHO, C.H.M.; GAMA, E. E. G.; BORÉM, A. Avaliação dos ciclos de seleção da variedade BRS 4154 – Saracura para tolerância ao encharcamento do solo. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, 2005. 4p.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. **Fisiologia da Produção de Milho**. Sete Lagoas: Embrapa-CNPMS, 2006. 10p. (Circular Técnica, 76).

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. **Ecofisiologia da Produção de Sorgo**. ISSN 1679-0162. Novembro, Sete Lagoas, MG, 2003.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. Ministério da agricultura pecuária e abastecimento. Comunicado técnico 87. **Ecofisiologia da Produção de Sorgo**. ISSN 1679-0162 Novembro, Sete Lagoas, MG. 2003.

MAGALHÃES, P.C.; DURÃES, F. O. M.; CARNEIRO, N. P.; PAIVA, E. **Fisiologia do Milho**. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 23 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 22). 2002.

MAGARI, R. et al. Sample size for evaluation field ear moisture loss rate in maize. *Maydica*, **Bergamo**, v.41, n.1, p.19-24, 1996.

MANFRON, P. A. et al. Modelo do índice de área foliar da cultura do milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.11, p. 333-342, 2003.

MARCELIS, L. F. M. A simulation model for dry matter partitioning in cucumber. **Annals of Botany**, v.74, n.1, p.43-52, 1994.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. Solar radiation conversion efficiency and growth of soybean plants treated with herbicides. **Revista Ceres**, v.45, n.259, p.265-275, 1998.

MARCHEZAN, E.; VIZZOTTO, V. R.; ROCHA, M. G.; MOOJEN, E. L.; SILVA, J.H.S. Produção animal em várzea sistematizada cultivada com forrageiras de estação fria submetidas a diferentes níveis de adubação. **Ciência Rural**, v.32, n.2, p.303-308, 2002.

MATÉS, J. M. Effects of antioxidant enzymes in the molecular control of reactive oxygen species toxicology. **Toxicology**, v.153, p.83-104, 2000.

MELGES, E.; LOPES, N. F.; OLIVA, M. A. Crescimento e conversão da energia solar em soja cultivada sob quatro níveis de radiação solar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.24, n.9, p.1065-1072, 1989.

MOMMER, L.; PONS, T.L.; WOLTERS-ARTS, M.; VENEMA, J.H.; VISSER, E.J.W. Submergence-induced morphological, anatomical, and biochemical responses in a terrestrial species affects gas diffusion resistance and photosynthetic performance. **Plant Physiology**, v.139, p.497-508, 2005.

MONDO, V. H. V. ; CARVALHO, S. J. P. ; LABONIA, V. D. S. ; DOURADO NETO, Durval ; CICERO, S. M. . Comparação de métodos para estimativa de área foliar em plantas de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 8, p. 233-246, 2009.

MONTEITH, J. L. Light interception and radiative exchange in crop stands. In: EASTIN, J. D. et al. (Eds.). Physiological aspects of crop yield. **Madison**: 1969. p.89- 111.

MULLER, A. G.; BERGAMASCHI, H. Eficiências de interceptação, absorção e uso da radiação fotossinteticamente ativa pelo milho (*Zea mays* L.), em diferentes disponibilidades hídricas e verificação do modelo energético de estimativa da massa seca acumulada. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 13, n. 1, p. 27–33, 2005.

MOREIRA, D. G.; SOUZA, C. A.; BASILIO, A. F.; STEFEN, D. L. V. Desempenho produtivo da soja submetida a aplicação de fitorreguladores em diferentes estádios fenológicos. **Acta Iguazu**, [S. l.], v. 9, n. 3, p. 55–68, 2020.

OLIVEIRA, R. L. L. MOREIRA, A. R., da COSTA, A. V. A., de SOUZA, L. C.,

LIMA, L. G. S., & da SILVA, R. T. L. (2015). Modelos de determinação não destrutiva de área foliar de feijão caupi *Vigna unguiculata* (L.). **Global science and technology**, 8(2). 82

OLIVEIRA, R. L. L.; LIMA, L. G. S.; MOREIRA, A. R.; SOUZA, L. C.; COSTA, A. V. A.; SILVA, R. T. L. Modelos de determinação de área foliar em feijão-caupi. **Nucleus**, Ituverava, v. 13, n. 1, p. 25-40, 2016.

ORT R., Long P. Limites de produtividade no cinturão do milho. *Ciência*; 2014.344 :484–485. doi: 10.1126/**science**.1253884.

DE OLIVEIRA, M.N.S. LOPES, P.S.N.; MERCADANTE, M.O.; OLIVEIRA, G.L.; GUSMÃO, E. Medição da área foliar do pequiheiro utilizando a soma da nervura principal dos folíolos. **Unimontes Científica**, Montes Claros, v.3, n.3, 2002.

PAIVA, APL; MAGALHAES, PC; CARVALHO, LP; JALES, HF; GOMES JÚNIOR, CC; LANA, UGP; MARRIEL, IE. *Azospirillum brasilense* para mitigação do estresse hídrico no sorgo BRS 332 submetido a diferentes doses de nitrogênio. Sete Lagoas: **Embrapa Milho e Sorgo**, 2021. 36 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 224).

PATERNIANI, E.; NASS, L. L.; SANTOS, M. X. O valor dos recursos genéticos de milho para o Brasil: uma abordagem histórica da utilização do germoplasma. In: UDRY, C.W.; DUARTE, W. (Org.). **Uma história brasileira do milho: o valor dos recursos genéticos** Brasília: Paralelo 15, p.11-41, 2000.

PAULETTO, E. A; GOMES, A da S; PINTO, SPINELLI L F. Física de solos de várzea cultivados com arroz irrigado. In: GOMES, ALGENOR DA SILVA; MAGALHÃES JÚNIOR, ARIANO MARTINS de (ed). Arroz irrigado no sul do Brasil. Brasília: **EMBRAPA**, 2004. 899 p.

PEDÓ T, et al. (eds.) Sementes: Produção, qualidade e inovações tecnológicas. Pelotas, **Editora e Gráfica Universitária**. 2013a.

PEDÓ, T.; MARTINAZZO, E.G.; AUMONDE, T.Z.; VILLELA, F.A. Princípios fisiológicos na produção de sementes. In: SCHUCH, L.O.B.; VIEIRA, J.F.V.; RUFINO, C.A.; ABREU JÚNIOR, J. Sementes: Produção, qualidade e inovações tecnológicas. Pelotas, **Editora e Gráfica Universitária**, 2013. 571p.

PEDÓ, T. AUMONDE, T.Z.; LOPES, N.F.; VILLELA, F.A. MAUCH, C.R. Análise comparativa de crescimento entre genótipos de pimenta cultivados em casa de vegetação. **Bioscience Journal**, v.29, n.1, p.125-131, 2013b.

PEDÓ, T.; MARTINAZZO, E.G.; Aumonde, Tiago Zanatta ; VILLELA, Francisco Amaral . Plant growth analysis and seed vigor expression: effects of soil waterlogging during rye seedling development. **Acta Botanica Brasílica** (Impresso), v. 29, p. 1-7, 2015a.

PEDÓ, T., KOCH, F., MARTINAZZO, E. G., VILLELA, F. A., & AUMONDE, T. Z. Physiological attributes, growth and expression of vigor in soybean seeds under soil waterlogging. **African Journal of Agricultural Research**, 10(39), 3791-3797. 2015b.

PEIXOTO, C. P.; PEIXOTO, M. de F. da S.P. Dinâmica do crescimento vegetal. In: CARVALHO, C. A. L. de; DANTAS, A. C. V. L.; PEREIRA, F. A. de C.; SOARES, A. C. F.; MELO FILHO, J. F. de; OLIVEIRA, G.J.C. de. **Tópicos em ciências Agrárias**. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2009. p. 39-53.

PEIXOTO, C., CRUZ, T., & DE FÁTIMA PEIXOTO, M. (2011). Análise quantitativa do crescimento de plantas: conceitos e prática. **Enciclopédia biosfera**, 7(13), p.51-76.

PEREIRA, A. R.; MACHADO, E. C. Análise quantitativa do crescimento de comunidade vegetal. Campinas: **Instituto Agrônomo**,. 33 p. (Boletim Técnico, 114). 1987.

PETTER, F. A., et al. Elevada densidade de semeadura aumenta a produtividade da soja? Respostas da radiação fotossinteticamente ativa. **Bragantia**, 75, 173-183. 2016.

PINTO, L. F. S.; MIGUEL, P.; PAULETTO, E. A. Solos de várzea e terras baixas. Cultivo de soja e milho em terras baixas do Rio Grande do Sul. Pelotas-RS, Brazil: **Embrapa**, p. 23-43, 2017.

PINTO, H. S.; ASSAD, E. D. **Aquecimento global e cenários futuros da agricultura brasileira**. Campinas: Embrapa/Unicamp, 2008.

PIMENTEL, L. D. et al. Chemical and bioenergetics characterization of sorghum agronomic groups. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 47, n. 4, p. 424-431, 2017.

PROTÁSIO, T. P.; BUFALINO, L.; TONOLI, G. H. D. Relação entre o poder calorífico superior e os Componentes elementares da biomassa. **Pesquisa florestal brasileira**, v.3, n.66, p.113-122, 2011.

RADFORD, P. J. Growth analysis formulae: their use and abuse. **Crop Science**, v.7,n.3, p.171-175, 1967.

RAMKHELAWAN, E.; BRATHWAITE, R. A. I. Leaf area estimation by non-destructive methods in sour orange (*Citrus aurantium* L.). **Tropical Agriculture**, Trinidad, v.67, n.3, p.203-206, 1990.

REYES-CUESTA, R.; LOPES, N. F.; OLIVA, M. A.; et al. Crescimento e conversão da energia solar em *Phaseolus vulgaris* em função da fonte de nitrogênio. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 42, n. 242, p. 405-455, 1995

RIBOLDI, J. Modelos Lineares: notas de aula. UFRGS: Programa de Pós-Graduação em Epidemiologia. **Faculdade de Medicina**. 2005.

RICHARDS, F. J. The quantitative analysis of growth. In: STEWARD, F. C. (ed.) *Plant Physiology. A treatise*. New York: **Academic press**, p. 3-76, 1969

RITCHIE, W.S, et al. Como a planta de milho se desenvolve. In Arquivo do Agrônomo. **Encarte do Informações Agrônomicas**. Nº103, Setembro, 2003.

SAIRAM, R. K.; KUMUTHA, D.; VISWANATHAN, C.; RAMESH, C.M. Waterlogginginduced increase in sugar mobilization, fermentation, and related gene expression in the roots of mung bean (*Vigna radiata*). **Journal of Plant Physiology**, v. 166, p. 602-616, 2009.

SANGOI, L.; SCHMITT, A.; FERREIRA DA SILVA, P. R.; VARGAS, V. P.; ZOLDAN, S. R.; VIERA, J.; SOUZA, C. A. de; PICOLI JUNIOR, G. J.; BIANCHET, P. Perfilamento como característica mitigadora dos prejuízos ocasionados ao milho pela desfolha do colmo principal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, p. 1605-1612, 2012.

SANGOI, L.; ZANIN, C. G.; SCHMITT, A.; VIEIRA, J. Senescência foliar e resposta de híbridos de milho liberados comercialmente para cultivo em diferentes épocas ao adensamento. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 12, n. 1, p. 21-32, 2013.

SHAO, H. B.; CHU, L. Y.; JALEEL, C. A.; ZHAO, C. X. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. **Comptes Rendus Biologies**, v.331, p.215- 225, 2008.

SILVA, L. C.; BELTERÃO, N. E. M.; AMORIM NETO, M. S. **Análise do Crescimento de Comunidades Vegetais**. Campina Grande, PB, 2000. 18p. INSS: 0100-6460 (Circular Técnica, 34).

SILVA, R. P., CASSIA, M. T. C.; VOLTARELLI, M. A.; COMPAGNON, A. M. & FURLANI, C. E. A. (2013) – Qualidade da colheita mecanizada de feijão

(*Phaseolus vulgaris*) em dois sistemas de preparo do solo. **Revista Ciência Agronômica**, vol. 44, n. 1, p. 61-69. 86

SILVA, R. N. DA.; LOPES, N. F.; DUARTE, G. L.; MORAES, D. M. DE.; PEREIRA, A. L. A. Análise de crescimento de plantas de *Hordeum vulgare* L. submetidas a estresse salino. **Revista Brasileira de Agrocência**, v.13, n.4, p.455-463, 2007.

SILVA, R. P.; REIS, L. D.; REIS, G. N.; FURLANI, C. E. A.; LOPES, A. & CORTEZ, J. W. (2008) – Desempenho operacional do conjunto trator-recolhedora de feijão. **Ciência Rural**, vol. 38, n. 5, p. 1286-1291. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782008000500013>

SILVA, A. J. D, MAGALHÃES FILHO, J. R, SALES, C. R. G, PIRES, R. C. D. M, & MACHADO, E. C. Source-sink relationships in two soybean cultivars with indeterminate growth under water deficit. **Bragantia**, 77, 23-35, 2018.

SOARES, F. C. et al. Predição da produtividade da cultura do milho utilizando rede neural artificial. **Ciência Rural**, v. 45, n. 11, p. 1987–1993, 2015.

SOUSA, C. H. C. **Análise da tolerância à salinidade em plantas de sorgo, feijão-decorda e algodão**. 2007. 73f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

SOUSA, L. F.; SANTOS, J. G. D.; ALEXANDRINO, E.; MAURÍCIO, R. M.; MARTINS, A. D.; SOUSA, J. T. L. Método prático e eficiente para estimar a área foliar de gramíneas forrageiras tropicais. **Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v. 64, n. 245, p. 83-85, 2015.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E. & PINTO, L.F.S. Solos do Rio Grande do Sul. 2.ed. Porto Alegre, **Emater/RS**, 222p, 2008.

TOEBE, M., CARGNELUTTI FILHO, A., LOOSE, L. H., HELDWEIN, A. B., & ZANON, A. J. (2012). Área foliar de feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) em função de dimensões foliares. **Semina: Ciências Agrárias**, 33(6Supl1), 2491-2500.

TEIXEIRA, WF, SOARES, LH, FAGAN, EB, DA COSTA MELLO, S., REICHARDT, K., & DOURADO-NETO, D. (2020). Amino Acids as Stress Reducers in Soybean Plant Growth Under Different Water-Deficit Conditions. **Journal of Plant Growth Regulation**, 39, 905-919, 2020.

URCHEI, M. A. et al. Análise de crescimento de duas cultivares de feijoeiro sob irrigação, em plantio direto e preparo convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.3, p,497-506, mar.2000.

VIEIRA JÚNIOR, P. A. ; DOURADO NETO, DURVAL ; BERNARDES, M. S. ; FANCELLI, A. L. ; MANFRON, P. A. ; MARTIN, T. N. et al. Metodologia para estimativa da área foliar de genótipos de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 5, p. 182-191, 2006.

VIEIRA JÚNIOR, P. A. ; DOURADO NETO, Durval ; BERNARDES, M. S. ; FANCELLI, A. L. ; MANFRON, P. A. ; MARTIN, T. N. Metodologia para estimativa da área foliar de genótipos de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 5, p. 182-191, 2006.

VON PINHO, R. G.; SANTO, A. O.; VON PINHO, I. V. **Botânica**. In: BORÉM, A.; GALVÃO, J. C. C.; PIMENTEL, M. **Milho: do plantio à colheita**. Viçosa: Ed. **UFV**, 2015. p.26-49

XIN, Z.; AIKEN, R.; BURKE, J. Genetic diversity of transpiration efficiency in sorghum. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 111, n. 1-2, p. 74-80, 2009.

YOKOYAMA, L. P. Aspectos conjunturais da produção de feijão. In: A I D A R , 88
H . ; K L U T H C O U S K I , J . ; S T O N E , L . F. Produção de feijoeiro comum
em várzeas tropicais. Santo Antônio de Goiás: **Embrapa Arroz e Feijão, 2002.**

ZABALZA, A.; VAN DONGEN, J.T.; FROEHLICH, A.; OLIVER, S.N.; FAIX, B.;
GUPTA, K.J.; SCHMÄZLIN, E.; IGAL, M.; ORCARAY, L.; ROYUELA, M.;
GEIGENBERGER, P. Regulation of respiration and fermentation to control the
plant internal oxygen concentration. **Plant Physiology**, v.149, p.1087-1098,
2009.