LUCIELI SANTINI LEOLATO

TOLERÂNCIA DA SOJA À DESFOLHA EM FUNÇÃO DA ÉPOCA DE SEMEADURA, DÉFICIT HÍDRICO E FERTILIDADE DO SOLO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutora em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Ph.D Luís Sangoi

LAGES, SC
2020

Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da

Biblioteca Setorial do CAV/UDESC,

com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Leolato, Lucieli
Tolerância da soja à desfolha em função da época de semeadura, déficit hídrico e fertilidade do solo / Lucieli Leolato. -- 2020.
118 p.

Orientador: Luís Sangoi
Tese (doutorado) -- Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Lages, 2020.

1. Glycine max. 2. Características morfológicas. 3. Rendimento de grãos. 4. Área foliar. 5. Estresses abióticos. I. Sangoi, Luís. II. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal. III. Título.

LUCIELI SANTINI LEOLATO

TOLERÂNCIA DA SOJA À DESFOLHA EM FUNÇÃO DA ÉPOCA DE SEMEADURA, DÉFICIT HÍDRICO E FERTILIDADE DO SOLO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutora em Produção Vegetal.

Banca examinadora:

Orientador: _____
(Ph.D Luís Sangoi)
UDESC

Membros: _____
(Dr. Clovis Arruda de Souza)
UDESC

_____
(Dr. Cláudio Roberto Franco)
UDESC

_____
(Ph.D Paulo Regis Ferreira da Silva)
UFRGS

_____
(Dr. Márcio Zílio)
UNOESC

Lages, 17/07/2020

Aos meus pais Clodoveu e Vera
e aos meus irmãos Leda e Leonardo,
pelo amor, apoio e ensinamentos.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Escrever uma tese parece ser um projeto individual, mas a verdade é que isso requer o trabalho de toda uma equipe. Primeiramente, agradeço a Deus pelo dom da vida e por tudo o que tem me proporcionado. Também quero agradecer a meus pais Clodoveu e Vera e aos meus irmãos Leda e Leonardo pelo amor e apoio ilimitados e por acreditarem em mim sempre. Um obrigado especial a minha prima Lidiane pelo tempo dedicado, ensinamentos e incentivo.

Toda a minha gratidão ao meu orientador e "pai" científico professor Luís Sangoi, pela oportunidade de fazer a pós-graduação, por todos os ensinamentos ao longo do mestrado e do doutorado e pelo exemplo de profissionalismo. Também quero agradecer ao professor Stefano Amaducci por acreditar na minha ideia e me conceder a oportunidade de realizar o doutorado sanduíche. Agradeço ao professor Clovis Arruda de Souza, pelas conversas e ensinamentos que tanto contribuíram ao longo desse trabalho.

Um obrigado muito especial aos "irmãos" do grupo *Zea mays* pelos bons momentos, amizade e auxílio nas atividades desenvolvidas a campo e a laboratório. Vocês foram demais! Muito obrigada também à Bárbara Bagio, Francieli Weber Stürmer e Vanderléia Mathias pela grande amizade. Também quero agradecer a amiga Paloma Guazzelli Della Giustina pelo apoio incondicional durante o doutorado sanduíche e por ter tornado esse momento muito mais especial. E gratidão a tantos outros amigos que conheci nessa jornada. Vocês tornaram meus dias mais leves e divertidos! Levarei todos comigo em meu coração!

Agradeço à UDESC pelo ensino público, gratuito e de qualidade. Também agradeço aos professores do quadro docente dos cursos de pós-graduação em Produção Vegetal, Ciência do Solo, Engenharia Florestal e Ciência Animal pelos valiosos ensinamentos nas disciplinas cursadas. Por fim, gostaria de agradecer a FUMDES/UNIEDU pela concessão da bolsa de estudos do doutorado.

“Seu trabalho vai preencher grande parte de sua vida, e a única maneira de estar verdadeiramente satisfeito é fazer aquilo que você acredita ser um ótimo trabalho. E a única maneira de fazer um ótimo trabalho é amando o que você faz”.

(STEVE JOBS, 1955-2011)

RESUMO

A redução de área foliar ocasionada por estresses bióticos e abióticos diminui a interceptação de radiação solar e pode limitar o rendimento de grãos da soja. A tolerância da cultura à desfolha depende das condições edafo-climáticas às quais as plantas estão submetidas e das práticas de manejo utilizadas na lavoura. Este trabalho teve como objetivo avaliar a tolerância da soja à desfolha realizada nas fases vegetativa e reprodutiva de desenvolvimento, em função da época de semeadura, disponibilidade hídrica e fertilidade do solo. Foram conduzidos quatro experimentos no Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, em Lages, durante os anos agrícolas de 2016/2017 e 2017/2018. Em cada experimento foram avaliados cinco níveis de desfolha (0%, 17%, 33%, 50% e 67%) com a cultivar NA 5909 RG. O primeiro experimento foi conduzido em canteiros e avaliou a tolerância da soja à desfolha no estádio R3 de desenvolvimento (início da formação das vagens) em função de duas épocas de semeadura: 02/11/2016 (preferencial) e 15/12/2016 (tardia). O segundo e o terceiro experimentos foram desenvolvidos em casa de vegetação e analisaram a tolerância da soja à desfolha nos estádios V6 (seis nós do caule com folha completamente desenvolvida) e R3, em função de três níveis de restrição hídrica: testemunha sem restrição hídrica, restrição hídrica moderada e restrição hídrica severa. Os níveis de umidade foram impostos por sete dias após o desfolhamento. Durante este período, a umidade do solo foi mantida em 90%, 70% e 50% da capacidade de campo, para os tratamentos sem restrição, com restrição moderada e severa, respectivamente. O quarto experimento também foi conduzido em casa de vegetação. Ele testou a tolerância da soja à desfolha no estádio R3 em função de dois níveis de fertilidade do solo: alta e baixa. Os dados foram avaliados pela análise de variância utilizando o teste F. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey para os fatores qualitativos e pela análise de regressão para o fator quantitativo. Todas as análises foram feitas ao nível de significância de 5%. No primeiro experimento, as plantas suportaram desfolhas de até 45,6% na semeadura preferencial e 55,8% na semeadura tardia, sem perdas no rendimento de grãos, em relação à testemunha. No segundo e terceiro experimentos, o maior nível de desfolha reduziu em 24,7% e 24,3% a produção de grãos por planta, em relação à testemunha, nos estádios V6 e R3, respectivamente, independentemente da restrição hídrica. No quarto experimento, a produção de grãos por planta reduziu em 11,9% com o maior nível de desfolha, independente da fertilidade do solo. Este trabalho demonstrou que o atraso da semeadura de 02/11/2016 para 14/12/2016 não aumenta a sensibilidade da cultivar NA 5909 RG à desfolha no início da formação das vagens. A restrição hídrica de sete dias em V6 e R3 não incrementa a sensibilidade da cultivar NA 5909 RG ao desfolhamento. A desfolha no início da formação das vagens reduz a produção de grãos por planta da cultivar NA 5909 RG, tanto em condições de alta quanto de baixa fertilidade do solo.

Palavras-chave: *Glycine max*. Características morfológicas. Rendimento de grãos. Área foliar. Estresses abióticos.

ABSTRACT

The reduction of leaf area caused by biotic and abiotic stresses decrease solar radiation interception and may limit soybean grain yield. The crop tolerance to defoliation depends on the edapho-climatic conditions the plants have to face and the management practices used during their cycle. The aim of this study was to evaluate the effects of sowing time, water deficit and soil fertility on the soybean tolerance to defoliation during the vegetative and reproductive phases of development. Four experiments were carried out in Lages, Santa Catarina State, during the 2016/2017 and 2017/2018 growing seasons. Five levels of defoliation (0%, 17%, 33%, 50% and 67%) were evaluated at each experiment with the cultivar NA 5909 RG. The first experiment evaluated the tolerance of soybean to defoliation at R3 (beginning of pod formation) in two sowing dates: 11/02/2016 (preferential time) and 12/14/2016 (late time). The second and third experiments analyzed the tolerance of soybean to defoliation at V6 (six stem nodes with fully developed leaves) and R3, as a function of three levels of water restriction (control without water restriction, moderate restriction and severe restriction). Water restriction was imposed for seven days after defoliation. During this period, the soil water moisture was kept at 90%, 70% and 50% of its field capacity for the control, moderate and severe restriction, respectively. The fourth experiment tested the tolerance of soybean to defoliation at R3 as affected by two soil fertility levels: high and low. The data were assessed by variance analysis using the F test. The averages were compared by the Tukey's test for the qualitative factors and regression analyses for the quantitative factor. All analyses were performed at the significance level of 5%. In the first experiment, plants supported defoliation levels up to 45.6% in the preferential sowing time and 55.8% in late sowing time, without decreasing grain yield in relation to the control. In the second and third experiments, the higher defoliation level reduced by 24.7% and 24.3% grain production per plant in relation to the control when leaf loss occur at V6 and R3, respectively, regardless of water restriction. In the fourth experiment, grain production per plant reduced by 11.9% with the highest level of defoliation, regardless of soil fertility. The results of this study showed that the delay in sowing date from 11/02/2016 to 12/14/2016 does not increase the sensitivity of the cultivar NA 5909 RG to defoliation in the beginning of pod formation. The water restriction for seven days at V6 and R3 does not enhance the sensitivity of NA 5909 RG to defoliation. Defoliation at R3 reduces the grain production per plant of NA 5909 RG, both in high and low fertility environments.

Keywords: *Glycine max*. Morphological characteristics. Grain yield. Leaf area. Abiotic stresses.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Níveis de desfolha impostos em cada trifólio da soja. 35

Figura 2 – Índice de área foliar da soja em R5 em função da época de semeadura e da desfolha no estádio R3 de desenvolvimento. Lages, SC, 2016/2017..... 38

Figura 3 – Índice de área foliar da soja (IAF) entre os estádios R3 e R5 em função da desfolha no estádio R3 de desenvolvimento, na média de duas épocas de semeadura. Lages, SC, 2016/2017..... 39

Figura 4 – Rendimento de grãos da soja em função da época de semeadura e da desfolha no estádio R3 de desenvolvimento. Lages, SC, 2016/2017..... 40

Figura 5 – Massa de 1.000 grãos da soja em função da desfolha no estádio R3 de desenvolvimento, na média de duas épocas de semeadura. Lages, SC, 2016/ 2017. 43

Figura 6 – Número de vagens por planta da soja em função da época de semeadura e da desfolha no estádio R3 de desenvolvimento. Lages, SC, 2016/2017. 44

Figura 7 – Rendimento biológico da soja em função da época de semeadura e da desfolha no estádio R3 de desenvolvimento. Lages, SC, 2016/2017..... 48

Figura 8 – Índice de colheita da soja em função da desfolha no estádio R3 de desenvolvimento, na média de duas épocas de semeadura. Lages, SC, 2016/2017.....50

Figura 9 – Área foliar por planta de soja nos estádios R2 (A) e R5 (B) em função da desfolha nos estádios V6 e R3, respectivamente, na média de três níveis de restrição hídrica. Lages, SC, 2017/2018..... 60

Figura 10 – Produção de grãos por planta da soja em função da desfolha nos estádios V6 (A) e R3 (B) de desenvolvimento, na média de três níveis de restrição hídrica. Lages, SC, 2017/2018.. 65

Figura 11 – Massa de 1.000 grãos da soja em função da desfolha no estádio V6 de desenvolvimento, na média de três níveis de restrição hídrica. Lages, SC, 2017/2018.. 67

Figura 12 – Número de vagens por planta da soja em função da desfolha no estádio R3 de desenvolvimento, na média de três níveis de restrição hídrica. Lages, SC, 2017/2018.. 68

Figura 13 – Comprimento do caule da soja em função da desfolha no estádio R3 de desenvolvimento, na média de três níveis de restrição hídrica. Lages, SC, 2017/2018.. 71

Figura 14 – Altura de inserção da primeira vagem da soja em função da restrição hídrica e da desfolha no estádio R3 de desenvolvimento. Lages, SC, 2017/2018. 73

Figura 15 – Diâmetro do caule da soja em função da desfolha no estádio R3 de desenvolvimento, na média de três níveis de restrição hídrica. Lages, SC, 2017/2018.....74

Figura 16 – Rendimento biológico da soja em função da desfolha no estádio R3 de desenvolvimento, na média de três níveis de restrição hídrica. Lages, SC, 2017/2018.....75

Figura 17 – Índice de colheita da soja em função da desfolha no estádio R3 de desenvolvimento, na média de três níveis de restrição hídrica. Lages, SC, 2017/2018.....77

Figura 18 – Área foliar por planta de soja em R5 em função da desfolha no estádio R3 de desenvolvimento, na média de dois níveis de fertilidade do solo. Lages, SC, 2017/2018.....86

Figura 19 –Área foliar por planta de soja entre os estádios R3 e R5 de desenvolvimento em função da fertilidade do solo e da desfolha no estádio R3 de desenvolvimento. Lages, SC, 2017/2018. 87

Figura 20 – Produção de grãos por planta de soja em função da desfolha no estádio R3 de desenvolvimento, na média de dois níveis de fertilidade do solo. Lages, SC, 2017/2018.....89

Figura 21 – Massa de 1.000 grãos da soja em função da desfolha no estádio R3 de desenvolvimento, na média de dois níveis de fertilidade do solo. Lages, SC, 2017/2018.....90

Figura 22 – Número de vagens por planta da soja em função da fertilidade do solo e da desfolha no estádio R3 de desenvolvimento. Lages, SC, 2017/2018.....92

Figura 23 – Rendimento biológico da soja em função da desfolha no estádio R3 de desenvolvimento, na média de dois níveis de fertilidade do solo. Lages, SC, 2017/2018.....95

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Índice de área foliar da soja em função da época de semeadura antes da desfolha no estádio R3 de desenvolvimento. Lages, SC, 2016/2017. 37

Tabela 2 – Massa de 1.000 grãos da soja em função da época de semeadura, na média de cinco níveis de desfolha no estádio R3 de desenvolvimento. Lages, SC. 2016/2017. 42

Tabela 3 – Comprimento do caule, número de nós, número de ramos, altura da inserção de primeira vagem, diâmetro do caule e índice de colheita da soja em função da época de semeadura, na média de cinco níveis de desfolha no estádio R3 de desenvolvimento. Lages, SC, 2016/2017. 46

Tabela 4 – Área foliar por planta de soja entre os estádios R3 e R5 em função da restrição hídrica no estádio R3 de desenvolvimento, na média de cinco níveis de desfolha. Lages, SC, 2017/2018. 61

Tabela 5 – Produção de grãos por planta, massa de 1.000 grãos, número de vagens por planta e número de grãos por vagem da soja em função da restrição hídrica nos estádios V6 e R3 de desenvolvimento, na média de cinco níveis de desfolha. Lages, SC, 2017/2018. 62

Tabela 6 – Valores máximo, mínimo e médio de temperatura e umidade relativa do ar na casa de vegetação durante o período de imposição da restrição hídrica a partir dos estádios V6 e R3 de desenvolvimento da soja. 63

Tabela 7 – Comprimento do caule, número de nós, número de ramos e diâmetro do caule da soja em função da restrição hídrica nos estádios V6 e R3 de desenvolvimento, na média de cinco níveis de desfolha. Lages, SC, 2017/2018. 70

Tabela 8 – Rendimento biológico e índice de colheita da soja em função da restrição hídrica nos estádios V6 e R3 de desenvolvimento, na média de cinco níveis de desfolha. Lages, SC, 2017/2018. 74

Tabela 9 – Área foliar por planta de soja nos estádios R3 e R5 de desenvolvimento em função da fertilidade de solo, na média de cinco níveis de desfolha. Lages, SC, 2017/ 2018. 85

Tabela 10 – Produção de grãos por planta da soja em dois níveis de fertilidade de solo, na média de cinco níveis de desfolha no estádio R3 de desenvolvimento. Lages, SC, 2017/2018. 88

Tabela 11 – Comprimento do caule, número de ramos, altura de inserção da primeira vagem, diâmetro do caule, rendimento biológico e índice de colheita da soja em função da fertilidade do solo, na média de cinco níveis de desfolha no estádio R3 de desenvolvimento. Lages, SC, 2017/2018. 93

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL 21

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 25

2.1 ASPECTOS GERAIS SOBRE O CULTIVO DA SOJA 25

2.2 MANEJO INTEGRADO DE PRAGAS 26

2.3 A DESFOLHA E SEUS EFEITOS NA FISIOLOGIA DA PLANTA 28

3 CAPÍTULO 1: TOLERÂNCIA DA SOJA À DESFOLHA NO INÍCIO DE FORMAÇÃO DAS VAGENS EM FUNÇÃO DA ÉPOCA DE SEMEADURA. 31

3.1 RESUMO 31

3.2 ABSTRACT 31

3.3 INTRODUÇÃO 32

3.4 MATERIAL E MÉTODOS 34

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 37

3.5.1 Índice de área foliar 37

3.5.2 Rendimento de grãos e componentes do rendimento 40

3.5.3 Características morfológicas 45

3.6 CONCLUSÕES 51

4 **CAPÍTULO 2: TOLERÂNCIA DA SOJA À DESFOLHA NAS FASES VEGETATIVA E REPRODUTIVA EM FUNÇÃO DA RESTRIÇÃO HÍDRICA** 53

4.1 RESUMO 53

4.2 ABSTRACT 53

4.3 INTRODUÇÃO 54

4.4 MATERIAL E MÉTODOS 56

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 59

4.5.1 Área foliar por planta 59

4.5.2 Produção de grãos por planta e componentes do rendimento 62

4.5.3 Características morfológicas 69

4.6 CONCLUSÕES 77

5 CAPÍTULO 3: TOLERÂNCIA DA SOJA À DESFOLHA NO INÍCIO DE FORMAÇÃO DAS VAGENS EM FUNÇÃO DA FERTILIDADE DO SOLO . 79

5.1 RESUMO 79

5.2 ABSTRACT 79

5.3 INTRODUÇÃO 80
5.4 MATERIAL E MÉTODOS 82
5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 85
5.5.1 Área foliar por planta 85
5.5.2 Produção de grãos por planta e componentes do rendimento 87
5.5.3 Características morfológicas 93
5.6 CONCLUSÕES 96
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS 97
REFERÊNCIAS 101
APÊNDICES 111

1 INTRODUÇÃO GERAL

O cultivo da soja está entre as atividades agrícolas que apresentaram maior crescimento nas últimas décadas. A soja possui o quarto grão mais consumido e produzido globalmente, sendo a principal oleaginosa cultivada anualmente no mundo. O Brasil é o maior produtor e o maior exportador mundial de soja em grão (USDA, 2020).

A safra brasileira de 2019/2020 teve uma produção superior a 122 milhões de toneladas de grãos, em uma área de aproximadamente 36 milhões de hectares, com um rendimento de grãos médio de 3.322 kg por hectare (CONAB, 2020a). O grande crescimento da produção de soja está mais relacionado à incorporação de novas áreas do que ao aumento do rendimento da cultura, principalmente nos últimos 10 anos (CONAB, 2020b).

Os danos causados por insetos-praga é um dos principais fatores que impedem o aumento do rendimento de grãos de soja (OLIVEIRA et al., 2014). Nesse contexto, a lagarta falsa medideira *Chrysodeixis includens* Walker, 1858 (Lepidoptera, Noctuidae) e algumas espécies do gênero *Spodoptera* spp., aumentaram em importância como desfolhadoras devido ao uso excessivo de inseticidas e ao declínio no uso do manejo integrado de pragas (MIP) (BUENO et al., 2013; MOSCARDI et al., 2012).

O controle da lagarta falsa medideira, bem como da lagarta da soja *Anticarsia gemmatalis* Hübner, 1818 (Lepidoptera, Noctuidae) deve iniciar quando os níveis de dano econômico atingirem 30% de desfolha no período vegetativo e 15% no reprodutivo. Paralelamente, o MIP preconiza o monitoramento da densidade populacional de insetos através do pano de batida, considerando a necessidade de intervenção química com a presença de até 20 lagartas (>1,5 cm) por metro (BORTOLOTTO et al., 2015). Entretanto, o manejo de pragas tem sido realizado com critérios subjetivos de percepção e com aplicações calendarizadas pré-programadas, elevando à frequência do uso de inseticidas e o custo fitossanitário da cultura (BUENO; BATISTELA; CONTE et al., 2015; MOSCARDI, 2010).

Esta estratégia de controle ocorre porque os níveis de dano econômico preconizados pelo MIP foram estabelecidos nas décadas de 70 e 80 e geram questionamentos se ainda são válidos para o cultivo da soja diante de mudanças ocorridas no sistema de produção como hábito de crescimento e duração do ciclo das cultivares (BUENO; BATISTELA; MOSCARDI, 2010; MOSCARDI et al., 2012).

As cultivares modernas são predominantemente de hábito indeterminado e possuem menor ciclo, em relação às cultivares antigas que eram de hábito determinado e pertenciam a grupos de maturação mais altos (BUENO et al., 2012). Além disso, as cultivares modernas

são mais produtivas e possuem menor área foliar (JIN et al., 2010). Esse aumento da produção por planta com menor arquitetura de parte aérea indica que um mesmo padrão de desfolhamento pode causar uma maior redução de rendimento nas cultivares atuais do que no passado (BUENO et al., 2013).

Estudos procuraram elucidar a tolerância da soja à desfolha em diferentes níveis de desfolhamento e fases de desenvolvimento em cultivares atuais. Os resultados obtidos variaram desde a não redução até o decréscimo de 68% no rendimento de grãos (BAHRY et al., 2013a; BAHRY et al., 2013b; DURLI, 2019; GLIER et al., 2015; MONTEIRO et al., 2017; SOUZA et al., 2014; ZUFFO et al., 2015), reforçando a necessidade de mais pesquisas sobre o assunto.

De modo geral, os efeitos da desfolha dependem do percentual de desfolhamento, do tempo de permanência da injúria e da fase de desenvolvimento do cultivo (MOSCARDI et al., 2012). Entretanto, além do ataque de insetos-pragas desfolhadores, a cultura pode estar submetida a condições de estresse abiótico ao longo do desenvolvimento, devido à deficiência ou excesso de fatores atmosféricos como radiação solar, temperatura, umidade do ar e precipitação e/ou de solo como fertilidade, acidez, compactação, alagamento e salinidade (BOARD; KAHLON, 2011).

Neste sentido, faltam informações sobre o efeito da desfolha quando existem condições ambientais limitantes durante o crescimento e o desenvolvimento do cultivo que podem ocorrer com o atraso na época de semeadura, restrição hídrica e em solos com baixa fertilidade. Nas semeaduras tardias, as altas temperaturas e o menor comprimento do dia no desenvolvimento inicial das plantas aceleram o desenvolvimento da cultura, resultando no encurtamento do ciclo vegetativo, florescimento precoce e baixo crescimento do dossel (FRIGERI et al., 2019; TRENTIM et al., 2013).

Quando a umidade do solo diminui, a água é retida mais fortemente aos colóides orgânicos e inorgânicos do solo. Isso dificulta a sua absorção pelo sistema radicular, diminuindo o turgor e a capacidade das plantas de expandir novas folhas (TAIZ et al., 2017). A deficiência de nutrientes limita a capacidade da planta de expandir novas folhas, reduz a fotossíntese, diminuiu a duração da área foliar e o tempo em que as folhas atuam como fonte fornecendo fotoassimilados para os drenos (ENGELS; KIRKBY; WHITE, 2012). Assim, em condições de baixa produtividade e de clima desfavorável, a desfolha não é o único fator limitante ao rendimento, o que pode agravar seus prejuízos ao desempenho agronômico da cultura (BAHRY et al., 2013b; SOUZA et al., 2014).

Portanto, este trabalho foi realizado com base nas seguintes hipóteses: a) a tolerância da soja à desfolha é influenciada pela época de semeadura, sendo menor nas semeaduras tardias.; b) a tolerância da soja à desfolha é influenciada pelo teor de umidade no solo, sendo menor quando a planta é submetida a restrição hídrica; c) a tolerância da soja a desfolha é influenciada pela fertilidade do solo, sendo menor em solos de baixa fertilidade..

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar a tolerância da soja à desfolha nas fases vegetativa e reprodutiva de desenvolvimento, em função de diferentes situações edafo-climáticas. O trabalho teve como objetivos específicos: a) analisar os efeitos da época de semeadura sobre a tolerância da soja à desfolha; b) estudar os efeitos da restrição hídrica sobre a tolerância da soja à desfolha; c) avaliar os efeitos da fertilidade do solo sobre a tolerância da soja à desfolha.

A tese está dividida em três capítulos que serão apresentados e discutidos de forma independente. O primeiro capítulo analisa os efeitos da época de semeadura sobre a tolerância à desfolha na fase reprodutiva. O segundo avalia os efeitos da restrição hídrica sobre a tolerância à desfolha nas fases vegetativa e reprodutiva. O terceiro descreve os efeitos da fertilidade do solo sobre a tolerância à desfolha na fase reprodutiva de desenvolvimento.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ASPECTOS GERAIS SOBRE O CULTIVO DA SOJA

O cultivo da soja está entre as atividades agrícolas que apresentaram maior crescimento nas últimas décadas. A soja possui o quarto grão mais consumido e produzido globalmente, atrás de milho, trigo e arroz. Além disto, ela é a principal oleaginosa cultivada anualmente no mundo (USDA, 2020).

O interesse global pela cultura decorre da alta qualidade dos grãos que contém em média 35-55% de proteínas, 17-27% de lipídios, 30-35% de carboidratos e 5% de minerais (ALIYEV; MIRZOYEV, 2010). A soja é a principal fonte de proteína vegetal utilizada para a produção de proteína animal. O óleo de soja é o segundo mais consumido mundialmente. Seu excedente foi direcionado ao mercado de biodiesel, o que aumentou a competitividade comercial da cultura (HIRAKURI; LAZZAROTTO, 2014).

Em resposta a essa demanda, a produção mundial vem aumentando através da combinação do aumento da área de produção e do rendimento de grãos. A produção mundial de soja na safra 2019/2020 foi de 336 milhões de toneladas, em uma área de 121 milhões de hectares, com um rendimento de grãos médio de 2.760 kg ha^{-1} (USDA, 2020). O cultivo está concentrado no Brasil, Estados Unidos e Argentina, que respondem por aproximadamente 69% da área plantada e 81% da produção mundial. O Brasil se destaca como maior produtor e maior exportador mundial da soja em grão (USDA, 2020).

A produçao brasileira de soja na safra 2019/2020 foi superior a 122 milhões de toneladas de grãos, em uma área de aproximadamente 36 milhões de hectares, com um rendimento de grãos médio de 3.322 kg por hectare. A soja é cultivada em todo território brasileiro. O Centro-Oeste é a maior região produtora, responsável por 44% da área plantada e 45% da produção nacional, sendo o Mato Grosso o maior estado produtor. Em segundo lugar, a região Sul participa com 32% da área total cultivada e 33% da produção nacional (CONAB, 2020a).

Nesse contexto, Santa Catarina contribui com aproximadamente 2% da produção nacional de soja (CONAB, 2020a). Acompanhando a tendência da cultura em outras regiões, a área de cultivo apresentou crescimento de aproximadamente 48 mil hectares entre as safras de 2015/2016 a 2019/2020, avançando sobre áreas de milho, feijão e pastagens. As principais regiões produtoras de soja são Xanxerê, Canoinhas, Curitibanos e Chapecó (EPAGRI, 2019).

2.2 MANEJO INTEGRADO DE PRAGAS

O manejo integrado de pragas (MIP) consolidou-se na cultura da soja durante a década de 1980 e contribuiu para a drástica redução no número de aplicações de inseticidas, com consequente queda nos custos do controle fitossanitário e na diminuição de impactos ambientais da atividade agrícola. Entretanto, por motivos diversos, o MIP tem sido abandonado (ÁVILA; SANTOS, 2018).

A filosofia do MIP baseia-se na premissa que não são todas as espécies de insetos que necessitam de controle e que alguns níveis de infestação e injúria são toleráveis pelas plantas sem redução do rendimento de grãos. Em função disto, os inseticidas não devem ser aplicados preventivamente e sua utilização é apenas justificável quando a população de pragas for igual ou superior aos níveis recomendados pela pesquisa (HOFFMANN-CAMPO; CORRÊA-FERREIRA; MOSCARDI, 2012).

A soja está sujeita ao ataque de pragas desde a germinação das sementes e emergência das plântulas até a fase de maturação fisiológica dos grãos (GRIGOLLI, 2015). Das que causam a desfolha direta, destaca-se a lagarta falsa medideira *Chrysodeixis includens* Walker, 1858 (Lepidoptera, Noctuidae) e algumas espécies do gênero *Spodoptera* spp.,que aumentaram em importância como desfolhadoras devido ao uso excessivo de inseticidas e ao declínio no uso do manejo integrado de pragas (MIP) (BUENO et al., 2013; MOSCARDI et al., 2012).

O controle da lagarta falsa medideira, bem como da lagarta da soja *Anticarsia gemmatalis* Hübner, 1818 (Lepidoptera, Noctuidae) deve iniciar quando os níveis de dano econômico atingirem 30% de desfolha no período vegetativo e 15% no reprodutivo. Paralelamente, o MIP preconiza o monitoramento da densidade populacional de insetos através do pano de batida, considerando a necessidade de intervenção química com a presença de até 20 lagartas (>1,5 cm) por metro (BORTOLOTTO et al., 2015). Entretanto, os estudos que determinaram os níveis de tolerância à desfolha recomendados para o controle das principais pragas desfolhadoras foram realizados em sua maioria nas décadas de 70 e 80 e em sistema de plantio convencional (BUENO; BATISTELA; MOSCARDI, 2010). Assim, a maioria dos trabalhos foi realizada com cultivares que não são mais utilizadas, como a Santa Rosa, Paraná, UFV-10 e BR 16 (DIOGO et al., 1997; GAZZONI; MOSCARDI, 1998; PISSAIA; COSTA, 1981; RIBEIRO; COSTA, 2000).

Assim, surgem questionamentos quanto à validade dos níveis de dano econômico propostos para a cultura da soja, diante das mudanças ocorridas no sistema de cultivo. Entre

elas destacam-se o hábito de crescimento das cultivares, a duração do ciclo e a época de semeadura (MOSCARDI et al., 2012). As cultivares contemporâneas são predominantemente de hábito indeterminado e possuem menor ciclo, em relação às cultivares antigas que eram de hábito determinado e pertenciam a grupos de maturação mais altos (BUENO et al., 2012). O período de semeadura da cultura também é mais amplo, visando viabilizar diferentes sistemas de sucessão de culturas (LARA JÚNIOR et al., 2019; STÜLP et al., 2009).

Desse modo, o manejo de pragas tem sido realizado com critérios subjetivos de percepção e com aplicações calendarizadas pré-programadas, elevando a frequência do uso de inseticidas e o custo fitossanitário da cultura (BUENO; BATISTELA; MOSCARDI, 2010; CONTE et al., 2015).

Nesse sentido, alguns estudos vêm sendo conduzidos nos últimos anos visando analisar a tolerância das cultivares de soja ao desfolhamento. Bueno et al. (2013) realizaram cinco experimentos independentes nos estados de Goiás e Paraná de 2008 a 2010. Eles avaliaram o uso calendarizado de inseticidas, em comparação com estratégias de manejo integrado de pragas e de controle biológico. A taxa de infestação de lagartas desfolhadoras foi superior no manejo integrado de pragas e no controle biológico. Entretanto, a produtividade das cultivares foi semelhante entre os tratamentos e diferiu apenas da testemunha. Os autores concluíram que o uso calendarizado de inseticidas não resulta em maior produtividade e que os critérios utilizados pelo MIP ainda são válidos para o sistema produtivo da soja.

Batistela et al. (2012) avaliaram o impacto da desfolha em cinco experimentos realizados nas safras de 2008/2009 e 2009/2010 em três estados (Rio Grande do Sul, Goiás e Mato Grosso). Em 2008/2009, desfolhas de 33,3%, 66,6% e 100% foram realizadas nos estádios V5, V8, R2, de V5 a R2 e de V5 até a colheita. Em 2009/2010, os níveis de 16,7% e 33,3% de desfolha foram impostos durante todo o período vegetativo, todo o período reprodutivo ou em todo o ciclo da cultura. Os autores observaram que as quatro cultivares toleraram os desfolhamentos preconizados pelo MIP nas fases vegetativa e reprodutiva de desenvolvimento, sem perdas significativas no rendimento de grãos.

Durli (2019) avaliou o efeito de cinco níveis de desfolha (0%, 16,6%, 33,3%, 50% e 66,6%) nos estádios V6 e R3 de desenvolvimento, em três cultivares com grupo de maturação distintos. O autor observou que o nível de dano econômico em V6 dependeu do grupo de maturação da cultivar, uma vez que o genótipo mais precoce foi menos tolerante a desfolha. Quando a desfolha foi imposta em R3, as plantas suportaram o nível de 16,6% sem perdas significativas no rendimento de grãos, independentemente do grupo de maturação da cultivar.

Segundo Parcianello (2002), as discordâncias de resultados no nível de desfolhamento e na fase de desenvolvimento mais crítica à desfolha ocorrem em função das variações ambientais e de manejo da cultura, reforçando a importância de estudos envolvendo diferentes cultivares e ambientes de cultivo. É importante destacar que em lavouras com alto potencial produtivo, emprego de alta tecnologia e condições climáticas favoráveis, a desfolha em diferentes níveis pode comprometer a produtividade. Porém, em condições de baixa produtividade e de clima desfavorável, a desfolha não é o único fator limitante ao rendimento, o que pode agravar seus prejuízos ao desempenho agronômico da cultura (BAHRY et al., 2013b; SOUZA et al., 2014).

2.3 A DESFOLHA E SEUS EFEITOS NA FISIOLOGIA DA PLANTA

O desempenho produtivo da soja depende do potencial genético das cultivares e dos fatores que interferem na atividade fotossintética da planta. A fotossíntese pode ser afetada por diversos estresses abióticos e bióticos. Entre eles destacam-se o granizo, as doenças e os insetos desfolhadores que podem causar a redução da área foliar e, dependendo da fase de desenvolvimento da cultura, do rendimento de grãos (BOARD; KAHLON, 2011; LOPES; LIMA, 2015).

A desfolha afeta o rendimento através da redução da taxa de crescimento da cultura durante parte ou em todo o desenvolvimento do cultivo. Isto ocorre porque ao reduzir a área foliar, a desfolha diminuiu a interceptação de radiação solar, limitando a taxa fotossintética do dossel e, consequentemente, a produção de fotoassimilados (BOARD; KAHLON, 2011).

Após a desfolha, as taxas fotossintéticas são reduzidas nas folhas parcialmente desfolhadas e não desfolhadas. Entretanto, a redução da fotossíntese não é necessariamente proporcional à área foliar removida devido à modificação na arquitetura do dossel, à contribuição fotossintética desigual das folhas e, em alguns casos, à fotossíntese compensatória (BRISKE; RICHARDS, 1995).

Islam (2014) relatou que a desfolha aumentou significativamente a taxa fotossintética, a transpiração e a condutância foliar das folhas remanescentes dos genótipos de soja. Entretanto, houve a redução da produção de matéria seca por planta e do rendimento de grãos. Isto evidencia que as folhas remanescentes após o desfolhamento não compensaram fotossinteticamente aquelas que foram perdidas (BOARD; KAHLON, 2011).

Após a desfolha, também ocorre o aumento da taxa de crescimento de folhas e brotos através da alteração nos padrões de alocação dos recursos da planta. Carbono e nitrogênio são

direcionados para os drenos meristemáticos ativos da parte aérea. Eles são usados principalmente para a síntese de proteínas e outros compostos contendo N, e não como substrato para respiração ou síntese de compostos como celulose e hemicelulose, reduzindo, consequentemente, o crescimento da planta e das raízes. Esses processos compensatórios podem ocorrer poucas horas após o desfolhamento (BRISKE; RICHARDS, 1995).

Segundo Board e Kahlon (2011), o período mais sensível da soja à desfolha compreende dos estádios R1 ao R6 de desenvolvimento. Desfolhas durante R1-R6 reduzem o número de nós reprodutivos, de vagens e de grãos por planta. Desfolhas durante R6-R7 reduzem a massa do grão. Desfolhas no período vegetativo, se não forem drásticas, podem ser compensadas. Entretanto, além da fase de desenvolvimento do cultivo, a resposta das plantas à desfolha varia em função do percentual de desfolhamento, do tempo de permanência da injúria, das características do genótipo e das condições ambientais (HALA; ZEINAB; RABIE, 2015; IQBAL; MASOOD; KHAN, 2012; MOSCARDI et al., 2012).

Bahry et al. (2013a) avaliaram o desempenho agronômico da cultivar CD 219 RR, em função dos níveis de 0% a 66,7% de desfolha entre os estádios V4 e V9 de desenvolvimento. Os autores verificaram que não houve redução da produtividade e dos componentes do rendimento. Entretanto, em trabalho similar, realizado com a cultivar BMX Potência RR, a produtividade e a massa de grãos foram reduzidos à medida que mais estádios vegetativos foram submetidos à desfolha (BAHRY et al., 2013b).

Souza et al. (2014) avaliaram o efeito da desfolha de 0% a 66,7% dos estádios V4 a V9 para a cultivar Roos Camino RR e constataram que os níveis de desfolhamento não foram suficientes para comprometer o rendimento de grãos. Os autores relacionaram o resultado à normalidade das condições climáticas ao longo do cultivo e ao hábito de crescimento indeterminado da cultivar.

Silva et al. (2015) estudaram o efeito de cinco níveis contínuos de desfolha (0%, 16,7%, 33,3%, 66,6% e 100%) durante os períodos vegetativo e reprodutivo de desenvolvimento, em seis cultivares com diferentes hábitos de crescimento e grupos de maturação. Os autores relataram que o maior efeito da desfolha ocorreu no período reprodutivo e que o desfolhamento contínuo de 16% diminuiu significativamente o rendimento de grãos nos dois períodos de desenvolvimento.

Durli (2019) estudou a tolerância da soja a cinco níveis de desfolha (0%, 16,6%, 33,3%, 50% e 66,6%), em três densidade de semeadura (100 mil, 300 mil e 500 mil plantas por hectare) e relatou o aumento do rendimento de grãos com a desfolha de 16,6%. Segundo Zuffo et al. (2015), a perda moderada de área foliar não afeta o rendimento de grãos de soja

pois pode ser compensada por uma maior penetração de radiação solar nas camadas inferiores do dossel, levando ao aumento da produção de fotoassimilados.

Board et al. (2010) avaliaram os efeitos de desfolhas semanais de 0%, 33%, 66% e 100% durante o período de enchimento de grãos. Eles relataram que a percentagem de desfolha necessária para reduzir 10% do rendimento de grãos foi três vezes maior no Kentucky do que na Louisiana devido ao maior índice de área foliar inicial e a maior eficiência de interceptação de luz com o espaçamento entrelinhas reduzido no primeiro ambiente de cultivo. Os autores concluíram que não é a percentagem de desfolha e de redução do índice de área foliar que afetam o rendimento de grãos, mas o efeito do desfolhamento na interceptação de luz pela planta. Assim, perdas significativas de rendimento ocorrem com desfolhas que causam a redução de aproximadamente 20% na interceptação de luz pela planta.

3 CAPÍTULO 1: TOLERÂNCIA DA SOJA À DESFOLHA NO INÍCIO DE FORMAÇÃO DAS VAGENS EM FUNÇÃO DA ÉPOCA DE SEMEADURA

3.1 RESUMO

A tolerância da soja à desfolha pode ser influenciada pela época de semeadura. Semeaduras tardias diminuem a plasticidade vegetativa da cultura, podendo limitar a capacidade da planta de tolerar perdas de área foliar. Este trabalho teve o objetivo de avaliar os efeitos da época de semeadura sobre a tolerância da soja à desfolha no início da formação das vagens. O experimento foi conduzido em canteiros, no município de Lages, localizado no Planalto Sul de Santa Catarina, durante o ano agrícola 2016/2017. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com os tratamentos dispostos em parcelas subdivididas. Na parcela principal foram testadas duas épocas de semeadura: 02/11/2016 (época preferencial) e 15/12/2016 (época tardia). Nas subparcelas foram avaliados cinco níveis de desfolha: 0%, 17%, 33%, 50% e 67% da área foliar apresentada pela cultivar NA 5909 RG no estádio R3 de desenvolvimento. Foram avaliadas características morfológicas, o rendimento de grãos e seus componentes. O índice de área foliar da cultura em R3, antes do desfolhamento, foi menor na semeadura tardia. O maior nível de desfolha reduziu em 55,2% e 53,5% o índice de área foliar da cultura em R5, nas semeaduras preferencial e tardia, respectivamente. O rendimento de grãos variou de 3.374 a 6.478 kg ha^{-1} e foi maior na semeadura preferencial do que na tardia, em todos os níveis de desfolhamento. O rendimento de grãos aumentou até o nível de 33% de desfolha nas duas épocas de semeadura. As plantas suportaram desfolhas de 45,6% na semeadura preferencial e de 55,8% na semeadura tardia, sem perdas no rendimento de grãos, em relação à testemunha. O maior nível de desfolha reduziu em 26,9% e 13,4% o rendimento de grãos nas semeaduras preferencial e tardia, respectivamente, em comparação com a testemunha. O atraso da semeadura de 02/11/2016 para 14/12/2016 não aumentou a sensibilidade da cultivar NA 5909 RG ao desfolhamento no início de formação das vagens.

Palavras-chave: *Glycine max*. Características morfológicas. Práticas de manejo. Rendimento de grãos. Estresse abiótico.

3.2 ABSTRACT

The soybean tolerance to defoliation may be influenced by the sowing date. Late sowings decrease the crop vegetative plasticity. This can limit the plant capacity to mitigate leaf area loss. The aim of this study was to evaluate the effects of sowing date on the soybean tolerance to defoliation at the beginning of pod formation. The experiment was conducted in Lages, Santa Catarina State, southern Brazil, during the 2016/2017 growing season. A randomized block design was used, with treatments arranged in split plots. Two sowing dates were tested in the main plots: 11/02/2016 (preferential time) and 12/14/2016 (late time). Five defoliation levels were evaluated in the split plots: 0%, 17%, 33%, 50% and 67% of the leaf area presented by the cultivar NA 5909 RG at R3. Morphological characteristics, grain yield and its components were evaluated. The leaf area index (LAI) at R3, before defoliation, was lower in late sowing date. The highest defoliation level reduced 55.2% and 53.5% the crop LAI at R5, in the preferential and late sowing dates, respectively. Grain yield ranged from 3.374 to 6.478 kg ha^{-1} and was higher in the preferential than in late sowing date, at all defoliation

levels. Defoliation levels up to 33% increased grain yield at both sowing dates. The plants supported defoliation levels up to 45.6% in the preferential sowing date and 55.8% in the late sowing date, without presenting losses in grain yield, when compared to the control. The higher defoliation level reduced by 26.9% and 13.4% grain yield in the preferential and late sowing, respectively, compared to the control. The delay in sowing date from 11/02/2016 to 12/14/2016 did not increase the sensitivity of NA 5909 RG to defoliation in the beginning of pod formation.

Keywords: *Glycine max*. Morphological characteristics. Crop management. Productivity. Abiotic stress.

3.3 INTRODUÇÃO

A escolha correta da época de semeadura permite ajustar as melhores condições ambientais com as fases mais sensíveis do ciclo de desenvolvimento da cultura, potencializando o rendimento de grãos de soja. Não havendo restrição hídrica, as fases de formação de legumes e de enchimento de grãos devem coincidir com o período de maior fotoperíodo e coeficiente fototérmico (ZANON et al., 2018).

A época semeadura varia em função do grupo de maturação da cultivar, da latitude e da altitude da região de cultivo. No município de Lages, em Santa Catarina, a época preferencial de semeadura da soja compreende o período de 11 de outubro a 10 de dezembro (MAPA, 2020a). Entretanto, em função de estar situada numa região com altitude superior a 700 m, deve-se evitar semeaduras após o final do mês de novembro no Planalto Sul de SC, devido ao risco de insuficiência térmica na fase de enchimento de grãos.

Com o atraso da semeadura, as plantas aceleram o desenvolvimento e são induzidas mais cedo à floração devido às altas temperaturas e ao declínio do fotoperíodo após 21 de dezembro, resultando no encurtamento do ciclo vegetativo, florescimento precoce e baixo crescimento do dossel. Essas alterações na morfologia e na arquitetura da planta podem comprometer o rendimento de grãos (FRIGERI et al., 2019; MARQUES et al., 2011; TRENTIM et al., 2013). Carmo et al. (2018) observaram decréscimo linear do rendimento de grãos à medida que a época de semeadura foi postergada de 03 de outubro para 17 de novembro em Rio Verde, Goiás, sendo esta redução de aproximadamente 40 kg ha^{-1} para cada dia de atraso na semeadura da cultivar BMX Potência RR.

Meotti et al. (2012) avaliaram o efeito de quatro épocas de semeadura (15 de outubro, 15 de novembro, 15 de dezembro e 15 de janeiro) no desempenho agronômico de quatro cultivares de soja em São Domingos, SC, durante dois anos agrícolas. Os autores verificaram que as semeaduras em 15 de outubro e 15 de novembro maximizaram o número de vagens por

planta, o número de grãos por vagem, a altura das plantas, o número de ramos, a massa de grãos e, consequentemente, o rendimento de grãos.

Balena et al. (2016) avaliaram o efeito de três épocas de semeadura (22 de outubro, 17 de novembro e 11 de dezembro) e dois espaçamentos entrelinhas (0,25 m e 0,50 m) em Xanxerê, SC. Os autores relataram redução do índice de área foliar, altura de plantas e massa de grãos com o atraso da época de semeadura, além do decréscimo do rendimento de grãos, que foi independente do espaçamento entrelinhas.

Além das condições ambientais, o cultivo da soja está sujeito ao ataque de diferentes espécies de insetos-praga, como as lagartas desfolhadoras, durante todo o ciclo de desenvolvimento (NOBRE; SEDIYAMA; BEZERRA, 2016). Entretanto, alguns níveis de infestação e de injúria são toleráveis pelas plantas sem redução no rendimento de grãos (DURLI, 2019). Dessa forma, o controle de insetos desfolhadores deve iniciar quando os níveis de dano econômico atingirem 30% de desfolha na fase vegetativa e 15% na reprodutiva de desenvolvimento. Paralelamente, o MIP preconiza o monitoramento da densidade populacional de insetos através do pano de batida, considerando a necessidade de intervenção química com a presença de até 20 lagartas (>1,5 cm) por metro (BORTOLOTTO et al., 2015).

A desfolha pode afetar o rendimento de grãos de soja pela redução da taxa de crescimento da cultura durante parte ou em todo desenvolvimento do cultivo. Ao reduzir a área foliar, a desfolha diminuiu a interceptação de luz, a taxa fotossintética do dossel e a produção de fotoassimilados (BOARD; KAHLON, 2011).

Os efeitos da desfolha dependem do percentual de desfolhamento, do tempo de permanência da injúria e da fase de desenvolvimento do cultivo (MOSCARDI et al., 2012). Entretanto, fatores ambientais também podem influenciar os níveis de tolerância ao desfolhamento (BOIÇA JÚNIOR et al., 2015). Neste sentido, características como a umidade do solo e do ar, temperatura, fotoperíodo e radiação solar estão diretamente relacionados com a época de semeadura. Ao interferir na arquitetura do dossel, a época de semeadura pode reduzir a capacidade da planta de emissão de novas folhas e de recuperação da área foliar após o desfolhamento. Isto ocorre principalmente quando a cultura é implantada tardiamente, após o início do mês de dezembro.

Diversos estudos relataram os impactos negativos do atraso da época de semeadura (AMORIN et al., 2011; BALENA et al., 2016; CARMO et al., 2018; CRUZ et al., 2010; MARQUES et al., 2011; MEOTTI et al., 2012) e do desfolhamento (DURLI, 2019; GLIER et al., 2015; MONTEIRO et al., 2017; ZUFFO et al., 2015) sobre o desempenho produtivo da soja. Entretanto, não foram encontradas pesquisas que avaliaram os efeitos combinados desses

fatores na cultura. Portanto, faltam informações sobre a influência da época da semeadura na tolerância da soja ao desfolhamento.

Este experimento foi conduzido com base na hipótese de que a tolerância da soja à desfolha é influenciada pela época de semeadura, sendo menor nas semeaduras tardias. Esta hipótese se baseou no fato de que em semeaduras tardias o florescimento é antecipado e as plantas possuem menor área foliar, o que pode limitar a capacidade de compensação e recuperação foliar após o desfolhamento. O objetivo do trabalho foi avaliar os efeitos da época de semeadura sobre a tolerância da soja à desfolha realizada no início da formação das vagens.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em canteiros, no Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina (CAV-UDESC), em Lages, SC, durante o ano agrícola 2016/2017. Os canteiros possuíam 16 m de comprimento e 1,45 m de largura cada. O local tem como coordenadas geográficas 27°48’58”S de latitude sul e 50°19’34” de longitude oeste. O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen e Geiger (1928), é do tipo Cfb, mesotérmico, com verões brandos, temperaturas médias do mês mais quente inferiores a 22ºC e precipitações bem distribuídas.

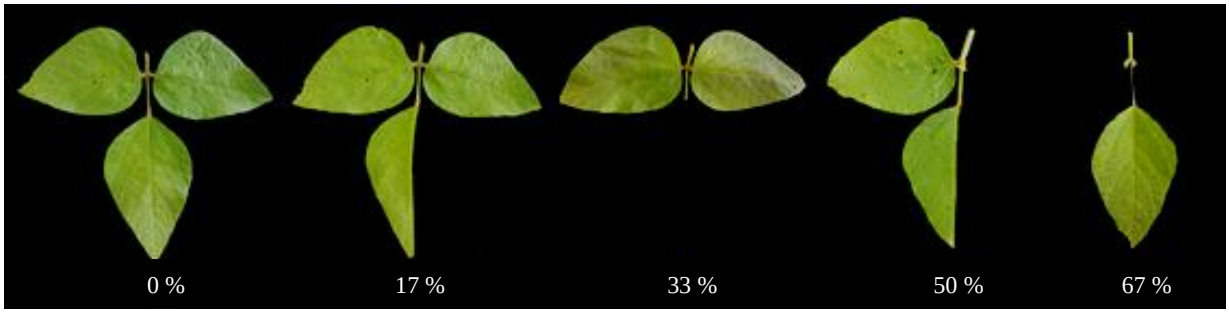
O solo da área experimental é classificado como Nitossolo Vermelho Distrófico típico (EMBRAPA, 2006). O solo apresentava as seguintes características na camada de 0 a 20 cm: 405 g kg^{-1} de argila; pH em água 5,1; 24,9 mg dm^{-3} de P, 223 dm^{-3} de K; 3,7 g kg^{-1} de matéria orgânica; 4,7 $cmol_c$ dm^{-3} de Ca; 1,9 $cmol_c$ dm^{-3} de Mg; 1,0 $cmol_c$ dm^{-3} de Al e 20,9 $cmol_c$ dm^{-3} de CTC.

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, dispostos em parcelas subdivididas, com três repetições por tratamento. Na parcela principal foram testadas duas épocas de semeadura: 02/11/2016 (preferencial) e 14/12/2016 (tardia). Nas subparcelas foram avaliados cinco níveis de desfolha: 0%, 17%, 33%, 50% e 67% da área foliar apresentada pela cultura no estádio R3 de desenvolvimento (início da formação das vagens), segundo escala fenológica proposta por Fehr e Caviness (1977). Cada subparcela foi formada por quatro linhas de 1,25 m de comprimento e espaçamento entrelinhas de 0,25 m. As duas linhas centrais foram consideradas como área útil e as duas linhas externas como bordadura.

O nível de 0% de desfolha foi equivalente à testemunha, 17% e 33% ficaram próximos aos níveis de dano econômico (NDE) propostos pelo MIP para as fases reprodutiva

e vegetativa, respectivamente, e 50% e 67% foram valores acima do NDE em qualquer fase de desenvolvimento da cultura. A desfolha foi realizada com auxílio de tesouras. Os folíolos de todos os trifólios da planta foram removidos ou cortados longitudinalmente de acordo com o nível de cada tratamento, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Níveis de desfolha impostos em cada trifólio da soja.



Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

A soja foi semeada manualmente, depositando-se três sementes por cova da cultivar NA 5909 RG. Esta cultivar pertence ao grupo de maturação 6.2, tem hábito de crescimento indeterminado e possui expressividade em área plantada no sul do Brasil (MAPA, 2020b). As sementes foram tratadas com 2 ml kg^{-1} de ciantraniliprole + tiametoxam (Fortenza Duo®) e com 3 ml kg^{-1} de inoculante (Masterfix Soja®).

A adubação de base foi de 310 kg ha^{-1} de superfosfato triplo e de 155 kg ha^{-1} de cloreto de potássio, seguindo a recomendação da Comissão de Química e Fertilidade do Solo (2016) para a obtenção do rendimento de grãos de 6.000 kg ha^{-1}. Os fertilizantes foram distribuídos superficialmente próximos às linhas de cultivo após a semeadura. Quando as plantas estavam no estádio V1 foi realizado o desbaste para o ajuste da população equivalente a 30 plantas m², nas duas épocas de semeadura. O experimento foi irrigado na ausência de precipitação. A irrigação realizada diariamente por meio de aspersão.

O controle químico pós-emergente de plantas daninhas foi realizado com 5 ml L^{-1} do herbicida glifosato (Roundup®) quando as plantas estavam no estádio V2 de desenvolvimento. O controle preventivo de doenças foi realizado com 1,5 ml L^{-1} de azoxistrobina + ciproconazol (Priori Xtra®), 1 g L^{-1} de azoxistrobina + benzovindiflupir (Elatus®), 2,6 ml L^{-1} de trifloxistrobina + protioconazol (Fox®). Os fungicidas foram aplicados sobre as plantas nos estádios V8, R1 e R5, respectivamente. O controle de pragas foi realizado com 1,2 ml L^{-1} de profenofós + lufenuron (Curyom®), 0,5 ml L^{-1} de lambdacialotrina + clorantraniliprole (Ampligo®) e 1 ml L^{-1} de tiametoxam +

lambdacialotrina (Engeo Pleno®). Os inseticidas foram aplicados sobre as plantas nos estádios V4, V8, R1, R3 e R5.

A área foliar foi determinada medindo-se o comprimento e a maior largura do folíolo central de cada trifólio da planta e aplicando a equação de Richter et al. (2014): AF = a. (C. L), onde: AF é a área da folha (cm^2), C é o comprimento do folíolo (cm), L é a maior largura do folíolo (cm), a é o coeficiente angular de 2,0185. A área foliar foi determinada a partir da soma da área foliar de todos os trifólios da planta. O índice de área foliar (IAF) foi obtido dividindo-se a área foliar de cinco plantas em cada subparcela pela superfície de solo ocupada pelas mesmas. Foram realizadas duas avaliações de IAF, sendo a primeira no dia da imposição da desfolha no estádio R3 e a segunda no estádio R5 de desenvolvimento (início do enchimento de grãos). Também foi determinada a diferença do IAF entre os estádios R3 e R5.

As colheitas foram realizadas nos dias 10/04/2017 e 24/04/2017. As plantas foram colhidas manualmente e trilhadas numa trilhadora estacionária. Cinco plantas de cada subparcela foram coletadas para as avaliações morfológicas, de rendimento biológico, índice de colheita, número de vagens por planta e de grãos por vagem. Estas plantas foram posteriormente colocadas junto às demais da área útil para a determinação da massa de 1.000 grãos e do rendimento de grãos.

Foram realizadas as seguintes avaliações: comprimento do caule (distância do nó cotiledonar até o final do caule), número de nós por planta (contagem de todos os nós do caule), número de ramos por planta (contagem, considerando como produtivo o ramo com pelo menos 1 vagem), altura de inserção da primeira vagem (distância do nó cotiledonar até a inserção da primeira vagem no caule) diâmetro do caule (mensurado com o auxílio de um paquímetro digital, através da média de duas medidas no caule entre o colo da planta e o nó cotiledonar), número de vagens por planta (contagem, considerando vagem a que apresentava pelo menos um grão formado) e número de grãos por vagem (contagem em 10 vagens por planta selecionadas ao acaso, considerando-se como normal o grão de tamanho reduzido mas de forma esférica).

Os caules e as vagens foram acondicionados separadamente em estufa com ventilação e temperatura de aproximadamente 65ºC até atingirem massa constante. Após a debulha manual das vagens, o rendimento biológico foi obtido somando-se a massa seca do caule, das vagens e dos grãos de cada planta. O índice de colheita foi obtido dividindo-se a massa seca de grãos de cada planta pelo seu rendimento biológico. A massa de 1.000 grãos foi obtida através da relação entre o peso e o número de grãos de uma amostra de 400 grãos obtida em cada subparcela e corrigida para 13% de umidade. O rendimento de grãos foi determinado

através do peso de grãos da área útil de cada subparcela, convertido para um hectare e corrigido para a umidade de 13%.

Os dados foram submetidos à análise de variância utilizando o teste F ao nível de significância de 5% (P<0,05). Quando alcançados os níveis de significância, as médias do fator qualitativo (época de semeadura) foram comparadas pelo teste de Tukey e do fator quantitativo (desfolha) por regressão polinomial, ambos a 5% de significância (P<0,05). A escolha das equações linear e quadrática nas figuras foi feita em função do coeficiente de determinação que me melhor se ajustou aos modelos testados.

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.5.1 Índice de área foliar

Na Tabela 1 estão apresentados os valores de índice de área foliar (IAF) antes da desfolha realizada no estádio R3 de desenvolvimento. Ele foi influenciado pela época de semeadura (Apêndice A), sendo menor quando a soja foi semeada em meados de dezembro.

Tabela 1 – Índice de área foliar da soja em função da época de semeadura antes da desfolha no estádio R3 de desenvolvimento. Lages, SC, 2016/2017.

	Época de semeadura[1/]		CV (%)
	Preferencial	Tardia	
Índice de área foliar em R3[2/]	8,1 a*	6,1 b	9,1

[1/]Preferencial: 02/11/2016; Tardia: 14/12/2016.[2/]Estádio R3 (início da formação das vagens) segundo escala fenológica proposta por Fehr e Caviness (1977).*Médias seguidas por letras minúsculas distintas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.
Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

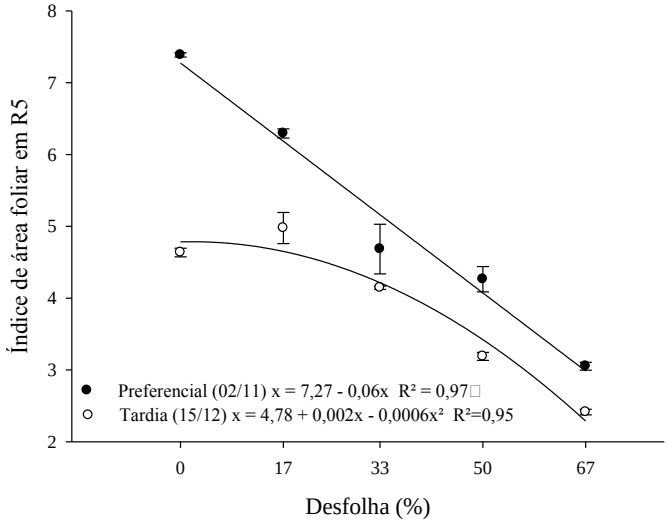
Zanon et al. (2015a) também relataram a redução do IAF com o atraso da época de semeadura, independentemente do grupo de maturação e do hábito de crescimento da cultivar. Balena et al. (2016) observaram a redução de 3,7 para 2,8 no IAF quando a semeadura foi postergada de outubro para dezembro, nos espaçamentos entrelinhas de 0,25 e 0,50 m, respectivamente. Com o atraso da semeadura, as plantas aceleram o ciclo de desenvolvimento e são induzidas mais cedo à floração devido as altas temperaturas e ao declínio do fotoperíodo após 21 de dezembro (TRENTIN et al., 2013). Isto reduz o IAF do cultivo, conforme observado no presente trabalho.

Segundo Tagliapietra et al. (2018), um valor de IAF de 3,4 no florescimento é necessário para obtenção de produtividades acima de 4.500 kg ha^{-1}, em cultivares de hábito de

crescimento indeterminado. A evolução do IAF ao longo do ciclo de desenvolvimento depende da época de semeadura, do genótipo, da densidade de plantas, do espaçamento entrelinhas e do manejo fitossanitário (ZANON et al., 2015a). É possível observar que tanto o IAF da semeadura preferencial quanto o da tardia ficaram acima do valor de referência. O espaçamento reduzido entrelinhas (0,25 m) utilizado no experimento favoreceu a obtenção de altos valores de IAF, pois este índice é obtido através da relação entre a área foliar e a superfície de solo ocupada pela planta.

O IAF no estádio R5 foi influenciado pela interação entre época de semeadura e desfolha (Apêndice A). Houve redução linear e quadrática do IAF à medida que aumentou a percentagem de desfolha, com um decréscimo da testemunha para o maior nível de desfolhamento de 55,2% e 53,5%, nas semeaduras preferencial e tardia, respectivamente (Figura 2).

Figura 2 – Índice de área foliar da soja em R5 em função da época de semeadura e da desfolha no estádio R3 de desenvolvimento[1/]. Lages, SC, 2016/2017. As barras indicam a média do tratamento ± o erro padrão.

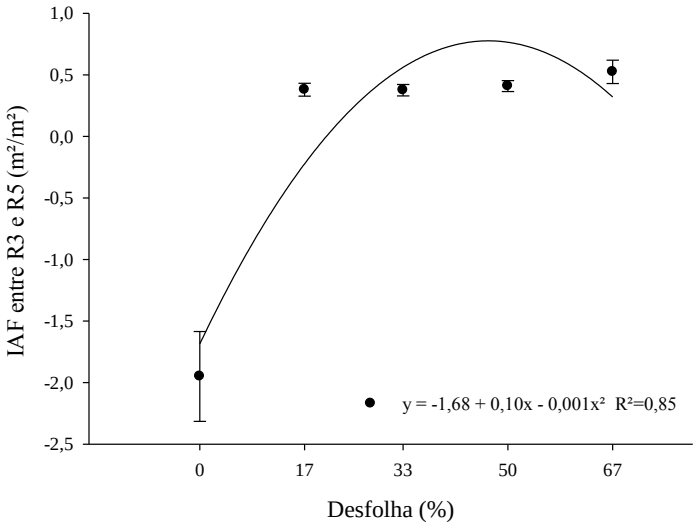


[1/]Estádios R3 (início da formação das vagens) e R5 (início do enchimento de grãos) segundo escala fenológica proposta por Fehr e Caviness (1977).
Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

É possível observar que altos valores de IAF foram mantidos em R5 após a desfolha no estádio R3 de desenvolvimento. Valores de IAF próximos a 3,4 foram obtidos a partir dos níveis de 64% e 49% de desfolha nas semeaduras preferencial e tardia, respectivamente. O elevado valor de IAF registrado no estádio R3 (Tabela 1) permitiu que a área foliar se mantivesse alta em R5, mesmo após desfolhas de até 67%.

O IAF entre os estádios R3 e R5 foi influenciado pelo efeito principal da desfolha (Apêndice A). Houve o aumento quadrático do IAF com o aumento da percentagem de desfolha até o nível de 50% (Figura 3).

Figura 3 – Índice de área foliar da soja (IAF) entre os estádios R3 e R5 em função da desfolha no estádio R3 de desenvolvimento[1/], na média de duas épocas de semeadura. Lages, SC, 2016/2017. As barras indicam a média do tratamento ± o erro padrão.



[1/]Estádios R3 (início da formação das vagens) e R5 (início do enchimento de grãos) segundo escala fenológica proposta por Fehr e Caviness (1977).
Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

A testemunha apresentou maior senescência do que incremento foliar tendo em vista que o IAF entre os estádios R3 e R5 foi negativo. Essa resposta está associada aos elevados valores de IAF e, consequentemente, ao maior sombreamento das folhas. Folhas sombreadas reduzem o investimento em proteínas fotossintéticas e diminuem a taxa de respiração para minimizar o uso de carbono. No entanto, com forte sombreamento, o balanço de carbono se torna negativo, levando à realocação de nutrientes e à senescência foliar (BROUWER et al., 2012).

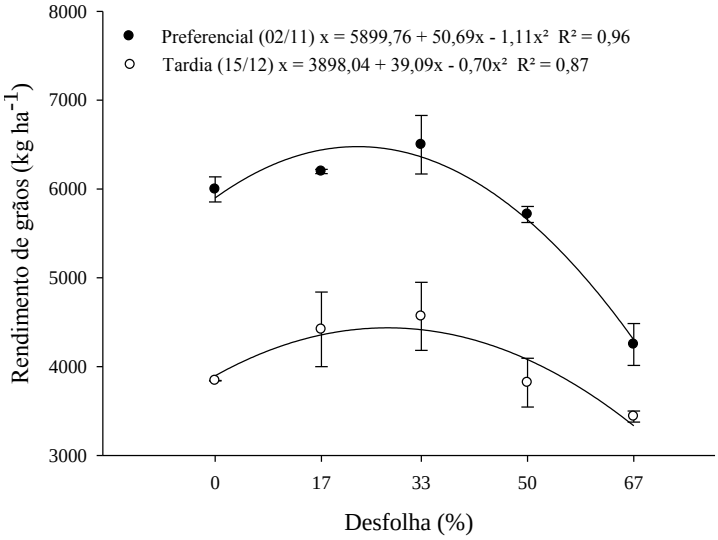
O maior incremento do IAF ocorreu entre a testemunha e o tratamento com 17% de desfolha. Segundo Zuffo et al. (2015), pequenos níveis de desfolha aumentam a produção fotossintética da planta devido à maior penetração de radiação nas camadas inferiores do dossel. Os valores de IAF entre R3 e R5 variaram pouco em função da percentagem de área foliar removida. Durli (2019) também observou baixa recuperação da área foliar da cultivar NA 5909 RG após desfolhas que variaram de 16,6% a 66,6% no estádio R3 de desenvolvimento e em três densidades de semeadura.

Esperava-se que a capacidade da planta de expandir novas folhas fosse menor na semeadura tardia, devido ao encurtamento do ciclo da cultura. Esta característica não foi confirmada, pois a época de semeadura não exerceu efeito significativo sobre esta variável (Apêndice A).

3.5.2 Rendimento de grãos e componentes do rendimento

O rendimento de grãos foi influenciado pela interação entre época de semeadura e desfolha (Apêndice B). Ele apresentou resposta quadrática à desfolha, variando de 4.313 kg ha^{-1} a 6.478 kg ha^{-1} na semeadura preferencial e de 3.374 kg ha^{-1} a 4.443 kg ha^{-1} na semeadura tardia (Figura 4). É possível observar que os rendimentos obtidos foram superiores à média de produtividade brasileira, mesmo na semeadura tardia e com desfolhas de até 67%.

Figura 4 – Rendimento de grãos da soja em função da época de semeadura e da desfolha no estádio R3 de desenvolvimento[1/]. Lages, SC, 2016/2017. As barras indicam a média do tratamento ± o erro padrão.



[1/]Estádio R3 (início da formação das vagens) segundo escala fenológica proposta por Fehr e Caviness (1977).
Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Houve a redução de 2.001 kg ha^{-1} no rendimento de grãos na testemunha quando a semeadura foi realizada na época tardia, representando um decréscimo de 33,9%, em comparação com a produtividade da testemunha semeada no início do mês de novembro. Cruz et al. (2010) e Amorin et al. (2011) também observaram menor rendimento de grãos em semeaduras realizadas a partir de 14/12 e perdas acentuadas quando elas foram postergadas

para o final de dezembro e início de janeiro, independentemente do ciclo da cultivar. Marques et al. (2011) relataram redução superior a 60% no rendimento de grãos quando a semeadura foi postergada de 24 de novembro para 17 de dezembro, em estudo com cultivares de ciclos médio e semi-tardio.

Carmo et al. (2018) observaram decréscimo linear do rendimento de grãos à medida que a época de semeadura foi postergada de 03 de outubro para 17 de novembro em Rio Verde, Goiás, sendo esta redução de aproximadamente 40 kg ha^{-1} para cada dia de atraso na semeadura da cultivar BMX Potência RR. Nas semeaduras tardias, as altas temperaturas e o menor comprimento do dia no desenvolvimento inicial das plantas aceleram o desenvolvimento da cultura, resultando no encurtamento do ciclo vegetativo, florescimento precoce e baixo crescimento do dossel. Estas alterações fenológicas resultam em perdas no rendimento de grãos (FRIGERI et al., 2019; MARQUES et al., 2011; TRENTIM et al., 2013).

Os pontos de máxima das funções quadráticas ajustadas aos dados indicam que houve incremento do rendimento de grãos até o nível de 22,8% de desfolha na semeadura preferencial (6.478 kg ha^{-1}) e de 27,9% de desfolha na semeadura tardia (4.443 kg ha^{-1}). Durli (2019) também observou que desfolhas de 16,4% e 14,7% incrementaram o rendimento de grãos da cultivar NA 5909 RG, nos dois anos de estudo, independentemente da densidade de plantas. Segundo Zuffo et al. (2015), a perda moderada de área foliar na cultura da soja não reduz o rendimento de grãos pois pode ser compensada pela maior penetração de radiação solar nas camadas inferiores do dossel, levando ao aumento da produção de fotoassimilados.

A cultura suportou desfolhas de 45,6% na semeadura preferencial e de 55,8% na semeadura tardia, sem apresentar perdas no rendimento de grãos em relação à testemunha. Na comparação com a testemunha, o maior nível de desfolhamento reduziu em 26,9% e 13,4% o rendimento de grãos nas semeaduras preferencial e tardia, respectivamente. Esses resultados não confirmaram a hipótese do trabalho de que a tolerância da soja à desfolha é menor nas semeaduras tardias.

A elevada tolerância das plantas à desfolha está relacionada ao IAF registrado no início do enchimento de grãos. Os níveis de desfolha de 45,6% e 55,8% proporcionaram IAF de 4,5 e 3,0 nas semeaduras preferencial e tardia, respectivamente, demonstrando que mesmo com alta percentagem de desfolha o IAF estava próximo do valor ideal (Figura 2). Owen et al. (2013) relataram que a desfolha de 67% manteve o IAF próximo a 3,5 e que houve perdas significativas no rendimento de grãos quando a desfolha excedeu 63% nos estádios R3 e R5 de desenvolvimento. Segundo Board et al. (2010), não é o padrão de desfolhamento que afeta significativamente o rendimento de grãos, mas sim o seu efeito na interceptação da luz solar.

A maior tolerância ao desfolhamento na semeadura tardia pode estar relacionada aos valores de IAF mais próximos ao ideal nesta época de cultivo, uma vez que o IAF acima de 6 indica forte sombreamento e, portanto, fotossíntese líquida negativa das folhas inferiores (HORTON, 2000; LONG et al., 2006) (Tabela 1, Figura 2). Fatores como o alto nível de fertilidade do solo, o espaçamento entrelinhas reduzido, o hábito de crescimento indeterminado da cultivar e o uso da irrigação também favoreceram à alta tolerância da planta à desfolha na semeadura tardia neste experimento.

Board et al. (2010) constataram que plantas conduzidas com menor espaçamento entre linhas tiveram maior tolerância à desfolha devido à maior eficiência de interceptação da luz e que perdas significativas de rendimento de grãos ocorreram quando a desfolha reduziu em aproximadamente 20% a luz interceptada pela planta. Durli (2019) observou maior efeito da desfolha com restrição hídrica. No primeiro ano de estudo, com precipitação regular, a desfolha de 66,6% reduziu em 11% o rendimento de grãos. No segundo ano, com deficiência hídrica, o decréscimo foi de 15,4%. Do mesmo modo, cultivares de hábito de crescimento indeterminado, como a NA 5909 RG, apresentam um maior período de sobreposição entre as fases vegetativa e reprodutiva (ZANON et al., 2015b). Isto confere às mesmas maior capacidade de recuperação a períodos curtos de estresse.

A massa de 1.000 grãos foi influenciada pelos efeitos principais da época de semeadura e da desfolha (Apêndice B). A massa de 1.000 grãos foi menor na semeadura tardia (Tabela 2). Frigeri et al. (2019) também observaram redução da massa de grãos quando a semeadura foi realizada tardiamente, independentemente da cultivar e da densidade de plantas. Cruz et al. (2010) verificaram uma redução média de 20% na massa de grãos quando a semeadura foi postergada de novembro para dezembro, em cinco cultivares com diferentes ciclos de maturação.

Tabela 2 – Massa de 1.000 grãos da soja em função da época de semeadura, na média de cinco níveis de desfolha no estádio R3 de desenvolvimento[1/]. Lages, SC. 2016/2017.

	Época de semeadura[2/]		CV (%)
	Preferencial	Tardia	
Massa de 1.000 grãos (g)	200,3 a*	179,1 b	2,6

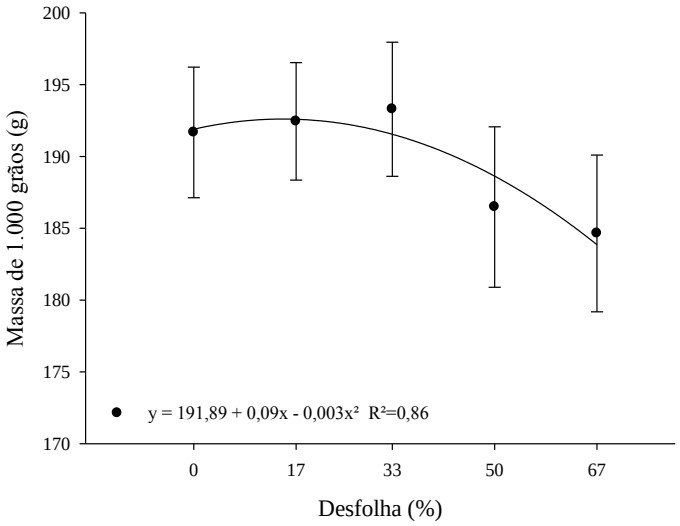
[1/]Estádio R3 (início da formação das vagens) segundo escala fenológica proposta por Fehr e Caviness (1977). [2/]Preferencial: 02/11/2016; Tardia: 14/12/2016.*Médias seguidas por letras minúsculas distintas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.
Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

A redução da massa de 1.000 grãos na semeadura tardia ocorreu devido à diminuição da temperatura e da disponibilidade de radiação solar durante a fase de enchimento de grãos.

Baixas temperaturas e menor luminosidade reduzem a atividade fotossintética e a capacidade de translocação de fotoassimilados da fonte para o dreno (RODRIGUES et al., 2006).

A massa de 1.000 grãos apresentou redução quadrática à desfolha, mantendo-se praticamente estável até o nível de 33% e diminuindo à medida que o desfolhamento foi aumentando (Figura 5). Houve a redução de 7,4 g da massa de grãos com o maior desfolhamento em relação à testemunha, representando um decréscimo de 3,9%.

Figura 5 – Massa de 1.000 grãos da soja em função da desfolha no estádio R3 de desenvolvimento[1/], na média de duas épocas de semeadura. Lages, SC, 2016/2017. As barras indicam a média do tratamento ± o erro padrão.



[1/]Estádio R3 (início da formação das vagens) segundo escala fenológica proposta por Fehr e Caviness (1977).
Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

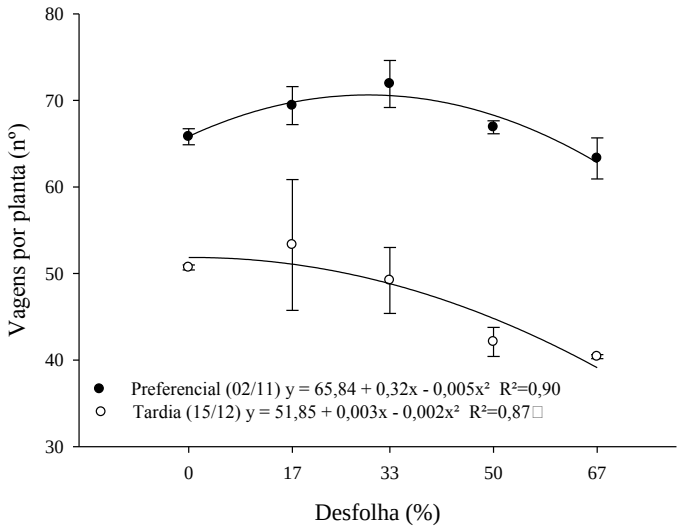
Esse resultado corrobora com os dados obtidos por Zuffo et al. (2015) que verificaram que desfolhas de 33% não reduziram a massa de 1.000 grãos do estádio R1 a R6 de desenvolvimento. Glier et al. (2015) relataram a redução média de 6,2% na massa de 1.000 grãos somente com 100% de desfolhamento, independentemente do estádio de desenvolvimento da planta (V4, V9, R3 e R5). Durli (2019) também observou resposta quadrática e aumento da massa de grãos com 16,6% de desfolha e que houve uma redução média de 6% do maior nível de desfolhamento (66,6%) para a testemunha, nos dois anos de estudo.

Segundo Mundstock e Thomas (2005), durante o florescimento ocorre o acúmulo de massa seca e nutrientes nas partes vegetativas da planta de soja, principalmente nas folhas, pecíolos e ramos. Os fotoassimilados acumulados nesse período provavelmente contribuíram

para evitar um decréscimo acentuado da massa de grãos quando a desfolha foi realizada no estádio R3 de desenvolvimento.

O número de vagens por planta foi influenciado pela interação entre época de semeadura e desfolha (Apêndice B). Houve a redução de 13,9 vagens por planta na testemunha quando a semeadura foi realizada na época tardia, representando um decréscimo de 21,2% (Figura 6). O número de vagens por planta foi menor em todos os tratamentos de desfolha na semeadura tardia, em relação à época preferencial.

Figura 6 – Número de vagens por planta da soja em função da época de semeadura e da desfolha no estádio R3 de desenvolvimento[1/]. Lages, SC, 2016/2017. As barras indicam a média do tratamento ± o erro padrão.



[1/]Estádio R3 (início da formação das vagens) segundo escala fenológica proposta por Fehr e Caviness (1977).
Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Cruz et al. (2010) também verificaram redução média de 30% no número total de vagens entre as épocas normais e tardias de semeadura. De modo contrário, Pierozan Junior et al. (2015) não observaram influência de três épocas de semeadura (21/10, 18/11 e 20/12) no número vagens por metro quadrado em quatro cultivares com grupo de maturação distintos. Nas semeaduras tardias, a indução ao florescimento ocorre mais cedo. Isto contribui para a formação de menor número de nós e de ramos produtivos (Tabela 3), diminuindo o número de flores e de vagens produzidos por planta (ZANON et al., 2018).

Na semeadura preferencial, o número de vagens por planta aumentou até o nível de 33% de desfolha e apresentou valores numéricos próximos entre a testemunha e 67% de desfolhamento. A similaridade do número de vagens por planta entre a testemunha e o maior

nível de desfolha se deveu ao elevado índice de área foliar apresentado pela cultura em R3 e em R5 quando semeada no início de novembro (Tabela 1, Figura 2). Esta característica permitiu a cultura manter um número similar de vagens ao da testemunha, mesmo quando foi submetida ao maior nível de desfolha.

Por outro lado, na semeadura tardia o número de vagens por planta diminuiu à medida que aumentou a percentagem de desfolha. Houve a redução de 8,7 vagens por planta com o maior nível de desfolhamento, representando um decréscimo de 16,9%. Zuffo et al. (2015) também verificaram redução significativa do número de vagens por planta em todos os níveis de desfolha (33%, 66% e 99%) dos estádios R1 ao R6 de desenvolvimento. A redução da área foliar impacta negativamente os componentes de rendimento pela diminuição na quantidade de fotoassimilados produzidos (SCHMILDT et al., 2010). Assim, a planta aborta parte das vagens e mantém as que possui capacidade de translocar fotoassimilados das folhas remanescentes (SILVA et al., 2015).

O número de grãos por vagem variou de 2,0 a 2,3 e não foi influenciado significativamente pela época de semeadura e pela desfolha (Apêndice B). Este foi o componente de rendimento que menos influenciou o rendimento de grãos. Esse resultado diverge do obtido por Cruz et al. (2010) que verificaram redução do número de grãos por vagem quando a semeadura foi postergada para o final de dezembro e início de janeiro. De modo contrário, Frigeri et al. (2019) observaram maior número de grãos por vagem na semeadura tardia e atribuíram esse resultado às condições ambientais favoráveis durante o período de formação das sementes que ocorreram nessa época de cultivo.

Durli (2019) também não observou redução do número de grãos por vagem com desfolhas de 16,6% a 66,6% no estádio R3 de desenvolvimento, em três densidades de semeadura. Glier et al. (2015) verificaram que o número de grãos por vagem foi reduzido somente com desfolhas acentuadas de 75% e 100% no estágio reprodutivo. Segundo Silva et al. (2015), o número de grãos por vagem é uma característica pouco influenciada pelo meio de cultivo. A ausência de efeito significativo da época de semeadura e do nível de desfolha sobre este componente do rendimento confirmou esta tendência.

3.5.3 Características morfológicas

O comprimento do caule foi influenciado pela época de semeadura, sendo menor quando a cultura foi implantada em 14/12/2016 (Tabela 3, Apêndice C).

Tabela 3 – Comprimento do caule, número de nós, número de ramos, altura da inserção de primeira vagem, diâmetro do caule e índice de colheita da soja em função da época de semeadura, na média de cinco níveis de desfolha no estádio R3 de desenvolvimento[1/]. Lages, SC, 2016/2017.

	Época de Semeadura[2/]		CV(%)
	Preferencial	Tardia	
Comprimento do caule (cm)	104 a*	78 b	8,4
Número de nós (nº)	18,1 a	14,8 b	4,5
Número de ramos (nº)	8,3 a	5,2 b	25,5
Inserção de primeira vagem (cm)	29 a	22 b	20,1
Diâmetro do caule (mm)	10,2 a	7,7 b	9,1
Índice de colheita (g/g)	0,45 b	0,51 a	6,9

[1/]Estádio R3 (início da formação das vagens) segundo escala fenológica proposta por Fehr e Caviness (1977). [2/]Preferencial: 02/11/2016; Tardia: 14/12/2016.*Médias seguidas por letras minúsculas distintas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.
Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Balena et al. (2016) verificaram redução linear da altura de plantas na cultivar NA 5909 RG à medida que a semeadura foi postergada de outubro para dezembro, independentemente do espaçamento entrelinhas. Amorim et al. (2011) observaram a redução de 104 cm para 77 cm na altura de planta da semeadura de 15 de novembro para a de 31 de dezembro, em sete cultivares com diferentes ciclos de maturação.

Semeaduras tardias diminuem o crescimento do dossel devido à redução do período vegetativo, em função das altas temperaturas no desenvolvimento inicial, da antecipação do florescimento devido ao encurtamento do dia e da natureza fotossensível da soja (FRIGERI et al., 2019; MARQUES et al., 2011; TRENTIM et al., 2013). Apesar desta redução, o valor do comprimento do caule registrado na semeadura tardia está próximo à altura de planta considerada ideal para a colheita mecanizada, que varia de 80 cm a 100 cm (ORMOND et al., 2015).

O número de nós foi influenciado pela época de semeadura e foi menor no período tardio (Tabela 3, Apêndice C). Esse resultado corrobora com os dados reportados por Ludwig et al. (2010) que relataram um decréscimo de cinco nós no caule quando a semeadura foi postergada de novembro para dezembro, independentemente da densidade de plantas e do ciclo da cultivar. Martins et al. (2011) relataram a redução de 4,3 nós a 12 nós da primeira para a última época de semeadura, que corresponderam a novembro e janeiro, respectivamente, sendo a resposta dependente da cultivar. Entretanto, Pierozan Júnior et al. (2015) não observaram efeito da época de semeadura (outubro, novembro e dezembro) sobre o número de nós por planta, em quatro cultivares de diferentes hábitos de crescimento e grupos de maturação.

Como cada folha está associada a um nó, o número de nós é uma variável importante na cultura da soja, pois está diretamente relacionada com a evolução da área foliar, que é responsável pela interceptação da radiação solar usada na fotossíntese para a produção de biomassa (MARTINS et al., 2011). Ludwig et al. (2010) observaram que a redução do número de nós com o atraso da época de semeadura foi proporcional ao encurtamento do período vegetativo e do ciclo total de desenvolvimento das cultivares. Provavelmente, a redução do número de nós na semeadura tardia não foi mais acentuada porque a cultivar NA 5909 RG possui hábito de crescimento indeterminado. Assim, mesmo sendo induzida a florescer precocemente, ela continuou emitindo novos nós até o início do enchimento de grãos (ZANON et al., 2016).

O número de ramos por planta foi influenciado pela época de semeadura e foi menor na semeadura feita em dezembro (Tabela 3, Apêndice C). Esse resultado corrobora com Pierozan Júnior et al. (2015) que também relataram redução do número de ramos por planta com o atraso da semeadura de outubro para dezembro em estudo com cultivares de diferentes hábitos de crescimento e grupos de maturação. Entretanto, Ludwig et al. (2010) não observaram a influência de duas épocas de semeadura (novembro e janeiro) no número de ramos por planta em 10 cultivares conduzidas em diferentes densidades de semeadura. De modo geral, semeaduras tardias reduzem o ciclo de desenvolvimento e, consequentemente, o número de ramificações (ZANON et al., 2015a).

A altura de inserção da primeira vagem foi afetada pela época de semeadura e foi menor no período tardio (Tabela 3, Apêndice C). Ludwig et al. (2010) também relataram a redução de 21 cm para 10 cm na altura de inserção da primeira vagem quando a semeadura foi postergada de novembro para dezembro, em 11 cultivares. Por outro lado, Amorin et al. (2011) não observaram influência de quatro épocas de semeadura (30/10, 15/11, 14/12, 31/12) na altura de inserção da primeira vagem, num trabalho conduzido com sete cultivares em Uberlândia, MG. Balena et al. (2016) também não verificaram diferença na altura de inserção da primeira vagem nas semeaduras de novembro e de dezembro, independentemente do espaçamento entrelinhas.

A altura de plantas é reduzida quando a semeadura é realizada em épocas inadequadas, havendo a tendência de desenvolvimento de vagens mais próximas ao solo (BARBOSA et al., 2013), conforme observado no presente trabalho. A altura de inserção da primeira vagem é uma variável importante no cultivo de soja, pois interfere diretamente na eficiência da colheita mecanizada e no rendimento de grãos (ALCÂNTARA NETO et al., 2012). A altura de inserção de primeira vagem de 15 cm é considerada satisfatória para a maioria das

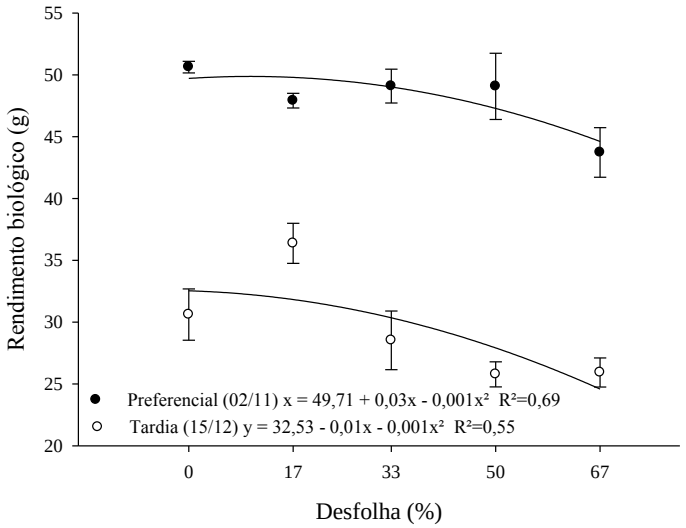
condições das lavouras de soja. Ela permite minimizar perdas na colheita, embora as colhedoras mais modernas possam efetuar o corte com valores até abaixo de 10 cm (CARVALHO et al., 2010). Considerando estes valores, a altura de inserção da primeira vagem foi satisfatória para a colheita mecanizada nas duas épocas de semeadura.

O diâmetro do caule foi influenciado pela época de semeadura e foi menor no período tardio (Tabela 3, Apêndice D). Esse resultado corrobora com Pierozan Junior et al. (2015) que avaliaram o diâmetro do caule no estádio R5.3 de desenvolvimento e observaram uma redução de 10,7 mm para 8,4 mm com o atraso da semeadura de outubro para dezembro. Segundo Martins et al. (1999), quanto menor o período de desenvolvimento, menor o diâmetro do caule. Isto ocorreu porque a planta teve menos tempo para remobilizar fotoassimilados das folhas para o caule.

A desfolha não interferiu significativamente sobre a altura de planta, número de nós, número de ramos e diâmetro do caule, independentemente da época de semeadura (Apêndices C e D). Isto provavelmente ocorreu porque a desfolha foi efetivada no início de formação das vagens. Em R3 estas características morfológicas já estavam praticamente definidas.

O rendimento biológico foi influenciado pela interação entre época de semeadura e desfolha (Apêndice D). O rendimento biológico foi menor em todos os níveis de desfolhamento na semeadura tardia (Figura 7).

Figura 7 – Rendimento biológico da soja em função da época de semeadura e da desfolha no estádio R3 de desenvolvimento[1/]. Lages, SC, 2016/2017. As barras indicam a média do tratamento ± o erro padrão.



[1/]Estádio R3 (início da formação das vagens) segundo escala fenológica proposta por Fehr e Caviness (1977).
Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Ludwig et al. (2010) também observaram a redução do rendimento biológico de 11 cultivares quando a semeadura foi postergada de novembro para janeiro, independentemente da densidade de semeadura. Do mesmo modo, Cruz, Peixoto e Martins (2010) relataram quedas acentuadas no acúmulo de matéria seca de soja da semeadura de 29 de novembro para a de 12 de janeiro, em cinco cultivares de diferentes ciclos. A redução do IAF, do comprimento do caule, do número de nós, de ramos e de vagens por planta, da massa de 1.000 grãos e do rendimento de grãos contribuíram para que o rendimento biológico fosse menor na semeadura tardia neste experimento.

O rendimento biológico diminuiu de forma quadrática à medida que aumentou a percentagem de desfolha nas duas épocas de semeadura (Figura 7). Houve a redução de 5% e 15,8% no rendimento biológico com o maior nível de desfolhamento, em relação à testemunha, nas semeaduras preferencial e tardia, respectivamente.

Durli (2019) relatou a redução do rendimento biológico com desfolhas mais elevadas (33,3%, 50% e 66,6%), independentemente da densidade de plantas. Entretanto, Rezaei et al. (2012) não observaram alteração no acúmulo de massa seca com desfolhas de 25%, 50% e 75% no período reprodutivo.

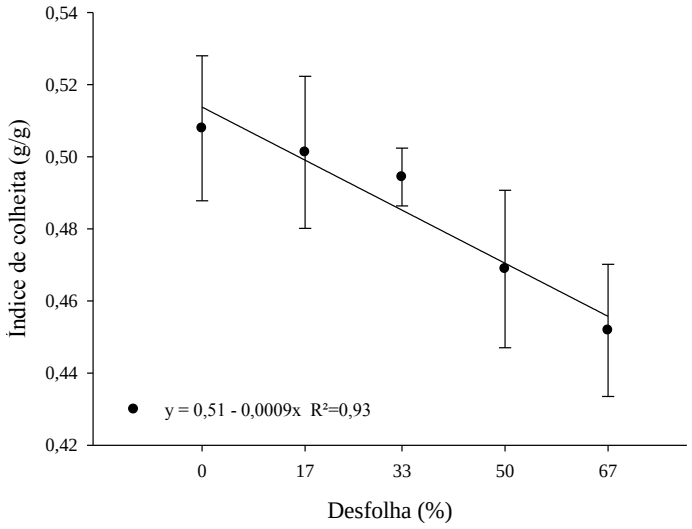
Estresses ou injúrias causadas por agentes desfolhadores podem influenciar tanto a taxa quanto a duração do acúmulo de massa seca na planta (TAIZ et al., 2017). O desfolhamento afeta o acúmulo de massa seca por diminuir a área foliar para interceptação de radiação solar e fixação de carbono, resultando em menor rendimento biológico pela redução da fonte.

O índice de colheita foi influenciado pelos efeitos principais da época de semeadura e nível de desfolha (Apêndice D). O índice de colheita foi maior na semeadura tardia do que na época preferencial (Tabela 3). Ludwig et al. (2010) também relataram valores superiores de índice de colheita quando a semeadura foi realizada após o período preferencial. Os autores destacaram que o maior índice de colheita na semeadura tardia não resultou em maior rendimento de grãos uma vez que o rendimento biológico foi menor, sendo o mesmo comportamento observado no presente trabalho.

O índice de colheita diminuiu de forma linear à medida que aumentou a percentagem de desfolha (Figura 8). Houve a redução de 11,8% no índice de colheita da testemunha para o maior nível de desfolhamento, na média das duas épocas de semeadura. A desfolha diminuiu o índice de colheita nas duas épocas de semeadura. Contudo, na semeadura feita em dezembro as plantas foram mais eficientes em remobilizar fotoassimilados para os grãos (Tabela 3). Isto

impediu um maior decréscimo na produtividade quando a semeadura foi realizada tardiamente.

Figura 8 – Índice de colheita da soja em função da desfolha no estádio R3 de desenvolvimento[1/], na média de duas épocas de semeadura. Lages, SC, 2016/2017. As barras indicam a média do tratamento ± o erro padrão.



[1/]Estádio R3 (início da formação das vagens) segundo escala fenológica proposta por Fehr e Caviness (1977).
Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Board et al. (2010) também observaram decréscimo do índice de colheita com o aumento do desfolhamento, em estudo com desfolhas semanais de 33%, 66% e 100% realizadas nos estádios R5 e R6. Zuffo et al. (2015) relataram redução no índice de colheita a medida que os níveis de desfolhamento foram aumentando (33%, 66% e 99%) e que esse efeito foi mais acentuado nos estádios R3, R4 e R5 do desenvolvimento reprodutivo. Durli (2019) verificou efeito da desfolha no índice de colheita somente quando houve menor disponibilidade hídrica ao longo do cultivo, sendo esta redução de 13,3% no tratamento com maior desfolhamento (66,6%). Estes dados reforçam que os efeitos da desfolha na cultura dependem de diversos fatores, tais como o genótipo e as condições ambientais.

O índice de colheita expressa a eficiência da conversão da biomassa vegetal em rendimento de grãos (PETTER et al., 2012). A influência da desfolha no índice de colheita indica mudanças na conversão da biomassa vegetal em grãos que podem levar a perdas no potencial produtivo e de utilização de recursos durante o desenvolvimento da soja (ZUFFO et al., 2015), conforme observado no presente trabalho.

3.6 CONCLUSÕES

O retardamento da semeadura de 02/11 para 14/12 reduz o rendimento de grãos da cultivar NA 5909 RG, independentemente do nível de desfolha.

Desfolhas moderadas de até 33% realizadas em R3 aumentam o rendimento de grãos da cultivar NA 5909 RG, tanto na época preferencial quanto na tardia.

O retardamento da semeadura do início de novembro para meados de dezembro não aumenta a sensibilidade do rendimento de grãos da cultivar NA 5909 RG à desfolha.

4 CAPÍTULO 2: TOLERÂNCIA DA SOJA À DESFOLHA NAS FASES VEGETATIVA E REPRODUTIVA EM FUNÇÃO DA RESTRIÇÃO HÍDRICA

4.1 RESUMO

A deficiência hídrica reduz a expansão foliar e a eficiência fotossintética da soja. Isto pode limitar a capacidade da planta de suportar perdas de área foliar. Este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da restrição hídrica sobre a tolerância da soja à desfolha nos períodos vegetativo e reprodutivo de desenvolvimento. Dois experimentos foram conduzidos em casa de vegetação, no município de Lages, SC, durante o ano agrícola 2017/2018. Os tratamentos foram dispostos no delineamento de blocos ao acaso, utilizando um esquema fatorial 3 x 5. Foram testados três níveis de restrição hídrica (sem restrição, restrição moderada e restrição severa) e cinco níveis de desfolha (0%, 17%, 33%, 50% e 67%) na cultivar NA 5909 RG. No primeiro experimento, a desfolha foi realizada no estádio V6 (seis nós do caule com folha desenvolvida). No segundo experimento, a desfolha foi imposta no estádio R3 de desenvolvimento (início da formação das vagens). A restrição hídrica foi aplicada durante sete dias após a imposição da desfolha. Durante este período, a umidade do solo foi mantida em 90%, 70% e 50% da capacidade de campo, para os tratamentos sem restrição, com restrição moderada e severa, respectivamente. Foram avaliadas características morfológicas, a produção de grãos por planta e os componentes de rendimento. A área foliar em R2 e R5, após a desfolha em V6 e R3, respectivamente, reduziu em 27,5% e 64,6% com o maior nível de desfolhamento, independentemente da restrição hídrica. A área foliar entre V6 e R2 não foi influenciada pela restrição hídrica e pela desfolha. Entretanto, entre R3 e R5, tanto a restrição hídrica moderada quanto a severa reduziram a capacidade da planta de recuperação da área foliar. A restrição hídrica severa diminuiu a produção de grãos por planta em 22,2% no período vegetativo e em 21,2% no reprodutivo em relação à testemunha, independentemente da desfolha. O maior nível de desfolha reduziu em 24,7% e 24,3% a produção de grãos por planta em relação à testemunha, nos estádios V6 e R3, respectivamente, independentemente da restrição hídrica. A imposição da restrição hídrica nas fases vegetativa e reprodutiva não aumentou a sensibilidade à desfolha da cultivar NA 5909RG.

Palavras-chave: *Glycine max*. Características morfológicas. Produção de grãos. Estresse Abiótico. Área foliar.

4.2 ABSTRACT

The water deficit reduces soybean leaf expansion and photosynthetic efficiency. This may decrease the plant capacity to withstand leaf area loss. The aim of this study was to evaluate the effects of water restriction on soybean tolerance to defoliation during the vegetative and reproductive periods of development. Two greenhouse experiments were carried out in Lages, SC, during the 2017/2018 growing season. Both trials were set using the randomized block design, with treatments disposed in a 3 x 5 factorial scheme. Three levels of water restriction (control without water limitation, moderate water restriction and severe water restriction) and

five levels of defoliation (0%, 17%, 33%, 50% and 67%) were tested in the NA 5909 RG cultivar. In the first experiment, defoliation was performed at V6 (six nodes of the stem with developed leaves). In the second experiment, defoliation was performed at R3 (beginning of pod formation). The water restriction was applied during seven days after defoliation. During this period, soil moisture was kept at 90%, 70% and 50% of its field capacity. Morphological characteristics, grain production per plant and yield components were evaluated. The leaf area at R2 and R5, after defoliation at V6 and R3, respectively, decreased by 27.5% and 64.6% with the highest level of defoliation, regardless of water restriction. The leaf area between V6 and R2 was not influenced by water restriction and defoliation. However, between R3 and R5, both the moderate and severe water restriction reduced the plant capacity to recuperate its leaf area. The severe water restriction decreased 22.2% and 21.2% grain production per plant in the vegetative and reproductive periods in the treatment without stress, respectively, regardless of defoliation. The highest level of defoliation at V6 and R3 reduced grain production per plant by 24.7% and 24.3% in relation to the control, respectively, regardless of water restriction. The imposition of water restriction in the vegetative and reproductive phases did not increase the sensitivity of NA 5909 RG to defoliation.

Keywords: Glycine max. Morphological characteristics. Grain yield. Abiotic stress. Leaf area.

4.3 INTRODUÇÃO

A água desempenha papéis importantes em qualquer fase do ciclo das culturas. Ela está envolvida diretamente em processos metabólicos vitais como fotossíntese e respiração e na regulação térmica, atuando tanto no resfriamento como na manutenção e na distribuição do calor. Devido às várias funções fisiológicas da água, a deficiência hídrica afeta diversos processos fisiológicos relevantes para o crescimento e desenvolvimento dos vegetais (TAIZ et al., 2017).

A primeira alteração que ocorre nas plantas com restrição hídrica é a diminuição da turgescência celular que limita a expansão das folhas e, consequentemente, a interceptação de radiação solar (TAIZ et al., 2017). A perda de turgor das células-guarda também reduz a condutância estomática, diminuindo o influxo de CO_2 até os cloroplastos e a taxa fotossintética da planta. Em níveis mais avançados de desidratação, pode ocorrer o comprometimento da atuação de enzimas importantes para a fixação do carbono em compostos orgânicos (SANGOI et al., 2016).

A soja necessita de 450 mm a 850 mm de água durante o desenvolvimento, dependendo das condições climáticas, do manejo do cultivo e da duração do ciclo da cultivar (CARVALHO et al., 2013). Os dois principais períodos em que a ocorrência de déficit hídrico

aumenta o risco de perdas no rendimento de grãos estão compreendidos entre a semeadura-emergência e floração-enchimento de grãos. A ocorrência do déficit hídrico na fase de germinação reduz o estande final de plantas. Durante a floração-enchimento de grãos ela provoca alterações fisiológicas como fechamento estomático, enrolamento das folhas, queda prematura de folhas e flores, abortamento de legumes e redução no rendimento de grãos (ZANON et al., 2018). Nesse período, a cultura atinge sua máxima exigência hídrica, com demanda de até 7 mm de água por dia (PAYERO; IRMAK, 2013).

Estudos de campo e de casa de vegetação relataram reduções no rendimento de grãos em função da deficiência hídrica que variaram de 6% a 33% no período vegetativo e de 23% a 60% no reprodutivo (CHOWDHURY et al., 2016; DERMITAS et al., 2010; EKHTIARI; KOBRAEE, SHAMSI, 2013; FIOREZE et al., 2013; GIMÉNEZ, 2014; MALEKI et al., 2013; MERTZ-HENNING et al., 2018). As diferenças nas perdas de produtividade registradas nestes trabalhos ocorrem porque as respostas da planta ao déficit hídrico são influenciadas pela duração, intensidade, período e frequência, como também pelas diversas interações entre solo, planta e atmosfera (PIERRE et al., 2012).

A desfolha, assim como o déficit hídrico, pode afetar o rendimento de grãos de soja pela redução do crescimento da cultura durante parte ou em todo desenvolvimento do cultivo. Ao reduzir a área foliar, a desfolha diminuiu a interceptação de luz, a taxa fotossintética do dossel e a produção de fotoassimilados (BOARD; KAHLON, 2011). Entretanto, esses efeitos dependem do percentual de desfolhamento, do tempo de permanência da injúria e da fase de desenvolvimento do cultivo (MOSCARDI et al., 2012).

O nível de umidade do solo interfere no potencial hídrico das folhas. Quando a umidade do solo diminui, a água é retida mais fortemente aos colóides orgânicos e inorgânicos do solo. Isso dificulta a sua absorção pelo sistema radicular, diminuindo o turgor e a capacidade das plantas de expandir novas folhas (TAIZ et al., 2017). Portanto, lavouras de soja submetidas à estiagem podem apresentar maior sensibilidade à desfolha, devido a menor capacidade de regeneração foliar após a imposição do estresse.

Grinnan, Carter Júnior e Johnson (2013a; 2013b) realizaram dois estudos sobre o efeito da desfolha natural e do déficit hídrico no desempenho da soja. No primeiro estudo, houve a redução de 24% e 20% na biomassa de parte aérea e de 10% e 19% na biomassa de raiz, em função do déficit hídrico e da desfolha, respectivamente, demonstrando formas distintas de alocação de recursos na planta para cada tipo de estresse. No segundo estudo, o déficit hídrico teve maior influência no desempenho das plantas, uma vez que afetou a maioria das variáveis de estudo, como a altura final de plantas, a fenologia e o rendimento de

grãos. A desfolha influenciou a taxa de crescimento vegetativo, a fenologia e o rendimento de grãos somente em alguns genótipos. Os efeitos da restrição hídrica e da desfolha sobre o desempenho das plantas foram independentes e aditivos nos dois estudos.

Estudos como o de Grinnan, Carter Júnior e Johnson (2013a; 2013b) são importantes, uma vez que a combinação de diferentes tipos de estresse pode desencadear respostas complexas, envolvendo interações antagônicas e sinérgicas no metabolismo da planta (SILVA et al., 2010).

Este trabalho foi conduzido com base na hipótese de que a tolerância da soja à desfolha é influenciada pelo nível de umidade do solo, sendo menor quando a planta é submetida à deficiência hídrica. Esta hipótese se baseou na premissa de que, sob restrição hídrica, as plantas reduzem a área foliar e a taxa fotossintética, o que pode limitar a capacidade de compensação e de recuperação foliar após o desfolhamento. O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da restrição hídrica sobre a tolerância da soja à desfolha nos períodos vegetativo e reprodutivo de desenvolvimento.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

Dois experimentos foram conduzidos em casa de vegetação no Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina (CAV-UDESC), em Lages, SC, durante o ano agrícola 2017/2018. A casa de vegetação foi mantida na temperatura média de 25 ºC e com umidade relativa do ar de aproximadamente 70%. Além da ventilação, a casa de vegetação possuía um sistema automático de resfriamento que era acionado sempre que a temperatura ultrapassasse 25ºC. O painel de resfriamento era do tipo evaporativo humicool e estava conectado a um conjunto moto-bomba. A iluminação era natural.

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, em esquema fatorial 3 x 5, com três repetições, totalizando 45 unidades experimentais por experimento. Cada unidade experimental foi representada por um vaso de polietileno com capacidade de cinco litros. Foram testados três níveis de restrição hídrica: sem restrição, restrição moderada e restrição severa, nos quais a umidade do solo foi mantida em 90%, 70% e 50% da sua capacidade de campo, respectivamente. Para cada nível de restrição hídrica foram impostos cinco níveis de desfolha: 0%, 17%, 33%, 50% e 67%. A desfolha foi realizada com auxílio de tesouras. Os folíolos de todos os trifólios da planta foram removidos ou cortados longitudinalmente de acordo com o nível de cada tratamento, conforme ilustrado na Figura 1. O nível de 0% de desfolha foi equivalente à testemunha, 17% e 33% ficaram próximos aos níveis de dano

econômico (NDE) propostos pelo MIP para as fases reprodutiva e vegetativa, respectivamente, e 50% e 67% foram valores acima do NDE em qualquer fase de desenvolvimento da cultura.

No primeiro experimento, a desfolha foi realizada no estádio V6 (seis nós do caule com folha desenvolvida). No segundo experimento, a desfolha foi imposta no estádio R3 de desenvolvimento (início da formação das vagens), segundo escala fenológica proposta por Fehr e Caviness (1977). Foi utilizada a cultivar NA 5909 RG que tem como características grupo de maturação 6.2 e hábito de crescimento indeterminado e grande expressividade de área cultivada no sul do Brasil (MAPA, 2020b).

A curva de retenção de água foi determinada pela coleta de solo em cinco anéis de aço inoxidável (3,0 cm de altura por 4,7 cm de diâmetro). Numa das extremidades de cada anel foi colocado um pano 100% viscose que foi fixado externamente com uma borracha de látex. As amostras foram saturadas em bandejas por aproximadamente 24 horas por meio da elevação gradual de uma lâmina de água correspondente a 2/3 da altura do anel.

As amostras foram submetidas à mesa de tensão de areia nas tensões de 1, 6 e 10 kPa e em câmaras de Richards nas tensões de 33, 100, 500 e 1.500 kPa (RICHARDS, 1949). Posteriormente, as amostras foram transferidas para uma estufa a 105 °C por 24 horas. Os valores de massa úmida do solo, de cada etapa de tensão e do solo seco, juntamente com a tara (anel de alumínio, pano e borracha) foram utilizados para a determinação da capacidade de campo e do ponto de murcha permanente do solo via umidade gravimétrica (kg kg^{-1}). A capacidade de campo foi de 32% e o ponto de murcha permanente do solo foi de 18% de umidade. Assim, 28,8%, 22,4% e 16,0% de umidade gravimétrica corresponderam a 90%, 70% e 50% da capacidade de campo do solo, caracterizando os tratamentos como sem restrição hídrica, restrição hídrica moderada e restrição hídrica severa, respectivamente, uma vez que a redução do conteúdo de água nas folhas da planta tende a ser proporcional ao decréscimo de umidade do solo (FIOREZE et al., 2011; FIOREZE et al., 2013).

O solo foi mantido com a umidade próxima à capacidade de campo através da irrigação diária até o momento em que as desfolhas foram realizadas. Para cada experimento, após a desfolha em V6 ou em R3, a irrigação foi suspensa para os vasos correspondentes a restrição hídrica moderada e severa até que se atingisse a umidade almejada em cada tratamento. Após atingirem a umidade, os níveis de restrição hídrica foram mantidos durante sete dias e a reposição de água foi calculada através da diferença de peso do vaso do dia. Foram necessários, em média, 2 dias e 4 dias no experimento em V6 e 1 dia e 2 dias no experimento em R3, para se atingirem os níveis de umidade de 70% e 50% da capacidade de

campo do solo, respectivamente. Após esse período, a irrigação foi retomada normalmente em todas as unidades experimentais, mantendo-se a umidade do solo em 90% da capacidade de campo até o estádio R7 (maturação fisiológica dos grãos) da escala de Fehr e Caviness (1977).

Os dois experimentos foram implantados no dia 31/10/2017, depositando-se cinco sementes por vaso. Cada vaso foi preenchido com um Nitossolo Vermelho distrófico previamente peneirado. O solo apresentava as seguintes características na camada de 0 a 20 cm: 430 g kg^{-1} de argila; pH em água 5,4; 36,7 mg dm^{-3} de P, 217 dm^{-3} de K; 3,8 g kg^{-1} de matéria orgânica; 5,9 $cmol_c$ dm^{-3} de Ca; 2,8 $cmol_c$ dm^{-3} de Mg; 0,1 $cmol_c$ dm^{-3} de Al e 14,5 $cmol_c$ dm^{-3} de CTC.

As sementes foram tratadas com 2 ml kg^{-1} de ciantraniliprole + tiametoxam (Fortenza Duo®) e com 3 ml kg^{-1} de inoculante (Masterfix Soja®). A adubação de base foi de 2 g de superfosfato triplo e 2 g de cloreto de potássio por vaso, seguindo a recomendação da Comissão de Química e Fertilidade do Solo (2016) para a obtenção do rendimento de grãos de 6.000 kg ha^{-1}. O desbaste foi realizado quando as plantas estavam no estádio V1, mantendo-se uma planta por vaso.

O controle de doenças foi realizado com 1 g L^{-1} de azoxistrobina + benzovindiflupir (Elatus®) e 2,6 ml L^{-1} de trifloxistrobina + protioconazol (Fox®), nos estádios V5 e R5, respectivamente. O controle de pragas foi realizado com 1,2 ml L^{-1} de profenofós + lufenuron (Curyom®), 0,5 ml L^{-1} de lambda-cialotrina + clorantraniliprole (Ampligo®), 1 ml L^{-1} de tiametoxam + lambda-cialotrina (Engeo Pleno®) e 0,5 ml L^{-1} de flufenoxurom (Cascade®) nos estádios V2, V4, V6 e R1, respectivamente.

A área foliar foi determinada medindo-se o comprimento e a maior largura do folíolo central de cada trifólio da planta e aplicando a equação de Richter et al. (2014): AF = a. (C.L), onde: AF é a área da folha (cm^2), C é o comprimento do folíolo (cm), L é a maior largura do folíolo (cm), a é o coeficiente angular de 2,0185. A primeira avaliação de área foliar foi realizada no dia da imposição da desfolha em cada experimento. A segunda avaliação de área foliar foi realizada nos estádios R2 (florescimento pleno) e R5 (início do enchimento de grãos), nos experimentos com desfolha em V6 e R3, respectivamente. Também foi determinada a diferença de área foliar entre os estádios V6 e R2 no experimento com desfolha em V6 e entre R3 e R5 no experimento com desfolha em R3.

A colheita da soja foi realizada no dia 02/04/2018. Após a colheita foram feitas as seguintes avaliações: comprimento do caule (distância do nó cotiledonar até o final do caule), número de nós por planta (contagem de todos os nós do caule), número de ramos por planta

(contagem, considerando como produtivo o ramo com pelo menos 1 vagem), altura de inserção da primeira vagem (distância do nó cotiledonar até a inserção da primeira vagem no caule) diâmetro do caule (mensurado com o auxílio de um paquímetro digital, realizando-se a média de duas medidas no caule, entre o colo da planta e o nó cotiledonar), número de vagens por planta (contagem, considerando vagem a que apresentava pelo menos um grão formado) e número de grãos por vagem (contagem em 10 vagens por planta selecionadas ao acaso, considerando-se como normal o grão de tamanho reduzido mas de forma esférica).

Os caules e as vagens foram acondicionados separadamente em estufa com ventilação e temperatura de aproximadamente 65ºC até atingirem massa constante. Após a debulha manual das vagens, o rendimento biológico foi obtido somando-se a massa seca do caule, das vagens e dos grãos de cada planta. O índice de colheita foi obtido dividindo a massa seca de grãos de cada planta pelo seu rendimento biológico. A massa de 1.000 grãos foi obtida através da relação entre o peso e o número de grãos por planta e corrigida para 13% de umidade. A produção de grãos foi determinada através do peso de grãos por planta com a umidade corrigida para 13%.

Os dados foram submetidos à análise de variância utilizando o teste F ao nível de significância de 5% ($P<0,05$). Quando alcançados os níveis de significância, as médias do fator qualitativo (restrição hídrica) foram comparadas pelo teste de Tukey e do fator quantitativo (desfolha) por regressão polinomial, ambos a 5% de significância ($P<0,05$). A escolha das equações linear e quadrática nas figuras foi feita em função do coeficiente de determinação que me melhor se ajustou aos modelos testados.

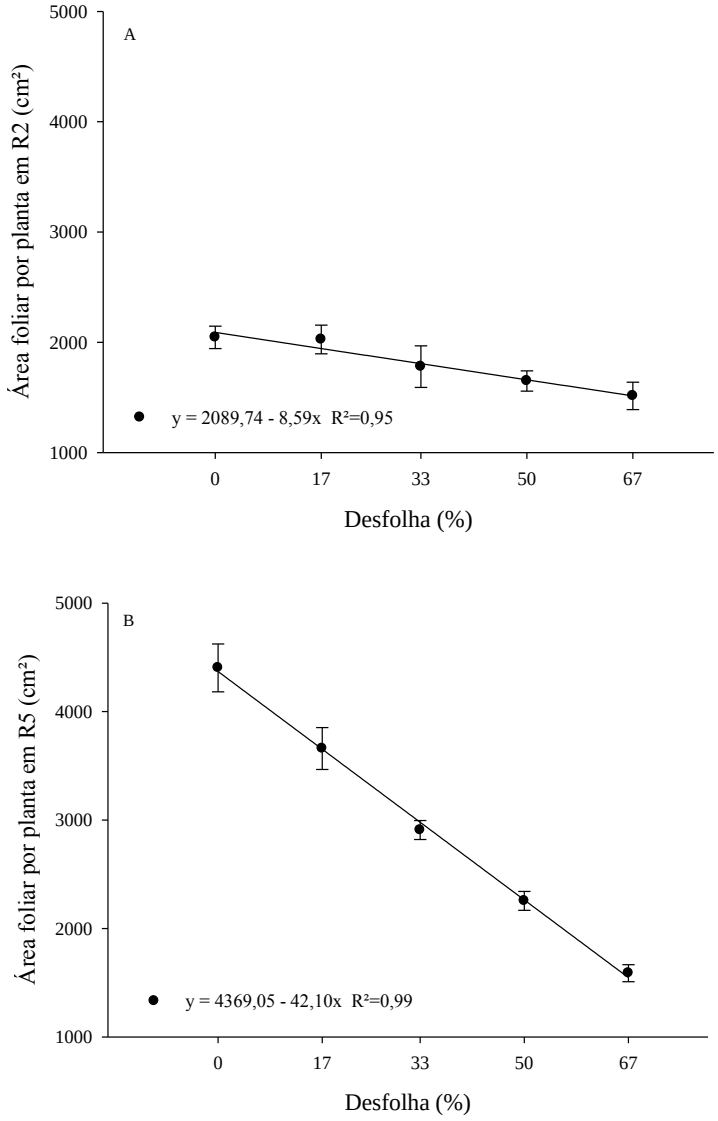
4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.5.1 Área foliar por planta

A área foliar por planta mensurada antes da desfolha foi de 793 cm² no estádio V6 no primeiro experimento e de 4.020 cm² no estádio R3 no segundo experimento. A área foliar em R2 e R5, correspondente aos experimentos com desfolha em V6 e R3, respectivamente, foi influenciada pelo efeito principal da desfolha (Apêndice E). Houve a redução linear da área foliar à medida que aumentou a percentagem de desfolha, com um decréscimo de 27,5% e 64,6% do maior nível de desfolhamento para a testemunha, nos estádios V6 e R3, respectivamente (Figuras 9A e 9B).

Para cada 10% de área foliar removida em V6 e em R3, houve a redução de 85,9 cm² e 421 cm^2 de área foliar em R2 e R5, respectivamente. Os valores de área foliar mensurados em R5 foram maiores e as taxas de decréscimo mais acentuadas. Isto ocorreu porque a maior parte das folhas novas são emitidas até o início da formação das vagens (FEHR; LAWRENCE; THOMPSON, 1981).

Figura 9 – Área foliar por planta de soja nos estádios R2 (A) e R5 (B) em função da desfolha nos estádios V6 e R3[1/], respectivamente, na média de três níveis de restrição hídrica. Lages, SC, 2017/2018. As barras indicam a média do tratamento ± o erro padrão.



[1/]Estádios V6 (seis nós do caule com folha completamente desenvolvida), R2 (florescimento pleno), R3 (início da formação das vagens) e R5 (início do enchimento de grãos) segundo escala fenológica proposta por Fehr e Caviness (1977).
Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

A área foliar entre os estádios V6 e R2 variou de 251 cm^2 a 1.697 cm^2 e não foi afetada pela restrição hídrica e pela desfolha (Apêndice E). A ausência de efeito significativo dos tratamentos sobre esta variável, apesar das grandes diferenças numéricas, está associada ao elevado valor de diferença mínima significativa entre médias, decorrente do alto coeficiente de variação (49%). Neste sentido, o valor da DMS foi de 465 para a restrição hídrica e de 709 para a desfolha.

Assim, a desfolha e a restrição hídrica não influenciaram a capacidade da planta de compensação foliar de V6 a R2. Esse resultado diverge de Wei et al. (2018) que verificaram elevada taxa de crescimento da área foliar após a retomada da irrigação. Os autores computaram médias de 87 cm^2 e 81 cm^2 dia para dois tratamentos com déficit hídrico severo no estágio vegetativo, enquanto o grupo controle permaneceu com a média de 77 cm^2 e 46 cm^2 dia. Esse resultado corrobora com Durli (2019) que também relatou que área foliar entre os estádios V6 e R2 não foi influenciada pelo desfolhamento no estádio V6, independentemente do grupo de maturação da cultivar.

A área foliar por planta entre os estádios R3 e R5 foi influenciada pelo efeito principal da restrição hídrica (Tabela 4, Apêndice E). Tanto a restrição hídrica moderada quanto a severa reduziram a capacidade da planta de emitir novas folhas.

Tabela 4 – Área foliar por planta de soja entre os estádios R3 e R5 em função da restrição hídrica no estádio R3 de desenvolvimento, na média de cinco níveis de desfolha. Lages, SC, 2017/2018.

	Nível de restrição hídrica[1/]			CV (%)
	Sem restrição	Moderada	Severa	
Área foliar por planta entre R3 e R5 (cm^2) [2/]	361 a*	226 b	242 b	47,5

[1/]Sem restrição: 90% da capacidade de campo do solo; Moderada: 70% da capacidade de campo do solo; Severa: 50% da capacidade de campo do solo. [2/]Estádios R3 (início da formação das vagens) e R5 (início do enchimento de grãos) segundo escala fenológica proposta por Fehr e Caviness (1977).*Médias seguidas por letras minúsculas distintas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.
Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Chowdhury et al. (2016) também observaram que o déficit hídrico resultou em perdas de área foliar em todas as fases de desenvolvimento de dez genótipos, sendo as mesmas mais acentuadas na reprodutiva. A redução da área foliar é uma das primeiras reações da planta em resposta ao déficit hídrico. Isto ocorre porque ela depende diretamente do turgor celular, que é muito sensível à redução de potencial hídrico no tecido. A redução da área foliar é um mecanismo morfofisiológico para equilibrar a conservação da água pelas plantas e a taxa de assimilação de CO_2 para a produção de carboidratos (TAIZ et al., 2017).

Não houve efeito significativo da desfolha sobre a área foliar entre V6 e R2 e a área foliar entre R3 e R5, independentemente do estádio fenológico em que ela foi realizada e do nível de umidade do solo. A expectativa teórica era de que a planta tivesse maior capacidade de expandir novas folhas nos tratamentos com maior desfolhamento, sem deficiência hídrica.

4.5.2 Produção de grãos por planta e componentes do rendimento

A produção de grãos por planta foi influenciada pelos efeitos principais de restrição hídrica e da desfolha nos dois experimentos (Apêndice F). A produção de grãos por planta reduziu com a imposição da restrição severa, nos dois estádios de desenvolvimento (Tabela 5).

Tabela 5 – Produção de grãos por planta, massa de 1.000 grãos, número de vagens por planta e número de grãos por vagem da soja em função da restrição hídrica nos estádios V6 e R3 de desenvolvimento, na média de cinco níveis de desfolha. Lages, SC, 2017/2018.

	Nível de restrição hídrica[1/]			CV (%)
	Sem restrição	Moderada	Severa	
		Estádio V6[2/]		
Produção de grãos por planta (g)	36,6 a*	33,3 ab	28,4 b	16,8
Massa de 1.000 grãos (g)	177,1 a	169,9 a	152,8 b	10,2
Vagens por planta (nº)	89,7 a	85,6 ab	78,1 b	9,9
		Estádio R3		
Produção de grãos por planta (g)	33,9 a	32,9 a	26,7 b	14,1
Massa de 1.000 grãos (g)	191,6 a	176,9 ab	164,2 b	10,6
Vagens por planta (nº)	84,6 a	74,4 b	58,0 c	10,8
Grãos por vagem (nº)	2,72 a	2,61 b	2,47 c	4,7

[1/]Sem restrição: 90% da capacidade de campo do solo; Moderada: 70% da capacidade de campo do solo; Severa: 50% da capacidade de campo do solo. [2/]Estádios V6 (seis nós do caule com folha completamente desenvolvida) e R3 (início da formação das vagens) segundo escala fenológica proposta por Fehr e Caviness (1977).*Médias seguidas por letras minúsculas distintas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%. Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Maleki et al. (2013) e Dermitas et al. (2010) observaram a redução de 9,3% e 6,5% na produção de plantas submetidas ao déficit hídrico nos estádios V4 e V5 de desenvolvimento, respectivamente. Mertz-Henning et al. (2018) verificaram uma redução média de 33,7% na produção por planta com déficit hídrico na fase vegetativa, em duas das três safras agrícolas de estudo. Estudos a campo e em casa de vegetação também demonstraram que o déficit hídrico imposto na fase reprodutiva resultou em reduções de 23% a 60% no rendimento de grãos (DERMITAS et al., 2010; EKHTIARI; KOBRAEE; SHAMSI, 2013; FIOREZE et al., 2013; GIMÉNEZ, 2014; MERTZ-HENNING et al., 2018).

Embora a água seja importante durante todo o ciclo da cultura, o período reprodutivo é o mais crítico, uma vez que o déficit hídrico na fase vegetativa pode ter seu efeito mitigado com chuvas subsequentes ao longo do desenvolvimento (MUNDSTOCK; THOMAS, 2005). No presente estudo, a redução da produção de grãos em função da restrição hídrica foi similar nas duas fases de desenvolvimento, na média de 8,2 g e 7,2 g no nível severo, em V6 e R3, respectivamente. Estes dados absolutos representam uma perda de 22,2% e 21,2% da produtividade do tratamento com restrição severa, em relação à testemunha.

O menor efeito da restrição hídrica na produção de grãos por planta no período reprodutivo diverge do comportamento que era esperado. Essa resposta pode estar associada às condições de ambiente da casa de vegetação durante a imposição da restrição hídrica (Tabela 6). A menor temperatura e a maior umidade relativa do ar durante a imposição da restrição hídrica no período reprodutivo permitem inferir que o estresse foi menos intenso nessa fase de desenvolvimento.

Tabela 6 – Valores máximo, mínimo e médio de temperatura e umidade relativa do ar na casa de vegetação durante o período de imposição da restrição hídrica a partir dos estádios V6 e R3 de desenvolvimento da soja.

	Temperatura do ar (ºC)			Umidade relativa do ar (%)		
Estádio de desenvolvimento	Mínima	Máxima	Média	Mínima	Máxima	Média
V6[1/]	19,2	40,8	27,0	27,8	93,0	67,4
R3	18,6	37,9	25,3	36,2	97,5	75,5

[1/]Médias equivalentes aos dias 12/11/17 a 24/11/17 para o período vegetativo e 5/01/18 a 16/01/18 para o reprodutivo. Estádios V6 (seis nós do caule com folha completamente desenvolvida) e R3 (início da formação das vagens) segundo escala fenológica proposta por Fehr e Caviness (1977).
Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Segundo Teixeira, Beltrão e Evangelista (2011), quanto maior a temperatura do ar, maior é a demanda evaporativa da atmosfera e mais intensos podem ser os prejuízos ocasionados pela deficiência hídrica às plantas. Estudos mostram que para cada 1º C de aumento na temperatura média do ar, as perdas no rendimento de grãos de soja podem variar de 3% a mais de 20% (TAO et al., 2012; ZHANG et al., 2016; ZHAO et al., 2017).

Zhang et al. (2016) estudaram os efeitos do aumento da temperatura no cultivo da soja em condições de campo. Os autores verificaram que o acréscimo de 0,4 ºC na temperatura média do ar ao longo de todo o desenvolvimento antecipou o florescimento da soja em 3,8 dias e encurtou a duração do ciclo da cultivar em 4,5 dias. O aumento de até 1,8 ºC no florescimento reduziu o rendimento de grãos em 45,0%, a massa de grãos em 20,8% e o índice de colheita em 41,0%. No presente trabalho, também de forma pontual ao longo do

desenvolvimento, houve o acréscimo de 1,7 ºC na temperatura média durante a imposição do estresse no período vegetativo.

Do mesmo modo, cultivares de hábito de crescimento indeterminado apresentam um maior período de sobreposição entre as fases vegetativa e reprodutiva (ZANON et al., 2015b), o que pode ter mitigado os efeitos da restrição hídrica no estádio R3. Além disso, a estabilidade produtiva da cultivar NA 5909 RG foi relatada em diferentes condições de cultivo (BICALHO et al., 2019; CÂMARA et al., 2018; DURLI, 2019; MATEI et al., 2017). Isto permitiu que as perdas na produção de grãos com a restrição hídrica severa nos períodos vegetativo e reprodutivo fossem similares.

A produção de grãos por planta diminuiu de forma quadrática à medida que aumentou a percentagem de desfolha nos dois experimentos (Figuras 10A e 10B). Quando a desfolha foi realizada em V6, houve a redução de 9,1 g nesta variável com 67% de desfolha, representando um decréscimo de 24,7% em relação à testemunha. Quando a desfolha foi realizada em R3, houve a redução de 8,3 g na produção por planta com 67% de desfolha, representando um decréscimo de 24,3%.

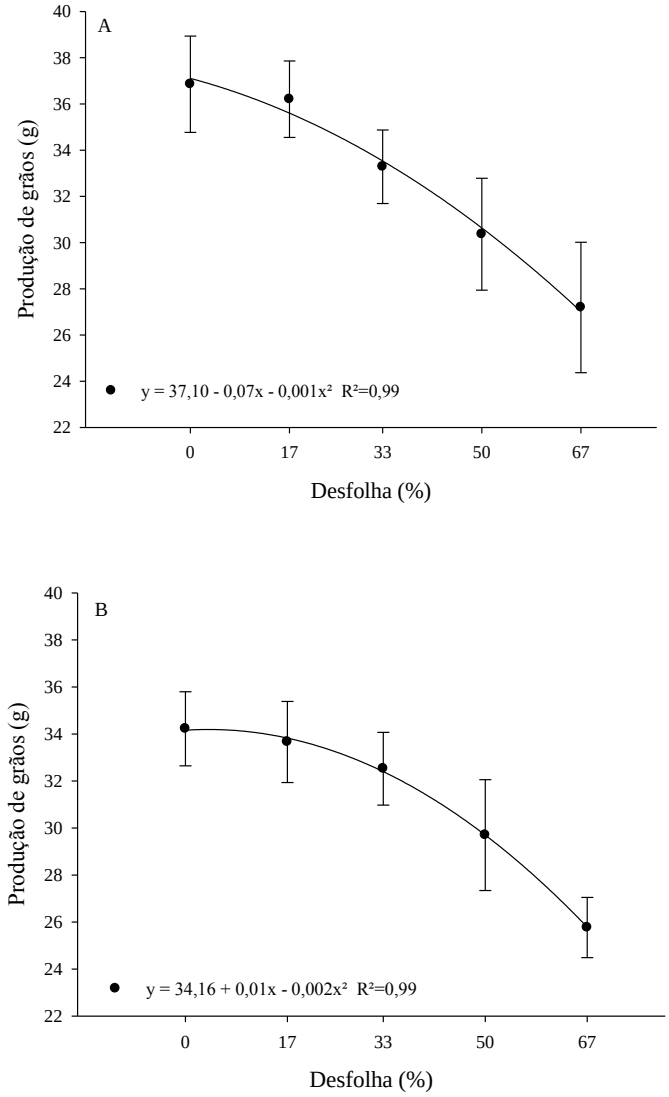
Esperava-se que houvesse maior efeito da desfolha realizada no período reprodutivo do que no vegetativo sobre a produção de grãos por planta, o que não ocorreu. Este comportamento pode estar associado ao efeito de compensação que existe entre os componentes do rendimento. A redução de somente um componente de rendimento através do desfolhamento em cada estádio (massa de 1.000 grãos em V6 e número de vagens por planta em R3) fez com que ao final, os efeitos do desfolhamento fossem similares nos dois períodos de desenvolvimento (Figuras 11 e 12).

O efeito da desfolha sobre o rendimento de grãos ao longo do desenvolvimento da cultura da soja foi relatado em diversos trabalhos. Bahry et al. (2013b) observaram a redução de 11,8% no rendimento de grãos com a desfolha progressiva a partir do estádio V4 de desenvolvimento. Monteiro et al. (2017) observaram redução da produção de grãos por planta a partir do nível de 10,7% de desfolha no estádio V6. Glier et al. (2015) relataram redução do rendimento de grãos com 25% de desfolhamento nos estádios V9, R3 e R5 e que as maiores perdas ocorreram no período reprodutivo de desenvolvimento. Durli (2019) observou que desfolhas superiores a 16,6% em R3 reduziram a produção de grãos, independentemente do grupo de maturação da cultivar.

Segundo Board e Kahlon (2011), as folhas remanescentes após o desfolhamento não compensam fotossinteticamente aquelas que foram perdidas. Assim, se houver perda de área foliar, haverá a redução da taxa fotossintética da planta, da produção de fotoassimilados e do

rendimento de grãos. As discordâncias de resultados com relação ao nível de desfolhamento e a fase de desenvolvimento mais crítica à desfolha ocorrem em função das variações ambientais e de manejo da cultura (PARCIANELLO, 2002).

Figura 10 – Produção de grãos por planta da soja em função da desfolha nos estádios V6 (A) e R3 (B) de desenvolvimento[1/], na média de três níveis de restrição hídrica. Lages, SC, 2017/2018. As barras indicam a média do tratamento ± o erro padrão.



[1/]Estádios V6 (seis nós do caule com folha completamente desenvolvida) e R3 (início da formação das vagens) segundo escala fenológica proposta por Fehr e Caviness (1977).
Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Os resultados comprovam que a soja é sensível à restrição hídrica nas fases vegetativa e reprodutiva de desenvolvimento (Tabela 5). Do mesmo modo, a soja é afetada pela perda de área foliar, uma vez que houve a redução da produção de grãos por planta com um nível de desfolha considerado baixo (17%) (Figura 10). Entretanto, não houve interação entre a

restrição hídrica e a desfolha. Portanto, os efeitos desses fatores no desempenho produtivo da soja foram independentes e aditivos. Este comportamento não confirmou a hipótese do trabalho de que a tolerância da soja à desfolha é menor em plantas submetidas à restrição hídrica.

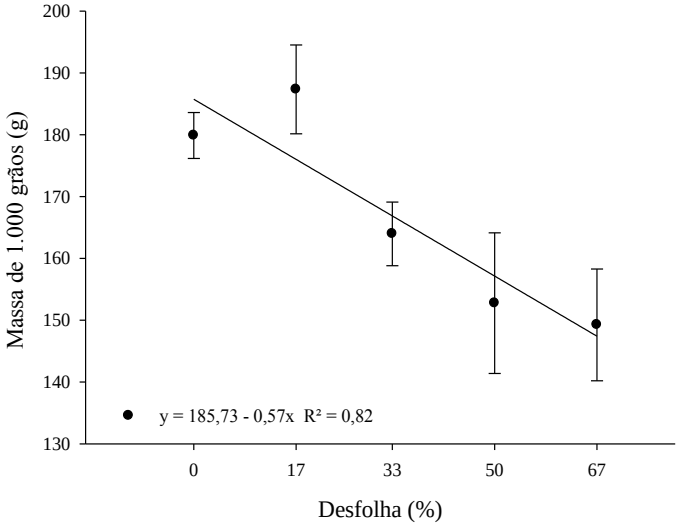
Grinnan, Carter Júnior e Johnson (2013a, 2013b) também não verificaram interação entre desfolha natural e o déficit hídrico no desempenho produtivo da soja, em experimentos conduzidos sob condições controladas e a campo. Os autores concluíram que os efeitos desses estressores podem ser estudados independentemente. Para Hawkes e Sullivan (2001), a herbivoria (simulada nesse estudo através da desfolha artificial) e fatores ambientais (incluindo a seca) raramente interagem, mas normalmente têm efeitos aditivos no desempenho da cultura.

A massa de 1.000 grãos foi influenciada pela restrição hídrica nos dois experimentos e pela desfolha em V6 (Apêndice F). A massa de grãos reduziu com a restrição severa nos dois estádios de desenvolvimento (Tabela 5). Segundo Mundstock e Thomas (2005), a falta de água altera o balanço entre o crescimento vegetativo e reprodutivo em qualquer fase do desenvolvimento. Mertz-Henning et al. (2018) e Giordani et al. (2019) verificaram redução da massa de grãos em algumas cultivares que foram submetidas ao déficit hídrico nas fases vegetativa e reprodutiva, ressaltando a importância das características do genótipo na resposta a esse tipo de déficit durante o desenvolvimento da cultura.

A massa de 1.000 grãos reduziu de forma linear à medida que aumentou a percentagem de desfolha no estádio V6 (Figura 11). Houve a redução de 5,7 g na massa de grãos para cada 10% de área foliar removida. O maior nível de desfolha reduziu em 38,1 g a massa de 1.000 grãos, representando um decréscimo de 20,6% na comparação com a testemunha. Este foi o único componente de rendimento influenciado pela imposição da desfolha no estádio V6 de desenvolvimento.

Bahry et al. (2013b) também verificaram redução da massa de grãos com o aumento da desfolha e que o menor valor foi obtido com o maior nível de desfolhamento. Entretanto, Bahry et al. (2013a), Glier et al. (2015) e Monteiro et al. (2017) não observaram redução da massa de grãos quando a desfolha foi realizada no período vegetativo. A redução da massa de grãos em função da desfolha está diretamente relacionada à limitação de área foliar, que resulta em menor produção de fotoassimilados para o enchimento de grãos (BAHRY et al., 2013b).

Figura 11 – Massa de 1.000 grãos da soja em função da desfolha no estádio V6 de desenvolvimento[1/], na média de três níveis de restrição hídrica. Lages, SC, 2017/2018. As barras indicam a média do tratamento ± o erro padrão.



[1/]Estádio V6 (seis nós do caule com folha completamente desenvolvida) segundo escala fenológica proposta por Fehr e Caviness (1977).
Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

A massa de 1.000 grãos não foi influenciada pela desfolha no estádio R3. A expectativa teórica era de que houvesse maior impacto da perda de área foliar na fase reprodutiva sobre esta variável, o que não aconteceu. Essa resposta está associada à compensação que existe entre os componentes do rendimento. Neste sentido, o número de vagens por planta foi negativamente afetado pela desfolha somente em R3 (Figura 12). Com um menor número de vagens para encher, a planta conseguiu manter a massa de grãos quando desfolhada.

O número de vagens por planta foi influenciado pela restrição hídrica nos dois experimentos e pela desfolha em R3 (Apêndice F). Quando aplicado em V6, somente a restrição severa reduziu o número de vagens por planta (Tabela 5). Quando aplicado em R3, tanto a restrição moderada quanto a severa reduziram esta variável. Mertz-Henning et al. (2018) também observaram redução do número de vagens por planta com o déficit hídrico ao longo dos períodos vegetativo e reprodutivo. Do mesmo modo, Nunes et al. (2016) relataram que o déficit hídrico severo reduziu o número de vagens por planta no período vegetativo. Já no reprodutivo, o déficit moderado e o severo diminuíram esta variável.

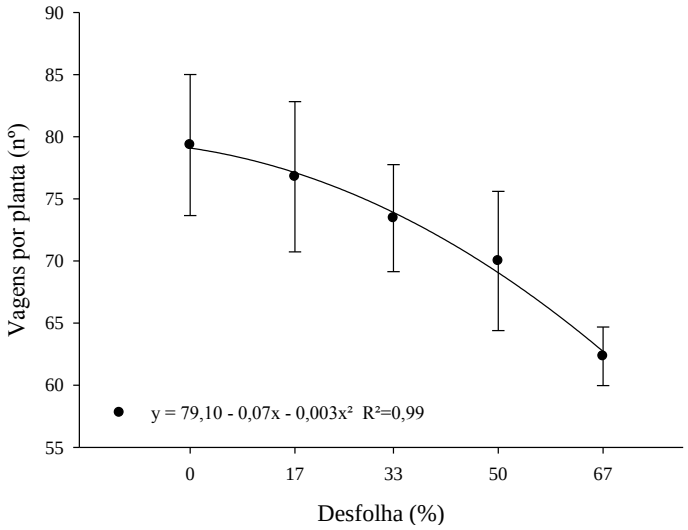
Quando o déficit hídrico ocorre durante o período vegetativo, a redução do número de vagens se deve à menor altura de planta e número de nós, bem como ao menor número de ramos, devido à alteração no balanço do crescimento em função da restrição de

fotoassimilados (MUNDSTOCK; THOMAS, 2005). Quando o déficit hídrico ocorre durante o florescimento e início da formação da vagem, o número de vagens é reduzido devido ao maior índice de abortamento de flores e vagens. Já quando ocorre durante o enchimento de grãos, o tamanho e a massa dos grãos são reduzidos (EKHTIARI; KOBRAEE; SHAMSI, 2013).

Essas respostas morfofisiológicas das plantas a restrição hídrica puderam ser observadas no presente trabalho, em que a redução do número de vagens com a restrição em V6 se relacionou ao menor comprimento do caule, número de nós e de ramos, enquanto que em R3 ao menor comprimento do caule e a maior altura de inserção da primeira vagem (Tabela 7, Figuras 13 e 14).

O número de vagens por planta diminuiu de forma quadrática à medida que aumentou a percentagem de desfolha (Figura 12). Houve a redução de 18,1 vagens por planta com o maior nível de desfolhamento, representando um decréscimo de 22,9% na comparação com a testemunha.

Figura 12 – Número de vagens por planta da soja em função da desfolha no estádio R3 de desenvolvimento[1/], na média de três níveis de restrição hídrica. Lages, SC, 2017/2018. As barras indicam a média do tratamento ± o erro padrão.



[1/]Estádio R3 (início da formação das vagens) segundo escala fenológica proposta por Fehr e Caviness (1977).
Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Zuffo et al. (2015) observaram redução do número de vagens por planta em todos os níveis de desfolhamento e estádios de desenvolvimento, que variaram de 33% a 99% e de R1 a R6, respectivamente. Do mesmo modo, Durli (2019) verificou a redução do número de

vagens com o aumento da desfolha no estádio R3 de desenvolvimento nas cultivares NA 5909 RG e TMG 7262 RR. Monteiro et al. (2017) relataram que houve a redução do número de vagens por planta somente com desfolha total no estádio R2 de desenvolvimento em estudo com cultivares de hábito de crescimento determinado e indeterminado.

A redução da área foliar impacta negativamente os componentes de rendimento pela diminuição na quantidade de fotoassimilados produzidos (SCHMILDT et al., 2010). Assim, a planta aborta parte das vagens e mantém às que possui capacidade de translocar fotoassimilados das folhas remanescentes (SILVA et al., 2015).

O número de grãos por vagem variou de 2,5 a 2,8 e não foi influenciado pela restrição hídrica e pela desfolha no estádio V6 de desenvolvimento (Apêndice F). Entretanto, ele foi influenciado pela restrição hídrica no estádio R3, reduzindo com o aumento da restrição (Tabela 5). Esse resultado corrobora com Maleki et al. (2013) que relataram a redução do número de grãos por vagem com a imposição da restrição hídrica em todos os estádios de desenvolvimento do período reprodutivo (florescimento, formação das vagens e enchimento de grãos) em três cultivares, enquanto que no período vegetativo isto não foi observado. Por outro lado, os dados divergem dos resultados obtidos por Dermitas et al. (2010). Estes autores não observaram a alteração do número de grãos por vagem com o déficit hídrico nos estágios vegetativo e reprodutivo de desenvolvimento. A associação de dois tipos de estresse na fase reprodutiva (hídrico e desfolha) pode ter acentuado a restrição de fonte na planta, reduzindo o número de grãos por vagem, característica que normalmente é pouco influenciada pelo meio de cultivo (SILVA et al., 2015).

4.5.3 Características morfológicas

O comprimento do caule foi influenciado pela restrição hídrica em V6 e em R3 e pela desfolha em R3 (Apêndice G). Ele foi menor quando a restrição severa foi aplicada nos dois estádios de desenvolvimento (Tabela 7).

Esse resultado corrobora com Chowdhury et al. (2016) que observaram que o déficit hídrico reduziu a altura de planta de dez genótipos de soja nos períodos vegetativo e reprodutivo. Ele diverge dos dados reportados por Maleki et al. (2013) que relataram redução da altura de planta com o déficit hídrico apenas no estádio V4 de desenvolvimento, em experimento que também avaliou a influência do déficit no florescimento, formação das vagens e enchimento de grãos. Nunes et al. (2016) observaram os menores valores de altura

de planta quando o déficit hídrico foi aplicado no estágio vegetativo, enquanto no reprodutivo as respostas dependeram da cultivar.

Tabela 7 – Comprimento do caule, número de nós, número de ramos e diâmetro do caule da soja em função da restrição hídrica nos estádios V6 e R3 de desenvolvimento, na média de cinco níveis de desfolha. Lages, SC, 2017/2018.

	Nível de restrição hídrica[1/]			CV(%)
	Sem restrição	Moderada	Severa	
		Estádio V6[2/]		
Comprimento do caule (cm)	70,1 a*	67,3 ab	57,9 b	18,9
Número de nós (nº)	12,8 a	12,4 ab	11,9 b	6,4
Número de ramos (nº)	8,6 a	8,5 ab	7,9 b	8,7
Diâmetro do caule (mm)	9,2 a	9,1 a	8,3 b	6,7
		Estádio R3		
Comprimento do caule (cm)	71,1 a	70,9 a	64,2 b	7,7
Diâmetro do caule(mm)	9,2 a	8,8 ab	8,6 b	5,9

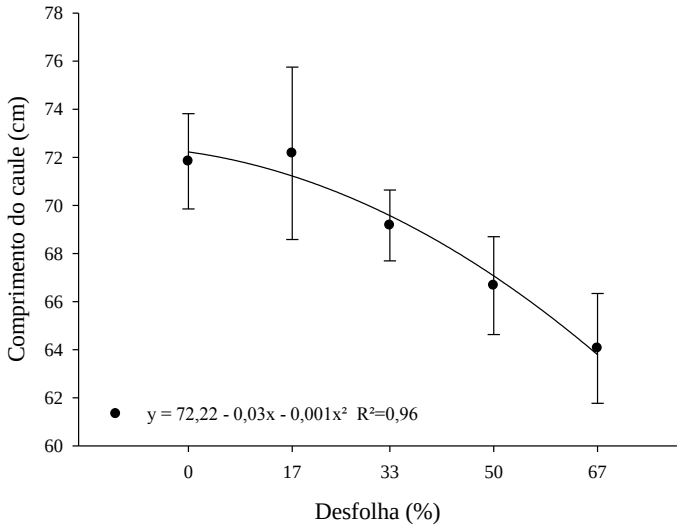
[1/]Sem restrição: 90% da capacidade de campo do solo; Moderada: 70% da capacidade de campo do solo; Severa: 50% da capacidade de campo do solo. [2/]Estádios V6 (seis nós do caule com folha completamente desenvolvida), e R3 (início da formação das vagens) segundo escala fenológica proposta por Fehr e Caviness (1977).*Médias seguidas por letras minúsculas distintas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.
Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Segundo Dong et al. (2019), a redução da altura da planta com o déficit hídrico é inversamente proporcional à duração, intensidade e frequência do estresse. Após a reidratação, a planta tende a um rápido incremento de altura. Entretanto, essa compensação será sempre parcial. A redução do comprimento do caule com o aumento da restrição hídrica esteve associada ao decréscimo do número de nós em V6 e à redução do comprimento dos entrenós em R3 (Tabela 7).

Em R3, o comprimento do caule diminuiu de forma quadrática à medida que aumentou a percentagem de desfolha em R3 (Figura 13). Houve a redução de 9% no comprimento do caule com o maior nível de desfolhamento, em relação à testemunha.

Rezaei et al. (2012) também relataram que desfolhas de 25%, 50% e 75% diminuíram a altura de planta no estágio reprodutivo de desenvolvimento, sendo que a maior redução ocorreu com o maior nível de desfolhamento. Zuffo et al. (2015) não observaram diferença da altura de planta com desfolhas de 33%, 66% e 99% do estádio R1 ao R6. Entretanto, a cultivar utilizada no estudo era de hábito de crescimento determinado, que tende a finalizar o crescimento próximo ao florescimento.

Figura 13 – Comprimento do caule da soja em função da desfolha no estádio R3 de desenvolvimento[1/], na média de três níveis de restrição hídrica. Lages, SC, 2017/2018. As barras indicam a média do tratamento ± o erro padrão.



[1/]Estádio R3 (início da formação das vagens) segundo escala fenológica proposta por Fehr e Caviness (1977).
Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

O número de nós foi influenciado pela restrição hídrica em V6 (Apêndice G). Ele reduziu com a restrição severa em V6 (Tabela 7). Esse resultado diverge dos dados obtidos por Dermitas et al. (2010) que não observaram a influência do déficit hídrico no número de nós por planta no estádio V5 de desenvolvimento.

Em R3, o número de nós por planta variou de 13,3 a 14,6 e não apresentou diferença estatística entre os tratamentos (dados não mostrados). Giordani et al. (2019) também não observaram a influência do déficit hídrico no estágio reprodutivo de desenvolvimento no número de nós por planta, em duas cultivares de estudo. Embora cultivares de hábito de crescimento indeterminado possam emitir nós até o enchimento de grãos (ZANON et al., 2016), os resultados mostram que o efeito da restrição hídrica sobre esta variável foi mais acentuado no período vegetativo do que no reprodutivo de desenvolvimento.

O número de ramos por planta foi afetado pela restrição hídrica no estádio V6, diminuindo com a imposição da restrição severa (Apêndice G, Tabela 7). Mirakhori et al. (2009) também observaram redução de 16,9 para 14,2 no número de ramos com o aumento do déficit hídrico no estágio vegetativo de desenvolvimento. Do mesmo modo, Durli (2019) não verificou a influência da desfolha no estádio V6 no número de ramos por planta, em três cultivares com diferentes grupos de maturação.

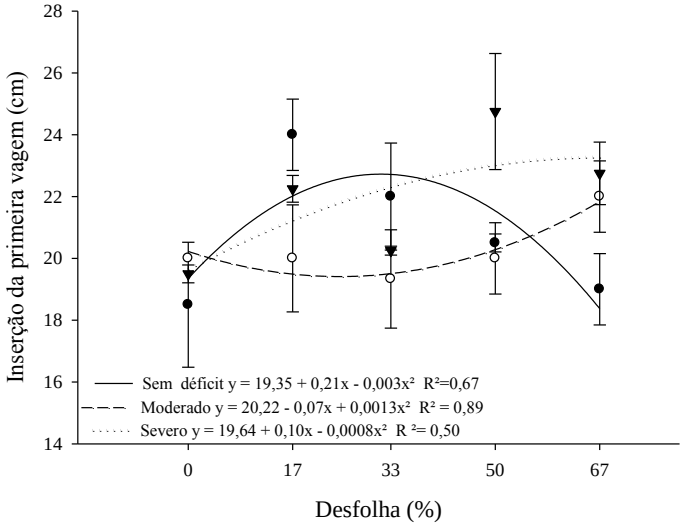
Quando a desfolha foi feita em R3, o número de ramos variou de 7,6 a 9,0 e não apresentou diferença estatística entre os tratamentos (dados não mostrados). Dermitas et al. (2010) observaram a redução do número de ramos por planta nos tratamentos em que houve a combinação do déficit hídrico em mais de um estádio de desenvolvimento durante o período reprodutivo (R2 e R4, R2 e R6). Segundo Zanon et al. (2015a), a contribuição das ramificações para o IAF inicia quando as plantas de soja apresentam entre 4 a 6 folhas no caule, sugerindo que esta variável já estava determinada no estádio R3 e por isso não foi alterada quando a restrição hídrica e a desfolha foram aplicadas.

A altura de inserção de primeira vagem variou de 9,5 cm a 17,5 cm e não foi influenciada pela restrição hídrica e pela desfolha no estádio V6 (Apêndice G). Gava et al. (2015) também não observaram diferença na altura de inserção de primeira vagem quando o déficit hídrico foi aplicado no estágio vegetativo de desenvolvimento. Do mesmo modo, Bahry et al. (2013a) relataram que a desfolha progressiva de até 66,7% do estádio V4 a V9 não influenciou a altura de inserção da primeira vagem.

Na desfolha feita em R3, a altura de inserção de primeira vagem foi influenciada pela interação entre restrição hídrica e desfolha (Apêndice G). Houve o aumento quadrático desta variável à medida que aumentou a percentagem de desfolha (Figura 14). Esse acréscimo foi de 3,1%, 5,7% e 15,8% do maior nível de desfolhamento em relação à testemunha, nos tratamentos sem restrição, com restrição moderada e severa, respectivamente.

Fioreze et al. (2013) analisaram o número de vagens no terço inferior, médio e superior de plantas de soja submetidas à deficiência hídrica por 12 dias a partir do estádio R2 de desenvolvimento. Os autores observaram que o terço inferior foi o mais afetado, apresentando o menor número de vagens e grãos. Segundo Nunes et al. (2016), em plantas que sofrem déficit hídrico no estágio reprodutivo, o aborto de vagens ocorre em posições mais baixas do caule. Consequentemente, as vagens concentram-se em posições mais altas, causando maiores valores dessa variável. Neste trabalho, observou-se a tendência de aumento na altura de inserção da primeira vagem com o incremento da desfolha e da deficiência hídrica. Isto ocorreu devido ao abortamento de flores e vagens do terço inferior do caule causado pelos dois tipos de estresse.

Figura 14 – Altura de inserção da primeira vagem da soja em função da restrição hídrica e da desfolha no estádio R3 de desenvolvimento[1/]. Lages, SC, 2017/2018. As barras indicam a média do tratamento ± o erro padrão.



[1/]Estádio R3 (início da formação das vagens) segundo escala fenológica proposta por Fehr e Caviness (1977).
Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

O diâmetro do caule foi influenciado pela restrição hídrica em V6 e R3 e pela desfolha em R3 (Apêndice H). Ele reduziu com a restrição severa nos dois estádios de desenvolvimento (Tabela 7). Nunes et al. (2016) também relataram a redução do diâmetro do caule com o déficit severo no estágio vegetativo. Entretanto, no período reprodutivo, a restrição hídrica moderada já foi o suficiente para reduzir o diâmetro do caule em duas cultivares.

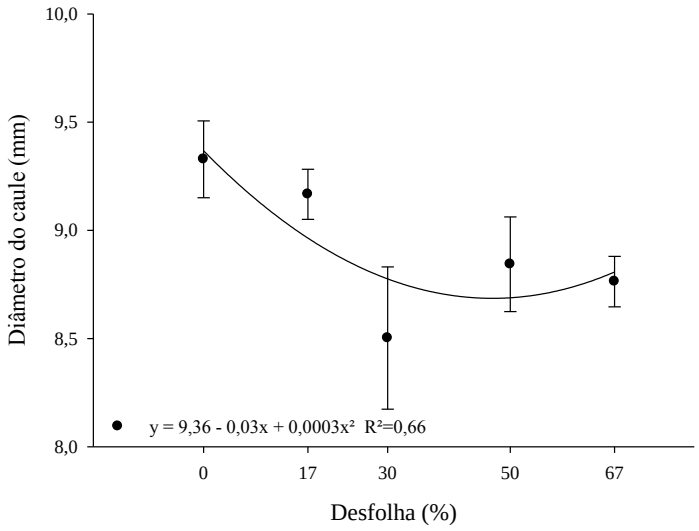
Chavarria et al. (2015) não observaram redução do diâmetro do caule após 11 dias de déficit hídrico a partir do estádio V7 de desenvolvimento. Entretanto, essa avaliação foi realizada no estádio V9, poucos dias após a imposição dos tratamentos. Segundo Shao et al. (2008), o déficit hídrico diminui a absorção de nutrientes e a taxa fotossintética devido à redução na concentração interna de CO_2 causada pelo fechamento estomático, prejudicando a formação de tecidos vegetais.

Quando a redução de área foliar foi imposta em R3, o diâmetro do caule diminuiu de forma quadrática à medida que aumentou a percentagem de desfolha (Figura 15). Houve um decréscimo de 7,1% no diâmetro do caule com o maior nível de desfolhamento, em relação à testemunha.

Durli (2019) também observou a redução do diâmetro do caule à medida que aumentou o nível de desfolha no estádio R3 de desenvolvimento, independentemente do

grupo de maturação da cultivar. Segundo o autor, essa resposta está associada à remobilização de fotoassimilados do caule para outros drenos da planta visando compensar as perdas de área foliar.

Figura 15 – Diâmetro do caule da soja em função da desfolha no estádio R3 de desenvolvimento[1/], na média de três níveis de restrição hídrica. Lages, SC, 2017/2018. As barras indicam a média do tratamento ± o erro padrão.



[1/]Estádio R3 (início da formação das vagens) segundo escala fenológica proposta por Fehr e Caviness (1977).
Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

O rendimento biológico foi influenciado pela restrição hídrica nos estádios V6 e R3 e pela desfolha em R3 (Apêndice H). O rendimento biológico reduziu com a restrição hídrica severa nos dois estádios de desenvolvimento (Tabela 8).

Tabela 8 – Rendimento biológico e índice de colheita da soja em função da restrição hídrica nos estádios V6 e R3 de desenvolvimento, na média de cinco níveis de desfolha. Lages, SC, 2017/2018.

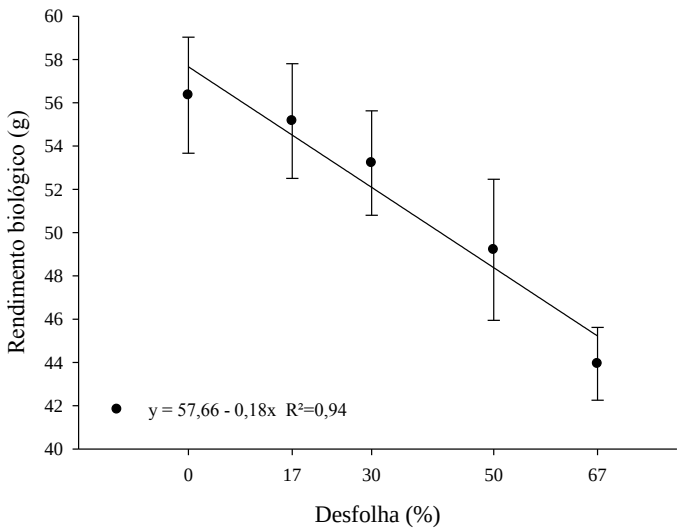
	Nível de restrição hídrica[1/]			
	Sem restrição	Moderada	Severa	CV(%)
		Estádio V6[2/]		
Rendimento biológico (g)	59,3 a*	59,0 ab	46,2 b	26,3
		Estádio R3		
Rendimento biológico (g)	55,9 a	54,0 a	44,7 b	12,5
Índice de colheita (g/g)	0,55 a	0,55 ab	0,54 b	3,3

[1/]Sem restrição: 90% da capacidade de campo do solo; Moderada: 70% da capacidade de campo do solo; Severa: 50% da capacidade de campo do solo. [2/]Estádios V6 (seis nós do caule com folha completamente desenvolvida) e R3 (início da formação das vagens) segundo escala fenológica proposta por Fehr e Caviness (1977).*Médias seguidas por letras minúsculas distintas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.
Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Maleki et al. (2013) observaram a redução do rendimento biológico com o déficit hídrico no florescimento, formação das vagens e enchimento de grãos e que o mesmo não ocorreu no estádio V4 de desenvolvimento, em três cultivares de estudo. Wei et al. (2018) relataram perdas de 10% na produção de matéria seca quando o déficit hídrico ocorreu no período vegetativo e de 51% no período reprodutivo. Os autores sugerem que a cultura consegue compensar os efeitos negativos do déficit hídrico quando o mesmo ocorre no início do período vegetativo. A redução do rendimento biológico com a restrição hídrica no período vegetativo registrada no presente estudo está relacionada à condução do experimento em casa de vegetação. A limitação do volume de solo devido ao uso dos vasos reduziu a capacidade de compensação da planta após a imposição da restrição hídrica em V6.

Em R3, o rendimento biológico reduziu linearmente à medida que aumentou a percentagem de desfolha (Figura 16). A taxa de decréscimo na produção total de fitomassa da planta foi de 1,6 g par cada 10% de área foliar removida. Houve a redução de 1,8 g no rendimento biológico para cada 10% de área foliar removida, resultando em um decréscimo de 20,9% do maior nível de desfolhamento para a testemunha.

Figura 16 – Rendimento biológico da soja em função da desfolha no estádio R3 de desenvolvimento[1/], na média de três níveis de restrição hídrica. Lages, SC, 2017/2018. As barras indicam a média do tratamento ± o erro padrão.



[1/]Estádio R3 (início da formação das vagens) segundo escala fenológica proposta por Fehr e Caviness (1977).
Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Islam (2014) relatou a redução do rendimento biológico em todos os níveis de desfolha impostos 53 dias após a semeadura, que variaram desde a remoção de um trifólio do

topo da planta até 100% de desfolhamento. Durli (2019) também observou redução do rendimento biológico com o aumento da desfolha no estádio R3 de desenvolvimento, em três cultivares com grupo de maturação distintos.

O índice de colheita variou de 0,49 a 0,59 (dados não mostrados) e não foi afetado pela restrição hídrica e pela desfolha no estádio V6 (Apêndice H). Mirakhori et al. (2009) e Dermitas et al. (2010) também não verificaram influência do déficit hídrico no índice de colheita quando o estresse foi aplicado no estágio vegetativo de desenvolvimento.

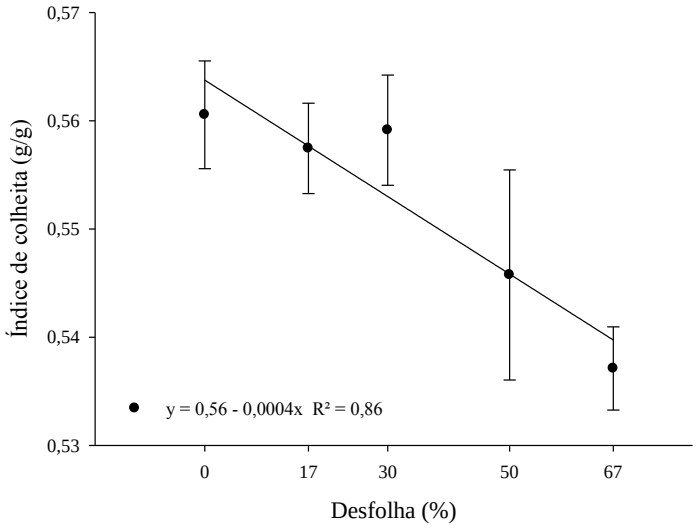
Em R3 houve a influência dos dois fatores de estudo sobre o índice de colheita. Ele reduziu com a imposição da restrição severa no início da formação das vagens (Tabela 8). Maleki et al. (2013) observaram redução do índice de colheita com o déficit hídrico em todos os estádios do período reprodutivo (florescimento, formação das vagens e enchimento de grãos). De forma similar ao presente trabalho, os autores constataram pouca influência do déficit hídrico no período vegetativo sobre esta variável em três cultivares de soja.

Mertz-Henning et al. (2018) também relataram a redução do índice de colheita em quatro genótipos de estudo submetidos ao déficit hídrico no estágio reprodutivo de desenvolvimento. Os autores atribuíram esse resultado ao menor número de vagens e de grãos por planta que reduziram a força do dreno. No presente trabalho, a restrição hídrica em R3 também reduziu o número de vagens e de grãos por planta e, consequentemente, o índice de colheita (Tabela 5).

O índice de colheita reduziu linearmente à medida que aumentou a percentagem de desfolha no estádio R3 (Figura 17). Houve a redução de 4,8% no índice de colheita com o maior nível de desfolhamento, em relação à testemunha.

Zuffo et al. (2015) observaram redução do índice de colheita em todos os níveis de desfolha (33%, 66% e 99%) do estádio R1 ao R6 de desenvolvimento. Por outro lado, Board et al. (2010) relataram que somente desfolhas mais severas (66% e 100%) a partir do estádio R5 reduziram o índice de colheita, em dois locais de estudo. Do mesmo modo, Rezaei et al. (2012) observaram menor índice de colheita com as maiores desfolhas (50% e 75%) no estágio reprodutivo de desenvolvimento.

Figura 17 – Índice de colheita da soja em função da desfolha no estádio R3 de desenvolvimento[1/], na média de três níveis de restrição hídrica. Lages, SC, 2017/2018. As barras indicam a média do tratamento ± o erro padrão.



[1/]Estádio R3 (início da formação das vagens) segundo escala fenológica proposta por Fehr e Caviness (1977).
Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

O índice de colheita expressa a eficiência da conversão da biomassa vegetal em rendimento de grãos (PETTER et al., 2012). A influência da desfolha no índice de colheita indica mudanças no padrão de conversão da biomassa vegetal em grãos que podem levar a perdas no potencial produtivo e de utilização de recursos durante o desenvolvimento da soja (ZUFFO et al., 2015). Estes efeitos são mais significativos quando a desfolha ocorre na fase reprodutiva, conforme observado no presente trabalho.

4.6 CONCLUSÕES

A restrição hídrica de até 50% da capacidade de campo do solo por sete dias em casa de vegetação reduz a produção de grãos por planta da cultivar NA 5909 RG tanto na fase vegetativa quanto na reprodutiva, independentemente do nível de desfolha.

O aumento da percentagem de desfolha até o nível de 67% em V6 e R3 reduz a produção de grãos por planta da cultivar NA 5909 RG em casa de vegetação, independentemente do nível de umidade do solo.

A imposição da restrição hídrica nas fases vegetativa e reprodutiva não aumenta a sensibilidade à desfolha da cultivar NA 5909 RG cultivada em casa de vegetação.

5 CAPÍTULO 3: TOLERÂNCIA DA SOJA À DESFOLHA NO INÍCIO DE FORMAÇÃO DAS VAGENS EM FUNÇÃO DA FERTILIDADE DO SOLO

5.1 RESUMO

A deficiência de nutrientes diminui a expansão de novas folhas, a duração da área foliar e a atividade fotossintética da planta. Estas restrições podem aumentar a sensibilidade da soja ao desfolhamento. Este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da fertilidade do solo sobre a tolerância da soja à desfolha no início de formação das vagens. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no município de Lages, SC, durante o ano agrícola 2017/2018. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso. Os tratamentos foram dispostos no esquema fatorial 2 x 5. Foram testados dois níveis de fertilidade do solo (alto e baixo) e cinco níveis de desfolha (0%, 17%, 33%, 50% e 67%). A desfolha foi feita no estádio R3 de desenvolvimento da cultivar NA 5909 RG. Foram avaliadas características morfológicas, a produção de grãos por planta e os componentes de rendimento. A área foliar foi maior sob condições de alta fertilidade nos estádios R3 (início de formação das vagens) e R5 (início do enchimento de grãos) de desenvolvimento. Em R5, a área foliar reduziu 63,8% no maior nível de desfolhamento, em relação à testemunha, independentemente da fertilidade do solo. Houve incremento de 12,9% da área foliar entre R3 e R5 entre o maior nível de desfolhamento e a testemunha sob condições de alta fertilidade. Sob baixa fertilidade não houve alterações significativas da área foliar entre R3 e R5 em função da desfolha. A produção de grãos aumentou 24,7% no ambiente de alta fertilidade de solo. O aumento da desfolha de 0% para 67% reduziu 11,9% à produção de grãos por planta nas duas condições de fertilidade. Portanto, a redução da fertilidade do solo não aumentou a sensibilidade da cultivar NA 5909 RG à desfolha.

Palavras-chave: *Glycine max*. Produção de grãos. Nutrição de plantas. Área foliar.

5.2 ABSTRACT

The nutrients deficiency reduces the expansion of new leaves, leaf area duration and the plant photosynthetic activity. These restrictions may enhance soybean sensibility to defoliation. The aim of this study was to evaluate the effects of soil fertility on soybean tolerance to defoliation in the beginning of pod formation. A greenhouse experiment was conducted, in Lages, SC, during the 2017/2018 growing season. The experimental design was randomized block. Treatments were arranged in a 2 x 5 factorial scheme. Two soil fertility levels (high and low) and five leaf defoliation levels (0%, 17%, 33%, 50% and 67%) were tested. Defoliation was performed in the R3 growth stage of the cultivar NA 5909 RG. Morphological characteristics, grain production per plant and yield components were evaluated. Leaf area at R3 (beginning of pod formation) and R5 (beginning of grain filling) was higher under high fertility condition. At R5, leaf area was reduced by 63.8% at the

highest level of defoliation, in comparison to the control, regardless of soil fertility. There was a leaf area increase from R3 to R5 of 12.9% between the highest level of defoliation and the control under high fertility condition. Defoliation did not affect the leaf area between R3 and R5 under low fertility condition. Grain production increased 24.7% in the high fertility condition. The increase in defoliation level from 0% to 67% reduced 11.9% grain production per plant, at both levels of fertility. Therefore, the reduction of soil fertility did not increase the sensibility of cultivar NA 5909 RG to defoliation.

Keywords: *Glycine max*. Grain production. Plant nutrition. Leaf area.

5.3 INTRODUÇÃO

Os nutrientes desempenham funções essenciais em qualquer fase de desenvolvimento das culturas, seja por influência direta, quando são necessários para uma etapa metabólica específica, ou indireta, pela da alteração nas concentrações de fotossintatos e de fito-hormônios (ENGELS; KIRKBY; WHITE, 2012).

O nitrogênio, depois do carbono, é o elemento requerido em maior quantidade pelas plantas como constituinte de proteínas, ácidos nucleicos, clorofila, coenzimas, fito-hormônios e metabólitos secundários. O enxofre é importante para sintetizar enzimas e coenzimas, bem como compostos secundários como glucosinolatos. O fósforo é elemento estrutural dos ácidos nucleicos e desempenha papel fundamental na transferência de energia como componente dos fosfatos de adenosina e de carboidratos nas células foliares (HAWKESFORD et al., 2012).

O magnésio, além de componente da clorofila, é necessário para a fotossíntese e síntese de proteínas. O cálcio é importante para a estabilização da parede celular e da membrana, osmorregulação e como mensageiro secundário, permitindo que as plantas regulem processos em resposta a estímulos ambientais. O potássio é essencial para a extensão celular e o movimento osmorregulatório de estômatos, além de influenciar o fluxo de massa dentro da planta (HAWKESFORD et al., 2012).

Ferro, manganês e cobre são essenciais para sistemas redox como ativadores de várias enzimas, incluindo as envolvidas na desintoxicação de radicais superóxido. O zinco, além da desintoxicação dos radicais superóxido, atua na integridade da membrana, bem como na síntese de proteínas e de fito-hormônios. O níquel e o molibdênio estão envolvidos no metabolismo do nitrogênio como componentes das enzimas urease, nitrogenase e nitrato redutase, respectivamente. O boro é crucial para a parede celular e integridade da membrana, enquanto o cloro desempenha um papel importante na osmorregulação e no movimento de estômatos (BROADLEY et al., 2012).

Bender, Haegele e Below (2015) quantificaram a absorção, partição e remobilização de nutrientes em variedades atuais de soja com um rendimento médio de 3.500 kg ha^{-1}. Os autores relataram diferenças intra-sazonais de absorção e no padrão de acúmulo dos nutrientes. As absorções de K e Fe ocorreram principalmente durante o crescimento vegetativo tardio e reprodutivo precoce, em contraste com as absorções de N, P, Ca, Mg, S, Zn, Mn, B e Cu, que foram distribuídas de maneira mais uniforme durante todo o ciclo de desenvolvimento. A proporção relativa de acúmulo de nutrientes no grão foi de 81%, 73%, 62% e 61% para P, N, Cu e S, respectivamente, sugerindo que estes elementos podem causar a maior limitação no rendimento de grãos.

A maioria dos nutrientes é absorvida da solução do solo. Contudo, grande parte do nitrogênio é obtido por meio da fixação realizada pelas bactérias no interior dos nódulos das raízes e uma pequena parte do enxofre pelo ar nas formas SO_2 e H_2S. Os nutrientes são absorvidos junto com a água pelas raízes da planta e movem-se até às folhas e outros órgãos vegetativos (RITCHIE et al., 1985). De modo geral, a maior disponibilidade de nutrientes leva ao aumento da absorção dos mesmos, da produção total de biomassa e, consequentemente, do rendimento de grãos (BENDER; HAEGELE; BELOW, 2015; CARVALHO et al., 2012; DUARTE et al., 2016; GONÇALVES JÚNIOR et al., 2010). Distúrbios nutricionais que reduzem o crescimento e o rendimento de grãos são caracterizados por sintomas visíveis específicos quando a deficiência ou o excesso de um nutriente está em um nível avançado (RÖMHELD, 2012).

Estresses abióticos e bióticos, como a desfolha, reduzem a fotossíntese e aceleram a senescência foliar, podendo diminuir o rendimento de grãos por limitação de fonte. Nestas condições, as reservas de nutrientes acumuladas nos órgãos vegetativos durante o desenvolvimento se tornam uma importante fonte de assimilados para o enchimento de grãos (ENGELS; KIRKBY; WHITE, 2012). Bender, Haegele e Below (2015) relataram que dois terços do K acumulado nos grãos resultaram da remobilização do nutriente do caule e dos pecíolos da planta.

Do mesmo modo, duas respostas são comumente observadas em plantas que sofreram o desfolhamento: i) aumento da capacidade fotossintética das folhas remanescentes; ii) aumento das taxas de crescimento de folhas (BRISKE; RICHARDS, 1995). A deficiência de nutrientes limita a capacidade da planta de expandir novas folhas, reduz a fotossíntese, diminuiu a duração da área foliar e o tempo em que as folhas atuam como fonte fornecendo fotoassimilados para os drenos (ENGELS; KIRKBY; WHITE, 2012). Portanto, ao sofrer

desfolhamento, as respostas das plantas adaptadas a ambientes férteis diferem das de ambientes inférteis (BRISKE; RICHARDS, 1995).

Este trabalho foi realizado com base na hipótese de que a tolerância da soja à desfolha é influenciada pela fertilidade do solo, sendo menor em solos com baixa fertilidade. Esta hipótese se baseou no fato que sob baixa fertilidade do solo as plantas têm menor área foliar e atividade fotossintética, o que pode limitar sua capacidade de recuperação após o desfolhamento. O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da fertilidade do solo sobre a tolerância da soja à desfolha na fase reprodutiva de desenvolvimento.

5.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina (CAV-UDESC), em Lages, SC, durante o ano agrícola 2017/2018. A casa de vegetação foi mantida na temperatura média de 25ºC e com umidade relativa do ar de aproximadamente 70%. Além da ventilação, a casa de vegetação possuía um sistema automático de resfriamento que era acionado sempre que a temperatura ultrapassasse 25 ºC. O painel de resfriamento era do tipo evaporativo humicool e estava conectado a um conjunto moto-bomba. A iluminação era natural.

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, em esquema fatorial 2 x 5, com três repetições, totalizando 30 unidades experimentais. Cada unidade experimental foi representada por um vaso de polietileno com capacidade de cinco litros. Foram testados dois níveis de fertilidade do solo (alto e baixo) e cinco níveis de desfolha (0%, 17%, 33%, 50% e 67%) no estádio R3 de desenvolvimento (início da formação das vagens), segundo escala fenológica proposta por Fehr e Caviness (1977).

A desfolha foi realizada com auxílio de tesouras. Os folíolos de todos os trifólios da planta foram removidos ou cortados longitudinalmente de acordo com o nível de cada tratamento, conforme ilustrado na Figura 1. O nível de 0% de desfolha foi equivalente à testemunha, 17% e 33% ficaram próximos aos níveis de dano econômico (NDE) propostos pelo MIP para as fases reprodutiva e vegetativa, respectivamente, e 50% e 67% foram valores acima do NDE em qualquer fase de desenvolvimento da cultura. Foi utilizada a cultivar NA 5909 RG que pertence ao grupo de maturação 6.2, possui hábito de crescimento indeterminado e tem grande expressividade em área cultivada no sul do Brasil (MAPA, 2020b).

Para a caracterização dos níveis de fertilidade do solo, utilizou-se um solo classificado como Nitossolo Vermelho distrófico com as seguintes características da camada de 0 a 20 cm: 330 g dm^{-3} de argila; 4,8 de pH em água; 4,6 mg dm^{-3} de P, 72 mg dm^{-3} de K; 2,9 g dm^{-3} de matéria orgânica; 1,5 $cmol_c$ dm^{-3} de Ca; 0,4 $cmol_c$ dm^{-3} de Mg; 6,5 $cmol_c$ dm^{-3} de Al e 56,7 $cmol_c$ dm^{-3} de CTC. Para a correção do pH, as doses de calcário foram determinadas seguindo o método de incubação proposto por Dunn (1943), pela adição de doses crescentes de calcário em quatro amostras de solo que foram umedecidas com água destilada. As medições de pH foram feitas com um eletrodo combinado de vidro, saturado de KCl e calibrado em pH 4,0 e 7,0 com padrões tampões. Os valores finais do pH em água foram plotados *versus* as doses de calcário e ajustados a modelos de regressão polinomial, estimando-se a quantidade de calcário necessária para atingir os valores de pH de 5,0 e 6,0. Eles resultaram nas quantidades de 7,6 g e de 19 g de calcário dolomítico para os tratamentos com baixa e alta fertilidade do solo, respectivamente.

A correção da fertilidade seguiu a recomendação da Comissão de Química e Fertilidade do Solo (2016). Para o tratamento com alta fertilidade, as doses de fertilizante foram calculadas visando à obtenção de rendimento de grãos de 6.000 kg ha^{-1}. Para o tratamento com baixa fertilidade, a dose de superfosfato triplo foi determinada pela relação entre a quantidade de fósforo necessária para a obtenção de 36 mg de P dm^3 no solo (disponibilidade alta) e de 6 mg de P dm^3 no solo (disponibilidade baixa). Não foi necessária a aplicação de cloreto de potássio, pois o nível de potássio no solo era baixo.

Assim, para o tratamento de baixa fertilidade, 7,6 g de calcário dolomítico filler e 1 g de superfosfato triplo foram incorporados ao solo visando elevar o pH a 5,5 e manter os valores de fósforo e potássio baixos. Para o tratamento com alta fertilidade, foram utilizados 3,4 g de superfosfato triplo e 2,4 g de cloreto de potássio e 19 g de calcário dolomítico filler, visando elevar o pH a 6,0. O calcário foi incorporado ao solo aproximadamente 30 dias antes da implantação do experimento e os fertilizantes no dia da semeadura.

O experimento foi implantado no dia 14/11/2017, depositando-se cinco sementes por vaso previamente preenchido com solo peneirado. As sementes foram tratadas com 2 ml kg^{-1} de ciantraniliprole + tiametoxam (Fortenza Duo®) e com 3 ml kg^{-1} de inoculante (Masterfix Soja®). O desbaste foi realizado quando as plantas estavam no estádio V1, mantendo-se uma planta por vaso. O solo foi mantido com a umidade próxima à capacidade de campo através de irrigação diária dos vasos durante todo o experimento.

O controle de doenças foi realizado com 1 g L^{-1} de azoxistrobina + benzovindiflupir (Elatus®) e 2,6 ml L^{-1} de trifloxistrobina + protioconazol (Fox®), nos

estádios V5 e R5, respectivamente. O controle de pragas foi realizado com 1,2 ml L^{-1} de profenofós + lufenuron (Curyom®), 0,5 ml L^{-1} de lambda-cialotrina + clorantraniliprole (Ampligo®), 1 ml L^{-1} de tiametoxam + lambda-cialotrina (Engeo Pleno®) e 0,5 ml L^{-1} de flufenoxurom (Cascade®) nos estádios V2, V4, V6 e R1, respectivamente.

A área foliar foi determinada medindo-se o comprimento e a maior largura do folíolo central de cada trifólio da planta e aplicando a equação de Richter et al. (2014): AF = a. (C.L), onde: AF é a área da folha (cm^2), C é o comprimento do folíolo (cm), L é a maior largura do folíolo (cm), a é o coeficiente angular de 2,0185. Foram realizadas duas avaliações de área foliar, sendo a primeira no dia da imposição da desfolha no estádio R3 e a segunda no estádio R5 de desenvolvimento (início do enchimento de grãos). Também foi determinada a diferença de área foliar entre os estádios R3 e R5.

A colheita da soja foi realizada no dia 09/04/2018. Após a colheita foram feitas as seguintes avaliações: comprimento do caule (distância do nó cotiledonar até o final do caule), número de nós por planta (contagem de todos os nós do caule), número de ramos por planta (contagem, considerando como produtivo o ramo com pelo menos 1 vagem), altura de inserção da primeira vagem (distância do nó cotiledonar até a inserção da primeira vagem no caule) diâmetro do caule (mensurado com o auxílio de um paquímetro digital, realizando-se a média de duas medidas no caule entre o colo da planta e o nó cotiledonar), número de vagens por planta (contagem, considerando vagem a que apresentava pelo menos um grão formado) e número de grãos por vagem (contagem em 10 vagens por planta selecionadas ao acaso, considerando-se como normal o grão de tamanho reduzido mas de forma esférica).

Os caules e as vagens foram acondicionados separadamente em estufa com ventilação e temperatura de aproximadamente 65ºC até atingirem massa constante. Após a debulha manual das vagens, o rendimento biológico foi obtido somando-se a massa seca do caule, das vagens e dos grãos de cada planta. O índice de colheita foi obtido dividindo-se a massa seca de grãos de cada planta pelo seu rendimento biológico. A massa de 1.000 grãos foi obtida através da relação entre o peso e o número de grãos por planta e corrigida para 13% de umidade. A produção de grãos por planta foi determinada pelo peso de grãos por planta com a umidade corrigida para 13%.

Os dados foram submetidos à análise de variância utilizando o teste F ao nível de significância de 5% ($P<0,05$). Quando alcançados os níveis de significância, as médias do fator qualitativo (fertilidade do solo) foram comparadas pelo teste de Tukey e do fator quantitativo (desfolha) por regressão polinomial, ambos a 5% de significância ($P<0,05$). A

escolha das equações linear e quadrática nas figuras foi feita levando em consideração o coeficiente de determinação que me melhor se ajustou aos modelos testados.

5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.5.1 Área foliar por planta

Na Tabela 9 estão apresentados os valores de área foliar em R3, antes da desfolha. Ela foi influenciada pela fertilidade do solo, sendo maior no ambiente de alta fertilidade (Tabela 9, Apêndice I). Santos et al. (2014) observaram o aumento da área foliar no cultivo com alta dose de fósforo, em relação à baixa dose, mesmo com o suprimento dos demais nutrientes de acordo com as exigências da cultura. Do mesmo modo, Prado, Franco e Puga (2010) relataram maior número de folhas por planta com o fornecimento de solução nutritiva completa.

Tabela 9 – Área foliar por planta de soja nos estádios R3 e R5 de desenvolvimento em função da fertilidade de solo, na média de cinco níveis de desfolha. Lages, SC, 2017/2018.

	Fertilidade		CV (%)
	Alta	Baixa	
Área foliar por planta em R3 (cm²)[1/]	4025 a*	3142 b	20,5
Área foliar por planta em R5 (cm²)	3386 a	2378 b	20,0

[1/]Área foliar mensurada antes da desfolha no estádio R3 de desenvolvimento. Estádios R3 (início da formação das vagens) e R5 (início do enchimento de grãos) segundo escala fenológica proposta por Fehr e Caviness (1977).*Médias seguidas por letras minúsculas distintas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.
Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

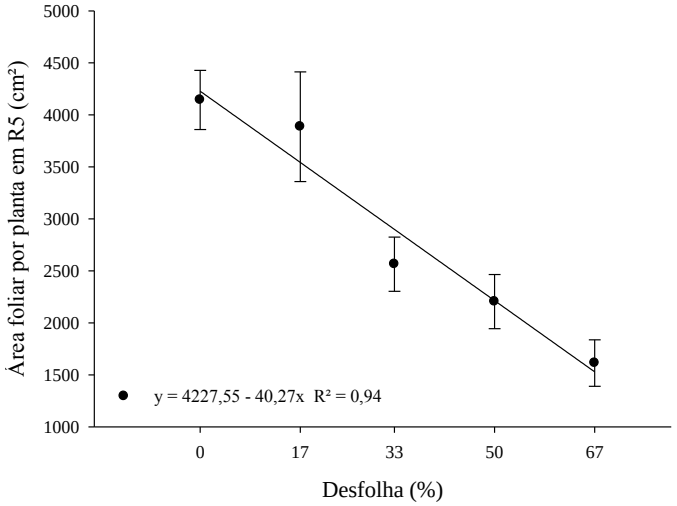
Além de constituintes integrais do aparelho fotossintético, os nutrientes são constituintes das folhas. Eles são diretamente necessários para a formação da biomassa foliar. Assim, a deficiência de nutrientes diminui a fotossíntese, o índice de área foliar e a duração da área foliar, limitando o tempo em que as folhas fornecerão fotoassimilados para os drenos (ENGELS; KIRKBY; WHITE, 2012).

A área foliar por planta em R5 foi influenciada pela fertilidade do solo e pela desfolha (Apêndice I). A área foliar foi maior no ambiente de alta fertilidade, seguindo a mesma tendência observada antes do desfolhamento (Tabela 9). A área foliar da planta depende das condições ambientais durante seu desenvolvimento. Estresses como baixa temperatura, salinidade, déficit hídrico e deficiência de nutrientes reduzem a área foliar. Entretanto, essa

resposta irá depender do genótipo (ENGELS; KIRKBY; WHITE, 2012; GRANIER; TARDIEU, 2009).

A área foliar por planta diminuiu de forma linear à medida que aumentou a percentagem de desfolha, na média dos dois níveis de fertilidade (Figura 18). Houve redução de 402,7 cm^2 para cada 10% de área foliar removida, resultando no decréscimo de 63,8% de área foliar com o maior nível de desfolhamento, em relação à testemunha.

Figura 18 – Área foliar por planta de soja em R5 em função da desfolha no estádio R3 de desenvolvimento[1/], na média de dois níveis de fertilidade do solo. Lages, SC, 2017/2018. As barras indicam a média do tratamento ± o erro padrão.

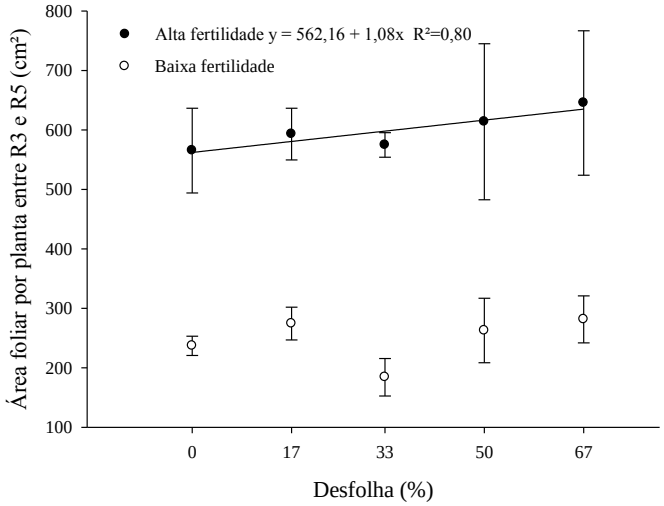


[1/]Estádios R3 (início da formação das vagens) e R5 (início do enchimento de grãos) segundo escala fenológica proposta por Fehr e Caviness (1977).
Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Durli (2019), ao avaliar a área foliar em R5, após a desfolha em R3, também observou que a redução da área foliar foi diretamente proporcional ao nível de desfolhamento, independentemente do grupo de maturação da cultivar. As taxas de decréscimo com a desfolha em R3 foram acentuadas porque a maior parte das folhas novas são produzidas até o início da formação das vagens (FEHR; LAWRENCE; THOMPSON, 1981).

A área foliar entre os estádios R3 e R5 de desenvolvimento foi influenciado pela interação entre fertilidade do solo e desfolha (Apêndice I). A área foliar entre os estádios R3 e R5 foi maior no ambiente de alta fertilidade em todos os níveis de desfolhamento (Figura 19).

Figura 19 – Área foliar por planta de soja entre os estádios R3 e R5 de desenvolvimento[1/] em função da fertilidade do solo e da desfolha no estádio R3 de desenvolvimento. Lages, SC, 2017/2018. As barras indicam a média do tratamento ± o erro padrão.



[1/]Estádios R3 (início da formação das vagens) e R5 (início do enchimento de grãos) segundo escala fenológica proposta por Fehr e Caviness (1977).
Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Nesta condição, as plantas aumentaram linearmente a área foliar entre R3 e R5 com o aumento na percentagem de desfolha. Este acréscimo foi de 10,8 cm^2 para cada 10% de área foliar removida, representando um incremento de 12,9% da área foliar no maior nível de desfolha, em relação à testemunha. No ambiente de baixa fertilidade não houve alteração significativa com o aumento da percentagem de desfolha.

Os dados do trabalho demonstram que a capacidade de recuperação foliar após a desfolha é maior quando as plantas estão se desenvolvendo num ambiente de alta fertilidade. Durli (2019) também observou incremento da área foliar entre os estádios R3 e R5 à medida que aumentou o desfolhamento e sugere que a desfolha estimula a planta à realocação de fotoassimilados para a emissão de novas folhas, visando compensar as perdas de área foliar.

5.5.2 Produção de grãos por planta e componentes do rendimento

A produção de grãos por planta foi influenciada pelos efeitos principais da fertilidade do solo e da desfolha (Apêndice J). Ela foi 24,7% maior no ambiente de alta fertilidade, na média dos cinco níveis de desfolha (Tabela 10).

Tabela 10 – Produção de grãos por planta da soja em dois níveis de fertilidade de solo, na média de cinco níveis de desfolha no estádio R3 de desenvolvimento[1/]. Lages, SC, 2017/2018.

	Fertilidade		CV (%)
	Alta	Baixa	
Produção de grãos por planta (g)	30,3 a*	24,3 b	11,3

[1/]Estádio R3 (início da formação das vagens) segundo escala fenológica proposta por Fehr e Caviness (1977).
*Médias seguidas por letras minúsculas distintas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.
Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

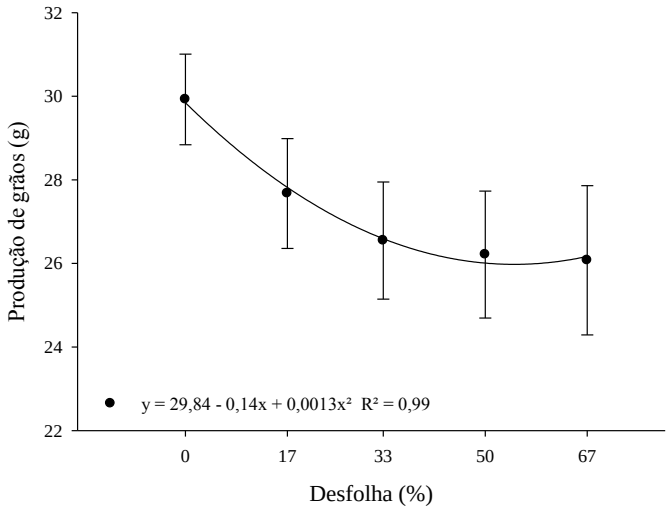
Gonçalves Júnior et al. (2010) relataram que o rendimento de grãos aumentou proporcionalmente ao acréscimo de fósforo e potássio, em um solo com níveis médio e baixo de concentração desses nutrientes, respectivamente. Carvalho et al. (2012) também observaram o aumento do rendimento de grãos em função da adubação mineral em um solo com teores médio de potássio e muito baixo de fósforo. Duarte et al. (2016) relataram que o rendimento de grãos por planta aumentou de forma linear com o incremento da adubação fosfatada e potássica, que variou de 0% a 400% da dose recomendada.

Bender, Haegele e Below (2015) observaram que o tratamento com solo fertilizado aumentou significativamente o acúmulo dos nutrientes aplicados (N, P, K, S, Zn) e dos não aplicados (Ca, Mg, Mn, B e Cu). Os autores ressaltaram que a maior disponibilidade de nutrientes favoreceu a sua absorção, estimulando a produção total de biomassa e aumentando o rendimento de grãos. Segundo Engels, Kirkby e White (2012), a disponibilidade de nutrientes durante períodos críticos de desenvolvimento da cultura impacta diretamente o seu rendimento. Esse efeito pode ser direto, quando um nutriente é necessário para uma etapa metabólica específica, ou indireto, através da alteração nas concentrações de fotossintatos ou fito-hormônios.

A produção de grãos por planta diminuiu de forma quadrática à medida que aumentou a percentagem de desfolha (Figura 20). Houve a redução de 3,5 g na produção de grãos por planta com o maior nível de desfolhamento, representando um decréscimo de 11,9% em relação à testemunha não desfolhada, na média dos dois níveis de fertilidade do solo.

Rezaei et al. (2012) relataram a redução progressiva de 16%, 25% e 31% no rendimento de grãos com desfolhas de 25%, 50% e 75% no período reprodutivo, respectivamente. Durli (2019) também observou redução quadrática do rendimento de grãos com o aumento da desfolha até 66,6%, em três cultivares com grupos de maturação contrastantes. Entretanto, os maiores decréscimos ocorreram somente a partir do nível de 16,6%.

Figura 20 – Produção de grãos por planta de soja em função da desfolha no estádio R3 de desenvolvimento[1/], na média de dois níveis de fertilidade do solo. Lages, SC, 2017/2018. As barras indicam a média do tratamento ± o erro padrão.



[1/]Estádio R3 (início da formação das vagens) segundo escala fenológica proposta por Fehr e Caviness (1977).
Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Entretanto, Zuffo et al. (2015) observaram que somente desfolhas mais acentuadas, de 66% e 99% do estádio R1 a R6 de desenvolvimento reduziram o rendimento de grãos. Board e Kahlon (2011) constataram que as folhas restantes após a desfolha não compensaram fotossinteticamente as folhas perdidas. Dessa forma, a perda em área foliar diminui diretamente a taxa fotossintética, podendo limitar o rendimento de grãos.

Os resultados comprovam que a soja é sensível à fertilidade do solo (Tabela 10). Do mesmo modo, a soja é sensível à perda de área foliar, uma vez que houve a redução da produção de grãos por planta com um nível de desfolha considerado baixo (17%) (Figura 20). Entretanto, não houve interação entre a fertilidade do solo e a desfolha e os efeitos desses fatores no desempenho produtivo da soja foram independentes e aditivos. Este comportamento não confirmou a hipótese do trabalho de que a tolerância da soja à desfolha é menor em solos com baixa fertilidade.

O maior incremento da área foliar por planta entre R3 e R5 no ambiente de alta fertilidade não resultou em maior produção de grãos por planta com o desfolhamento, quando comparado com o ambiente de baixa fertilidade (Figura 19). Santos et al. (2015) também relataram que o maior índice de área foliar e de matéria seca das folhas com a adubação recomendada não refletiram em maior rendimento de grãos em uma cultivar de feijão.

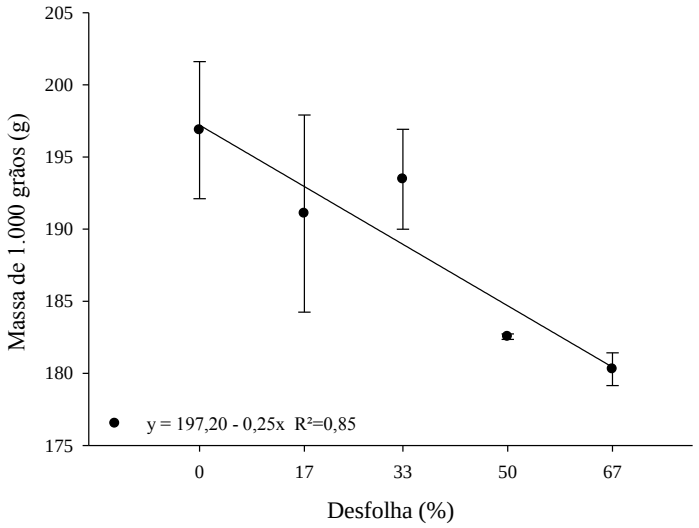
Müller (2017) avaliou a influência das características da arquitetura de parte aérea de cultivares de soja na interceptação de radiação solar pela planta. A autora destacou que

embora desejável, o maior índice de área foliar, altura de planta e número de ramificações verificadas em cultivares como a NA 5909 RG intensificaram o autossombreamento no estrato inferior da planta e contribuíram para o menor rendimento de grãos. Assim, concluiu que cultivares mais compactas, com menores alturas, número de ramificações e índice de área foliar interceptam maior quantidade de radiação solar no estrato inferior do dossel. Nesse sentido, o dossel inferior pode contribuir com até 25% da produção de grãos da planta dependendo do genótipo (MÜLLER et al., 2017).

Observou-se maior altura de planta, número de ramos, área foliar e incremento da área foliar entre R3 e R5 nas plantas do ambiente de alta fertilidade do solo (Tabelas 9 e 11 e Figura 19). Provavelmente, esta arquitetura de parte aérea aumentou o sombreamento das folhas do estrato inferior do dossel e limitou a produção de fotoassimilados total pela planta. Isto não permitiu que houvesse a vantagem esperada das plantas do ambiente de alta fertilidade, em relação às de baixa fertilidade, quando ocorreu o desfolhamento.

A massa de 1.000 grãos foi influenciada pela desfolha e reduziu de forma linear à medida que aumentou a percentagem de desfolhamento (Figura 21, Apêndice J). Houve a redução de 2,5 g na massa de grãos para cada 10% de área foliar removida. O maior nível de desfolhamento diminuiu em 16,7 g a massa de grãos, representando um decréscimo de 8,5% em relação à testemunha, na média dos dois níveis de fertilidade.

Figura 21 – Massa de 1.000 grãos da soja em função da desfolha no estádio R3 de desenvolvimento[1/], na média de dois níveis de fertilidade do solo. Lages, SC, 2017/2018. As barras indicam a média do tratamento ± o erro padrão.



[1/]Estádio R3 (início da formação das vagens) segundo escala fenológica proposta por Fehr e Caviness (1977).
Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Durli (2019) também observou redução linear da massa de 1.000 grãos com o aumento do desfolhamento até o nível de 66,6%, independentemente do grupo de maturação da cultivar. Rezaei et al. (2012) relataram que a massa de grãos reduziu somente com desfolhas de 50% e 75% no período reprodutivo. Do mesmo modo, Zuffo et al. (2015) observaram que somente desfolhas mais acentuadas, de 66% e 99%, nos estádios R3, R4 e R5 de desenvolvimento, reduziram a massa de grãos. A redução da massa de grãos em função da desfolha está diretamente relacionada à limitação de área foliar, que resulta em menor produção de fotoassimilados para o enchimento de grãos (BAHRY et al., 2013b).

A massa de 1.000 grãos não foi influenciada pela fertilidade do solo, divergindo do comportamento que era esperado. Teoricamente, a menor área foliar por planta resultaria na formação de grãos mais leves no ambiente de baixa fertilidade do solo.

Gonçalves Júnior et al. (2010) também não observaram a influência do aumento das doses de fósforo e de potássio na massa de grãos da soja, em um solo com níveis médio e baixo de concentração desses nutrientes, respectivamente. Neste trabalho, o acréscimo do rendimento de grãos resultou do aumento do número de vagens por planta. Do mesmo modo, Duarte et al. (2016) não verificaram um comportamento estatisticamente significativo para a massa de grãos com o incremento da adubação fosfatada e potássica de 0% a 400% da dose recomendada. Esses resultados reforçam a importância das características do genótipo na estabilidade do desempenho produtivo em diferentes condições ambientais.

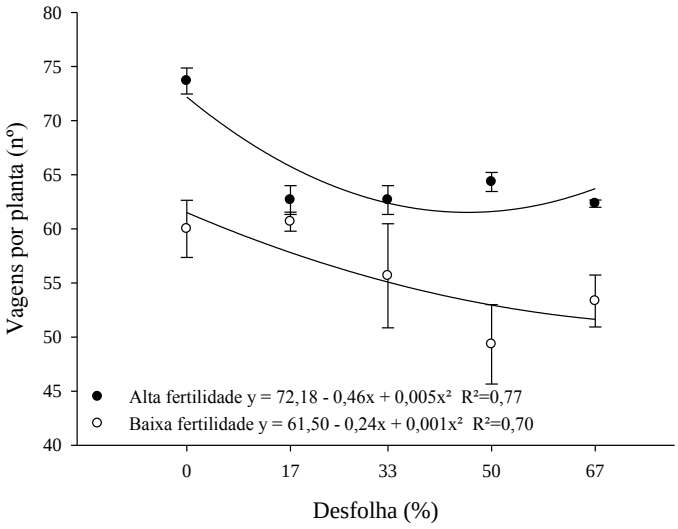
O número de vagens por planta foi influenciado pela interação entre fertilidade do solo e desfolha (Apêndice J). Ele foi maior no ambiente de alta fertilidade em todos os tratamentos, o que contribuiu para a maior produção de grãos por planta registrada (Figura 22, Tabela 10).

Gonçalves Júnior et al. (2010) relataram que o número de vagens por planta aumentou proporcionalmente ao acréscimo de fósforo e potássio na adubação, em um solo com níveis médio e baixo de concentração desses nutrientes, respectivamente. Carvalho et al. (2012) também observaram o aumento do número de vagens por planta em função da adubação mineral, em um solo com teores médio de potássio e muito baixo de fósforo. Plantas bem nutridas apresentam maior atividade fotossintética, produzindo maior quantidade de fotoassimilados. Isto reduz o aborto de flores e aumenta o número de vagens na colheita (ZANON et al., 2018).

O número de vagens por planta diminuiu de forma quadrática à medida que aumentou a percentagem de desfolha, nos dois níveis de fertilidade do solo (Figura 22). Houve a redução de 8,4 e 9,8 vagens por planta com o maior nível de desfolhamento, representando

um decréscimo de 11,6% e de 15,9%, nos ambientes de alta e de baixa fertilidade, respectivamente.

Figura 22 – Número de vagens por planta da soja em função da fertilidade do solo e da desfolha no estádio R3 de desenvolvimento[1/]. Lages, SC, 2017/2018. As barras indicam a média do tratamento ± o erro padrão.



[1/]Estádio R3 (início da formação das vagens) segundo escala fenológica proposta por Fehr e Caviness (1977).
Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Zuffo et al. (2015) observaram a redução do número de vagens por planta em todos os níveis de desfolha (33%, 66% e 99%) e estádios de desenvolvimento reprodutivo (R1 ao R6). Durli (2019) relatou decréscimos linear e quadrático do número de vagens por planta das cultivares NA 5909 RG e TMG 7262 RR, respectivamente, com desfolhas de até 66,6% no estádio R3. A redução da área foliar impacta negativamente os componentes de rendimento pela diminuição na quantidade de fotoassimilados produzidos (SCHMILDT et al., 2010). Assim, a planta aborta parte das vagens e mantém às que possui capacidade de translocar fotoassimilados das folhas remanescentes (SILVA et al., 2015).

O número de grãos por vagem variou de 2,4 a 2,6 e não foi influenciado pela fertilidade do solo e pela desfolha (dados não mostrados, Apêndice J). Gonçalves Júnior et al. (2010) e Carvalho et al. (2012) também não observaram influência da adubação mineral no número de grãos por vagem em solos com teores de fósforo e potássio abaixo do ideal. Este foi o componente de rendimento que menos influenciou a produção de grãos por planta. Segundo Silva et al. (2015), o número de grãos por vagem é uma característica pouco influenciada pelo meio de cultivo.

5.5.3 Características morfológicas

O comprimento do caule foi influenciado pela fertilidade do solo, sendo maior no ambiente de alta fertilidade (Tabela 11, Apêndice K).

Tabela 11 – Comprimento do caule, número de ramos, altura de inserção da primeira vagem, diâmetro do caule, rendimento biológico e índice de colheita da soja em função da fertilidade do solo, na média de cinco níveis de desfolha no estádio R3 de desenvolvimento[1/]. Lages, SC, 2017/2018.

	Fertilidade		CV (%)
	Alta	Baixa	
Comprimento do caule (cm)	75 a*	62 b	13,1
Número de ramos (nº)	8,1 a	7,3 b	10,9
Inserção de primeira vagem (cm)	11,8 b	15,7 a	24,4
Diâmetro do caule (mm)	9,0 a	8,2 b	6,4
Rendimento biológico (g)	51,8 a	41,1 b	11,3
Índice de colheita (g/g)	0,55 b	0,56 a	3,7

[1/]Estádio R3 (início da formação das vagens) segundo escala fenológica proposta por Fehr e Caviness (1977).
*Médias seguidas por letras minúsculas distintas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.
Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Carvalho et al. (2012) também observaram maior altura de planta com a adubação mineral, em solo com teores médio de potássio e muito baixo de fósforo. Prado, Franco e Puga (2010) relataram que a ausência de um macronutriente na solução nutritiva reduziu a altura de planta. O aumento na altura de planta é uma característica desejável, pois apresenta correlação positiva com a produtividade de grãos. Isto ocorre porque plantas bem nutridas e mais altas normalmente produzem maior número de estruturas reprodutivas (SCHONINGER et al., 2015).

O número de nós variou de 10,6 a 13,3 e não foi influenciado pela fertilidade do solo e pela desfolha (dados não mostrados, Apêndice K). Segundo Martins et al. (2011), o número de nós de uma planta de soja é muito influenciado pela cultivar e pela época de semeadura, devido à natureza fotossensível da soja. Assim, é possível inferir que o maior comprimento do caule no ambiente de alta fertilidade se deveu ao maior comprimento dos entrenós.

O número de ramos por planta foi influenciado pela fertilidade do solo e foi maior no ambiente de alta fertilidade (Tabela 11, Apêndice K). Segundo Mundstock e Thomas (2005), o número de ramificações pode variar com a cultivar, espaçamento entre plantas, disponibilidade de água, temperatura, radiação solar e nutrição mineral. Aumentar a oferta de qualquer um desses fatores aumenta a taxa de crescimento (ENGELS; KIRKBY; WHITE, 2012; RÖMHELD, 2012), conforme observado no presente trabalho. O número de ramos por

planta é uma variável importante, uma vez que cada ramo lateral tem estrutura similar à do caule principal e pode gerar outros ramos e flores, além de folhas (MUNDSTOCK; THOMAS, 2005). No presente estudo, a maior quantidade de ramos produzidos no ambiente de alta fertilidade contribuiu para aumentar o número de vagens e produção de grãos por planta (Tabelas 10, 11 e Figura 22).

A altura de inserção de primeira vagem foi influenciada pela fertilidade do solo e foi menor no ambiente de alta fertilidade (Tabela 11, Apêndice K). Esse resultado divergiu dos dados obtidos por Carvalho et al. (2012) que relataram o aumento da altura de inserção de primeira vagem de 18,9 cm para 25,6 cm com a adubação mineral, em um solo com teor médio de potássio e muito baixo de fósforo. Gonçalves Júnior et al. (2010) não verificaram a influência da adubação potássica e fosfatada na altura de inserção de primeira vagem, em um solo com níveis médio e baixo de concentração de fósforo e potássio, respectivamente. A maior altura de inserção da primeira vagem no ambiente de baixa fertilidade no presente experimento provavelmente decorreu do maior abortamento das flores posicionados no terço inferior do caule no ambiente com restrições nutricionais. Este mesmo comportamento foi registrado no experimento realizado com restrição hídrica.

O diâmetro do caule foi influenciado pela fertilidade do solo e foi maior no ambiente de alta fertilidade (Tabela 11, Apêndice L). Santos et al. (2014) e Oliveira et al. (2014) observaram o aumento da massa seca do caule da soja e do diâmetro do caule do feijão, respectivamente, nos solos com alta dose de fósforo, em relação aos de baixa dose, mesmo com o suprimento dos demais nutrientes de acordo com as exigências das culturas. Segundo Fageria (2009), a carência de um nutriente durante todo ou parte do ciclo de cultivo pode prejudicar o desenvolvimento do caule, conforme observado no presente trabalho.

A desfolha não afetou o comprimento e diâmetro do caule, o número de nós e de ramos produzidos pela planta, independentemente da fertilidade do solo (Apêndices K e L). Isto provavelmente ocorreu porque a redução de área foliar foi imposta no início da formação das vagens, quando estas características morfológicas já estavam praticamente definidas.

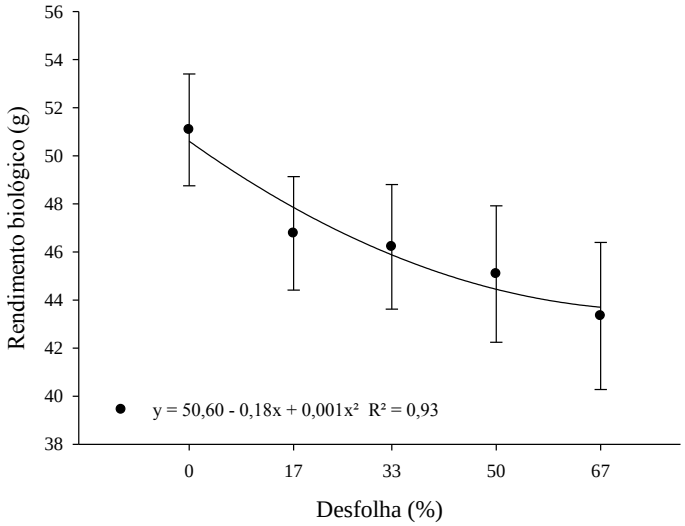
O rendimento biológico foi influenciado pelos efeitos principais da fertilidade do solo e da desfolha (Apêndice L). A fitomassa total produzida pela planta foi maior no ambiente de alta fertilidade (Tabela 11). Guareschi et al. (2011) observaram o aumento da massa seca de parte aérea com a adubação mineral de fósforo e potássio na semeadura, mesmo com os teores destes nutrientes estando acima do valor crítico na testemunha.

Bender, Haegele e Below (2015) relataram o aumento da biomassa da soja com o aumento da disponibilidade de nutrientes, em estudo com dois ambientes de cultivo

contrastantes, um não fertilizado e outro fertilizado visando atingir a produtividade de 5.000 kg ha^{-1}. Prado, Franco e Puga (2010) relataram que a ausência de um macronutriente foi suficiente para a redução da massa seca de parte aérea na solução nutritiva. Segundo Römheld (2012), a produção de massa seca é proporcional ao aumento da oferta de nutrientes.

O rendimento biológico diminuiu de forma quadrática à medida que aumentou a percentagem de desfolha (Figura 23). Houve redução de 15% no rendimento biológico com o maior nível de desfolhamento, em relação à testemunha.

Figura 23 – Rendimento biológico da soja em função da desfolha no estádio R3 de desenvolvimento[1/], na média de dois níveis de fertilidade do solo. Lages, SC, 2017/2018. As barras indicam a média do tratamento ± o erro padrão.



[1/]Estádio R3 (início da formação das vagens) segundo escala fenológica proposta por Fehr e Caviness (1977).
Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Islam (2014) relatou redução do rendimento biológico em todos os níveis de desfolha estudados, que variaram desde a remoção de 1 trifólio do topo da planta até 100% de desfolhamento 53 dias após a semeadura. Durli (2019) também observou a redução do rendimento biológico com o aumento da desfolha no estádio R3 de desenvolvimento, em três cultivares com grupo de maturação distintos. Já Rezaei et al. (2012) não verificaram alteração no acúmulo de massa seca com desfolhas de 25%, 50% e 75% no período reprodutivo.

Estresses ou injúrias causadas por agentes desfolhadores podem influenciar tanto a taxa como a duração do tempo de acúmulo de massa seca na planta (TAIZ et al., 2017). O desfolhamento afeta o acúmulo de massa seca da soja por reduzir a área foliar efetiva para interceptação de radiação solar e fixação de carbono, resultando em menor rendimento biológico pela diminuição da fonte.

O índice de colheita foi influenciado pela fertilidade do solo e foi menor no ambiente de alta fertilidade (Tabela 11, Apêndice L). Esse resultado corrobora com Bender, Haegele e Below (2015) que também observaram que o índice de colheita foi menor quando o solo foi fertilizado, sugerindo que o maior acúmulo de nutrientes na planta nem sempre leva a uma maior realocação destes para o grão. Esse resultado discorda dos dados reportados por Verde, Danga e Mugwe (2013). Os autores relataram aumento do índice de colheita em tratamentos que utilizaram diferentes doses de esterco, calcário e fosfato mineral de forma isolada ou combinada, em relação a testemunha caracterizada por um solo moderadamente ácido e com baixo teor de fósforo.

O índice de colheita expressa a eficiência da conversão da biomassa vegetal na produção de grãos (PETTER et al., 2012). A capacidade potencial de um dreno é determinada pelo número de órgãos de dreno (grãos), número de células de armazenamento por órgão (células do endosperma por grão) e pelo número de organelas de armazenamento por célula (amiloplastos por célula do endosperma) (ENGELS; KIRKBY; WHITE, 2012). Portanto, um maior índice de colheita não indica necessariamente maior produção absoluta de grãos por planta, conforme verificado no presente trabalho.

5.6 CONCLUSÕES

A cultivar NA 5909 RG possui maior capacidade de recuperação foliar após desfolha em R3 sob alta fertilidade do solo.

A produção de grãos por planta da cultivar NA 5909 RG é menor num ambiente de baixa do que no de alta fertilidade do solo, independentemente do nível de desfolha.

O incremento na percentagem de desfolha até o nível de 67% reduz a produção de grãos por planta da cultivar NA 5909 RG, tanto sob condições de alta quanto baixa de fertilidade do solo.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O controle de insetos na cultura da soja deveria fundamentar-se nas premissas do Manejo Integrado de Pragas (MIP). Entretanto, o agricultor tem se baseado em critérios subjetivos de percepção e em aplicações pré-programadas de calendário. Nesse sentido, o uso de inseticidas vem aumentando de forma abusiva e errônea nos últimos anos, bem como os custos de produção da soja.

Assim, é importante que a tolerância das cultivares contemporâneas de soja ao desfolhamento seja analisada sobre diferentes condições edafo-climáticas que possam influenciar o crescimento e o desenvolvimento da cultura. O objetivo geral deste trabalho foi avaliar a tolerância da soja à desfolha nas fases vegetativa e reprodutiva de desenvolvimento, em função da época de semeadura, disponibilidade hídrica e fertilidade do solo.

O primeiro experimento foi conduzido em canteiros com base na hipótese de que a tolerância da soja à desfolha é menor nas semeaduras tardias. Esta hipótese se baseou no fato de que em semeaduras tardias o florescimento é antecipado e as plantas possuem menor área foliar, o que pode limitar a capacidade de compensação e recuperação foliar após o desfolhamento. Os dados obtidos no trabalho mostraram que as plantas foram mais tolerantes à desfolha na semeadura tardia. Portanto, a hipótese do trabalho não foi confirmada.

A discordância entre os resultados e a hipótese do primeiro experimento está associada aos elevados valores de índice de área foliar (IAF) mensurados ao longo do desenvolvimento da cultura. Foram obtidos valores de IAF superior a 8 na semeadura preferencial e a 6 na tardia, antes da desfolha no estádio R3 de desenvolvimento. Estes valores estão muito acima do valor do IAF ótimo de 3,4 a 4,0 reportado na literatura. No caso deste experimento, o excesso foi tão prejudicial quanto à redução da área foliar, pois as plantas da semeadura tardia, que apresentaram IAF mais próximo do ideal ao longo do desenvolvimento, foram mais tolerantes ao desfolhamento. Do mesmo modo, os efeitos da desfolha sobre o rendimento de grãos ocorreram somente a partir dos níveis de 45,6% e 55,8%, que proporcionaram IAF de 4,5 e 3,0 nas semeaduras preferencial e tardia, respectivamente, valores que são mais próximos ao de referência do cultivo e mais similares às condições reais das lavouras. O alto nível de fertilidade do solo, o espaçamento entrelinhas reduzido, o hábito de crescimento indeterminado da cultivar e o uso da irrigação durante o experimento contribuíram para alta tolerância da planta à desfolha na semeadura tardia.

O segundo experimento foi realizado em casa de vegetação com base na hipótese de que a tolerância da soja a desfolha é menor em plantas sob restrição hídrica. Esta hipótese se

baseou na premissa de que sob restrição hídrica as plantas reduzem a área foliar e a taxa fotossintética, o que pode limitar a capacidade de compensação e recuperação foliar após o desfolhamento. Não houve interação entre a desfolha e a restrição hídrica. Portanto, os efeitos desses fatores no desempenho produtivo da soja foram independentes e aditivos. Este comportamento não confirmou a hipótese do trabalho de que a tolerância da soja a desfolha é menor em plantas submetidas a restrição hídrica.

A restrição hídrica teve maior influência no desempenho das plantas, tanto no período vegetativo quanto no reprodutivo, uma vez que afetou a maioria das variáveis morfológicas e os componentes de rendimento. A produção de grãos por planta foi menor com restrição hídrica severa em V6 e a partir do moderado em R3. Houve a redução da produção de grãos com 17% de desfolha nos dois estádios de desenvolvimento.

O terceiro experimento foi desenvolvido em casa de vegetação com base na hipótese de que a tolerância da soja a desfolha é menor em solos com baixa fertilidade. Neste ambiente as plantas têm menor área foliar e atividade fotossintética, o que pode limitar sua capacidade de compensação e recuperação foliar após o desfolhamento. Não houve interação entre a desfolha e a fertilidade do solo e os efeitos desses fatores no desempenho produtivo da soja foram independentes e aditivos. Este comportamento não confirmou a hipótese do trabalho de que a tolerância da soja a desfolha é menor em solos com baixa fertilidade. A fertilidade do solo teve maior influência no desempenho das plantas, uma vez que afetou a maioria das variáveis morfológicas. A produção de grãos por planta foi menor sob condições de baixa fertilidade.

Assim, as três hipóteses deste trabalho não foram confirmadas. Esses resultados estão relacionados a cultivar utilizada no experimento. A NA 5909 RG foi selecionada devido à grande expressividade em área plantada na região sul do Brasil. Entretanto, devido à alta plasticidade vegetativa e reprodutiva da cultivar, situações que restringem o desenvolvimento do cultivo como semeadura tardia, restrição hídrica e baixa fertilidade do solo não aumentaram a sensibilidade da planta ao desfolhamento. Nesse sentido, outros estudos também mostraram a alta estabilidade desta cultivar em diferentes ambientes de cultivo.

Os resultados permitem inferir que a percentagem de área foliar removida não é o fator determinante para a redução do rendimento de grãos. Isto pode ser evidenciado pela redução da produção de grãos na fase reprodutiva com desfolhas de 17% na casa de vegetação e do rendimento de grãos a partir de 46% de desfolhamento nos canteiros.

Para Board et al. (2010), a desfolha é limitante para o desempenho produtivo quando há redução da interceptação da luz solar. A interceptação de luz não foi mensurada no

presente estudo, mas a avaliação de área foliar por planta permitiu comprovar que perdas de rendimento de grãos irão ocorrer com um IAF abaixo do valor ideal, independentemente do manejo da cultura. O IAF e a interceptação de luz podem ser utilizados como ferramentas adicionais para a predição de perdas de rendimentos de grãos na cultura, fornecendo mais um indicador de segurança para os NDE que foram desenvolvidos pelo MIP.

Nesse sentido, mais estudos são necessários com cultivares pertencentes a diferentes grupos de maturação para atualizar e validar o MIP junto à assistência técnica e aos sojicultores. A readoção do MIP na cultura da soja trará inúmeros benefícios nas esferas técnica, econômica e ambiental, através da redução da resistência de pragas, da diminuição do custo de produção com inseticidas e do menor desequilíbrio ambiental.

REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA NETO, F. et al. Desempenho agronômico de cultivares de soja em duas épocas de semeadura no cerrado piauiense. **Comunicata Scientiae**, v. 3, n. 3, p. 215-219, 2012.

ALIYEV, J. A.; MIRZOYEV, R. S. Photosynthesis and productivity of soybean [*Glicine max* (L.) Merrill]. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA**, v. 65, n. 5-6, p. 60-70, 2010.

AMORIM, F. A. et al. Época de semeadura no potencial produtivo de soja em Uberlândia-MG. **Semina**, v. 32, n. 4, p. 1793-1802, 2011.

ÁVILA; C. J. SANTOS, V. **Manejo Integrado de Pragas (MIP) na Cultura da Soja:** Um estudo de caso com benefícios econômicos e ambientais. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2018. 43 p. (Documentos, 143).

BAHRY, C. A. et al. Desempenho agronômico da soja em função da desfolha em diferentes estádios vegetativos. **Tecnologia e Ciência Agropecuária**, v. 7, n. 4, p. 19-24, 2013a.

BAHRY, C. A. et al. Efeito da desfolha na fase vegetativa em alguns caracteres agronômicos da cultivar de soja BMX Potência RR. **Revista de Agricultura**, v. 88, n. 3, p. 179-184, 2013b.

BALENA, R. et al. Época de semeadura e espaçamentos entrelinhas na produtividade da soja. **Unoesc & Ciência-ACBS**, v. 7, n. 1, p. 61-68, 2016.

BARBOSA, M. et al. Desempenho agronômico e componentes da produção de cultivares de soja em duas épocas de semeadura no arenito caiuá. **Semina**, v. 34, n. 3, p. 945-960, 2013.

BATISTELA, M. et al. Re-evaluation of leaf-lamina consumer thresholds for IPM decisions in short-season soybeans using artificial defoliation. **Crop Protection**, v. 32, n. 2, p. 7-11, 2012.

BENDER, R.; HAEGELE, J.; BELOW, F. Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern soybean varieties. **Agronomy Journal**, v. 107, n. 2, p. 563-573, 2015.

BICALHO, T. F. et al. Adaptability and stability of soybean cultivars in four sowing seasons. **Bioscience Journal**, v. 35, n. 5, p. 1450-1462, 2019.

BOARD, J. E. et al. Yield response of soybean to partial and total defoliation during the seed-filling period. **Crop Science,** v. 50, n. 2, p. 703-712, 2010.

BOARD, J. E.; KAHLON, C. S. Soybean yield formation: what controls it and how it can be improved. In: EL-SHAMY, H. A. (Ed.). **Soybean Physiology and Biochemistry.** London: Intech, 2011. p.1-36.

BOIÇA JÚNIOR, A. L. et al. A defesa das plantas ao ataque dos insetos. In: BUSOLI, A. C. (Ed.). **Tópicos em entomologia agrícola.** Jaboticabal : Maria de Lourdes Brandel-ME, 2015. p.161-179.

BORTOLOTTO, O. et al. The use of soybean integrated pest management in Brazil: a review. **Agronomy Science and Biotechnology**, v. 1, n. 1, p. 25-32, 2015.

BRISKE, D. D.; J. H. RICHARDS. Plant responses to defoliation: A physiological, morphological, and demographic evaluation. In: BEDUNAH, D. J.; SOSEBEE, R. E. (Ed.). **Wildland Plants:** Physiological ecology and developmental morphology. Denver: Society for Range Management, 1995. p. 635-710.

BROADLEY, M. et al. Function of nutrients: Micronutrients. In: MARSCHNER, P. (Ed.) **Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants**. Oxford: Academic Press, 2012, p. 191-248.

BROUWER, B. et al. The impact of light intensity on shade-induced leaf senescence. **Plant, Cell & Environment**, v. 35, n. 6, p. 1084-1098, 2012.

BUENO, A. F.; BATISTELA, M. J.; MOSCARDI, F. **Níveis de desfolha tolerados na cultura da soja sem a ocorrência de prejuízos à produtividade**. Londrina: Embrapa Soja, 2010. 12 p. (Circular Técnica, 79).

BUENO, A. F. et al. Histórico e evolução do manejo integrado de pragas da soja no Brasil. In: HOFFMANN-CAMPO, B. C.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; MOSCARDI, F. **Soja:** Manejo integrado de insetos e outros artrópodes-praga. Brasília: Embrapa, 2012, p. 37-74.

BUENO, A. et al. Economic thresholds in soybean-integrated pest management: old concepts, current adoption, and adequacy. **Neotropical Entomology**, v. 42, n. 5, p. 439-447, 2013.

CÂMARA, A. R. et al. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja nos estados de Goiás e Minas Gerais. **Global Science and Technology**, v. 11, n. 2, p. 23-36, 2018.

CARMO, E. et al. Desempenho agronômico da soja cultivada em diferentes épocas e distribuição de plantas. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 17, n. 1, p. 61-69, 2018.

CARVALHO, E. R. et al. Desempenho de cultivares de soja [Glycine max (L.) Merrill] em cultivo de verão no sul de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 4, p. 892-899, 2010.

CARVALHO, E. R. et al. Diagnose foliar e produtividade da soja, em razão de doses e tecnologias de manufatura de fertilizantes formulados NPK. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.7, n.3, p. 402-408, 2012.

CARVALHO, I. R. et al. Demanda hídrica das culturas de interesse agronômico. **Enciclopédia Biosfera**, v.9, n.17, p. 969-985, 2013.

CHAVARRIA, G. et al. Restrição fotossintética de plantas de soja sob variação de disponibilidade hídrica. **Ciência Rural**, v. 45, n. 8, p. 1387-1393, 2015.

CHOWDHURY, J. et al. Genotypic variations in growth, yield and yield components of soybean genotypes under drought stress conditions. **Bangladesh Journal of Agricultural Research**, v. 40, n. 4, p. 537-550, 2016.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO (CQFS RS/SC). **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Porto Alegre: SBCS, 2016. 376 p.

CONAB (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO). **Acompanhamento da safra brasileira:** grãos 2019/2020. 2020a. Disponível em: < https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>.Acesso em: 11 abr. 2020.

CONAB (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO). **Série histórica das safras:** 2019/2020. 2020b. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras?start=30>. Acesso em: 24 jul. 2020b.

CONTE, O. et al. **Resultados do manejo integrado de pragas da soja na safra 2014/2015 no Paraná.** Londrina: Embrapa Soja, 2015. 60 p. (Documentos, 361).

CRUZ, T. et al. Componentes de produção de soja em diferentes épocas de semeadura, no oeste da Bahia. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 5, p. 709-716, 2010.

CRUZ, T.; PEIXOTO, C.; MARTINS, M. Crescimento e produtividade de soja em diferentes épocas de semeadura no oeste da Bahia. **Scientia Agraria**, v. 11, n. 1, p. 33-42, 2010.

DERMITAS, C. et al. Quality and yield response of soybean (*Glycine max* L. Merrill) to drought stress in sub–humid environment. **African Journal of Biotechnology**, v. 9, n. 41, p. 6873-6881, 2010.

DIOGO, A. M. et al. Influência da remoção de folhas, em vários estádios de desenvolvimento, na produção de grãos e em outras características agronômicas da soja **(***Glycine max* (L.) Merril). **Ceres**, v. 44, n. 253, p. 272-285, 1997.

DONG, S. et al. A study on soybean responses to drought stress and rehydration. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 26, n. 8, p. 2006-2017, 2019.

DUARTE, T. et al. Spatial arrangements and fertilizer doses on soybean yield and its components. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 11, p. 960-964, 2016.

DUNN, L. E. Lime requirement determination of soils by means of titration curves. **Soil Science**, v. 56, n. 5, p. 341-351, 1943.

DURLI, M. M. **Tolerância à desfolha da soja em função da cultivar, estádio fenológico e densidade de plantas**. 2019. 130f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2019.

EKHTIARI, S.; KOBRAEE, S.; SHAMSI, K. Soybean yield under water deficit conditions. **Journal of Biodiversity and Environmental Sciences**, v. 3, n. 2, p. 46-52, 2013.

EMBRAPA (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Brasília: Embrapa CNPS, 2006. 306 p.

EPAGRI (EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA). **Síntese anual da agricultura de Santa Catarina 2018-2019**. Florianópolis: Epagri, 2019. 197 p. Disponível em: <http://docweb.epagri.sc.gov.br/website_cepa/publicacoes/Sintese_2018_19.pdf > Acesso em: 19 abr. 2020.

ENGELS, C.; KIRKBY, E.; WHITE, P. Mineral nutrition, yield and source–sink relationships. In: MARSCHNER, P. (Ed.) **Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants**. Oxford: Academic Press, 2012, p. 85-133.

FAGERIA, N. **The use of nutrients in crop plants**. Boca Raton: CRC Press, 2009. 448 p.

FEHR, W. R.; LAWRENCE, B. K.; THOMPSON, T. A. Critical stages of development for soybean defoliation. **Crop Science**, v. 21, n. 2, p. 259-262, 1981.

FEHR, W.R.*;* CAVINESS, C.E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 11 p. (Special Report, 80).

FIOREZE, S. et al. Comportamento de genótipos de soja submetidos a déficit hídrico intenso em casa de vegetação. **Ceres**, v. 58, n.3, p. 342-349, 2011.

FIOREZE, S. et al. Fisiologia e produção da soja tratada com cinetina e cálcio sob déficit hídrico e sombreamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 11, p.1432-1439, 2013.

FRIGERI, A. R. et al. Épocas de semeadura e população de plantas para três cultivares de soja. **Acta Iguazu**, v. 8, n. 4, p. 41-52, 2019.

GAVA, R. et al. Estresse hídrico em diferentes fases da cultura da soja. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 9, n. 6, p. 349-359, 2015.

GAZZONI, D. L.; MOSCARDI, F. Effect of defoliation levels on recovery of leaf area, on yield and agronomic traits of soybeans. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** v. 33, n. 4, p.411-424, 1998.

GIMÉNEZ, L. Efecto de las deficiencias hídricas en diferentes etapas de desarrollo sobre el rendimiento de soja. **Agrociencia Uruguay**, v. 18, n. 1, p. 53-64, 2014.

GIORDANI, W. et al. Identification of agronomical and morphological traits contributing to drought stress tolerance in soybean. **Australian Journal of Crop Science**, v. 13, n. 1, p. 35-44, 2019.

GLIER, C. A. da S. et al. Defoliation percentage in two soybean cultivars at different growth stages. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 6, p. 567-573, 2015.

GONÇALVES JÚNIOR, A. et al. Produtividade e componentes de produção da soja adubada com diferentes doses de fósforo, potássio e zinco. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 3, p. 660-666, 2010.

GRANIER, C.; TARDIEU, F. Multi-scale phenotyping of leaf expansion in response to environmental changes: the whole is more than the sum of parts. **Plant, Cell & Environment**, v. 32, n. 9, p. 1175-1184, 2009.

GRIGOLLI, J. F. J. Pragas da soja e seu controle. In: LOURENÇÃO et al. (Ed.).**Tecnologia & Produção:** Soja 2014/2015. Maracaju: Fundação MS, 2015. p. 98-124.

GRINNAN, R.; CARTER JÚNIOR, T. E.; JOHNSON, M. T. J. Effects of drought, temperature, herbivory, and genotype on plant–insect interactions in soybean (*Glycine max*). **Arthropod-Plant Interactions**, v. 7, n. 2, p. 201-215, 2013a.

GRINNAN, R.; CARTER JÚNIOR, T. E.; JOHNSON, M. T. J. The effects of drought and herbivory on plant-herbivore interactions across 16 soybean genotypes in a field experiment. **Ecological Entomology**, v. 38, n. 3, p. 290-302, 2013b.

GUARESCHI, R. et al. Adubação antecipada na cultura da soja com superfosfato triplo e cloreto de potássio revestidos por polímeros. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 4, p. 643-648, 2011.

HALA, H. A.; ZEINAB, E. G.; RABIE, E. M. Evaluation some genotypes of soybeans yield under pest infestation. **International Journal of Scientific Research in Agricultural Sciences**, v. 2, n.1, p.7-17, 2015.

HAWKES, C.V.; SULLIVAN, J. J. The impact of herbivory on plants in different resource conditions: a meta-analysis. **Ecology**, v. 82, n.7, p. 2045-2058, 2001.

HAWKESFORD, M. et al. Functions of macronutrients. In: MARSCHNER, P. (Ed.) **Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants**. Oxford: Academic Press, 2012, p.135-189.

HIRAKURI, M. H; LAZZAROTO, J. J. **O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro**. Londrina: Embrapa Soja, 2014. 37 p. (Documentos, 349).

HOFFMANN-CAMPO, C. B.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; MOSCARDI, F. **Soja:** Manejo integrado de pragas e outros artrópodes-praga. Brasília: Embrapa, 2012. 859 p.

HORTON, P. Prospects for crop improvement through the genetic manipulation of photosynthesis: morphological and biochemical aspects of light capture. **Journal of Experimental Botany**, v. 51, n. 1, p. 475-485, 2000.

IQBAL, N.; MASOOD, A.; KHAN, N. Analyzing the significance of defoliation in growth, photosynthetic compensation and source-sink relations. **Photosynthetica**, v. 50, n. 2, p. 161-170, 2012.

ISLAM, M. T. Effects of defoliation on photosynthesis, dry matter production and yield in soybean. **Bangladesh Journal of Botany**, v. 43, n. 3, p. 261-265, 2014.

JIN, J. et al. Agronomic and physiological contributions to the yield improvement of soybean cultivars released from 1950 to 2006 in Northeast China. **Field Crops Research**, v. 115, n. 1, p. 116-123, 2010.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde.** Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map. 150 cm x 200 cm.

LARA JÚNIOR, J.A. de. Desempenho agronômico de cultivares de soja e épocas de semeadura, em solo glei húmico com sistema de camalhões. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 18, n. 1, p. 9-14, 2019.

LONG, S. P.; et al. Can improvement in photosynthesis increase crop yields? **Plant Cell and Environment**, v. 29, n. 3, p.315-30, 2006.

LOPES, N. F.; LIMA, M. G. S. **Fisiologia da produção**. Viçosa: UFV, 2015. 492 p.

LUDWIG, M. et al. Características morfológicas de cultivares de soja convencionais e Roundup Ready TM em função da época e densidade de semeadura. **Ciência Rural**, v. 40, n. 4, p. 759-767, 2010.

MALEKI, A. et al. Physiological performance of soybean cultivars under drought stress. **Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences**, v. 2, n. 6, p. 38-44, 2013.

MAPA (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO). **Zoneamento Agrícola de Risco Climático**. 2020. Disponível em: < http://indicadores.agricultura.gov.br/zarc/index.htm >. Acesso em: 22. jul. 2020a.

MAPA (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO). **Indicadores**. 2020. Disponível em: <http://indicadores.agricultura.gov.br/sigefsementes/index.htm>. Acesso em: 12. jun. 2020b.

MARQUES, M. et al. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja em diferentes épocas de semeadura. **Bioscience Journal**, v. 27, n. 1, p. 59-69, 2011.

MARTINS, M. C. et al. Épocas de semeadura, densidades de plantas e desempenho vegetativo de cultivares de soja. **Scientia Agricola**, v. 56, n. 4, p. 851-858, 1999.

MARTINS, J. et al. Plastocrono e número final de nós de cultivares de soja em função da época de semeadura. **Ciência Rural**, v. 41, n. 6, p. 954-959, 2011.

MATEI, G. et al. Agronomic performance of modern soybean cultivars in multi-environment trials. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** v. 52, n. 7, p. 500-511, 2017.

MEOTTI, G. et al. Épocas de semeadura e desempenho agronômico de cultivares de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 1, p. 14-21, 2012.

MERTZ-HENNING, L. et al. Effect of water deficit-induced at vegetative and reproductive stages on protein and oil content in soybean grains. **Agronomy**, v. 8, n. 1, p. 3, 2018.

MIRAKHORI, M. et al. Effect of drought stress and methanol on yield and yield components of soybean Max (L 17). **American Journal of Biochemistry and Biotechnology**, v. 5, n. 4, p. 162-169, 2009.

MONTEIRO, M. A. et al. Intensidade de desfolha e desempenho de plantas de soja com diferentes hábitos de crescimento. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 16, n. 2, p. 265-269, 2017.

MOSCARDI, F. et al. Artrópodes que atacam as folhas de soja. In: HOFFMANN-CAMPO, B. C.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; MOSCARDI, F. (Ed.). **Soja:** Manejo integrado de insetos e outros artrópodes-praga. Brasília: Embrapa, 2012. p. 213-334.

MUNDSTOCK, C. M.; THOMAS, A. L. **Soja***:* Fatores que afetam o crescimento e o rendimento de grãos. Porto Alegre: Evangraf, 2005. 31 p.

MÜLLER, M. **Arquitetura de plantas de soja:** Interceptação de radiação solar, deposição de produtos fitossanitários e produtividade. 2017. 91 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2017.

MÜLLER, M. et al. Grain yield differences of soybean cultivars due to solar radiation interception. **American Journal of Plant Sciences**, v. 8, n.11, p. 2795-2810, 2017.

NOBRE, D. A. C.; SEDIYAMA, T.; BEZERRA, A. R. G. Manejo integrado de pragas. In: SEDIYAMA, T. (Ed.). **Produtividade da soja**. Londrina: Mecenas, 2016. p.217-227.

NUNES, A. C. et al. Agronomic aspects of soybean plants subjected to deficit irrigation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 7, p. 654-659, 2016.

OLIVEIRA, T. C. et al. Desempenho agronômico de cultivares de feijão em função da adubação fosfatada no sul do estado do Tocantins. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 1, p. 50-59, 2014.

ORMOND, A. T. S. et al. Características agronômicas da soja em semeadura convencional e cruzada. **Revista Agro@mbiente on-line**, v. 9, n. 4, p. 414-422, 2015.

OWEN, L. N. et al. Impact of defoliation on yield of group IV soybeans in Mississipppi. **Crop Protection**, v. 54, n. 1, p. 206-212, 2013.

OLIVEIRA, C. et al. Crop losses and the economic impact of insect pests on Brazilian agriculture. **Crop Protection**, v. 56, p. 50-54, 2014.

PAYERO, J.; IRMAK, S. Daily energy fluxes, evapotranspiration and crop coefficient of soybean. **Agricultural Water Management**, v. 129, p. 31-43, 2013.

PARCIANELLO, G. **Tolerância da soja ao desfolhamento em função da redução do espaçamento entre fileiras**. 2002. 80f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

PETTER, F. A. et al. Desempenho agronômico da soja a doses e épocas de aplicação de potássio no cerrado piauiense. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 55, n. 3, p. 190-196, 2012.

PIEROZAN JUNIOR, C. et al. Phenological and quantitative plant development changes in soybean cultivars caused by sowing date and their relation to yield. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, n. 6, p. 515-523, 2015.

PIERRE, C. S. et al. Phenotyping transgenic wheat for drought resistance. **Journal of Experimental Botany**, v. 63, n. 5, p. 1799-1808, 2012.

PISSAIA, A.; COSTA, J. A. Influência de desfolhamentos artificiais sobre o rendimento de grãos e seus componentes, em duas cultivares de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** v. 3, n. 4, p. 47-61, 1981.

PRADO, R. de M.; FRANCO, C. F.; PUGA, A. P. Deficiências de macronutrientes em plantas de soja cv. BRSMG 68 (Vencedora) cultivada em solução nutritiva. **Comunicata Scientiae**, v. 1, n. 2, p. 114-119, 2010.

REZAEI, M. et al. Exchanging amount of sink and source affect on soybean yield and yield components. **Annals of Biological Research**, v. 3, n. 6, p. 3077-3083, 2012.

RIBEIRO, A. L. de P.; COSTA, E. C. Desfolhamento em estádios de desenvolvimento da soja, cultivar BR16, no rendimento de grãos. **Ciência Rural,** v. 30, n. 5, p. 767-771, 2000.

RICHARDS, L. Methods of measuring moisture tension. **Soil Science**, v. 58, n. 1, p. 95-112, 1949.

RICHTER, G.L. et al. Estimativa da área de folhas de cultivares antigas e modernas de soja por método não destrutivo. **Bragantia**, v. 73, n. 4, p.416-425, 2014.

RITCHIE et al. **How a soybean plant develops**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1985. 20 p. (Special Report, 53).

RÖMHELD, V. Diagnosis of deficiency and toxicity of nutrients. In: MARSCHNER, P.(Ed.) **Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants.** Oxford: Academic Press, 2012, p. 299-312.

RODRIGUES, O. et al. **Efeito da temperatura e do fotoperíodo na duração e na taxa de crescimento de grãos de soja**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2006. 28 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento Online, 35).

SANGOI, L. et al. Características fisiológicas de milho e sorgo e suas interações com o ambiente. In**:** PAES, M. C. D. (Ed.). **Milho e sorgo:** inovações, mercado e segurança alimentar. Sete Lagoas: ABMS, 2016. p.48-86.

SANTOS, V. M. et al. Desenvolvimento de plantas de soja em função de bioestimulantes em condições de adubação fosfatada, **Bioscience Journal**, v. 30, n. 4, p. 1087-1094, 2014.

SANTOS, L. A. dos et al. Crescimento, índices fisiológicos e produtividade de cultivares de feijoeiro sob diferentes níveis de adubação, **Ceres**, v. 62, n. 1, p. 107-116, 2015.

SCHMILDT, E. R. et al. Influência de desfolhas artificiais para simular perdas na produção do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L Cv. Xamego), **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 77, n. 3, p. 457-463, 2010.

SCHONINGER, E. L. et al. Grain yield of bean as affected by phosphorus and nitrogen rates. **Agrarian**, v. 8, n. 30, p. 387-398, 2015.

SHAO, H. B. et al. Water-deficit stress induced anatomical changes in higher plants. **Comptes Rendus Biologies**, v. 331, n. 3, p. 215-225, 2008.

SILVA, E. et al. Photosynthetic changes and protective mechanisms against oxidative damage subjected to isolated and combined drought and heat stresses in Jatropha curcas plants. **Journal of Plant Physiology**, v. 167, n. 14, p. 1157-1164, 2010.

SILVA, A. et al. Continuous defoliation stress in vegetative and reproductive stages of soybean genotypes. **Journal of Agronomy,** v. 14, n. 4, p. 279-285, 2015.

SOUZA, V. Q. de. et al. Caracteres morfofisiológicos e produtividade da soja em razão da desfolha no estádio vegetativo. **Científica**, v. 42, n. 3, p. 216-223, 2014.

STÜLP, M. et al. Desempenho agronômico de três cultivares de soja em diferentes épocas de semeadura em duas safras. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. 5, p. 1240-1248, 2009.

TAGLIAPIETRA, E. L. et al. Optimum leaf area index to reach soybean yield potential in subtropical environment. **Crop Ecology and Physiology**, v. 110, n. 3, p. 932-938, 2018.

TAIZ, L.et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.

TAO, F. et al. Response of crop yields to climate trends since 1980 in China. **Climate Research**, v. 54, n. 3, p. 233-247, 2012.

TEIXEIRA, G. C. da S.; BELTRÃO, D. S.; EVANGELISTA, A. W. P. Estudos de evapotranspiração em casa de vegetação. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, n. 13, p. 520-530, 2011.

TRENTIN, R. et al. Subperíodos fenológicos e ciclo da soja conforme grupos de maturidade e datas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 7, p. 703-713, 2013.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **Production, supply, distribuition**. 2020. Disponível em: <http://www.fas.usda.gov/psdonline/psdQuery.aspx>. Acesso em: 20 abr. 2020.

VERDE, B. S.; DANGA, B. O.; MUGWE, J. N. Effects of manure, lime and mineral P fertilizer on soybean yields and soil fertility in a humic nitisol in the Central Highlands of Kenya. **International Journal of Agricultural Science Research**, v. 2, n. 9, p. 283-291, 2013.

WEI, Y. et al. Quantitative response of soybean development and yield to drought stress during different growth stages in the Huaibei Plain, China. **Agronomy**, v. 8, n. 7, p. 97, 2018.

ZANON, A. J. et al. Contribuição das ramificações e a evolução do índice de área foliar em cultivares modernas de soja. **Bragantia**, v. 74, n. 3, p. 279-290, 2015a.

ZANON, A. J. et al. Desenvolvimento de cultivares de soja em função do grupo de maturação e tipo de crescimento em terras altas e terras baixas. **Bragantia**, v. 74, n. 4, p. 400-411, 2015b.

ZANON, A. J. et al. Efeito do tipo de crescimento no desenvolvimento de cultivares modernas de soja após o início do florescimento no Rio Grande do Sul. **Bragantia**, v. 75, n. 4, p. 446-458, 2016.

ZANON, A. J. et al. **Ecofisiologia da soja:** visando altas produtividades. Santa Maria:[s.n], 2018. 136 p.

ZHANG, L. et al. Warming decreases photosynthates and yield of soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] in the North China Plain. **The Crop Journal**, v. 4, n. 2, p. 139-146, 2016.

ZHAO, C. et al. Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 114, n. 35, p. 9326-9331, 2017.

ZUFFO, A. M. et al. Agronomic performance of soybean according to stages of development and levels of defoliation. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, n. 19, p. 2089-2096, 2015.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Valores de F segundo a análise de variância para as variáveis índice de área foliar anterior à desfolha em R3 (IAF R3), índice de área foliar em R5 (IAF R5) e índice de área foliar entre R3 e R5 (IAF R3-R5), em função da época de semeadura e da desfolha no estádio R3 de desenvolvimento.

Fonte de variação[1/]	GL	IAF (R3)	IAF (R5)	IAF R3-R5
Blocos	2	8.2129 ns	0.1270 ns	0.2926 ns
Época de semeadura (ES)	1	73.2800*	54.7887*	0.3057 ns
Resíduo	2			
Desfolha (D)	4	--	220.6722**	31.6596**
ES X D	4	--	23.9529**	0.4037 ns
Resíduo	16			
Total	29			

[1]/** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p<0,01) * significativo ao nível de 5% de probabilidade (P<0,05); ns - não significativo (p>0,05).
Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

APÊNDICE B – Valores de F segundo a análise de variância para as variáveis rendimento de grãos (RG), massa de 1.000 grãos (MMG), número de vagens por planta (NVP) e número de grãos por vagem (NGV), em função da época de semeadura e da desfolha no estádio R3 de desenvolvimento.

Fonte de variação[1/]	GL	RG	MMG	NVP	NGV
Blocos	2	0.8326 ns	3.3367 ns	1.0386 ns	1.4961 ns
Época de semeadura (ES)	1	98.2468*	1006.4714**	916.2072**	6.1284 ns
Resíduo	2				
Desfolha (D)	4	14.8130**	8.6979**	19.0620**	1.0800 ns
ES X D	4	2.3872*	1.3943 ns	10.8020**	1.2725 ns
Resíduo	16				
Total	29				

[1]/** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p<0,01) * significativo ao nível de 5% de probabilidade (P <0,05); ns - não significativo (p>0,05).
Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

APÊNDICE C – Valores de F segundo a análise de variância para as variáveis comprimento do caule (CC), número de nós (NN), número de ramos (NR) e altura de inserção da primeira vagem (AIPV), em função da época de semeadura e da desfolha no estádio R3 de desenvolvimento.

Fonte de variação[1/]	GL	CC	NN	NR	AIPV
Blocos	2	2.9639 ns	0.1710 ns	1.0401 ns	0.4798 ns
Época de semeadura (ES)	1	16.2327**	144.0375**	23.5556*	12.8982*
Resíduo	2				
Desfolha (D)	4	0.9658 ns	0.3734 ns	0.4505 ns	0.4335 ns
ES X D	4	0.5981 ns	1.2413 ns	1.8314 ns	0.9160 ns
Resíduo	16				
Total	29				

[1]/** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p<0,01) * significativo ao nível de 5% de probabilidade (P <0,05); ns - não significativo (p>0,05).
Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

APÊNDICE D – Valores de F segundo a análise de variância para as variáveis diâmetro do caule (DC), rendimento biológico (RB) e índice de colheita (IC), em função da época de semeadura e da desfolha no estádio R3 de desenvolvimento.

Fonte de variação[1/]	GL	DC	RB	IC
Blocos	2	2.5338 ns	0.5804 ns	0.8500 ns
Época de semeadura (ES)	1	68.2448*	511.4950**	23.8421*
Resíduo	2			
Desfolha (D)	4	0.2789	4.9555**	4.2675*
ES X D	4	0.1089	3.0192*	2.5036 ns
Resíduo	16			
Total	29			

[1]/** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p<0,01) * significativo ao nível de 5% de probabilidade (P <0,05); ns - não significativo (p>0,05).
Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

APÊNDICE E – Valores de F segundo a análise de variância para as variáveis área foliar em R3 e R5 (AF1) e área foliar entre V6 e R2 e R3 e R5 (AF2), em função da restrição hídrica e da desfolha, nos estádios V6 e R3 de desenvolvimento.

Fonte de variação[1/]	GL	AF1	AF2
		Experimento em V6	
Restrição hídrica (RH)	2	2.5083 ns	0.2324 ns
Desfolha (D)	4	4.0798**	2.4327 ns
RH X D	8	1.1480 ns	1.2074 ns
Blocos	2	0.6839 ns	0.9467 ns
Resíduo	28		
Total	44		
		Experimento em R3	
Restrição hídrica (RH)	2	0.7585 ns	4.6833*
Desfolha (D)	4	64.8916**	1.0119 ns
RH X D	8	0.9843 ns	1.3470 ns
Blocos	2	3.7981*	6.8937**
Resíduo	28		
Total	44		

[1]/** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p<0,01) * significativo ao nível de 5% de probabilidade (P <0,05); ns - não significativo (p>0,05).
Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

APÊNDICE F – Valores de F segundo a análise de variância para as variáveis produção de grãos por planta (PPG), massa de 1.000 grãos (MMG), número de vagens por planta (NVP) e número de grãos por vagem (NGV), em função da restrição hídrica e da desfolha, nos estádios V6 e R3 de desenvolvimento.

Fonte de variação[1/]	GL	PPG	MMG	NVP	NGV
			Experimento em V6		
Restrição hídrica (RH)	2	8.2434**	8.0600**	7.3639**	1.6958 ns
Desfolha (D)	4	4.8670**	8.5739**	0.4194 ns	1.8707 ns
RH X D	8	0.9239 ns	1.3554 ns	1.5880 ns	0.6217 ns
Blocos	2	1.8685 ns	10.0886**	3.7167*	2.7681 ns
Resíduo	28				
Total	44				
			Experimento em R3		
Restrição hídrica (RH)	2	11.9005**	7.9512**	43.8290**	15.8810**
Desfolha (D)	4	5.6177**	0.5480 ns	6.4330**	1.5925 ns
RH X D	8	0.4552 ns	1.0227 ns	1.1806 ns	0.5954 ns
Blocos	2	0.0533 ns	10.9064**	10.3336**	1.9979 ns
Resíduo	28				
Total	44				

[1]/** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p<0,01) * significativo ao nível de 5% de probabilidade (P <0,05); ns - não significativo (p>0,05).
Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

APÊNDICE G – Valores de F segundo a análise de variância para as variáveis comprimento do caule (CC), número de nós (NN), número de ramos (NR) e altura de inserção da primeira vagem (AIPV), em função da restrição hídrica e da desfolha, nos estádios V6 e R3 de desenvolvimento.

Fonte de variação[1/]	GL	CC	NN	NR	AIPV
			Experimento em V6		
Restrição hídrica (RH)	2	4.0029*	4.7477*	4.2474*	0.1329 ns
Desfolha (D)	4	0.1393 ns	0.3168 ns	0.8608 ns	1.0993 ns
RH X D	8	1.5802 ns	1.4169 ns	0.6134 ns	0.6373 ns
Blocos	2	5.7832**	1.8834 ns	1.7732 ns	1.1952 ns
Resíduo	28				
Total	44				
			Experimento em R3		
Restrição hídrica (RH)	2	7.9791**	1.6435 ns	0.0593 ns	2.0771 ns
Desfolha (D)	4	3.7417*	0.3754 ns	0.6822 ns	2.6150 ns
RH X D	8	1.4730 ns	0.9080 ns	1.8390 ns	2.4973*
Blocos	2	7.6196**	1.5217 ns	0.2373 ns	2.4709*
Resíduo	28				
Total	44				

[1]/** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p<0,01$) * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($P<0,05$); ns - não significativo ($p>0,05$).
Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

APÊNDICE H – Valores de F segundo a análise de variância para as variáveis diâmetro do caule (DC), rendimento biológico (RB) e índice de colheita (IC), em função da restrição hídrica e da desfolha, nos estádios V6 e R3 de desenvolvimento, respectivamente.

Fonte de variação[1/]	GL	DC	RB	IC
			Experimento em V6	
Restrição hídrica (RH)	2	9.6262**	3.9889*	1.6336 ns
Desfolha (D)	4	2.4029 ns	0.5761 ns	0.7025 ns
RH X D	8	0.6642 ns	0.7588 ns	1.0429 ns
Blocos	2	4.9678*	4.9515*	3.0586 ns
Resíduo	28			
Total	44			
			Experimento em R3	
Restrição hídrica (RH)	2	5.3416*	12.7063**	4.1274*
Desfolha (D)	4	3.4950*	5.4595**	3.6072*
RH X D	8	1.9368 ns	0.4620 ns	1.6351 ns
Blocos	2	0.6467 ns	3.6391**	0.0163*
Resíduo	28			
Total	44			

[1]/** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p<0,01$) * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($P<0,05$); ns - não significativo ($p>0,05$).
Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

APÊNDICE I – Valores de F segundo a análise de variância para as variáveis área foliar anterior à desfolha em R3 (AF R3), área foliar em R5 (AF R5) e área foliar entre R3 e R5 (AF R3-R5), em função da fertilidade do solo e da desfolha, no estádio R3 de desenvolvimento.

Fonte de variação[1/]	GL	AF R3	AF R5	AF R3-R5
Fertilidade do solo (FS)	1	10.8114**	22.8981**	61.7737**
Desfolha (D)	4	1.4070 ns	21.4866**	0.4373 ns
FS X D	4	0.8584 ns	0.6062 ns	0.0826*
Blocos	2	1.9497 ns	2.8885 ns	0.2282 ns
Resíduo	18			
Total	29			

[1]/** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p<0,01) * significativo ao nível de 5% de probabilidade (P <0,05); ns - não significativo (p>0,05).
Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

APÊNDICE J – Valores de F segundo a análise de variância para as variáveis produção de grãos por planta (PPG), massa de 1.000 grãos (MMG), número de vagens por planta (NVP) e número de grãos por vagem (NGV), em função da fertilidade do solo e da desfolha, no estádio R3 de desenvolvimento.

Fonte de variação[1/]	GL	PPG	MMG	NVP	NGV
Fertilidade do solo (FS)	1	158.4114**	2.6529 ns	48.2891**	2.6769 ns
Desfolha (D)	4	9.1865**	3.1655*	7.0734**	1.1145 ns
FS X D	4	1.2086 ns	1.1407 ns	3.0550*	2.5313 ns
Blocos	2	1.9627 ns	0.2456 ns	3.4172 ns	2.3594 ns
Resíduo	18				
Total	29				

[1]/** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p<0,01) * significativo ao nível de 5% de probabilidade (P <0,05); ns - não significativo (p>0,05).
Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

APÊNDICE K – Valores de F segundo a análise de variância para as variáveis comprimento do caule (CC), número de nós (NN), número de ramos (NR) e altura de inserção da primeira vagem (AIPV), em função da fertilidade do solo e da desfolha, no estádio R3 de desenvolvimento.

Fonte de variação[1/]	GL	CC	NN	NR	AIPV
Fertilidade do solo (FS)	1	16.2327**	3.9817 ns	5.6425*	9.8971**
Desfolha (D)	4	0.9658 ns	1.2134 ns	1.2124 ns	0.9475 ns
FS X D	4	0.5981 ns	1.6846 ns	0.7461 ns	0.3080 ns
Blocos	2	2.9639 ns	0.6597 ns	1.2591 ns	0.0530 ns
Resíduo	18				
Total	29				

[1]/** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p<0,01) * significativo ao nível de 5% de probabilidade (P <0,05); ns - não significativo (p>0,05).
Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

APÊNDICE L – Valores de F segundo a análise de variância para as variáveis diâmetro do caule (DC), rendimento biológico (RB) e índice de colheita (IC), em função da fertilidade do solo e da desfolha, no estádio R3 de desenvolvimento.

Fonte de variação[1/]	GL	DC	RB	IC
Fertilidade do solo (FS)	1	16.5272**	109.7393**	12.5415**
Desfolha (D)	4	1.4308 ns	6.3232**	1.2571 ns
FS X D	4	0.4369 ns	0.6986 ns	1.0167 ns
Blocos	2	2.5440 ns	15.3141**	1.8245 ns
Resíduo	18			
Total	29			

[1]/** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p<0,01) * significativo ao nível de 5% de probabilidade (P <0,05); ns - não significativo (p>0,05).
Fonte: Elaborada pela autora, 2020.