

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

HELIS MARINA SALOMÃO

**COMPETIÇÃO DE ESPÉCIES DANINHAS COM A CULTURA DA
SOJA: DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE DANO E DE PARÂMETROS
FISIOLÓGICOS E BIOQUÍMICOS ASSOCIADOS**

DISSERTAÇÃO

PATO BRANCO

2021

HELIS MARINA SALOMÃO

**COMPETIÇÃO DE ESPÉCIES DANINHAS COM A CULTURA DA SOJA:
DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE DANO E DE PARÂMETROS
FISIOLÓGICOS E BIOQUÍMICOS ASSOCIADOS**

**Competition of weeds with soybean: determination of the level of
damage and associated physiological and biochemical parameters**

Dissertação apresentada como requisito parcial à
obtenção do título de Mestre em Agronomia - Área
de Concentração: Produção Vegetal da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Orientador: Michelangelo Muzell Trezzi

PATO BRANCO

2021



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite o download e o compartilhamento da obra desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-la ou utilizá-la para fins comerciais.



HELIS MARINA SALOMÃO

**COMPETIÇÃO DE ESPÉCIES DANINHAS COM A CULTURA DA SOJA: DETERMINAÇÃO DO
NÍVEL DE DANO E DE PARÂMETROS FISIOLÓGICOS E BIOQUÍMICOS ASSOCIADOS**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestra Em Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Área de concentração: Produção Vegetal.

Data de aprovação: 11 de Março de 2022

Prof Michelangelo Muzzel Trezzi, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof^a Marisa De Cacia Oliveira, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof^a Francielli Diesel, Doutorado - SEED - Secretaria Estadual De Educação Do Paraná

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 11/03/2022.

A Deus,
Meus pais Ilto e Rosemeri,
Meu marido Adriano,
Aos colegas do grupo NIPED.

AGRADECIMENTOS

A minha família, em especial a meus pais Ilto Paulo Salomão e Rosemeri Salomão, a meu marido Adriano Suchoronczek e minha avó Alzira Costa Salomão, por todo apoio, carinho, amor, compreensão e auxílio em diferentes momentos da execução dos experimentos.

Ao meu orientador Michelangelo Trezzi e meu compadre Fortunato Parnoncelli, pela amizade, paciência, compreensão e auxílio em todas as dificuldades que enfrentei.

Aos colegas do grupo NIPED, em especial a minha comadre Katia Hartmann e Matheus Viecelli, e ao colega do programa Lucas Dallacorte, pela amizade e apoio nas avaliações dos experimentos.

Aos funcionários da área experimental Jacson e Felipe Candioto.

Ao LABSOLOS pela realização de análises de solo e de tecido foliar.

A banca examinadora, pelas sugestões e contribuições com o aperfeiçoamento do trabalho.

Aos professores do PPGAG e do curso de agronomia, que contribuíram para minha formação profissional e pessoal.

E todos que de alguma forma contribuíram para a execução dos trabalhos.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior -Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Força, foco e fé.

RESUMO

SALOMÃO, Helis Marina. Competição de espécies daninhas com a cultura da soja: determinação do nível de dano e de parâmetros fisiológicos e bioquímicos associados. 103 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2021.

A competição é considerada a principal forma de interferência de plantas daninhas com espécies cultivadas e, anualmente, provoca elevados prejuízos à agricultura mundial. Ela representa uma forma de estresse misto que acarreta grandes perdas de rendimento para as culturas. As respostas da matocompetição sobre parâmetros morfológicos e de produtividade das plantas já são bem explorados na literatura, entretanto, ainda são poucas as informações do seu impacto sobre variáveis metabólicas de espécies amplamente cultivadas. Isso justifica a relevância de estudos mais aprofundados sobre esse tema. Para tanto, o objetivo desse trabalho foi determinar o efeito causado pela interferência de diferentes densidades de quatro espécies daninhas sobre parâmetros bioquímicos, fisiológicos e produtivos da cultura da soja. Foram realizados dois experimentos a campo, em locais distintos, durante a safra 2020/2021. Foi utilizado o delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições, em esquema fatorial, tendo como primeiro fator as espécies de plantas daninhas (*Euphorbia heterophylla*, *Ipomoea grandifolia* e *Urochloa plantaginea*) e o segundo fator, as densidades de plantas daninhas (0, 3, 6, 12 e 24 plantas por m²), em unidades experimentais de 3,0 x 3,0 m. Foi utilizada a cultivar 95Y92, em uma densidade de 300 mil sementes por hectare. Em R5 foram avaliadas a altura de plantas (AP), área foliar (AF), matéria seca de folhas e de caules (MSF e MSC, respectivamente) em 10 plantas por parcela, e também quantificado o teor de clorofila (Índice Falker) e as trocas gasosas. Foi realizada coleta de material vegetal para análise de prolina, atividade das enzimas superóxido dismutase, catalase e peroxidase, peroxidação lipídica e extravasamento de solutos, além da análise nutricional. Quando as plantas atingiram a maturação, foram coletadas 10 plantas por parcela para a determinação dos componentes do rendimento e realizada a colheita das plantas na área útil da parcela para a quantificação da produtividade. As plantas de soja em competição com *I. grandifolia*, *E. heterophylla* e *U. plantaginea* em densidades crescentes são afetadas negativamente, com perdas em caracteres morfológicos e fisiológicos que se ajustam ao modelo da hipérbole retangular. As variáveis de AF, MSF, MSC e A são as que melhor explicam os efeitos do processo competitivo. Assim como, integridade de membranas, peroxidação lipídica e enzimas de estresse oxidativo são as que melhor descrevem as tentativas de defesa metabólica das plantas de soja. O processo competitivo se desenvolveu de maneira distinta, conforme a espécie de planta daninha estudada. Os resultados indicam que o fator determinante da competição com *I. grandifolia* é a redução da interceptação da radiação solar. Maiores perdas de rendimento da soja ocorreram na presença de *I. grandifolia*, seguida de *U. plantaginea* e *E. heterophylla*. O NCD, na média dos dois locais, foi de 54% para *I. grandifolia*, 29% para *U. plantaginea* e 26% para *E. heterophylla*. O número de vagens por planta foi o componente de rendimento da soja mais afetado pela competição com as plantas daninhas, estando ele correlacionado com a perda de produtividade. Nitrogênio foi o elemento que apresentou menores níveis no tecido foliar da soja, independente da planta daninha em competição.

Palavras-chave: Matocompetição. Morfologia. Fotossíntese. Aparato antioxidante. Metabolismo secundário.

ABSTRACT

SALOMÃO, Helis Marina. Competition of weeds with soybean: determination of the level of damage and associated physiological and biochemical parameters. 103 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), Federal University of Technology - Paraná. Pato Branco, 2021.

Competition is considered the main form of interference of weeds with cultivated species and, annually, causes high losses to world agriculture. It represents a form of mixed stress that causes large yield losses for crops. The responses of weed competition on morphological parameters and plant productivity are already well explored in the literature, however, there is still little information on its impact on metabolic variables of widely cultivated species. This justifies the relevance of further studies on this topic. Therefore, the objective of this work was to determine the effect caused by the interference of different densities of four weed species on biochemical, physiological and productive parameters of the soybean crop. Two field experiments were carried out in different locations during the 2020/2021 harvest. A randomized block design was used, with four replications, in a factorial scheme, having as the first factor the weed species (*Euphorbia heterophylla*, *Ipomoea grandifolia* and *Urochloa plantaginea*) and the second factor, the weed densities (0, 3, 6, 12 and 24 plants per m²), in experimental units of 3.0 x 3.0 m. Cultivar 95Y92 was used, at a density of 300,000 seeds per hectare. In R5, plant height (AP), leaf area (AF), dry matter of leaves and stems (MSF and MSC, respectively) were evaluated in 10 plants per plot, and the chlorophyll content (Falker Index) and gas exchanges. Plant material was collected for analysis of proline, activity of superoxide dismutase, catalase and peroxidase enzymes, lipid peroxidation and solute extravasation, in addition to nutritional analysis. When the plants reached maturity, 10 plants were collected per plot to determine the yield components and the plants were harvested in the useful area of the plot to quantify productivity. Soybean plants in competition with *I. grandifolia*, *E. heterophylla* and *U. plantaginea* at increasing densities are negatively affected, with losses in morphological and physiological characters that fit the rectangular hyperbola model. The variables of AF, MSF, MSC and A are the ones that best explain the effects of the competitive process. As well, membrane integrity, lipid peroxidation and oxidative stress enzymes are the ones that best describe the attempts at metabolic defense of soybean plants. The competitive process developed differently, depending on the weed species studied. The results indicate that the determining factor of competition with *I. grandifolia* is the reduction of solar radiation interception. Higher soybean yield losses occurred in the presence of *I. grandifolia*, followed by *U. plantaginea* and *E. heterophylla*. The NCD, in the average of the two sites, was 54% for *I. grandifolia*, 29% for *U. plantaginea* and 26% for *E. heterophylla*. The number of pods per plant was the most affected soybean yield component by competition with weeds, being it correlated with the loss of productivity. Nitrogen was the element that presented the lowest levels in soybean leaf tissue, regardless of the weed in competition.

Keywords: Weed competition. Morphology. Photosynthesis. Antioxidant apparatus. Secondary metabolism.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 01** – Precipitação pluviométrica nos locais de Pato Branco e Vitorino, e temperatura mínima e máxima durante o período experimental. Pato Branco, 2021. 25
- Figura 02** – Altura de plantas de soja, cultivar 95Y92, submetidas a matocompetição em diferentes densidades das espécies daninhas *I. grandifolia*, *E. heterophylla* e *U. plantaginea*, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021..... 32
- Figura 03** – Área foliar (AF) de plantas de soja, cultivar 95Y92, submetidas a matocompetição em diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021. 33
- Figura 04** – Matéria seca de folhas (MSF) de plantas de soja, cultivar 95Y92, submetidas a matocompetição em diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021. 35
- Figura 05** – Matéria seca de caule (MSC) de plantas de soja, cultivar 95Y92, submetidas a matocompetição em diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021. 36
- Figura 06** – Acamamento de plantas de soja, cultivar 95Y92, submetidas a matocompetição em diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021. 37
- Figura 07** – Número de vagens por plantas de soja, cultivar 95Y92, submetidas a matocompetição em diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021. 39
- Figura 08** – Número de grãos por vagem de plantas de soja, cultivar 95Y92, submetidas a matocompetição em diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021. 40
- Figura 09** – Peso de 1000 grãos de plantas de soja, cultivar 95Y92, submetidas a matocompetição em diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021. 41
- Figura 10** – Porcentagem de redução na produtividade de plantas de soja, cultivar 95Y92, submetidas a matocompetição em diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021..... 43
- Figura 11** – Porcentagem de redução no potencial de rendimento de plantas de soja, cultivar 95Y92, submetidas a matocompetição em diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021..... 44
- Figura 12** – Clorofila A (Índice SPAD) de plantas de soja, cultivar 95Y92, submetidas a matocompetição em diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021. 46
- Figura 13** – Clorofila total (Índice SPAD) de plantas de soja, cultivar 95Y92, submetidas a

matocompetição em diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021. 47

Figura 14 – Taxa de assimilação de CO₂ (A) de plantas de soja, cultivar 95Y92, submetidas a matocompetição em diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021. 48

Figura 15 – Condutância estomática (gs) de plantas de soja, cultivar 95Y92, submetidas a matocompetição em diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021. 50

Figura 16 -- Concentração intercelular de CO₂ (Ci) de plantas de soja, cultivar 95Y92, submetidas a matocompetição em diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021. 51

Figura 17 – Taxa de transpiração (E) de plantas de soja, cultivar 95Y92, submetidas a matocompetição em diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021. 52

Figura 18 – Eficiência de uso de água (WUE) de plantas de soja, cultivar 95Y92, submetidas a matocompetição em diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021. 54

Figura 19 – Integridade de membrana (IM) de plantas de soja, cultivar 95Y92, submetidas a matocompetição em diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021. 58

LISTA DE TABELAS

- Tabela 01** -- Características físicas e químicas do solo de Pato Branco (A) e Vitorino (B) utilizados nos experimentos. Pato Branco, 2020. 24
- Tabela 02** – Parâmetros da equação, coeficiente de determinação (R^2), quadrado médio do erro (QME) e probabilidade (p) para variável de altura de plantas de soja, em estádio de R5, submetidas a matocompetição por diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021. 32
- Tabela 03** – Parâmetros da equação, coeficiente de determinação (R^2), quadrado médio do erro (QME) e probabilidade (p) para variável de área foliar de plantas de soja, em estádio de R5, submetidas a matocompetição por diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021. 33
- Tabela 04** – Parâmetros da equação, coeficiente de determinação (R^2), quadrado médio do erro (QME) e probabilidade (p) para variável de matéria seca de folhas de plantas de soja, em estádio de R5, submetidas a matocompetição por diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021. 35
- Tabela 05** – Parâmetros da equação, coeficiente de determinação (R^2), quadrado médio do erro (QME) e probabilidade (p) para variável de matéria seca do caule de plantas de soja, em estádio de R5, submetidas a matocompetição por diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021. 36
- Tabela 06** – Parâmetros da equação, coeficiente de determinação (R^2), quadrado médio do erro (QME) e probabilidade (p) para variável de acamamento de plantas de soja, em estádio de R5, submetidas a matocompetição por diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021. 38
- Tabela 07** – Parâmetros da equação, coeficiente de determinação (R^2), quadrado médio do erro (QME) e probabilidade (p) para variável de número de vagens por plantas de soja, em estádio de maturação, submetidas a matocompetição por diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021. 39
- Tabela 08** – Parâmetros da equação, coeficiente de determinação (R^2), quadrado médio do erro (QME) e probabilidade (p) para variável de número de grãos por vagem de plantas de soja, em estádio de maturação, submetidas a matocompetição por diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021. 40
- Tabela 09** – Parâmetros da equação, coeficiente de determinação (R^2), quadrado médio do erro (QME) e probabilidade (p) para variável de peso de 1000 grãos de plantas de soja, em estádio de maturação, submetidas a matocompetição por diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021. 41
- Tabela 10** – Parâmetros da equação, nível crítico de dano (NCD), coeficiente de determinação (R^2), quadrado médio do erro (QME) e probabilidade (p) para variável de produtividade final de plantas de soja, submetidas a matocompetição por diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021. 43

- Tabela 11** – Parâmetros da equação, nível crítico de dano (NCD), coeficiente de determinação (R^2), quadrado médio do erro (QME) e probabilidade (p) para variável de potencial de rendimento de plantas de soja, em estágio de R5, submetidas a matocompetição por diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021. 45
- Tabela 12** – Parâmetros da equação, coeficiente de determinação (R^2), quadrado médio do erro (QME) e probabilidade (p) para variável de clorofila A de plantas de soja, em estágio de R5, submetidas a matocompetição por diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021. 46
- Tabela 13** – Parâmetros da equação, coeficiente de determinação (R^2), quadrado médio do erro (QME) e probabilidade (p) para variável de clorofila total de plantas de soja, em estágio de R5, submetidas a matocompetição por diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021. 47
- Tabela 14** – Parâmetros da equação, coeficiente de determinação (R^2), quadrado médio do erro (QME) e probabilidade (p) para variável de taxa de assimilação de CO_2 de plantas de soja, em estágio de R5, submetidas a matocompetição por diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021. 49
- Tabela 15** – Parâmetros da equação, coeficiente de determinação (R^2), quadrado médio do erro (QME) e probabilidade (p) para variável de condutância estomática de plantas de soja, em estágio de R5, submetidas a matocompetição por diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021. 50
- Tabela 16** – Parâmetros da equação, coeficiente de determinação (R^2), quadrado médio do erro (QME) e probabilidade (p) para variável de concentração intercelular de CO_2 de plantas de soja, em estágio de R5, submetidas a matocompetição por diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021. 51
- Tabela 17** – Parâmetros da equação, coeficiente de determinação (R^2), quadrado médio do erro (QME) e probabilidade (p) para variável de taxa de transpiração de plantas de soja, em estágio de R5, submetidas a matocompetição por diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021. 52
- Tabela 18** – Parâmetros da equação, coeficiente de determinação (R^2), quadrado médio do erro (QME) e probabilidade (p) para variável de eficiência de uso de água de plantas de soja, em estágio de R5, submetidas a matocompetição por diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021. 55
- Tabela 19** – Níveis de prolina, peroxidação lipídica (MDA), e atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e peroxidase (POX) em plantas de soja em estágio de R5, sem (D0) e com (D12) a presença de 12 plantas daninhas por m^2 , no local de Pato Branco. UTFPR, Campus Pato Branco, 2021. 56
- Tabela 20** – Níveis de prolina, peroxidação lipídica (MDA), e atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e peroxidase (POX) em plantas de soja em estágio de R5, sem (D0) e com (D12) a presença de 12 plantas daninhas por m^2 , no local de Vitorino. UTFPR, Campus Pato Branco, 2021. 56

Tabela 21 – Parâmetros da equação, coeficiente de determinação (R^2), quadrado médio do erro (QME) e probabilidade (p) para variável de integridade de membrana de plantas de soja, em estágio de R5, submetidas a matocompetição por diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021.	59
Tabela 22 – Teores de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) em plantas de soja em estágio de R5, sem (D0) e com (D12) a presença de 12 plantas daninhas por m^2 , nos locais de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021	60
Tabela 23 -- Correlação linear de Pearson de variáveis obtidas de plantas de soja submetidas a matocompetição por diferentes densidades de <i>Ipomoea grandifolia</i> nas localidades de Pato Branco e Vitorino. UTFPR, Campus Pato Branco, 2021.	63
Tabela 24 -- Correlação linear de Pearson de variáveis obtidas de plantas de soja submetidas a matocompetição por diferentes densidades de <i>Euphorbia heterophylla</i> nas localidades de Pato Branco e Vitorino. UTFPR, Campus Pato Branco, 2021.....	64
Tabela 25 -- Correlação linear de Pearson de variáveis obtidas de plantas de soja submetidas a matocompetição por diferentes densidades de <i>Urochloa plantaginea</i> nas localidades de Pato Branco e Vitorino. UTFPR, Campus Pato Branco, 2021.	65

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
NIPED	Núcleo de Investigações na Ciência das Plantas Daninhas
PR	Unidade da Federação – Paraná
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LISTA DE ABREVIATURAS

A	Taxa de assimilação de CO ₂
°C	Graus Celsius
Alt	Altura
AMPA	Aminometilfosfônico
APX	Ascorbato peroxidase
C	Controle
CAT	Catalase
CC	Capacidade de campo
Cfb	Clima temperado ameno
CO ₂	Dióxido de carbono
CV	Coefficiente de variação
DTT	Ditiotreitol
E	Taxa de transpiração
EPI	Equipamento de proteção individual
EPSPs	Enol-piruvil-shiquimato-fosfato sintase
EROs	Espécies reativas do oxigênio
g	Gramas
g	Força G
gs	Condutância estomática
GL	Graus de liberdade
h	Hora
H	Horários
H ₂ O ₂	Peróxido de hidrogênio
ha	Hectare
i.a.	Ingrediente ativo
Kow	Partição octanol-água
L	Litro
m/v	Massa por volume
MF	Matéria fresca
mg	Miligramas
min	Minutos
mM	Milimolar
MS	Matéria seca
MSF	Matéria seca de folhas
MSC	Matéria seca de colmo
NBT	Azul de nitrotetrazólio cloreto
O ₂	Oxigênio
O ₂ ^{·-}	Oxigênio singleto
POX	Peroxidase
PVP	Polivinilpirolidona
QMR	Quadrado médio do resíduo
R	Restrição
RFA	Radiação fotossinteticamente ativa
s	Segundo
SOD	Superóxido dismutase
TKP	Tampão fosfato de potássio
U	Unidades
WUE	Eficiência de uso de água
µL	Microlitro
µM	Micromol

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	5
2 REFERENCIAL TEÓRICO	9
2.1 IMPORTÂNCIA DA CULTURA DA SOJA	9
2.2. A PROBLEMÁTICA DAS PLANTAS DANINHAS NA CULTURA DA SOJA	10
2.3 RESPOSTAS BIOQUÍMICAS E FISIOLÓGICAS DA MATOCOMPETIÇÃO ...	14
2.4 NUTRIÇÃO DAS PLANTAS EM COMPETIÇÃO	21
3 MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1 DESCRIÇÃO DAS AVALIAÇÕES.....	26
3.2 ANÁLISE DE DADOS	29
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1 RESPOSTAS MORFOLÓGICAS E DE CRESCIMENTO	31
4.2 RENDIMENTO E COMPONENTES	37
4.3 RESPOSTA FISIOLÓGICAS	45
4.4 MECANISMOS PARA MITIGAR A COMPETIÇÃO E ANÁLISE NUTRICIONAL	55
4.5 ANÁLISES DE CORRELAÇÃO	60
5 CONCLUSÕES	67
REFERÊNCIAS	68

APÊNDICE A – Fator de variação (FV), graus de liberdade (GL), quadrado médio do erro (QME), para as variáveis de altura de plantas (ALT), área foliar (AF), matéria seca de folhas (MSF) e matéria seca de colmo (MSC) de plantas de soja, cultivar 95Y92, em estágio R5 submetidas a matocompetição com diferentes espécies e densidades de plantas daninhas na localidade de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021. 79

APÊNDICE B – Fator de variação (FV), graus de liberdade (GL), quadrado médio do erro (QME), para as variáveis de clorofila A (Chla), clorofila B (Chlb), clorofila total (Chlt) e acamamento (Acam) de plantas de soja, cultivar 95Y92, em estágio R5 submetidas a matocompetição com diferentes espécies e densidades de plantas daninhas na localidade de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021.80

APÊNDICE C – Fator de variação (FV), graus de liberdade (GL), quadrado médio do erro (QME), para as variáveis de integridade de membrana (IM), taxa de assimilação de CO₂ (A), condutância estomática (gs) e concentração intercelular de CO₂ (Ci) de plantas de soja, cultivar 95Y92, em estágio R5 submetidas a matocompetição com diferentes espécies e densidades de plantas daninhas na localidade de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021..... 81

APÊNDICE D – Fator de variação (FV), graus de liberdade (GL), quadrado médio do erro (QME), para as variáveis de transpiração (E), eficiência do uso de água (WUE), número de vagens por planta (VP) e número de grãos por vagem (GV) de plantas de soja, cultivar 95Y92, em estágio R5 submetidas a matocompetição com diferentes espécies e densidades de plantas daninhas na localidade de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021..... 82

APÊNDICE E – Fator de variação (FV), graus de liberdade (GL), quadrado médio do erro (QME), para as variáveis prolina (PRO), peroxidação lipídica (MDA), superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e peroxidase (POX) de plantas de soja, cultivar 95Y92,

em estágio de R5 submetidas a matocompetição com diferentes espécies de plantas daninhas na localidade de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021..... 83

APÊNDICE F – Fator de variação (FV), graus de liberdade (GL), quadrado médio do erro (QME), para as variáveis teor de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) de plantas de soja, cultivar 95Y92, em estágio de R5 submetidas a matocompetição com diferentes espécies de plantas daninhas na localidade de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021..... 84

APÊNDICE G – Fator de variação (FV), graus de liberdade (GL), quadrado médio do erro (QME), para as variáveis peso de 1000 grãos (P1000), potencial de rendimento em R5 (Pot. Rend), produtividade (Prod) e estande final (Est) de plantas de soja, cultivar 95Y92, em estágio de maturação submetidas a matocompetição com diferentes espécies e densidades de plantas daninhas na localidade de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021..... 85

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* L. Merrill) é uma *commodity* de grande importância para o mundo e no Brasil, o Paraná se destaca na produção. Nacionalmente, sua área plantada sofre pequenas alterações anualmente, entretanto, sua produtividade é crescente em decorrência do melhoramento genético de cultivares e de técnicas de manejo adequadas.

Um dos principais gargalos que impedem o máximo desempenho dos genótipos de soja é o ataque de pragas, doenças e plantas daninhas. Estas últimas provocam grandes reduções de produtividade dos cultivos agrícolas em todo o mundo (OERKE, 2006). Tais perdas expressivas são resultantes do processo competitivo por recursos essenciais, entre plantas daninhas e cultivadas, e que estejam com certa limitação no meio. Normalmente, plantas daninhas possuem vantagens adaptativas que as tornam mais competitivas e que permitem a elas se sobressaírem às plantas cultivadas, impondo-lhes perdas na produção.

A espécie daninha, densidade e período de interferência estão entre os fatores principais capazes de influenciar o processo de interferência. Diferentes são as habilidades competitivas das espécies daninhas, assim, como em maiores densidades da infestante, maiores serão as perdas por ela propiciadas. Outro ponto relevante são as épocas de estabelecimento das infestantes, sendo que quanto mais precoce o estabelecimento das plantas daninhas, maiores serão os danos provocados na cultura.

Estudos apontam grande redução no rendimento da soja submetida a competição com espécies de *Ipomoea*, em que apenas uma planta por metro quadrado proporciona redução de 25,9% do rendimento final da cultura (PAGNONCELLI Jr *et al.*, 2017). O potencial de redução de biomassa da soja pela presença de plantas de *I. ramosissima* pode chegar a 54% quando a planta daninha tem seu estabelecimento anterior à implantação da cultura da soja, sendo ela mais competitiva que plantas de *Euphorbia heterophylla* (RIZZARDI *et al.*, 2003).

A matocompetição é capaz de provocar mudanças em características morfológicas e no crescimento das plantas (redução da área foliar, redução da matéria seca, estiolamento), que podem culminar com a redução do rendimento de grãos da

cultura (COELHO *et al.*, 2019; DIESEL *et al.*, 2020). Tais alterações morfológicas e no crescimento das plantas ocorrem em decorrência de mecanismos bioquímicos e fisiológicos ativados pelo estresse biótico e abiótico propiciado pela matocompetição (GALAL, SHEHATA, 2015). A redução na absorção de nutrientes, como N, P e K, em plantas cultivadas sob competição, afeta a eficiência nutricional, acentuando as perdas de grãos, já que as plantas daninhas tendem a ser mais eficientes no suprimento nutricional do que as plantas cultivadas (CURY *et al.*, 2013; COELHO *et al.*, 2019).

Pouco se sabe sobre a relação existente entre interferência de plantas daninhas e a produção de espécies reativas de oxigênio (ROS), estresse oxidativo e demais compostos produzidos pelas plantas em resposta a tal estresse (CAVERZAN *et al.*, 2019). Estudos demonstram alterações na produção de ROS, atividade antioxidante e expressão gênica de componentes antioxidantes em plantas submetidas a matocompetição (AFIFI, SWANTON, 2012; AGOSTINETTO *et al.*, 2017; PIASECKI *et al.*, 2018a, b; GAL *et al.*, 2015).

Na literatura, há divergências sobre a ação de mecanismos enzimáticos antioxidantes presentes na soja frente à interferência com espécies daninhas. Em estudo sobre a presença da *E. heterophylla* com a soja, Ulguim *et al.* (2017) não detectaram nenhum dano celular ou alteração na atividade das enzimas SOD, CAT e APX. Estudos de soja competindo com *Cyperus rotundus* L. encontraram atividades reduzidas de SOD, CAT e APX (DARMANTI *et al.*, 2016). Na soja (PIASECKI *et al.*, 2018a) e no feijão (PIASECKI *et al.*, 2018b), estudos mostraram que os níveis de H₂O₂, APX e atividade de CAT diminuíram com o aumento da densidade de milho voluntário, enquanto a atividade de SOD aumentou proporcionalmente à densidade de milho voluntário. Trabalhos realizados com soja e trigo sob interferência de *Lolium multiflorum* detectaram danos oxidativos e aumento da atividade das enzimas SOD, CAT e APX (AGOSTINETTO *et al.*, 2017; AGOSTINETTO *et al.*, 2016).

Os estudos citados indicam que as respostas das enzimas do estresse oxidativo desencadeadas pela interferência de plantas daninhas varia entre a neutralidade, a redução e o incremento, havendo diferenças de atividade entre distintas enzimas, dentro da mesma espécie competidora e para a mesma enzima entre distintas espécies competidoras. Essas diferenças entre espécies competidoras

podem estar relacionadas na capacidade de cada competidora em angariar recursos e do principal recurso disputado para desencadear o estresse competitivo; diferenças entre estudos utilizando a mesma espécie competidora podem ser justificadas por vários fatores capazes de determinar a intensidade do processo competitivo, dentre os quais a densidade de plantas daninhas infestantes, condições de ambiente e capacidade competitiva da cultura da soja.

As respostas da matocompetição sobre parâmetros morfológicos e de produtividade das plantas já são bem explorados na literatura, entretanto, ainda são poucas as informações do impacto causado pela matocompetição sobre variáveis metabólicas de espécies amplamente cultivadas. Justificando assim, a relevância de estudos mais aprofundados sobre esse tema.

Diante disso, as hipóteses desse estudo são:

- O processo competitivo com plantas daninhas impacta negativamente características morfológicas, de crescimento e os componentes e rendimento de grãos da cultura da soja e existem indicadores fisiológicos e bioquímicos associados às modificações morfológicas e no rendimento de grãos com capacidade de explicá-los adequadamente.
- A espécie daninha *Ipomoea grandifolia* apresenta maior capacidade competitiva com a cultura da soja, impactando negativamente tanto sobre características morfológicas e de rendimento de grãos, quanto fisiológicas e bioquímicas.
- Menores teores nutricionais foliares são encontrados em plantas de soja que convivem com as espécies daninhas mais competitivas, sendo essa uma das causas da maior redução do rendimento de grãos.

O objetivo geral do presente estudo foi: avaliar a interferência de diferentes densidades de espécies daninhas (*Euphorbia heterophylla*, *Ipomoea grandifolia* e *Urochloa plantaginea*) sobre parâmetros bioquímicos, fisiológicos e produtivos da cultura da soja.

Os objetivos específicos foram:

- Determinar a perda de rendimento de grãos de soja em decorrência da interferência de espécies daninhas *E. heterophylla*, *I. grandifolia* e *U.*

plantaginea.

- Determinar, em uma abordagem comparativa, as espécies daninhas que apresentam o maior nível crítico de dano ao rendimento de grãos de soja.
- Determinar o efeito da interferência das plantas daninhas sobre as trocas gasosas, condutividade e teor de clorofila das plantas de soja.
- Quantificar o efeito da interferência das plantas daninhas sobre a atividade de enzimas de estresse oxidativo, o teor de prolina, a peroxidação lipídica e a produção peróxido de hidrogênio nas plantas de soja.
- Quantificar o efeito da interferência das plantas daninhas sobre o teor de nutrientes no tecido foliar das plantas de soja.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 IMPORTÂNCIA DA CULTURA DA SOJA

A soja (*Glycine max* (L.) Merr.) é uma espécie pertencente a classe Magnoliopsida (dicotiledônea), família Fabaceae (leguminosa) (ITIS, 2016). É a principal leguminosa de grãos no mundo, possuindo adaptação a diferentes ambientes, climas, tipos de solo e condições de cultivo (IQBAL *et al.*, 2015). O leste do continente Asiático (China e regiões adjacentes) é considerado o centro de origem desta cultura e sua disseminação para outras partes do mundo se deu pelas navegações, inicialmente para o continente Europeu e depois para as Américas (CHUNG, SINGH, 2008).

A soja é uma espécie que apresenta metabolismo fotossintético do tipo C3. Morfologicamente possui raiz do tipo pivotante, caule herbáceo e folha trifoliada. Possuindo ciclo anual e ampla adaptabilidade a diversos ecossistemas, fato que tornou possível a disseminação do seu cultivo para diversos ambientes no mundo (FERRARI *et al.*, 2015).

Conforme dados do USDA (2022), a produção mundial de soja no ano de 2021 foi de 362,4 mi t, e a produtividade média mundial foi de 2,86 t ha⁻¹ em uma área plantada de 127,8 mi ha. A produtividade média do Brasil foi de 3,51 t ha⁻¹, com uma área plantada de 38,5 mi ha e produção de 135,4 mi t, sendo o maior produtor mundial dessa cultura, seguido dos EUA (CONAB, 2022).

No Brasil, segundo o IBGE (2022), o estado do Paraná, em 2018, foi o segundo maior produtor, ficando atrás somente do Mato Grosso, com a produção média de 19,02 mi t em uma área plantada de 5,37 mi ha, com uma produtividade média de 3,54 t ha⁻¹. O consumo interno de soja em grão, segundo a CONAB (2020) em 2019 foi de 44,000 milhões de toneladas, sendo que em 2018 a exportação de soja em grão foi de 83,6 milhões de toneladas, com uma receita de U\$ 33,2 bilhões, a exportação de farelo de soja foi de 16,9 milhões de toneladas, com receita de U\$ 6,7 bilhões e a exportação de óleo de soja de 1,4 milhões de toneladas, com receita de U\$ 1,0 bilhão. Isso totaliza um montante de divisas para o país devido à exportação de soja de U\$ 40,9 bilhões.

A soja é uma cultura de grande importância para a segurança alimentar mundial, sendo a espécie considerada a maior fonte de proteína e óleo de origem vegetal, além de ser fonte de alimento humano e para os animais (KUMAGAI; SAMESHIMA, 2014). Segundo a FAO (2020), a soja é a maior fonte de óleo comestível, representando cerca de 50% da produção total de oleaginosas do mundo. Se pudesse ser totalmente utilizada para consumo humano, seria suficiente para fornecer aproximadamente um terço da necessidade global de proteína alimentar.

Porém, a maior parte da soja e seus sub-produtos são utilizados na alimentação animal sendo uma fonte de proteína acessível, barata e rentável para a produção de carne e ovos. Apesar do considerável interesse público e comercial no consumo direto da soja como alimento humano, a proporção de proteína de soja consumida diretamente na nutrição humana ainda é relativamente pequena (SEDIYAMA; SILVA; BORÉM, 2015). Também é fonte proteica para pessoas vegetarianas, veganos ou intolerantes a lactose, usada na produção de chocolate, temperos prontos, massas, mistura em bebidas, papinhas de crianças, alimentos dietéticos, sendo a principal fonte de óleo vegetal culinário (CARRÃO-PANIZZI; PIPOLO, 2007, EMBRAPA, 2010).

A soja também é fonte de mais de 70% da matéria prima para o biodiesel, que corresponde a cerca de 10% da mistura com o óleo diesel brasileiro, sendo responsável pela redução do uso de combustíveis fósseis e redução de contaminações ambientais (SEDIYAMA; SILVA; BORÉM, 2015). É utilizada, ainda, para a produção de tintas, plásticos, cosméticos, na indústria farmacêutica para combate de radicais livres e tratamentos hormonais, espumas para a fabricação de móveis e na indústria automobilística, além do consumo *in natura* de brotos de soja e soja verde (SEDIYAMA; SILVA; BORÉM, 2015, CARRÃO-PANIZZI; PIPOLO, 2007).

2.2. A PROBLEMÁTICA DAS PLANTAS DANINHAS NA CULTURA DA SOJA

A presença de uma comunidade infestante em conjunto com plantas cultivadas, promove uma série de pressões ambientais que ocorrem de forma direta ou indireta, e esse efeito se nomeia, genericamente, de interferência (MULLER *et al.*, 1969), sendo considerado o estresse biótico mais importante na produção agrícola

(RAMOS, PITELLI, 1998; RADOSEVICH; HOLT; GHERSA, 2007; CARVESAN *et al.*, 2019). A alelopatia e a competição são as formas diretas mais importantes de interferência (MONQUERO, 2014), sendo a segunda a mais recorrente e que causa maiores danos nos cultivos agrícolas, uma vez estabelecida e havendo ao menos um recurso ambiental limitado. O fato de muitas destas plantas serem hospedeiras de pragas e doenças pode resultar em efeitos indiretos para as plantas cultivadas (RADOSEVICH; HOLT; GHERSA, 2007).

Além do aumento nos custos finais da lavoura, a presença de plantas daninhas acarreta perdas de rendimento e depreciação do produto colhido. Existem diversos trabalhos que comprovam que quaisquer outras plantas crescendo voluntariamente em áreas de soja levam à redução na produtividade da cultura, como por exemplo, com milho voluntário reduziu em até 69,9% a produtividade da cultura (LÓPEZ-OVEJERO *et al.*, 2016). Plantas de soja cultivadas sob renques de árvores, em sistemas integrados de produção e com presença de plantas daninhas, teve reduções no desenvolvimento e na produtividade (DEISS *et al.*, 2017). Em competição com capim arroz, plantas de soja apresentam redução na produtividade (AMINPANA, JAVADI, 2011; BASTIANI *et al.*, 2016), e em competição com buva causam até 25% de perdas no rendimento (TREZZI *et al.*, 2013). Plantas de *Ipomoea* competindo com soja, podem provocar redução de 26% da produtividade da cultura (PAGNONCELLI *et al.*, 2017).

Ao termo competição podem ser atribuídos dois significados fundamentalmente diversos, o primeiro se referindo a disputa por recursos essenciais ao crescimento e desenvolvimento de ambas as espécies que estão no mesmo ambiente. Já o segundo, se refere a capacidade da população em se estabelecer e perdurar sua colonização em dado local, ou seja, sua capacidade de sobrevivência. No primeiro caso, os fatores determinantes para a competitividade das plantas são suas características morfológicas, fisiológicas e bioquímicas (KAUR *et al.*, 2018).

A competição entre planta daninha e planta cultivada é uma interação negativa, onde os indivíduos envolvidos utilizam um mesmo recurso não abundante, resultando em prejuízos que podem ser para ambas as espécies ou restritos a espécie menos competitiva, já que aquelas com maior capacidade competitiva acessam mais facilmente os recursos essenciais e crescem rapidamente, acarretando perdas para

as menos competitivas (RAMOS, PITELLI, 1998; BARROSO, YAMAUTI, ALVES, 2010), devido a alterações no metabolismo e gastos desnecessários de energia, na tentativa de superar o processo de competição (CARVEZAN *et al.*, 2019). Tais rumos dependem muito das espécies em questão, densidade, distribuição, espaçamento, condições do ambiente, clima, estação de crescimento e período de coexistência (CARVEZAN *et al.*, 2019; RADOSEVICH; HOLT; GHERSA, 2007).

Diferentes períodos de interferência buscam estabelecer períodos críticos de interação entre culturas e comunidades infestantes, para a definição do melhor momento para a realização do controle das plantas daninhas, evitando perdas de rendimento, os quais, refletem a adequação das condições de implantação e manejo das culturas (VIDAL, 2010).

Tais períodos foram definidos por Pitelli e Durigan (1984) como período anterior à interferência (PAI) que compreende da emergência até quando as plantas podem conviver sem que ocorram alterações negativas. Período total de prevenção à interferência (PTPI), período que a cultura tem de se desenvolver livre da presença de daninhas para que não ocorram perdas e período crítico de prevenção à interferência (PCPI), que se localiza entre os picos do PAI e PTPI.

O PCPI refere-se aos estádios de crescimento das culturas que são mais vulneráveis à competição imposta pelas plantas daninhas, definido como o número de semanas em que a cultura deve ser mantida livre da presença de plantas daninhas para prevenir perdas significativas de produtividade (VIDAL, 2010).

O tempo em que as espécies infestantes competem com as plantas cultivadas, sugere que o período inicial de competição mais importante englobe os primeiros 25 a 33% do ciclo vegetativo das culturas, sendo que nesta fase ainda não há boa cobertura do solo (KASASIAN, SEEYAVE, 1969; MELO *et al.*, 2001). Para a soja, o PTPI é de até aproximadamente 35 dias depois da emergência (VITORINO *et al.*, 2017), porém para Melo *et al.* (2001) seria até aproximadamente 50 dias. Essa diferença ocorre em função de diversos fatores ligados à comunidade vegetal infestante, à cultura, ao ambiente e ao período de convivência (PITELLI, 1985). Devido ao grande número de fatores envolvidos, os resultados de pesquisa sobre a interferência de plantas daninhas em culturas são variados.

O processo evolutivo atua de modo a favorecer o enriquecimento

genético dos biótipos de plantas daninhas. As plantas daninhas são espécies pioneiras e se caracterizam por características como elevada agressividade, alta variabilidade genética, prolongada capacidade de produção de sementes e germinação, banco de sementes persistente, adaptação à disseminação e vigoroso aporte de biomassa e rápido florescimento (COELHO, 2017). Esses atributos contribuem para a evolução do processo de resistência em todo o mundo.

Outro fator que contribui para a evolução da resistência e aumento das infestações é o controle deficiente, principalmente onde o manejo outonal não é realizado, como em beiras de estradas e áreas abandonadas, tornando essas plantas disseminadoras de sementes (SILVA *et al.*, 2014) e que, em consequência, se tornam as principais ervas daninhas problema na cultura, onerando os custos de produção.

Em levantamento efetuado por Adegas *et al.* (2017), o custo médio relativo de controle de plantas daninhas na cultura da soja nos anos 2000, em áreas sem plantas daninhas resistentes era em torno de R\$ 62,00, em áreas com problemas de resistência a ALS e ACCase em torno de R\$ 285,00 e em área sem que foram introduzidas cultivares resistentes a glyphosate (RR) o custo relativo passou a ser de R\$ 92,00. Isso contribuiu fortemente para a rápida adoção das cultivares geneticamente modificadas resistentes ao glyphosate no Brasil. Já, em levantamentos efetuados mais recentemente, após a evolução da resistência ao glyphosate em grande escala, os custos médios em áreas com azevém resistente subiram para R\$ 177,00, com buva resistente para R\$ 170,00 e com capim amargoso para R\$ 318,00. Quando em infestações mistas de azevém e buva os custos subiram para R\$ 197,00, e em infestações mistas de buva e amargoso ficaram em torno de R\$ 386,00 (ADEGAS *et al.*, 2017).

Os problemas tendem a ser agravados, devido à baixa diversidade de culturas, ou mesmo monocultura, associado ao uso frequente e isolado de glyphosate, em doses muitas vezes fora da recomendação (FERNÁNDEZ *et al.*, 2015). Exemplos como a adoção de alta diversidade de culturas e rotação de princípios ativos de herbicidas, adotados no Canadá, devem ser seguidos em todo o mundo, pois têm contribuído para reduzir a pressão de seleção e a evolução dos casos de resistência (DUKE, 2018).

2.3 RESPOSTAS BIOQUÍMICAS E FISIOLÓGICAS DA MATOCOMPETIÇÃO

As respostas da matocompetição em parâmetros morfológicos e de produtividade das plantas já são bem explorados na literatura. Entretanto, poucas informações são encontradas a respeito das influências da matocompetição em parâmetros bioquímicos e fisiológicos das plantas envolvidas, principalmente em alterações no metabolismo secundário (ROCKENBACH, 2019; ROCKENBACH *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2014).

A quantificação de alterações bioquímicas no metabolismo das plantas é de extrema importância, pois uma planta, morfológicamente, permanecer aparentemente saudável, entretanto ela pode estar passando por distúrbios fisiológicos (BARROS *et al.*, 2014). Essas condições levam a uma diminuição de seu desempenho produtivo, que estatisticamente não seria identificada (DA-YONG *et al.*, 2012) ou até mesmo, levar a identificação de genótipos com maior ou menor tolerância a estresse biótico e abiótico (SILVA *et al.*, 2014).

O estresse misto causado pela matocompetição desregula o metabolismo interno da planta, a ponto de externar alterações morfológicas e em sua produtividade. Essas alterações no mecanismo fisiológico das plantas produzem mudanças no uso de recursos, principalmente na captação de água e nutrição (GALAL, SHEHATA, 2015). Tais alterações são reguladas pela expressão de genes responsivos a estresse, que irão trabalhar na tentativa de mitigar os danos provocados pela matocompetição.

A luz solar é um recurso essencial para o crescimento das plantas, fornecendo a energia necessária para a fotossíntese. Algumas das primeiras e mais imediatas respostas de plantas submetidas a matocompetição são alterações nos parâmetros fotossintéticos (SILVA *et al.*, 2014). Interceptação de luz baixa provoca redução da eficiência fotossintética (STEWART *et al.*, 2003) e está fortemente relacionada com o arranjo populacional das plantas (LIU *et al.*, 2011). Essas alterações podem interferir na disponibilidade de CO₂ no mesófilo foliar e no fluxo de gases nas células, afetando a fotossíntese e a transpiração e, conseqüentemente, a produtividade (MESSINGER *et al.*, 2006; BARROS *et al.*, 2017).

Plantas daninhas naturalmente possuem maiores taxas de assimilação líquida de CO₂ (A), condutância estomática (*g_s*), transpiração (E), fluorescência da

clorofila, eficiência de uso de água (WUE) e conseqüentemente um melhor desempenho fotossintético (PATEL, ANUP, MUNDA, 2020; FAHEY, ZHOU, CALLAHAN, 2017), o que as tornam mais competitivas.

A coexistência de plantas da mesma espécie também provoca alterações nos parâmetros fotossintéticos. Valores de A , g_s , WUE e E em plantas de *Atriplex prostrate*, quando mantidas em baixas populações, foram significativamente superiores em comparação com populações crescentes da mesma espécie (WANG *et al.*, 2005).

Em experimentos de matocompetição com buva (*Conyza* sp.) na cultura da soja, os parâmetros fotossintéticos de taxa de assimilação de CO_2 , a condutância estomática e taxa de transpiração foram reduzidas pela interferência das plantas daninhas (SILVA *et al.*, 2014). Um mecanismo de compensação, quando se reduz a qualidade de luz (detecção da presença de plantas vizinhas pela captação de uma maior relação entre a razão de comprimentos de onda vermelho e vermelho distante), ou sob estresse hídrico, é o fechamento dos estômatos, buscando reduzir a transpiração e conseqüentemente a perda de água e a redução da fotossíntese (SILVA *et al.*, 2014; AFIFI, SWANTON, 2012; COCHARD *et al.*, 2002; CONCENÇO *et al.*, 2007).

A redução na A , g_s e E de plantas de milho submetidas a competição com plantas daninhas de *Bidens pilosa* e *Urochloa decumbens* foi observada por Freitas *et al.* (2020), sendo que a última espécie propiciou maiores reduções, devido a sua maior habilidade competitiva. Resultados semelhantes foram encontrados por Barros *et al.* (2017), em plantas de milho competindo com *Urochloa brizantha* e *Sorghum arundinaceum*, sendo tal redução proveniente de alterações morfológicas nas plantas e sombreamento, o que reduziu a incidência luminosa e a assimilação de luz. Xu *et al.* (2018) detectou que as características fotossintéticas e de produtividade do arroz cultivado são severamente afetadas pela alta densidade de plantas daninhas, sendo as perdas de produtividade decorrentes da redução de atividade fotossintetizante e acúmulo de produtos fotossintéticos.

Quando ocorre bloqueio na entrada de CO_2 para o mesófilo foliar, a absorção de energia solar pelos pigmentos ainda continua ocorrendo, causando excitação das moléculas e aumento no acúmulo de elétrons, os quais necessitam ser

dissipados para a manutenção do aparato fotossintético. Existem, basicamente, quatro vias de dissipação da energia dos elétrons, descritas no Diagrama de Jablonski. A primeira delas é através do início da fase fotoquímica da fotossíntese, normal em uma planta em boas condições. Entretanto, se ela estiver com seus estômatos fechados devido a algum estresse tal dissipação será reduzida. Outras vias são a dissipação na forma de calor (*Quenching*) ou na forma de fluorescência da clorofila *a*, que conseguem amenizar em partes os problemas, mas se as condições de estresse perdurarem, ocorre a formação de espécies reativas de oxigênio (ROS) (TAIZ *et al.*, 2017).

Em condições altamente estressantes, como a aplicação de um herbicida (que bloqueia a cadeia de transporte de elétrons) ou mesmo na fotorrespiração (plantas C3), o acúmulo de elétrons é tão elevado que impede a redução da plastoquinona a seu estado base, associado a ineficiência da dissipação por calor e fluorescência que atinge um nível máximo, provocando acúmulo de clorofila na forma mais estável, denominado clorofila tripleto ($^3\text{Chl}^*$) (FUFEZAN *et al.*, 2002). O excesso de clorofila tripleto pode reagir com o oxigênio e formar o oxigênio singlete, altamente reativo, o qual induz a perda de pigmentos e peroxidação lipídica (DEVINE *et al.*, 1993; BORELLA *et al.*, 2019; CAVERZAN *et al.*, 2019).

Naturalmente, plantas são afetadas por situações adversas a seu desenvolvimento, induzindo a formação de ROS, ou mesmo na fotossíntese e na respiração. Entretanto, seu aparato bioquímico antioxidante é capaz de detoxificar esses compostos reativos, impedindo tanto a desregulação do funcionamento celular, quanto os danos às células, e outros compostos, como lipídeos, proteínas, ácidos nucleicos (HUANG *et al.*, 2013; SUCHORONCZEK, 2016). Em plantas sob estresse, o sistema antioxidante pode não ser eficiente na detoxificação de todas as ROS produzidas, e se mantidas em níveis não muito elevados, atuarão como espécies mensageiras no processo de defesa (SALOMÃO, 2019; CARVALHO, 2008).

O oxigênio molecular, em seu estado fundamental ($^3\text{O}_2$) possui baixa reatividade com dois elétrons não paralelos. A ativação e rotação de um dos elétrons desemparelhados podem ser revertidas por excitação e formar oxigênio singlete ($^1\text{O}_2$). Esta conformação impõe redução do O_2 , efetuada por transferências consecutivas de um elétron. Os produtos resultantes da redução do O_2 são altamente reativos, às ROS.

que são subprodutos de reações redox que se apresentam tanto como radicais livres, como na forma molecular. Essas moléculas podem ser geradas como resultado de excitação, formando oxigênio singleto, ou de sucessivas adições de elétrons ao O_2 , reduzindo-o ao radical aniônico superóxido $O_2^{\cdot-}$ ou peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e radical hidroxila (OH^{\cdot}) (BORELLA *et al.*, 2019; CAVERZAN *et al.*, 2019; CAVERZAN *et al.*, 2016).

As reações de Habel-Weiss são as responsáveis pela transformação do $O_2^{\cdot-}$, o H_2O_2 e o Fe^{2+} , e a reação de Fenton a responsável pela oxidação do H_2O_2 pelo Fe^{2+} , ambas ocorrendo na presença de íons Fe ou Cu (BORELLA *et al.*, 2019; GILL, TUTEJA, 2010). O H_2O_2 é uma ROS moderadamente reativo e de meia-vida relativamente longa, com pequeno tamanho que lhe permite atravessar membranas celulares difundindo seus danos e também atuando como mensageiro (CAVERZAN *et al.*, 2019; CAVERZAN *et al.*, 2016).

Segundo Borella *et al.* (2019) e Taiz *et al.* (2017), em baixas concentrações, o H_2O_2 atua na sinalização de aclimatação, promovendo tolerância a vários estresses bióticos e abióticos. Entretanto, em altas concentrações, leva a apoptose celular (MA *et al.*, 2013). Além dessas funções, o H_2O_2 atua como regulador chave de processos fisiológicos, como a senescência (PENG *et al.*, 2005), fotorrespiração e fotossíntese (NOCTOR, FOYER, 1998), movimento estomático (BRIGHT *et al.*, 2006), ciclo celular, crescimento e desenvolvimento (MITTLER *et al.*, 2004).

O excesso de H_2O_2 , é também prejudicial por participa da reação de formação de OH^{\cdot} , o oxidante mais reativo das ROS. Sua alta reatividade resulta em reações rápidas e inespecíficas com distintos substratos, com potencial de reação e danos em todos as moléculas biológicas (MYLONA, POLIDOROS, 2010; BORELLA *et al.*, 2019; CAVERZAN *et al.*, 2019).

Os mecanismos de proteção desenvolvidos pelas plantas podem ser classificados em sistema antioxidante enzimático e não enzimático (MITTLER, 2002), que incluem enzimas antioxidantes e metabólitos que detoxificam essas formas de ROS, além de mecanismos que dissipam o excesso de energia absorvida antes da formação de oxigênio singleto. A partição entre estes dois sistemas sob condições de estresse pode ser regulada pela concentração de O_2 no sistema (BLOKHINA *et al.*,

2003; BORELLA *et al.*, 2019).

As enzimas superóxido dismutase (SOD), ascorbato peroxidase (APX) e catalase (CAT) são as mais importantes no mecanismo de detoxificação das ROS. Elas podem ser induzidas, inibidas ou ativadas por efetores endógenos, sendo que o balanço entre as atividades da SOD, peroxidases (POX) e CAT, é crucial para a determinação dos níveis basais de radicais $O_2^{\cdot-}$ e H_2O_2 . Este balanço aliado com o sequestro de íons metálicos impedem a formação de OH^{\cdot} nas reações de Haber-Weiss e Fenton (MITTLER, 2002; BORELLA *et al.*, 2019). As SODs são um conjunto de enzimas que atuam na primeira linha de defesa contra os ROS, elas catalisam a dismutação de dois radicais $O_2^{\cdot-}$, produzindo H_2O_2 , impedindo a formação de formas mais reativas de oxigênio. Elas participam da modulação do nível de H_2O_2 em cloroplastos, mitocôndrias, citosol e peroxissomos (MITTLER, 2002; ZHONG *et al.*, 2014; CAVERZAN *et al.*, 2019).

SODs são classificadas de acordo com seus cofatores metálicos: cobre e zinco (Cu/Zn-SOD), manganês (Mn-SOD) e ferro (Fe-SOD). Em geral, as plantas contêm Mn-SOD localizada na matriz mitocondrial e Cu/Zn-SOD no citosol, com Fe-SOD e/ou Cu/Zn-SOD, presentes no estroma dos cloroplastos (GILL, TUJETA, 2010).

A CAT se localiza nos peroxissomos, glioxissomos e mitocôndrias, sendo uma das principais enzimas que atuam na eliminação do H_2O_2 gerado pelas SODs e durante a fotorrespiração e a oxidação dos ácidos graxos. Elas convertem duas moléculas de H_2O_2 a H_2O e oxigênio molecular (DUBEY, 2011). Existem várias isoformas de CAT, as quais podem dismutar diretamente o H_2O_2 como um agente redutor ou oxidar substratos (SHARMA *et al.*, 2012). A atividade da CAT é considerada indispensável para a detoxificação de ROS, principalmente em condições de estresse severo. No entanto, ela é menos sensível que as peroxidases, sendo o estresse muitas vezes insuficiente para sua ativação. Em situações de elevado estresse oxidativo pode ocorrer ainda a inibição de sua síntese ou mudança na conformação de suas subunidades (BORELLA *et al.*, 2019). Juntamente com a APX, são consideradas as enzimas mais importantes dentre os componentes de desintoxicação do H_2O_2 (BHATT, TRIPATHI, 2011).

As POX, são um grupo de enzimas capazes de catalisar a oxidação de componentes celulares ou peróxidos orgânicos. Dentre elas tem-se a APX, a qual,

possui função de proteção antioxidativa. A atividade de peroxidases pode aumentar em plantas submetidas a diversos tipos de estresse bióticos e abióticos. Elas catalisam a transferência de elétrons ao H_2O_2 , com atividade aumentada em resposta a estresses, participam no catabolismo de auxinas e na síntese de parede celular como a oxidação de fenóis, suberização e lignificação (SYROS *et al.*, 2004). O ascorbato é o mais importante redutor para o H_2O_2 em plantas, sendo que a APX usa duas moléculas de ascorbato para reduzir o H_2O_2 a H_2O , permitindo a eliminação mesmo em baixas concentrações (LOCATO *et al.*, 2010).

No sistema antioxidante não enzimático encontra-se, principalmente, o grupo dos compostos fenólicos, que são sintetizados pelas plantas em resposta a fatores de estresse (SILVA *et al.*, 2014). Além destes, são encontradas em todos os compartimentos celulares outras substâncias sendo as mais importantes o ácido ascórbico (vitamina C) e a glutatona (GSH), os quais têm propriedades hidrofílicas, que impedem a formação de 1O_2 (BORELLA *et al.*, 2019; CAVERZAN *et al.*, 2019). Tem-se, ainda, carotenoides e aminoácidos que auxiliam na detoxificação de moléculas oxidantes.

Os carotenoides, constituem outro grupo de antioxidantes hidrofóbicos, são moléculas de longas cadeias de hidrocarbonetos com duplas ligações conjugadas, que possibilitam a ancoragem nas membranas fosfolipídicas e permitem deslocar elétrons desemparelhados e atuar como doadores de elétrons (HAVAUX, NIYOGI, 1999; BORELLA *et al.*, 2019).

Os aminoácidos presentes em altas concentrações, também podem auxiliar na detoxificação das ROS, alguns aminoácidos como triptofano, tirosina, histidina e cisteína são particularmente sensíveis. Possíveis explicações sobre os aumentos de teores de aminoácidos em plantas estressadas incluem a inibição da síntese de proteínas, aumento da hidrólise de proteínas, decréscimo do uso de aminoácidos como fonte de carbono respiratório e o aumento da biossíntese de aminoácidos (COOLEY, FOY, 1992; BORELLA *et al.*, 2019).

Outro mecanismo que as plantas possuem, mais eficiente entre os aminoácidos, é a deposição de prolina. A sua biossíntese ocorre no citoplasma celular ou no cloroplasto, está envolvida na regulação do potencial redox intracelular, no armazenamento e transferência de energia e poder redutor, possui funções de

osmólito, detoxificador de radicais, dreno de elétrons, estabilizador de macromoléculas e componente da parede celular (SHARMA *et al.*, 2012; MATYSIK *et al.*, 2002; SIGNORELLI *et al.*, 2014; BORELLA *et al.*, 2019; DARMANTI *et al.*, 2017). A prolina é sintetizada a partir de glutamato em três reações exergônicas, consumindo ATP e NADPH, tal consumo constitui um mecanismo de canalização do excesso de elétrons (HELDT, 1997). Plantas impostas a estresses abióticos acumulam prolina, principalmente em condições de déficit hídrico, salinidade, temperaturas extremas e alguns outros estresses ambientais, especialmente aqueles provocados por metais de transição Cu, Cd e Zn (CHEN *et al.*, 2001).

Em estudos com plantas de soja em restrição hídrica e sob interferência com *Cyperus rotundus*, constatou que tanto a restrição quanto a matocompetição provocaram aumento no acúmulo de prolina na soja, sinalizando um mecanismo de tolerância contra a interferência e a seca (DARMANTI *et al.*, 2017).

O mecanismo de tolerância de milho a nicosulfuron estudado por WANG *et al.* (2018a) é devido a associação de taxa fotossintética, metabolismo de espécies reativas de oxigênio e mecanismos de proteção. Através do aumento da A, aumento da atividade da SOD, CAT, POX, APX e maior deposição de prolina, constatando ainda redução na peroxidação lipídica (MDA) nas plantas resistentes.

Segundo Carvezan *et al.* (2019) estudos demonstraram alterações na produção de ROS em plantas cultivadas como resposta à interferência de plantas daninhas, bem como na atividade enzimática e na expressão gênica de componentes antioxidantes (AFIFI, SWANTON, 2012; AGOSTINETTO *et al.*, 2017; PIASECKI *et al.*, 2018a; PIASECKI *et al.*, 2018b; GAL *et al.*, 2015). Entretanto, os resultados encontrados na literatura permanecem inconsistentes sobre as respostas das culturas à interferência das plantas daninhas.

Na soja (PIASECKI *et al.*, 2018a) e no feijão (PIASECKI *et al.*, 2018b), os níveis de H₂O₂, APX e atividade de CAT diminuíram com o aumento da densidade de milho voluntário, enquanto a atividade de SOD aumentou proporcional à densidade de plantas daninhas. Já outro estudo, com interferência da *Euphorbia heterophylla* na soja não resultou em nenhum dano celular ou alteração na atividade das enzimas SOD, CAT e APX na soja (ULGUIM *et al.*, 2017). Darmanti *et al.* (2016) em estudos de soja competindo com *Cyperus rotundus* L encontrou atividades reduzidas de SOD,

CAT e APX na soja. Em trabalhos realizados com soja e trigo sob a interferência de *Lolium multiflorum* foram constatados danos oxidativos e aumento da atividade das enzimas SOD, CAT e APX (AGOSTINETTO *et al.*, 2017; AGOSTINETTO *et al.*, 2016).

Maior biomassa e trocas gasosas e menor atividade antioxidante para cevada cultivada sob efeito de competição interespecífica capim-arroz foram detectadas por Januskaitiene *et al.* (2018). Já em clima quente e sob condições de competição com cevada, plantas de capim-arroz apresentaram maior eficiência no uso da água, maior desempenho fotossintético, menor fluxo de energia dissipada e menor atividade de enzimas antioxidantes em comparação à cevada.

Alterações na constituição bioquímica das plantas são formas de defesa mediante fatores estressantes, que procuram remediar ao máximo os danos sofridos, entretanto tais estímulos podem não ser totalmente eficientes, e ainda, competem com o rendimento da cultura, através do gasto energético para sua assimilação (METLEN; ASCHEHOUG; CALLAWAY, 2008, ROCKENBACH *et al.*, 2018).

2.4 NUTRIÇÃO DAS PLANTAS EM COMPETIÇÃO

Plantas cultivadas submetidas ao processo de competição com plantas daninhas normalmente apresentam desvantagem na eficiência de absorção e alocação de nutrientes. Características morfológicas e fisiológicas das plantas daninhas e cultivadas relacionadas com sua habilidade competitiva são buscadas no melhoramento genético objetivando uma melhor adaptação e habilidade competitiva para a planta cultivada (COELHO *et al.*, 2019; COELHO, 2017; OLIVEIRA, 2014, MONQUERO, 2014).

A elevada taxa de crescimento, ampla exploração do solo pelo sistema radicular e alta taxa reprodutiva, fazem com que as plantas daninhas possuam maior eficiência no acúmulo, transporte e utilização de nutrientes essenciais, com isso, causando perdas de rendimento nas plantas cultivadas (CURY *et al.*, 2012; MONQUERO, 2014). Essas perdas variam conforme a espécie ou conjunto de daninhas e, também, da espécie e variedade da planta cultivada.

Plantas sob matocompetição sofrem uma série de estresses, também chamado de estresse misto. Dentre eles, a restrição hídrica pode ocorrer em situações

de elevadas densidades de plantas daninhas e irregularidades de chuvas, levando a menor absorção e translocação de minerais pelas plantas, já que estes necessitam de meio aquoso para seu movimento até a raiz da planta e sua absorção (TAIZ *et al.*, 2017). A maneira como a deficiência hídrica se manifesta nas plantas é bastante complexa, afetando os processos do crescimento. A magnitude de prejuízos depende da duração, do tipo de estresse, da severidade e do estágio de desenvolvimento da planta em que ocorre (CARVALHO *et al.*, 2014).

Reduções nos teores de nitrogênio e clorofila são observadas em plantas sob restrição hídrica em feijão caupi e comum (BASTOS *et al.*, 2012; SANT'ANA, SANTOS, SILVEIRA, 2010). Também, em plantas de feijão são observadas reduções nos teores de macro (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) quando submetidas a baixa intensidade de lâminas de irrigação, que propiciaram estresse hídrico (CARVALHO *et al.*, 2014). Em experimentos realizados por Cury *et al.* (2013), a competição de cultivares de feijoeiro com as espécies daninhas *Euphorbia heterophylla*, *Bidens pilosa*, *Cenchrus echinatus*, *Amaranthus spinosus*, *Commelina benghalensis* e *Brachiaria plantaginea* provocou redução no acúmulo de N, P e K, devido a danos no sistema radicular do feijoeiro. Os mesmos autores também ressaltam que ocorreram diferenças na tolerância das cultivares de feijão testadas e no poder competitivo das espécies daninhas utilizadas, sendo a eficiência nutricional do feijoeiro afetada por ambos os fatores.

Coelho *et al.* (2019) obtiveram redução na produção e no acúmulo de N em plantas de feijoeiro submetidas a matocompetição com *Commelina diffusa* e, ainda, observaram que a eficiência no acúmulo de P, Mg e Fe nos grãos do feijoeiro variram conforme a cultivar analisada. Além disso, a matocompetição resultou em menores teores de clorofila, reduziu o número de vagens por planta, o número de grãos por vagem, e a produção de grãos.

Em cultivares de milho, ocorreram variações tanto de decréscimo quanto de aumento nos teores de macro e micronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, Mn, Cu, Zn e Fe) quando submetidas à competição com *Bidens pilosa*, *Cenchrus echinatus*, *Brachiaria brizantha*, *Commelina benghalensis*, *Brachiaria plantaginea* e *Euphorbia heterophylla*. Além disso, o grau de interferência variou de acordo com as cultivares de milho e com a espécie daninha competidora, sendo que *B. brizantha* foi a planta

daninha que proporcionou maior redução nos níveis tanto de macro quanto de micronutrientes das plantas de milho (CURY *et al.*, 2012).

Comportamento semelhante também ocorreu nas culturas do café e eucalipto submetidas à matocompetição. Plantas de *Digitaria horizontalis*, *Brachiaria decumbens*, *Brachiaria plantaginea* e *Mucuna aterrima*, em diferentes densidades, competindo por 90 dias com plantas de café, proporcionaram redução no teor de nutrientes foliares da espécie cultivada, sendo a redução proporcional ao aumento das densidades das infestantes (FIALHO *et al.*, 2012).

Clones de eucalipto cultivados competindo com *Urochloa decumbens*, *Ipomoea nil*, *Commelina diffusa*, *Spermacoce latifolia* e *Panicum maximum*, foram afetados negativamente pela presença da competidora, sendo o grau de interferência variável de acordo com a espécie competidora e o clone utilizado, sendo as plantas daninhas mais eficientes na extração de nutrientes do solo (MEDEIROS *et al.*, 2016).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos de campo foram realizados em dois locais, um na Área Experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco (26°11'54.1"S 52°41'26.2"W) e outro em propriedade agrícola do município de Vitorino-PR (26°16'48.2"S 52°47'27.9"W). Ambos estão localizados na região geográfica do Terceiro Planalto Paranaense. As condições climáticas locais, segundo classificação Köppen-Geiger, na área de Pato Branco são de área de transição entre Cfa e Cfb e de Vitorino classificado como Cfb (KÖPPEN; GEIGER, 1928).

O solo de ambos os locais é classificado como Latossolo Vermelho distroférico, e suas características físicas e químicas na camada de 0-20 cm são apresentados na Tabela 01.

Tabela 01 -- Características físicas e químicas do solo de Pato Branco (A) e Vitorino (B) utilizados nos experimentos. Pato Branco, 2020.

Local	Areia	Silte	Argila	MO	pH	H+Al	K	CTC	P
			%		CaCl ₂		cmol _c dm ⁻³		mg dm ⁻³
A	18,00	17,00	65,00	4,93	5,10	5,76	0,35	13,81	8,90
B	18,00	18,00	64,00	4,12	5,20	5,76	0,33	16,29	16,18

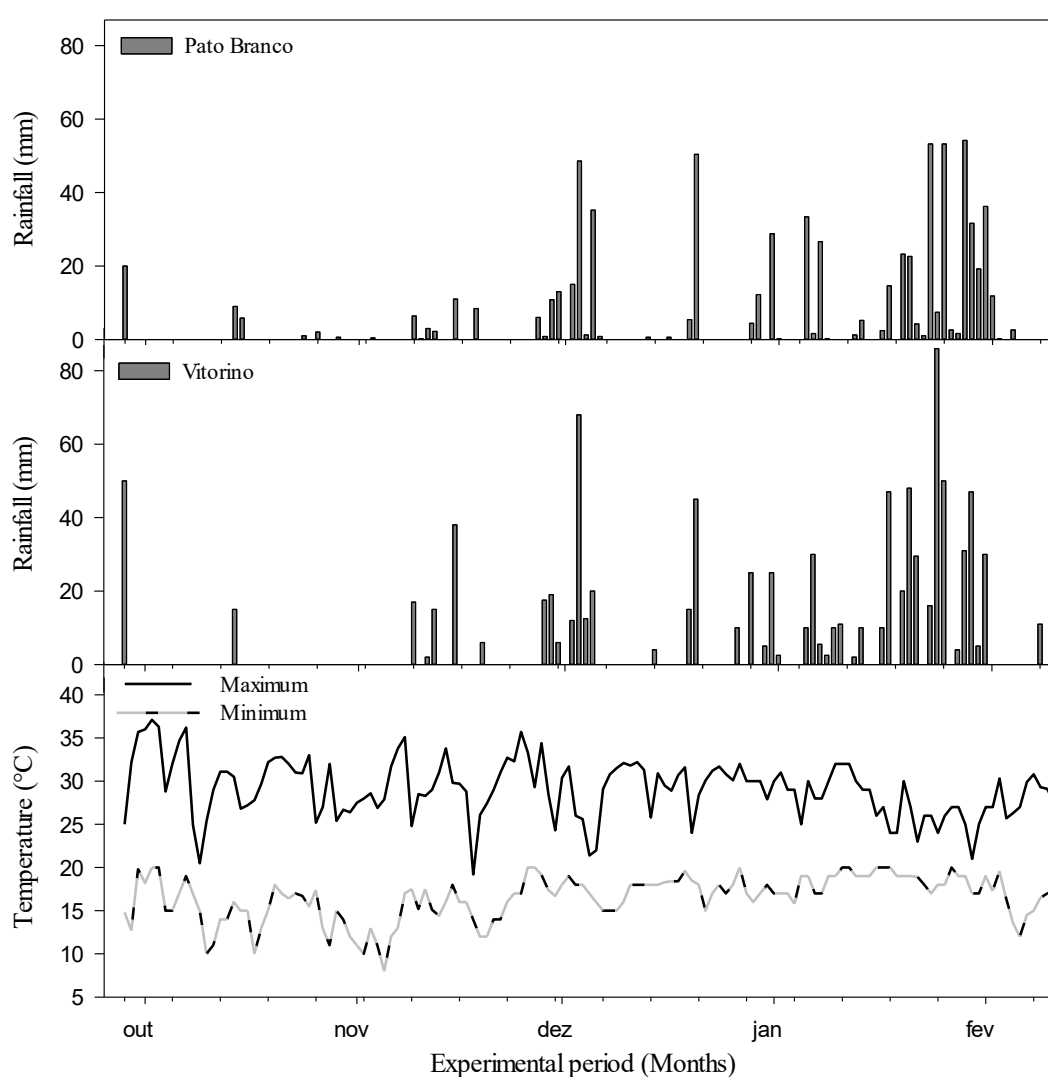
MO: matéria orgânica; K: potássio; CTC: capacidade de troca catiônica; P: fósforo

O delineamento experimental utilizado para ambos os experimentos foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições, em esquema fatorial, tendo como primeiro fator as espécies de plantas daninhas semeadas um dia após a semeadura da soja (*Euphorbia heterophylla*, *Ipomoea grandifolia* e *Urochloa plantaginea*) e o segundo fator as densidades de plantas daninhas (0, 3, 6, 12 e 24 plantas por m² para *Euphorbia heterophylla* e *Ipomoea grandifolia* e 0, 2, 4, 6 e 12 plantas por m² para *Urochloa plantaginea*, que devido a problemas de germinação não atingiu a densidade planejada). Cada experimento contou com 80 unidades experimentais, com 6 linhas de 3 m de comprimento. A área útil foi composta por 4 linhas com 2 m de comprimento cada e espaçadas entre si de 0,5 m.

Os experimentos receberam o mesmo manejo e condução, sendo instalados na primeira quinzena do mês de outubro de 2020, estendendo-se até a primeira quinzena de fevereiro de 2021, com precipitação pluviométrica e temperatura do período na Figura 01, utilizando semeadora-adubadora comercial, adubação de

400 kg ha⁻¹ do formulado 6-16-16 (N-P₂O₅-K₂O). A cultivar de soja utilizada foi a 95Y72 (Pioneer Sementes®) sendo as sementes tratadas com fungicidas carbendazin + thiram (Derosal Plus®) e inseticidas imidacloprido + tiodicarbe (Cropstar®), com densidade de 330 mil sementes por hectare. O controle de pragas e doenças foi realizado mediante monitoramento, seguindo as indicações para a cultura da soja (SALVADORI *et al.*, 2016).

Figura 01 – Precipitação pluviométrica nos locais de Pato Branco e Vitorino, e temperatura mínima e máxima durante o período experimental. Pato Branco, 2021.



No estágio R5, foram coletadas 10 plantas por parcela nas quais foram determinadas a altura de plantas (AP), área foliar (AF), matéria seca de folhas (MSF) e matéria seca de caule (MSC), o teor de clorofila e estimado o potencial de

rendimento. Neste mesmo estágio, foi coletado material vegetal para análise de enzimas, extravasamento de solutos, peroxidação lipídica e prolina. Além da determinação das trocas gasosas e coleta de trifólios para a análise nutricional.

Quando as plantas atingiram a maturação, foram coletadas 10 plantas por parcela para a aferição dos componentes de rendimento: número de plantas por metro quadrado, número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), massa de 1000 grãos (P1000) e acamamento. E quando atingida a maturação de campo, foi realizada a colheita da área útil da parcela para a quantificação da produtividade.

3.1 DESCRIÇÃO DAS AVALIAÇÕES

A altura de planta foi determinada medindo-se com uma régua milimetrada o comprimento da base do caule até o meristema apical da planta. A área foliar por planta foi determinada com uso do programa de código aberto ImageJ, Versão 1.51k para Java (RASBAND, 2017), através do processamento de fotografias contendo todos os trifólios de cada planta de soja dispostos horizontalmente em uma superfície branca e uma referência de área conhecida.

Para determinação de matéria seca, as plantas de soja foram coletadas e divididas em folhas e caules, sendo o material armazenado separadamente em sacos de papel, e em seguida dispostos em estufa de secagem com circulação de ar forçado a 65°C, até se atingir massa constante, com posterior pesagem do material em balança analítica.

A análise de trocas gasosas, foi realizada em 3 plantas por parcela no terço superior mais precisamente no quarto nó das plantas, contado do ápice para a base. Foi utilizado analisador de gás infravermelho [IRGA] (LI-6400XT Portable Photosynthesis System, Li-Cor, Lincoln, EUA). As análises foram realizadas entre as 8:30 e 11:30 horas, com concentração ambiente de CO₂ (400 ppm), radiação fotossinteticamente ativa (PAR) fixada em 1500 μmol de fóton $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$, e umidade relativa em 60% \pm 2%.

Para a determinação do teor de clorofila, foram realizadas duas leituras por planta, no terço superior em folhas totalmente expandidas, em 10 plantas por

parcela utilizando o equipamento ClorofiLOG® modelo CFL 1030 (Falker, Porto Alegre, Brasil).

O potencial de rendimento foi estimado mediante a contagem do número de vagens por planta, número de grãos por vagem e a população de plantas (estádio R5). O valor de massa de mil grãos foi estabelecido de acordo com informações obtidas para a cultivar (Pioneer Sementes). Foi calculada a produtividade que seria obtida neste estágio, caso ocorresse excelente desenvolvimento até o final do ciclo, sem a ocorrência de nenhum abortamento de vagens.

Para as análises enzimáticas, quantificação do teor de prolina e peroxidação de lipídios foram coletadas aproximadamente 1 g de folhas completamente expandidas do terço superior da planta, acondicionadas em envelopes de papel alumínio e imediatamente congeladas em N₂ líquido, permanecendo armazenadas em ultra freezer a -40° C até o momento da análise. As coletas foram realizadas nas parcelas com densidade de 0 e 12 plantas daninhas m⁻².

O teor de prolina foi determinado pelo método ninhidrina-ácido acético (BATES, WALDREN, TEARE, 1973). Aproximadamente 0,2 g de tecido vegetal foram homogeneizados em 4 mL de solução de ácido sulfossalicílico a 3% (m/v). O homogeneizado foi centrifugado a 10000 x g a 4°C por 5 minutos sendo o precipitado descartado. Em tubo de ensaio foi realizada a adição de 0,5 mL de extrato vegetal, 0,5 mL de ninhidrina (0,5%) e 0,5 mL de ácido acético glacial; em seguida os tubos foram colocados em banho maria por 1 hora a 95°C. Após período de incubação os tubos foram transferidos para banho de gelo para resfriamento. Foram adicionados 3 mL de tolueno, seguida de agitação em vortex por 30 s. Foi realizada a leitura na fase orgânica (tolueno) a 520 nm, tendo o tolueno como branco.

Para a quantificação das enzimas de estresse oxidativo, o tampão de extração utilizado foi constituído de fosfato de potássio, 100 mM pH 7,5, acrescido de 1 mM de EDTA, 6 mM de DTT (Ditiotreitol) e 2% (m/v) de PVP (Polivinilpirolidona). Foram utilizados 10 mL de tampão de extração para cada 1 g de material vegetal fresco. A maceração foi realizada utilizando N líquido e o material foi centrifugado por 15 min em centrífuga refrigerada a 4 °C a 12.000 x g. O precipitado foi descartado e o sobrenadante armazenado a -40 °C, e posteriormente utilizado como extrato enzimático. O teor de proteínas foi determinado pela metodologia proposta por

Bradford (1976).

A quantificação da atividade da CAT (EC: 1.11.1.6) foi realizada baseada na metodologia proposta por Shabala e Cuin (2012). Utilizou-se tampão fosfato de potássio (TKP) 50 mM pH 7,5, acrescido de 16 mM de peróxido de hidrogênio. O consumo de H_2O_2 foi monitorado a 25 °C por 50 s no comprimento de onda de 240 nm, em cubeta de quartzo, contendo 10 μL do extrato enzimático e um volume final de 3010 μL . Para cálculo da atividade enzimática foi utilizado o coeficiente de extinção molar do peróxido de hidrogênio de $39,4 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$, e a atividade expressa em $\mu\text{M min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ de proteína.

A atividade da peroxidase POX (EC: 1.11.1.7) foi determinada conforme metodologia proposta por Flurkey e Jen (1978) com as concentrações de substrato seguindo sugestões de Cakmak e Horst (1991) e Srivastava e Dwivedi (2000). A reação foi composta por TKP 25 mM pH 6,8, guaiacol 7,5 mM e 15 mM de peróxido de hidrogênio. A formação de tetraguaiacol foi monitorada em espectrofotômetro a 470 nm por 50s, em cubeta de polipropileno contendo 10 μL do extrato enzimático e um volume final de 1010 μL . Para o cálculo da atividade enzimática foi utilizado o coeficiente de extinção molar de $26,6 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ e a atividade expressa em $\mu\text{M min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ de proteína.

A atividade da superóxido dismutase SOD (EC: 1.15.1.1) foi realizada com base na metodologia proposta por Giannopolitis e Ries (1977). O meio de reação foi composto por TKP 55,5 mM, pH 7,8, EDTA 0,1 mM, NBT (Cloreto de Azul de nitrotetrazólio) 0,075 mM, metionina 13 mM e riboflavina 2 μM . Para a reação, foram adicionados 25 μL do extrato enzimático a 3000 μL de meio de reação, mantidos incubados sob lâmpada fluorescente de 15 Watts por 10 minutos. Para o branco foi realizada a reação substituindo o extrato enzimático pelo tampão de extração, já para o controle, em tubo de ensaio, adicionados 25 μL de extrato enzimático a 3000 μL de meio de reação, o qual permaneceu 10 minutos no escuro antes de proceder a leitura e feita a diferença com a leitura que permaneceu sob iluminação. As leituras foram realizadas em cubetas de polipropileno em espectrofotômetro a 560 nm mantendo-se o ambiente com o mínimo de iluminação possível, tanto nas leituras quanto no preparo dos reagentes. Foi considerada uma unidade de SOD a quantidade de enzima capaz de inibir 50% da fotorredução do NBT nas condições do presente estudo. A atividade

da enzima foi expressa em unidades por miligrama de proteína ($\text{U min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ de proteína).

Para determinação da peroxidação lipídica foi realizada a quantificação das espécies reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBA), seguindo metodologia proposta por Buege, Aust, 1978 e Wang *et al.* (2018b). Para tal, alíquota de 0,5 mL do sobrenadante foi adicionada a 1,5 mL de TBA 0,5% (m/v) dissolvido em ácido tricloroacético (m/v) 20%. A reação foi realizada a em banho maria com água fervente por 30 minutos e em seguida, interrompida por banho de gelo. As amostras foram centrifugadas a $10000 \times g$ a 4°C por 10 minutos. As leituras foram realizadas a 532 e a 600 nm e o cálculo realizado subtraindo a segunda leitura da primeira, utilizando coeficiente de extinção molar de $155 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ e o teor de MDA expresso em nmol g^{-1} de peso fresco.

Para verificar a integridade da membrana celular foi realizada a determinação da perda de eletrólitos pelo tecido foliar. Foram coletados dois discos de 1 cm^2 de área, em folhas jovens completamente expandidas, os quais foram lavados com água destilada para remover os eletrólitos liberados no momento de corte e colocados em tubo de ensaio com 10 mL de água destilada, sendo então fechados com papel filme e mantidos a temperatura ambiente por 24 h. Foi determinada a condutividade elétrica após o período de incubação por meio de condutímetro de bancada. Em seguida, os tubos de ensaio foram colocados em banho-maria a 95°C por 20 min para promover o extravasamento dos eletrólitos das células e realizada uma segunda determinação da condutividade elétrica. A perda de eletrólitos se deu pela relação entre a condutividade elétrica após o período de incubação e após o aquecimento (SHI *et al.*, 2006).

Para a análise nutricional foram coletados 20 trifólios totalmente expandidos do terço superior das plantas nas parcelas com densidades de zero e doze plantas daninhas m^{-2} . O material vegetal foi seco e moído, e uma porção de 200 mg de matéria seca (MS) foi enviada ao laboratório de Solos para a quantificação de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), de acordo com metodologia de Tedesco *et al.* (1995).

3.2 ANÁLISE DE DADOS

Os dados foram submetidos a análise de homogeneidade de Bartlett e normalidade de Lilliefors e quando atendidos os pressupostos, submetidos a análise de variância (ANOVA) ($p \leq 0,05$), utilizando o pacote ExpDes.pt (FERREIRA *et al.*, 2011) do aplicativo computacional RStudio. Com o mesmo programa, foi realizada análise de correlação linear de Pearson, para cada local e cada planta daninha.

Quando significativas as médias, as equações foram ajustadas no programa Sigmaplot 12.0.

Os dados de produtividade foram expressos em porcentagens de perda em relação a densidade de plantas de *E. heterophylla*, *I. grandifolia* e *U. plantaginea*, sendo ajustada pelo modelo da hipérbole retangular, proposto por Cousens (1985):

$$Pr = (i \cdot d) / (1 + (i/A) \cdot d) \text{ ou } Pr = (A \cdot d) / (I_{50} + d)$$

Em que: Pr = perda de rendimento (%); d = densidade de plantas; i = porcentagem de perda por unidade de planta daninha quando sua densidade se aproxima de zero; A = porcentagem de perda de rendimento quando a densidade de plantas daninhas tende ao infinito. A razão A/i indica a densidade de plantas onde a queda do rendimento é a metade da verificada na assíntota (I_{50}). Os cálculos e ajustes de equação foram efetuados com auxílio do programa Sigmaplot 12.0.

Para a análise de correlação, os dados foram padronizados em função dos locais utilizando-se o Z-score. Tal padronização se fez necessária devido a grande variação dos dados entre locais em algumas das variáveis analisadas. Após padronização foi realizada a análise de correlação de Pearson. Tanto a padronização quanto a análise de correlação foi realizada no aplicativo computacional RStudio.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 RESPOSTAS MORFOLÓGICAS E DE CRESCIMENTO

A resposta das plantas de soja ao convívio com as plantas daninhas foi afetada tanto pela espécie daninha quanto pelo local. No experimento em Pato Branco, o convívio com plantas de *I. grandifolia* e *E. heterophylla* (Figura 02 - A) incrementou a altura de plantas de soja (estádio R5). Esse incremento se ajustou ao modelo da hipérbole retangular (Tabela 02), atingindo acréscimo máximo entre 14 e 12%, na densidade mais alta. No experimento efetuado em Vitorino (Figura 02 - B), houve incremento da altura de soja apenas quando em convívio com *I. grandifolia*, atingindo o máximo de 13%, ajustado pelo modelo linear (Tabela 02).

A interferência com *U. plantaginea*, em ambos os locais (Figura 02 - A e B), e com *E. heterophylla* em Vitorino (Figura 02 - B) não afetou a altura de plantas de soja, em nenhuma das densidades das espécies daninhas. As diferenças resultantes do convívio com *E. heterophylla* entre os locais, provavelmente ocorreram devido a diferenças em condições ambientais, capazes de produzir modificações no desenvolvimento tanto das plantas daninhas quanto das cultivadas e nas relações de interferência entre elas. A ausência de efeito da presença de *U. plantaginea*, sobre a altura da soja pode ser explicada porque essa espécie daninha apresenta crescimento mais prostrado em comparação com *E. heterophylla*, o que resulta em menor disputa com as plantas de soja por luz, o que contribui para o menor estiolamento da espécie cultivada.

Figura 02 – Altura de plantas de soja, cultivar 95Y92, submetidas a matocompetição em diferentes densidades das espécies daninhas *I. grandifolia*, *E. heterophylla* e *U. plantaginea*, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021.

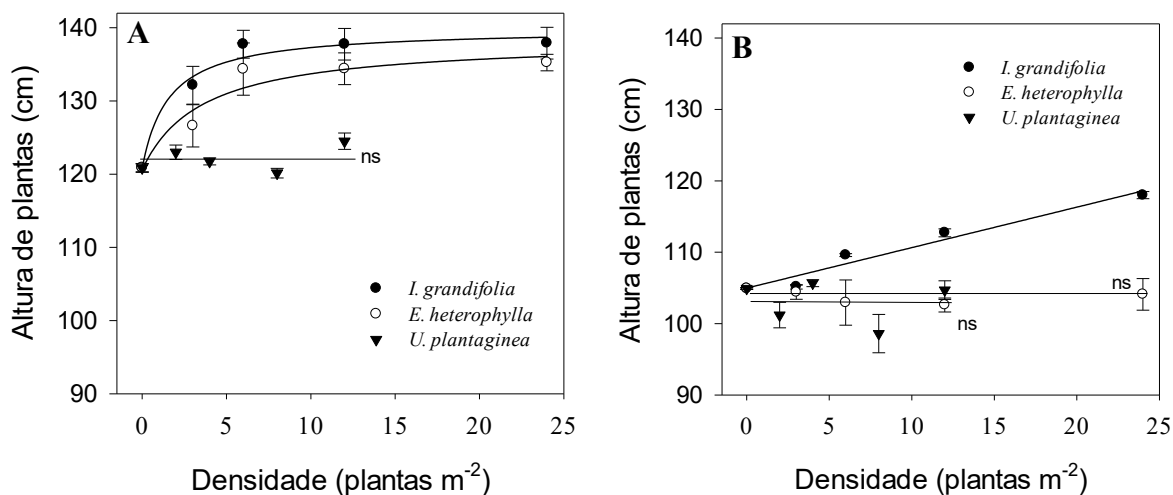


Tabela 02 – Parâmetros da equação, coeficiente de determinação (R^2), quadrado médio do erro (QME) e probabilidade (p) para variável de altura de plantas de soja, em estágio de R5, submetidas a matocompetição por diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021.

Local	Planta daninha	Parâmetros ^{1/}			R^2	QME	p
		$a^{2/}$	$b^{3/}$	$Y_0^{4/}$			
A	<i>I. grandifolia</i>	120,78 (1,64)**	1,57 (0,86)*	19,09 (2,43)**	0,95	2,69	0,02
A	<i>E. heterophylla</i>	120,57 (2,44)**	3,55 (4,22)*	17,80 (2,84)*	0,85	6,00	0,04
A	<i>U. plantaginea</i>	-	-	-	-	-	-
B	<i>I. grandifolia</i> ^{5/}	104,97 (0,84)**	11,59	0,56 (0,06)**	0,94	1,68	0,03
B	<i>E. heterophylla</i>	-	-	-	-	-	-
B	<i>U. plantaginea</i>	-	-	-	-	-	-

^{1/} Hipérbole retangular de três parâmetros $f = y_0 + (a \cdot b) / (b + x)$. ^{2/} Assíntota máxima. ^{3/} Densidade onde ocorre 50% da perda máxima. ^{4/} inclinação da reta. ^{5/} Linear $f = y_0 + a \cdot x$. Valores entre parênteses indicam o erro padrão. * e ** significativo a 5 e 1% de probabilidade de erro, respectivamente. ns não significativo.

As densidades de plantas de *I. grandifolia* necessárias para atingir metade do acréscimo da altura da soja (I_{50}) foram de 1,57 e 11,59, em Pato Branco e Vitorino, respectivamente. Isso significa que no ambiente de Pato Branco uma densidade mais baixa de plantas de *I. grandifolia* foi necessária para aumentar a altura da soja do que no ambiente de Vitorino. Já a densidade de plantas de *E. heterophylla* em Pato Branco necessária para atingir metade do acréscimo da altura da soja foi de 3,55 (Tabela 02).

A área foliar das plantas de soja no estágio R5 decresceu em resposta ao acréscimo da densidade de plantas daninhas (Figura 03 – A e B). Para *I. grandifolia*,

os valores de I_{50} foram de 2,28 e 2,72, em Pato Branco e Vitorino, respectivamente (Tabela 03). Para a soja competindo com *E. heterophylla*, os I_{50} foram de 5,78 e 4,51, respectivamente, nos dois locais (Tabela 03). Já a competição com *U. plantaginea*, resultou I_{50} de 6,44 e 8,54 em Pato Branco e Vitorino, respectivamente (Tabela 03).

Figura 03 – Área foliar (AF) de plantas de soja, cultivar 95Y92, submetidas a matocompetição em diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021.

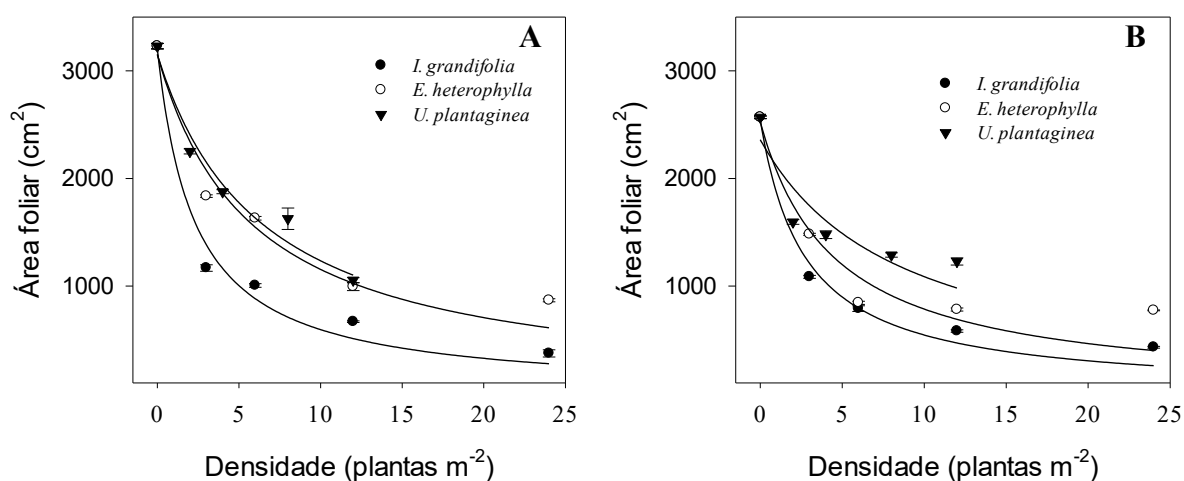


Tabela 03 – Parâmetros da equação, coeficiente de determinação (R^2), quadrado médio do erro (QME) e probabilidade (p) para variável de área foliar de plantas de soja, em estágio de R5, submetidas a matocompetição por diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021.

Local	Planta daninha	Parâmetros ^{1/}		R^2	QME	p
		$a^{2/}$	$b^{3/}$			
A	<i>I. grandifolia</i>	3203,34 (178,36)**	2,28 (0,41)*	0,98	3204,37	<0,01
A	<i>E. heterophylla</i>	3152,08 (206,47)**	5,78 (1,18)*	0,94	45641,37	<0,01
A	<i>U. plantaginea</i>	3152,34 (155,22)**	6,44 (1,06)**	0,95	28201,02	<0,01
B	<i>I. grandifolia</i>	2545,20 (138,60)**	2,72 (0,46)*	0,97	19442,27	0,01
B	<i>E. heterophylla</i>	2526,97 (258,57)**	4,51 (1,41)*	0,88	69768,71	0,01
B	<i>U. plantaginea</i>	2360,64 (246,24)*	8,54 (3,25)*	0,80	75575,05	0,03

^{1/} Hipérbole decrescente de dois parâmetros $f = (a*b)/(b+x)$. ^{2/} Assíntota máxima. ^{3/} Densidade onde ocorre 50% da perda máxima. Valores entre parênteses indicam o erro padrão. * e ** significativo a 5 e 1% de probabilidade de erro, respectivamente. ^{ns} não significativo.

Em Pato Branco, enquanto na testemunha sem infestação foi obtida área foliar (IAF) de 9,0, na maior densidade de *I. grandifolia* esse valor decresceu para 1,05, com redução de 88%; a maior densidade de *E. heterophylla* atingiu IAF de 4,56, com redução de 50%; e a maior densidade de *U. plantaginea* o IAF foi de 2,95, com redução de 67% (Figura 03-A).

Em Vitorino, o IAF da testemunha foi de 7,19, enquanto nas maiores

densidades de *I. grandifolia* o IAF decresceu para 1,21, com redução de 83%; para a máxima densidade de *E. heterophylla*, o IAF decresceu para 2,17, com redução de 70%; e para *U. plantaginea* decresceu para 3,44, com redução de 52% (Figura 03-B). É importante considerar que um IAF adequado para de atingir elevadas produtividades deve ser de pelo menos 6,5, sendo que valores menores afetam o rendimento da planta devido a menor potencial de interceptação de radiação solar, o que provavelmente resultará em menor conversão de radiação solar em matéria seca, por meio do processo de fotossíntese (ZANON *et al.*, 2015).

A redução de área foliar, resultou na redução de massa seca de folhas (MSF), com o incremento das densidades de plantas daninhas (Figura 04), com ajuste ao modelo da hipérbole retangular (Tabela 04). Em plantas de soja competindo com *I. grandifolia* se obteve I_{50} de 2,72 e 1,95 em Pato Branco e Vitorino, respectivamente (Tabela 04). Em competição com *E. heterophylla* o I_{50} foi de 5,84 e 4,08, enquanto para a competição por *U. plantaginea*, se obteve um I_{50} de 4,55 e 3,73, para os locais de Pato Branco e Vitorino, respectivamente (Tabela 04).

Os valores de MSF nas plantas testemunhas, sem presença de daninhas, foram de 13,76 g planta⁻¹, já na maior densidade de *I. grandifolia* esse valor de MSF foi reduzido em 80%. As maiores densidades de *E. heterophylla* e *U. plantaginea* em Pato Branco reduziram a MSF em 70% e 64%, respectivamente (Figura 04-A). Em Vitorino, a MSF da testemunha foi de 14,61 g planta⁻¹, e as maiores densidades de *I. grandifolia*, *E. heterophylla* e *U. plantaginea* reduziram-na em 80% 72% e 66%, respectivamente (Figura 04-B).

Figura 04 – Matéria seca de folhas (MSF) de plantas de soja, cultivar 95Y92, submetidas a matocompetição em diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021.

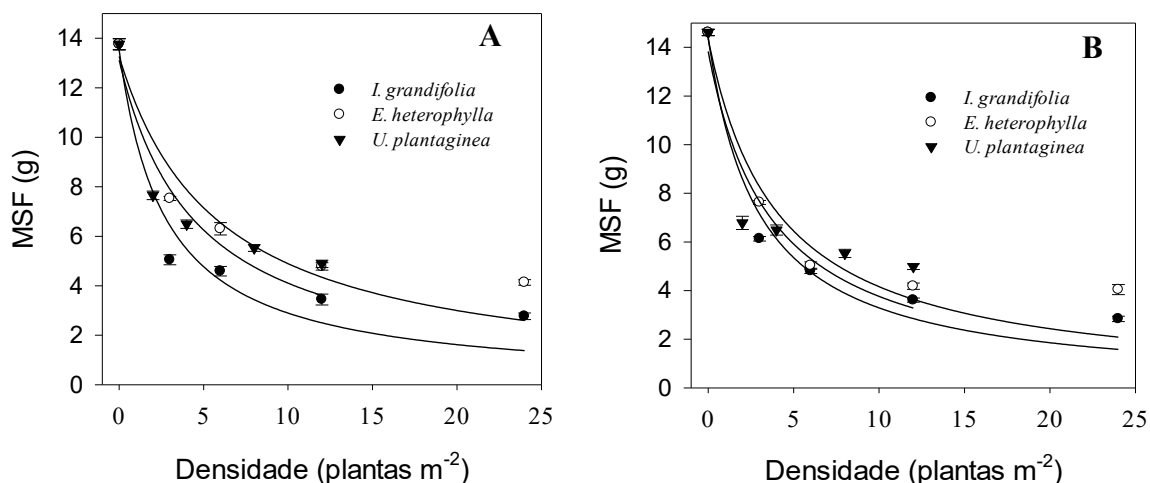


Tabela 04 – Parâmetros da equação, coeficiente de determinação (R^2), quadrado médio do erro (QME) e probabilidade (p) para variável de matéria seca de folhas de plantas de soja, em estágio de R5, submetidas a matocompetição por diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021.

Local	Planta daninha	Parâmetros ^{1/}		R^2	QME	p
		$a^{2/}$	$b^{3/}$			
A	<i>I. grandifolia</i>	13,52 (1,27)**	2,72 (0,80)*	0,91	1,64	<0,01
A	<i>E. heterophylla</i>	13,26 (1,16)**	5,84 (1,61)*	0,90	1,46	<0,01
A	<i>U. plantaginea</i>	13,11 (1,23)**	4,55 (1,34)*	0,86	1,67	0,01
B	<i>I. grandifolia</i>	14,40 (1,03)**	1,95 (0,65)*	0,95	1,08	<0,01
B	<i>E. heterophylla</i>	14,34 (1,29)**	4,08 (1,12)*	0,96	1,73	<0,01
B	<i>U. plantaginea</i>	13,83 (1,74)**	3,73 (1,44)*	0,84	3,24	0,02

^{1/} Hipérbole decrescente de dois parâmetros $f = (a*b)/(b+x)$. ^{2/} Assíntota máxima. ^{3/} Densidade onde ocorre 50% da perda máxima. Valores entre parênteses indicam o erro padrão. * e ** significativo a 5 e 1% de probabilidade de erro, respectivamente. ^{ns} não significativo.

Para a massa seca de caule (MSC), houve ajuste ao modelo da hipérbole retangular em função das densidades de plantas daninhas (Figura 05). Para *I. grandifolia*, se obteve um I_{50} de 1,66 e 1,11 nos locais de Pato Branco e Vitorino, respectivamente (Tabela 05). Para as plantas competindo com *E. heterophylla*, se obteve um I_{50} de 1,49 e 1,54 em Pato Branco e Vitorino, respectivamente (Tabela 05). Já para a competição com *U. plantaginea*, com um I_{50} de 1,05 e 1,52 em Pato Branco e Vitorino, respectivamente (Tabela 05).

Os valores de MSC nas plantas testemunhas no ambiente de Pato Branco, sem presença de daninhas, foram de 59,8 g planta⁻¹, enquanto na maior densidade de *I. grandifolia*, *E. heterophylla* e *U. plantaginea* esse valor foi reduzido

em 56%, 54 e 56%, respectivamente (Figura 05-A). No ambiente de Vitorino, se obteve 69,36 g planta⁻¹ nas plantas testemunha, e nas maiores densidades de *I. grandifolia* houve redução de 67%, 61% para *E. heterophylla* e 62% para *U. plantaginea* (Figura 05-B).

Figura 05 – Matéria seca de caule (MSC) de plantas de soja, cultivar 95Y92, submetidas a matocompetição em diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021.

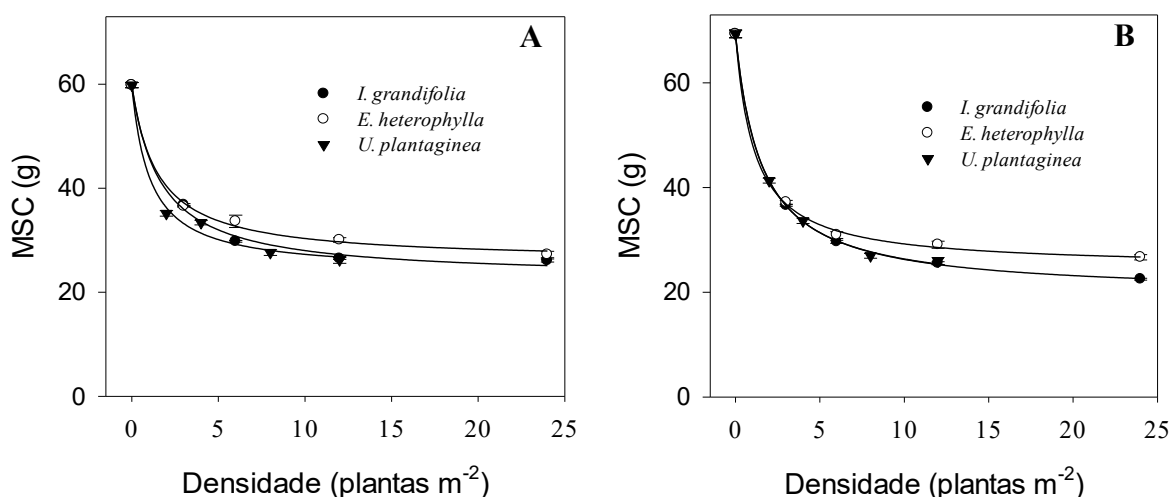


Tabela 05 – Parâmetros da equação, coeficiente de determinação (R^2), quadrado médio do erro (QME) e probabilidade (p) para variável de matéria seca do caule de plantas de soja, em estágio de R5, submetidas a matocompetição por diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021.

Local	Planta daninha	Parâmetros ^{1/}			R^2	QME	p
		$a^{2/}$	$b^{3/}$	$\gamma_0^{4/}$			
A	<i>I. grandifolia</i>	37,16 (1,9)**	1,66 (0,35)*	22,73 (1,47)**	0,99	1,61	<0,01
A	<i>E. heterophylla</i>	33,86 (1,44)**	1,49 (0,28)*	25,94 (1,09)**	0,99	0,95	<0,01
A	<i>U. plantaginea</i>	35,91 (2,66)**	1,05 (0,34)*	23,87 (2,11)**	0,98	2,91	<0,01
B	<i>I. grandifolia</i>	44,59 (1,05)**	1,11 (0,13)**	24,76 (0,77)**	0,99	0,54	<0,01
B	<i>E. heterophylla</i>	49,73 (0,36)**	1,54 (0,04)**	19,62 (0,27)**	0,99	0,05	<0,01
B	<i>U. plantaginea</i>	49,55 (1,16)**	1,52 (0,13)**	19,81 (0,98)**	0,99	0,48	<0,01

^{1/} Hipérbole retangular de três parâmetros $f = y_0 + (a \cdot b) / (b + x)$. ^{2/} Assíntota máxima. ^{3/} Densidade onde ocorre 50% da perda máxima. ^{4/} Inclinação da curva. Valores entre parênteses indicam o erro padrão. * e ** significativo a 5 e 1% de probabilidade de erro, respectivamente. ^{ns} não significativo.

É importante observar que, embora tanto o desenvolvimento das folhas quanto dos caules tenha sido severamente prejudicado pela interferência, a redução de MSC (Figura 05) foi, por muitas vezes, menor que a redução na MSF (Figura 04). A redução de área foliar de plantas submetidas a matocompetição é um fator comumente detectado em outros estudos (PAGNONCELLI *et al.*, 2017; BRAZ *et al.*,

2021). Devido ao estiolamento em busca da fuga do sombreamento (Vidal, 2010) e melhor posicionamento no dossel, as estruturas formadas apresentam-se com espessura mais fina e alongada, com entrenós maiores e a planta acumula mais caules do que folhas, com menor investimento energético para o desenvolvimento de suas estruturas primárias, como a área foliar e a biomassa seca (GALON *et al.*, 2011; PEREIRA *et al.*, 2017; MARQUES *et al.*, 2019) tornando suas estruturas mais frágeis e vulneráveis.

4.2 RENDIMENTO E COMPONENTES

O acamamento de plantas de soja (Figura 06) não foi observado na competição com *E. heterophylla* em nenhum dos locais. Já na competição com *I. grandifolia* se observou um acamamento de 80 e 70% nas maiores densidades, nos locais de Pato Branco e Vitorino, respectivamente, e com um I_{50} de 0,26 e 0,45 (Tabela 06). Plantas de *U. plantaginea* provocaram níveis de acamamento de 20 e 15% nas maiores densidades, em Pato Branco e Vitorino, respectivamente, e um I_{50} de 5,18 e 3,40 (Tabela 06). Isso significa que a presença de plantas de *I. grandifolia* tanto aumentam em proporção muito maior o acamamento quanto é necessário um número muito menor de plantas para que haja um grande incremento do acamamento, comparativamente à espécie *E. heterophylla*, nos dois ambientes avaliados.

Figura 06 – Acamamento de plantas de soja, cultivar 95Y92, submetidas a matocompetição em diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021.

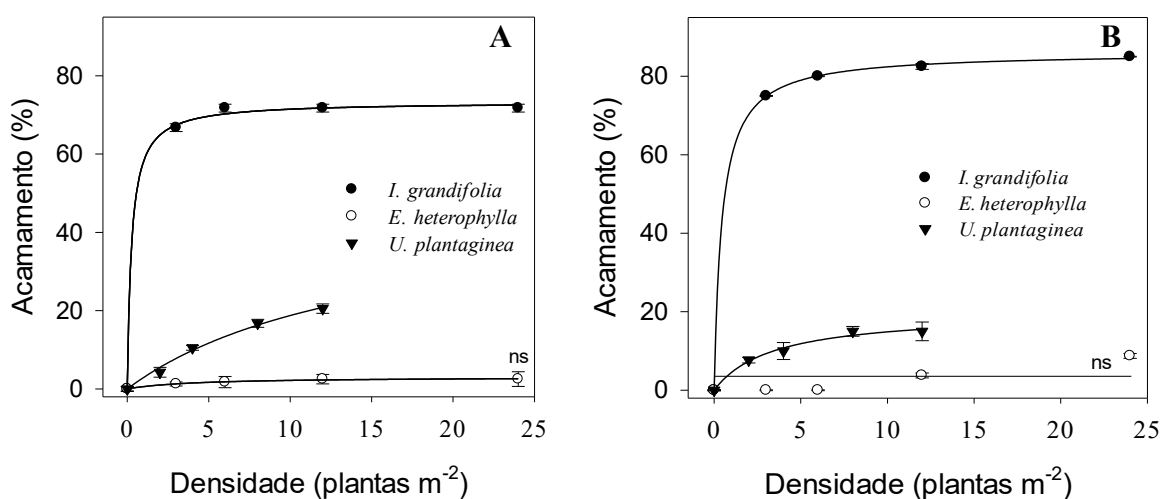


Tabela 06 – Parâmetros da equação, coeficiente de determinação (R^2), quadrado médio do erro (QME) e probabilidade (p) para variável de acamamento de plantas de soja, em estágio de R5, submetidas a matocompetição por diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021.

Local	Planta daninha	Parâmetros ^{1/}		R^2	QME	p
		$a^{2/}$	$l_{50}^{3/}$			
A	<i>I. grandifolia</i>	73,33 (0,95)**	0,26 (0,07)*	0,99	2,20	<0,01
A	<i>E. heterophylla</i>	-	-	-	-	-
A	<i>U. plantaginea</i>	20,20 (10,04)*	5,18 (2,08)*	0,98	0,77	<0,01
B	<i>I. grandifolia</i>	86,12 (0,38)**	0,45 (0,02)**	0,99	1,16	<0,01
B	<i>E. heterophylla</i>	-	-	-	-	-
B	<i>U. plantaginea</i>	19,92 (1,81)**	3,40 (0,88)*	0,98	0,66	<0,01

^{1/} Hipérbole retangular de dois parâmetros $f = a*x/(b+x)$. ^{2/} Assíntota máxima. ^{3/} Densidade onde ocorre 50% da perda máxima. Valores entre parênteses indicam o erro padrão. * e ** significativo a 5 e 1% de probabilidade de erro, respectivamente. ^{ns} não significativo.

Plantas sob condição de estresse frequentemente apresentam alterações metabólicas e morfológicas. Quando se trata da matocompetição, as plantas de soja tendem a apresentar estiolamento, buscando, através do aumento do comprimento dos entre nós, a exposição de suas folhas aos raios solares para, assim, minimizar os danos causados pelo sombreamento. As plantas sob intensa disputa de recursos, em processo de estiolamento, como a soja em convívio com *I. grandifolia*, podem também reduzir seu diâmetro do caule. O incremento da altura pode deslocar o centro de gravidade das plantas e a redução do diâmetro do caule, fragilizar essas estruturas (PEREIRA *et al.*, 2017; ANDRADE JÚNIOR *et al.*, 2016; PEREIRA *et al.*, 2020), de forma que esses efeitos ocorrendo simultaneamente explicariam a maior propensão ao acamamento em plantas de soja sob matocompetição.

O acamamento mais intenso das plantas de soja observado na competição com *I. grandifolia* também se deve ao hábito de crescimento trepador desta espécie daninha, a qual desenvolve seu dossel vegetativo sobre as plantas de soja, utilizando-as como sustentação, aumentando a carga que as hastes das plantas de soja devem sustentar, levando a um maior acamamento da cultura em relação as demais daninhas avaliadas.

O número de vagens por planta de soja (NVP) (Figura 07) foi significativamente afetado pela interferência com plantas daninhas. Os valores de l_{50} deste componente para a interferência de *I. grandifolia* e *E. heterophylla* foram de 2,67 e 14,45 em Pato Branco e de 2,60 e 3,77 em Vitorino, respectivamente (Tabela 07). Na interferência com *U. plantaginea* o l_{50} foi de 2,97 e 1,82, nos locais de Pato Branco

e Vitorino, respectivamente (Tabela 07).

As perdas máximas de NVP em Pato Branco foram de 85% para *I. grandifolia*, 58% para *E. heterophylla* e 72% para *U. plantaginea*, quando comparadas a testemunha sem aplicação (Figura 07-A). Em Vitorino, estas perdas foram de 80% para *I. grandifolia*, 76% para *E. heterophylla* e 80% para *U. plantaginea* (Figura 07-B).

Figura 07 – Número de vagens por plantas de soja, cultivar 95Y92, submetidas a matocompetição em diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021.

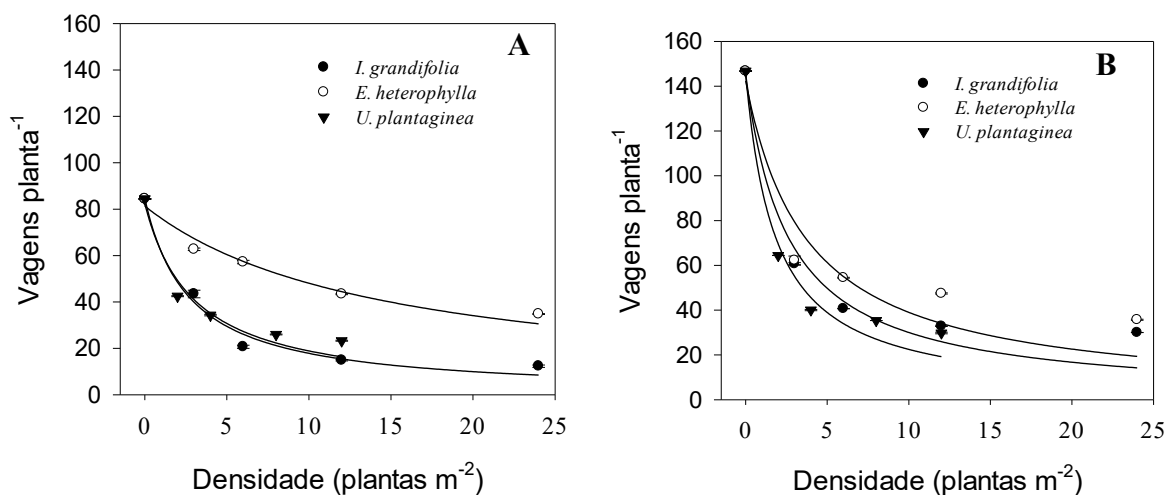


Tabela 07 – Parâmetros da equação, coeficiente de determinação (R^2), quadrado médio do erro (QME) e probabilidade (p) para variável de número de vagens por plantas de soja, em estágio de maturação, submetidas a matocompetição por diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021.

Local	Planta daninha	Parâmetros ^{1/}		R^2	QME	p
		$a^{2/}$	$I_{50}^{3/}$			
A	<i>I. grandifolia</i>	84,71 (4,33)**	2,67 (0,42)**	0,97	19,00	<0,01
A	<i>E. heterophylla</i>	81,34 (3,59)**	14,45 (2,44)**	0,95	16,77	<0,01
A	<i>U. plantaginea</i>	82,39 (5,98)**	2,97 (0,65)*	0,93	37,28	<0,01
B	<i>I. grandifolia</i>	145,33 (10,84)**	2,60 (0,61)*	0,95	118,92	<0,01
B	<i>E. heterophylla</i>	142,42 (15,68)**	3,77 (1,27)*	0,87	252,95	0,01
B	<i>U. plantaginea</i>	145,51 (8,86)**	1,82 (0,34)*	0,96	79,51	<0,01

^{1/} Hipérbole retangular de dois parâmetros $f = a*x/(b+x)$. ^{2/} Assíntota máxima. ^{3/} Densidade onde ocorre 50% da perda máxima. Valores entre parênteses indicam o erro padrão. * e ** significativo a 5 e 1% de probabilidade de erro, respectivamente. ^{ns} não significativo.

Quanto ao número de grãos por vagem (NGV) (Figura 08), os valores de I_{50} foram de 1,99 e 1,57 para competição com *I. grandifolia* em Pato Branco e Vitorino, respectivamente (Tabela 08). Para *E. heterophylla*, o I_{50} foi de 0,86 e 1,61, nos locais de Pato Branco e Vitorino, respectivamente (Tabela 08). Já na competição com *U.*

plantaginea foram obtidos valores de I_{50} de 0,70 e 0,99, nos locais de Pato Branco e Vitorino, respectivamente (Tabela 08).

As perdas máximas do NGV atingidas pela maior densidade de planta daninha, quando comparada à testemunha sem infestação foram de 57% para *I. grandifolia*, 25% para *E. heterophylla* e 23% para *U. plantaginea* para Pato Branco (Figura 08-A). Já para Vitorino, essas perdas foram de 50% para *I. grandifolia*, 44% para *E. heterophylla* e 30% para *U. plantaginea* (Figura 08-B).

Figura 08 – Número de grãos por vagem de plantas de soja, cultivar 95Y92, submetidas a matocompetição em diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021.

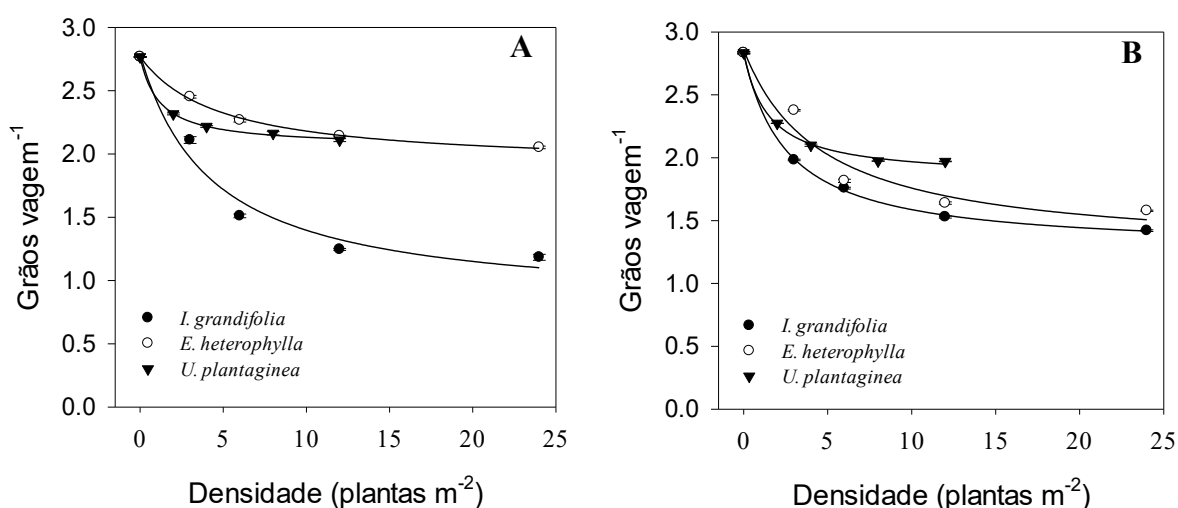


Tabela 08 – Parâmetros da equação, coeficiente de determinação (R^2), quadrado médio do erro (QME) e probabilidade (p) para variável de número de grãos por vagem de plantas de soja, em estágio de maturação, submetidas a matocompetição por diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021.

Local	Planta daninha	Parâmetros ^{1/}			R^2	QME	p
		$a^{2/}$	$b^{3/}$	$Y_0^{4/}$			
A	<i>I. grandifolia</i>	4,29 (1,97)*	1,99 (0,28)**	0,79 (0,26)*	0,94	0,02	0,02
A	<i>E. heterophylla</i>	4,75 (0,63)*	0,86 (0,03)**	1,90 (0,03)**	0,99	0,01	<0,01
A	<i>U. plantaginea</i>	1,175 (0,14)*	0,70 (0,02)**	2,05 (0,01)**	0,99	0,01	<0,01
B	<i>I. grandifolia</i>	2,59 (0,18)*	1,57 (0,03)**	1,26 (0,02)**	0,99	0,01	<0,01
B	<i>E. heterophylla</i>	4,68 (2,76)*	1,61 (0,29)*	1,24 (0,28)*	0,91	0,02	0,04
B	<i>U. plantaginea</i>	1,48 (0,22)**	0,99 (0,03)**	1,84 (0,03)**	0,99	0,01	<0,01

^{1/} Hipérbole retangular de três parâmetros $f = y_0 + (a \cdot b) / (b + x)$. ^{2/} Assíntota máxima. ^{3/} Densidade onde ocorre 50% da perda máxima. ^{4/} Inclinação da curva. Valores entre parênteses indicam o erro padrão. * e ** significativo a 5 e 1% de probabilidade de erro, respectivamente. ^{ns} não significativo.

O peso de 1000 grãos (PMG) (Figura 09), apresentou I_{50} de 0,80 e 4,66,

para a competição com *I. grandifolia*, em Pato Branco e Vitorino, respectivamente (Tabela 09). Já para a competição com *E. heterophylla*, o I_{50} foi de 4,56 e 8,75 em Pato Branco e Vitorino, respectivamente (Tabela 09). E para a competição com *U. plantaginea* com 2,37 e 2,39, nos locais de Pato Branco e Vitorino, respectivamente (Tabela 09).

As perdas de PMG na máxima densidade de plantas daninhas em relação à testemunha sem competição em Pato Branco foram de 17%, 4% e 18% para *I. grandifolia*, *E. heterophylla* e *U. plantaginea*, respectivamente. (Figura 09-A). Em Vitorino, estas perdas foram de 31%, 26 e 16%, para as mesmas espécies (Figura 09-B).

Figura 09 – Peso de 1000 grãos de plantas de soja, cultivar 95Y92, submetidas a matocompetição em diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021.

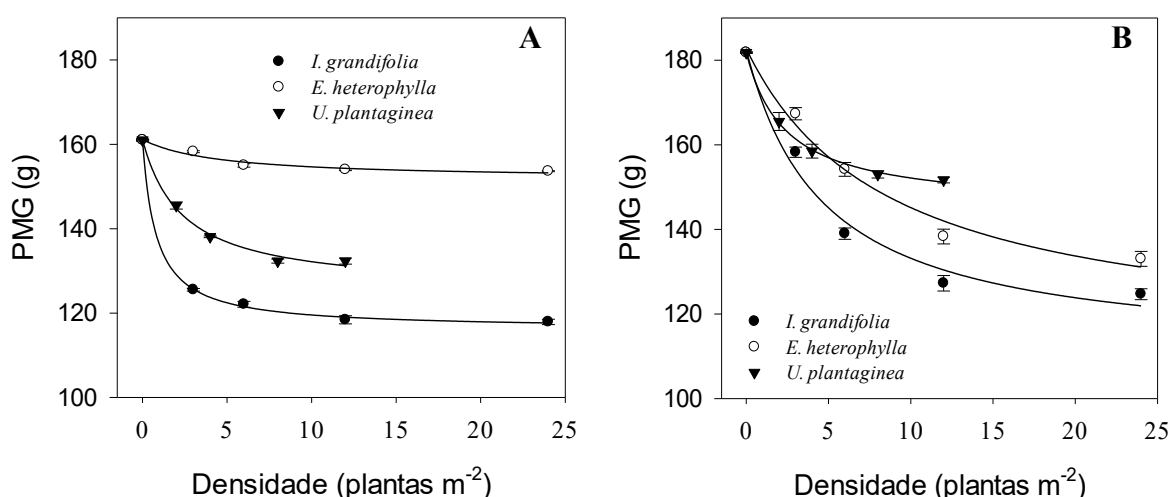


Tabela 09 – Parâmetros da equação, coeficiente de determinação (R^2), quadrado médio do erro (QME) e probabilidade (p) para variável de peso de 1000 grãos de plantas de soja, em estágio de maturação, submetidas a matocompetição por diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021.

Local	Planta daninha	Parâmetros ^{1/}			R^2	QME	p
		$a^{2/}$	$b^{3/}$	$Y_0^{4/}$			
A	<i>I. grandifolia</i>	44,79 (0,88)**	0,80 (0,09)*	116,20 (0,63)**	0,99	0,39	<0,01
A	<i>E. heterophylla</i>	9,43 (1,68)*	4,56 (2,63)*	151,71 (1,58)**	0,91	0,80	0,04
A	<i>U. plantaginea</i>	35,79 (2,52)**	2,37 (0,56)*	125,31 (2,34)**	0,99	1,74	<0,01
B	<i>I. grandifolia</i>	72,42 (8,68)**	4,66 (1,79)*	110,14 (8,20)**	0,96	21,15	0,01
B	<i>E. heterophylla</i>	70,50 (9,62)**	8,75 (3,37)*	112,25 (10,05)**	0,97	12,42	0,01
B	<i>U. plantaginea</i>	36,82 (1,21)**	2,39 (0,26)**	145,03 (1,13)**	0,99	0,40	<0,01

^{1/} Hipérbole retangular de três parâmetros $f = y_0 + (a \cdot b) / (b + x)$. ^{2/} Assíntota máxima. ^{3/} Densidade onde ocorre 50% da perda máxima. ^{4/} Inclinação da curva. Valores entre parênteses indicam o erro padrão. * e ** significativo a 5 e 1% de probabilidade de erro, respectivamente. ^{ns} não significativo.

De maneira geral, dentre os componentes de rendimento, os valores de I_{50} para NGV foram menores que os de NVP e PMG, ou seja, com menor densidade de plantas daninhas já se atingiu a perda de 50% nesse componente. Além disso, o NGV foi o componente que contribuiu para menor perda máxima dentre os componentes de rendimento, sendo que o NVP foi quem proporcionou maior perda máxima, pois este é um dos componentes que mais contribuem para determinar a produtividade (LEITE *et al.*, 2016). Comportamento similar dos componentes de rendimento foram observados por Silva *et al.* (2008).

O número de grãos por vagem e o peso de mil grãos são variáveis que apresentam elevada determinação genética, sendo, proporcionalmente, menos afetadas por condições do ambiente quando comparadas com o número de vagens por planta (BOARD *et al.*, 1995).

O rendimento de grãos de soja foi fortemente afetado pela interferência com as plantas daninhas, tanto em Pato Branco quanto em Vitorino (Figura 10). As perdas de rendimento atingiram o máximo de 91% e 76% para *I. grandifolia*, nos locais de Pato Branco e Vitorino, respectivamente. Para *E. heterophylla* estas perdas ficaram entre 53 e 49% nos locais de Pato Branco e Vitorino, respectivamente. E para *U. plantaginea* com perdas de 49 e 50%, nos locais de Pato Branco e Vitorino, respectivamente.

Pagnoncelli *et al.* (2017) obtiveram perdas semelhantes com competição de *I. grandifolia* e *I. purpúrea* na cultura da soja, atingindo 90% de perda na densidade de 20 plantas m^{-2} , considerada elevada perda de rendimento para a cultura. Braz *et al.* (2021) obtiveram perdas máximas em torno de 80%, na cultura da soja competindo com uma densidade de 8 plantas m^{-2} de *Digitaria insularis*. Já Basinger *et al.* (2019) verificaram perdas máximas de 50 % e 49 % para soja competindo com *Digitaria sanguinalis* e *Amaranthus palmeri*, na densidade de 8 plantas m^{-2} . Barnes *et al.* (2018) constataram perdas de 100% para a cultura da soja competindo com 8 plantas m^{-2} de *Ambrosia artemisifolia*, sendo esse o maior valor registrado para espécie. Machado *et al.* (2015) obtiveram perda máxima de 57,80% para feijoeiro competindo com *E. heterophylla*.

Os valores de I_{50} para a competição com *I. grandifolia* foram de 1,40 e 2,21, em Pato Branco e Vitorino, respectivamente (Tabela 10), para *E. heterophylla*,

os valores de I_{50} foram de 8,79 e 1,16 nos mesmos locais (Tabela 10); e para *U. plantaginea* de 8,88 e 1,16, nos locais de Pato Branco e Vitorino, respectivamente (Tabela 10). Os valores mais baixos de I_{50} da interferência de soja com *I. grandifolia* indicam que a redução de 50% da produtividade é atingida com menores densidades do que para as espécies *E. heterophylla* e *U. plantaginea*.

Figura 10 – Porcentagem de redução na produtividade de plantas de soja, cultivar 95Y92, submetidas a matocompetição em diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021.

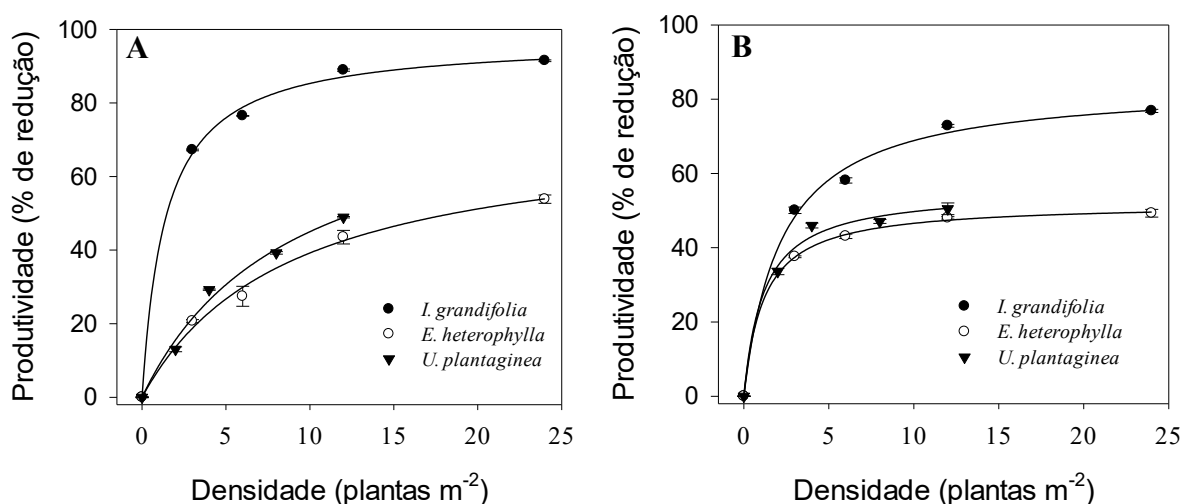


Tabela 10 – Parâmetros da equação, nível crítico de dano (NCD), coeficiente de determinação (R^2), quadrado médio do erro (QME) e probabilidade (p) para variável de produtividade final de plantas de soja, submetidas a matocompetição por diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021.

Local	Planta daninha	Parâmetros ^{1/}		NCD	R^2	QME	p
		$a^{2/}$	$I_{50}^{3/}$				
A	<i>I. grandifolia</i>	97,27 (2,02)**	1,40 (0,17)**	69,48	0,99	3,35	<0,01
A	<i>E. heterophylla</i>	73,70 (5,17)**	8,79 (1,47)**	8,38	0,99	3,56	<0,01
A	<i>U. plantaginea</i>	84,99 (13,09)**	8,88 (1,59)*	9,57	0,98	5,35	<0,01
B	<i>I. grandifolia</i>	84,10 (3,02)**	2,21 (0,35)**	38,05	0,99	5,75	<0,01
B	<i>E. heterophylla</i>	51,99 (0,52)**	1,16 (0,07)**	44,41	0,99	0,24	<0,01
B	<i>U. plantaginea</i>	55,52 (2,67)**	1,16 (0,28)*	47,86	0,99	4,36	<0,01

^{1/} Hipérbole retangular de dois parâmetros $f = a \cdot x / (b + x)$. ^{2/} Assíntota máxima. ^{3/} Densidade onde ocorre 50% da perda máxima. Valores entre parênteses indicam o erro padrão. * e ** significativo a 5 e 1% de probabilidade de erro, respectivamente. ^{ns} não significativo.

Quanto ao nível crítico de dano (NCD), ou seja, a porcentagem de perda de rendimento proporcionada pela presença de uma única planta daninha por m^2 para *I. grandifolia* foi de 69,48 e 38,05% nos locais de Pato Branco e Vitorino, respectivamente (Tabela 10). Na competição com *E. heterophylla*, se obteve um NCD

de 8,38 e 44,41% nos locais de Pato Branco e Vitorino, respectivamente (Tabela 10). Já para a competição com *U. plantaginea*, um NCD de 9,57 e 47,86% nos locais de Pato Branco e Vitorino, respectivamente (Tabela 10).

A elevada agressividade das plantas de *I. grandifolia*, a qual proporcionou elevadas perdas, mesmo em baixas densidades, também foi observada no estudo desenvolvido por Pagnoncelli *et al.* (2017), que atingiu 26% de NCD para soja competindo com plantas de *Ipomoea*. Machado *et al.* (2015) obtiveram NCD de 2,50% para competição de *E. heterophylla* com feijoeiro. Gregoire *et al.* (2021) obtiveram NCD que variaram 0,05% a 4,28% com competição de *Brassica napus* em soja. Basinger *et al.* (2019) obteve NCD de 9,17 e 20,18% com *D. sanguinalis* e *A. palmeri*, respectivamente.

Estas perdas já haviam sido estimadas, no estágio de R5 (Figura 11), quando foi realizada a mensuração do potencial de rendimento da cultura neste estágio. O NCD potencial estimado foi de 77 e 81% para a competição com *I. grandifolia*, de 29 e 41% para *E. heterophylla* e 45 e 71% para *U. plantaginea*, nos locais de Pato Branco e Vitorino, respectivamente (Tabela 11). Demonstrando que os danos mais graves provocados pela competição ocorreram no período vegetativo e até R5, visto que no período de enchimento de grãos obteve-se leve recuperação do potencial de rendimento.

Figura 11 – Porcentagem de redução no potencial de rendimento de plantas de soja, cultivar 95Y92, submetidas a matocompetição em diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021.

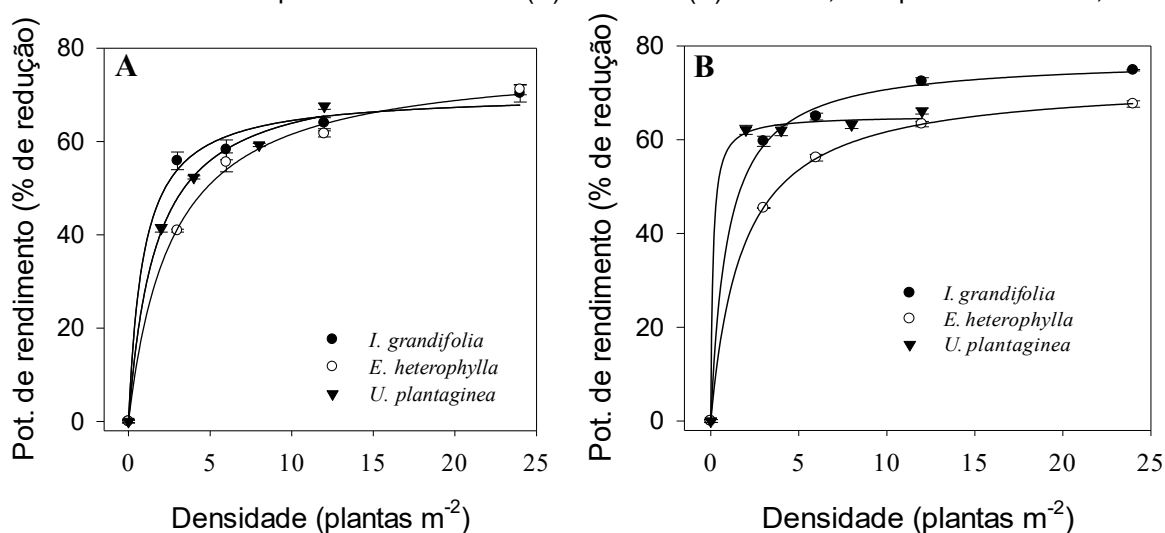


Tabela 11 – Parâmetros da equação, nível crítico de dano (NCD), coeficiente de determinação (R^2), quadrado médio do erro (QME) e probabilidade (p) para variável de potencial de rendimento de plantas de soja, em estágio de R5, submetidas a matocompetição por diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021.

Local	Planta daninha	Parâmetros ^{1/}		NCD	R^2	QME	p
		$a^{2/}$	$I_{50}^{3/}$				
A	<i>I. grandifolia</i>	70,36 (2,64)**	0,91 (0,27)*	77,32	0,99	6,75	<0,01
A	<i>E. heterophylla</i>	77,90 (2,21)**	2,66 (0,30)**	29,08	0,99	2,70	<0,01
A	<i>U. plantaginea</i>	74,59 (2,81)**	1,67 (0,25)**	44,66	0,99	3,65	<0,01
B	<i>I. grandifolia</i>	77,44 (1,30)**	0,95 (0,12)**	81,51	0,98	1,62	<0,01
B	<i>E. heterophylla</i>	72,75 (0,14)**	1,79 (0,018)**	40,64	0,99	0,05	<0,01
B	<i>U. plantaginea</i>	65,14 (1,26)**	0,92 (0,07)*	70,80	0,99	1,84	<0,01

^{1/} Hipérbole retangular de dois parâmetros $f = a*x/(b+x)$. ^{2/} Assíntota máxima. ^{3/} Densidade de ocorrencia 50% da perda máxima. Valores entre parênteses indicam o erro padrão. * e ** significativo a 5 e 1% de probabilidade de erro, respectivamente. ^{ns} não significativo.

4.3 RESPOSTA FISIOLÓGICAS

O teor de clorofila A (Índice SPAD) das plantas de soja (Figura 12), foi reduzido de acordo com a elevação na densidade de plantas daninhas em competição. Para *I. grandifolia* os valores de I_{50} foram de 3,31 e 1,99, em Pato Branco e Vitorino, respectivamente (Tabela 12). Na competição com *E. heterophylla*, os I_{50} foram de 2,88 e 13,08 (Tabela 12); e com *U. plantaginea*, foram de I_{50} de 5,94 e 2,24, em Pato Branco e Vitorino, respectivamente (Tabela 12).

Em Pato Branco, a perda percentual do teor de clorofila A na maior densidade de planta daninha, em relação a testemunha sem infestação, foi de 7% para *I. grandifolia*, 8% para *E. heterophylla* e 9% para *U. plantaginea* (Figura 12-A). Em Vitorino, estas perdas foram de 8% para *I. grandifolia*, 4% para *E. heterophylla* e 7% para *U. plantaginea* (Figura 12-B).

Figura 12 – Clorofila A (Índice SPAD) de plantas de soja, cultivar 95Y92, submetidas a matocompetição em diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021.

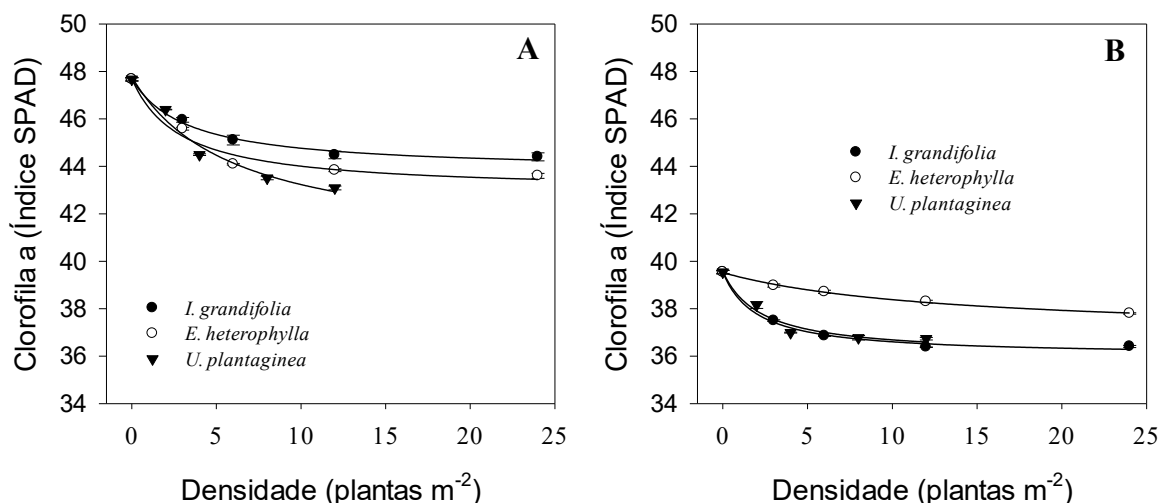


Tabela 12 – Parâmetros da equação, coeficiente de determinação (R^2), quadrado médio do erro (QME) e probabilidade (p) para variável de clorofila A de plantas de soja, em estágio de R5, submetidas a matocompetição por diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021.

Local	Planta daninha	Parâmetros ^{1/}			R^2	QME	p
		$a^{2/}$	$b^{3/}$	$Y_0^{4/}$			
A	<i>I. grandifolia</i>	3,89 (0,30)**	3,31 (0,87)*	46,79 (0,26)**	0,98	0,03	<0,01
A	<i>E. heterophylla</i>	4,76 (0,60)*	2,88 (1,30)*	42,94 (0,52)**	0,95	0,13	0,02
A	<i>U. plantaginea</i>	7,25 (1,58)*	5,94 (3,36)*	40,52 (1,66)**	0,95	0,18	0,02
B	<i>I. grandifolia</i>	3,53 (0,22)**	1,99 (0,49)*	36,01 (0,17)**	0,98	0,02	<0,01
B	<i>E. heterophylla</i>	2,63 (0,21)**	13,08 (2,64)*	36,89 (0,22)**	0,99	0,01	<0,01
B	<i>U. plantaginea</i>	3,53 (0,57)**	2,24 (1,23)*	36,04 (0,52)**	0,93	0,09	0,03

^{1/} Hipérbole retangular de três parâmetros $f = y_0 + (a \cdot b) / (b + x)$. ^{2/} Assíntota máxima. ^{3/} Densidade onde ocorre 50% da perda máxima. ^{4/} Inclinação da curva. Valores entre parênteses indicam o erro padrão. * e ** significativo a 5 e 1% de probabilidade de erro, respectivamente. ^{ns} não significativo.

O teor de clorofila total (Índice SPAD) das plantas de soja (Figura 13), seguiu um padrão semelhante de redução, na presença de plantas daninhas. Os valores de I_{50} obtidos na competição com *I. grandifolia* foram de 9,64 e 8,02 (Tabela 13), com *E. heterophylla* os I_{50} foram de 2,63 e 5,46 e na competição com *U. plantaginea* de 3,15 e 2,62, em Pato Branco e Vitorino, respectivamente (Tabela 13).

O teor de clorofila total atingiu reduções de 5% para *I. grandifolia*, 7% para *E. heterophylla* e 6% para *U. plantaginea*, quando comparada a testemunha sem competição com a maior densidade de plantas daninhas testada, para a localidade de Pato Branco (Figura 13-A). Para a localidade de Vitorino, estas perdas foram de 7% para *I. grandifolia*, 5% para *E. heterophylla* e 7% para *U. plantaginea* (Figura 13-B).

Figura 13 – Clorofila total (Índice SPAD) de plantas de soja, cultivar 95Y92, submetidas a matocompetição em diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021.

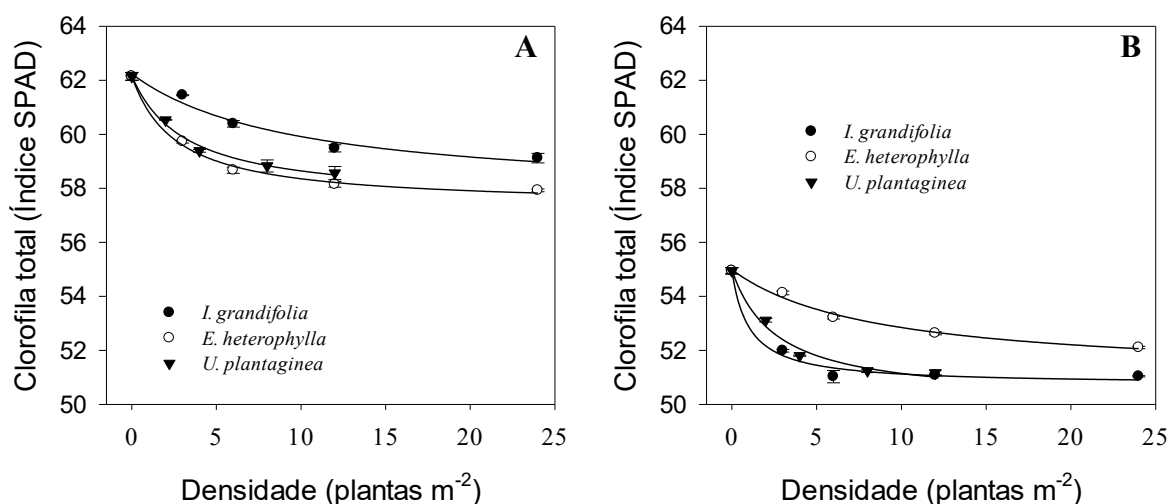


Tabela 13 – Parâmetros da equação, coeficiente de determinação (R^2), quadrado médio do erro (QME) e probabilidade (p) para variável de clorofila total de plantas de soja, em estágio de R5, submetidas a matocompetição por diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021.

Local	Planta daninha	Parâmetros ^{1/}			R^2	QME	p
		$a^{2/}$	$b^{3/}$	$Y_0^{4/}$			
A	<i>I. grandifolia</i>	4,56 (0,87)*	9,64 (5,10)*	57,67 (0,92)**	0,94	0,08	0,02
A	<i>E. heterophylla</i>	4,80 (0,26)**	2,63 (0,52)*	57,35 (0,22)**	0,99	0,02	<0,01
A	<i>U. plantaginea</i>	4,63 (0,40)**	3,15 (0,86)*	57,53 (0,39)**	0,98	0,03	<0,01
B	<i>I. grandifolia</i>	4,22 (0,39)**	8,02 (0,51)*	50,73 (0,28)**	0,97	0,07	0,01
B	<i>E. heterophylla</i>	3,95 (0,43)**	5,46 (2,63)*	51,03 (0,45)**	0,98	0,02	0,01
B	<i>U. plantaginea</i>	4,83 (0,55)**	2,62 (0,97)*	50,14 (0,52)**	0,97	0,07	0,01

^{1/} Hipérbole retangular de três parâmetros $f = y_0 + (a \cdot b) / (b + x)$. ^{2/} Assíntota máxima. ^{3/} Densidade onde ocorre 50% da perda máxima. ^{4/} Inclinação da curva. Valores entre parênteses indicam o erro padrão. * e ** significativo a 5 e 1% de probabilidade de erro, respectivamente. ^{ns} não significativo.

É importante destacar que, para ambos os locais, o impacto negativo sobre os índices de clorofila A e clorofila total atingidos com as densidades máximas de plantas daninhas foram semelhantes e baixas (entre 5 e 7%), comparativamente à magnitude atingida para outras variáveis, como área foliar (entre 50 e 88%) e matéria seca de folhas (entre 64 e 80%). Entretanto, o parâmetro “b” (densidade de plantas daninhas em que há redução de 50% da variável) para a clorofila total, apresenta magnitude de 2,6 a 9,6 (Tabela 13), e é compatível com os valores do parâmetro “b” para área foliar se situam entre 2,2 e 8,5 (Tabela 03).

Embora o impacto de maiores densidades de plantas sobre os teores de clorofila não seja elevado, é importante lembrar que pequenas alterações nos teores

destes pigmentos estão ligadas a diferentes processos bioquímicos e fisiológicos da planta que impactam fortemente o seu desenvolvimento e sua produtividade, como as taxas de assimilação de CO₂ e processos de defesa contra estresses abióticos (TAIZ *et al.*, 2017). Assim, é provável que, sob densidades mais elevadas, outros processos bioquímicos e fisiológicos decorrentes, porém, não diretamente associados ao mecanismo assimilatório, sejam responsáveis pela intensificação do processo competitivo, resultando em redução muito acentuada no desenvolvimento das plantas.

A taxa de assimilação de CO₂ (A) (Figura 14), gerou I₅₀ de 1,06 e 5,36, para a competição com *I. grandifolia*, em Pato Branco e Vitorino, respectivamente (Tabela 14). Já para a competição com *E. heterophylla*, o I₅₀ foi de 16,46 e 1,31 em Pato Branco e Vitorino, respectivamente (Tabela 14). E para a competição com *U. plantaginea* foi de 10,18 e 2,39, nos mesmos locais (Tabela 14).

Em Pato Branco, a redução na taxa de assimilação de CO₂ na maior densidade da planta daninha, em relação à testemunha sem infestação, foi de 59% para *I. grandifolia*, 50% para *E. heterophylla* e 50% para *U. plantaginea* (Figura 14-A). Para Vitorino, estas perdas foram de 72% para *I. grandifolia*, para *E. heterophylla* foram de 25% e 24% para *U. plantaginea* (Figura 14-B).

Figura 14 – Taxa de assimilação de CO₂ (A) de plantas de soja, cultivar 95Y92, submetidas a matocompetição em diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021.

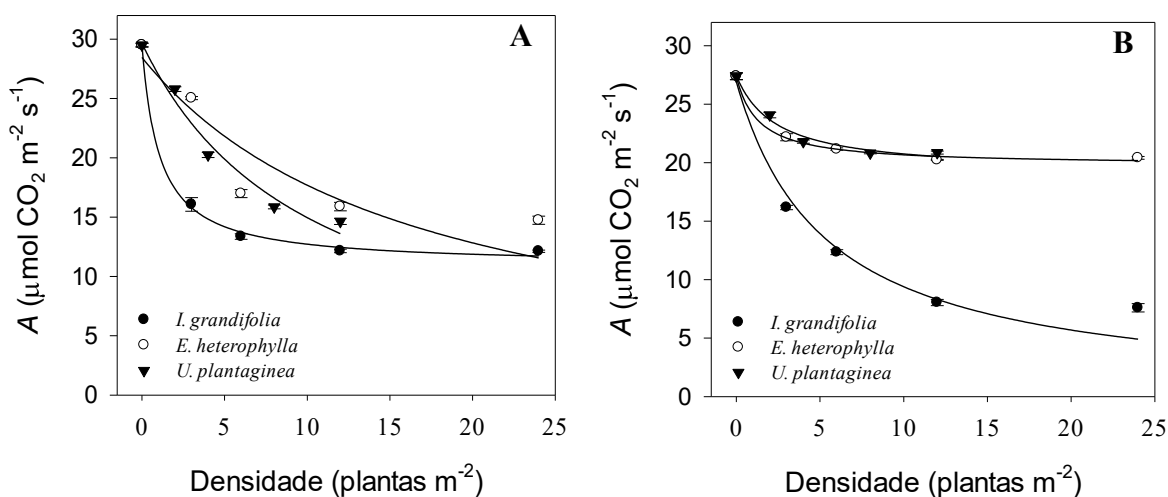


Tabela 14 – Parâmetros da equação, coeficiente de determinação (R^2), quadrado médio do erro (QME) e probabilidade (p) para variável de taxa de assimilação de CO_2 de plantas de soja, em estágio de R5, submetidas a matocompetição por diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021.

Local	Planta daninha	Parâmetros ^{1/}			R^2	QME	p
		$a^{2/}$	$b^{3/}$	$Y_0^{4/}$			
A	<i>I. grandifolia</i>	18,57 (0,68)**	1,06 (0,20)*	10,93 (0,50)**	0,99	0,22	<0,01
A	<i>E. heterophylla</i>	28,46 (2,60)**	16,42 (5,98)*	-	0,83	9,12	0,02
A	<i>U. plantaginea</i>	29,65 (0,98)**	10,18 (1,30)**	-	0,97	1,25	<0,01
B	<i>I. grandifolia</i>	26,92 (1,66)**	5,36 (1,02)**	-	0,95	2,92	<0,01
B	<i>E. heterophylla</i>	7,60 (0,39)**	1,31 (0,31)*	19,79 (0,29)**	0,99	0,07	<0,01
B	<i>U. plantaginea</i>	8,29 (0,99)*	2,39 (0,96)*	19,15 (0,92)**	0,96	0,27	0,01

^{1/} Hipérbole retangular de três parâmetros $f = y_0 + (a \cdot b) / (b + x)$. ^{2/} Assíntota máxima. ^{3/} Densidade onde ocorre 50% da perda máxima. ^{4/} Inclinação da curva. Valores entre parênteses indicam o erro padrão. * e ** significativo a 5 e 1% de probabilidade de erro, respectivamente. ^{ns} não significativo.

A condutância estomática (gs) (Figura 15) apresentou I_{50} de 0,66 e 1,18, para a competição com *I. grandifolia*, em Pato Branco e Vitorino, respectivamente (Tabela 15). Já para a competição com *E. heterophylla*, o I_{50} foi de 1,14 e 0,14 em Pato Branco e Vitorino, respectivamente (Tabela 15). E para a competição com *U. plantaginea* com 1,15 e 0,16, nos locais de Pato Branco e Vitorino, respectivamente (Tabela 15).

Em Pato Branco, a redução na condutância estomática na maior densidade da planta daninha, em relação a testemunha sem infestação, foi de 52% para *I. grandifolia*, 42% para *E. heterophylla* e 56% para *U. plantaginea* (Figura 15-A). Para a localidade de Vitorino, as reduções foram de 84% para *I. grandifolia*, 11% para *E. heterophylla* e 13% para *U. plantaginea* (Figura 15-B).

Figura 15 – Condutância estomática (g_s) de plantas de soja, cultivar 95Y92, submetidas a matocompetição em diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021.

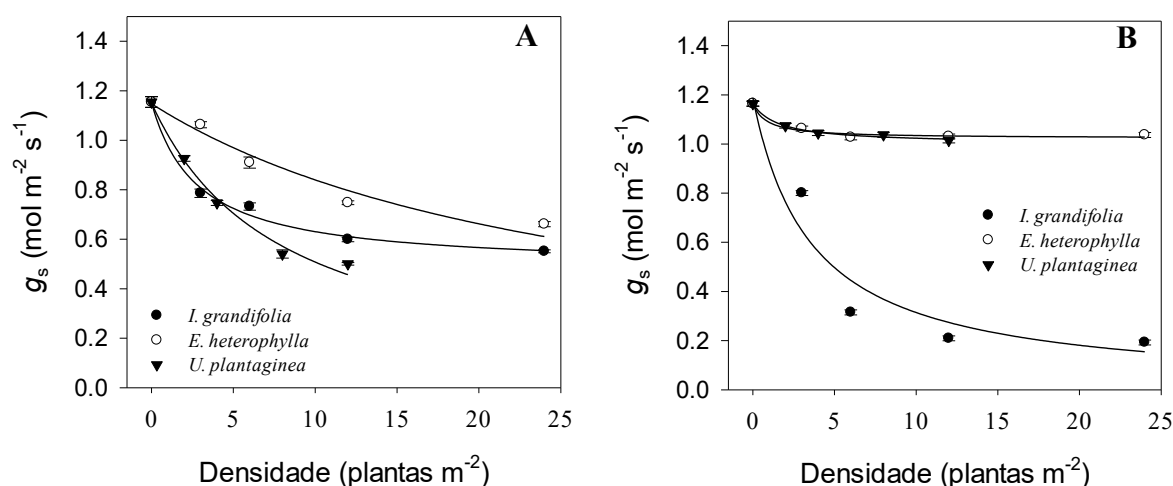


Tabela 15 – Parâmetros da equação, coeficiente de determinação (R^2), quadrado médio do erro (QME) e probabilidade (p) para variável de condutância estomática de plantas de soja, em estágio de R5, submetidas a matocompetição por diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021.

Local	Planta daninha	Parâmetros ^{1/}			R^2	QME	p
		$a^{2/}$	$b^{3/}$	$Y0^{4/}$			
A	<i>I. grandifolia</i>	2,81 (0,73)*	0,66 (0,04)**	0,48 (0,04)**	0,99	0,01	<0,01
A	<i>E. heterophylla</i>	27,31 (4,43)**	1,14 (0,03)**	-	0,94	0,01	<0,01
A	<i>U. plantaginea</i>	7,89 (0,72)**	1,15 (0,03)**	-	0,98	0,01	<0,01
B	<i>I. grandifolia</i>	3,59 (0,04)*	1,18 (0,12)**	-	0,91	0,01	<0,01
B	<i>E. heterophylla</i>	0,85 (0,66)*	0,14 (0,01)*	1,02 (0,01)**	0,99	0,01	0,02
B	<i>U. plantaginea</i>	1,62 (0,50)*	0,16 (0,14)*	1,00 (0,01)**	0,98	0,01	<0,01

^{1/} Hipérbole retangular de três parâmetros $f = y0 + (a*b)/(b+x)$. ^{2/} Assíntota máxima. ^{3/} Densidade onde ocorre 50% da perda máxima. ^{4/} Inclinação da curva. Valores entre parênteses indicam o erro padrão. * e ** significativo a 5 e 1% de probabilidade de erro, respectivamente. ^{ns} não significativo.

A concentração intercelular de CO_2 (C_i) (Figura 16) apresentou I_{50} de 1,04 e 1,21, para a competição com *I. grandifolia*, em Pato Branco e Vitorino, respectivamente (Tabela 16). Já para a competição com *E. heterophylla*, o I_{50} foi de 5,70 e 1,90 em Pato Branco e Vitorino, respectivamente (Tabela 16). E para a competição com *U. plantaginea* com 7,46 e 0,64, nos locais de Pato Branco e Vitorino, respectivamente (Tabela 16).

Em Pato Branco, o aumento na concentração intercelular de CO_2 na maior densidade de planta daninha, em relação a testemunha sem infestação, foi de 14% para *I. grandifolia*, 12% para *E. heterophylla* e 12% para *U. plantaginea* (Figura 16-A). Em Vitorino, estes incrementos foram de 7% para *I. grandifolia*, 4% para *E.*

heterophylla e 5% para *U. plantaginea* (Figura 16-B).

Figura 16 -- Concentração intercelular de CO₂ (Ci) de plantas de soja, cultivar 95Y92, submetidas a matocompetição em diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021.

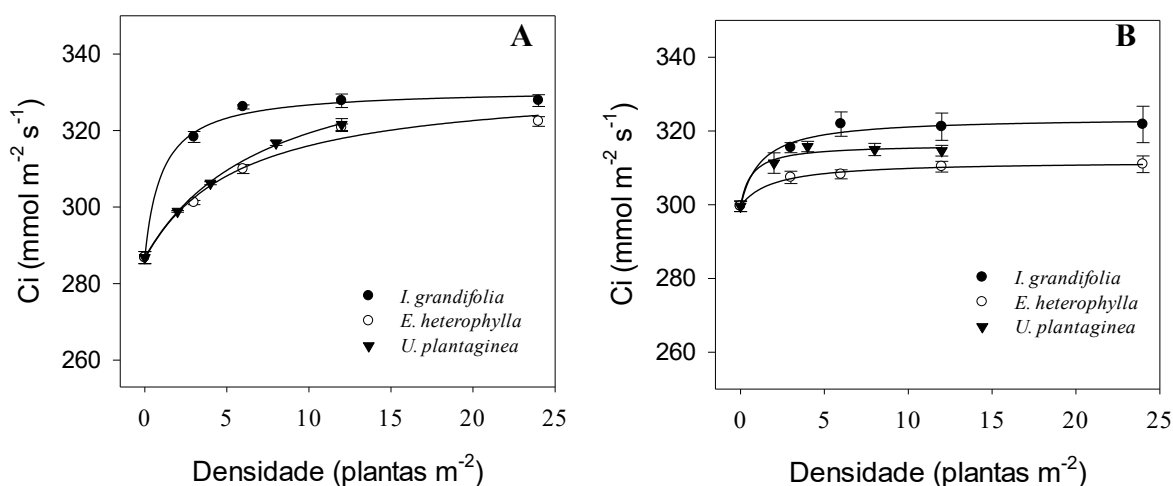


Tabela 16 – Parâmetros da equação, coeficiente de determinação (R²), quadrado médio do erro (QME) e probabilidade (p) para variável de concentração intercelular de CO₂ de plantas de soja, em estágio de R5, submetidas a matocompetição por diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021.

Local	Planta daninha	Parâmetros ^{1/}			R ²	QME	p
		a ^{2/}	b ^{3/}	Y0 ^{4/}			
A	<i>I. grandifolia</i>	44,08 (2,55)**	1,04 (0,32)**	286,77 (1,78)**	0,99	3,19	<0,01
A	<i>E. heterophylla</i>	46,48 (5,12)**	5,70 (1,95)*	286,43 (2,45)**	0,97	6,14	0,01
A	<i>U. plantaginea</i>	56,85 (0,49)**	7,46 (0,74)**	286,79 (0,49)**	0,99	0,25	<0,01
B	<i>I. grandifolia</i>	24,15 (2,78)*	1,21 (0,68)*	299,51 (1,92)**	0,96	3,68	<0,01
B	<i>E. heterophylla</i>	12,19 (0,80)**	1,90 (0,50)*	299,58 (0,52)**	0,98	0,26	0,02
B	<i>U. plantaginea</i>	16,76 (2,26)**	0,64 (0,49)*	299,53 (1,54)**	0,94	2,37	0,02

^{1/} Hipérbole retangular de três parâmetros $f = y_0 + (a \cdot b) / (b + x)$. ^{2/} Assíntota máxima. ^{3/} Densidade onde ocorre 50% da perda máxima. ^{4/} Inclinação da curva. Valores entre parênteses indicam o erro padrão. * e ** significativo a 5 e 1% de probabilidade de erro, respectivamente. ^{ns} não significativo.

A taxa de transpiração (E) (Figura 1), apresentou I₅₀ de 1,55 e 7,55, para a competição com *I. grandifolia*, em Pato Branco e Vitorino, respectivamente (Tabela 17). Já para a competição com *E. heterophylla*, o I₅₀ foi de 1,25 e 0,56 em Pato Branco e Vitorino, respectivamente (Tabela 17). E para a competição com *U. plantaginea* com 2,02 e 0,50, nos locais de Pato Branco e Vitorino, respectivamente (Tabela 17).

Em Pato Branco, a redução na taxa de transpiração na maior densidade de planta daninha, em relação a testemunha sem infestação, foi de 19% para *I. grandifolia*, 12% para *E. heterophylla* e 20% para *U. plantaginea* (Figura 17-A). Para

Vitorino, estas perdas foram de 49% para *I. grandifolia*, 6% para *E. heterophylla* e 6% para *U. plantaginea* (Figura 17-B).

Figura 17 – Taxa de transpiração (E) de plantas de soja, cultivar 95Y92, submetidas a matocompetição em diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021.

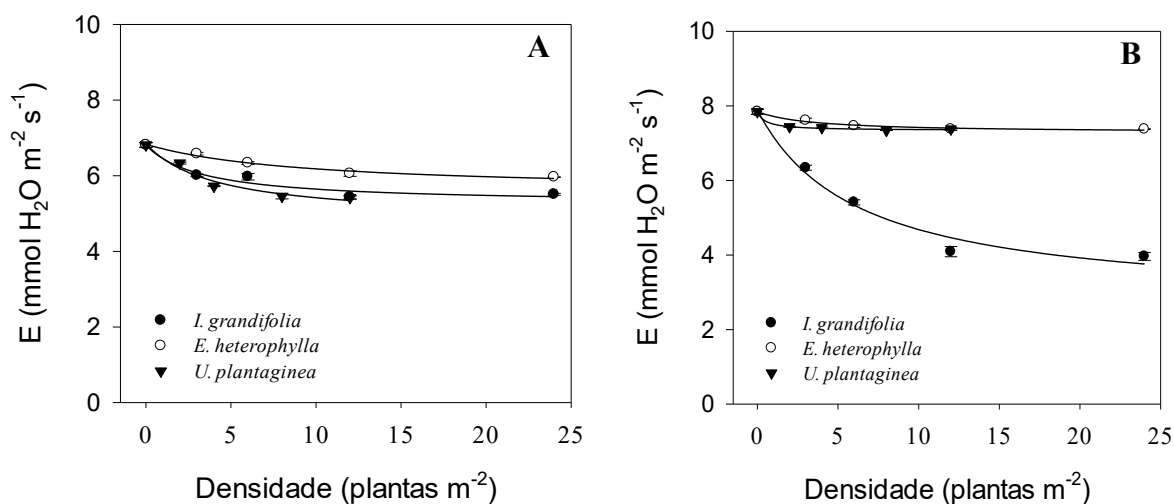


Tabela 17 – Parâmetros da equação, coeficiente de determinação (R^2), quadrado médio do erro (QME) e probabilidade (p) para variável de taxa de transpiração de plantas de soja, em estágio de R5, submetidas a matocompetição por diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021.

Local	Planta daninha	Parâmetros ^{1/}			R^2	QME	p
		$a^{2/}$	$b^{3/}$	$\gamma_0^{4/}$			
A	<i>I. grandifolia</i>	3,34 (2,13)*	1,55 (0,29)*	5,25 (0,25)**	0,90	0,02	0,04
A	<i>E. heterophylla</i>	9,26 (4,07)*s	1,25 (0,19)*	5,57 (0,20)**	0,96	0,01	0,01
A	<i>U. plantaginea</i>	4,17 (2,46)*	2,02 (0,41)*	4,82 (0,41)**	0,93	0,02	0,03
B	<i>I. grandifolia</i>	18,08 (4,55)*	7,55 (0,46)**	-	0,88	0,29	0,01
B	<i>E. heterophylla</i>	3,41 (1,33)*	0,56 (0,06)*	7,26 (0,05)**	0,96	0,01	0,01
B	<i>U. plantaginea</i>	0,51 (0,25)*	0,50 (0,03)**	7,34 (0,02)**	0,98	0,01	<0,01

^{1/} Hipérbole retangular de três parâmetros $f = y_0 + (a \cdot b) / (b + x)$. ^{2/} Assíntota máxima. ^{3/} Densidade onde ocorre 50% da perda máxima. ^{4/} Inclinação da curva. Valores entre parênteses indicam o erro padrão. * e ** significativo a 5 e 1% de probabilidade de erro, respectivamente. ^{ns} não significativo.

Para alcançar elevada produção de grãos e massa da matéria seca as plantas requerem elevada condutância estomática, para permitir maior taxa de assimilação de CO_2 por unidade de área foliar (BLUM, 2009). Com aumento da população de plantas daninhas, independente da espécie, observou-se, em plantas de soja, a redução de A , a qual está associada, em maior ou menor grau. Essa redução está associada em maior ou menor grau à competição por água, nutrientes e luz. A competição por água induz déficit hídrico na planta de soja, a qual responde

realizando o fechamento parcial dos estômatos, reduzindo os valores mensurados de g_s . A menor g_s reduz a entrada de CO_2 na planta, o que leva a redução nos valores de A .

A competição por nutrientes reduz a quantidade de elementos minerais disponíveis às plantas de soja para a adequada síntese dos componentes do aparato fotossintético. Isso leva a redução no teor foliar de clorofila (Figuras 12 e 13), enzimas e outras substâncias necessárias, reduzindo conseqüentemente a A .

O sombreamento imposto pelas plantas daninhas também afeta a abertura estomática, pois elas interceptam parte da luz solar alterando sua qualidade. A relação entre a quantidade de luz que chega às folhas nos comprimentos de onda vermelho e vermelho extremo é reduzida, induzindo ao fechamento parcial dos estômatos (SILVA *et al.*, 2014), reduzindo a g_s .

É importante destacar ainda que a concentração intercelular de CO_2 (C_i) apresentou incremento, em maior ou menor grau, com o aumento da população de plantas daninhas. Em condições em que o fechamento estomático é induzido pela restrição na disponibilidade de água, a redução da g_s é acompanhada pela redução da C_i (ZOBIOLE *et al.*, 2010). Os maiores valores de C_i observados em condições de menor abertura estomática sugerem que a redução observada nos valores da A está também associada a limitações bioquímicas na fotossíntese como menor eficiência de carboxilação da Rubisco ou redução na capacidade de síntese de ATP e NADPH.

O incremento nos valores de C_i também contribui para o fechamento dos estômatos, reduzindo a g_s (ZOBIOLE *et al.*, 2010). Como a planta não está utilizando todo o carbono presente ela pode reduzir a abertura do poro estomática e a g_s para reduzir a perda de água por transpiração.

A taxa de assimilação líquida de CO_2 sofreu redução mais intensa em resposta ao aumento da densidade de *I. grandifolia*, quando comparada as demais plantas daninhas avaliadas (valores inferiores de I_{50}). Este comportamento pode ser relacionado as características e mecanismo de competição desta espécie. Plantas de *I. grandifolia* apresentam hábito de crescimento trepador, se desenvolvendo parcialmente sobre o dossel vegetativo das plantas de soja, levando a intenso sombreamento das plantas, mesmo em baixas densidades populacionais (VIDAL; KALSING; GHEREKHLOO, 2010).

O elevado sombreamento das folhas de plantas de soja reduz drasticamente a quantidade de radiação solar disponível à fotossíntese, o que no longo prazo induz adaptações anatômicas e bioquímicas nas folhas, buscando maximizar a utilização da pouca luz disponível. Porém, quando colocadas em condições de pleno sol (condição padronizada utilizada para avaliação de trocas gasosas) elas apresentam menor capacidade fotossintética que folhas não sombreadas.

A eficiência de uso de água (WUE) (Figura 18), apresentou I_{50} de 0,27 e 0,15, para a competição com *I. grandifolia*; para a competição com *E. heterophylla*, o I_{50} foi de 0,27 e 0,12 (Tabela 18); e para a competição com *U. plantaginea* foi de 0,46 e 0,09, em Pato Branco e Vitorino, respectivamente (Tabela 18).

Em Pato Branco, a redução na eficiência de uso de água na maior densidade de planta daninha, em relação a testemunha sem infestação, foi de 48% para *I. grandifolia*, 45% para *E. heterophylla* e 44% para *U. plantaginea* (Figura 18-A). Em Vitorino, estas perdas foram de 39% para *I. grandifolia*, 30% para *E. heterophylla* e 28% para *U. plantaginea* (Figura 18-B).

Figura 18 – Eficiência de uso de água (WUE) de plantas de soja, cultivar 95Y92, submetidas a matocompetição em diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021.

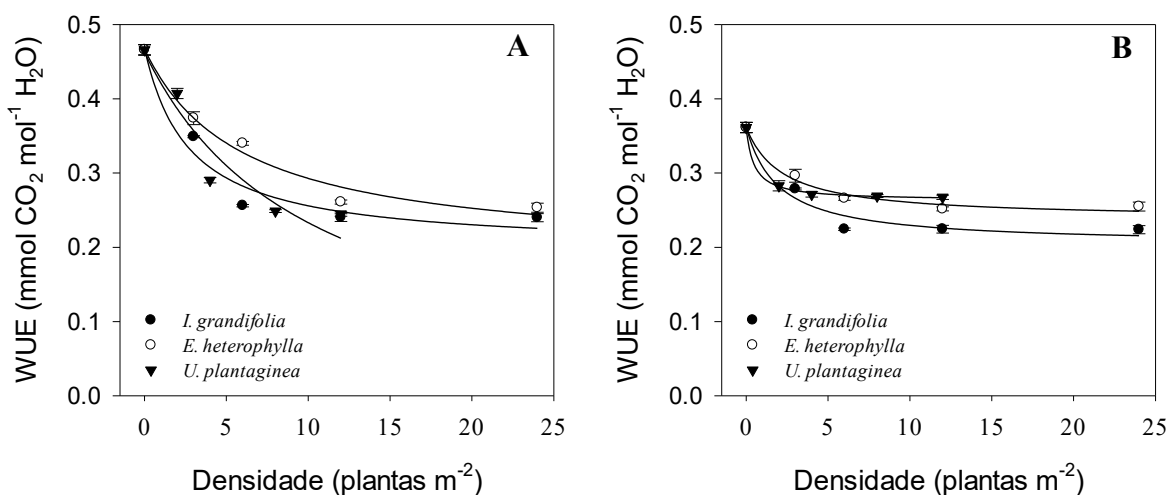


Tabela 18– Parâmetros da equação, coeficiente de determinação (R^2), quadrado médio do erro (QME) e probabilidade (p) para variável de eficiência de uso de água de plantas de soja, em estádio de R5, submetidas a matocompetição por diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021.

Local	Planta daninha	Parâmetros ^{1/}			R^2	QME	p
		$a^{2/}$	$b^{3/}$	$\gamma_0^{4/}$			
A	<i>I. grandifolia</i>	2,73 (1,58)*	0,27 (0,04)*	0,19 (0,03)*	0,92	0,01	0,03
A	<i>E. heterophylla</i>	6,00 (2,53)*	0,27 (0,03)*	0,18 (0,03)*	0,95	0,01	0,02
A	<i>U. plantaginea</i>	10,16 (2,49)*	0,46 (0,02)**	-	0,88	0,01	0,01
B	<i>I. grandifolia</i>	1,94 (1,24)*	0,15 (0,02)*	0,20 (0,02)**	0,96	0,01	0,03
B	<i>E. heterophylla</i>	2,21 (0,87)*	0,12 (0,01)*	0,23 (0,01)**	0,96	0,01	0,01
B	<i>U. plantaginea</i>	0,47 (0,08)*	0,09 (0,01)**	0,26 (0,01)**	0,99	0,01	<0,01

^{1/} Hipérbole retangular de três parâmetros $f = y_0 + (a \cdot b) / (b + x)$. ^{2/} Assíntota máxima. ^{3/} Densidade onde ocorre 50% da perda máxima. ^{4/} Inclinação da curva. Valores entre parênteses indicam o erro padrão. * e ** significativo a 5 e 1% de probabilidade de erro, respectivamente. ^{ns} não significativo.

4.4 MECANISMOS PARA MITIGAR A COMPETIÇÃO E ANÁLISE NUTRICIONAL

A comparação dos níveis de prolina e das enzimas do estresse oxidativo (superóxido dismutase, catalase e peroxidase) da testemunha sem competição com a densidade de 12 plantas daninhas m^{-2} encontram-se descritas na Tabela 19.

A resposta dos níveis de prolina das plantas de soja sob interferência foram influenciados pela espécie daninha e pelo local. Em Pato Branco (Tabela 19) os níveis de prolina das plantas de soja foram incrementados em 40% em relação à testemunha apenas na interferência com *I. grandifolia*. A interferência da soja com as espécies *E. heterophylla* e *U. plantaginea* não provocou modificação nos níveis de prolina das plantas de soja. Ao contrário do que ocorreu em Pato Branco, no ambiente de Vitorino (Tabela 20) ocorreu redução de 40% no teor de prolina nas plantas de soja com maior densidade de *I. grandifolia* e *U. plantaginea*, sem diferir para os demais fatores.

O fato da resposta dos teores de prolina em plantas de soja da cultivar 95Y92 somente terem sido incrementados na interferência com apenas uma espécie daninha e apenas no experimento em Pato Branco pode indicar que, os níveis desse aminoácido não foram bons marcadores do estresse devido à interferência com plantas daninhas. A ausência de resposta ao estresse por incremento de prolina em Vitorino e na presença de duas espécies daninhas em Pato Branco pode indicar que,

a resposta bioquímica ao estresse envolve outros mecanismos, que não a deposição de aminoácidos. Como a deposição de prolina está diretamente associada com a deficiência hídrica (CHEN *et al.*, 2001, CAVERZAN *et al.*, 2019), pode-se afirmar que nos tratamentos sem resposta de incremento de prolina, as plantas daninhas em competição não provocaram uma taxa de utilização de água maior que das plantas de soja, ou seja, não ocorreu deficiência hídrica significativa para desencadear ajustamento osmótico nas plantas de soja, isso também devido a boa disponibilidade hídrica para a cultura nesse estágio (Figura 01).

Tabela 19 – Níveis de prolina, peroxidação lipídica (MDA), e atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e peroxidase (POX) em plantas de soja em estágio de R5, sem (D0) e com (D12) a presença de 12 plantas daninhas por m², no local de Pato Branco. UTFPR, Campus Pato Branco, 2021.

Densidade	Prolina mg g ⁻¹ PF	SOD U min ⁻¹ mg ⁻¹ prot	CAT μM min ⁻¹ mg ⁻¹ prot	POX	MDA μmol g ⁻¹ PF
<i>I. grandifolia</i>					
D0	0.04Ab	20.17Aa	38.81Ab	46.42Aa	40.66Ab
D12	0.07Aa	17.77Ba	46.05Aa	38.18Aa	41.64Aa
<i>E. heterophylla</i>					
D0	0.04Aa	20.17Ab	38.81Ab	46.42Ab	40.66Ab
D12	0.04Ba	31.09Aa	46.64Aa	68.54Aa	44.88Aa
<i>U. plantaginea</i>					
D0	0.04Aa	20.17Aa	38.81Aa	46.42Ab	40.66Ab
D12	0.04Ba	24.58Ba	34.42Aa	85.00Aa	45.01Aa

Letras maiúsculas comparam entre espécies e letras minúsculas entre densidades. Valores seguidos de mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (p≤0,05).

Tabela 20 – Níveis de prolina, peroxidação lipídica (MDA), e atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e peroxidase (POX) em plantas de soja em estágio de R5, sem (D0) e com (D12) a presença de 12 plantas daninhas por m², no local de Vitorino. UTFPR, Campus Pato Branco, 2021.

Densidade	Prolina mg g ⁻¹ PF	SOD U min ⁻¹ mg ⁻¹ prot	CAT μM min ⁻¹ mg ⁻¹ prot	POX	MDA μmol g ⁻¹ PF
<i>I. grandifolia</i>					
D0	0.05Aa	39.08Ab	21.15Aa	27.04Ab	44.39Aa
D12	0.03Ab	50.30Aa	24.36Aa	188.54Aa	41.12Aa
<i>E. heterophylla</i>					
D0	0.05Aa	39.08Ab	21.15Aa	27.04Ab	44.39Aa
D12	0.05Aa	57.47Aa	22.18Aa	52.25Ba	44.25Aa
<i>U. plantaginea</i>					
D0	0.05Aa	39.08Aa	21.15Aa	27.04Ab	44.39Aa
D12	0.03Ab	25.35Aa	12.16Ab	56.28Ba	38.22Aa

Letras maiúsculas comparam entre espécies e letras minúsculas entre densidades. Valores seguidos de mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (p≤0,05).

Na comparação entre as distintas espécies daninhas, no ambiente de Pato Branco, a atividade da SOD foi superior em plantas de soja competindo com *E. heterophylla*, com aumento de 35% em relação à testemunha (Tabela 19). No ambiente de Vitorino não foi observada diferença entre as espécies competidoras (Tabela 20), mas entre plantas do tratamento controle e com competição, *I. grandifolia* e *E. heterophylla* houve aumento na atividade da SOD de 28 e 46%, respectivamente (Tabela 20). Esses resultados corroboram os estudos de Piasecki *et al.* (2018a) em soja competindo com plantas de milho voluntário e Agostinetto *et al.* (2017) na interferência de *L. multiflorum*.

Na comparação entre as distintas espécies daninhas, não houve diferenças na atividade da CAT em ambos os locais (Tabela 19 e 20). Porém, em comparação à testemunha sem infestação, ocorreu aumento de 19 e 20% na atividade enzimática em plantas de soja na presença de *I. grandifolia* e *E. heterophylla*, em Pato Branco (Tabela 19), e uma redução de 42% em presença de *U. plantaginea* em Vitorino (Tabela 20). Piasecki *et al.* (2018a) constataram redução da atividade da CAT em presença de competição com milho voluntário, enquanto Agostinetto *et al.* (2017) observaram aumento da atividade da mesma enzima na competição com *L. multiflorum*.

A atividade da POX foi maior em plantas de soja sob interferência com plantas de *I. grandifolia* em Vitorino (Tabela 20), enquanto em Pato Branco não houve diferenças no efeito entre espécies daninhas. No ambiente de Pato Branco, a atividade dessa enzima foi incrementada em 47 e 83%, sob interferência com *E. heterophylla* e *U. plantaginea*, respectivamente, em comparação à ausência de interferência. Em Vitorino, maior atividade da enzima ocorreu sob interferência com *I. grandifolia*, provocando aumento de atividade de 597, 93 e 108% para plantas de *I. grandifolia*, *E. heterophylla* e *U. plantaginea*, respectivamente.

De modo geral, observando o comportamento nos dois locais de experimento, a atividade das enzimas antioxidantes da soja foi aumentada na presença de plantas infestantes. Isso demonstra que parte da defesa da planta contra o estresse provocado pela matocompetição está relacionada à atividade antioxidante enzimática (CAVERZAN *et al.*, 2016, CARVEZAN *et al.*, 2019), através das enzimas de estresse oxidativo SOD, CAT e POX.

Quanto à peroxidação lipídica, representada pelos níveis de malondialdeído (MDA), em Vitorino (Tabela 20) não ocorreram diferenças tanto entre espécies daninhas nem entre os tratamentos com e sem interferência. Em Pato Branco (Tabela 19) houve significativo aumento no teor de MDA na presença de plantas competindo, sendo esse aumento de 3, 10 e 11% para *I. grandifolia*, *E. heterophylla* e *U. plantaginea*, respectivamente.

Na análise de integridade de membranas (Figura 19), os valores de I_{50} para a competição com *I. grandifolia* foram de 1,35 e 0,92, em Pato Branco e Vitorino, respectivamente (Tabela 21); para *E. heterophylla*, em Pato Branco o I_{50} foi de 2,89 e em Vitorino não houve significância da regressão (Tabela 21); e para *U. plantaginea* de 2,39 e 3,22, nos locais de Pato Branco e Vitorino, respectivamente (Tabela 21).

Em Pato Branco, a redução na integridade de membrana na maior densidade de planta daninha, em relação a testemunha, foi de 26% para *I. grandifolia*, 27% para *E. heterophylla* e 32% para *U. plantaginea* (Figura 19-A), enquanto em Vitorino, estas reduções foram de 17% para *I. grandifolia* e 20% para *U. plantaginea* (Figura 19-B).

Figura 19 – Integridade de membrana (IM) de plantas de soja, cultivar 95Y92, submetidas a matocompetição em diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021.

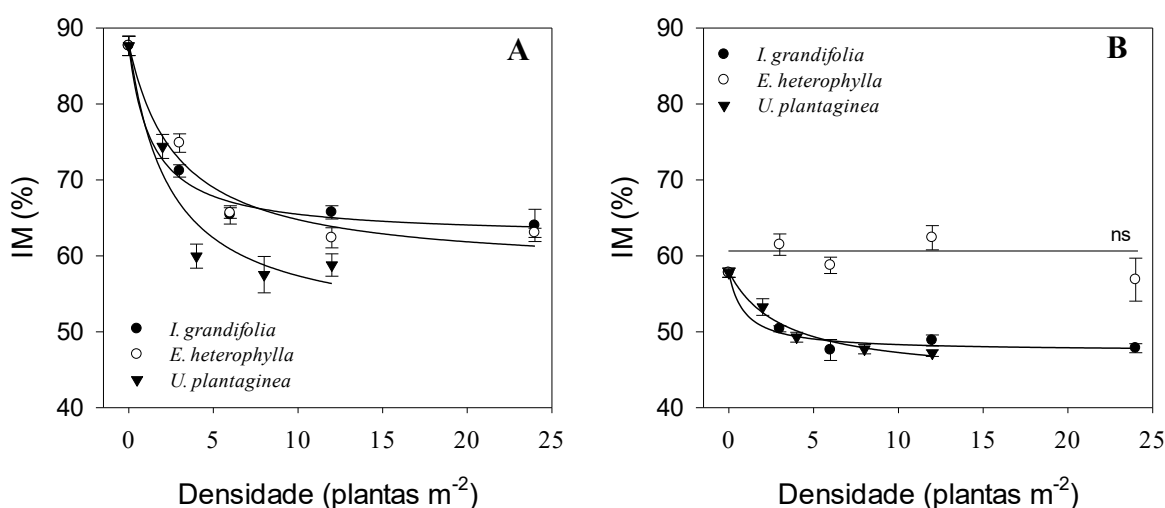


Tabela 21 – Parâmetros da equação, coeficiente de determinação (R^2), quadrado médio do erro (QME) e probabilidade (p) para variável de integridade de membrana de plantas de soja, em estágio de R5, submetidas a matocompetição por diferentes densidades e espécies de plantas daninhas, nos municípios de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021.

Local	Planta daninha	Parâmetros ^{1/}			R^2	QME	p
		$a^{2/}$	$b^{3/}$	$Y_0^{4/}$			
A	<i>I. grandifolia</i>	25,21 (2,12)**	1,35 (0,52)*	62,45 (1,60)**	0,98	2,11	0,01
A	<i>E. heterophylla</i>	29,81 (4,40)*	2,89 (1,50)*	58,07 (3,67)**	0,93	7,25	0,03
A	<i>U. plantaginea</i>	38,10 (8,55)*	2,39 (1,80)*	50,00 (6,28)**	0,88	19,85	0,04
B	<i>I. grandifolia</i>	10,34 (1,49)**	0,92 (0,75)*	47,43 (1,07)**	0,93	1,10	0,03
B	<i>E. heterophylla</i>	-	-	-	-	-	-
B	<i>U. plantaginea</i>	14,05 (1,86)**	3,22 (1,33)*	43,83 (1,83)**	0,96	0,07	0,01

^{1/} Hipérbole retangular de três parâmetros $f = y_0 + (a \cdot b) / (b + x)$. ^{2/} Assíntota máxima. ^{3/} Densidade onde ocorre 50% da perda máxima. ^{4/} Inclinação da curva. Valores entre parênteses indicam o erro padrão. * e ** significativo a 5 e 1% de probabilidade de erro, respectivamente. ^{ns} não significativo.

A presença de plantas daninhas competindo com a soja provocou danos às membranas celulares (Figura 19) devido a produção de espécies de oxigênio reativo (ROS), com a produção de peróxido de hidrogênio, que não foi eficientemente detoxificado pelo sistema antioxidante (HUANG *et al.*, 2013, CAVERZAN *et al.*, 2019). A peroxidação de membranas pode comprometer o rendimento final da cultura, seja pelo gasto energético na ativação do sistema antioxidante ou nos danos diretos provocados pelo ataque das ROS às membranas (ROCKENBACH *et al.*, 2018).

Na análise nutricional foliar de nitrogênio, fósforo e potássio não foi observada diferença entre as espécies *I. grandifolia*, *E. heterophylla* e *U. plantaginea* em nenhum dos locais (Tabela 22). Entre os teores dos três macronutrientes, apenas o teor de N apresentou diferenças entre a testemunha e o tratamento com infestação de 12 plantas m^{-2} , com reduções de 5 e 14%, em Pato Branco e Vitorino, respectivamente.

A redução no teor de nitrogênio foliar das plantas de soja indica que as plantas daninhas influenciaram negativamente a absorção desse elemento pelas plantas de soja, o que está relacionado à redução do teor de clorofila A e total (Figuras 12 e 13) e da taxa de assimilação de CO_2 . Redução da absorção de N em plantas em competição também foi observado por Cury *et al.* (2021), Cury *et al.* (2013) e Coelho *et al.* (2019).

Tabela 22 – Teores de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) em plantas de soja em estágio de R5, sem (D0) e com (D12) a presença de 12 plantas daninhas por m², nos locais de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021

Densidade/ Espécie	N		P		K	
	A	B	A	B	A	B
D0	5,51a	4,79a	0,24 ^{ns}	0,21 ^{ns}	1,65 ^{ns}	1,50 ^{ns}
D12	5,19b	4,09b	0,24 ^{ns}	0,20 ^{ns}	1,62 ^{ns}	1,61 ^{ns}
<i>I. grandifolia</i>	5,37 ^{ns}	4,45 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,21 ^{ns}	1,61 ^{ns}	1,56 ^{ns}
<i>E. heterophylla</i>	5,23 ^{ns}	4,36 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,19 ^{ns}	1,70 ^{ns}	1,48 ^{ns}
<i>U. plantaginea</i>	5,45 ^{ns}	4,50 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,21 ^{ns}	1,59 ^{ns}	1,63 ^{ns}

Valores seguidos de mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). ^{ns}: não significativo.

4.5 ANÁLISES DE CORRELAÇÃO

A partir disso, pode-se pontuar o aumento na altura de plantas e do acamamento como fatores importantes para se explicar o efeito da matocompetição, estando eles relacionados ao sombreamento e interceptação de radiação solar, que afetam diretamente na área foliar e matéria seca de folhas. Relacionado a isso, a redução na taxa de assimilação de CO₂ e seus parâmetros relacionados a produção líquida de fotoassimilados, impactaram diretamente na composição dos principais componentes de rendimento da cultura, principalmente na massa de mil grãos e número de vagens por planta provocando severas reduções na produtividade da cultura.

Para a análise de correlação (Tabelas 23, 24 e 25) entre as variáveis analisadas, foram verificados distintos padrões para cada uma das plantas daninhas avaliadas, sugerindo que o processo competitivo se desenvolve de maneira distinta para cada uma das espécies.

As plantas de soja em competição com *I. grandifolia* apresentaram maior incremento em altura que as demais espécies (Figura 02). Também se observou correlação negativa da altura de planta com variáveis como MSC (-0,57), A (-0,56), Gs (-0,57), NV (-0,63), GV (-0,54) e PM (-0,49) e produtividade (-0,52). Além disso, houve correlação positiva entre a altura de planta e o acamamento (0,50). Estas correlações não ocorrem nas plantas de soja em competição com *E. heterophylla* e *U. plantaginea*,

sugerindo que a competição por luz é mais relevante entre plantas de soja e *I. grandifolia* que nas demais espécies avaliadas.

Em relação as trocas gasosas, merece atenção a correlação entre o nível de acamamento e a *A*. Plantas em competição com *I. grandifolia* foram as que apresentaram maior nível de acamamento, seguidas pelas plantas em competição com *U. plantaginea* (Figura 06), enquanto plantas competindo com *E. heterophylla* apresentaram níveis mínimos de acamamento. Plantas acamadas acabam sofrendo maior nível de auto sombreamento (além do sombreamento pelas plantas daninhas em competição), o que prejudica sua fotossíntese, reduzindo a *A*. Isso é evidenciado pela menor correlação (-0,54) entre acamamento e a *A* na competição com *E. heterophylla* do que na interferência com *I. grandifolia* (-0,72) e *U. plantaginea* (-0,71).

Para plantas de soja em competição com as três espécies daninhas há elevada correlação entre a *A* e variáveis relacionadas ao desenvolvimento vegetativo, como a MSF, MSC e AF, indicando que plantas que possuem maior *A* conseguem acumular mais massa seca nos ramos e folhas e possuem maior área foliar, independentemente da espécie em competição.

Também há forte correlação entre a *A* e os componentes de rendimento das plantas de soja (NV, GV e PM). Essa correlação ocorre porque com maiores valores de *A* há maior produção de fotoassimilados, que serão alocados pela planta em características reprodutivas, levando a fixação de um maior número de vagens por planta, propiciando a formação de vagens com mais grãos e aumentando a massa dos grãos formados.

As variáveis *A* e *gs* apresentaram alta correlação para plantas de soja em competição com *I. grandifolia* (0,85) e *E. heterophylla* (0,84), enquanto para *U. plantaginea* os valores de correlação foram inferiores (0,67). Esta correlação sugere que a taxa de assimilação de CO₂ está intimamente ligada a condutância estomática. Outros estudos relataram elevada correlação entre *A* e condutância estomática em diversas espécies vegetais (KÖRMER, 1995). Tal correlação também foi observada em plantas de soja por Zobiolo *et al.* (2010).

Se observa estreita correlação entre parâmetros fotossintéticos, características vegetativas, componentes de rendimento e produtividade. A competição entre as plantas daninhas e a soja por água, luz e nutrientes limita os

recursos disponíveis à cultura. A limitação de recursos leva a redução da área foliar (Figura 03), matéria seca de folhas (Figura 04) e matéria seca de caule (Figura 05) em função do aumento na densidade de plantas daninhas. Estas variáveis correlacionam-se de forma positiva com a *A*. As plantas com menor AF, MSF e MSC apresentam também menores valores de *A*. Isso ocorre porque, sob competição, as plantas de soja não absorvem minerais do solo, principalmente o nitrogênio, em quantidades suficientes para formar adequadamente todo o aparato fotossintético. Além disso, a competição por água tende a limitar a abertura estomática e conseqüentemente o aporte de CO₂ ao aparato fotossintético. Já a competição por luz afeta a qualidade e quantidade (fótons) de luz que chegam as folhas.

As variáveis *A*, MSF, MSC e AF apresentam elevada correlação com os componentes de rendimento das plantas de soja (NV, GV e PM). Nas plantas com maior disponibilidade de recursos, a maior AF permite a planta interceptar mais luz solar, isso associado a maior *A* dessas plantas permite-lhes produzir grande quantidade de fotoassimilados. Essa maior disponibilidade de fotoassimilados possibilita a formação de maior número de vagens pelas plantas, maior número de grãos por vagem e favorece o enchimento dos grãos, aumentando o PM.

Como resultado do incremento nos componentes de rendimento a produtividade é maior. Isso é demonstrado pela alta correlação entre os componentes de rendimento e produtividade. Em condições de competição, a disponibilidade de recursos é reduzida, com isso há redução na MSF, AF e *A*, levando a redução nos componentes de rendimento e por conseqüência, da produtividade.

Tabela 23 -- Correlação linear de Pearson de variáveis obtidas de plantas de soja submetidas a matocompetição por diferentes densidades de *Ipomoea grandifolia* nas localidades de Pato Branco e Vitorino. UTFPR, Campus Pato Branco, 2021.

	ALT	PR	IM	AC	MSF	MSC	AF	CHLA	CHLB	CHLT	A	gs	Ci	E	WUE	NV	GV	PM
PR	-0.49*																	
IM	-0.33	-0.07																
AC	0.5*	-0.58*	0.08															
MSF	-0.4*	0.84*	-0.19	-0.64*														
MSC	-0.57*	0.74*	-0.05	-0.84*	0.82*													
AF	-0.53*	0.76*	-0.23	-0.68*	0.89*	0.89*												
CHLA	-0.57*	0.62*	0.11	-0.71*	0.76*	0.9*	0.85*											
CHLB	0.3	-0.15	-0.07	0.51*	-0.23	-0.34	-0.16	-0.4*										
CHLT	-0.48*	0.59*	0.11	-0.55*	0.71*	0.83*	0.84*	0.91*	0									
A	-0.56*	0.61*	-0.15	-0.72*	0.73*	0.85*	0.86*	0.85*	-0.37*	0.75*								
Gs	-0.57*	0.64*	0.03	-0.6*	0.77*	0.87*	0.87*	0.9*	-0.15	0.91*	0.85*							
Ci	0.08	-0.21	0.02	0.3	-0.23	-0.35	-0.39*	-0.42*	0.1	-0.4*	-0.38*	-0.32						
E	-0.55*	0.5*	-0.06	-0.59*	0.65*	0.79*	0.79*	0.81*	-0.35	0.71*	0.85*	0.86*	-0.19					
WUE	-0.32	0.36*	0.03	-0.31	0.36*	0.41*	0.42*	0.4*	-0.09	0.38*	0.47*	0.44*	-0.27	0.46*				
NV	-0.63*	0.7*	0	-0.84*	0.77*	0.96*	0.87*	0.88*	-0.33	0.82*	0.82*	0.83*	-0.32	0.76*	0.46*			
GV	-0.54*	0.71*	-0.11	-0.85*	0.84*	0.96*	0.89*	0.87*	-0.37*	0.78*	0.85*	0.81*	-0.34	0.8*	0.5*	0.96*		
PM	-0.49*	0.68*	0.02	-0.59*	0.71*	0.82*	0.76*	0.79*	-0.3	0.73*	0.78*	0.81*	-0.28	0.73*	0.52*	0.83*	0.79*	
PROD	-0.52*	0.76*	-0.11	-0.77*	0.86*	0.94*	0.92*	0.91*	-0.35*	0.82*	0.89*	0.88*	-0.41*	0.85*	0.48*	0.91*	0.94*	0.86*

*: significativo $p \leq 0,05$; ALT: altura de plantas; PR: potencial de rendimento; IM: integridade de membrana; AC: acamamento; MSF: matéria seca de folhas; MSC: matéria seca de caule; AF: área foliar; CHLA: clorofila A; CHLB: clorofila B; CHLT: clorofila total; A: taxa de assimilação de CO₂; gs: condutância estomática; Ci: concentração intercelular de CO₂; E: transpiração; WUE: eficiência de uso de água; NV: número de vagens por planta; GV: número de grãos por vagem; PM: peso de mil grãos; PROD: produtividade.

Tabela 24 -- Correlação linear de Pearson de variáveis obtidas de plantas de soja submetidas a matocompetição por diferentes densidades de *Euphorbia heterophylla* nas localidades de Pato Branco e Vitorino. UTFPR, Campus Pato Branco, 2021.

	Alt	PR	IM	AC	MSF	MSC	AF	CHLA	CHLB	CHLT	A	gs	Ci	E	WUE	NV	GV	PM	
PR	0.05																		
IM	-0.34	0.29																	
AC	-0.16	-0.71*	-0.17																
MSF	0.04	0.89*	0.26	-0.51*															
MSC	0.02	0.84*	0.29	-0.51*	0.76*														
AF	0.01	0.85*	0.27	-0.46*	0.90*	0.75*													
CHLA	-0.01	0.9*	0.32	-0.74*	0.75*	0.77*	0.72*												
CHLB	-0.04	0.81*	0.27	-0.44*	0.79*	0.7*	0.83*	0.67*											
CHLT	-0.02	0.94*	0.33	-0.68*	0.84*	0.81*	0.83*	0.95*	0.87*										
A	0.05	0.79*	0.45*	-0.54*	0.72*	0.71*	0.84*	0.69*	0.73*	0.77*									
Gs	0.23	0.84*	0.28	-0.54*	0.83*	0.75*	0.91*	0.75*	0.7*	0.8*	0.84*								
Ci	0.04	-0.56*	-0.52*	0.33	-0.4*	-0.58*	-0.56*	-0.53*	-0.46*	-0.55*	-0.73*	-0.54*							
E	0.04	0.76*	0.38*	-0.59*	0.67*	0.63*	0.73*	0.72*	0.61*	0.74*	0.79*	0.81*	-0.52*						
WUE	-0.08	0.71*	0.54*	-0.45*	0.66*	0.7*	0.79*	0.69*	0.7*	0.75*	0.93*	0.76*	-0.74*	0.74*					
NV	0.07	0.87*	0.35	-0.69*	0.79*	0.77*	0.84*	0.81*	0.7*	0.84*	0.87*	0.89*	-0.64*	0.84*	0.77*				
GV	0	0.87*	0.4*	-0.7*	0.79*	0.71*	0.81*	0.87*	0.74*	0.89*	0.83*	0.78*	-0.56*	0.8*	0.75*	0.91*			
PM	-0.09	0.84*	0.3	-0.54*	0.84*	0.82*	0.79*	0.88*	0.76*	0.91*	0.69*	0.73*	-0.46*	0.62*	0.65*	0.77*	0.85*		
PROD	0.17	0.86*	0.2	-0.59*	0.86*	0.73*	0.86*	0.74*	0.69*	0.78*	0.75*	0.85*	-0.4*	0.75*	0.62*	0.85*	0.84*	0.76*	

*: significativo $p \leq 0,05$; ALT: altura de plantas; PR: potencial de rendimento; IM: integridade de membrana; AC: acamamento; MSF: matéria seca de folhas; MSC: matéria seca de caule; AF: área foliar; CHLA: clorofila A; CHLB: clorofila B; CHLT: clorofila total; A: taxa de assimilação de CO₂; gs: condutância estomática; Ci: concentração intercelular de CO₂; E: transpiração; WUE: eficiência de uso de água; NV: número de vagens por planta; GV: número de grãos por vagem; PM: peso de mil grãos; PROD: produtividade.

Tabela 25 -- Correlação linear de Pearson de variáveis obtidas de plantas de soja submetidas a matocompetição por diferentes densidades de *Urochloa plantaginea* nas localidades de Pato Branco e Vitorino. UTFPR, Campus Pato Branco, 2021.

	Alt	PR	IM	AC	MSF	MSC	AF	CHLA	CHLB	CHLT	A	gs	Ci	E	WUE	NV	GV	PM
PR	0.19																	
IM	0.3	0.62*																
AC	0.08	-0.72*	-0.57*															
MSF	0.03	0.66*	0.39*	-0.64*														
MSC	0.03	0.6*	0.69*	-0.83*	0.67*													
AF	-0.01	0.75*	0.56*	-0.76*	0.8*	0.79*												
CHLA	-0.02	0.62*	0.73*	-0.63*	0.59*	0.8*	0.76*											
CHLB	-0.01	-0.21	-0.09	-0.01	-0.01	0.03	0.05	-0.18										
CHLT	0	0.56*	0.63*	-0.63*	0.56*	0.77*	0.77*	0.87*	0.26									
A	0.02	0.61*	0.64*	-0.71*	0.6*	0.87*	0.82*	0.88*	0	0.85*								
Gs	0.04	0.66*	0.39*	-0.57*	0.54*	0.56*	0.57*	0.66*	-0.28	0.57*	0.67*							
Ci	0.15	-0.59*	-0.44*	0.51*	-0.39*	-0.39*	-0.41*	-0.52*	0.44*	-0.36	-0.44*	-0.4*						
E	-0.06	0.65*	0.67*	-0.77*	0.7*	0.85*	0.84*	0.85*	0.02	0.81*	0.92*	0.67*	-0.47*					
WUE	0.14	0.41*	0.17	-0.22	0.17	0.28	0.32	0.34	-0.51*	0.23	0.48*	0.46*	-0.51*	0.36				
NV	-0.07	0.7*	0.68*	-0.78*	0.7*	0.87*	0.84*	0.92*	-0.05	0.85*	0.95*	0.73*	-0.49*	0.95*	0.33			
GV	-0.14	0.63*	0.61*	-0.65*	0.54*	0.76*	0.77*	0.92*	-0.02	0.87*	0.88*	0.65*	-0.47*	0.83*	0.32	0.92*		
PM	-0.12	0.61*	0.57*	-0.69*	0.5*	0.72*	0.72*	0.74*	0.06	0.78*	0.79*	0.55*	-0.27	0.8*	0.27	0.84*	0.79*	
PROD	-0.12	0.7*	0.66*	-0.83*	0.7*	0.82*	0.82*	0.85*	-0.11	0.76*	0.84*	0.73*	-0.44*	0.88*	0.31	0.93*	0.86*	0.83*

*: significativo $p \leq 0,05$; ALT: altura de plantas; PR: potencial de rendimento; IM: integridade de membrana; AC: acamamento; MSF: matéria seca de folhas; MSC: matéria seca de caule; AF: área foliar; CHLA: clorofila A; CHLB: clorofila B; CHLT: clorofila total; A: taxa de assimilação de CO₂; gs: condutância estomática; Ci: concentração intercelular de CO₂; E: transpiração; WUE: eficiência de uso de água; NV: número de vagens por planta; GV: número de grãos por vagem; PM: peso de mil grãos; PROD: produtividade.

Independentemente da espécie em competição, os componentes de rendimento da cultura da soja apresentam elevada correlação com a produtividade, indicando que com o aumento do NV, GV e PM ocorrerá aumento da produtividade. Destaca-se ainda que o NV foi o componente que mais contribuiu para a produtividade nas plantas em competição com *E. heterophylla* (0,85) e *U. plantaginea* (0,93). Dalchiavon e Carvalho (2012) relatam que normalmente o NV é o componente de rendimento mais importante em plantas de soja. Board *et al.* (1995) ressaltam que o número de vagens por planta é o componente de rendimento mais afetado na competição com plantas daninhas.

5 CONCLUSÕES

Plantas de soja em competição com as espécies de *Ipomoea grandifolia*, *Euphorbia heterophylla* e *Urochloa plantaginea* são afetadas negativamente, tanto morfológica quanto fisiologicamente. O modelo da hipérbole retangular apresentou boa capacidade de ajuste dos caracteres da soja a densidades crescentes das plantas daninhas.

As variáveis área foliar, matéria seca de folhas, matéria seca de caule e taxa líquida de assimilação de CO₂ são as que melhor explicam os efeitos do processo competitivo. Assim como, integridade de membranas, peroxidação lipídica e enzimas de estresse oxidativo são as que melhor descrevem as tentativas de defesa metabólica das plantas de soja.

O processo competitivo se desenvolve de maneira distinta em cada planta daninha estudada. Há indícios que o fator mais limitante para plantas competindo com *I. grandifolia* é a radiação solar.

Maiores perdas de rendimento da soja ocorreram na presença de *I. grandifolia*, seguida de *U. plantaginea* e *E. heterophylla*. O NCD médio entre os locais foi de 54% para *I. grandifolia*, 29% para *U. plantaginea* e 26% para *E. heterophylla*.

O número de vagens por planta foi o componente de rendimento da soja mais afetado pela competição com as plantas daninhas, estando ele correlacionado com a perda de produtividade.

O nitrogênio foi o elemento que apresentou maiores reduções nos níveis no tecido foliar da soja sob competição, independente da espécie daninha competidora.

REFERÊNCIAS

- ADEGAS, F.S. *et al.* Impacto econômico da resistência de plantas daninhas a herbicidas no Brasil. Circular Técnico. **Embrapa**: Londrina, p.12. 2017.
- AFIFI, M., SWANTON, C. Early Physiological Mechanisms of Weed Competition. **Weed Science**, 2012, 60(04), 542–551. doi:10.1614/ws-d-12-00013.1
- AGOSTINETTO, D. *et al.* Change in physiological features in ryegrass biotypes in competition with soybean due resistance to glyphosate. **Planta Daninha**. 2016; 34:517–526. doi: 10.1590/s0100-83582016340300012.
- AGOSTINETTO, D. *et al.* Metabolic activity of wheat and ryegrass plants in competition. **Planta Daninha**. 2017;35:e017155463. doi: 10.1590/s0100-83582017350100044.
- AMINPANA, H.; JAVADI, M. Competitive ability of two rice cultivars (*Oryza sativa* L.) with barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli* (L.) p. beauv.) in a replacement series study. **Advances in Environmental Biology**, 2011. 5, 2669-2675.
- ANDRADE JÚNIOR, E.J. *et al.* Controle residual de capim amargoso na soja cultivada em região de cerrado. **Científica Multidisciplinary Journal**. v. 5, n. 3, p. 48 – 55, 2018.
- BARNES, E.R. *et al.* Interferência da ambrósia (*Ambrosia artemisiifolia* L.) com a soja em Nebraska. **Agronomy Journal**, v. 110, n. 2, pág. 646-653, 2018.
- BARROS, R.E. *et al.* Physiological response of eucalyptus species grown in soil treated with Auxin-Mimetic herbicides. **Planta Daninha**. 2014; 32:629-38
- BARROS, R.E. *et al.* Physiological Response of Maize and Weeds in Coexistence. **Planta daninha**, Viçosa, v.35, e017158134, 2017. <https://doi.org/10.1590/s0100-83582017350100027>.
- BARROSO A.A.M., YAMAUTI M.S., ALVES P.L.C.A. Interference between weed species and two bean cultivars in two times of sowing. **Bragantia**. 2010; 69:609–616. doi: 10.1590/S0006-87052010000300012.
- BASINGER, N. *et al.* Large crabgrass (*Digitaria sanguinalis*) and Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) intraspecific and interspecific interference in soybean. **Weed Science**, 2019, 67(6), 649-656. doi:10.1017/wsc.2019.43
- BASTIANI, Marlon Ouriques, *et al.* Relative competitiveness of soybean cultivars with barnyardgrass. **Bragantia**. 2016, vol.75, n.4, pp.435-445. ISSN 1678-4499. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.412>.
- BASTOS, E. A. *et al.* Parâmetros fisiológicos e produtividade de grãos verdes do feijão-caupi sob déficit hídrico. **Water Resources and Irrigation Management**, v. 1, n. 1, p. 31-37, 2012
- BATES, L. S., R. P. WALDREN, and I. D. TEARE. 1973. 'Rapid determination of free proline for water-stress studies', **Plant and Soil**, 39: 205-07.

BHATT, I.; TRIPATHI, B.N. Plant peroxiredoxins: catalytic mechanisms, functional significance and future perspectives. **Biotechnology Advances**, v. 29, p. 850-859, 2011.

BLOKHINA, O. *et al.* Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review. **Annals of Botany**, v. 91, p. 179-194, 2003

BLUM, A. Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. **Field Crops Research**, v.112, p.119-123, 2009. DOI: 10.1016/j.fcr.2009.03.009.

BOARD, J. E. *et al.* Source strength influence on soybean formation during early and late reproductive development. **Crop Science**, Madison, v. 35, n. 4, p.1104-1110, 1995.

BORELLA, J. *et al.* Estresse em plantas pela aplicação de herbicidas. DOI 10.22533/at.ed.0851918061. In: SANTAS, C.A.; RIBEIRO, J.C. **Desafios e sustentabilidade no manejo de plantas**. Ponta Grossa: Atena Editora, 2019.

BRADFORD, M.M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v. 72, n. 1-2, p. 248-254, 1976.

BRAZ, G. B. P. *et al.* Interferência do capim-amargo na soja cultivada no Cerrado brasileiro. **Revista Caatinga**, v. 34, p. 350-358, 2021. <https://doi.org/10.1590/1983-21252021v34n211rc>

BRIGHT, J. *et al.* ABA-induced NO generation and stomatal closure in *Arabidopsis* are dependent on H₂O₂ synthesis. The **Plant Journal**, v. 45, p. 113-122, 2006.

BUEGE, John A., STEVEN D. Aust. Microsomal lipid peroxidation.' in Fleischer Sidney and Packer Lester (eds.), **Methods in Enzymology (Academic Press)**, 1978.

CARRÃO-PANIZZI, M. C.; PIPOLO, A. E. Cultivares de soja especiais para alimentação humana: BRS 216, BRS 213, BRS 257, BRS 258, BRS 267. **EMBRAPA Soja**, 2007.

CARVALHO, M.H.C. Drought stress and reactive oxygen species: production, scavenging and signaling. **Plant Signaling and Behavior**, v. 3, p. 156-165, 2008.

CARVALHO, J.J. *et al.* Teor e acúmulo de nutrientes em grãos de feijão comum em semeadura direta, sob déficit hídrico. **Irriga, Botucatu**, Edição Especial 01, p. 104-117, 2014.

CAVERZAN, A. *et al.* Defenses against ROS in crops and weeds: The effects of interference and herbicides. **J. Mol. Sci**, v. 20, n. 1086, 2019.

CAVERZAN, A. *et al.* Reactive Oxygen Species and Antioxidant Enzymes Involved in Plant Tolerance to Stress. In: SHANKER, A. K.; SHANKER, C. (Ed.) **Abiotic and Biotic Stress in Plants – Recent Advances and Future Perspectives**, 2016.

CHEN, C.T. *et al.* Regulation of proline accumulation in detached rice leaves exposed to excess copper. **Plant Science**, v. 160, p. 283-290, 2001.

CHUNG, G.; SINGH, R.J. Broadening the genetic base of soybean: A multidisciplinary approach. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 27, n. 5, p. 295-341, 2008.

COCHARD, H. *et al.* Unraveling the effects of plant hydraulics on stomatal closure during water stress in walnut. **Plant Physiology**, v.128, p.282-290, 2002. PMID:11788773 PMCID:PMC148995. <http://dx.doi.org/10.1104/pp.010400>

COELHO, C.G.; DALVI, L.P.; OLIVEIRA, L.S.G., OLIVEIRA, F.L. Production and Nutrient Accumulation of Common Bean Cultivars under Competition with Weed. **Planta daninha**, Viçosa, v. 37, e019214474, 2019. <https://doi.org/10.1590/s0100-83582019370100151>.

COELHO, C.G. Parâmetros genéticos e absorção de nutrientes de feijão-comum em competição com planta daninha. **Dissertação** (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. 2017. 65 f.

CONAB. **Companhia Nacional De Abastecimento**. 2022. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/>. Acesso em: janeiro de 2022.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Indicadores **Agropecuários e Conjuntura Agropecuária**. Disponível em: www.conab.gov.br. Acesso em: 05/05/2020

CONCENÇO, G. *et al.* Uso da água em biótipos de azevém (*Lolium multiflorum*) em condição de competição. **Planta Daninha**, v.25, p.449-455, 2007

COOLEY, W.E.; FOY, C.L. Effects of SC-0224 and glyphosate on free amino acids, soluble protein, and protein synthesis in inflated duckweed (*Lemna gibba*). **Weed Science**, v. 40, p. 345-350, 1992.

COUSENS, R. A simple model relating yield loss to weed density. **Annals of Applied Biology**, 1985, 107: 239-252. doi:10.1111/j.1744-7348.1985.tb01567.x

CURY, J. P. *et al.* Eficiência nutricional de cultivares de feijão em competição com plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 31, n. 1, p. 79-88, 2013.

CURY, J.P. *et al.* Acúmulo e partição de nutrientes de cultivares de milho em competição com plantas daninhas. **Planta Daninha**, MG, v.30, n.2, p.287-296, 2012

DALCHIAVON, Flávio Carlos; CARVALHO, Morel de Passos. Correlação linear e espacial dos componentes de rendimento e produtividade da soja. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 2, pág. 541-552, 2012.

DARMANTI S. *et al.* Antioxidative defenses of soybean [*Glycine max* (L.) Merr. cv. Grobogan] against purple nutsedge (*Cyperus rotundus* L.) interference during drought stress. **J. Anim. Plant Sci.** 2016; 26:225–232

DARMANTI, S. *et al.* Purple Nutsedge (*Cyperus rotundus* L.) Interference and Drought Effect on Proline Accumulation in Soybean (*Glycine max* L.) **Leaves. Advanced Science Letters**, v. 23, n. 7, July 2017, pp. 6487-6489(3). DOI: <https://doi.org/10.1166/asl.2017.9661>

DA-YONG, L. *et al.* Comparison of net photosynthetic rate in leaves of soybean with

different yield levels. **J North Agric Univ**. 2012; 19:14-19.

DEISS, L. *et al.* Weed competition with soybean in no-tillage agroforestry and sole-crop systems in subtropical Brazil. **Planta daninha**. 2017, vol.35, e017170777. 2017. ISSN 1806-9681. <https://doi.org/10.1590/s0100-83582017350100070>.

DEVINE, M. *et al.* Physiology of herbicide action. New Jersey: **PTR Prentice Hall**, 1993. 441p

DIESEL, F. *et al.* Interference of broadleaf buttonweed and white-eye in soybean. **Planta Daninha**, 2020; v.38: e020186466.

DUBEY, R.S. Metal toxicity, oxidative stress and antioxidative defense system in plants. In: GUPTA, S.D. Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants. **Enfield: Science Publishers**, 2011. p. 178-203.

DUKE, S.O. The history and current status of glyphosate. **Pest Manag Sci**, 2018, 74:1027–1034.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Soja: alimentação e saúde e novos usos**. 2010.

FAHEY, A. L.; ZHOU, H.; CALLAHAN, K.. Comparison of Leaf Water Potential, Stomatal Conductance, and Chlorophyll Fluorescence between an Invasive Weed, *Schinus molle*, and a native Chaparral Shrub, *Ceanothus spinosus*, in the Santa Monica Mountains. In: Research and Scholarly Achievement Symposium. **Malibu, EUA**, 2017

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Soybeans**. 2020. Disponível em: < <http://www.fao.org/3/a-ax444e.pdf> >. Acesso em: 05-05-2020.

FERNÁNDEZ, P.T. *et al.* Alternativas para el control químico de *Lolium rigidum* resistente a glifosato en olivar. **Agrícola Vergel**, Enero. 2015.

FERRARI, E. *et al.* Déficit hídrico e altas temperaturas no metabolismo da soja em semeaduras antecipadas. **Nativa**, v. 3, n. 1, p. 67-77, 2015.

FERREIRA, E.B. *et al.* **ExpDes: Ex-perimental Designs packageR package version 1.1.1**, 2011.

FIALHO, C.M.T.; SILVA, G.R.; FREITAS, M.A.M.; FRANÇA, A.C.; MELO, C.A.D.; SILVA, A.A. Competição de plantas daninhas com a cultura do café em duas épocas de infestação. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, p. 969-978, 2010.

FLURKEY, W.H.; JEN, J.J. Peroxidase and polyphenoloxidase activities in developing peaches. **Journal of Food Science**, v. 43, n. 6, p. 1826–1828, 1978.

FREITAS, C.D.M. *et al.* Gaseous exchanges of corn and weeds under competition and water regimes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.24, n.7, p.465-473, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n7p465-473>

FUFEZAN, C. *et al.* Singlet oxygen production in herbicide-treated photosystem II.

FEBS Letters, v. 532, p. 407-410, 2002

GAL J. *et al.* Detection of neighboring weeds alters soybean seedling roots and nodulation. **Weed Sci.** 2015; 63:888–900. doi: 10.1614/WS-D-15-00039.1

GALAL, T.M., SHEHATA, H.S. Impact of nutrients and heavy metals capture by weeds on the growth and production of rice (*Oryza sativa* L.) irrigated with different water sources. **Ecol Indic.** 2015; 54:108-15

GALON, L. *et al.* Habilidade competitiva de cultivares de cevada convivendo com azevém. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 29, n. 4, p. 771-781, 2011.

GIANNOPOLITIS, C.N.; RIES, S.K. Superoxide dismutases: I. occurrence in higher plants. **Plant Physiology**, v. 59, n. 2, p. 309–314, 1977.

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

GREGOIRE, P. *et al.* Voluntária *Brassica napus* (L.) interferência na soja [*Glycine max* (L.) Merr.]: Limites de manejo, crescimento da planta e retorno da semente. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 101, n. 4, pág. 556-567, 2021.

HAVAUX, M.; NIYOGI, K.K. The violaxanthin cycle protects plants from photooxidative damage by more than one mechanism. **Proceedings of the National Academy of Science USA**, v. 96, p. 8762–8767, 1999.

HELDT, H. Plant biochemistry and molecular biology. New York: **Oxford University Press**, 1997. 522 p.

HUANG, Y. W. *et al.* Exogenous glucose regulates activities of antioxidant enzyme, soluble acid invertase and neutral invertase and alleviates dehydration stress of cucumber seedlings. **Scientia Horticulturae**, v. 162, p. 20–30, 2013.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. SIDRA - **Sistema IBGE de Recuperação Automática**, 2022. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1612>>. Acesso em: 05-05-2020.

IQBAL, Z. *et al.* Genetic diversity of soybean accessions using seed storage proteins. **Pakistan Journal of Botany**, v. 47, n. 1, p. 203-209, 2015.

ITIS. Integrated Taxonomic Information System. ***Glycine max* (L.) Merr.**, 2016. Disponível em:<http://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=26716>. Acesso em: 05-03-2016.

JANUSKAITIENE, I. *et al.* Interspecific competition changes photosynthetic and oxidative stress response of barley and barnyard grass to elevated CO₂ and temperature. **Agricultural and Food Science**, 2018, 27(1), 50–62. <https://doi.org/10.23986/afsci.67840>

KASASIAN, L.; SEEYAVE, J. **Critical periods for weed competition**. **PANS**, v.15, n.2, p.208-212, 1969

KAUR, S. *et al.* Understanding crop-weed-fertilizer-water interactions and their implications for weed management in agricultural systems. **Crop Protection**. 2018; 103: 65-72

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der erde**. Gotha: verlag justus perthes. Wall-map 150cm x 200cm 1928.

KUMAGAI, E.; SAMESHIMA, R. Genotypic differences in soybean yield responses to increasing temperature in a cool climate are related to maturity group. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 198–199, p. 265-272, 2014.

LEITE, W. *et al.* Estimativas de parâmetros genéticos, correlações e índices de seleção para seis caracteres agrônômicos em linhagens F8 de soja. **Comunicata Scientiae**, v. 7, p. 302-310, 2016.

LIU, T. *et al.* Canopy structure, light interception, and photosynthetic characteristics under different narrow-wide planting patterns in maize at silking stage. **Spanish J Agric Res**. 2011; 9:1249-61

LOCATO, V. *et al.* Reactive oxygen species and ascorbate-glutathione interplay in signaling and stress responses. In: GUPTA, S.D. Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants. **Enfield: Science Publishers**, 2010. p.45-64

LÓPEZ-OVEJERO, R.F. *et al.* Interferência e controle de milho voluntário tolerante ao glifosato na cultura da soja. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 51, n. 4, p. 340-347, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2016000400006>.

MA, N.L.; RAHMAT, Z.; LAM, S.S. A review of the “omics” approach to biomarkers of oxidative stress in *Oryza sativa*. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 14, p. 7515-7541, 2013

MACHADO, A.B. *et al.* Rendimento de grãos de feijão e nível de dano econômico sob dois períodos de competição com *Euphorbia heterophylla*. **Planta daninha**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 41-48, 2015.

MARQUES, R. *et al.* Interferência de plantas daninhas na formação de pastagem com capim Vaquero. **Acta Iguazu**, 2019, 8(4), 107-120.

MATYSIK, J.; ALIA, B.; BHALU, B.; MOHANTY, P. Molecular mechanisms of quenching of reactive oxygen species by praline under stress in plants. **Current Science**, v. 82, p. 525-532, 2002

MEDEIROS, W.N. *et al.* Crescimento inicial e concentração de nutrientes em clones de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* sob interferência de plantas daninhas. **Ciência Florestal**, Santa Maria, vol. 26, núm. 1, 2016, pp. 147-157.

MELO, H.B. *et al.* Interferência das plantas daninhas na cultura da soja cultivada em dois espaçamentos entre linhas. **Planta daninha**, Viçosa, v. 19, n. 2, p. 187-191, 2001. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582001000200005>.

MESSINGER, S.M. *et al.* Evidence for involvement of photosynthetic processes in the stomatal response to CO₂. **Plant Physiol**. 2006; 140:771-8.

METLEN, K.L.; ASCHEHOUG, E.T.; CALLAWAY, R.M. Plant behavioural ecology: dynamic plasticity in secundar metabolites. **Plant. Cell e environment**, v.32, n.6, p.641-653, 2008.

MITTLER, R. *et al.* Reactive oxygen gene network of plants. **Trends in Plant Science**, v. 9, p. 490-498, 2004.

MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Plant Science**, v. 7, p. 405-410, 2002.

MONQUERO, P. A. **Aspectos da Biologia e Manejo das Plantas Daninhas**. Rima: São Carlos, 1.ed. 2014, 434p. ISBN: 9788576562986

MULLER, W.H. *et al.* Volatile growth inhibitors produced by *Salvia leucophylla*: Effect on oxygen uptake by mitochondrial suspensions. **Bull Torrey Bot Club**, v.96, p.89-96, 1969.

MYLONA, P.V.; POLIDOROS, A.N. ROS regulation of antioxidant genes. In: GUPTA, S.D. Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants. **Enfield: Science Publishers**, 2011. p.101-128

NOCTOR, G.; FOYER, C.H. A re-evaluation of the ATP: NADPH budget during C3 photosynthesis. A contribution from nitrate assimilation and its associated respiratory activity? **Journal of Experimental Botany**, v. 49, p. 1895-1908, 1998

OERKE, E.C. Crop losses to pests. **Journal of Agricultural Science**. 144, 31–43, 2006. doi:10.1017/S0021859605005708

OLIVEIRA, O. M. S. Capacidade competitiva de cultivares de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) combinada com espaçamento na supressão de plantas daninhas. 2014. 70f. **Tese** (Doutorado em Agronomia Tropical) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2014.

PAGNONCELLI, F.B. *et al.* Morning glory species interference on the development and yield of soybeans. **Bragantia**, Campinas, v. 76, n. 4, p. 470-479, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.2016.338>.

PATEL; D. P.; ANUP; MUNDA, G. C. Physiological Efficiency of some Weeds Species under Hill Farming Systems of Subtropical Meghalaya. In: International Glassland Congress, Track 2-2-1: plant diseases, insect pests and weed management. **New Delhi**, Índia, 2020.

PENG, C.L. *et al.* Response to high temperature in flag leaves of super high-yielding rice Pei'ai 64S/E32 and Liangyoupeijiu. **Rice Science**, v. 12, p. 179-186, 2005

PEREIRA, Cassiano Spaziani *et al.* Controle de plantas daninhas na cultura da soja com aplicação de glifosato por contato com rolo de polyester. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 18, n. 4, p. 667, 2020.

PEREIRA, G. A. M. *et al.* Interferência de plantas daninhas no crescimento da cultura do trigo. **Journal of Neotropical Agriculture**, 2017, 4(3), 23-29.

PIASECKI C. *et al.* Does the interference of GR® volunteer corn alter stress

metabolism on soybean? **Planta Daninha**. 2018a; 36:e018171955. doi: 10.1590/s0100-83582018360100018.

PIASECKI C. *et al.* Interference of volunteer corn on stress metabolism and yield of dry bean. **Planta Daninha**. 2018b;36:e018176669. doi: 10.1590/s0100-83582018360100112

PITELLI, R.A. **Interferência de plantas daninhas em culturas agrícolas**. Inf. Agropec., Belo Horizonte, v.11, n.129, p.16-27, 1985.

PITELLI, R.A.; DURIGAN, J.C. Terminologia para períodos de controle e de convivência das plantas daninhas em culturas anuais e bianuais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE HERBICIDAS E PLANTAS DANINHAS, 15, Belo Horizonte. **Resumos...** Belo Horizonte: SBHED, 1984. p.37.

RADOSEVICH, S.R., HOLT J.S., GHERSA C.M. **Ecology of Weeds and Invasive Plants: Relationship to Agriculture and Natural Resource Management**. 3rd ed. John Wiley, Sons; Hoboken, NJ, USA: 2007.

RAMOS, L.R.M., PITELLI, R.A. Effects of different weed control periods on the productivity of corn crop. **Pesq. Agropecu. Bras**. 1998; 29:1523–1531.

RASBAND, W. Open-source software (OSS) projects. **Image J documentation**. Versão 1.51k para Java. 2017. Disponível em: <http://rsb.info.nih.gov/ij/docs/index.html>

RIZZARDI, M.A. *et al.* Nível de dano econômico como critério para controle de picão-preto em soja. **Planta daninha**, v.21, n.2, p.273-282, 2003. doi: 10.1590/S0100-83582003000200013

ROCKENBACH, A.P. *et al.* Do Weeds From Seeds or Regrowth in Coexistence Periods Alter Biochemical and Yield Characteristics of Soybeans? **Journal of Agricultural Science**; Vol. 11, No. 10; 2019. ISSN 1916-9752. Doi: <https://doi.org/10.5539/jas.v11n10p264>

ROCKENBACH, A.P. *et al.* Interferência entre plantas daninhas e a cultura: alterações no metabolismo secundário. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.17, n.1, p.59-70, 2018.

SALOMÃO, H. M. Eficácia de herbicidas no controle de *Ipomoea grandifolia* sob diferentes doses, horários de aplicação e condições hídricas do solo. **Monografia** (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco. UTFPR, 2019. 66 f.

SALVADORI, J. R. *et al.* Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, safras 2016/2017 e 2017/2018 - **Reunião de Pesquisa de Soja da Região Sul**, n.41: 2016: Passo Fundo, RS. Ed. Universidade de Passo Fundo, 2016.

SANT'ANA, E. V. P.; SANTOS, A. B. dos; SILVEIRA, P. M da. Adubação nitrogenada na produtividade, leitura SPAD e teor de nitrogênio em folhas de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, n. 4, p. 491-496, 2010

SEDIYAMA, T.; SILVA; F.; BORÉM, A. **Soja do Plantio à Colheita**. Editora UFV, 2015,

1.ed. 333p. ISBN: 9788572695190

SHABALA, S.; CUIN, T.A. (Eds.). Plant Salt Tolerance: Methods and Protocols. Methods in Molecular Biology. London: Humana Press, 432 p., **Methods in Molecular Biology** 2012.

SHARMA, P. *et al.* Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. **Journal of botany**, v. 2012, 2012.

SHI, Q. *et al.* Effects of Different Treatments of Salicylic Acid on Heat Tolerance, Chlorophyll Fluorescence, and Antioxidant Enzyme Activity in Seedlings of *Cucumis sativa* L. **Plant Growth Regulation**, v. 48, n. 2, p. 127-135, 2006.

SIGNORELLI, S. *et al.* Molecular mechanisms for the reaction between OH radicals and proline: insights on the role as reactive oxygen species scavenger in plant stress. **The Journal of Physical Chemistry B**, v. 118, p. 37-47, 2014.

SILVA, A. F. *et al.* Densidades de plantas daninhas e épocas de controle sobre os componentes de produção da soja. **Planta Daninha**, v. 26, p. 65-71, 2008.

SILVA, D.R.O. *et al.* Glyphosate-resistant hairy fleabane competition in RR® soybean. **Bragantia**, Campinas, v. 73, n. 4, p. 451-457. 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.0200>.

SRIVASTAVA, M.K.; DWIVEDI, U.N. Delayed ripening of banana fruit by salicylic acid. **Plant Science**, v. 158, n. 1-2, p. 87–96, 2000.

STEWART, D.W. *et al.* Canopy structure, light interception and photosynthesis in maize. **Agron J.** 2003; 95:1465-74.

SUCHORONCZEK, A. Qualidade pós-colheita e alterações bioquímicas de duas cultivares de batata submetidas a estresse térmico. 65 p. **Dissertação** (Mestrado) — Universidade Estadual do Centro-Oeste, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Guarapuava, 2016.

SYROS, T. *et al.* Activity and isoforms of peroxidases, lignin and anatomy, during adventitious rooting in cuttings of *Ebenus cretica* L. **Journal of Plant Physiology**, v. 161, p. 69–77, 2004.

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p. ISBN 9788582713662.

TEDESCO, M.J. *et al.* **Análise do solo, planta e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: UFRGS, Departamento de Solos, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5).

TREZZI, M.M. *et al.* Competitive ability of soybean cultivars with horseweed (*Conyza bonariensis*). **Planta daninha**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 543-550, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582013000300006>

ULGUIM, A.R. *et al.* Does competition between soybeans and Wild Poinsettia with low-level resistance or susceptibility to glyphosate affect physiology and secondary metabolism? **Semina**. 2017; 38:1133–1144. doi: 10.5433/1679-0359.2017v38n3p1133

USDA. **United States Department Of Agriculture**. 2022. Disponível em: <http://www.usda.gov>. Acesso em: janeiro de 2022.

VIDAL, R.A. *et al.* **Nível crítico de dano de infestantes em culturas anuais**. Porto Alegre: Evangraf, 2010. 133p.

VIDAL, R.A.; KALSING, A.; GHEREKHLOO, J. Interferência e nível de dano econômico de *Brachiaria plantaginea* e Ipomoea nil na cultura do feijão comum. **Cienc. Rural**. 2010, vol.40, n.8, pp.1675-1681. ISSN 0103-8478. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782010000800001>

VITORINO, Hermes dos Santos *et al.* Interference of a weed community in the soybean crop in functions of sowing spacing. **Rev. Ciênc. Agron.**, Fortaleza, v. 48, n. 4, p. 605-613, 2017. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20170070>.

WANG, J. *et al.* Photosynthesis and physiology responses of paired near-isogenic lines in waxy maize (*Zea mays* L.) to nicosulfuron. **Photosynthetica**, 56, 1059–1068 (2018a). <https://doi.org/10.1007/s11099-018-0816-6>

WANG, J. *et al.* Photosynthesis and physiology responses of paired near-isogenic lines in waxy maize (*Zea mays* L.) to nicosulfuron. **Photosynthetica**, 56 (4): 1059-1068, 2018b. DOI: 10.1007/s11099-018-0816-6

WANG, L. *et al.* Effects of intraspecific competition on growth and photosynthesis of *Atriplex prostrata*. **Aquatic Botany**, v.83, p.187-192, 2005. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquabot.2005.06.005>

XU, X.M. *et al.* Effect of weedy rice at different densities on photosynthetic characteristics and yield of cultivated rice. **Photosynthetica**, 56 (2): 520-526, 2018 520 DOI: 10.1007/s11099-017-0707-2

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, 2015.

ZHONG, X.M. *et al.* Photosynthesis and chlorophyll fluorescence of infertile and fertile stalks of paired near-isogenic lines in maize (*Zea mays* L.) under shade conditions. – **Photosynthetica**, 52: 2014 597-603.

ZOBIOLE, L. *et al.* Glyphosate affects photosynthesis in first and second generation glyphosate-resistant soybean. **Plant and Soil**. 336. 251-265. 2010. 10.1007/s11104-010-0474-3.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Fator de variação (FV), graus de liberdade (GL), quadrado médio do erro (QME), para as variáveis de altura de plantas (ALT), área foliar (AF), matéria seca de folhas (MSF) e matéria seca de colmo (MSC) de plantas de soja, cultivar 95Y92, em estágio R5 submetidas a matocompetição com diferentes espécies e densidades de plantas daninhas na localidade de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021.

FV	GL	QME							
		ALT		AF		MSF		MSC	
Local		A	B	A	B	A	B	A	B
Espécie	2	495.49*	299.89*	1248295.89*	1491943.97*	110.64*	8.20*	344126.35*	37.02*
Densidade	4	206.57*	50.31*	11668656.72*	6272449.05*	156.90*	228.47*	127067.24*	3932.50*
Esp x dens	8	71.11*	55.35*	213175.50*	136752.34*	27.37*	1.47*	123513.25*	16.24*
Resíduo	42	58.05	28.77	101279.99	5004.82	18.89	0.28	90195.03	4.05
CV (%)		5.83	5.08	5.09	5.29	10.85	7.58	5.89	5.29

* significativo pelo teste F ($p \leq 0,05$). ^{ns} não significativo pelo teste F ($p \leq 0,05$).

APÊNDICE B – Fator de variação (FV), graus de liberdade (GL), quadrado médio do erro (QME), para as variáveis de clorofila A (Chla), clorofila B (Chlb), clorofila total (Chlt) e acamamento (Acam) de plantas de soja, cultivar 95Y92, em estágio R5 submetidas a matocompetição com diferentes espécies e densidades de plantas daninhas na localidade de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021.

FV	GL	QME							
		Chla		Chlb		Chlt		Acam	
Local		A	B	A	B	A	B	A	B
Espécie	2	110.76*	9.44*	243.75 ^{ns}	220.32 ^{ns}	225.76*	9.67*	17947.15*	23120.69*
Densidade	4	112.37*	13.72*	103.41 ^{ns}	98.25 ^{ns}	169.37*	26.15*	2143.21*	3168.58*
Esp x dens	8	38.20*	1.15*	86.66 ^{ns}	75.28 ^{ns}	82.85*	1.39*	1278.69*	1614.82*
Residuo	42	25.98	0.04	61.12	58.98	50.11	0.07	38.11	11.09
CV (%)		0.91	0.59	2.54	1.2	0.81	0.51	7.89	12.51

* significativo pelo teste F ($p \leq 0,05$). ^{ns} não significativo pelo teste F ($p \leq 0,05$).

APÊNDICE C – Fator de variação (FV), graus de liberdade (GL), quadrado médio do erro (QME), para as variáveis de integridade de membrana (IM), taxa de assimilação de CO₂ (A), condutância estomática (gs) e concentração intercelular de CO₂ (Ci) de plantas de soja, cultivar 95Y92, em estágio R5 submetidas a matocompetição com diferentes espécies e densidades de plantas daninhas na localidade de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021.

FV	GL	QME							
		IM		A		gs		Ci	
Local		A	B	A	B	A	B	A	B
Espécie	2	110.59 ^{ns}	849.95*	134.63*	421.36*	12256.10*	1.87*	16087.33*	346.82*
Densidade	4	1599.92*	63.98*	592.38*	248.94*	5139.67*	0.40*	6207.98*	448.96*
Esp x dens	8	99.26*	66.38*	36.69*	37.64*	4501.21*	0.18*	4655.01*	67.69*
Resíduo	42	46.88	18.96	11.33	0.67	2967.64	0.01	2903.72	74.61
CV (%)		7.05	8.05	5.38	4.12	6.75	3.93	1.59	2.78

* significativo pelo teste F ($p \leq 0,05$). ^{ns} não significativo pelo teste F ($p \leq 0,05$).

APÊNDICE D – Fator de variação (FV), graus de liberdade (GL), quadrado médio do erro (QME), para as variáveis de transpiração (E), eficiência do uso de água (WUE), número de vagens por planta (VP) e número de grãos por vagem (GV) de plantas de soja, cultivar 95Y92, em estágio R5 submetidas a matocompetição com diferentes espécies e densidades de plantas daninhas na localidade de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021.

FV	GL	QME									
		E		WUE		VP		GV		Est.	
Local		A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Espécie	2	7.40*	34.89*	96.02*	0.01*	2605.91*	456.33*	2247.17*	0.77*	0.06 ^{ns}	0.05 ^{ns}
Densidade	4	6.43*	7.58*	35.80*	0.02*	7356.76*	27458.86*	861.24*	3.20*	0.37 ^{ns}	0.31 ^{ns}
Esp x dens	8	1.74*	3.31*	33.53*	0.01*	240.92*	93.33*	795.31*	0.29*	0.95 ^{ns}	0.91 ^{ns}
Resíduo	42	0.91	0.05	27.87	0.00	32.46	3.69	553.78	0.00	2.95	2.82
CV (%)		3.17	3.4	4.63	5.98	5.15	2.99	2.29	1.35	5.31	8.22

* significativo pelo teste F ($p \leq 0,05$). ^{ns} não significativo pelo teste F ($p \leq 0,05$).

APÊNDICE E – Fator de variação (FV), graus de liberdade (GL), quadrado médio do erro (QME), para as variáveis prolina (PRO), peroxidação lipídica (MDA), superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e peroxidase (POX) de plantas de soja, cultivar 95Y92, em estágio de R5 submetidas a matocompetição com diferentes espécies de plantas daninhas na localidade de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021.

FV	GL	QME									
		PRO		MDA		SOD		CAT		POX	
Local		A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Espécie	2	0,00*	0,00ns	7,28*	18,22*	88,66*	568,52*	94,99*	159,64*	1128,25*	12027,32*
Densidade	1	0,00*	0,00*	60,73*	61,24*	111,41*	167,69 ^{ns}	76,07*	408,70*	1835,75*	31091,76*
Esp x dens	2	0,00*	0,00*	7,28*	18,21*	88,66*	568,52*	94,99*	159,64*	1128,25*	12027,32*
Resíduo	15	0,00	0,00	5,99	4,30	22,85	7,90	57,59	7,90	161,39	205,80
CV (%)		19,54	25,05	5,79	5,21	21,41	23,67	18,69	15,13	23,03	23,55

APÊNDICE F – Fator de variação (FV), graus de liberdade (GL), quadrado médio do erro (QME), para as variáveis teor de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) de plantas de soja, cultivar 95Y92, em estágio de R5 submetidas a matocompetição com diferentes espécies de plantas daninhas na localidade de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021.

FV	GL	QME					
		N		P		K	
Local		A	B	A	B	A	B
Espécie	2	0,09 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,04 ^{ns}
Densidade	1	0,59*	2,93*	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,07 ^{ns}
Esp x dens	2	0,09 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,04 ^{ns}
Resíduo	15	0,06	0,30	0,00	0,00	0,04	0,05
CV (%)		4,67	12,47	9,60	12,96	13,01	15,04

APÊNDICE G – Fator de variação (FV), graus de liberdade (GL), quadrado médio do erro (QME), para as variáveis peso de 1000 grãos (P1000), potencial de rendimento em R5 (Pot. Rend), produtividade (Prod) e estande final (Est) de plantas de soja, cultivar 95Y92, em estágio de maturação submetidas a matocompetição com diferentes espécies e densidades de plantas daninhas na localidade de Pato Branco (A) e Vitorino (B). UTFPR, Campus Pato Branco, 2021.

FV	GL	QME					
		P1000		Pot. Rend		Prod	
Local		A	B	A	B	A	B
Espécie	2	687128.71*	1268.43*	2385301.01*	5522615.20*	11132971.42*	5094566.81*
Densidade	4	255352.11*	4185.46*	139255277.40*	176991969.10*	13517511.65*	20340666.28*
Esp x dens	8	241977.36*	168.88*	780985.40*	1309708.90*	976465.80*	483942.49*
Resíduo	42	191359	21.47	371586.01	111585.70	193018	19248.74
CV (%)		1.35	3,00	8.86	5.05	6.23	4.31

* significativo pelo teste F ($p \leq 0,05$). ^{ns} não significativo pelo teste F ($p \leq 0,05$).