

VI Semana Acadêmica de Pesquisa, Inovação e Extensão da UEMASUL
07 a 09 de novembro de 2023- Imperatriz - MA

TERMOGRAFIA POR INFRAVERMELHO PARA DETECÇÃO DE ESTRESSE ABIÓTICO EM GENÓTIPOS DE SOJA

MATEUS DIAS DUARTE¹, WEVERTON PEREIRA RODRIGUES¹

¹Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – Centro de Ciências Agrárias, Naturais e Letras, Grupo de Pesquisa em Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, UEMASUL. Avenida Brejo do Pinto, S/N, Brejo do Pinto, 65975-000, Estreito - MA.

RESUMO

Dentre as estratégias de mitigação que podem contribuir significativamente para a alta produtividade está a produção de genótipos mais adaptados para as novas condições ambientais. Nesse sentido, o objetivo dessa pesquisa é estudar as relações entre a temperatura foliar e as características produtivas para detectar respostas contrastantes entre genótipos de soja sob elevado déficit de pressão de vapor do ar. O experimento foi realizado entre os meses de dezembro de 2022 e março de 2023, na Fazenda Risada, localizada no município de Darcinópolis – TO, região norte do estado do Tocantins. O espaçamento entre fileiras foi 0,50 m e a quantidade de plantas por metros linear foi determinada de acordo com poder germinativo de cada genótipo, sendo 13 e 14 plantas por metro para os genótipos Brasmax Olimpo IPRO e Brasmax Domínio IPRO, respectivamente. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados (DBC), com dois tratamentos (2 genótipos) com quatro parcelas, sendo que cada parcela foi constituída de cinco linhas com 3 m de comprimento. As mensurações de altura (cm); número de nós por planta e número de vagens por planta foi realizada no estágio reprodutivo R5 – início de enchimento de grãos. A área foliar (cm²) foi mensurada indiretamente por meio de medidas obtidas no folíolo. Também foi estimado o índice de área foliar. A produtividade foi obtida na colheita por meio da massa de grãos por planta. As mensurações de massa seca da raiz e da parte aérea foram realizadas em três plantas da linha central. Ao final foi possível também estimar o índice de colheita. O genótipo Brasmax Olimpo IPRO apresentou menor área foliar e índice de área foliar, o que permitiu maior distribuição de fotoassimilados para os grãos, garantindo um maior índice de colheita, resultando em maior produtividade.

PALAVRAS-CHAVE: Déficit de pressão de vapor; Transpiração; Produtividade .

VI Semana Acadêmica de Pesquisa, Inovação e Extensão da UEMASUL
07 a 09 de novembro de 2023- Imperatriz - MA

INTRODUÇÃO

As emissões globais de CO₂ vêm aumentando constantemente desde a revolução industrial, de 280 $\mu\text{L CO}_2 \text{ L}^{-1}$ até uma média atmosférica global de 416 $\mu\text{L CO}_2 \text{ L}^{-1}$ em 2021 (NOAA, 2022). Aumentos adicionais podem levar a valores estimados entre 730 e 1.020 $\mu\text{L CO}_2 \text{ L}^{-1}$ em 2100 acompanhado de um aquecimento global de até 4,8 °C (IPCC, 2014). Essas mudanças climáticas, especialmente os episódios de secas e elevadas temperaturas, são previstas para reduzir a produtividade global das culturas agrícolas (Gupta et al., 2020). Por outro lado, o aumento da população mundial demandará um aumento na produção de alimentos, a qual pode ultrapassar mais de 10 bilhões de habitantes até 2050 (Fróna et al., 2019).

Entre as culturas que são previstas serem afetadas pela seca, a soja (*Glicine max*) está entre aquelas que causam bastante preocupação, uma vez que a soja é uma importante commodity que compõe a base alimentar, dada a sua utilização na alimentação humana e animal, o que implica no seu alto valor comercial. O Brasil produziu na safra 2020/2021 cerca de 138 milhões de toneladas, com uma produtividade média de 3.525 kg ha⁻¹ em uma área de 39 milhões de ha (CONAB, 2022). O estado do Maranhão produziu cerca de 3,4 milhões de toneladas em 1 milhão de ha, com rendimento de 3.190 kg ha⁻¹ (IBGE, 2022).

Dentre as estratégias que podem ser utilizadas para superar estes desafios, a produção de genótipos mais tolerantes para as novas condições e técnicas de manejo têm-se mostrado promissoras e recentes estudos têm explorado essas potencialidades (Kamphorst et al., 2020), as quais necessariamente são baseadas no conhecimento dos aspectos fisiológicos das plantas. A produção de genótipos resistentes aos estresses abióticos envolve o conhecimento das características morfoanatômicas, fisiológicas e bioquímicas que conferem tal resistência (Kamphorst et al., 2020, Leite et al., 2021).

Com o intuito de tornar mais acessível o uso da termografia, algumas empresas têm produzido câmeras termográficas que podem ser acopladas a celulares, de maneira que essas câmeras são significativamente mais baratas do que as câmeras termográficas tradicionais. No entanto, a acurácia destas câmeras termográficas para estudos de estresse abióticos em plantas ainda não tem sido consolidada. Assim, este projeto tem como objetivo estudar as relações entre os dados obtidos pelas câmeras termográficas acopladas ao smartphones e câmera termográfica convencional de alto custo para detectar respostas ao déficit e pressão de vapor do ar entre genótipos contrastantes de soja, uma importante cultura para o Maranhão.

VI Semana Acadêmica de Pesquisa, Inovação e Extensão da UEMASUL
07 a 09 de novembro de 2023- Imperatriz - MA

METODOLOGIA

O experimento foi realizado entre os meses de dezembro de 2022 e março de 2023, na Fazenda Risada, localizada no município de Darcinópolis – TO, região norte do estado do Tocantins (Latitude 6°45'24.5" S, Longitude 47°47'44.1" W e 240 m altitude), com dois genótipos de soja cultivados na região com similar ciclo de desenvolvimento. O experimento foi realizado em estação semelhante para validação de campo. O clima da região é classificado como tropical chuvoso de acordo com a classificação de Köppen, com temperatura média de 27,0 °C e precipitação de 1473 mm anuais.

O preparo do solo e as práticas de manejo foram trabalhadas de acordo com a literatura específica e as adubações realizadas de acordo com a análise de solo e as exigências da cultura. O espaçamento entre fileiras foi 0,50 m e a quantidade de plantas por metros linear foi determinado de acordo com poder germinativo de cada genótipo, sendo 13 e 14 plantas por metro para os genótipos Brasmax Olimpo IPRO e Brasmax Domínio IPRO, respectivamente.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados (DBC), com dois tratamentos (2 genótipos) com quatro blocos. Cada bloco foi constituído de cinco linhas de cada genótipo com 3 m de comprimento. Em cada linha, foi utilizada as três linhas centrais com 3 metros, as demais utilizadas como bordaduras, sendo avaliadas três plantas por linha resultando no total de nove plantas por bloco (Figura 1). A altura (cm) foi mensurada com a utilização de régua graduada, enquanto o número de nós por planta e número de vagens por planta foi contabilizado manualmente no estágio reprodutivo R5 – início de enchimento de grãos.

A área foliar (cm²) foi mensurada utilizando o método de Richter et al. (2014), conforme a (Figura 1). Brevemente, mensurou-se a maior largura e comprimento de cada folíolo central para calcular a área foliar de cada folha conforme equação geral estabelecida por Richter et al. (2014). O índice de área foliar foi estimado por dividir a área foliar individual pela área ocupada por cada planta, na mesma unidade de área (Richter et al., 2014).

As raízes, caule e folhas das plantas de cada genótipo, foram colocados separadamente em sacos de papel devidamente identificados e em seguida foram levados para estufa de circulação forçada de ar a 70°C por 72 horas (Figura 2). Foi utilizado uma balança analítica para determinar a massa seca de cada parte da planta, obtendo-se assim a massa seca das raízes (MSR), a massa seca do caule (MSC) e a massa seca das folhas (MSF). A massa seca total foi obtida pela soma de MSR, MSC e MSF. A colheita foi realizada manualmente para posterior secagem para que o grão atingisse percentagem de umidade do grão em torno de 13%. Em seguida os grãos foram pesados para estimar a produtividade de grãos (kg ha⁻¹). De posse dos dados foi realizada análise estatística entre as variáveis e a comparação entre os genótipos. Os resultados foram submetidos à análise de

VI Semana Acadêmica de Pesquisa, Inovação e Extensão da UEMASUL
07 a 09 de novembro de 2023- Imperatriz - MA
variância utilizado no software R. 4.1.0. (R Core Team, 2021).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Embora o objetivo do presente projeto era estudar as relações entre as variáveis obtidas pela câmera termográfica de baixo custo com as câmeras termográficas de alta resolução, infelizmente não foi possível alcançar tal objetivo pois os equipamentos necessários não foram adquiridos em tempo compatível com o desenvolvimento da cultura. Apesar disso, os dados obtidos evidenciaram questões importantes para as condições da região Matopiba, as quais serão abordadas mais adiante. A altura das plantas, a massa seca da parte aérea e a massa seca das raízes foram similares entre os genótipos, enquanto a área foliar maior (ca. 85%) para o genótipo domínio (156 cm^2) em comparação ao genótipo Olimpo (84 cm^2) (Figura 1). Para a variável número de nós por planta, foi observado que as cultivares não apresentam diferença significativa, no entanto, o genótipo Domínio apresentou maior índice de área foliar (IAF) e número de vagens por planta (NVP), enquanto o genótipo Olimpo teve mais que o dobro de massa de grãos por planta (Figura 2). O número de sementes por vagem (NSV) foi similar entre os genótipos, no entanto, a produtividade e o índice de colheita foram superiores para o genótipo Olimpo em 105,44% e 15,76% respectivamente (Figura 3).

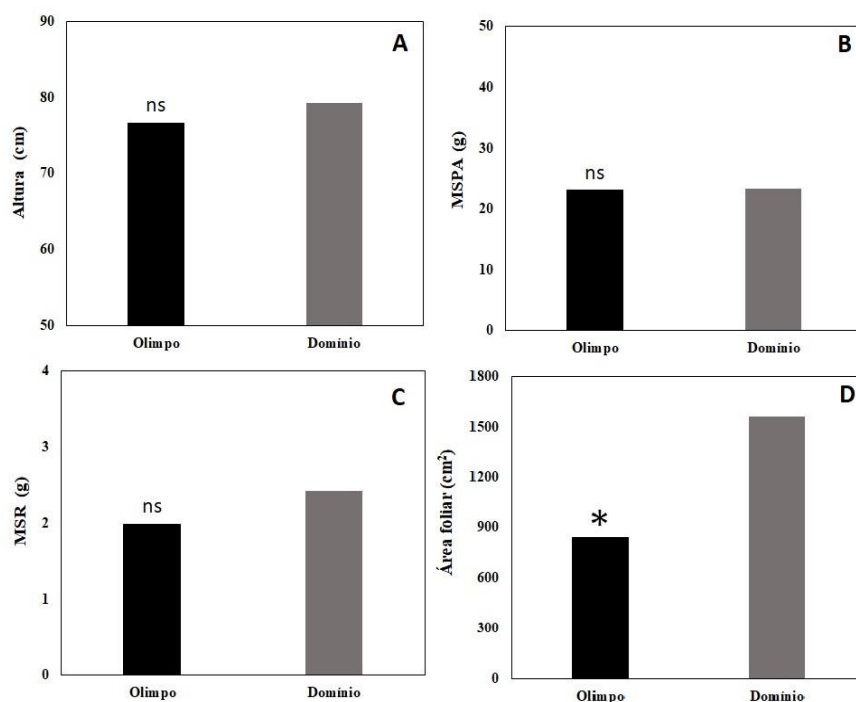


Figura 1. Cultivares de soja (Olimpo) e (Domínio) Fazenda Risada, município Darcinópolis -TO, localizada região norte do estado do Tocantins. Gráfico **A** altura (cm); Gráfico **B** massa seca da parte aérea MSPA (g); Gráfico **C** massa seca da raiz MSR (g); Gráfico **D** área foliar (cm²).

VI Semana Acadêmica de Pesquisa, Inovação e Extensão da UEMASUL
07 a 09 de novembro de 2023- Imperatriz - MA

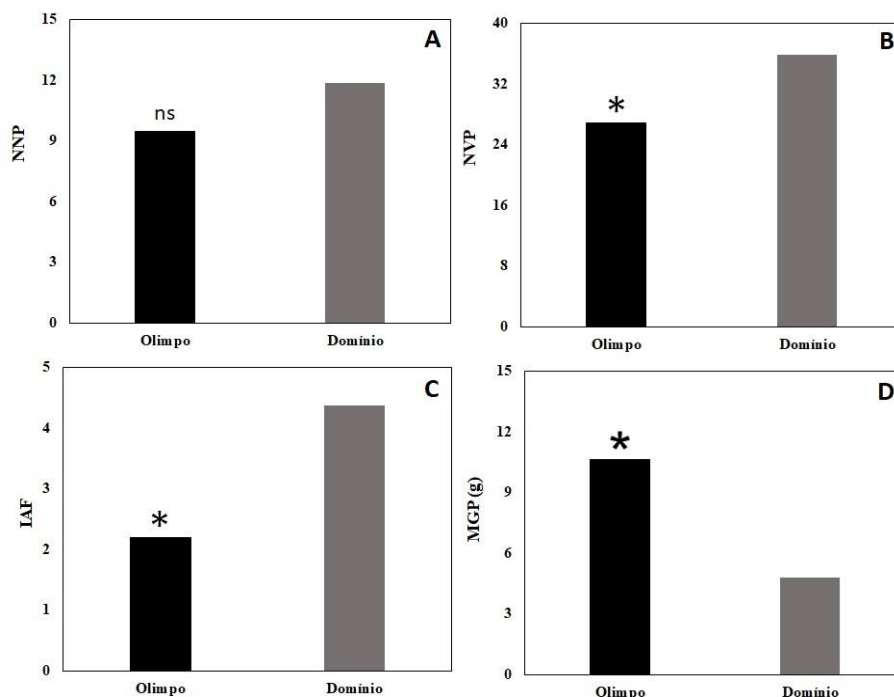


Figura 2. Cultivares de soja (Olimpo) e (Domínio) Fazenda Risada, município Darcinópolis -TO, localizada região norte do estado do Tocantins. Gráfico **A** número de nós por planta NNP; Gráfico **B** número de vargens por planta NVP; Gráfico **C** índice de área foliar IAF; Gráfico **D** massa de grãos por planta MGP (g).

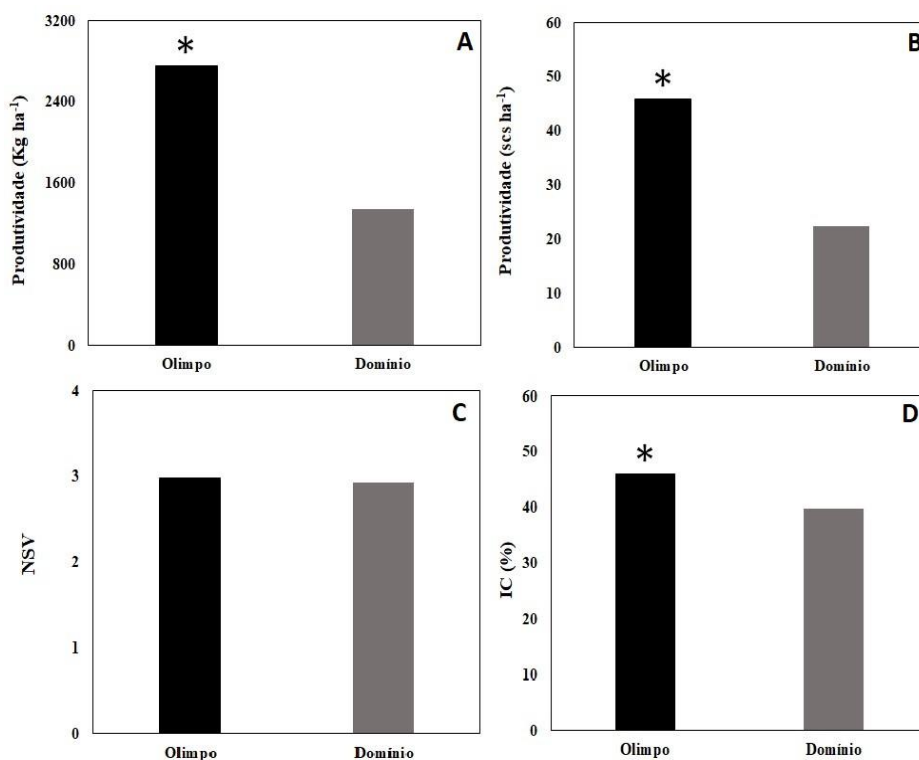


Figura 3. Cultivares de soja (Olimpo) e (Domínio) Fazenda Risada, município Darcinópolis -TO, localizada região norte do estado do Tocantins. Gráfico **A** produtividade (Kg ha⁻¹); Gráfico **B** produtividade (scs ha⁻¹); Gráfico **C** número de sementes por vargens NSV; Gráfico **D** índice de colheita (%).

VI Semana Acadêmica de Pesquisa, Inovação e Extensão da UEMASUL
07 a 09 de novembro de 2023- Imperatriz - MA

Apesar do genótipo Domínio apresentar maior área foliar, o mesmo não apresentou maior massa seca da parte aérea nem massa seca da raiz (Figura 1). Portanto, isso indica que maior área foliar foi resultado de maior expansão em área na densidade de células (i.e., maior área específica foliar) o que indica que as folhas da parte inferior não receberam luz suficiente para saturar a fotossíntese (Liu et al., 2016). Os mais importantes dos componentes da produtividade na cultura da soja são o número de grãos por metro quadrado e a massa de grãos, que abrange o início da floração (R1) até logo após o início do enchimento das sementes (entre R5 e R6) (Board and Tan, 1995; Wei e Molin, 2020). Porém, o genótipo teve maior número de grãos por metro quadrado, sendo 2931 grãos por metro quadrado para o genótipo domínio contra 2091 para o genótipo Olimpo. Mas por outro lado, o genótipo Olimpo apresentou maior massa de grãos em comparação ao genótipo domínio, ou seja, compensou o menor número de grãos com investimento em massa, resultando em maior produtividade (Figura 2 e 3).

Interessante que o genótipo Domínio apresentou maior número de vagens por planta (Figura 2), bem como por área (996 contra 745, dados não mostrados), no entanto, a massa de grãos foi fator preponderante para compensar este efeito. A maior massa de grãos no genótipo Olimpo pode ter ocorrido em função da maior taxa fotossintética em escala de planta, uma vez que a menor área foliar e índice de área foliar permite maior penetração da luz. Outro fator crucial foi o maior índice de colheita observado no genótipo Olimpo (Figura 3). A proporção da biomassa total produzida acima do solo que é convertida em biomassa de grãos é o índice de colheita, e é o resultado de mudanças em processos fisiológicos fundamentais que impactam a cultura durante uma ou mais fases do desenvolvimento (Evans, 1996; Tollenaar and Lee, 2006).

Vale ressaltar que os genótipos utilizados apresentaram produtividades bem inferiores ao potencial que eles possuem quando crescidos em outras regiões, ou mesmo inferior à média brasileira (3.506 kg ha^{-1} ; CONAB, 2023). No entanto, o genótipo Olimpo apresentou produtividade considera medianamente satisfatória (próxima à média da safra 2021/2022 (cerca de 3.026 kg ha^{-1}), uma vez que a região de estudo apresenta elevado DPV do ar e solo arenoso o que aumenta o nível de estresse sob o qual as plantas foram submetidas. Esse fenômeno é explicado pela sensibilidade dos genótipos em razão do (DPV), levando a planta a ativar mecanismo de defesa hídrica por mais tempo retardando seu desenvolvimento (Kunert e Vorster, 2020), principalmente genótipos que apresentem maior índice de área foliar, como no caso da cultivar domínio (Figura 2)

Os resultados parciais obtidos neste trabalho sugerem que é preciso considerar a área foliar e o índice de área foliar como variáveis fundamentais que afetam os componentes de

VI Semana Acadêmica de Pesquisa, Inovação e Extensão da UEMASUL

07 a 09 de novembro de 2023- Imperatriz - MA

produtividade, reflexo da escolha da densidade de plantio. Portanto, reduzir até um certo limite, ao invés de aumentar o índice de área foliar pode ser uma estratégia viável para produzir soja em ambientes estressantes onde o aumento na eficiência do uso da água pode ser requerido em função das mudanças climáticas.

CONCLUSÕES

O genótipo (Olimpo) apresentou menor área foliar e índice de área foliar, o que permitiu maior distribuição de fotoassimilados para os grãos, garantindo um maior índice de colheita IC (%), resultando em maior produtividade.

APOIO FINANCEIRO

A equipe agradece a Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão e a Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Estado do Maranhão (FAPEMA) pela concessão da bolsa de iniciação científica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Board, J.E.; Tan, Q. Assimilatory capacity effects on soybean yield components and pod number. Crop Science, v.35, p. 846–851, 1995.

CONAB - Companhia nacional do abastecimento. Disponível em: file:///C:/Users/00880572/Downloads/E-book_BoletimZdeZSafrasZ_Z11oZlevantamento.pdf Acesso em 01/09/2023.

Evans L. T. Crop Evolution, Adaptation and Yield. Cambridge: Cambridge University Press, 514p., 1996.

Fróna, D.; Szenderák, J.; Harangi-rákos, M. The Challenge of Feeding the World. Sustainability, v.11, p. 5816, 2019.

G.S.; Campostrini, E.; Rodrigues, W.P. Water Use Efficiency in Popcorn (Zea mays L. var. everta): Which Physiological Traits Would Be Useful for Breeding? Plants, V.10, p.1450, 2021.

Gupta, A.; Rico-medina, A.; Caño-delgado, A.I. The physiology of plant responses to drought. Science, v. 368, p. 266-269, 2020.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamentosistematico-da-producao-agricola.html?=&t=o-que-e>. Acesso em 28 de março de 2022.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (2014). Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. EDS. Edenhofer, O.; Pichs-madruga, R.; Sokona, Y.; Farahani, E.; Kadner, S.; Seyboth, K.; Adler, A.; Baum, I.; Brunner, S.; Eickemeier, P.;

VI Semana Acadêmica de Pesquisa, Inovação e Extensão da UEMASUL

07 a 09 de novembro de 2023- Imperatriz - MA

Kriemann, B.; Savolainen, J.; Schlömer, S.; Von stechow, C.; Zwickel, T.; Minx, J. C. (Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press).

Kunert, K.; Vorste, B.J. In search for drought-tolerant soybean: is the slow-wilting phenotype more than just a curiosity? *Journal of Experimental Botany*, v.71, p. 457-460, 2020. Leite, J.T.; Amaral junior, A.T.; Kamphorst, S.H.; Lima, V.J.; Santos junior, D.R.; Schmitt, K.F.M.; Souza, Y.P.; Oliveira santos, T.O.; Bispo, R.B.; Mafra,

Kunert, K.; Vorste, B.J. In search for drought-tolerant soybean: is the slow-wilting phenotype more than just a curiosity? *Journal of Experimental Botany*, v.71, p. 457-460, 2020. Leite, J.T.; Amaral junior, A.T.; Kamphorst, S.H.; Lima, V.J.; Santos junior, D.R.; Schmitt, K.F.M.; Souza, Y.P.; Oliveira santos, T.O.; Bispo, R.B.; Mafra, G.S.; Campostrini, E.; Rodrigues, W.P. Water Use Efficiency in Popcorn (*Zea mays* L. var. everta): Which Physiological Traits Would Be Useful for Breeding? *Plants*, V.10, p.1450, 2021.

Liu; Yanjie; Dawson; Wayne; Prati; Daniel; Haeuser; Emily; Feng; Yanhao; Van kleunen; Mark. Does greater specific leaf area plasticity help plants to maintain a high performance when shaded?. *Annals of Botany*, v. 118, n.7, 1329–1336, 2016.

NOAA (2019). Climate change: Atmospheric carbon dioxide. Climate.gov, USA. Disponível em: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climatechangeatmospheric-carbon-dioxide>. Acesso em 29 de março de 2022.

Tollenaar, M.; Lee, E.A. Physiological dissection of grain yield in maize by examining genetic improvement and heterosis. *Maydica*, v. 51, p. 399–408, 2006.

Wei, M.C.F.; Molin, J. P. Soybean yield estimation and its components: a linear regression approach. *Agriculture*, v. 10, p. 348, 2022.

Richter, G.L; Júnior, A.Z; Streck, N.A; Guedes, J.V.C; Kraulich, B; Rocha, S.M; Winch, E.M; Cera, J.C. Estimativa da área de folhas de cultivares antigas e modernas de soja por método não destrutivo. *Bragantia*, Campinas, v. 73, n. 4, p.416-425, 2014.