

RELAÇÕES LINEARES ENTRE VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS E CARACTERES FENOLÓGICOS, MORFOLÓGICOS E PRODUTIVOS EM BASES GENÉTICAS DE MILHO

LINEAR RELATIONSHIPS BETWEEN METEOROLOGICAL VARIABLES AND PHENOLOGICAL, MORPHOLOGICAL, AND PRODUCTIVE TRAITS IN MAIZE GENETIC BASES

Murilo Vieira Loro^I 

Alberto Cargnelutti Filho^{II} 

Vithória Morena Ortiz^{III} 

João Augusto Andretta^{IV} 

^I U Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil
Doutorando em Agronomia.
E-mail: muriloloro@gmail.com

^{II} H Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil. Doutor em Agronomia.
E-mail: alberto.cargnelutti.filho@gmail.com

^{III} U Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil. Mestranda em Agronomia. E-mail: vithoria.ortiz159@gmail.com

^{IV} U Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil. Graduando em Agronomia. E-mail: aundregusto@gmail.com

Resumo: O objetivo deste trabalho foi verificar se há relações lineares entre variáveis meteorológicas com os caracteres fenológicos, morfológicos e produtivos de genótipos de milho. Foram avaliados 71 genótipos em 21 de setembro de 2021 e 78 genótipos em 20 de outubro de 2021, 20 de novembro de 2021, 20 de dezembro de 2021 e 30 de janeiro de 2022. Cada genótipo foi caracterizado fenologicamente em cada data de semeadura. A altura de planta, foi obtida a partir da média de cinco plantas por genótipo. A partir de todas as plantas da parcela foi avaliada a produtividade de grãos. Com a duração dos estádios fenológicos, calculou-se a radiação solar global acumulada e a soma térmica nos estádios vegetativo e reprodutivo. Foram calculados os coeficientes de correlação linear entre os pares de variáveis em cada data de semeadura. Os genótipos de milho, semeados em setembro, com menor duração dos estádios vegetativo e reprodutivo, acumulam menos radiação solar global e soma térmica e apresentam maior altura de planta e maior produtividade de grãos. Os genótipos de milho, semeados em outubro, novembro e dezembro, que apresentam no estágio vegetativo, menor duração e menor acúmulo de radiação solar global e soma térmica, e no estágio reprodutivo, maior duração e maior acúmulo de radiação solar global e soma térmica, são os mais produtivos. Para semeaduras em janeiro não há associações lineares entre variáveis meteorológicas com os caracteres fenológicos, morfológicos e produtivos de genótipos de milho.

Palavras-chave: *Zea mays* L. correlação linear. radiação solar global. soma térmica. ideótipo.

DOI: <https://doi.org/10.31512/vivencias.v20i41.1042>

Submissão: 30-04-2023

Aceite: 27-05-2024



Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-SemDerivações 4.0 Internacional.

Abstract: The objective of this work was to verify whether there are linear relationships between meteorological variables and phenological, morphological and productive traits of maize genotypes. Five sowing dates were performed and 71 genotypes were evaluated on September 21, 2021 and 78 genotypes on October 20, 2021, November 20, 2021, December 20, 2021 and January 30, 2022. Each genotype was phenologically characterized at each sowing date. Plant height was obtained from the average of five plants per genotype. Grain yield was evaluated from all plants in the plot. With the duration of the phenological stages, the accumulated global solar radiation and the thermal sum in the vegetative and reproductive stages were calculated. Coefficients of linear variation between pairs of variables in each seeding data were calculated. The maize genotypes, sown in September, with shorter duration of the vegetative and reproductive stages, accumulate less global solar radiation and thermal sum and present greater height and grain yield. The maize genotypes, sown in October, November and December, which present in the vegetative stage, shorter duration and lower accumulation of global solar radiation and thermal sum, and in the reproductive stage, greater duration and greater accumulation of global solar radiation and thermal sum, are the most productive. For sowings in January, there are no linear associations between meteorological variables and phenological, morphological and productive traits of maize genotypes.

Keywords: *Zea mays* L. linear correlation. global solar radiation. thermal sum. ideotype.

Introdução

O desempenho agrônomo de uma cultura é determinado pela expressão do seu potencial genético sob influência do ambiente (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2014). As variáveis meteorológicas são os principais fatores ambientais que definem a expressão de caracteres de genótipos de milho. O decréscimo na produtividade de grãos de milho é causado, principalmente, pelas condições meteorológicas desfavoráveis e técnicas de manejo não assertivas, dentre elas o inadequado posicionamento de genótipos (SCHAUBERGER *et al.*, 2017). Especialmente os fatores meteorológicos, como radiação solar global, temperatura do ar e precipitação pluviométrica, influenciam no desempenho agrônomo do milho (LIU *et al.*, 2013; XU *et al.*, 2017; GUO *et al.*, 2022).

Pesquisas buscam compreender o desempenho dos genótipos de milho em razão das variações das variáveis meteorológicas em grande escala regional (LIU *et al.*, 2013; XU *et al.*, 2017; YANG *et al.*, 2021). Nesses estudos os diferentes níveis fertilidade dos solos e outros fatores podem ser prejudiciais. Assim, tem-se uma compreensão limitada do efeito das variáveis meteorológicas no crescimento e desenvolvimento do milho. O uso de datas de semeadura tem se tornado uma abordagem eficaz para examinar as respostas dos genótipos de milho em relação

as condições das variáveis meteorológicas, uma vez que reduz as variações do solo (DJAMAN *et al.*, 2022).

A análise de correlação linear tem sido uma importante ferramenta para estudar os efeitos das variáveis meteorológicas no desempenho do milho (LIU *et al.*, 2013; ZHOU *et al.*, 2016; MELO *et al.*, 2018; GE *et al.*, 2022; GUO *et al.*, 2022). Resultados indicaram que a radiação solar acumulada no estágio reprodutivo tem correlação positiva com a produtividade de grãos de milho (ZHOU *et al.*, 2016; GUO *et al.*, 2022), enquanto a baixa incidência de radiação solar global no estágio reprodutivo limita a taxa fotossintética e reduz a produtividade de grãos (ZHOU *et al.*, 2016). O aumento da temperatura do ar durante o estágio vegetativo do milho reduz sua duração (LIZASO *et al.*, 2018). Correlações negativas foram observadas entre a duração do período da semeadura ao florescimento masculino e feminino com a produtividade de grãos, em condições de estresse hídrico (MELO *et al.*, 2018).

A compreensão da interação entre genótipos e variáveis meteorológicas permite desenvolver estratégias para maximizar o desempenho agrônomo dos genótipos. Isso é possível por meio do posicionamento de genótipos de milho com base na fenologia e nas condições meteorológicas das datas de semeadura (COELHO *et al.*, 2022). Os genótipos de diferentes estádios vegetativos e reprodutivos podem ser utilizados para fazer com que o crescimento da cultura coincida com condições meteorológicas favoráveis (GUO *et al.*, 2022). Desta forma, pode-se obter um ideótipo de planta, a partir de caracteres fenológicos, morfológicos e produtivos, para cada data de semeadura de acordo com a condição meteorológica. Nesse sentido, o objetivo do estudo foi verificar se há relações lineares entre variáveis meteorológicas com os caracteres fenológicos, morfológicos e produtivos de genótipos de milho.

Metodologia

O experimento foi realizado na área do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, localizada a 29°42'S, 53°49'O e 95 m de altitude. De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é classificado como Cfa subtropical úmido, com verões quentes e sem estação seca definida (ALVARES *et al.*, 2013). O solo da região é classificado como Argissolo vermelho distrófico arênico (SANTOS *et al.*, 2018).

Foram avaliados genótipos em cinco datas de semeadura: 21 de setembro de 2021, 20 de outubro de 2021, 20 de novembro de 2021, 20 de dezembro de 2021 e 30 de janeiro de 2022. Com exceção da semeadura em 21 de setembro de 2021 que foi composta por 71 genótipos, em todas as demais datas foram semeados 78 genótipos de milho de diferentes bases genéticas (híbridos simples, triplos, duplos e variedades) (Tabela 1).

Tabela 1 - Descrição dos genótipos de milho utilizados nas cinco datas de semeadura.

Genótipos	Base Genética	Tecnologia*	Genótipos	Base Genética	Tecnologia*
36680	Simples	PRO3	NK467	Simples	VIP3
36770	Simples	PRO3	NK520	Simples	VIP3
36790	Simples	PRO3	NS45	Simples	VIP3
36799	Simples	VIP3	NS75	Simples	VIP3

Genótipos	Base Genética	Tecnologia*	Genótipos	Base Genética	Tecnologia*
AG8690	Simples	PRO3	NS80	Simples	VIP3
AG8780	Simples	PRO3	NTX454	Simples	VT PRO2
AG9021	Simples	PRO3	NTX468	Simples	Conv
AG9025	Simples	PRO3	P3016	Simples	VYHR
AS1555	Simples	PRO3	20A55	Triplo	PWU
AS1633	Simples	PRO3	20A78	Triplo	PW
AS1677	Simples	PRO3	30A95	Triplo	PW
AS1730	Simples	PRO3	B2688	Triplo	PWU
B2401	Simples	PWU	BM270	Triplo	PRO2
B2418	Simples	VYHR	BM3063	Triplo	PRO3
B2620	Simples	PWU	BM915	Triplo	Conv
B2801	Simples	VYHR	FS400	Triplo	PW
BM3066	Simples	PRO3	FS533	Triplo	PWU
BM3069	Simples	PRO3	MG699	Triplo	PWU
Código	Simples	PWU	NTX303	Triplo	VIP3
DKB177	Simples	PRO3	P3565	Triplo	PWU
DKB230	Simples	PRO3	SHS5560	Triplo	PRO2
DKB235	Simples	PRO3	SHS7939	Triplo	PRO2
DKB240	Simples	PRO3	Soberano	Triplo	Conv
DKB255	Simples	PRO3	AG1051	Duplo	Conv
DKB290	Simples	PRO3	Feroz	Duplo	VIP3
FS670	Simples	PWU	M274	Duplo	Conv
K0167	Simples	PRO2	PR27D28	Duplo	Conv
K3100	Simples	VIP3	PR27D29	Duplo	Conv
K8774	Simples	PRO3	PR27D30	Duplo	Conv
K9300	Simples	PRO3	SH5050	Duplo	Conv
K9606	Simples	VIP3	SH Super	Duplo	Conv
K9660	Simples	PRO2	AL Alvaré	Variedade	Conv
LG3040	Simples	VIP3	AL Bandeirante	Variedade	Conv
Maximus	Simples	VIP3	AL Piratininga	Variedade	Conv
MG300	Simples	PWU	BR 106	Variedade	Conv
MG580	Simples	PWU	BRS Planalto	Variedade	Conv
MG593	Simples	PWU	IPR164	Variedade	Conv
MG618	Simples	PWU	Lavrador	Variedade	Conv
MG652	Simples	PWU	Robusto	Variedade	Conv

* Conv: convencional; PRO2: tolerância a lepidópteros e ao herbicida glifosato; PRO3: tolerância a lepidópteros, Diabrotica speciosa e ao herbicida glifosato; PW: tolerância a lepidópteros e ao herbicida glifosato; PWU: tolerância a lepidópteros e aos herbicidas glifosato e glufosinato de amônio; VIP3: tolerância a lepidópteros e ao herbicida glifosato; VT PRO2: tolerância a lepidópteros e ao herbicida glifosato; VYHR: tolerância a lepidópteros e aos herbicidas glifosato e glufosinato de amônio. Fonte: os autores (2023).

Em cada data de semeadura foram semeados os genótipos de milho em uma parcela de uma fileira lado a lado. As parcelas foram constituídas por uma fileira de 5 m de comprimento espaçadas em 0,80 m entre fileiras e 0,20 m entre plantas na fileira, totalizando 4 m². A densidade foi ajustada por meio de desbaste para 62.500 plantas ha⁻¹ (25 plantas por parcela).

Foram feitas bordaduras com plantas de milho para evitar interferência nas plantas das laterais e extremidades das parcelas. Realizou-se o preparo e a adubação da área previamente com 415 kg ha⁻¹ de adubo químico da fórmula (NPK) 05-20-20. A adubação nitrogenada foi realizada de forma fracionada com uréia (N - 46%), sendo a primeira aplicação de 250 kg ha⁻¹ no estágio V4 e a segunda de 150 kg ha⁻¹ no estágio V6 da cultura. Os demais manejos culturais, como controle de plantas daninhas, pragas e doenças, foram realizados de acordo com as indicações técnicas para a cultura de milho, e de forma homogênea em todos os genótipos (FANCELLI; DOURADO NETO, 2009).

Cada genótipo foi caracterizado fenologicamente em cada data de semeadura. Para isso, registraram-se as datas de: florescimento masculino, quando 50% das plantas em cada parcela apresentavam a última ramificação do pendão visível; florescimento feminino, quando 50% das plantas de cada parcela apresentavam estigmas visíveis na espiga; e o ponto de colheita, quando a palha da espiga e a folha da base da espiga estavam 100% senescentes. Assim, foram obtidos os seguintes caracteres fenológicos: dias da semeadura ao florescimento masculino (SFM, dias), dias da semeadura ao florescimento feminino (SFF, dias), dias do florescimento masculino à colheita (FMC, dias) e dias do florescimento feminino à colheita (FFC, dias).

Após o florescimento masculino e feminino, mensurou-se a altura de planta (AP, em cm), sendo considerada a média das distâncias entre a superfície do solo e a inserção da folha bandeira, de cinco plantas por genótipo. A partir de todas as plantas da parcela foi avaliada a produtividade de grãos (PROD, em Mg ha⁻¹), corrigida a 13% de umidade.

As variáveis meteorológicas foram obtidas de uma estação do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localizada a 100 metros da área experimental. Obteve-se, para cada dia, a radiação solar global horária, em MJ m⁻² hora⁻¹ e as temperaturas máximas e mínimas horárias, em °C, para o período entre a semeadura e o ponto de colheita dos genótipos, em cada data de semeadura.

Para cada dia, foi obtida a radiação solar global diária, em MJ m⁻² dia⁻¹ por meio do somatório da radiação solar global horária, em MJ m⁻² hora⁻¹. Após, para cada genótipo, em cada data de semeadura, a partir da radiação solar global diária, obteve-se a radiação solar global acumulada nos subperíodos: semeadura ao florescimento masculino (RSFM, MJ m⁻²); semeadura ao florescimento feminino (RSFF, MJ m⁻²); florescimento masculino à colheita (RFMC, MJ m⁻²); e florescimento feminino à colheita (RFFC, MJ m⁻²).

Para cada dia, a partir das temperaturas máximas (Tmax) e mínimas (Tmin) horárias, calcularam-se os 24 valores de temperatura média horária. Em seguida, calculou-se a temperatura média (Tmed) diária do ar, em °C, pela média dos 24 valores de temperatura média horária. Após, calculou-se os graus dias (GD, em °C) por meio do método proposto por Arnold (1960) pela expressão: GD=Tmed-Tb, onde: Tmed = temperatura média diária do ar, em °C e Tb = temperatura base inferior (10°C). A Tb é a temperatura abaixo da qual não ocorre o desenvolvimento da planta e se algum desenvolvimento ocorrer, ocorrerá a uma taxa significativamente reduzida. Quando Tmed ≤ Tb foi considerado GD igual a zero. Para cada

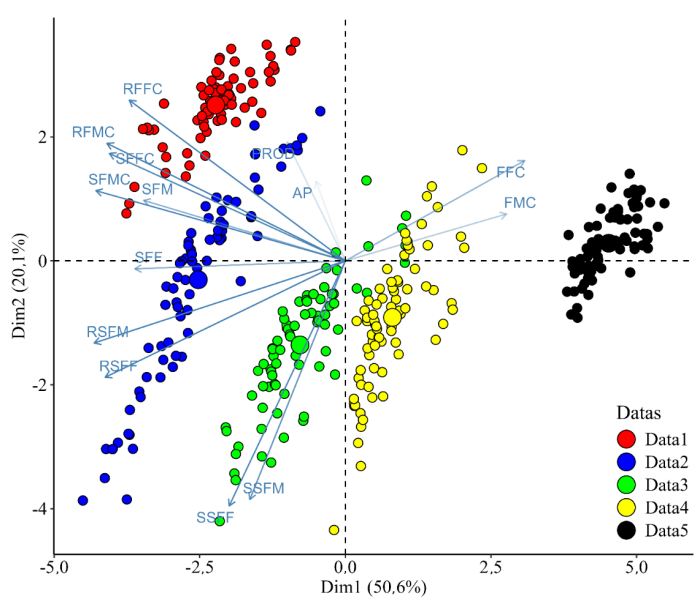
genótipo, em cada data de semeadura, a soma térmica foi obtida somando-se os valores de GD de cada um dos seguintes subperíodos: semeadura ao florescimento masculino (SSFM, °C dia); semeadura ao florescimento feminino (SSFF, °C dia); florescimento masculino à colheita (SFMC, °C dia); e florescimento feminino à colheita (SFFC, °C dia).

Aplicou-se a análise de componentes principais, a fim de verificar possíveis formações de grupos de genótipos entre datas de semeadura. Para o estudo das relações lineares entre as variáveis, em cada data de semeadura, foram construídos diagramas de dispersão e calculou-se a matriz de coeficientes de correlação linear de Pearson (r), sendo a significância dos coeficientes verificada pelo teste t de *Student*. Com os 91 coeficientes da matriz de correlação entre as 14 variáveis, de cada data de semeadura, formou-se uma nova matriz de 91 linhas \times 5 colunas, correspondentes aos 91 pares de variáveis (91 linhas) e as cinco datas de semeadura (5 colunas), respectivamente. Após, nessa matriz de coeficientes de correlação, calcularam-se os coeficientes de correlação linear de Pearson e seus respectivos intervalos de confiança a 95%, entre as datas de semeadura. Todas as análises foram realizadas por meio do Microsoft Excel e software R (R CORE TEAM, 2023).

Resultados e discussões

As observações de cada data de semeadura foram coloridas distintamente no *biplot* (Figura 1). Logo, cinco grupos foram formados, caracterizados especialmente pelas datas de semeadura. O primeiro componente principal explicou a maior variação dos dados (50,6%), portanto, as distâncias horizontais entre indivíduos ou grupos são mais importantes do que as distâncias verticais.

Figura 1 - Variabilidade total dos dados representados por dois componentes principais estratificado por datas de semeadura.



SFM: dias da semeadura ao florescimento masculino; SFF: dias da semeadura ao florescimento feminino; FMC: dias do florescimento masculino à colheita; FFC: dias do florescimento feminino à colheita; AP: altura de planta, em cm;

PROD: produtividade de grãos, em Mg ha^{-1} ; RSFM: radiação solar global acumulada da semeadura ao florescimento masculino, em MJ m^{-2} ; RSFF: radiação solar global acumulada da semeadura ao florescimento feminino, em MJ m^{-2} ; RFMC: radiação solar global acumulada do florescimento masculino à colheita, em MJ m^{-2} ; RFFC: radiação solar global acumulada do florescimento feminino à colheita, em MJ m^{-2} ; SSFM: soma térmica da semeadura ao florescimento masculino, em $^{\circ}\text{C dia}$; SSFF: soma térmica da semeadura ao florescimento feminino, $^{\circ}\text{C dia}$; SFMC: soma térmica do florescimento masculino à colheita, em $^{\circ}\text{C dia}$; SFFC: soma térmica do florescimento feminino à colheita, em $^{\circ}\text{C dia}$. Os círculos maiores correspondem ao desempenho médio de cada grupo. Data1: 21/09/2021; Data2: 20/10/2021; Data3: 20/11/2021; Data4: 20/12/2021; e Data5: 30/01/2022. Fonte: os autores (2023).

Os pontos ou os grupos que estão na mesma direção e sentido dos vetores das variáveis indicam que estes apresentam maiores expressões destas variáveis. Por exemplo, as maiores magnitudes de PROD, AP, RFFC, RFMC são observadas na primeira data de semeadura. Na quinta data de semeadura os genótipos tiveram uma maior duração de FMC e FFC. Maior duração do estágio reprodutivo também foi relatado por Bonelli *et al.* (2016) à medida que ocorreu o atraso da semeadura do milho.

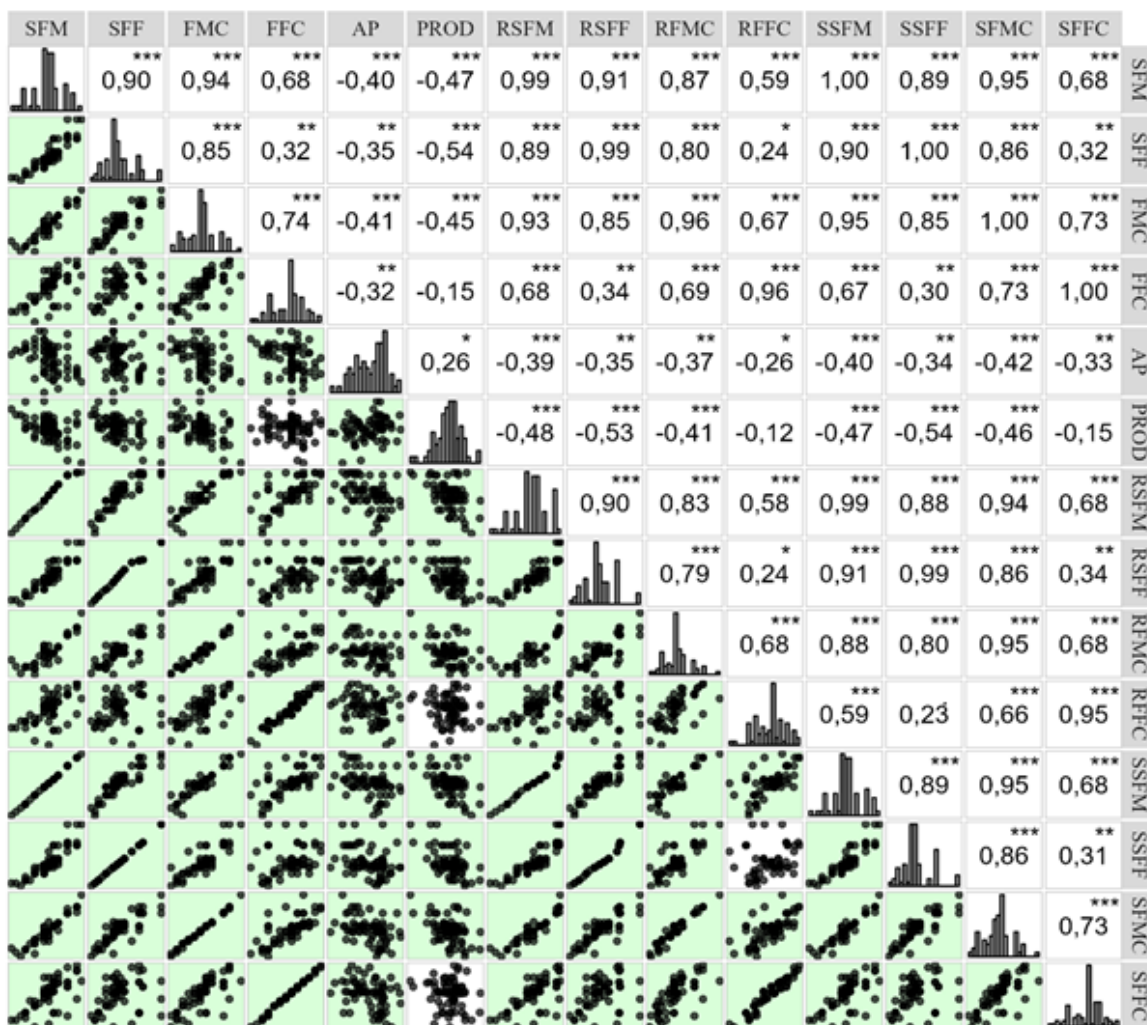
Os pontos ou grupos que estão localizados em sentidos opostos dos vetores apresentam menores expressões das variáveis. A duração do FFC e FMC foi menor nos genótipos cultivados na primeira data. Enquanto na quinta data, o acúmulo de radiação solar global e soma térmica no estágio reprodutivo foi menor.

As variações entre as datas e entre os genótipos dentro das datas de semeadura são claramente observadas. A maior variação entre os genótipos dentro de uma data ocorreu na segunda, seguido da terceira e quarta data de semeadura. Portanto, nestas datas de semeadura, é possível que as condições meteorológicas tenham contribuído para a maior variação entre os genótipos, em relação à primeira e quinta data de semeadura.

Houve grande variação, principalmente, das variáveis meteorológicas entre as cinco datas de semeadura. Isso fez com que os genótipos fossem, claramente, agrupados dentro de suas datas. Esta variação é fundamental para que seja possível o estudo dos efeitos das variáveis meteorológicas sobre o desempenho de genótipos. Assim, é evidente que o estudo das relações lineares deve ser realizado individualmente para cada data de semeadura.

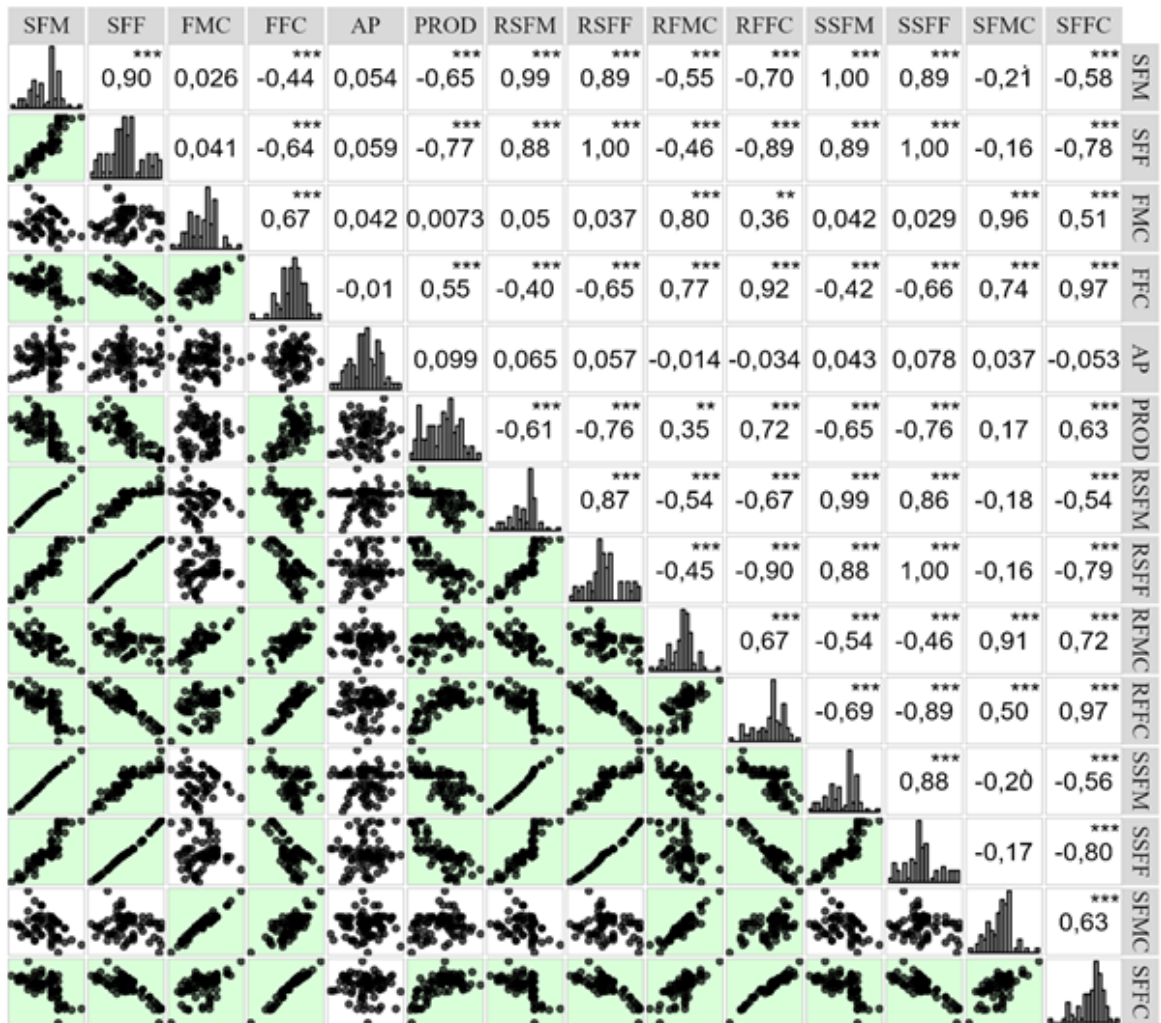
A maior duração do estágio vegetativo implicou em maior duração do estágio reprodutivo, na primeira data de semeadura, e menor duração do estágio reprodutivo nas segunda e terceira datas de semeadura (Figuras 2, 3 e 4). Nas demais datas não foram observadas relações lineares significativas entre estes caracteres (Figuras 5 e 6). O acúmulo de radiação solar global e soma térmica no estágio vegetativo e reprodutivo, correlacionaram-se positivamente na primeira data de semeadura. A partir da segunda data de semeadura, o maior acúmulo de radiação solar global e soma térmica no estágio vegetativo resultou em menor acúmulo no estágio reprodutivo.

Figura 2 - Correlação linear de Pearson, distribuições de frequência e diagramas de dispersão entre variáveis fenológicas, morfológicas, produtivas e meteorológicas avaliadas na data de semeadura de 21/09/2021 (n = 71). *, **, *** significativo, respectivamente, a 0,05, 0,01 e 0,001 de probabilidade de erro.



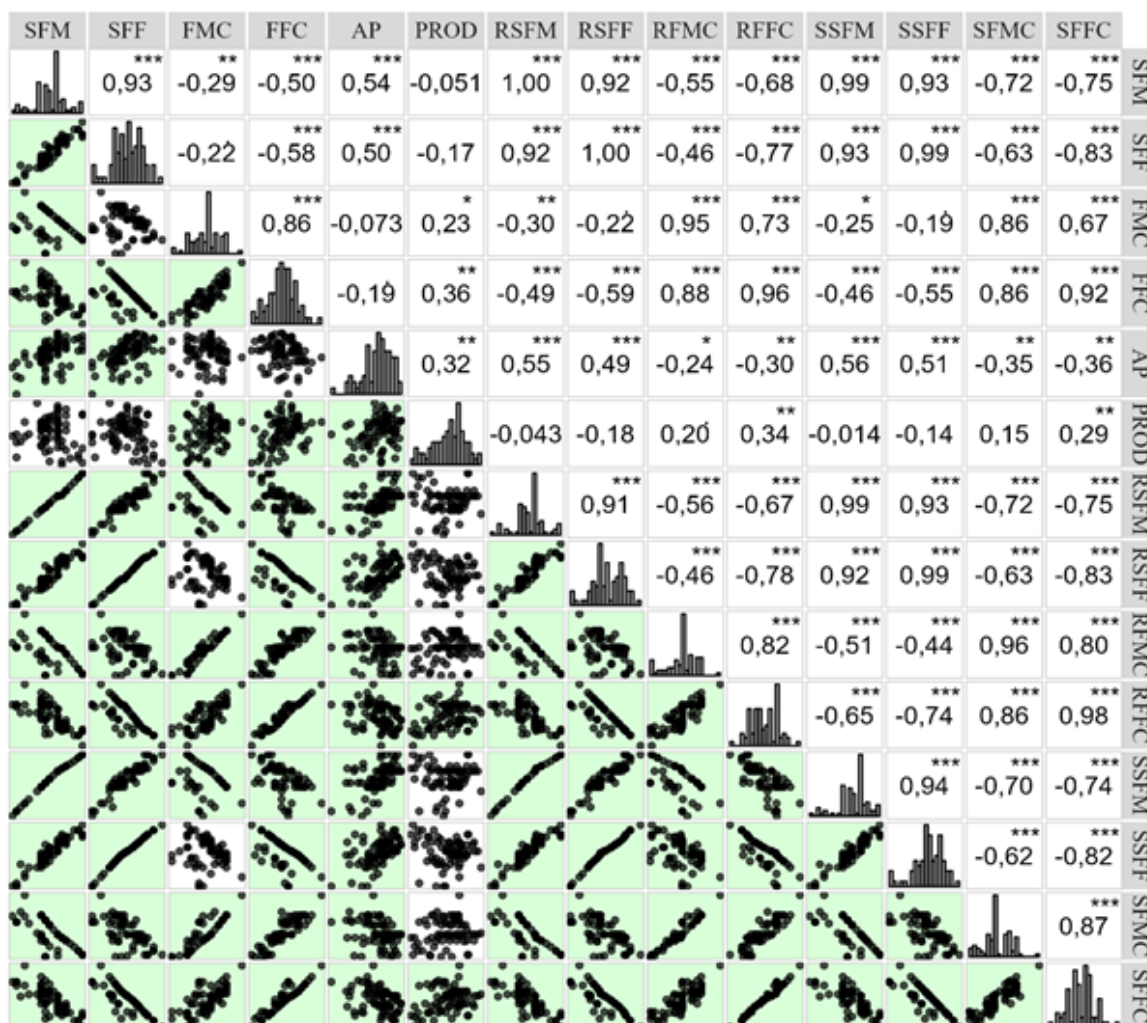
SFM: dias da semeadura ao florescimento masculino; SFF: dias da semeadura ao florescimento feminino; FMC: dias do florescimento masculino à colheita; FFC: dias do florescimento feminino à colheita; AP: altura de planta, em cm; PROD: produtividade de grãos, em Mg ha⁻¹; RSFM: radiação solar global acumulada da semeadura ao florescimento masculino, em MJ m⁻²; RSFF: radiação solar global acumulada da semeadura ao florescimento feminino, em MJ m⁻²; RFMC: radiação solar global acumulada do florescimento masculino à colheita, em MJ m⁻²; RFFC: radiação solar global acumulada do florescimento feminino à colheita, em MJ m⁻²; SSFM: soma térmica da semeadura ao florescimento masculino, em °C dia; SSFF: soma térmica da semeadura ao florescimento feminino, °C dia; SFMC: soma térmica do florescimento masculino à colheita, em °C dia; SFFC: soma térmica do florescimento feminino à colheita, em °C dia. Fonte: os autores.

Figura 3 – Correlação linear de Pearson, distribuições de frequências e diagramas de dispersão entre variáveis fenológicas, morfológicas, produtivas e meteorológicas avaliadas na data de semeadura de 20/10/2021 (n = 78). *, **, *** significativo, respectivamente, a 0,05, 0,01 e 0,001 de probabilidade de erro.



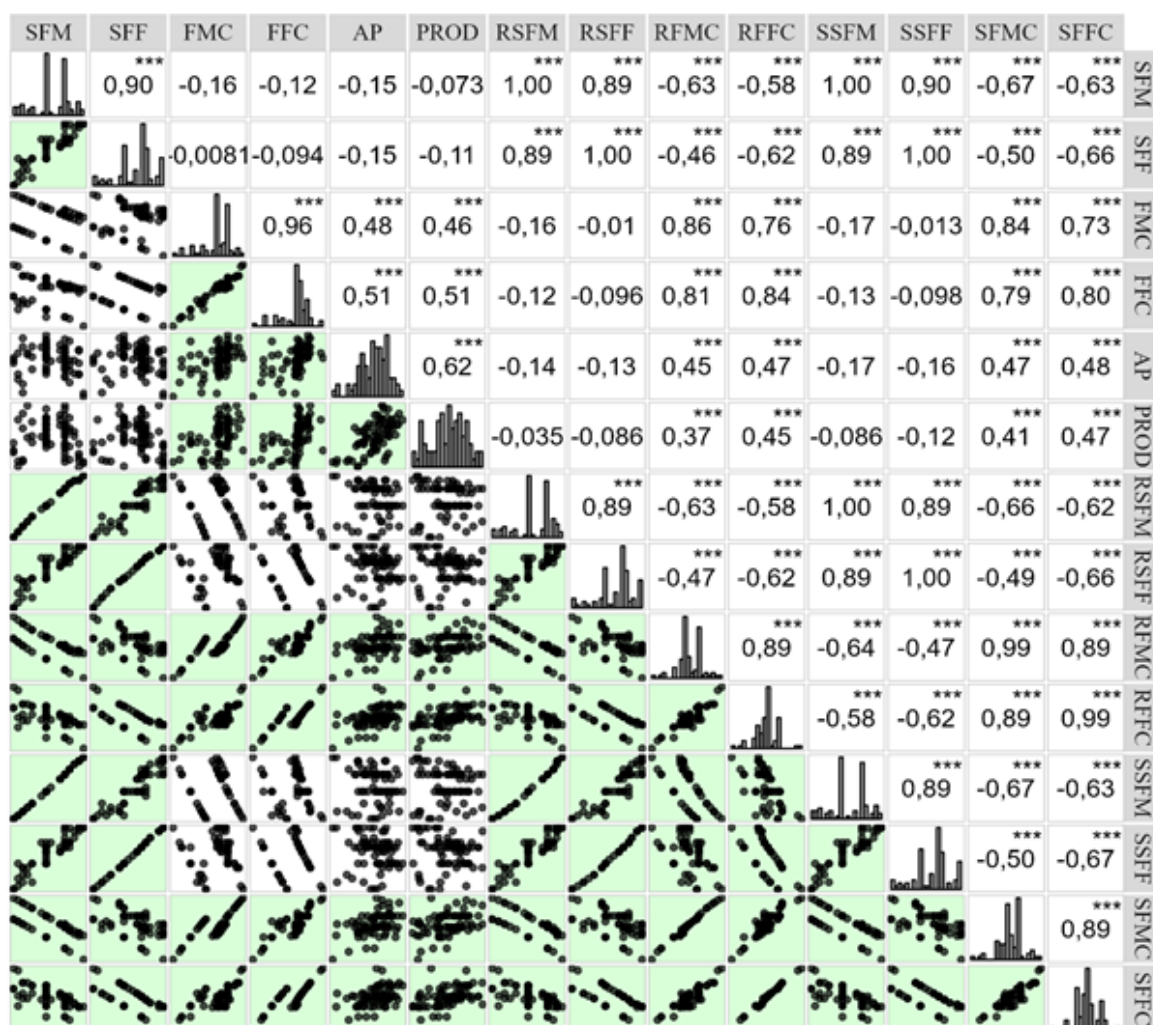
SFM: dias da semeadura ao florescimento masculino; SFF: dias da semeadura ao florescimento feminino; FMC: dias do florescimento masculino à colheita; FFC: dias do florescimento feminino à colheita; AP: altura de planta, em cm; PROD: produtividade de grãos, em Mg ha⁻¹; RSFM: radiação solar global acumulada da semeadura ao florescimento masculino, em MJ m⁻²; RSFF: radiação solar global acumulada da semeadura ao florescimento feminino, em MJ m⁻²; RFMC: radiação solar global acumulada do florescimento masculino à colheita, em MJ m⁻²; RFFC: radiação solar global acumulada do florescimento feminino à colheita, em MJ m⁻²; SSFM: soma térmica da semeadura ao florescimento masculino, em °C dia; SSFF: soma térmica da semeadura ao florescimento feminino, °C dia; SFMC: soma térmica do florescimento masculino à colheita, em °C dia; SFFC: soma térmica do florescimento feminino à colheita, em °C dia. Fonte: os autores (2023).

Figura 4 - Correlação linear de Pearson, distribuições de frequências e diagramas de dispersão entre variáveis fenológicas, morfológicas, produtivas e meteorológicas avaliadas na data de semeadura de 20/11/2021 (n = 78). *, **, *** significativo, respectivamente, a 0,05, 0,01 e 0,001 de probabilidade de erro.



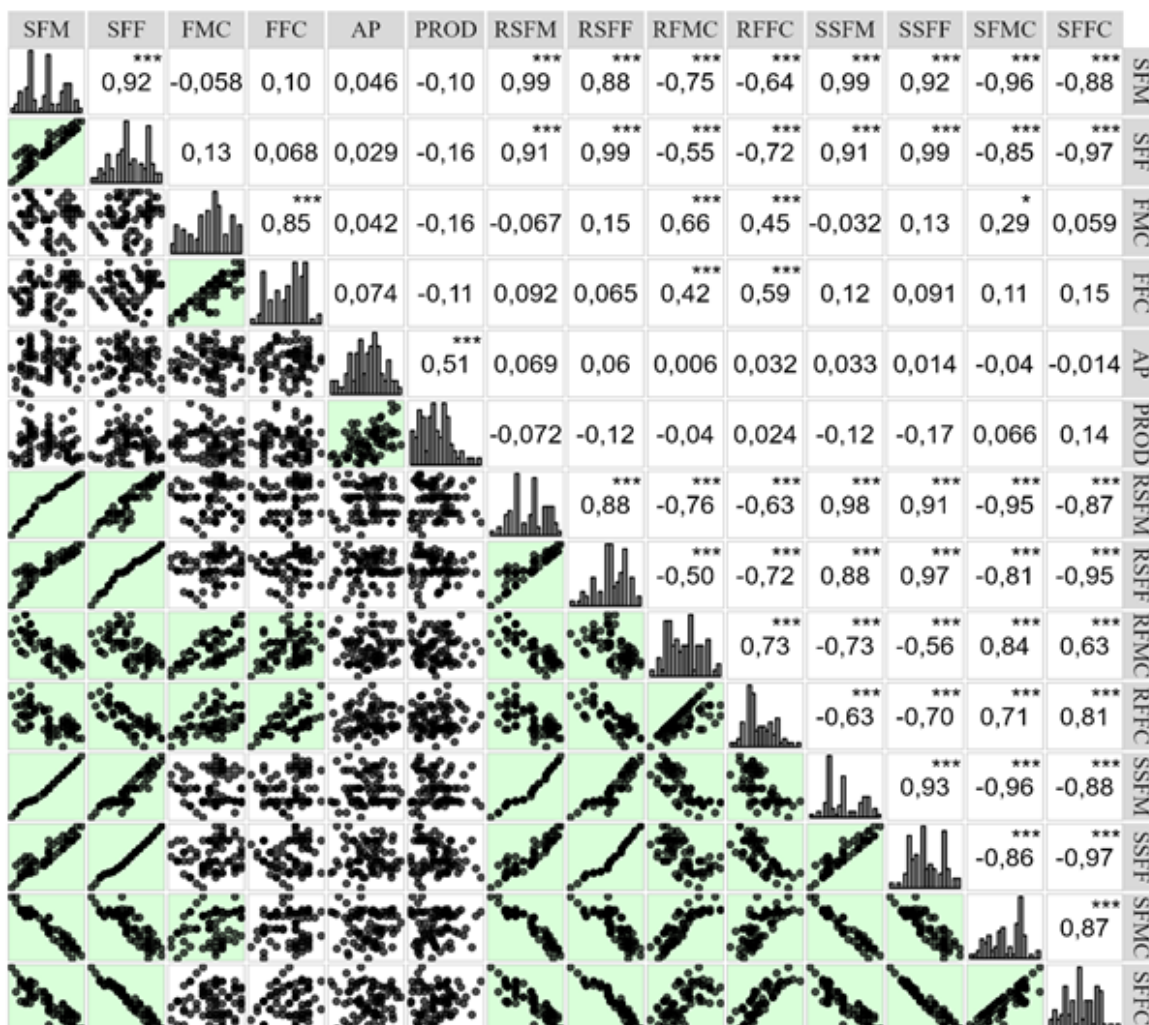
SFM: dias da semeadura ao florescimento masculino; SFF: dias da semeadura ao florescimento feminino; FMC: dias do florescimento masculino à colheita; FFC: dias do florescimento feminino à colheita; AP: altura de planta, em cm; PROD: produtividade de grãos, em Mg ha⁻¹; RSFM: radiação solar global acumulada da semeadura ao florescimento masculino, em MJ m⁻²; RSFF: radiação solar global acumulada da semeadura ao florescimento feminino, em MJ m⁻²; RFMC: radiação solar global acumulada do florescimento masculino à colheita, em MJ m⁻²; RFFC: radiação solar global acumulada do florescimento feminino à colheita, em MJ m⁻²; SSFM: soma térmica da semeadura ao florescimento masculino, em °C dia; SSFF: soma térmica da semeadura ao florescimento feminino, °C dia; SFMC: soma térmica do florescimento masculino à colheita, em °C dia; SFFC: soma térmica do florescimento feminino à colheita, em °C dia. Fonte: os autores (2023).

Figura 5 - Correlação linear de Pearson, distribuições de frequências e diagramas de dispersão entre variáveis fenológicas, morfológicas, produtivas e meteorológicas avaliadas na data de semeadura de 20/12/2021 (n = 78). *, **, *** significativo, respectivamente, a 0,05, 0,01 e 0,001 de probabilidade de erro.



SFM: dias da semeadura ao florescimento masculino; SFF: dias da semeadura ao florescimento feminino; FMC: dias do florescimento masculino à colheita; FFC: dias do florescimento feminino à colheita; AP: altura de planta, em cm; PROD: produtividade de grãos, em Mg ha⁻¹; RSFM: radiação solar global acumulada da semeadura ao florescimento masculino, em MJ m⁻²; RSFF: radiação solar global acumulada da semeadura ao florescimento feminino, em MJ m⁻²; RFMC: radiação solar global acumulada do florescimento masculino à colheita, em MJ m⁻²; RFFC: radiação solar global acumulada do florescimento feminino à colheita, em MJ m⁻²; SSFM: soma térmica da semeadura ao florescimento masculino, em °C dia; SSFF: soma térmica da semeadura ao florescimento feminino, °C dia; SFMC: soma térmica do florescimento masculino à colheita, em °C dia; SFFC: soma térmica do florescimento feminino à colheita, em °C dia. Fonte: os autores (2023).

Figura 6 – Correlação linear de Pearson, distribuições de frequências e diagramas de dispersão entre variáveis fenológicas, morfológicas, produtivas e meteorológicas avaliadas na data de semeadura de 30/01/2022 (n = 78). *, **, *** significativo, respectivamente, a 0,05, 0,01 e 0,001 de probabilidade de erro.



SFM: dias da semeadura ao florescimento masculino; SFF: dias da semeadura ao florescimento feminino; FMC: dias do florescimento masculino à colheita; FFC: dias do florescimento feminino à colheita; AP: altura de planta, em cm; PROD: produtividade de grãos, em Mg ha⁻¹; RSFM: radiação solar global acumulada da semeadura ao florescimento masculino, em MJ m⁻²; RSFF: radiação solar global acumulada da semeadura ao florescimento feminino, em MJ m⁻²; RFMC: radiação solar global acumulada do florescimento masculino à colheita, em MJ m⁻²; RFFC: radiação solar global acumulada do florescimento feminino à colheita, em MJ m⁻²; SSFM: soma térmica da semeadura ao florescimento masculino, em °C dia; SSFF: soma térmica da semeadura ao florescimento feminino, °C dia; SFMC: soma térmica do florescimento masculino à colheita, em °C dia; SFFC: soma térmica do florescimento feminino à colheita, em °C dia. Fonte: os autores (2023).

A maior duração dos estádios fenológicos promoveu o maior acúmulo de radiação solar global e soma térmica em seus respectivos estádios, em todas as datas de semeadura. Os menores coeficientes de correlação ($r \leq 0,29$) foram observados entre FMC com SFMC e entre FFC com SFFC ($r \leq 0,15$), na quinta data de semeadura (Figura 5), devido a ocorrência de dias em que a temperatura média diária do ar foi inferior a temperatura base do milho. A radiação solar global e a soma térmica correlacionaram-se positivamente, nos respectivos estádios de desenvolvimento do milho, em todas as datas de semeadura.

A menor duração dos estádios vegetativo e reprodutivo e o menor acúmulo de radiação solar global e soma térmica, nestes estádios, resultaram em maior AP, na primeira data de semeadura (Figura 2). Na terceira data de semeadura, a maior duração do estágio vegetativo e o maior acúmulo de radiação solar global e soma térmica, neste estágio, resultaram em maior AP (Figura 4).

Na segunda, quarta e quinta datas de semeadura, a duração do estágio vegetativo e as variáveis meteorológicas, acumuladas neste estágio, não se correlacionaram com a AP (Figuras 3, 5 e 6). Isso indica que outros fatores devem estar relacionados à expressão deste caráter. A ausência de correlação linear também foi relatada por Alves *et al.* (2016), em estudo no mesmo local, entre a AP e a duração dos estádios fenológicos em milho.

A menor duração dos estádios vegetativo e reprodutivo e o menor acúmulo de radiação solar global e soma térmica, nestes estádios, maximizaram a PROD, na primeira data de semeadura (Figura 2). Coeficiente de correlação negativo também foi observado por Ge *et al.* (2022), entre a PROD e a radiação solar acumulada durante todo o estágio de desenvolvimento da cultura de milho.

As altas temperaturas incidentes no estágio reprodutivo das semeaduras precoces, em regiões subtropicais, aumentam a taxa efetiva de crescimento de grãos e reduzem a duração deste processo. Assim, mesmo que o período efetivo de crescimento dos grãos seja menor, a alta taxa de acúmulo de massa seca pelos grãos pode proporcionar grãos mais pesados. Isso pode explicar a correlação negativa entre PROD e a duração do estágio reprodutivo. Assim, para garantir uma alta PROD de milho em semeaduras precoces, em regiões subtropicais de baixa altitude, alguns genótipos de ciclo precoce devem ser utilizados.

Na segunda data de semeadura, a menor duração e o menor acúmulo de radiação solar global e soma térmica no estágio vegetativo, e a maior duração e o maior acúmulo de radiação solar global e soma térmica no estágio reprodutivo, promoveram maior PROD. Coeficientes similares foram encontrados por Alves *et al.* (2016) e Melo *et al.* (2018), entre PROD e a duração do estágio vegetativo. Assim, pode-se inferir que a precocidade dos genótipos é uma importante característica para aumentar a PROD nas primeiras datas de semeadura de milho.

Nas segunda, terceira e quarta datas de semeadura observou-se que o ideótipo de milho de alta PROD foi similar entre as datas. A maior duração do estágio reprodutivo e o maior acúmulo de radiação global solar e soma térmica, neste estágio, promoveram a maior PROD de milho (Figuras 3, 4 e 5). Em semeaduras tardias, em regiões subtropicais, o crescimento dos grãos coincide com menores temperaturas do ar, o que resulta em uma menor taxa efetiva de crescimento de grãos. Assim, a maior duração do estágio reprodutivo e acúmulo de radiação solar global, nestas condições, promovem o maior acúmulo de matéria seca pelos grãos e, consequentemente, maior PROD (YANG *et al.*, 2019).

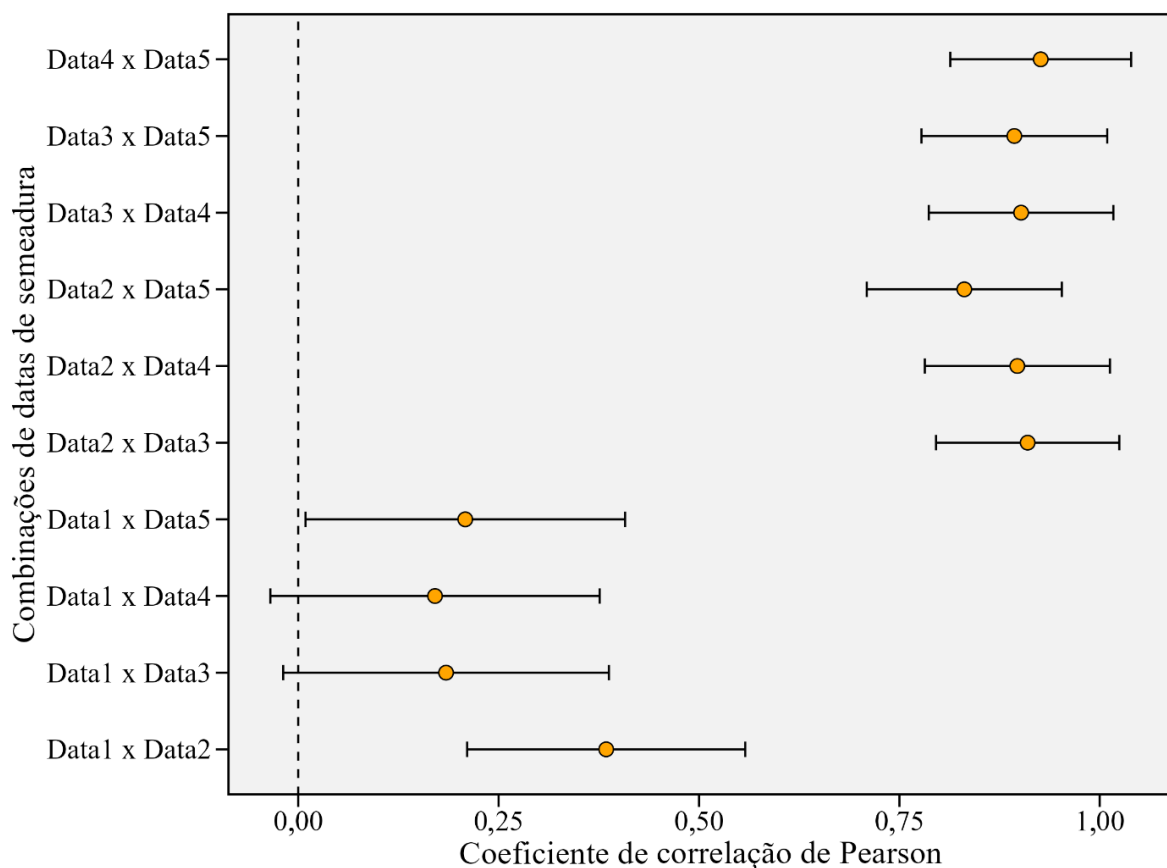
Coeficiente de correlação similar entre PROD e RFFC ($r = 0,76$) foi relatado por Zhou *et al.* (2016). Outros estudos não evidenciaram correlação significativa entre radiação solar global acumulada nos estádios fenológicos e PROD de milho (LIU *et al.*, 2013; GUO *et al.*, 2022). As maiores magnitudes de associação linear foram evidenciadas quando utilizado o acúmulo das variáveis meteorológicas a partir do florescimento feminino. Isso indica que o florescimento feminino tem maior importância na definição da PROD. A duração do estágio vegetativo não apresentou correlação significativa com a PROD, a partir da terceira data de semeadura (Figuras

4, 5 e 6). Na quinta data de semeadura, observou-se ausência de correlação significativa entre as variáveis meteorológicas e fenológicas com a AP e PROD de milho (Figura 6).

Com exceção da segunda data de semeadura, em todas as demais datas observaram-se correlações positivas entre AP e PROD. Correlações positivas entre AP e PROD também foram evidenciadas por Toebe *et al.* (2015) e Melo *et al.* (2018), em ambiente irrigado, na cultura do milho. Em estudo sobre condições de déficit hídrico, Melo *et al.* (2018) evidenciaram correlação negativa entre AP e PROD ($r = -0,29$).

A partir dos coeficientes de correlação calculados entre as matrizes de correlação das datas de semeadura, observou-se os menores coeficientes de correlação entre a primeira data de semeadura com todas as demais datas (Figura 7). Isso indica que as correlações evidenciadas na primeira data de semeadura, apresentam maiores discordâncias em relação as correlações nas demais datas. Com exceção da primeira data de semeadura, as demais correlacionaram-se positivamente, com coeficientes de correlação superiores a 0,80. Isso revela que, em termos de relações lineares entre pares de caracteres, a segunda, terceira, quarta e quinta data de semeadura são similares.

Figura 7 - Coeficientes de correlação linear de Pearson entre as matrizes de correlação das datas de semeadura e intervalo de confiança de 95% (n = 91).



Data1: 21 de setembro de 2021; Data2: 20 de outubro de 2021; Data3: 20 de novembro de 2021; Data4: 20 de dezembro de 2021; Data5: 30 de janeiro de 2022. Fonte: os autores (2023).

Nesse estudo, percebeu-se que a radiação solar global e a soma térmica influenciaram no crescimento, desenvolvimento e na produtividade de grãos de milho. Estudos sobre os efeitos

das variáveis meteorológicas no desempenho agrônomo de milho (LIU *et al.*, 2013; XU *et al.*, 2017; YANG *et al.*, 2021) foram conduzidos em grande escala regional e, principalmente, focados em variação ambiental. Nesses estudos, foi difícil isolar o efeito da interação causada pela fertilidade e outros atributos do solo na produtividade de grãos. Assim, a utilização de datas de semeadura é uma abordagem promissora para estudar o impacto das variáveis meteorológicas no desempenho produtivo de milho com maior controle das variações do solo (TSIMBA *et al.*, 2013; DJAMAN *et al.*, 2022).

A partir dos resultados, pode-se compreender que as condições meteorológicas nas datas de semeadura modificam o sentido e a magnitude das correlações entre pares de variáveis. Em semeaduras de setembro devem ser priorizados genótipos com maior AP e menor duração dos estádios vegetativo e reprodutivo. Isso, associado a menor radiação solar global e soma térmica nos estádios vegetativo e reprodutivo, potencializam a PROD de milho. Em semeaduras de outubro, novembro e dezembro a maior duração do estágio reprodutivo e o maior acúmulo de radiação solar global e soma térmica, neste mesmo estágio, maximizam a PROD. Os caracteres fenológicos e as variáveis meteorológicas não determinam a PROD em semeaduras de janeiro.

Considerações finais

Os genótipos de milho, semeados em setembro, com menor duração dos estádios vegetativo e reprodutivo, acumulam menos radiação solar global e soma térmica e apresentam maior altura de planta e maior produtividade de grãos.

Os genótipos de milho, semeados em outubro, novembro e dezembro, que apresentam no estágio vegetativo, menor duração e menor acúmulo de radiação solar global e soma térmica, e no estágio reprodutivo, maior duração e maior acúmulo de radiação solar global e soma térmica, são os mais produtivos.

Para semeaduras em janeiro não há associações lineares entre variáveis meteorológicas com os caracteres fenológicos, morfológicos e produtivos de genótipos de milho.

Referências

ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507

ALVES, B. *et al.* Linear relations among phenological, morphological, productive and protein-nutritional traits in early maturing and super-early maturing maize genotypes. **Journal of Cereal Science**, v. 70, n. 1, p. 229-239, 2016. DOI: 10.1016/j.jcs.2016.06.013

ARNOLD, C. Y. Maximum-minimum temperatures as a basis for computing heat units. **Journal of the American Society for Horticultural Sciences**, v. 76, n. 1, p. 682-692, 1960.

BONELLI, L. E. *et al.* Maize grain yield components and source-sink relationship as affected by the delay in sowing date. **Field Crops Research**, v. 198, n. 1, p. 215-225, 2016. DOI: 10.1016/j.fcr.2016.09.003

COELHO, A. E. *et al.* Nitrogen use efficiency and grain yield of corn hybrids as affected by nitrogen rates and sowing dates in subtropical environment. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 46, n. e0210087, p. 1-21, 2022. DOI: 10.36783/18069657rbcs20210087

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 2014.

DJAMAN, K. *et al.* Planting date and plant density effects on maize growth, yield and water use efficiency. **Environmental Challenges**, v. 6, n. 100417, p. 1-11, 2022. DOI: 10.1016/j.envc.2021.100417

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Milho: manejo e produtividade**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2009.

GE, J. *et al.* Effect of climatic conditions caused by seasons on maize yield, kernel filling and weight in entral China. **Agronomy**, v. 12, n. 8, p. 1-19, 2022. DOI: 10.3390/agronomy12081816

GUO, D. *et al.* Adjusting sowing date improves the photosynthetic capacity and grain yield by optimizing temperature condition around flowering of summer maize in the North China Plain. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, n. 1, p. 1-16, 2022. DOI: 10.3389/fpls.2022.934618

LIU, Y. *et al.* Phenological responses of maize to changes in environment when grown at different latitudes in China. **Field Crops Research**, v. 144, n. 1, p. 192-199, 2013. DOI: 10.1016/j.fcr.2013.01.003

LIZASO, J. I. *et al.* Impact of high temperatures in maize: Phenology and yield components. **Field Crops Research**, v. 216, n. 1, p. 129-140, 2018. DOI: 10.1016/j.fcr.2017.11.013

MELO, A. V. *et al.* Desempenho agronômico de genótipos de milho submetidos ao estresse hídrico no Sul do estado do Tocantins. **Revista Brasileira de Sorgo e Milho**, v. 17, n. 2, p. 177-189, 2018. DOI: 10.18512/1980-6477/rbms.v17n2p177-189

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, 2023.

SANTOS, H.G. *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2018.

SCHAUBERGER, B. *et al.* Consistent negative response of US crops to high temperatures in observations and crop models. **Nature Communications**, v. 8, n. 1, p. 1-9, 2017. DOI: 10.1038/ncomms13931

TOEBE, M. *et al.* Dimensionamento amostral para estimação de coeficientes de correlação em híbridos de milho, safras e níveis de precisão. **Bragantia**, v. 74, n. 1, p. 16-24, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.0324>

TSIMBA, R. *et al.* The effect of planting date on maize grain yields and yield components. **Field Crops Research**, v. 150, n. 1, p. 135-144, 2013. DOI: 10.1016/j.fcr.2013.05.028

XU, W. *et al.* Adjusting maize plant density to different climatic conditions across a large longitudinal distance in China. **Field Crops Research**, v. 212, n. 1, p. 126-134, 2017. DOI: 10.1016/j.fcr.2017.05.006

YANG, Y. *et al.* Improving maize grain yield by matching maize growth and solar radiation. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 1-11, 2019. DOI: 10.1038/s41598-019-40081-z

YANG, Y. S. *et al.* The effect of solar radiation change on the maize yield gap from the perspectives of dry matter accumulation and distribution. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 20, n. 2, p. 482-493, 2021. DOI: 10.1016/S2095-3119(20)63581-X

ZHOU, B. *et al.* Maize grain yield and dry matter production responses to variations in weather conditions. **Agronomy Journal**, v. 108, n. 1, p. 196-204, 2016. DOI: 10.2134/agronj2015.0196.