



## Desempenho fenotípico de bases genéticas de milho em relação às variáveis meteorológicas

### Phenotypic performance of maize genetic bases concerning meteorological variables

Murilo Vieira Loro<sup>a\*</sup>, Alberto Cargnelutti Filho<sup>a</sup>, Mikael Brum dos Reis<sup>a</sup>, João Augusto Andretta<sup>a</sup>, Vithória Morena Ortiz<sup>a</sup>, Bruno Raul Schuller<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Universidade Federal de Santa Maria-UFSM, Centro de Ciências Rurais, Departamento de Fitotecnia, Avenida Roraima, n. 77, Cidade Universitária, Camobi, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. CEP: 97105-340. E-mail: [muriloloro@gmail.com](mailto:muriloloro@gmail.com) (\*Autor correspondente), [alberto.cargnelutti.filho@gmail.com](mailto:alberto.cargnelutti.filho@gmail.com), [mikareis1999@gmail.com](mailto:mikareis1999@gmail.com), [aundregusto@gmail.com](mailto:aundregusto@gmail.com), [vithoria.ortiz159@gmail.com](mailto:vithoria.ortiz159@gmail.com), [bruninhoschuller2904@gmail.com](mailto:bruninhoschuller2904@gmail.com).

#### ARTICLE INFO

Recebido 12 Abr 2024  
Aceito 31 Jan 2025  
Publicado 06 Fev 2025

#### ABSTRACT

Understanding the phenotypic response of maize genetic bases concerning meteorological variables makes it possible to properly position genotypes to maximize agronomic performance. This study aimed to verify if the genetic bases of maize present differentiated responses to the effects of meteorological variables. 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 and corrected to 13% moisture. With the duration of the phenological stages, the accumulated global solar radiation and the thermal sum in the vegetative and reproductive stages were calculated. Descriptive statistics were calculated: minimum, mean, maximum, coefficient of variation, and confidence interval (95%) for the mean. Single, triple, and double hybrids and maize varieties show similar responses to the effects of meteorological variables. Simple hybrids present higher grain yield when sown in September and October, while triple hybrids stand out in November, December, and January.

**Keywords:** *Zea mays*, global solar radiation, thermal sum.

#### RESUMO

Compreender a resposta fenotípica das bases genéticas de milho em relação às variáveis meteorológicas possibilita realizar o adequado posicionamento dos genótipos, a fim de maximizar o desempenho agrônomo. O objetivo deste estudo foi verificar se as bases genéticas de milho apresentam respostas diferenciadas aos efeitos das variáveis meteorológicas. Foram realizadas cinco datas de semeadura e 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, corrigida a 13% de umidade. Com a duração dos estádios fenológicos, calculou-se a radiação solar global acumulada e a soma térmica nos estádios vegetativo e reprodutivo. Foram calculadas estatísticas descritivas: mínimo, média, máximo, coeficiente de variação e intervalo de confiança (95%) para a média. Híbridos simples, triplos, duplos e variedades de milho apresentam respostas similares aos efeitos das variáveis meteorológicas. Os híbridos simples apresentam maior produtividade de grãos nas semeaduras em setembro e outubro, enquanto os híbridos triplos se destacam em semeaduras de novembro, dezembro e janeiro.



Journal of Environmental Analysis and Progress © 2016  
is licensed under CC BY-NC-SA 4.0

## Introdução

A radiação solar e a temperatura do ar são variáveis importantes para o crescimento, desenvolvimento e produtividade de grãos de milho (Zhou et al., 2016; Yang et al., 2021). Baixa incidência de radiação solar no estágio reprodutivo limita a taxa fotossintética e reduz a produtividade de grãos (Zhou et al., 2016). O aumento da temperatura durante o estágio vegetativo do milho reduz sua duração (Caviglia, Melchiori & Sadras, 2014; Lizaso et al., 2018).

O efeito da variabilidade das condições meteorológicas no crescimento e desenvolvimento do milho em grande escala regional (Liu et al., 2013; Xu et al., 2017; Yang et al., 2021) tem sido estudado. Nessas pesquisas é difícil explicar a interação entre a fertilidade do solo e outros fatores. Assim, tem-se uma compreensão limitada da influência das variáveis meteorológicas no crescimento e desenvolvimento do milho. O uso de datas de semeadura tem se destacado como uma abordagem eficaz para examinar as implicações das condições meteorológicas na cultura do milho, uma vez que minimiza as variações do solo (Djaman et al., 2022).

Os efeitos adversos da variabilidade meteorológica, podem ser minimizados a partir do posicionamento de genótipos de milho com base na fenologia, nas condições meteorológicas das datas de semeadura e na base genética (Coelho et al., 2022). As bases genéticas de milho são caracterizadas pelo grau de variabilidade genética. Os híbridos simples, triplo, duplo e variedades, nesta ordem, exibem a maior variabilidade genética. Alguns estudos basearam-se na compreensão da magnitude de expressão dos caracteres entre as diferentes bases genéticas (Emygdio, Ignaczak & Cargnelutti Filho, 2007; Carpentieri-Pípolo et al., 2010). Em média a produtividade de grãos dos híbridos simples supera a produtividade dos híbridos triplo, duplo e variedades (Emygdio et al., 2007). As variedades têm por característica a maior estabilidade fenotípica de acordo com as variações do ambiente em virtude da ampla base genética que apresentam (Carpentieri-Pípolo et al., 2010).

As pesquisas indicam que as condições meteorológicas influenciam o desempenho da cultura e, dessa forma, são o principal fator para a definição da data de semeadura do milho. No entanto, os genótipos de milho são classificados em bases genéticas que se diferenciam devido a variabilidade genética. Logo, é fundamental investigar se a resposta fenotípica dessas bases genéticas se altera em relação às variáveis

meteorológicas. A existência de resposta distinta pode melhorar o posicionamento dos genótipos de milho considerando a variabilidade genética. Nesse contexto, o estudo objetivou avaliar se as bases genéticas de milho apresentam respostas diferenciadas aos efeitos das variáveis meteorológicas.

## Material e Métodos

O experimento foi realizado na área do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, localizada no município de Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil e, sob coordenadas geográficas de 29°42'S e 53°49'O, com altitude de 95 m. De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cfa subtropical úmido, caracterizado por apresentar 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).

Durante a condução do experimento, foram avaliados genótipos de milho 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 (46 híbridos simples, 14 triplos, 3 duplos e 8 variedades), em todas as demais datas foram semeados 78 genótipos de milho de diferentes bases genéticas (47 híbridos simples, 15 triplos, 8 duplos e 8 variedades).

Em cada data de semeadura foi formado um bloco. Em cada bloco foram alocados, lado a lado, os genótipos em uma parcela de uma fileira. 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 m<sup>2</sup>. A densidade de plantas foi ajustada por meio de desbaste para 62.500 plantas ha<sup>-1</sup> (25 plantas por parcela).

Foram feitas bordaduras com plantas de milho, em cada bloco, 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<sup>-1</sup> de adubo químico da fórmula (NPK) 05-20-20. A adubação nitrogenada foi realizada de forma fracionada com uréia (46% de N), sendo a primeira aplicação de 250 kg ha<sup>-1</sup> no estágio V4 e a segunda de 150 kg ha<sup>-1</sup> 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 pelo menos 50% das plantas em cada parcela apresentavam a última ramificação do pendão visível; florescimento feminino, quando ao menos 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, com auxílio de uma régua graduada, 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<sup>-1</sup>), corrigida a 13% de umidade.

Os dados meteorológicos foram obtidos 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<sup>-2</sup> hora<sup>-1</sup>, as temperaturas do ar 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<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> por meio do somatório da radiação solar global horária, em MJ m<sup>-2</sup> hora<sup>-1</sup>. 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<sup>-2</sup>); semeadura ao florescimento feminino (RSFF, MJ m<sup>-2</sup>); florescimento masculino à colheita (RFMC, MJ m<sup>-2</sup>); e florescimento feminino à colheita (RFFC, MJ m<sup>-2</sup>).

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 dia (GD, em °C) por meio do método proposto por Arnold (1960) pela Equação 1.

$$GD = Tmed - Tb \quad \text{Eq.(1)}$$

onde: Tmed = temperatura média diária do ar, em °C; 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 acumulada 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).

Para cada variável, em cada data de semeadura, calcularam-se as estatísticas: valor mínimo, média, valor máximo e coeficiente de variação (%). Após, para cada variável, em cada data de semeadura e base genética, calcularam-se as estatísticas: média e intervalo de confiança de 95%. Todas as análises foram realizadas por meio do *software* R (R Core Team, 2022).

## Resultados e Discussão

Percebeu-se redução gradativa do SFM e SFF com o atraso da data de semeadura (Tabela 1). Os genótipos nas cinco datas de semeadura necessitaram, em média, 68,71 e 66,27 dias, para completar os subperíodos FMC e FFC, respectivamente. Na quinta data de semeadura observaram-se as maiores durações de FMC e FFC, em razão das baixas temperaturas do ar. Na primeira data de semeadura observou-se a maior média de AP (200,60 cm) e PROD (5,63 Mg ha<sup>-1</sup>). Com exceção da segunda data de semeadura, houve redução gradativa da PROD em razão do atraso das datas de semeadura.

Tabela 1. Valores mínimos (Mín), médios (Med), máximos (Max) e coeficiente de variação (CV, %) para os caracteres: semeadura ao florescimento masculino (SFM), semeadura ao florescimento feminino (SFF), florescimento masculino a colheita (FMC), florescimento feminino a colheita (FFC), altura de planta (AP) e produtividade de grãos (PROD). Fonte: Loro et al. (2025).

Data	SFM (dias)	SFF (dias)
------	------------	------------

	Min	Med	Max	CV (%)	Min	Med	Max	CV (%)
21/09/21	70,00	77,96	85,00	3,98	71,00	78,56	90,00	5,29
20/10/21	63,00	73,04	84,00	5,66	63,00	78,09	93,00	9,58
20/11/21	56,00	65,54	73,00	5,71	57,00	69,03	81,00	7,45
20/12/21	56,00	64,35	71,00	6,15	56,00	65,88	72,00	6,20
30/01/22	56,00	63,38	71,00	6,32	56,00	64,73	72,00	6,00
Geral	56,00	68,69	85,00	9,86	56,00	71,13	93,00	11,00
Data	FMC (dias)				FFC (dias)			
	Min	Med	Max	CV (%)	Min	Med	Max	CV (%)
21/09/21	60,00	65,24	72,00	4,01	58,00	64,63	70,00	4,20
20/10/21	59,00	68,08	79,00	5,80	44,00	63,03	77,00	8,91
20/11/21	51,00	60,12	69,00	5,86	47,00	56,63	68,00	7,33
20/12/21	52,00	72,55	84,00	9,18	51,00	71,01	84,00	8,86
30/01/22	71,00	77,24	82,00	3,96	70,00	75,90	81,00	3,60
Geral	51,00	68,71	84,00	10,60	44,00	66,27	84,00	12,24
Data	AP (cm)				PROD (Mg ha <sup>-1</sup> )			
	Min	Med	Max	CV (%)	Min	Med	Max	CV (%)
21/09/21	151,60	200,60	240,40	10,02	1,16	5,63	9,13	25,70
20/10/21	150,60	175,22	200,00	5,96	0,12	2,93	6,61	53,38
20/11/21	125,40	185,21	214,00	10,10	0,94	4,87	8,40	36,18
20/12/21	145,75	195,11	227,60	8,95	0,53	4,56	8,55	44,58
30/01/22	144,20	179,94	211,40	8,75	0,18	2,64	6,87	57,32
Geral	125,40	186,97	240,40	10,22	0,12	4,10	9,13	49,46

A radiação solar global acumulada no estádio vegetativo foi maior nas duas primeiras datas de semeaduras (21/09/2021 e 20/10/2021), e reduziu gradativamente com o atraso das datas de semeadura (Tabela 2). No estádio reprodutivo, observou-se redução gradativa de RFMC e RFFC com o atraso das datas de semeadura. Na região Sul do Brasil, a maior incidência de radiação solar global ocorre nos meses de novembro, dezembro e janeiro, em razão do solstício de verão. Logo, o início do estádio reprodutivo, na primeira data de

semeadura ocorreu no final de dezembro, o que corrobora com os maiores valores de RFMC e RFFC, nesta data. Pesquisa revelou que a diminuição na radiação solar global, especialmente no estádio reprodutivo, reduz a fotossíntese, a produtividade de grãos de milho e a biomassa (Yang et al., 2021). Logo, a baixa incidência de radiação solar global no estádio reprodutivo da cultura, na quinta data de semeadura, justifica a menor produtividade de grãos.

Tabela 2. Valores mínimos (Mín), médios (Med), máximos (Max) e coeficiente de variação (CV, %) para os caracteres: radiação solar global acumulada da semeadura ao florescimento masculino (RSFM, MJ m<sup>-2</sup>), radiação solar global acumulada da semeadura ao florescimento feminino (RSFF, MJ m<sup>-2</sup>), radiação solar global acumulada do florescimento masculino à colheita (RFMC, MJ m<sup>-2</sup>), radiação solar global acumulada do florescimento feminino à colheita (RFFC, MJ m<sup>-2</sup>), soma térmica da semeadura ao florescimento masculino (SSFm, °C dia), soma térmica da semeadura ao florescimento feminino (SSFF, °C dia), soma térmica do florescimento masculino à colheita (SFMc, °C dia) e soma térmica do florescimento feminino à colheita (SFFC, °C dia). Fonte: Loro et al. (2025).

Data	RSFM (MJ m <sup>-2</sup> )				RSFF (MJ m <sup>-2</sup> )			
	Min	Med	Max	CV (%)	Min	Med	Max	CV (%)
21/09/21	1.437,37	1.658,32	1.798,05	4,98	1.465,63	1.668,47	1.930,64	6,04
20/10/21	1.508,03	1.797,04	2.095,62	6,01	1.508,03	1.925,88	2.309,87	10,26
20/11/21	1.448,74	1.673,96	1.863,27	5,34	1.473,97	1.757,72	2.039,74	7,01
20/12/21	1.437,19	1.628,30	1.754,77	5,18	1.437,19	1.661,29	1.779,60	5,18
30/01/22	1.126,15	1.238,59	1.325,76	4,11	1.126,15	1.257,65	1.342,74	3,76
Geral	1.126,15	1.598,16	2.095,62	13,08	1.126,15	1.653,94	2.309,87	15,31
Data	RFMC (MJ m <sup>-2</sup> )				RFFC (MJ m <sup>-2</sup> )			
	Min	Med	Max	CV (%)	Min	Med	Max	CV (%)
21/09/21	1.524,98	1.622,83	1.792,83	3,15	1.452,92	1.612,67	1.728,64	3,67
20/10/21	1.336,54	1.544,81	1.768,68	4,58	984,66	1.415,96	1.708,35	10,74
20/11/21	1.053,69	1.209,45	1.405,95	6,05	885,23	1.125,69	1.378,38	8,55

20/12/21	809,31	1.079,17	1.303,67	8,11	784,48	1.046,18	1.303,67	7,94
30/01/22	729,77	797,83	877,01	4,40	721,02	778,77	854,35	3,54
Geral	729,77	1.244,02	1.792,83	24,90	721,02	1.188,24	1.728,64	25,52
<b>Data</b>	<b>SSFm (°C dia)</b>				<b>SSFF (°C dia)</b>			
	<b>Min</b>	<b>Med</b>	<b>Max</b>	<b>CV (%)</b>	<b>Min</b>	<b>Med</b>	<b>Max</b>	<b>CV (%)</b>
21/09/21	706,48	807,57	900,08	5,02	718,46	816,10	976,03	6,82
20/10/21	793,16	945,79	1.107,35	6,92	793,16	1.025,62	1.283,19	11,87
20/11/21	810,46	993,07	1.104,50	6,55	833,61	1.045,46	1.210,95	7,73
20/12/21	882,27	1.003,67	1.105,57	5,98	882,27	1.027,01	1.119,34	6,03
30/01/22	750,95	814,88	887,54	4,16	750,95	825,63	899,00	4,24
Geral	706,48	914,92	1.107,35	11,05	718,46	950,37	1.283,19	13,56
<b>Data</b>	<b>SFMC (°C dia)</b>				<b>SFFC (°C dia)</b>			
	<b>Min</b>	<b>Med</b>	<b>Max</b>	<b>CV (%)</b>	<b>Min</b>	<b>Med</b>	<b>Max</b>	<b>CV (%)</b>
21/09/21	924,85	1.000,82	1.102,76	3,57	907,17	992,28	1.067,83	3,69
20/10/21	905,15	1.029,93	1.183,40	4,79	648,10	950,09	1.152,98	9,60
20/11/21	709,77	803,90	950,72	6,11	610,96	751,51	930,94	8,17
20/12/21	537,37	734,57	877,97	8,33	523,60	711,22	877,97	8,18
30/01/22	357,59	411,04	460,48	6,15	350,79	400,29	460,45	6,48
Geral	357,59	792,31	1.183,40	28,81	350,79	756,86	1.152,98	28,89

A soma térmica variou com as datas de semeadura em função da temperatura durante cada estágio de desenvolvimento. Na segunda, terceira e quarta datas de semeadura observou-se maior exigência média de SSFM e SSFF, comparada à primeira e quinta datas de semeadura. A exigência média dos genótipos durante SFMC e SFFC foi maior nas duas primeiras datas de semeadura, e reduziu gradativamente com o atraso das datas de semeadura. Durante o mês de janeiro ocorreu o

maior acúmulo de graus dia, período que coincidiu com os estádios reprodutivos das duas primeiras datas de semeadura.

Em todas as datas de semeadura observou-se aumento gradativo do SFM e SFF na seguinte ordem: híbridos simples, triplos, duplos e variedades, ou seja, de acordo com a diminuição da variabilidade das bases genéticas (Tabela 3 e Figura 1).

Tabela 3. Valores médios de semeadura ao florescimento masculino (SFM, em dias), semeadura ao florescimento feminino (SFF, em dias), florescimento masculino a colheita (FMC, em dias), florescimento feminino a colheita (FFC, em dias), altura de planta (AP, em cm), produtividade de grãos (PROD, em Mg ha<sup>-1</sup>), radiação solar global acumulada da semeadura ao florescimento masculino (RSFM, MJ m<sup>-2</sup>), radiação solar global acumulada da semeadura ao florescimento feminino (RSFF, MJ m<sup>-2</sup>), radiação solar global acumulada do florescimento masculino à colheita (RFMC, MJ m<sup>-2</sup>), radiação solar global acumulada do florescimento feminino à colheita (RFFC, MJ m<sup>-2</sup>), soma térmica da semeadura ao florescimento masculino (SSFm, °C dia), soma térmica da semeadura ao florescimento feminino (SSFF, °C dia), soma térmica do florescimento masculino à colheita (SFMC, °C dia) e soma térmica do florescimento feminino à colheita (SFFC, °C dia), em híbridos simples (HS), triplos (HT), duplos (HD) e variedades (VAR), em cinco datas de semeadura. Fonte: Loro et al. (2025).

Semeadura	Base genética	SFM	SFF	FMC	FFC	AP	PROD	RSFM
21/09/2021	HS	77,35	77,39	64,67	64,63	199,80	6,16	1.641,85
	HT	77,86	78,07	65,29	65,07	198,11	5,41	1.657,48
	HD	79,33	84,00	66,67	62,00	213,67	4,95	1.700,45
	VAR	81,13	84,13	67,88	64,88	204,70	3,23	1.738,66
20/10/2021	HS	71,87	75,34	68,11	64,64	175,85	3,49	1.766,07
	HT	74,00	80,20	68,53	62,33	176,95	3,15	1.829,87
	HD	75,38	84,13	68,50	59,75	171,90	1,23	1.853,94
	VAR	75,75	84,25	66,63	58,13	171,63	0,96	1.860,54
20/11/2021	HS	64,47	67,23	60,32	57,55	183,04	5,34	1.648,83
	HT	65,73	69,80	61,73	57,67	190,09	5,52	1.679,90
	HD	67,38	71,88	58,63	54,13	195,90	4,01	1.715,49
	VAR	69,63	75,25	57,38	51,75	178,10	1,76	1.768,95
20/12/2021	HS	63,17	64,45	71,89	70,62	195,72	4,89	1.604,12
	HT	64,40	65,87	74,47	73,00	200,52	5,50	1.632,59

	HD	66,63	68,88	74,50	72,25	198,45	3,57	1.671,62
	VAR	68,88	71,38	70,88	68,38	178,02	1,90	1.718,96
30/01/2022	HS	62,43	63,79	76,96	75,60	179,00	2,75	1.225,38
	HT	63,20	64,33	76,47	75,33	182,35	3,27	1.240,51
	HD	65,00	66,38	79,13	77,75	185,95	2,35	1.258,35
	VAR	67,75	69,38	78,50	76,88	174,95	1,15	1.292,82
<b>Semeadura</b>	<b>Base genética</b>	<b>RSFF</b>	<b>RFMC</b>	<b>RFFC</b>	<b>SSFm</b>	<b>SSFF</b>	<b>SFMC</b>	<b>SFFC</b>
21/09/2021	HS	1.639,29	1.612,28	1.614,85	799,58	800,46	993,07	992,19
	HT	1.663,39	1.620,15	1.614,24	805,77	808,57	1.001,99	999,19
	HD	1.794,94	1.648,10	1.553,62	825,84	890,55	1.019,11	954,39
	VAR	1.797,76	1.678,66	1.619,56	849,81	891,33	1.036,43	994,90
20/10/2021	HS	1.853,64	1.557,17	1.469,60	927,44	981,67	1.032,77	978,54
	HT	1.979,94	1.536,65	1.386,58	961,31	1.057,68	1.035,07	938,70
	HD	2.086,50	1.531,16	1.298,60	982,38	1.124,60	1.028,98	886,76
	VAR	2.088,36	1.501,14	1.273,32	987,90	1.124,75	1.004,54	867,69
20/11/2021	HS	1.715,25	1.219,03	1.152,61	974,53	1.018,11	813,10	769,51
	HT	1.774,82	1.235,78	1.140,86	999,02	1.058,82	817,32	757,52
	HD	1.824,78	1.174,63	1.065,34	1.026,36	1.089,30	774,68	711,74
	VAR	1.908,17	1.138,60	999,38	1.057,58	1.137,19	753,90	674,29
20/12/2021	HS	1.631,90	1.085,03	1.057,25	985,99	1.005,51	739,99	720,47
	HT	1.663,39	1.096,48	1.065,68	1.003,40	1.025,72	749,02	726,69
	HD	1.723,01	1.077,65	1.026,27	1.038,31	1.072,38	727,96	693,89
	VAR	1.768,29	1.013,83	964,50	1.073,37	1.110,41	682,26	645,22
30/01/2022	HS	1.246,37	801,39	780,40	807,42	817,12	416,10	406,39
	HT	1.255,23	795,25	780,53	810,23	819,77	411,71	402,17
	HD	1.275,51	801,89	784,73	829,18	842,10	404,22	391,29
	VAR	1.310,58	777,65	759,89	853,11	870,09	386,91	369,93

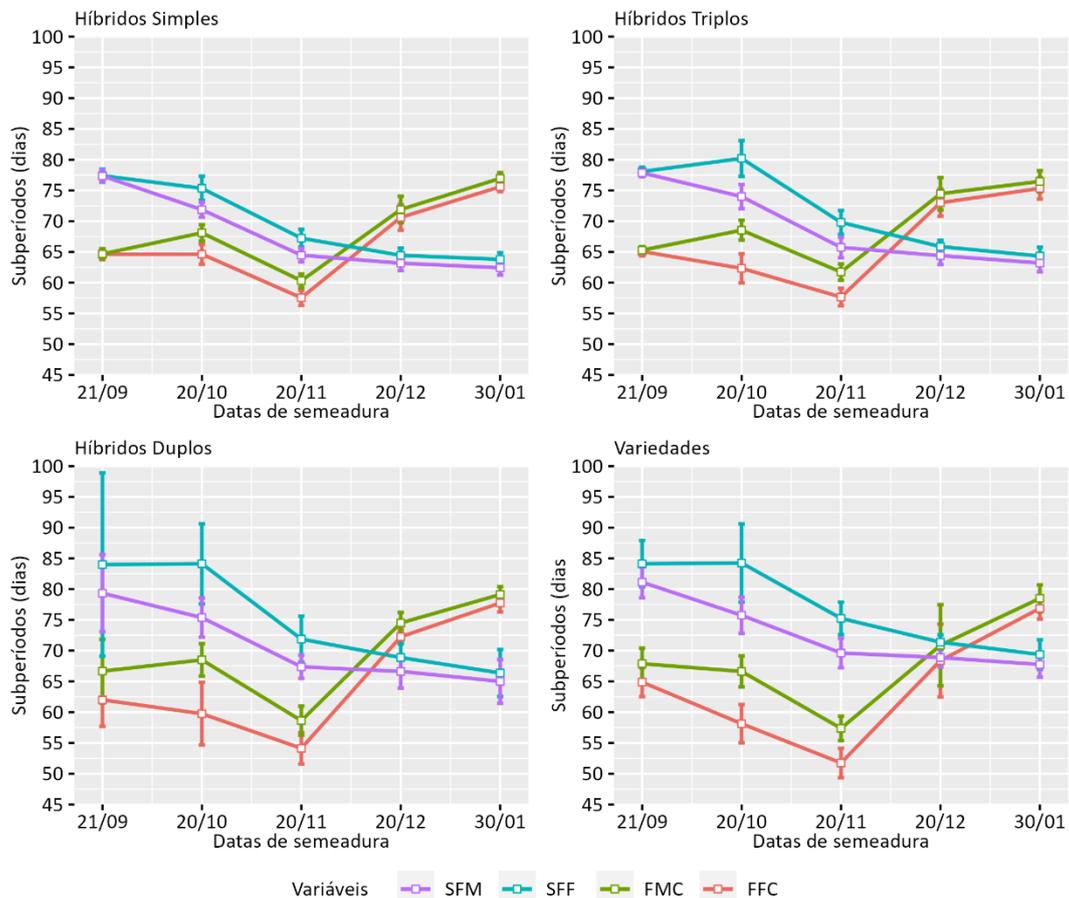


Figura 1. Duração dos subperíodos, em dias, das bases genéticas de milho em cinco datas de semeadura. As barras verticais mostram os intervalos de confiança (95%). Semeadura ao florescimento masculino (SFM),

semeadura ao florescimento feminino (SFF), florescimento masculino a colheita (FMC) e florescimento feminino a colheita (FFC). Fonte: Loro et al. (2025).

A maior fração de mercado é composta por híbridos simples, os quais recebem maior atenção no melhoramento genético devido à alta capacidade produtiva desta base genética. Logo, devido à possibilidade de cultivo durante todo ano no Brasil, genótipos de milho precoces são almejados. Isso pode estar relacionado à menor média de duração do estágio vegetativo dos híbridos simples. A duração do estágio vegetativo reduziu progressivamente com o atraso da data de semeadura em todas as bases genéticas. O mesmo ocorreu com o estágio reprodutivo até a terceira data de semeadura. A duração do estágio vegetativo foi superior à duração do estágio reprodutivo em todas as bases genéticas até a terceira data de semeadura. A partir da quarta data houve inversão no tempo de duração dos subperíodos, ou seja, a duração do estágio reprodutivo foi maior em relação ao vegetativo.

A maior soma térmica da emergência à floração, em semeaduras tardias, acelera o desenvolvimento inicial do milho (Lizaso et al., 2018; Cavíglia et al., 2014), favorecendo o desenvolvimento vegetativo em comparação ao

crescimento reprodutivo. A variação nas condições de temperatura contribui para a alteração dos estádios fenológicos do milho, na qual semeaduras em condições de baixa temperatura após a floração tendem a aumentar a duração do período reprodutivo (Ge et al., 2022; Guo et al., 2022). As condições meteorológicas na primeira e quinta datas de semeadura, exerceram menor pressão sobre a expressão da fenologia dos genótipos. Isso é observado pela menor diferença das médias e a menor variação do intervalo de confiança. As bases genéticas apresentaram padrões de resposta similares para altura de planta e produtividade de grãos ao longo das datas de semeadura (Tabela 3 e Figura 2). Além disso, as datas de semeadura influenciam na resposta dos genótipos para esses dois caracteres. Como esperado, as bases genéticas de maior variabilidade genética foram menos sensíveis às variações meteorológicas das datas de semeadura para a altura de planta e produtividade de grãos. Isso pode ser observado pelas menores variações entre as datas de semeadura das variedades e dos híbridos duplos, nesta ordem.

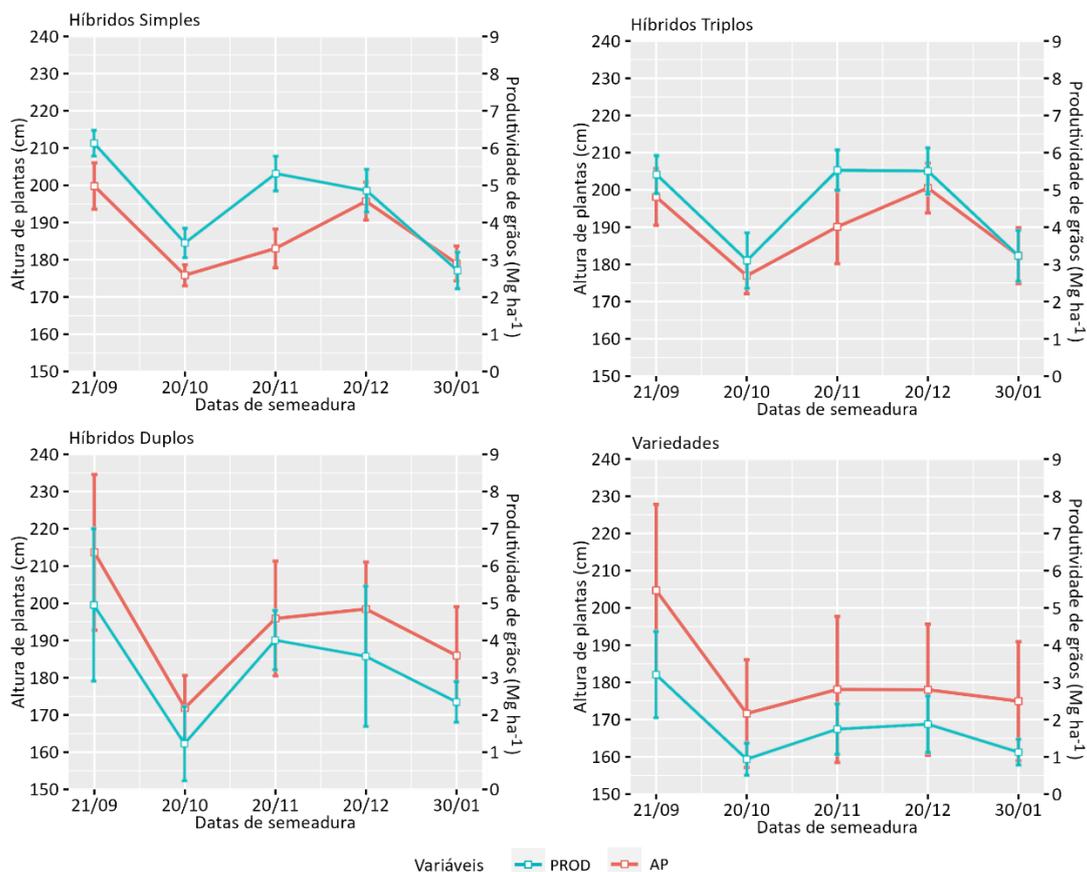


Figura 2. Altura de planta (AP, cm) e produtividade de grãos (PROD, Mg ha<sup>-1</sup>) das bases genéticas de milho em cinco datas de semeadura. As barras verticais mostram os intervalos de confiança (95%) entre as médias. Fonte: Loro et al. (2025).

No Sul do Brasil, a radiação solar global e a temperatura do ar são fatores críticos para a produção de milho segunda safra, pois a semeadura tardia aumenta os riscos à baixas temperaturas, que tornam o ciclo da cultura mais longo e os riscos de geadas maiores (Nóia Júnior & Sentelhas, 2019). Isso promove uma redução gradual da produtividade de grãos com o atraso da semeadura. Esta situação foi observada no presente estudo, com exceção da segunda data de semeadura, onde as bases genéticas expressaram a menor produtividade média de grãos.

Os híbridos simples, semeados nas duas primeiras datas de semeadura, expressaram as maiores produtividades de grãos, seguidos dos híbridos triplos, duplos e variedades, nesta ordem. Em estudo realizado por Emygdio et al. (2007), durante três safras de cultivo, os autores também observaram que, em média, os híbridos simples produziram mais que os híbridos triplos e duplos. No entanto, não é adequado generalizar sobre o desempenho produtivo pela base genética, uma vez que, alguns híbridos duplos podem apresentar maior desempenho produtivo a determinados híbridos simples e triplos (Emygdio et al., 2007).

Com o atraso da data de semeadura, a produtividade média de grãos dos híbridos triplos foi superior aos híbridos simples, duplos e variedades, nessa ordem (Tabela 3). Esses resultados, podem estar associados à maior variabilidade da constituição genética dos híbridos triplos comparados com os híbridos simples, e maior potencial produtivo dos híbridos triplos em relação aos híbridos duplos e as variedades. A maior variabilidade genética das variedades não assegurou a maior produtividade de grãos nas datas de semeadura com condições inadequadas de desenvolvimento das plantas.

Independentemente da base genética e data de semeadura observou-se maior acúmulo de radiação solar global no estágio vegetativo em relação ao estágio reprodutivo (Tabela 3 e Figura 3). Em todas as datas de semeadura, no estágio vegetativo, observou-se aumento de RSFM e RSFF da primeira data de semeadura para a segunda e, após redução gradativa com o atraso da data de semeadura, na seguinte ordem: híbrido simples, triplo, duplo e variedade.

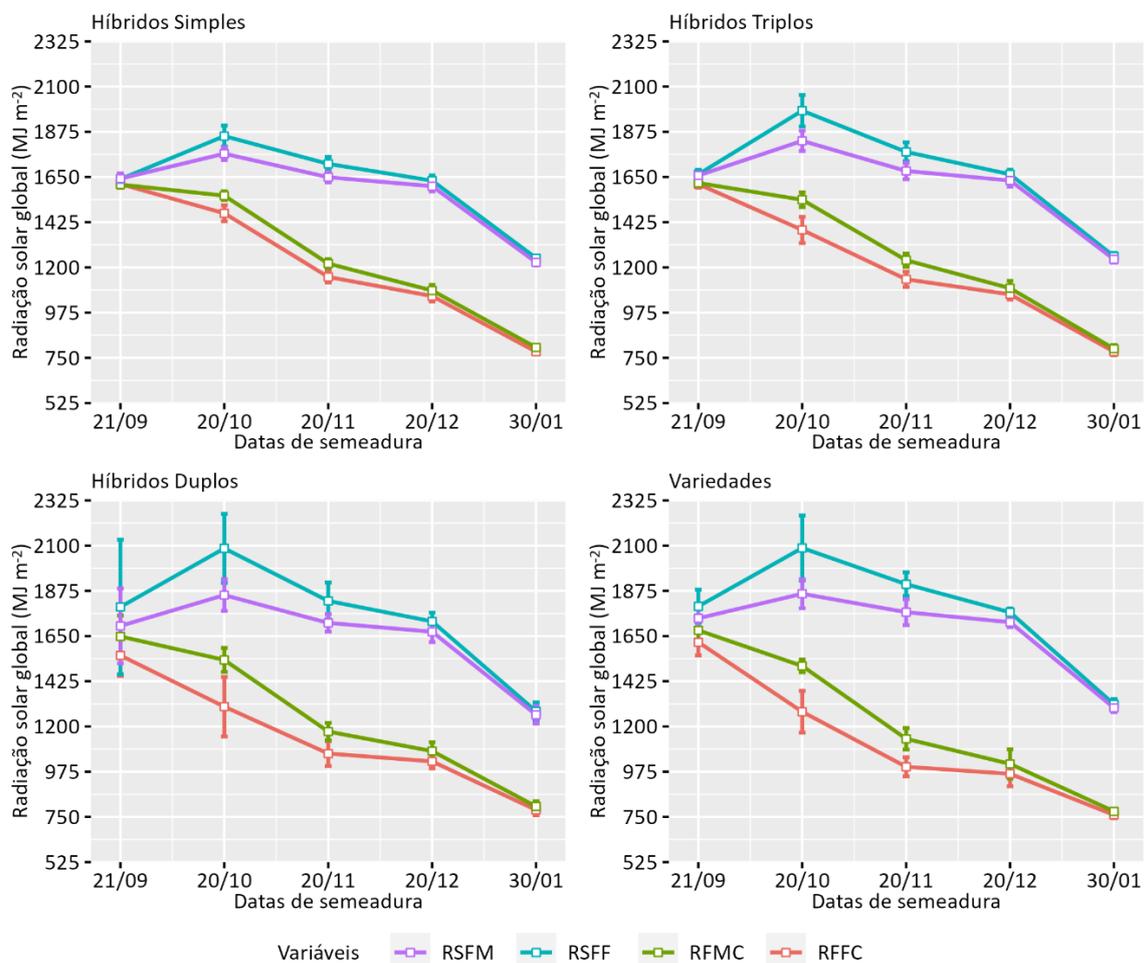


Figura 3. Radiação solar global acumulada, em  $\text{MJ m}^{-2}$ , nos subperíodos das bases genéticas em cinco datas de semeadura. As barras verticais mostram os intervalos de confiança (95%). Radiação solar global acumulada

da semeadura ao florescimento masculino (RSFM, MJ m<sup>-2</sup>), radiação solar global acumulada da semeadura ao florescimento feminino (RSFF, MJ m<sup>-2</sup>), radiação solar global acumulada do florescimento masculino à colheita (RFMC, MJ m<sup>-2</sup>) e radiação solar global acumulada do florescimento feminino à colheita (RFFC, MJ m<sup>-2</sup>). Fonte: Loro et al. (2025).

Considerando o estágio reprodutivo, em todas as datas de semeadura, observou-se redução gradativa de RFMC e RFFC da primeira a quinta data de semeadura, na seguinte ordem: híbrido simples, triplo, duplo e variedade (Tabela 3 e Figura 3). Portanto, com o atraso da semeadura há menor incidência de radiação solar global acumulada no estágio reprodutivo, o que resulta em menor acúmulo de biomassa e, conseqüentemente, redução da produtividade de grãos (Zhou et al., 2016; Yang et al., 2019).

A duração dos estágios fenológicos em milho é determinada pela soma térmica, ou seja,

pelo acúmulo de graus dia acima da temperatura base inferior (Lizaso et al., 2018). Em todas as datas de semeadura, observou-se menor exigência de SSFM e SSFF nos híbridos simples e aumento gradativo de SSFM e SSFF para os híbridos triplos, duplos e variedades, nessa ordem (Tabela 3 e Figura 4). Com raras exceções, a SFMC e SFFC foram maiores para os híbridos simples e triplos em relação aos híbridos duplos e variedades. Destaca-se que, com exceção na primeira data de semeadura, a SFMC e SFFC foram menores para as variedades em todas as demais datas.

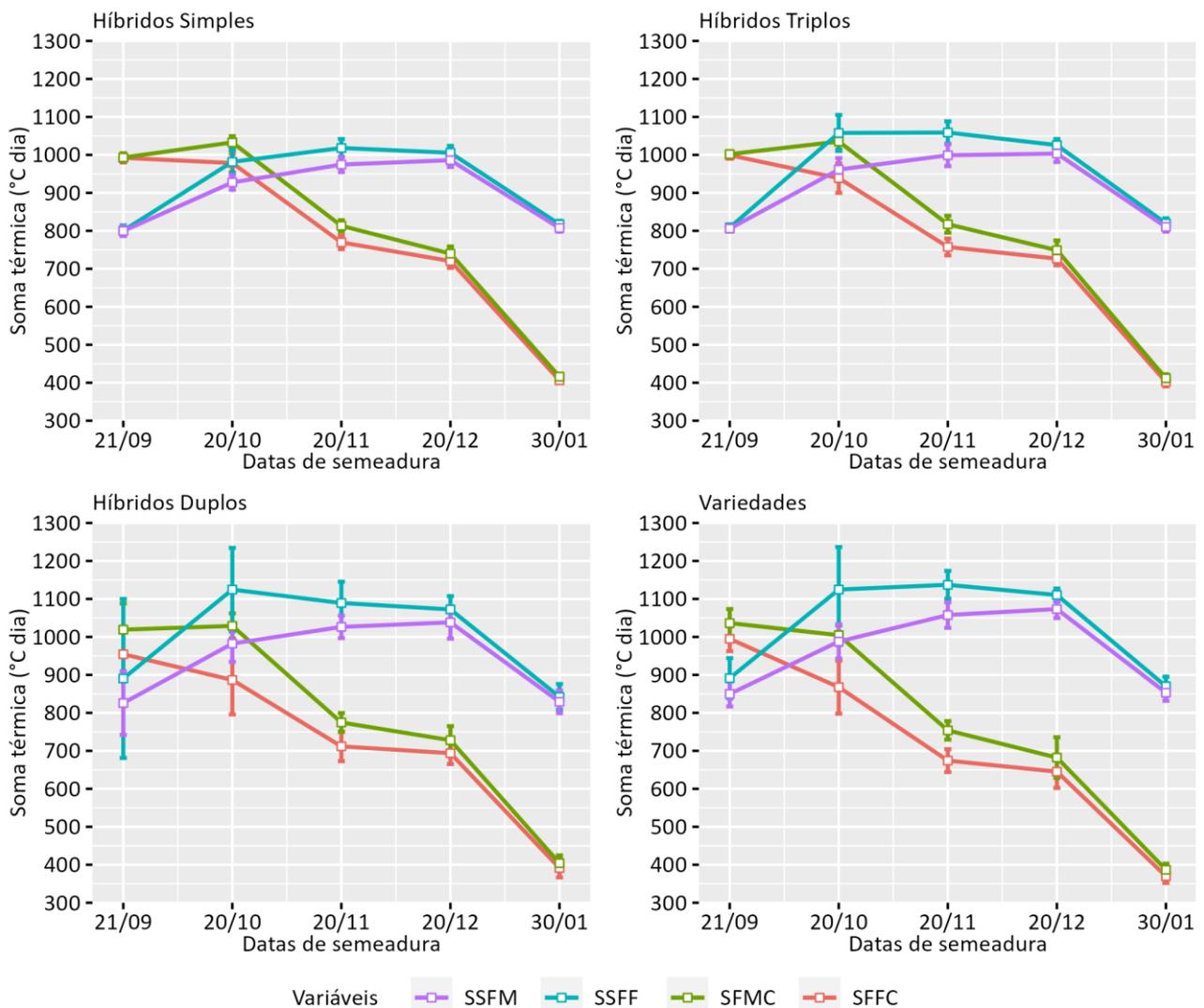


Figura 4. Soma térmica, em °C dia, nos subperíodos das bases genéticas em cinco datas de semeadura. As barras verticais mostram os intervalos de confiança (95%). Soma térmica da semeadura ao florescimento masculino (SSFM, °C dia), soma térmica da semeadura ao florescimento feminino (SSFF, °C dia), soma térmica do florescimento masculino à colheita (SFMC, °C dia) e soma térmica do florescimento feminino à colheita (SFFC, °C dia). Fonte: Loro et al. (2025).

Em todas as datas de semeadura e bases genéticas, observaram-se menores valores de SSFM em relação à SSFF, o que significa que para o florescimento masculino é necessário menos graus dia em relação ao florescimento feminino. Consequentemente, como esperado, observou-se que em todas as datas de semeadura e bases genéticas, a SFMC foi maior que a SFFC (Tabela 3 e Figura 4). Além disso, observaram-se maiores variações nas médias de SSFM, SSFF, SFMC e SFFC entre as datas de semeadura em relação às bases genéticas dentro de cada data de semeadura. Na primeira data de semeadura, todas as bases genéticas tiveram uma maior soma térmica no estágio reprodutivo. Na segunda data houve um equilíbrio da soma térmica acumulada entre os subperíodos. A partir da terceira data o maior acúmulo de soma térmica ocorreu no estágio vegetativo. A SSFM e SSFF apresentaram a menor variação entre as datas de semeadura. Assim, pode-se inferir que a soma térmica é uma ótima maneira para compreender a duração da SFM e SFF. Por outro lado, a SFMC e SFFC tiveram variações de maior magnitude entre as datas de semeadura. Isso indica que a soma térmica não é a única responsável pela duração do estágio reprodutivo do milho (Liu et al., 2013; Bonelli et al., 2016).

Nesse estudo, embora a magnitude das respostas das bases genéticas tenha sido diferente, observou-se que as respostas fenotípicas apresentaram a mesma tendência, conforme as mudanças das condições meteorológicas nas datas de semeadura. Portanto, pode-se inferir que as bases genéticas respondem de modo similar às variações das variáveis meteorológicas.

Os resultados podem auxiliar os produtores na escolha da melhor base genética para diferentes datas de semeadura, permitindo otimizar a produtividade de grãos e minimizar os impactos adversos das condições meteorológicas. Como demonstrado, os híbridos simples apresentam maior produtividade nas primeiras datas de semeadura, enquanto os híbridos triplos se destacam em semeaduras tardias. Essa informação pode direcionar a escolha da base genética conforme a data de semeadura.

Além disso, os resultados sugerem a necessidade de ajustes em práticas de manejo. Por exemplo, o ajuste na densidade populacional pode ser uma estratégia para otimizar a interceptação de radiação solar e a eficiência no uso de recursos, especialmente em semeaduras tardias, onde há maior risco de baixa temperatura e menor radiação solar disponível.

## Conclusão

Híbridos simples, triplos, duplos e variedades de milho apresentam respostas similares quanto aos efeitos das variáveis meteorológicas.

Os híbridos simples apresentam maior produtividade de grãos nas semeaduras em setembro e outubro, enquanto os híbridos triplos se destacam em semeaduras de novembro, dezembro e janeiro.

## Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq - Processos 304652/2017-2 e 304878/2022-7), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) pela concessão de bolsa de estudos aos autores.

## Referências

- Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Gonçalves, J. L. M.; Sparover, G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22, 711-728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Arnold, C. Y. 1960. Maximum-minimum temperatures as a basis for computing heat units. *Journal of the American Society for Horticultural Sciences*, 76, 682-692.
- Bonelli, L. E.; Monzón, J. P.; Cerrudo, A.; Rizzalli, R. H.; Andrade, F. H. 2016. Maize grain yield components and source-sink relationship as affected by the delay in sowing date. *Field Crops Research*, 198, 215-225. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.09.003>
- Carpentieri-Pípolo, C.; Souza, A.; Silva, D. A.; Barreto, T. P.; Garbuglio, D. D.; Ferreira, J. M. 2010. Avaliação de cultivares de milho crioulo em sistema de baixo nível tecnológico. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 32, 229-233. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v32i2.430>
- Cavíglia, O. P.; Melchiori, R. J. M.; Sadras, V. O. 2014. Nitrogen utilization efficiency in maize as affected by hybrid and N rate in late-sown crops. *Field Crops Research*, 168, 27-37. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.08.005>
- Coelho, A. E.; Sangoi, L.; Balbinot Junior, A. A.; Kuneski, H. F.; Martins Júnior, M. C. 2022. 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*, 46,

- e0210087.  
<https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20210087>
- Djaman, K.; Allen, S.; Djaman, D. S.; Koudahe, K.; Irmak, S.; Puppala, N.; Darapuneni, M. K.; Angadi, S. V. 2022. Planting date and plant density effects on maize growth, yield and water use efficiency. *Environmental Challenges*, 6, 1-11.  
<https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100417>
- Emygdio, B. M.; Ignaczak, J. C.; Cargnelutti Filho, A. 2007. Potencial de rendimento de grãos de híbridos comerciais simples, triplos e duplos de milho. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 6, 95-103.  
<https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v6n01p%25p>
- Fancelli, A. L.; Dourado Neto, D. 2009. Milho: manejo e produtividade. Piracicaba: ESALQ/USP. 181p.
- Ge, J.; Xu, Y.; Zhao, M.; Zhan, M.; Cao, C.; Chen, C.; Zhou, B. 2022. Effect of climatic conditions caused by seasons on maize yield, kernel filling and weight in central China. *Agronomy*, 12, 1-19.  
<https://doi.org/10.3390/agronomy12081816>
- Guo, D.; Chen, C.; Li, X.; Wang, R.; Ding, Z.; Ma, W.; Wang, X.; Li, C.; Zhao, M.; Li, M.; Zhou, B. 2022. 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*, 13, 934618.  
<https://doi.org/10.3389/fpls.2022.934618>
- Liu, Y.; Xie, R.; Hou, P.; Li, S.; Zhang, H.; Ming, B.; Long, H.; Liang, S. 2013. Phenological responses of maize to changes in environment when grown at different latitudes in China. *Field Crops Research*, 144, 192-199.  
<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.01.003>
- Lizaso, J. I.; Ruiz-Ramos, M.; Rodríguez, L.; Gabaldon-Leal, C.; Oliveira, J. A.; Lorite, I. J.; Sanchez, D.; Garcia, E.; Rodríguez, A. 2018. Impact of high temperatures in maize: phenology and yield components. *Field Crops Research*, 216, (1), 129-140.  
<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.11.013>
- Nóia Júnior, R. S.; Sentelhas, P. C. 2019. Soybean-maize succession in Brazil: Impacts of sowing dates on climate variability, yields and economic profitability. *European Journal of Agronomy*, 103, 140-151.  
<https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.12.008>
- R Core Team. 2022. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna.
- Santos, H. G.; Jacomine, P. K. T.; Anjos, L. H. C.; Oliveira, V. A.; Lumberras, J. F.; Coelho, M. R.; Almeida, J. A.; Araújo Filho, J. C.; Oliveira, J. B.; Cunha, T. J. F. 2018. Sistema brasileiro de classificação de solos. 5. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 590p.
- Xu, W.; Liu, C.; Wang, K.; Xie, R.; Ming, B.; Wang, Y.; Zhang, G.; Liu, G.; Zhao, R.; Fan, P.; Li, S.; Hou, P. 2017. Adjusting maize plant density to different climatic conditions across a large longitudinal distance in China. *Field Crops Research*, 212, 126-134.  
<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.05.006>
- Yang, Y. S.; Guo, X. X.; Liu, H. F.; Liu, G. Z.; Liu, W. M.; Ming, B.; Xie, R. Z.; Wang, K. R.; Hou, P.; Li, S. K. 2021. The effect of solar radiation change on the maize yield gap from the perspectives of dry matter accumulation and distribution. *Journal of Integrative Agriculture*, 20, 482-493.  
[https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63581-X](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63581-X)
- Yang, Y.; Xu, W.; Hou, P.; Liu, G.; Liu, W.; Wang, Y.; Zhao, R.; Ming, B.; Xie, R.; Wang, K.; Li, S. 2019. Improving maize grain yield by matching maize growth and solar radiation. *Scientific Reports*, 9, 1-11.  
<https://doi.org/10.1038/s41598-019-40081-z>
- Zhou, B.; Yue, Y.; Sun, X.; Wang, X.; Wang, Z.; Ma, W.; Zhao, M. 2016. Maize grain yield and dry matter production responses to variations in weather conditions. *Agronomy Journal*, 108, 196-204.  
<https://doi.org/10.2134/agronj2015.0196>