

Parâmetros genéticos e correlações de caracteres agronômicos de genótipos de girassol

Genetic parameters and correlations of agronomic characters of sunflower genotypes

Valdomiro Junior Neres **SANTOS**¹; Sirlene Lopes de **OLIVEIRA**²; Gutherre Andrade **DONATO**¹; Ana Luíza Medrado **MONTEIRO**¹; Pedro Ivo Prudêncio **CASTRO**¹; Claudio Guilherme Portela de **CARVALHO**³; Aroldo **GOMES FILHO**^{1,4} & Clarice Oliveira **CORREIA**¹

RESUMO

As estimativas de parâmetros genéticos permitem mensurar a variabilidade genética existente em uma população e, associadas às análises de correlações, constituem uma das etapas iniciais em um programa de melhoramento genético para quaisquer culturas. Objetivou-se estimar os parâmetros genéticos e correlações de caracteres agronômicos de nove genótipos de girassol cultivados sob condições edafoclimáticas do semiárido norte mineiro. O experimento foi conduzido em delineamento experimental de blocos casualizados, com quatro repetições. Foram avaliadas as seguintes variáveis: stand, altura de planta, data de floração inicial e da maturação fisiológica, curvatura do caule, tamanho do capítulo, massa de mil aquênios e produtividade. Os resultados demonstraram que correlações positivas e significativas foram encontradas entre variáveis de interesse agrônomo, tais como altura de planta, massa de mil aquênios e produtividade, correlações que, aliadas à alta herdabilidade encontrada para os caracteres analisados, sugerem o valor fenotípico como uma medida confiável para a seleção de genótipos superiores. **Palavras-chave:** *Helianthus annuus* (L); seleção; variabilidade.

ABSTRACT

Estimates of genetic parameters allow measuring the genetic variability existing in a population and, associated with correlation analysis, constitute one of the initial steps in a genetic improvement program for any crop. This study aimed to estimate the genetic parameters and correlations of agronomic traits of nine sunflower genotypes cultivated under edaphoclimatic conditions in the semiarid region of northern Minas Gerais State. The experiment was carried out in a randomized block design with four replications. The following variables were evaluated: stand, plant height, date of initial flowering and physiological maturity, stem curvature, capitulum size, mass of a thousand achenes and productivity. The results showed that positive and significant correlations were found between variables of agronomic interest, such as plant height, mass of a thousand achenes and productivity, correlations that, allied to the high heritability found for these analyzed characters, suggest the phenotypic value as a reliable measure for the selection of superior genotypes.

Keywords: *Helianthus annuus* (L); selection; variability.

Recebido em: 14 out. 2020

Aceito em: 30 ago. 2021

¹ Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Norte de Minas Gerais (IFNMG), Escola Agrotécnica Federal de Januária, Fazenda São Geraldo, s/n, km 06, Bom Jardim – CEP 39480-000, Januária, MG, Brasil.

² Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (Unesp), Mestrado em Agronomia/Agricultura, Botucatu, SP Brasil.

³ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Centro Nacional de Pesquisa de Soja, Londrina, PR, Brasil.

⁴ Autor para correspondência: aroldo.gomes@ifnmg.edu.br.

INTRODUÇÃO

Por causa de sua rusticidade, a planta de girassol (*Helianthus annuus* L.) é uma oleaginosa altamente cultivada em todos os continentes, apresentando ampla capacidade de adaptação às diferentes condições edafoclimáticas, sendo seu desempenho pouco influenciado pela latitude, longitude e fotoperíodo (SANTOS *et al.*, 2015). Além disso, apresenta outras características agrônômicas desejadas, tais como: maior resistência à seca, ao frio e a pragas do que a maioria das espécies cultivadas no Brasil, o que a torna uma das principais oleaginosas do mundo, em conjunto com a soja (*Glycine max* L.), o amendoim (*Arachis hypogaea* L.) e o algodão (*Gossypium hirsutum* L.) (FEITOSA *et al.*, 2013).

Dados do United States Department of Agriculture (USDA, 2019) apontam o girassol como sendo a terceira oleaginosa mais produzida no mundo, com aproximadamente 51 milhões de toneladas ano⁻¹, ficando atrás apenas da soja (360,99 milhões de toneladas ano⁻¹) e da canola (70,37 milhões de toneladas ano⁻¹), respectivamente. Os principais continentes produtores de girassol são: o europeu (61,5%), o americano (17,8%) e o asiático (15,2%), sendo a Rússia, a Ucrânia e a Argentina os três maiores produtores mundiais, com 6,23, 6,14 e 3,97 milhões de toneladas, respectivamente (FAO, 2018).

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2018), a safra 2018/2019 foi estimada em 151,6 mil toneladas, em uma área plantada de 95,5 mil ha; no estado de Minas Gerais, a produção corresponde a 7% da produção nacional.

Assim como outras espécies cultivadas, a planta do girassol proporciona diversas opções de uso. Suas sementes podem ser utilizadas na alimentação humana ou para produção de rações de uso animal, bem como matéria-prima para a produção de biodiesel (PORTO *et al.*, 2007). No entanto o melhoramento de plantas de girassol é resultado da procura por uma ampla gama de finalidades que, ao final de tudo, tem como objetivo o maior ganho no rendimento de grãos e de óleo (OLIVEIRA *et al.*, 2005). Uma semente apresenta, em média, cerca de 24% de proteínas, 20% de carboidratos totais e 4% de minerais (SALGADO *et al.*, 2012).

Segundo Pereira *et al.* (2016), o cultivo do girassol tem se mostrado como uma nova opção econômica, ganhando espaço no Brasil e no mundo. Nesse sentido, Raizer *et al.* (2015) expõem que a cultura vem apresentando considerável aumento de área no país, em função da crescente demanda do setor industrial, constituindo, hoje, uma importante alternativa econômica na sucessão com outras culturas de grãos e na composição dos diferentes sistemas de produção.

Dessa forma, Carvalho *et al.* (2015) descreveram que, para o processo de inserção de determinada cultivar nos sistemas agrícolas, se priorizam os genótipos que apresentem características que facilitem o manejo da cultura. Entretanto, para a escolha do genótipo mais adequado, devem-se considerar as condições de cultivo e as demandas do mercado, especialmente a produção de grãos e os caracteres qualitativos do óleo, observando também características morfoagronômicas que acompanhem o genótipo; entre elas, o porte da planta e a duração do ciclo (DALCHIAVON *et al.*, 2016).

A produtividade de uma cultura é de caráter complexo, resultante da expressão gênica, ambiental e da interação de diversos componentes (GOMES *et al.*, 2007). As estimativas de parâmetros genéticos permitem conhecer a estrutura genética da população e a interferência da variabilidade genética presente nela, proporcionando subsídios para um programa de melhoramento para essa cultura (LIRA *et al.*, 2017).

Dimensionar as magnitudes das variâncias dessa interação é necessário para que seja possível estimar de maneira mais adequada o potencial de uma população (LIRA *et al.*, 2017). O resultado de uma seleção baseada no fenótipo dos indivíduos de uma geração, em função do grau de associação da variância genética desses indivíduos com a variância genética da geração seguinte, é o que expressa a herdabilidade (LIRA *et al.*, 2017), ou seja, o grau de semelhança entre a progênie e seus pais, que quantifica a confiabilidade do valor fenotípico como guia para o valor genético. A herdabilidade, por sua vez, é importante que seja a mais real possível, pois é de grande importância na predição de ganhos genéticos de um caractere herdável (NANDINI *et al.*, 2017).

A herdabilidade reflete a proporção da variação fenotípica que pode ser herdada, influenciando, assim, a próxima geração (ROSSMANN, 2001). Dessa forma, faz-se importante conhecer o quanto da variação fenotípica é atribuído à variação genotípica, e tal conhecimento é medido por meio da herdabilidade (RANI *et al.*, 2017).

Outro aspecto a ser levado em conta é o estudo da correlação entre os caracteres, visto que, por intermédio dela, é possível identificar a associação entre os caracteres e revelar se a seleção em uma determinada variável pode causar efeito em outras (NOGUEIRA *et al.*, 2012). Para o melhoramento de plantas, faz-se necessário identificar quais caracteres possuem alta correlação com a característica principal, em que o efeito direto deve ser favorável a seleção (BISINOTTO, 2013). Para tanto, Cruz *et al.* (2012) afirmam que a seleção indireta se torna viável, podendo ser praticada para caracteres de difícil mensuração, baixa herdabilidade e altamente influenciados pelo meio ambiente.

Essas estimativas são de suma importância, principalmente quando há dificuldade de se selecionar um caractere desejável, seja por apresentar baixa herdabilidade ou por problemas de medição e identificação, ou até mesmo ambos os casos, permitindo obter ganhos na seleção de uma variável por meio da seleção indireta em outra (CRUZ *et al.*, 2012).

Nesse sentido, o presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de estimar os parâmetros genéticos e as correlações de caracteres agrônômicos em nove genótipos de girassol cultivados sob as condições edafoclimáticas do semiárido norte mineiro na microrregião de Januária (MG).

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em área experimental do Instituto Federal do Norte de Minas Gerais – *Campus Januária*, situada na fazenda São Geraldo, s/n, km 06, Januária, Minas Gerais, localizado geograficamente a 15°26'35" de latitude sul, 44°21'40" de longitude oeste e altitude de 434 m.

O experimento foi realizado entre o período de 13 de novembro de 2018 a 18 de fevereiro de 2019. O clima predominante da região é do tipo Aw (tropical úmido com inverno seco e verão chuvoso), segundo a classificação internacional de Köppen, com precipitação média anual de 850 mm, umidade relativa média de 60% e temperatura média anual de 27°C (SANTOS *et al.*, 2016). As variáveis climatológicas observadas no período de condução do experimento estão expressas na figura 1.

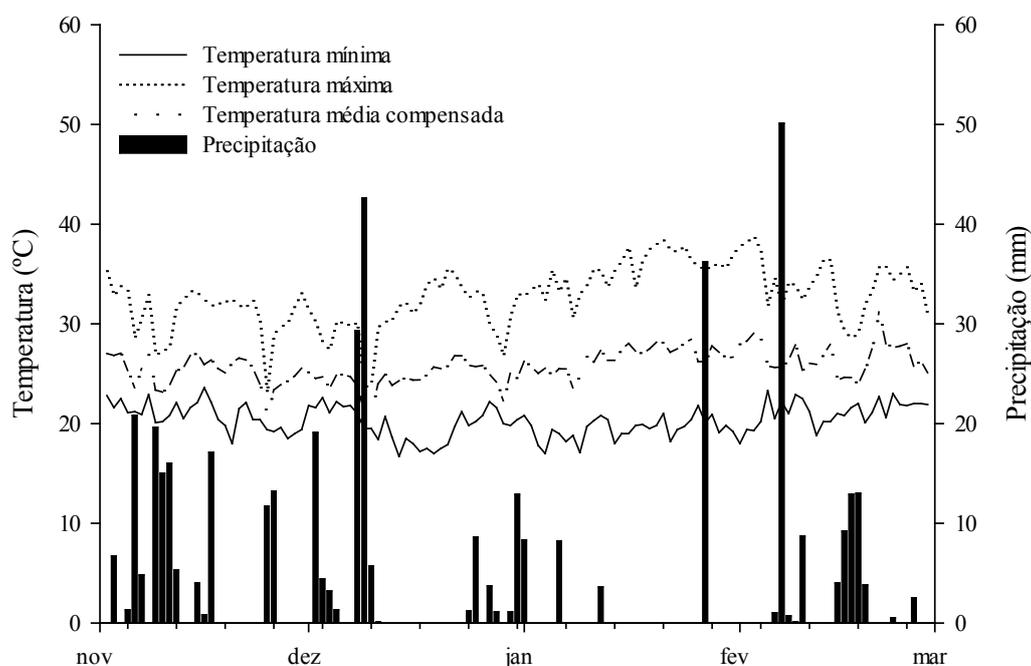


Figura 1 – Dados diários de precipitação (mm), temperatura máxima e mínima (°C) referentes ao período de novembro/2018 a fevereiro/2019, Januária, MG. Fonte: INMET, adaptado

A análise de solo realizada antes do período experimental revelou os seguintes valores: P = 13,1 mg/dm³ (Mehlich 1X ou Solução Carolina do Norte); MO = 0,6 dag/kg.ha⁻¹; pH H₂O = 7,25; K = 73 mg/dm³; Ca = 2,4 cmolc /dm³; Mg = 0,4 cmolc /dm³; H+Al = 0,85 cmolc /dm³; CTC = 3,0 cmolc /dm³; saturação de bases = 77,4%; areia = 72 dag/kg.ha⁻¹; silte = 8 dag/kg.ha⁻¹ e argila = 20 dag/kg.ha⁻¹.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com nove tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos pelos seguintes genótipos de girassol: SYN 045, BRS 323 (testemunhas), BRS G46, BRS G52, BRS G54, BRS G55, BRSG 61, BRS G62, BRS G67, em condição de plantio de sequeiro na região de Januária (MG).

Na área experimental, o preparo do solo ocorreu de maneira convencional, por meio de uma aração, seguida de duas gradagens, posteriormente foram abertos sulcos espaçados por 0,5 metro de distância entre si. Fizeram-se os cálculos de adubação de acordo com as necessidades discriminadas em análise de solo e recomendações da Embrapa. Para isso, aplicaram-se no plantio 60 kg.ha⁻¹ de N, 80 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ e 80 kg.ha⁻¹ de K₂O.

O plantio da cultura foi realizado em parcelas de 12 m², nas quais foram plantadas quatro linhas, possuindo seis metros de comprimento cada uma, configurando-se a área útil da parcela as duas linhas centrais e desprezando-se 0,5 metro das extremidades das linhas, a título de bordadura. O espaçamento utilizado no experimento foi o de 0,5 metro entre linhas e 0,43 metro entre covas, totalizando 14 covas linha⁻¹, sendo plantadas três sementes por cova. Após sete dias da emergência das plantas, fez-se o desbaste, deixando somente uma planta por cova, e aos 25 dias pós-emergência, realizou-se a adubação de cobertura, com nitrogênio e boro, nas doses de 30 e 2 kg.ha⁻¹, respectivamente, via solo.

As variáveis analisadas no experimento foram: stand de plantas (STD), efetuada por meio de contagem das plantas dentro de cada unidade experimental; altura de planta (AP) em centímetros, que foi computada do nível do solo até a inserção do capítulo com auxílio de trena metálica; data de floração inicial (DFI) em dias; data da maturação fisiológica (DMF) em dias, computada quando 50% das plantas emitiram botão floral; curvatura do caule (CC), quando foi efetuada análise visual, com base em escala numérica proposta por Knowles (1978), variando de 1 (plantas eretas) a 7 (plantas com maior curvatura); tamanho do capítulo (TC) em centímetros, que foi mensurado mediante fita métrica, considerando-se o seu diâmetro; peso de 1.000 aquênios (MMA) em gramas, que foi aferido por meio de contagem e posterior pesagem de mil sementes, após a debulha e limpeza delas; e produtividade (PROD), auferida por meio de pesagem dos aquênios obtidos dentro da área útil da parcela, com os resultados expressos em kg.ha⁻¹.

No momento do florescimento das plantas, as variáveis avaliadas foram: data de floração inicial, que ocorre quando 50% das plantas da área útil apresentam pétalas amarelas, caracterizadas pelo estágio R4; e altura de planta, computada medindo-se individualmente a altura das plantas desde o nível do solo até a inserção do capítulo.

No momento da maturação fisiológica, observaram-se os dados referentes à data da maturação fisiológica, quando 90% das plantas, da área útil, apresentam capítulos com brácteas de coloração amarela a castanho; à variável curvatura do caule, que foi mensurada de acordo com Vogt *et al.* (2010) e realizada mediante análise visual, por meio de dois avaliadores, utilizando-se uma escala de notas de 1 a 7, sendo 1 para inclinada, 2 vertical, 3 semi-invertida com haste ereta, 4 semi-invertida com haste recurvada, 5 vertical com haste ereta, 6 invertida com haste recurvada e 7 para reflexa; e à variável tamanho do caule.

Após a colheita dos capítulos no mês de fevereiro de 2019, estes foram transportados para o Laboratório de Fisiologia Vegetal do Instituto Federal do Norte de Minas Gerais – Campus Januária, onde foram realizadas as análises de massa de mil aquênios e da produção de grãos; a massa originalmente obtida foi corrigida para 12% de umidade.

Os dados foram submetidos a análise de variância do teste F a 5%. Também se efetuaram as estimativas da variância fenotípica (σ_P), da variância ambiental (σ_E), da variância genotípica (σ_G), da herdabilidade (h^2), do coeficiente de variação genético (Cvg), do coeficiente de variação ambiental (Cve) e da razão coeficiente de variação genotípica pelo coeficiente de variação ambiental (Cvg/Cve).

Para o estudo de correlação entre as variáveis, aplicaram-se a análise de correlação simples de Pearson e a análise de trilha. As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o programa GENES (CRUZ, 2013).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os resultados obtidos, os genótipos de girassol apresentaram diferenças estatísticas entre as variáveis analisadas ($P < 0,01$), aliado ao fato que valores mínimos e máximos, em cada variável, demonstraram forte amplitude de expressão, sugerindo a existência de variabilidade genética nos materiais analisados (tabela 1). Cabe ressaltar a amplitude verificada na variável produtividade, a qual evidenciou valores mínimos de 496,29 e máximos de 8291,36 kg/ha⁻¹, com média de 4475,07 kg/ha⁻¹. Trabalhos com a cultura, realizados no norte de Minas, encontraram produtividades máximas da ordem de 3791,71 kg/ha⁻¹ em plantio realizado em Januária (OLIVEIRA *et al.*, 2017) e 2428,41 kg/ha⁻¹ em plantio realizado em Nova Porteirinha (NOBRE *et al.*, 2012), indicando que, no plantio do presente trabalho, especificamente existem genótipos de grande potencial de produção para a região, com médias superiores ao relatado na literatura. Além disso, as amplitudes observadas referentes a dias para a maturação fisiológica, com valores variando de 70 a 87 dias, sugerem que, dos genótipos avaliados, há materiais de constituições genéticas precoces nesse ano de plantio.

Tabela 1 – Resumo da análise de variância, estatística descritiva e de parâmetros genéticos de descritores morfoagronômicos de genótipos de girassol cultivados no norte de Minas Gerais, Januária (MG), safra 2018/2019.

FONTES DE VARIAÇÃO	GL	QUADRADO MÉDIO			
		STD (n.º)	DFI (DAE)	DMF (DAE)	AP (cm)
Bloco	3	235,65	37,36	1,80	747,41
Genótipo	8	171,25*	61,21*	23,34**	684,38**
Resíduo	24	52,14	22,22	2,45	188,48
Total	35				
CVe (%)		22,66	8,89	1,94	9,01
Média		31,86	53,02	80,47	152,42
Máximo		46,00	58,00	87,00	189,3
Mínimo		9,00	25,00	70,00	119,1
PARÂMETROS GENÉTICOS					
σ_p		42,81	15,03	5,83	171,09
σ_E		13,03	5,55	0,61	47,12
σ_G		29,78	9,75	5,22	123,98
h^2 (%)		69,55	63,70	89,49	72,45
CVg (%)		17,13	5,89	2,83	7,30
Razão CVg/Cve		0,75	0,66	1,45	0,811
QUADRADO MÉDIO					
FONTES DE VARIAÇÃO	GL	CC	TC	MMA	PROD
		(nota)	(cm)	(g)	(kg,ha ⁻¹)
Bloco	3	0,51	1,04	45,02	3704629,36
Genótipo	8	0,88**	14,63*	784,42**	4780429,73*
Resíduo	24	0,22	6,21	26,95	1598599,88
Total	35				
CVe (%)		14,28	11,33	7,21	28,25
Média		3,33	21,99	71,96	4475,07
Máximo		4,00	28,50	102,26	8291,36
Mínimo		2,00	15,50	54,36	496,29

continua...

continuação da tabela 1

PARÂMETROS GENÉTICOS				
σ_P	0,21	3,65	196,11	1195107,43
σ_E	0,06	1,55	6,74	399649,97
σ_G	0,16	2,10	189,36	795457,46
h^2 (%)	74,07	57,55	96,56	66,56
CVg (%)	12,07	6,59	19,12	19,93
Razão CVg/Cve	0,84	0,58	2,65	0,70

*,** e ns, significativo a 5 e 1% de probabilidade de erro e não significativo, respectivamente, de acordo com o teste F. Variáveis: STD = stand; DFI = dias para floração inicial; DMF = Dias para maturação fisiológica; AP = altura de plantas; CC = curvatura do capítulo; TC = tamanho do capítulo; MMA = massa de mil aquênios; PROD = produtividade. Parâmetros: σ_P = variância fenotípica; σ_E = variância ambiental; σ_G = variância genotípica; h^2 = herdabilidade; CVg = coeficiente de variância genético; Cve = coeficiente de variância ambiental.

Ainda de acordo com a tabela 1, estimou-se a composição de variância fenotípica, genotípica e ambiental, por meio do estudo da herdabilidade, objetivando-se conhecer o grau de estabilidade dos caracteres estudados. Para as variáveis STD, DFI e TC, a variância ambiental (σ_E) apresentou valores elevados em relação à variabilidade total (σ_P), o que, por consequência, promoveu a redução da variância de natureza genética, significando que, para essas características, houve maior influência ambiental. De acordo com Bernal et al. (2012), a variação fenotípica de uma variedade ou cultivar pode ser atribuída a fatores genéticos, já as variações decorrentes da influência do meio ambiente se devem a interações genético-ambientais. Em muitos casos, é importante distinguir quando o fenótipo resulta da ação do genótipo ou apenas do ambiente, pois, em algumas ocasiões, as características são controladas por vários genes e podem sofrer ação do ambiente (OLIVEIRA et al., 2010). De acordo com Coimbra et al. (1999), a interação genótipo-ambiente pode ocorrer em virtude do fato de os genótipos não apresentarem desempenho estável nos diversos ambientes. Segundo Cargnin et al. (2006), no caso da interação ambiente x genótipo, há uma redução na correlação entre fenótipo e genótipo.

As variáveis STD, DFI, TC e PROD apresentaram herdabilidade de baixa magnitude, com h^2 de 69,55%, 63,70%, 57,55% e 66,56%, respectivamente (tabela 1). Trabalhos realizados por Lira Júnior et al. (2014) e Blind et al. (2018) apontam que caracteres ligados à produção normalmente são controlados por vários genes, tendo pequeno efeito cumulativo para a expressão dos caracteres, resultando em grande efeito ambiental, o que tende a expressar valores reduzidos de herdabilidade.

Os maiores valores de herdabilidade foram encontrados para as variáveis DMF, AP, CC e MMA (tabela 1). Para Kumar et al. (2013), características que apresentam alta herdabilidade possuem maior expressão do efeito genotípico, pois são pouco influenciadas pelo ambiente e, portanto, são mais confiáveis para uma seleção, graças a uma maior estabilidade na expressão do caractere.

De acordo com Silva et al. (2011), para que o melhoramento do girassol seja efetivamente mais eficiente, é essencial que se conheçam a natureza e a intensidade das variações, sejam elas de origem genética ou do ambiente, pois atuam sobre o caráter, e a herdabilidade é o efeito cumulativo de todos os loci que essas variações afetam. Ter conhecimento do grau de herdabilidade de uma determinada característica permite estimar o nível da relação existente entre uma planta-mãe e suas progênies. Essa herdabilidade pode ser verificada com base nos componentes da variância, a partir de um quadrado médio, em um experimento com as repetições e o número de plantas sendo o mesmo, ou em parcelas (CARVALHO et al., 1981). A herdabilidade de um determinado caráter é diferente em cada população e também distinta em cada conjunto de ambiente. Portanto, não é recomendado extrapolar o verificado em uma situação para outras, como, por exemplo, outras circunstâncias e ambientes (DINI, 2016).

Em relação à herdabilidade, ela possibilita mensurar quanto do valor do fenótipo é atribuído a causas genéticas e verificar o quanto a herdabilidade está relacionada aos ganhos de seleção (GONÇALVES et al., 2007). No que diz respeito aos valores de herdabilidade, estes podem variar de zero a um, o que pode significar que, quando forem iguais a um, toda a variação expressa é de origem genética e, quando forem zero, a variação é de natureza ambiental (GIARETTA, 2020).

Para a variável DFI, constatou-se duração média de 53 dias e h^2 de 63,70%; ao ser comparada com a variável DMF, com duração média de 80 dias, apresentou uma herdabilidade superior, com h^2 de 89,49%, mesmo considerando que esta evidenciou maior período fenológico, corroborando os resultados encontrados por Silva *et al.* (2011), os quais, trabalhando com a cultura do girassol, obtiveram valores de 64 dias da floração à maturação (h^2 de 42%) e 115 dias da emergência à maturação (h^2 de 85%).

Observa-se, por meio da razão entre o coeficiente de variação genética (CVg) e o coeficiente de variação ambiental (CvE), valor maior que a unidade para as características DMF e MMA, inferindo-se facilidade na seleção para tais caracteres.

Além disso, as herdabilidades elevadas (89,49% e 96,56%, respectivamente) também contribuem para os procedimentos de seleção, caso eventualmente fosse objetivo o início de um programa de melhoramento para essa cultura.

Na tabela 2, é possível identificar as correlações fenotípicas, genotípicas e ambientais obtidas entre as variáveis dos genótipos de girassol testados.

Estimativas altas, positivas e significativas do coeficiente de correlação fenotípico foram observadas entre DFI e os caracteres AP ($r=0,76$), CC ($r=0,77$) e MMA ($r=0,71$), em trabalho realizado com girassol no Distrito Federal (LIRA *et al.*, 2017). Os mencionados autores observaram que a variável DFI apenas se correlacionou significativamente com a AP ($r=0,89$).

As associações entre DMF e os caracteres AP, MMA e PROD foram positivas e significativas ($r=0,78$, $r=0,76$, e $r=0,68$, respectivamente), de forma semelhante ao encontrado entre AP e os caracteres CC ($r=0,84$) e MMA ($r=0,67$) e CC e MMA ($r=0,80$).

As variáveis DFI e PROD apresentaram herdabilidade de baixa magnitude (tabela 1), com valores de 63,70% e 66,56%, respectivamente. Entretanto, quando levamos em consideração os caracteres associados, ou seja, que possuem correlações significativas, observamos que DFI e PROD se associam com caracteres de alto grau de herdabilidade (AP, CC, MMA e DMF), demonstrando assim haver maior facilidade e confiabilidade na seleção desses caracteres para a expressão da produtividade e precocidade. Amorim *et al.* (2008), trabalhando com correlações e análise de trilha em girassol, encontraram correlações significativas entre floração inicial e altura de planta ($r=0,72$), resultado que coincide com os encontrados no presente trabalho ($r=0,76$). Os mencionados autores relatam que foram verificadas correlações significativas entre a produtividade com o diâmetro do capítulo e a produção de grãos normais, enquanto os resultados encontrados no presente trabalho demonstram que a produtividade apenas se correlacionou significativamente com os dias para a maturação fisiológica.

Tabela 2 – Estimativas de correlações fenotípicas (r_F), genotípicas (r_G) e ambientais (r_E) entre caracteres morfoagronômicos para genótipos de girassol cultivados no norte de Minas Gerais, Januária (MG), safra 2018/2019.

Caracteres		DFI	DMF	AP	CC	TC	MMA	PROD
STD	r_F	-0,53	-0,21	-0,20	-0,51	-0,35	-0,34	0,40
	r_G	-0,89**	-0,27	-0,31	-0,71*	-0,39	-0,41	0,32
	r_E	0,17	-0,01	0,07	0,02	-0,29	-0,09	0,58
DFI	r_F		0,57	0,76*	0,77*	0,38	0,71*	0,37
	r_G		0,79*	0,99**	0,99**	0,67*	0,92**	0,44
	r_E		-0,12	-0,01	0,27	-0,06	0,22	0,25
DMF	r_F			0,78*	0,61	0,17	0,76*	0,68*
	r_G			0,99**	0,81**	0,28	0,82**	0,89**
	r_E			-0,16	-0,29	-0,12	-0,72	-0,07

continua...

continuação da tabela 2

Caracteres	DFI	DMF	AP	CC	TC	MMA	PROD
AP	r_F			0,84**	0,54	0,67*	0,62
	r_G			0,99**	0,65	0,78*	0,76*
	r_E			0,13	0,35	0,36	0,29
CC	r_F				0,65	0,80*	0,29
	r_G				0,93**	0,94**	0,30
	r_E				0,12	0,21	0,27
TC	r_F					0,35	0,12
	r_G					0,43	0,34
	r_E					-0,21	-0,23
MMA	r_F						0,55
	r_G						0,66*
	r_E						0,22

** , * : significativo a 1% e 5%, pelo teste t, respectivamente

A correlação permite conhecer a possibilidade de ocorrência de um caractere por meio da seleção feita em outro caractere, ou seja, a correlação quantifica a relação entre as características analisadas, pois, assim como dito por Andrade *et al.* (2010), variáveis que se correlacionam fenotipicamente possuem alto componente genético nas suas expressões fenotípicas, facilitando a seleção visual. No presente trabalho, constataram-se ainda as correlações genéticas significativas entre STD e os caracteres DFI ($r=0,89$) e CC ($r=0,71$). A data da floração inicial e a maturação fisiológica correlacionaram-se geneticamente com todos os demais caracteres, com exceção da produtividade e do tamanho do capítulo, respectivamente. O caractere AP correlacionou-se significativamente com CC ($r=0,99$), MMA ($r=0,78$) e PROD ($r=0,76$). Com relação à curvatura do caule, essa característica mostrou correlações genéticas significativas com TC ($r=0,93$) e MMA ($r=0,94$), enquanto o caractere MMA apenas se correlacionou com PROD ($r=0,66$).

As correlações genéticas positivas e significativas do caractere AP com CC, MMA e PROD, bem como o caractere CC correlacionando-se diretamente com TC e MMA, eram já esperadas, visto que a maior massa dos aquênios, aliada à altura das plantas, exerce maior carga sobre os caules da cultura, considerando que o caule do girassol é uma haste herbácea e, portanto, flexível; assim, ele torna-se mais propenso a curvaturas, por causa da influência do peso do capítulo. Conforme Silva *et al.* (2011), tal curvatura não deve ser acentuada, porém deve permitir adequada proteção contra o ataque de pássaros e evitar a exposição direta da inflorescência ao sol, além de facilitar a colheita mecanizada.

As variáveis DMF e DFI apresentaram correlações fenotípicas e genotípicas positivas e significativas entre si com MMA, sugerindo que o peso dos grãos está diretamente ligado ao maior período fenológico da cultura, pois, assim como visto por Ungaro *et al.* (2000), com o ciclo cultural mais longo, a planta consegue ter mais tempo para fotossintetizar, gerando maior acúmulo de carboidratos e, conseqüentemente, expressando maior massa dos aquênios.

O coeficiente de determinação revela que 96% da PROD pode ser explicada pelo efeito das variáveis analisadas (tabela 3), valor superior (84%) ao encontrado por Nobre *et al.* (2018) trabalhando com girassol na região norte de Minas Gerais. Cabe salientar que o caractere PROD possui caráter quantitativo, com grande número de alelos de pequeno efeito (modificadores) influenciando a sua magnitude, com variância ambiental da ordem de 28,25% e herdabilidade de 66,56% (tabela 1). Todas as variáveis analisadas influenciaram a PROD e, em algumas delas, observaram-se correlações genéticas significativas entre si (tabela 2). Esse fato permite inferir que existem variáveis exercendo efeitos indiretos sobre a PROD (tabela 3), corroborando assim os dados obtidos por Amorim *et al.* (2008), que estudaram a cultura do girassol no estado de São Paulo.

Tabela 3 – Estimativas dos efeitos diretos e indiretos das variáveis consideradas primárias sobre a variável principal produtividade de grãos, realizadas com os dados de média de genótipos girassol cultivados no norte de Minas Gerais, Januária, safra 2018/2019.

Caracteres	Coefficiente de trilha	Caracteres	Coefficiente de trilha
STD		CC	
Efeito direto sobre PROD	0,653	Efeito direto sobre PROD	-0,795
Efeito indireto sobre DFI	-0,221	Efeito indireto sobre STD	-0,330
Efeito indireto sobre DMF	-0,089	Efeito indireto sobre DFI	0,322
Efeito indireto sobre AP	-0,051	Efeito indireto sobre DMF	0,257
Efeito indireto sobre CC	0,402	Efeito indireto sobre AP	0,217
Efeito indireto sobre TC	-0,115	Efeito indireto sobre TC	0,214
Efeito indireto sobre PMA	-0,175	Efeito indireto sobre PMA	0,407
TOTAL	0,403	TOTAL	0,293
DFI		TC	
Efeito direto sobre PROD	0,415	Efeito direto sobre PROD	0,328
Efeito indireto sobre STD	-0,348	Efeito indireto sobre STD	-0,230
Efeito indireto sobre DMF	0,242	Efeito indireto sobre DFI	0,159
Efeito indireto sobre AP	0,197	Efeito indireto sobre DMF	0,072
Efeito indireto sobre CC	-0,617	Efeito indireto sobre AP	0,140
Efeito indireto sobre TC	0,126	Efeito indireto sobre CC	-0,519
Efeito indireto sobre PMA	0,361	Efeito indireto sobre PMA	0,178
TOTAL	0,376	TOTAL	0,128
DMF		PMA	
Efeito direto sobre PROD	0,421	Efeito direto sobre PROD	0,511
Efeito indireto sobre STD	-0,139	Efeito indireto sobre STD	-0,223
Efeito indireto sobre DFI	0,239	Efeito indireto sobre DFI	0,294
Efeito indireto sobre AP	0,201	Efeito indireto sobre DMF	0,320
Efeito indireto sobre CC	-0,485	Efeito indireto sobre AP	0,174
Efeito indireto sobre TC	0,056	Efeito indireto sobre CC	-0,633
Efeito indireto sobre PMA	0,389	Efeito indireto sobre TC	0,115
TOTAL	0,681	TOTAL	0,556
AP			
Efeito direto sobre PROD	0,259		
Efeito indireto sobre STD	-0,130		
Efeito indireto sobre DFI	0,315		
Efeito indireto sobre DMF	0,327		
Efeito indireto sobre CC	-0,669		
Efeito indireto sobre TC	0,178		
Efeito indireto sobre PMA	0,343		
TOTAL	0,623		
Coeficiente de determinação: 0,96			
Efeito da variável residual: 0,20			

De modo geral, os valores observados dos efeitos diretos dos caracteres analisados sobre a PROD mostram valores inferiores às magnitudes das estimativas das suas respectivas correlações com essa característica (tabela 3), sendo esses os caracteres DMF, AP, CC e MMA. Com isso, é possível inferir que tais características influenciam tanto a magnitude quanto o sentido da correlação com a PROD.

Os dias para a maturação fisiológica (DMF) promoveram efeito direto positivo sobre a PROD (0,42), embora seu efeito indireto sobre CC tenha sido negativo (-0,48). Em relação à altura de planta, verificou-se efeito direto positivo sobre a PROD (0,25) e efeito indireto sobre CC negativo (-0,66). O efeito direto da AP na PROD encontra-se de acordo com os valores encontrados por Nobre *et al.* (2018), que relatam efeito secundário na relação AP e PROD. A característica CC promoveu efeito direto negativo sobre a PROD (-0,79) e efeito indireto positivo sobre MMA (0,40). A MMA teve efeito direto positivo sobre a PROD (0,51) e efeito indireto negativo sobre CC (-0,63), concordando assim com resultados obtidos por Nobre *et al.* (2018), que trabalharam com girassol no norte de Minas Gerais, revelando ser essa característica um bom preditor para a produtividade da cultura em questão. Quando se analisam os resultados do efeito indireto, estes discordam da correlação fenotípica observada entre os caracteres CC e PROD ($r = 0,29$), pois a análise de trilha revela um efeito direto negativo (-0,79) de CC em relação à PROD, portanto, caules de girassol que possuem maior curvatura do capítulo tendem a produzir menos.

Levando em consideração os resultados apresentados no presente trabalho, existe a possibilidade da seleção indireta para a produtividade de grãos de girassol utilizando como referência as características agrônômicas dias para a maturação fisiológica, altura de planta, massa de mil aquênios (efeito direto positivo) e curvatura do capítulo (efeito direto negativo). Com isso, pode-se realizar uma seleção simultânea, pois no presente trabalho os resultados de herdabilidades encontrados foram superiores aos da variável principal e, segundo Costa *et al.* (2004), a seleção simultânea de caracteres de expressividade econômica eleva a possibilidade de êxito em um programa de melhoramento.

CONCLUSÃO

Correlações positivas e significativas foram encontradas entre os caracteres dias para a maturação fisiológica, altura de planta e massa de mil aquênios, e esses caracteres estão diretamente correlacionados com a produtividade, fato que, aliado à alta herdabilidade dessas características, permite realizar uma seleção em tais caracteres, buscando-se a expressão da produtividade.

A alta herdabilidade estimada para os caracteres analisados, com exceção dos caracteres STD, DFI, TC e PROD, sugere os valores fenotípicos como uma medida confiável para a seleção de genótipos superiores.

Valores maiores que a unidade foram observados para as características DMF e MMA por meio da razão entre o coeficiente de variação genética (CVg) e o coeficiente de variação ambiental (Cve), sugerindo uma facilidade na seleção para esses caracteres.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Embrapa Soja a concessão dos materiais, à Fapemig a bolsa de iniciação científica e ao IFNMG – Campus Januária o apoio financeiro e estrutural da pesquisa.

REFERÊNCIAS

Amorim, E. P., Ramos, N. P., Ungaro, M. R. G. & Kiihl, T. A. M. Correlações e análise de trilha em girassol. *Bragantia*. 2008; 67(2): 307-316.

Andrade, F. N., Rocha, M. M., Gomes, R. L. F., Freire Filho, F. R. & Ramos, S. R. R. Estimativas de parâmetros genéticos em genótipos de feijão-caupi avaliados para feijão fresco. *Revista Ciência Agronômica*. 2010; 41(2): 253-258. doi: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902010000200012>

Bespalhok F., J. C., Guerra, E. P & Oliveira, R. Introdução ao melhoramento de plantas. In: Bespalkok, F. J. C., Guerra, E. P & Oliveira, R. *Melhoramento de plantas*. 2012. [Acesso em: 15 maio 2019]. Disponível em: www.bespa.agrarias.ufpr.br.

Bisinotto, F. F. Correlações entre caracteres como critério de seleção indireta, adaptabilidade e estabilidade em genótipos de soja [Dissertação de Mestrado]. Uberlândia: Universidade federal de Uberlândia; 2013.

Blind, A. D., Valente, M. S. F., Lopoos, M. T. G. & de Resende, M. D. V. Estimativa de parâmetros genéticos, análise de trilha e seleção em bucha vegetal para caracteres agronômicos. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*. 2018; 13(2): 4-8.

Cargnin, A., Souza, M. A., Carneiro, P. C. S. & Sofiatti, V. Interação entre genótipos e ambientes e implicações em ganhos com seleção em trigo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 2006; 41: 987-993.

Carvalho, C. G. P., Ozawa, E. K. M., Amabile, R. F., Godinho, V. P. C., Gonçalves, S. L., Ribeiro, J. L. & Seifert, A. L. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de girassol resistentes a imidazolinonas em cultivos de segunda safra. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*. 2015; 10(1): 1-7.

Carvalho, F. I. F., Uitdewilligen, W. P. M., Federizzi, L. C., Gomes, E. P, Pfeifer, A. B. & Matos, M. A. O. Herdabilidade do caráter estatura de planta de trigo: estimativa através do coeficiente de regressão. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 1981; 16(1): 55-67.

Coimbra, J. L. M., Guidolin, A. F., Carvalho, F. I. F., Coimbra, S. M. M. & Hemp, S. Reflexos da interação genótipo x ambiente e suas implicações nos ganhos de seleção em genótipos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). *Ciência Rural*. 1999; 29: 433-439.

Conab – Companhia Nacional de Abastecimento. Terceiro levantamento da safra brasileira de grãos, safra 2018/2019. 2018. [Acesso em: 20 mar. 2019]. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/BoletimZGraosZdezembroZ2018.pdf>.

Costa, M. M., Di Mauro, A. O., Trevisol, S. H. U., Arirel, H. C., Bárbaro, I. M. & Muniz, F. R. S. Ganho genético por diferentes critérios de seleção em populações segregantes de soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 2004; 39(11): 1095-1102.

Cruz, C. D. GENES – a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiarum*. 2013; 35(3): 271-276. doi: <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v35i3.21251>

Cruz, D. C., Reggazi, A. J. & Carneiro, P. C. S. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. 4. ed. Viçosa: UFV; 2012. 508 p.

Dalchiavon, F. C., Malacarne, B. J. & de Carvalho, C. G. P. Características agronômicas de genótipos de girassol (*Helianthus annuus* L.) em segunda safra no Chapadão dos Parecis, MT. *Revista de Ciências Agrárias*. 2016; 39(1): 178-186. doi: <http://dx.doi.org/10.19084/RCA15049>

Dini, M. Herdabilidade e segregação de caracteres de importância econômica no pessegueiro [Dissertação de Mestrado]. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas; 2016.

FAO – Food and Agricultural Organization of the United Nations. 2018. [Acesso em: 16 mar. 2020]. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>.

Feitosa, H. O., Farias, G. C., Silva Júnior, R. J. C., Ferreira, F. J., Andrade Filho, F. L. & Lacerda, A. F. Influência da adubação borácica e potássica no desempenho do girassol. *Comunicata Scientiae*. 2013; 4(3): 302-307.

Giaretta, L. C. Parâmetros genéticos e seleção fenotípica em população F2 de soja oriunda de germoplasma convencional e RR [Trabalho de Conclusão de Curso]. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia; 2020.

- Gomes, D. P., Bringel, J. M. M., Moraes, M. F. H., Kronka, A. Z. & Torres, S. B. Características agrônômicas de genótipos de girassol cultivados em São Luiz – MA. *Revista Caatinga*. 2007; 20(3): 213-216.
- Gonçalves, G. M., Viana, A. P., Bezerra Neto, F. V., Pereira, M. G. & Pereira, T. N. S. Seleção e herdabilidade na predição de ganhos genéticos em maracujá-amarelo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 2007; 42(2): 193-198.
- Knowles, P. E. Morphology and anatomy. In: Carter, J. F. (ed.). *Sunflower science and technology*. Madison: ASA; 1978. p. 55-88.
- Kumar, R., Ameta, K. D., Dubey, R. B. & Pareek, S. Genetic variability, correlation and path analysis in spongegourd (*Luffa cylindrica* Roem.). *African Journal of Biotechnology*. 2013; 12(6): 539-543.
doi: <https://doi.org/10.5897/AJB12.2968>
- Lira, E. G., Amabile, R. F., Fagioli & Montalvão, A. P. L. Genetic parameters, phenotypic, genotypic and environmental correlations and genetic variability on sunflower in the Brazilian Savannah. *Revista Ciência Rural*. 2017; 47(8): 1-7.
doi: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20160719>
- Lira Júnior, J. S., Bezerra, J. E. F., de Moura, R. J. M. & dos Santos, V. F. Repetibilidade da produção, número e peso de fruto em cirigueira (*Spondias purpurea* L.). *Revista Brasileira de Fruticultura*. 2014; 36(1): 214-220.
doi: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-2945-294/13>
- Oliveira, E. J. de, de Lima, D. S., Lucena, R. S., Motta, T. B. N. & Dantas, J. L. L. Correlações genéticas e análise de trilha para número de frutos comerciais por planta em mamoeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 2010; 45(8): 855-862.
- Nandini, V., Manivannan, N. & Chandirakala, R. Genetic variability and association studies in RIL population of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Madras Agriculture*. 2017; 104(4-6): 114-117.
- Nobre, D. A. C., Resende, J. C. F. de, Brandão Junior, D. da S., Costa, C. A. da & Moraes, D. de L. B. Desempenho agrônômico de genótipos de girassol no norte de Minas Gerais. *Revista Agro@ambiente On-line*. 2012; 6(2): 140-147.
DOI: <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470agro.v6i2.781>
- Nobre, D. A. C., Silva, F. C. S., Guimarães, J. F. R., Resende, J. C. F. & Macedo, W. R. Análise de trilha e correlação canônica nos componentes do desempenho de girassol. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*. 2018; 4(3): 364-369.
doi: <https://doi.org/10.18540/jcecvl4iss3pp0364-0369>
- Nogueira, A. P. O., Sedyama, T., Sousa, L. B., Hamawaki, O. T., Cruz, C. D., Pereira, D. G. & Matsuo, É. Análise de trilha e correlações entre caracteres em soja cultivada em duas épocas de semeadura. *Bioscience Journal*. 2012; 28(6): 877-888.
- Oliveira, M. F., Castiglioni, V. B. R. & Carvalho, C. G. P. Melhoramento do girassol. In: Leite, R. M. V. B. de C., Brighenti, A. M. & Castro, C. de (Ed.). *Girassol no Brasil*. Londrina: Embrapa Soja; 2005. p. 269-297.
- Oliveira, S. L., Gomes Filho, A., Soares, D. P., Moreira, E. F., Chaga, L. M., Silva, G. G. & Gomes, P. L. Dissimilaridade fenotípica em genótipos de girassol cultivados no Norte de Minas Gerais. *Agri-Environmental Sciences*. 2017; 3(2): 19-28.
- Pereira, D. R., De Godoy, M. M., Sampaio, C. C., Silva, T. V., Felix, M. J. D. & Oliveira, R. L. R. de. Uso do girassol (*Helianthus annuus*) na alimentação animal: aspectos produtivos e nutricionais. *Veterinária e Zootecnia*. 2016; 23(2): 174-183.
- Porto, W. S., Carvalho, C. G. P. de & Pinto, R. J. B. Adaptabilidade e estabilidade como critérios para seleção de genótipos de girassol. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 2007; 42(4): 491-499.
- Raizer, E., Molinari, D., Reinehr, T. O., Fetsch, V. T., Awadallak, J. A., da Silva, C. & da Silva, E. A. Produção de ácidos graxos livres através de hidrólise enzimática do óleo de girassol em ultrassom. *Revista Tecnológica*. 2015; 63-71.
doi: <https://doi.org/10.4025/revtecnol.v0i0.25997>

Rani, R., Sheoran, R. K. & Sharma, B. Studies on variability, heritability and genetic advance for quantitative traits in sunflower (*Helianthus annuus* L.) genotypes. *Research in Environment and Life Sciences*. 2017; 10(6): 491-493.

Rossmann, H. Estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos de uma população de soja avaliada em quatro anos [Dissertação de Mestrado]. Piracicaba: Universidade de São Paulo; 2001.

Salgado, P. R., Drago, S. R., Ortiz, S. E. M., Petruccelli, S., Andrich, O., González, R. J. & Mauri, A. N. Production and characterization of sunflower (*Helianthus annuus* L.) protein-enriched products obtained at pilot plant scale. *LWT - Food Science and Technology*. 2012; 45(1): 65-72.
doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.07.021>

Santos, A. M. P. B., Peixoto, C. P., Almeida, A. T., Santos, J. M. da S. & Machado, G. S. Tamanho ótimo de parcela para a cultura de girassol em três arranjos espaciais de plantas. *Revista Caatinga*. 2015; 28(4): 265-273.

Santos, L. L., Gomes Filho, A., Leandro, R. I., Carvalho, F. M., Gomes, P. L. & Siqueira, A. L. Desempenho agrônômico de variedades de feijão-caupi produzidas sem regime irrigado e sob déficit hídrico no semiárido mineiro. *Agri-Environmental Sciences*. 2016; 2(1): 1-14.

Silva, J. A. G., Schwertner, D. V., Kruger, C. A. M. B., Carbonera, R., Maixner, A. R., Garcia, D. C., Crestani, M., Gaviraghi, F., Martins, J. A. K. & Matter, E. Estimativas de herdabilidade e correlações para caracteres agrônômicos em girassol. *Current Agricultural Science and Technology*. 2011; 17(1): 51-58.
doi: <http://dx.doi.org/10.18539/cast.v17i1.2031>

Ungaro, M. R. G., Nogueira, S. S. S. & Nagai, V. Parâmetros fisiológicos, produção de aquênios e fitomassa de girassol em diferentes épocas de cultivo. *Bragantia*. 2000; 59(2): 205-211.

USDA – United States Department of Agriculture. Oilseeds: World markets and trade. 2019. [Acesso em: 21 abr. 2020]. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/oilseeds.pdf>.

Vogt, G. A., Balbinot Junior, A. A. & Souza, A. M. Divergência genética entre cultivares de girassol no planalto norte catarinense. *Scientia Agrária*. 2010; 11(4): 307-315.
doi: <http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v11i4.18265>

Zobiole, L. H. S., Castro, C., Oliveira, F. A. & Oliveira Junior, A. Marcha de absorção de macronutrientes na cultura do girassol. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 2010; 34(2): 426-433.
doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000200016>