v7.n12.2026

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

VARIABILIDADE TÉRMICA ASSOCIADA AO EL NIÑO E SUA RELAÇÃO COM TEMPERATURA DO SOLO E A PRODUTIVIDADE DA LINHAÇA

THERMAL VARIABILITY ASSOCIATED WITH EL NIÑO AND ITS RELATIONSHIP WITH SOIL TEMPERATURE AND FLAXSEED PRODUCTIVITY

VARIABILIDAD TÉRMICA ASOCIADA A EL NIÑO Y SU RELACIÓN CON LA TEMPERATURA DEL SUELO Y LA PRODUCTIVIDAD DE LINO

Carla Eloize Carducci[1], Leosane Cristina Bosco[2], Samara Martins Barbosa[3], Fábio Satoshi Higashikawa[4]

https://doi.org/10.47820/recima21.v7i12.9663

PUBLICADO: 12/2026

RESUMO

Este estudo avaliou a influência das condições térmicas e hídricas associadas ao El Niño (fase quente do ENSO) sobre a temperatura do solo, o desenvolvimento fenológico e a produtividade de genótipos de linhaça cultivados sob manejo conservacionista em Dourados, MS. O experimento, conduzido em blocos ao acaso, com três repetições, comparou um ano de condições meteorológicas neutras (2018) com outro sob influência do El Niño (2019). Foram avaliados quatro genótipos: Caburé e Aguará (INTA), Marrom e Dourada (UFSC). A temperatura do solo foi monitorada com geotermômetros instalados a 0,10 m de profundidade, enquanto dados meteorológicos foram registrados por estação automática durante o ciclo da cultura. Avaliaram-se a duração das fases fenológicas e a produtividade. Em 2019, a produtividade foi aproximadamente 79% menor, resultado associado à elevada amplitude térmica diária do ar (12,7 °C), à distribuição irregular das chuvas e à redução da fase de maturação para 10 dias. A temperatura média do solo, a uma profundidade de 0,10 m, diferiu em apenas 0,5 °C entre os dois anos; esse efeito foi insuficiente para evitar perdas na produtividade. Os genótipos Dourada e Marrom se destacaram; registrou-se redução média de produtividade de 14,8 sacas ha^{-1}. A faixa de temperatura do ar entre 15 e 20 °C foi a mais favorável ao desenvolvimento da cultura. Apesar da estabilização da temperatura do solo no manejo avaliado, a produtividade da linhaça permaneceu fortemente associada às condições atmosféricas observadas durante o El Niño.

PALAVRAS-CHAVE: *Linum usitatissimum* L. ENSO. Fenologia. Amplitude térmica.

ABSTRACT

This study evaluated the influence of thermal and water conditions associated with El Niño (the warm phase of ENSO) on soil temperature, phenological development, and yield of flax genotypes grown under conservation management in Dourados, Mato Grosso do Sul, Brazil. A randomized complete block experiment with three replications compared a meteorologically neutral year (2018) with an El Niño year (2019). Four genotypes were evaluated: Caburé and Aguará (INTA), and Marrom and Dourada (UFSC). Soil temperature was monitored using geothermometers installed at a depth of 0.10 m, while meteorological data were recorded by an automated weather station throughout the crop cycle. Phenological stage duration and yield were assessed. In 2019, yield was approximately 79% lower, associated with a high diurnal air temperature range (12.7 °C), irregular rainfall distribution, and a maturation stage shortened to 10 days. Mean soil temperature at a depth of 0.10 m differed by only 0.5 °C between the two years; this effect was insufficient to prevent yield losses. Dourada and Marrom exhibited the highest yields, while the average yield reduction across the four genotypes was 14.8 bags ha^{-1} between 2018 and 2019.

[1] DSc Ciência do Solo, Professora FCA/UFGD.
[2] DSc Agrometeorologia, Professora UFSC/Campus Curitibanos.
[3] DSc Ciência do Solo, Professora DCS/UFLA.
[4] DSc Ciência do Solo, Pesquisador Embrapa Amazônia Oriental CPATU.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Air temperatures between 15 and 20 °C were most favorable for crop development. Despite the stabilization of soil temperature under the conservation management evaluated, flax yield remained strongly associated with atmospheric conditions observed during El Niño.

KEYWORDS: *Linum usitatissimum L. ENSO. Phenology. Temperature Range.*

RESUMEN
Se evaluó la influencia de las condiciones térmicas e hídricas asociadas con El Niño (fase cálida del ENSO) sobre la temperatura del suelo, el desarrollo fenológico y el rendimiento de genotipos de lino cultivados bajo prácticas de conservación del suelo en Dourados, Brasil. El experimento, realizado en bloques al azar con tres repeticiones, comparó un año con condiciones meteorológicas neutras (2018) y otro bajo la influencia de El Niño (2019). Se evaluaron cuatro genotipos: Caburé y Aguará (INTA), Marrom y Dourada (UFSC). La temperatura del suelo se registró mediante geotermómetros instalados a 0,10 m de profundidad, y los datos meteorológicos se registraron mediante una estación automática durante el cultivo. Se evaluaron la duración de las fases fenológicas y el rendimiento. En 2019, el rendimiento fue aproximadamente un 79 % menor, asociado con una elevada amplitud térmica diaria del aire (12,7 °C), una distribución irregular de las precipitaciones y la reducción de la fase de maduración a 10 días. La temperatura media del suelo a 0,10 m de profundidad presentó una diferencia de apenas 0,5 °C entre los dos años evaluados; este efecto no evitó las pérdidas de rendimiento. Dourada y Marrom se destacaron, y se registró una reducción media del rendimiento de 14,8 sacos ha^{-1}. Las temperaturas del aire entre 15 y 20 °C fueron las más favorables para el desarrollo del cultivo. Pese a la estabilización térmica del suelo mediante el manejo evaluado, el rendimiento del lino permaneció estrechamente asociado con las condiciones atmosféricas observadas durante El Niño.

PALABRAS CLAVE: *Linum usitatissimum L. ENSO. Fenología. Amplitud térmica.*

1. INTRODUÇÃO

O El Niño–Oscilação Sul (ENSO) é um dos principais fenômenos responsáveis pela variabilidade climática interanual, influenciando os padrões de precipitação e temperatura e, consequentemente, a produtividade agrícola em diversas regiões do mundo. Eventos ENSO de forte intensidade, como os registrados nos anos de 2015, 2016, 2019, 2023 e 2024, impactaram negativamente a produção de grãos (Anderson *et al.*, 2017; Cai *et al.*, 2020; NOAA, 2026). No Centro-Oeste brasileiro, particularmente na região sul de Mato Grosso do Sul, a ocorrência de eventos associados ao ENSO pode modificar o regime de precipitação e temperatura do ar, influenciando diretamente o desenvolvimento das culturas agrícolas, incluindo a linhaça. Entretanto, a magnitude desses efeitos apresenta elevada variabilidade espacial, tornando necessária sua avaliação em condições locais (Barbieri *et al.*, 2019; Cao *et al.,* 2023).

A linhaça (*Linum usitatissimum* L.) é uma oleaginosa de clima temperado, com manejo simples e baixo custo de produção (Stanck *et al.*, 2017; Anis et al., 2022). Embora, no Brasil, sua produção esteja concentrada na região Sul, seu cultivo tem despertado interesse em outras regiões produtoras, como o sul de Mato Grosso do Sul, onde a diversificação dos sistemas agrícolas de inverno representa alternativa importante para sustentabilidade da produção (Kiryluk

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

& Kostecka, 2020). Vale ressaltar que a cultura é amplamente produzida na Europa (fibras, ~96,8%) e Ásia (grãos, 43,6%), sendo as Américas o terceiro maior produtor mundial, aqui representado pelo Canadá, Argentina e Brasil (FAOSTAT, 2026).

A cultura possui diversas aplicações industriais como óleos, tintas, têxteis, plásticos e cosméticos, além de servir para alimentação humana e animal, produção de biomateriais e biocombustíveis. Além dessa versatilidade, é um alimento nutracêutico por possuir componentes químicos como proteínas, lignanas, fibras e ser uma fonte mais acessível de ômega-3 (ácido alfa-linolênico [ALA]), quando comparada às fontes marinhas de ácidos graxos poli-insaturados (Stanck *et al.*, 2017; Garcia *et al.*, 2020; Velho & Lúcio, 2021; Attia, 2023; Kauser *et al.*, 2023).

A linhaça é dependente das condições hidrotermais, sendo a disponibilidade de água no solo e a temperatura do ar os principais fatores ambientais que determinam sua produtividade e estabilidade de rendimento (Lin *et al.*, 2025). Déficit hídrico reduz significativamente o rendimento, especialmente quando ocorre entre o período de formação de botões florais e o florescimento, comprometendo também a qualidade do óleo e das fibras (Paliwal *et al.*, 2023; Garcia *et al.*, 2020). Da mesma forma, temperaturas elevadas aceleram o ciclo fenológico, reduzem a viabilidade do pólen, a formação de cápsulas e o enchimento de grãos, resultando em menores produtividades e maior instabilidade entre safras, sobretudo quando coincidem com a fase reprodutiva (Kohn *et al.,* 2016; Kohn *et al.,* 2020; Fioreze *et al.*, 2023; Lin *et al.,* 2025).

Considerando que eventos ENSO modificam os regimes de temperatura e precipitação, compreender como essas alterações afetam o ambiente térmico do solo (Mo *et al.,* 2018; Vieira *et al.,* 2020) e o desenvolvimento da linhaça é essencial para explicar a variabilidade da produtividade e subsidiar estratégias de manejo que aumentem a resiliência da cultura frente às anomalias climáticas. Embora existam estudos demonstrando os efeitos do ENSO sobre culturas agrícolas, ainda são escassas as informações acerca da influência desses eventos sobre a temperatura do solo e do ar e seus reflexos na produtividade da linhaça nas condições edafoclimáticas de Dourados, MS.

Diante disso, as hipóteses do trabalho foram: I) O fenômeno ENSO aumenta a amplitude térmica do ar e eleva a temperatura do solo durante as fases críticas da cultura da linhaça, mesmo em sistemas de manejo com cobertura vegetal; II) As anomalias térmicas e a má distribuição de chuvas provocadas pelo ENSO alteram a duração do ciclo fenológico, encurtando as fases de florescimento e maturação; e III) A elevação da temperatura (do solo e do ar) e a irregularidade hídrica reduzem drasticamente a produtividade da linhaça, sendo que as práticas de conservação do solo minimizam a oscilação térmica subsuperficial, mas não anulam os danos produtivos causados pelo estresse atmosférico.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

O objetivo do trabalho foi avaliar a influência da variabilidade térmica e hídrica associada ao fenômeno ENSO sobre a temperatura do solo, o desenvolvimento fenológico e o desempenho produtivo de genótipos de linhaça cultivados sob sistema conservacionista em Dourados, MS.

2. METODOLOGIA

2.1. Descrição das áreas de estudo

O experimento foi conduzido em dois anos consecutivos em que se comparou um ano com condições meteorológicas de neutralidade (2018) e um ano sob influência do ENSO (2019). O mesmo foi instalado na Universidade Federal da Grande Dourados, localizada em Dourados, MS, região Centro-Oeste, nas coordenadas geográficas 22°13'16'' S e 54°48'20'' O e 430 m de altitude. De acordo com a classificação de Köppen (Alvares *et al.*, 2013), o clima regional de Dourados é Aw, ou seja, clima mesotérmico úmido com verões quentes e invernos secos, temperaturas médias anuais máximas e mínimas de 29,1 e 17,5°C, respectivamente, e precipitação média anual de 1.442 mm. O solo em estudo foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distroférrico argiloso caulinítico originado de Basalto (LVdf) (Santos *et al.,* 2025) com boa fertilidade (Tabela 1).

Tabela 1. Atributos físicos, mineralógicos e químicos do LATOSSOLO VERMELHO Distroférrico.

	Argila*	Areia	Silte	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	P_2O_5	Ki	Kr	Al_2O_3/Fe_2O_3
	.....g kg^{-1}.....										
LVdf	670	150	181	238,08	199,22	232,92	14,23	2,10	1,19	0,55	0,86

Ano	pH	K	P	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	T	V	m	M.O	P-Rem
		...mg dm^{-3}...		.....cmolc dm^{-3}.....							.....%.....		dag kg^{-1}	mg L^{-1}
2018	6,6	282,36	30,09	7,31	2,27	0,04	2,86	10,30	10,34	13,16	78,30	0,39	2,73	22,86
2019	6,2	316,94	17,63	4,67	1,84	0,1	1,54	7,32	7,42	8,86	82,65	1,35	2,52	18,49

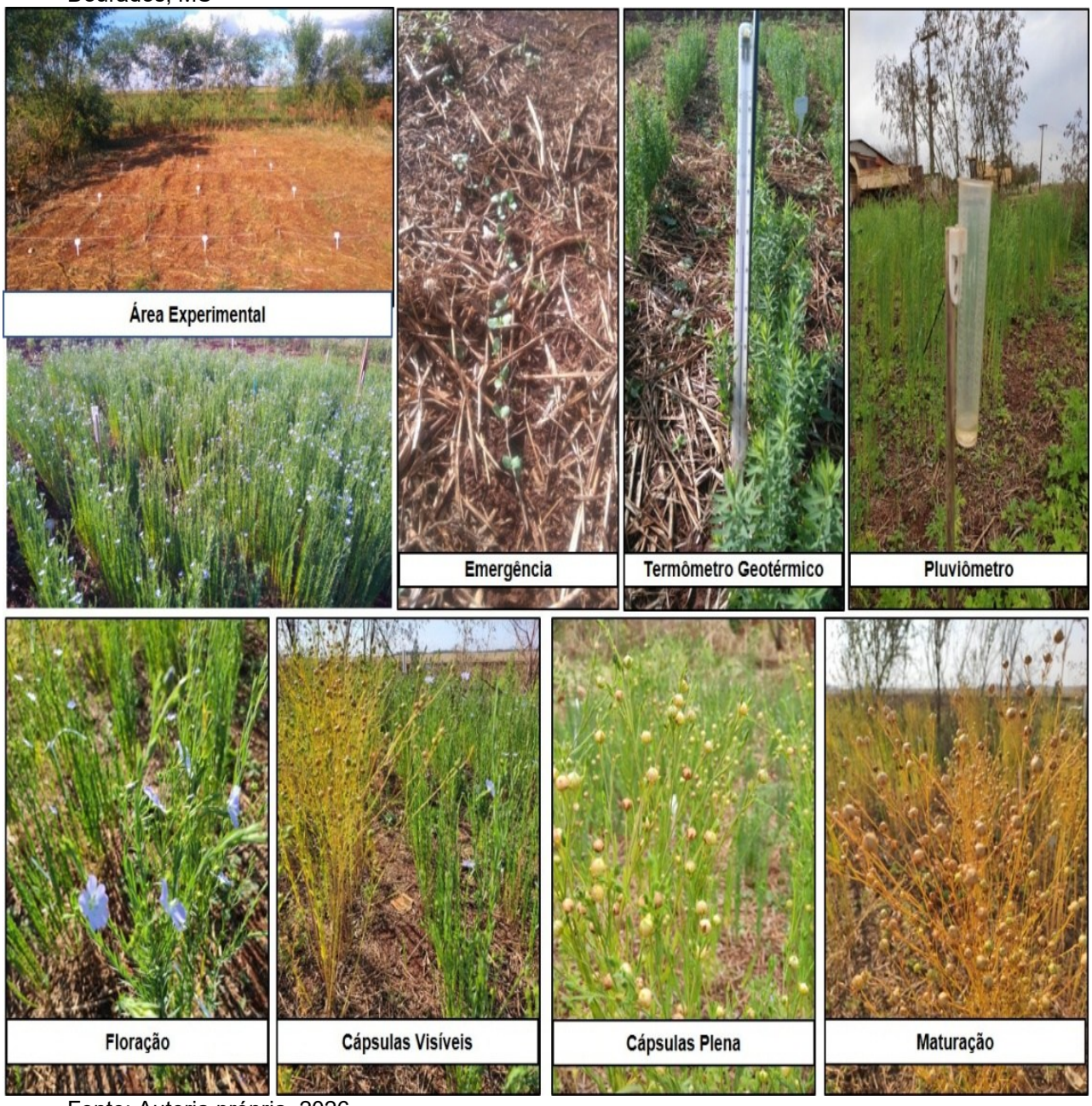
*Granulometria e ataque sulfúrico realizados no horizonte Bw (0,80 m de profundidade).
Análises químicas realizadas na camada de 0-0,20m.
Fonte: Autoria própria, 2026.

Anteriormente à instalação do experimento, foi necessária a aração (2 passadas) em área total para controle de plantas espontâneas, homogeneização dos agregados do solo para quebra de histórico de tensões e reservatório ou "pools" de carbono, para isso foi utilizado um arado de disco, com discos de 28 polegadas e ação a 0,35 m de profundidade, além da reposição de fósforo localizado na linha de plantio (12 g m^{-2} formulado [8-20-20]) devido à alta adsorção característica dos Latossolos brasileiros (Santos *et al.*, 2025). Foi adicionado na superfície do solo palhada de feno de aveia (*Avena sativa*) (3,9 Mg ha^{-1}), simulando sucessão de culturas em

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

ambos os anos avaliados, além de ser fonte de material orgânico e proteção contra erosão, essa foi a técnica de pousio na entressafra da linhaça, visto a oferta do produto. Concomitantemente foi instalado nas bordaduras da área experimental o feijão-guandu (*Cajanus cajan*) que serve como repositor de nitrogênio orgânico e quebra-vento (Figura 1).

Figura 1. Descrição da área experimental, instrumentos térmicos e pluviométricos, estágios fenológicos da cultura da linhaça cultivadas sob manejo conservacionista do solo em Dourados, MS



Fonte: Autoria própria, 2026.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Foram utilizados genótipos de linhaça com grãos de coloração marrom-avermelhado, como a Aguará e Caburé provenientes do Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) da Argentina, um marrom da UFSC-Brasil/Epagri-SC, e um genótipo com grãos de coloração amarelo-dourada proveniente da UFSC-Brasil. A semeadura foi direta e manualmente realizada na segunda quinzena de abril em ambos os anos de estudo, com espaçamento entre linhas de 0,39 m e 0,02 m entre plantas, com quatro linhas úteis por parcela. A área total do experimento correspondeu a 270 m² equivalente a 24 parcelas, para eliminar possíveis interferências entre as parcelas, a bordadura correspondeu a duas linhas das extremidades e as três últimas plantas. Nesse sentido ambos os experimentos foram conduzidos exatamente nas mesmas condições experimentais: área, genótipos e práticas de manejo, de modo a minimizar a interferência de fatores edáficos e agronômicos na comparação entre os anos agrícolas.

2.2. Temperatura do solo

Foram utilizados quatro geotermômetros analógicos distribuídos na linha de plantio, instalados na profundidade de 0,10 m. Esta foi selecionada para acompanhar a dinâmica térmica da camada superficial do solo, sendo esta mais influenciada pelo fluxo de calor (solo/atmosfera) e pela cobertura vegetal (Figura 1). As leituras manuais ocorreram semanalmente ao longo de 130 dias o que corresponde ao ciclo da cultura, sendo as leituras realizadas às 09h e às 15h. Esses horários foram escolhidos devido à formação do ângulo solar com maior incidência dos raios solares e acúmulo de calor sobre a superfície do solo (Vieira *et al.*, 2020) e assim, representar diferentes condições de aquecimento do solo ao longo do período diurno. Ressalta-se que a frequência semanal e os dois horários de monitoramento permitiram caracterizar a variação térmica nos momentos avaliados, mas não a amplitude térmica diária completa do solo, uma vez que os valores extremos poderiam ocorrer fora dos horários de leitura.

2.3. Dados meteorológicos

As variáveis climáticas foram monitoradas semanalmente: precipitação, temperatura máxima e mínima por meio de pluviômetros e sensores HOBO instalados na área, além dos dados obtidos de estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), instalada na Embrapa-CPAO, Dourados, MS.

2.4. Estágios fenológicos e produtividade

Quatro plantas foram selecionadas e marcadas aleatoriamente no centro de cada parcela para identificar os estágios de emergência (EM), início da floração (IF), aparecimento das primeiras cápsulas visíveis (CV), início da maturação (IM) e colheita (COL) conforme detalhado em Bosco *et al.* (2020).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

A produtividade da linhaça foi determinada na fase de colheita pela massa total dos grãos colhidos por parcela e estimada para hectares (kg ha^{-1}) e por sacas por hectare (sacas ha^{-1}).

2.5. Balanço hídrico

O balanço hídrico sequencial durante os períodos experimentais foi calculado de acordo com o método de Thornthwaite & Mather (1955), elaborado para o acompanhamento do armazenamento de água no solo em tempo real. Dados meteorológicos de radiação solar, temperatura do ar, umidade do ar, velocidade do vento e precipitação pluvial foram obtidos de estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), instalada na Embrapa-CPAO, Dourados, MS. Esses dados foram utilizados para determinação da evapotranspiração de referência (ETo) conforme estabelece o método de Penman-Monteith. A evapotranspiração de cultura (ETc) foi determinada considerando o coeficiente de cultura (Kc) constante para linhaça de 1,05 (Allen et al., 1998). A capacidade de água disponível (CAD) determinada pela diferença entre os conteúdos volumétricos na capacidade de campo e ponto de murcha permanente correspondeu ao valor de 0,20 cm^3 cm^{-3} na camada de 0-0,30 m, correspondente à profundidade efetiva do sistema radicular da cultura como descrito em Xavier *et al.* (2018) que avaliaram a mesma área experimental deste estudo.

2.6. Análises estatísticas

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com três repetições, sendo os tratamentos os genótipos de linhaça (*Linum usitatissimum* L.): Aguará, Caburé, Marrom UFSC e Dourada UFSC durante dois anos agrícolas consecutivos (2018 e 2019) caracterizados por condições meteorológicas distintas.

As variáveis agrometeorológicas, incluindo temperatura do ar e do solo, amplitude térmica, precipitação pluvial e balanço hídrico, foram analisadas por estatística descritiva, com representação gráfica de sua distribuição temporal durante o ciclo da cultura. Os anos foram tratados como ambientes temporais distintos, sem realização de análise conjunta de variância para essas variáveis ou avaliação da interação ano × genótipo. Foram ajustadas regressões lineares simples para investigar de forma exploratória as associações entre temperatura e produtividade, utilizando o Microsoft Excel (função PROJ.LIN). Os modelos foram apresentados por suas equações e coeficientes de determinação (R^2), sem atribuição de causalidade às associações identificadas. A duração das fases fenológicas foi avaliada descritivamente, considerando as diferenças observadas entre os genótipos e os anos agrícolas.

Para representar as tendências temporais da temperatura do solo, foram utilizados ajustes de regressão polinomial de caráter descritivo, apresentados por suas respectivas equações e coeficientes de determinação (R^2). Os ajustes foram empregados exclusivamente

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

para caracterizar o comportamento térmico durante os períodos avaliados, sem finalidade de inferência estatística.

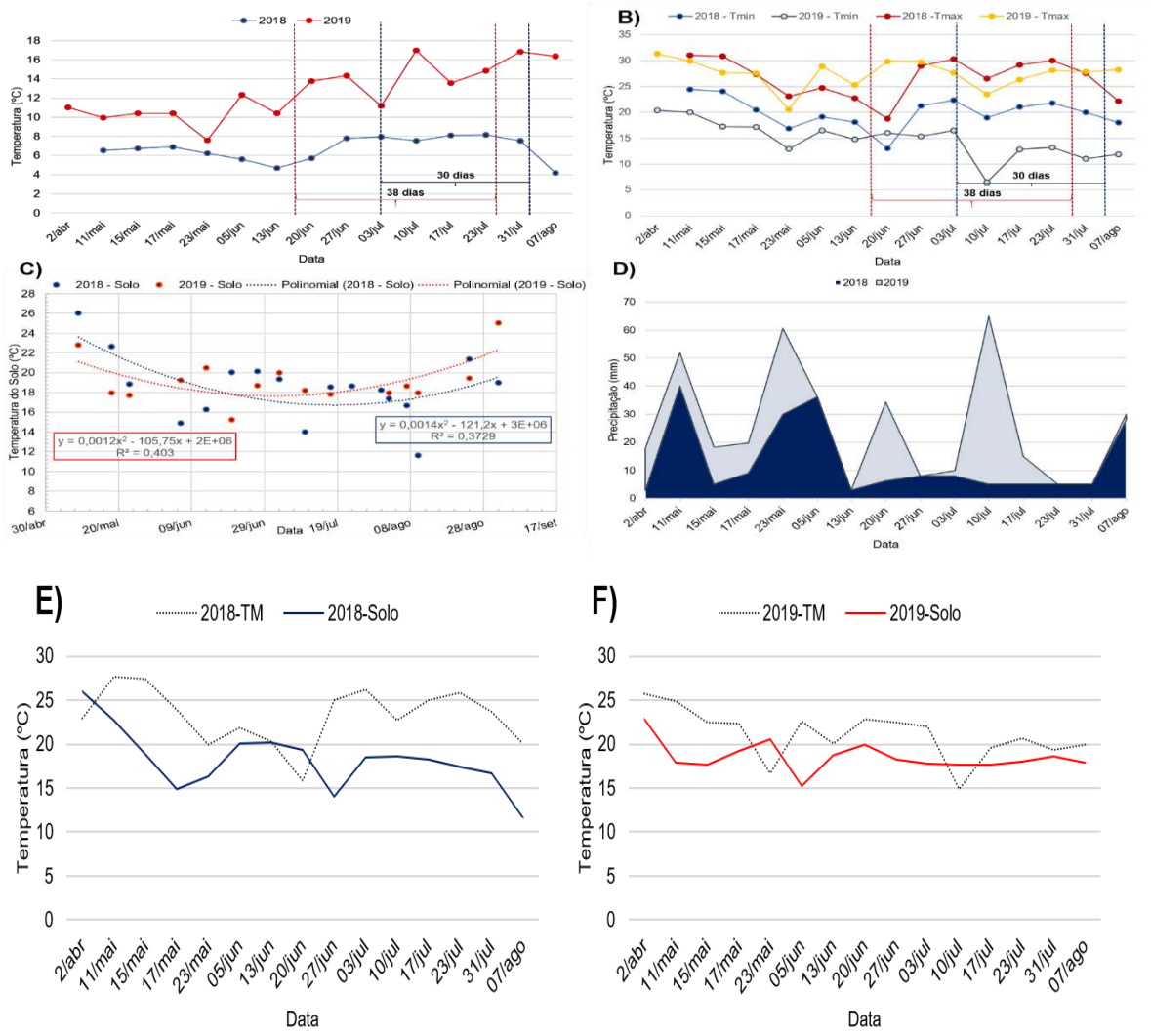
Os dados de produtividade dos quatro genótipos entre os anos de monitoramento (2018 e 2019) foram submetidos ao teste de normalidade dos resíduos por Shapiro-Wilk e à análise de variância (P<0,05) e quando pertinentes a comparação das médias pelo teste de Tukey (p<0,05), com auxílio do programa SISVAR (Ferreira *et al.*, 2011). Os resultados obtidos apoiaram as informações agronômicas complementares à caracterização das condições agrometeorológicas avaliadas neste estudo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o ciclo da cultura a temperatura média do ar foi de 23,3 e 21,1ºC e a média registrada no solo foi de 18,5 e 19,0ºC em 2018 e 2019, respectivamente. A menor amplitude térmica durante o ciclo da linhaça ocorreu em 2018, especialmente entre os estágios de florescimento até a maturação dos grãos (IF-IM), com período de 30 dias (Figura 2A, B, E), visto que a temperatura do ar variou de 13 a 31ºC. No ano seguinte, a temperatura do ar mudou, com a mínima registrada em 6,4ºC e a máxima em 31,3ºC, a partir desse mesmo estágio fenológico, o que prolongou o período de florescimento até a maturação em 8 dias em comparação a 2018. A variação térmica em 2018 chegou a 7,0ºC, enquanto 2019 chegou a 12,7ºC (Figura 2A).

Figura 2. A) Amplitude térmica (diferença entre mínima e máxima). B) Temperaturas máximas (Tmax) e mínimas (Tmin). C) Temperatura do solo. D) Precipitação. E e F) Média da temperatura do ar e do solo nos anos de 2018 e 2019, durante o ciclo da cultura sob manejo conservacionista do solo em Dourados, MS. Nos painéis A e B a linha pontilhada azul (2018, ciclo 30 dias) e vermelha (2019, ciclo de 38 dias) se refere a fase fenológica: início da floração até a maturação dos grãos (IF-IM). As curvas polinomiais do painel C representam ajustes descritivos da variação temporal da temperatura do solo

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.



Fonte: Autoria própria, 2026.

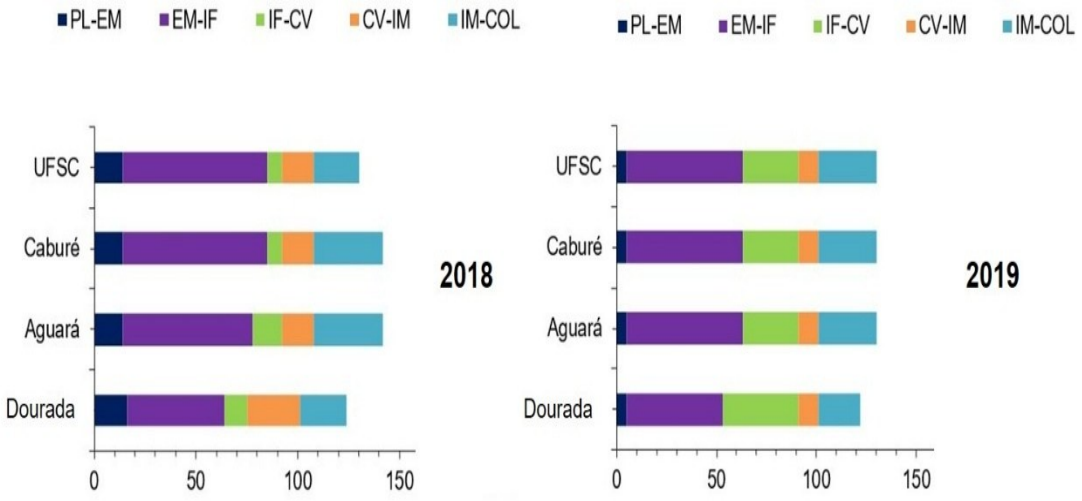
Nesse mesmo período do monitoramento atmosférico, os geotermômetros registraram o aumento da temperatura do solo em 2019 (Figura 2C, F) se mantendo acima de 18ºC (Figura 2C), em todo o período que correspondeu do florescimento à maturação dos grãos (IF-IM), ponto este observado pelo cruzamento dos modelos de temperatura a partir do dia 20 de junho (Figura 2C, F), e posterior a essa data a oscilação de temperatura do solo no intervalo de 15 a 20ºC.

Com relação à precipitação pluvial no período monitorado, o acumulado foi de 196 mm e 184 mm em 2018 e 2019, respectivamente (Figura 2D), apesar da pouca diferença em 2018 houve melhor distribuição das chuvas. Em contrapartida, no ano sob influência do ENSO, houve picos de concentração de chuvas na fase fenológica que correspondeu à formação das cápsulas e final de maturação dos grãos (CV-IM) (Figura 3) causando excessos hídricos, como identificado pelo balanço hídrico da cultura, no final de junho e mês de julho (Figura 4).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Os estágios fenológicos da linhaça permitiram observar as diferenças de desenvolvimento dos genótipos inseridos no mesmo ambiente de produção com anos meteorologicamente distintos (Figura 3). O ciclo de desenvolvimento mais longo foi observado para os genótipos Caburé e Aguará ambos de origem argentina, onde a colheita foi realizada aos 142 dias após semeadura, já os genótipos Dourada e Marrom ambos brasileiros (UFSC), finalizaram seu ciclo aos 124 e 130 dias após a semeadura em 2018. No ano seguinte todos os genótipos entraram em estágio de colheita simultaneamente. Em 2019 a duração da fase entre plantio e emergência (PL-EM) foi de 5 dias para todos os genótipos e a fase da floração até as primeiras cápsulas visíveis (IF-CV) foi superior a 2018, com 21 dias a mais em detrimento da fase seguinte, a de maturação (CV-IM) que foi apenas de 10 dias.

Figura 3. Ciclo de desenvolvimento dos genótipos de linhaça em dias: Aguará, Caburé, UFSC e Dourada nos anos de 2018 e 2019, cultivadas sob manejo conservacionista do solo em Dourados, MS. PL-EM: semeadura à emergência; EM-IF: emergência ao início da floração; IF-CV: início da floração à cápsula visível; CV-IM: cápsula visível ao início da maturação; IM-COL: início da maturação à colheita

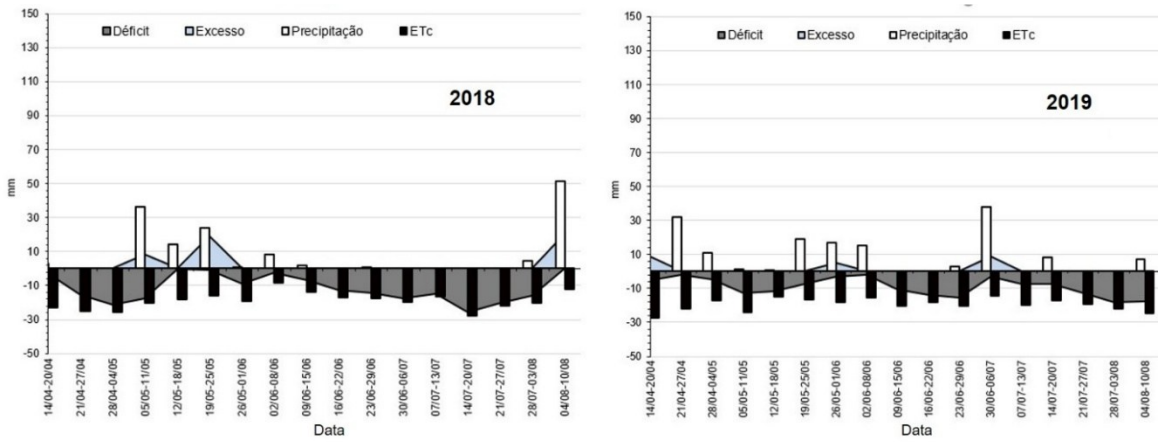


Fonte: Autoria própria, 2026.

No balanço hídrico foi possível observar que os períodos de excesso hídrico em 2018 ocorreram na fase inicial de desenvolvimento da cultura (PL-EM e EM-IF) (Figura 4). Por outro lado, em 2019 o excesso hídrico coincidiu com a fase vegetativa (EM-IF), ou seja, no mês de maio e a fase de formação de cápsulas e enchimento de grãos (CV-IM) correspondeu ao final de junho e o mês de julho. A evapotranspiração da cultura foi maior na fase de colheita (agosto) especialmente em 2018.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Figura 4. Balanço Hídrico da cultura da linhaça nos anos de 2018 e 2019, considerando déficit e excesso de água no solo, precipitação pluvial semanal e evapotranspiração da cultura (ETc).



Fonte: Autoria própria, 2026.

Com relação às produtividades dos genótipos, estes apresentaram valores relativamente próximos dentro de cada ano agrícola, enquanto a comparação entre os anos evidenciou redução expressiva do rendimento, próxima a 79% (Tabela 2).

Tabela 2. Produtividade dos genótipos de linhaça: Caburé, Aguará, UFSC e Dourada nos anos de 2018 e 2019, cultivadas sob manejo conservacionista do solo em Dourados, MS.

	Produtividade (kg ha^{-1})*		Produtividade (saca ha^{-1})	
Genótipos	2018	2019	2018	2019
Caburé	1.003,57a	186,78b	16,7a	3,1b
Aguará	1.044,12a	141,11b	17,4a	2,4b
UFSC	1.177,81a	253,43b	19,6a	4,2b
Dourada	1.300,23a	384,90b	21,7a	6,4b

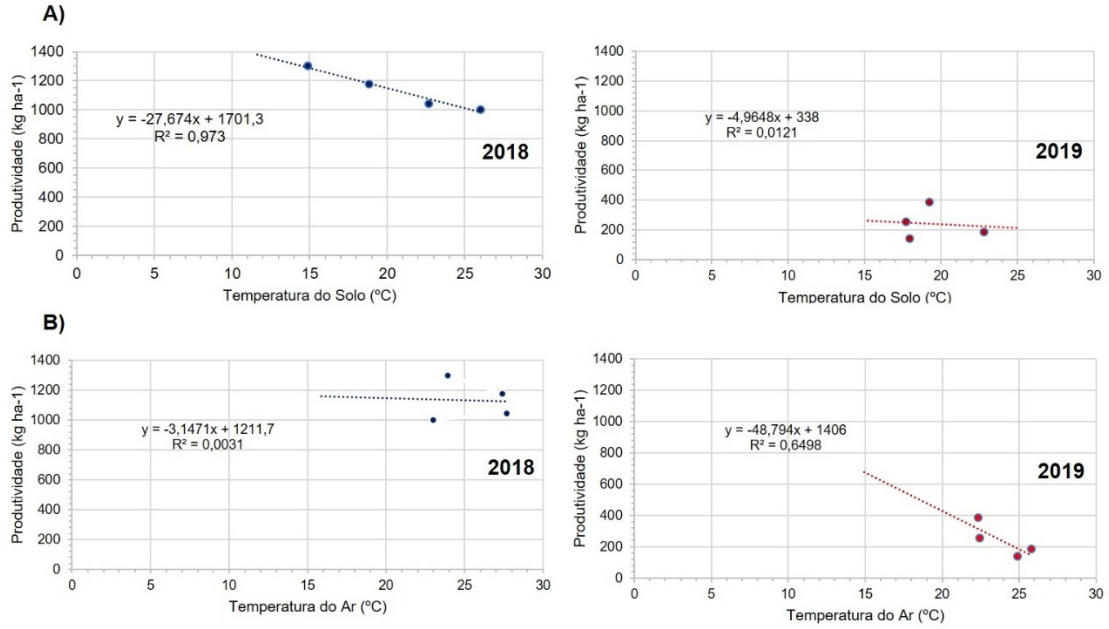
*significativo ($p<0,05$). Letras iguais, minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p<0,05$).
Fonte: Autoria própria, 2026.

A análise exploratória das relações entre temperatura média do solo, do ar e produtividade evidenciou as diferenças no desenvolvimento e produtividade da linhaça de um ano para o outro. Os ajustes de regressão linear simples entre temperatura e produtividade foram distintos entre os anos avaliados (Figura 5). Em 2018, observou-se elevado coeficiente de determinação para a relação entre temperatura do solo e produtividade ($R^2 = 0,973$), ou seja, tendência de redução de produtividade com o aumento da temperatura do solo, enquanto a temperatura do ar apresentou ajuste linear praticamente inexistente ($R^2 = 0,0001$). Em 2019, sob influência do ENSO, o comportamento foi inverso, com baixo ajuste linear para a temperatura do

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

solo (R^2 = 0,0121), evidenciado pela associação linear pouco expressiva e maior coeficiente de determinação da temperatura do ar (R^2 = 0,6498) (Figura 5), o que isoladamente, não explicou satisfatoriamente a variação da produtividade entre os genótipos. Não obstante, os resultados encontrados reforçam a necessidade de considerar conjuntamente as condições térmicas e hídricas na interpretação do desempenho produtivo da linhaça.

Figura 5. Relação entre a temperatura do solo e a produtividade (A) e entre a temperatura média do ar e a produtividade (B) dos genótipos de linhaça, nos anos de 2018 e 2019, sob manejo conservacionista do solo, em Dourados, MS. As linhas representam ajustes exploratórios de regressão linear simples, com as respectivas equações e coeficientes de determinação (R^2).



Fonte: Autoria própria, 2026.

Os resultados sugerem diferenças na associação entre as variáveis térmicas e o desempenho produtivo da linhaça nos dois ambientes temporais. Entretanto, os ajustes devem ser interpretados de forma exploratória, considerando o número limitado de observações e a influência concomitante de outros fatores meteorológicos, especialmente a distribuição das precipitações (Figura 2D). Dessa forma, os coeficientes de determinação descrevem as tendências observadas, sem demonstrar, isoladamente, significância das regressões (Figura 5).

Fato semelhante foi observado por Bosco *et al.* (2020) ao avaliarem os mesmos genótipos em diferentes regiões de Santa Catarina por meio do monitoramento da temperatura

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

atmosférica e quantidade de horas de frio. Os autores relatam que a elevação da temperatura do ar encurtou a duração das fases fenológicas, reduzindo a produção. A fase vegetativa (emergência até o botão floral) apresentou a maior sensibilidade térmica, enquanto o fotoperíodo e a temperatura na fase reprodutiva definiram o acúmulo de biomassa e o rendimento dos grãos.

No presente estudo, a elevada amplitude térmica e as temperaturas mais altas registradas em 2019, ano de ENSO resultaram no encurtamento da fase de maturação (CV-IM), para apenas 10 dias, limitando o período de enchimento de grãos e corroborando a alta sensibilidade da cultura a estresses térmicos atmosféricos. Resultados semelhantes foram encontrados também por Carducci *et al.* (2018) e Xavier *et al.* (2018) ao avaliarem três genótipos de linhaça com sementes marrom, esses autores verificaram que a redução na produtividade ocorreu em função das altas temperaturas do ar associadas à baixa precipitação no ano avaliado.

Com relação às interações entre solo-planta-atmosfera, Carducci *et al.* (2021) avaliaram dois ambientes de produção distintos por meio da análise multivariada (PCA), sendo um deles em Dourados, MS. Os autores verificaram que o fator meteorológico: temperatura do ar e o fator solo: balanço de cargas elétricas influenciaram a produção de linhaça, corroborando os resultados deste estudo (Figura 5).

Vale lembrar que as precipitações acumuladas durante o ciclo da linhaça foram semelhantes entre os anos avaliados, porém com distribuição irregular em 2019 como citado anteriormente (Figura 2D). Fato este também observado por Kohn *et al.* (2016) ao avaliar o desempenho das raízes de linhaça e produção nos anos de 2014 e 2015 no estado de Santa Catarina, onde em 2015 foi registrada forte ocorrência do ENSO e, portanto, as raízes se concentraram na camada mais superficial do solo devido ao excesso hídrico, o que reduziu a produtividade em 40%. Anderson *et al.* (2017) confirmam reduções de até 72% da produção de milho, soja e aveia em anos de ENSO ao avaliar 30 anos de dados meteorológicos das Américas.

No ano de 2018, caracterizado por condições meteorológicas favoráveis, o rendimento médio dos genótipos avaliados em Dourados (1.131,43 kg ha^{-1}) superou a média nacional registrada pela FAOSTAT para o mesmo ano (987,1 kg ha^{-1}) (Tabela 3), demonstrando o elevado potencial produtivo da cultura na região sob o manejo conservacionista avaliado. Em contrapartida, no ano seguinte observou-se a redução na produtividade média da cultura (241,55 kg ha^{-1}), ficando expressivamente abaixo da média nacional de 2019 (953,2 kg ha^{-1}). Essa redução ocorreu no contexto das anomalias térmicas e hídricas influenciadas pelo fenômeno ENSO, o que foi também relatado por outros autores em cenários de estresse abiótico (Casa *et al.*, 1999; Anderson *et al.*, 2017; Xavier et al., 2018; Mo et al., 2018; Bosco *et al.,* 2020; Kohn *et al.*, 2020).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Tabela 3. Estimativa de hectares cultivados e produtividade de linhaça no Brasil entre 2018 e 2024 e nas Américas em 2024

	Ano de produção de Linhaça Brasil						
	2018	**2019**	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**
ha.	6.050	3.957	4.185	4.993	4.653	5.959	4.435
kg ha^{-1}	987,1	953,2	895,6	1.072,3	1.176,9	748,4	855,7
sacas ha^{-1}	16,5	15,9	14,9	17,9	19,6	12,5	14,3
	Países Produtores nas Américas						
	Canadá	**Argentina**	**Brasil**				
ha.	201.000	110.653	4.430				
kg ha^{-1}	1.281,00	1.100,00	856				
sacas ha^{-1}	21,35	18,33	14,26				

*Dados públicos fornecidos pela FAOSTAT: https://www.fao.org/faostat/en/#search/linseed
Fonte: Autoria própria, 2026.

Nesse sentido, utilizar sistemas de manejo conservacionista do solo, que preconizam a proteção da superfície e o controle térmico entre outros benefícios, pode minimizar as oscilações térmicas bruscas no solo, visto que dentro de cada ano, essa oscilação foi de apenas 5ºC na camada avaliada, e entre os anos a diferença da amplitude térmica média foi de 0,5ºC a mais em 2019 (Figura 2C, E, F). Essa proteção da superfície do solo, também foi discriminada em Vieira *et al.* (2020) ao avaliarem o impacto da temperatura do solo na produção do milho.

No entanto, é importante destacar que os experimentos foram conduzidos na mesma área experimental, com os mesmos genótipos e práticas de manejo, buscando minimizar a interferência de fatores edáficos e agronômicos sobre a resposta da linhaça. Dessa forma, as diferenças de produtividade observadas entre 2018 e 2019 ocorreram em um contexto de condições meteorológicas contrastantes, especialmente quanto à amplitude térmica do ar e à distribuição temporal das precipitações (Figura 2). Embora essas alterações sejam compatíveis com a influência do ENSO na região, a comparação de apenas dois anos agrícolas não permite isolar o efeito do fenômeno de outras variações atmosféricas interanuais. Assim, esses resultados evidenciam associações entre o comportamento térmico e hídrico do ambiente e o desempenho produtivo da linhaça, nas condições experimentais avaliadas.

De acordo com Anderson *et al.* (2017), o fenômeno ENSO é um dos principais fatores determinantes dos padrões globais de temperatura e precipitação que afeta a produção de diversas culturas agrícolas nas Américas. Os riscos para a agricultura induzidos por ele apresentam correlação não apenas em escalas espaciais, mas também ao longo de vários anos.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os genótipos Marrom e Dourada apresentaram os maiores rendimentos nos dois anos agrícolas. Porém, houve redução de 79% da produção de linhaça em 2019, ano sob influência do ENSO, com diferença média de 14,8 sacas ha^{-1} entre os quatro genótipos avaliados. Essa redução está associada à maior amplitude térmica do ar (12,7°C), à distribuição irregular das precipitações e à redução do intervalo da fase fenológica de formação das cápsulas visíveis e maturação dos grãos (CV-IM) para apenas 10 dias.

Sob manejo conservacionista, a temperatura do solo, na profundidade de 0,10 m, apresentou apenas 0,5ºC de diferença entre os anos avaliados evidenciando relativa estabilidade das médias térmicas nessa camada, apesar das condições atmosféricas contrastantes. Ressalta-se a importância das práticas conservacionistas do solo, especialmente da cobertura vegetal, por sua contribuição potencial à moderação da amplitude térmica no solo e, consequentemente, à manutenção de condições favoráveis ao desenvolvimento da linhaça. Entretanto, somente a estabilidade da temperatura do solo não foi suficiente para impedir as perdas de produtividade associadas às condições atmosféricas desfavoráveis observadas em 2019.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G., PEREIRA, L. S., RAES, D. & SMITH, M. (1998). *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements*. Rome: FAO, 300 p. (FAO – Irrigation and Drainage Paper, 56).

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M. & SPAROVEK, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*. 22(6), 711-728. doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507

ANDERSON, W., SEAGER, R., BAETHGEN, W. & CANE, M. (2017). Crop production variability in North and South America forced by life-cycles of the El Niño Southern Oscillation. *Agricultural and Forest Meteorology*. 239, 151–165. doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.03.008

ANIS, C.F., FERREIRA, R.C., XAVIER-GALEGO, J.C. & CARDUCCI, C.E. (2022). Viabilidade econômica para a produção de linhaça marrom. *Recima21*. 3(9), e391899. doi.org/10.47820/recima21.v3i9.1899

ATTIA, P. (2023). Applied nutritional biochemistry. p.339-340. In: *Outlive: the Science and art of longevity*. 1.ed. Intrinseca. Rio de Janeiro, RJ, 2023. p.496.

BARBIERI, J. D., DALLACORT, R., FREITAS, P. S. L., ARAÚJO, D. V., TIEPPO, R. C., & FENNER, W. (2019). Effects of the ENSO on the Variability of Precipitation and Air Temperature in Agricultural Regions of Mato Grosso State. *Journal of Agricultural Science*. 11, 91-102. doi.org/10.5539/jas.v11n9p91

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

BOSCO, L. C., BECKER, D., STANCK, L. T., CARDUCCI, C. E. & HARTHMANN, O. E. L. (2020). Linking meteorological conditions to linseed productivity and phenology in agroecosystems of Southern Brazil. *Brazilian Journal of Development*. 6(5), 24838-24868. doi.org/10.34117/bjdv6n5-077

CAI, W., MCPHADEN, M.J., GRIMM, A.M. *et al.* (2020). Climate impacts of the El Niño–Southern Oscillation on South America. *Nature Reviews Earth & Environment*. 1, 215–231. doi.org/10.1038/s43017-020-0040-3

CAO, J., ZHANG, Z., TAO, F., CHEN, Y., LUO, X. & XIE, J. (2023). Forecasting global crop yields based on El Nino Southern Oscillation early signals. *Agricultural Systems*. 205, 103564. doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103564

CARDUCCI, C. E., BOSCO, L. C., SCHOENINGER, V., HIGASHIKAWA, F. S., FERREIRA, R. C. & XAVIER, J. C. (2021). Multivariate analysis to characterize flaxseed production environments in Brazil. *Semina: Ciências Agrárias*. 42(6), 3685-3706. doi.org/10.5433/1679-0359.2021v42n6SUPL2p3685

CASA, R., RUSSELL, G., CASCIO, B. & ROSSINI, F. (1999). Environmental effects on linseed (Linum usitatissimum L.) yield and growth of flax at different stand densities. *European Journal of Agronomy*. 11, 267-278. doi.org/10.1016/s1161-0301(99)00037-4

FAOSTAT – FAO. (2026). *Statistics Division. Linseed. Disponível em: https://www.fao.org/faostat/en/#search/linseed. Acesso em: 18 jun. 2026.*

FERREIRA, D. F. (2011). Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*. 35(6),1039-1042. doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001

FIOREZE, A. C. D. C. L., KONKOL, A. C. B., KRASSMANN, K. A., ORSI, N., PARIZOTTO, C. & FIOREZE, S. L. (2023). Agronomic performance and yield stability of yellow flax genotypes in the state of Santa Catarina, Brazil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 58, 33-49. doi.org/10.1590/s1678-3921.pab2023.v58.03349

GARCIA, L.C., XAVIER, J.C., SEIXAS, F.R.F., SCHOENINGER, V., CARDOSO, C.A.L. & CARDUCCI, C.E. (2020). Flaxseeds produced in the Brazilian midwest: chemical and physical quality. *Brazilian Journal of Food Research*. 11(3), 39-53. https://periodicos.utfpr.edu.br/rebrapa/article/view/14568

KAUSER, S., HUSSAIN, A., ASHRAF, S., FATIMA, G., A., JAVARIA, S., ABIDEEN, Z. U., KABIR, K., YAQUB, S., AKRAM, S., SHEHZAD, A. & KORMA, S. A. (2023). Flaxseed (Linum usitatissimum); phytochemistry, pharmacological characteristics and functional food applications. *Food Chemistry Advances*. 4, 100573. doi.org/10.1016/j.focha.2023.100573

KIRYLUK, A. & KOSTECKA, J. (2020). Pro-Environmental and Health-Promoting Grounds for Restitution of Flax (Linum usitatissimum L.) Cultivation. *Journal of Ecological Engineering*. 21, 99-107. doi.org/10.12911/22998993/125443

KOHN, L. S., CARDUCCI, C. E., BARBOSA, J. S., BOSCO, L. C. & ROSSONI, D. F. (2020). Effect of flaxseed root performance on the structural quality of a Haplumbrept under conservationist management system, in Santa Catarina, Brazil. *Semina: Ciências Agrárias*. 41(6), 2523-2540. doi.org/10.5433/1679-0359.2020v41n6p2523

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

KOHN, L. S., CARDUCCI, C. E., SILVA, K. C. R., BARBOSA, J. S., FUCKS, J. S. & BENEVENUTE, P. A. N. (2016). Desenvolvimento das raízes de linho (*Linum usitatissimum L.*) em dois anos de cultivo sobre Cambissolo Húmico. *Scientia Agraria*. 17, 36-41. doi.org/10.5380/rsa.v17i1.46191

LIN, Z., LI, Y., HOOGENBOOM, G., GAO, Y., WU, B., WU, L., WU, L., ZHOU, H., YAN, B., LU, P., TANG, J., SU, S., WANG, Y., GUO, L. & ZHAO, Y. (2025). DSSAT modeling of oilseed flax (Linum usitatissimum L.): Sensitivity analysis of yield to weather variability and nitrogen application. *Field Crops Research*. 328, 109930. doi.org/10.1016/j.fcr.2025.109930

MO, F., YAN LI, X., JU NIU, F., RONG ZHANG, C., KE LI, S., ZHANG, L. & XIONG, Y.C. (2018). Alternating small and large ridges with full film mulching increase linseed (Linum usitatissimum L.) productivity and economic benefit in a rainfed semiarid environment. *Field Crops Research*. 219, 120–130. doi.org/10.1016/j.fcr.2018.01.036

NOAA – NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. (2026). El Niño. US Department of Commerce. Disponível em: https://search.usa.gov/search?utf8=%E2%9C%93&affiliate=noaa.gov&query=El+%C3%B1ino&commit= . Acesso em: 30 jun. 2026.

PALIWAL, S., TRIPATHI, M., TIWARI, S., TRIPATHI, N., PAYASI, D., TIWARI, P., SINGH, K., ASATI, R. & CHAUHAN, S. (2023). Molecular Advances to Combat Different Biotic and Abiotic Stresses in Linseed (Linum usitatissimum L.): A Comprehensive Review. *Genes (Basel)*. 14(7), 1461. doi.org/10.3390/genes14071461

SANTOS, H. G., JACOMINE, P. K. T., ANJOS, L. H. C., OLIVEIRA, V. A., LUMBRERAS, J. F., COELHO, M. R., ALMEIDA, J. A., ARAUJO FILHO, J. C., OLIVEIRA, J. B. & CUNHA, T. J. F. (2025). Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos. 6. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 393p. ISBN: 978-65-5467-104-0

STANCK, L.T., BECKER, D. & BOSCO, L. C. (2017). Crescimento e produtividade de linhaça. *Agrometeoros.* 25(1), 249-256. doi.org/10.31062/agrom.v25i1.26285

THORNTHWAITE, C.W. & MATHER, J.R. (1955). *The water balances*. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology-Laboratory of Climatology. 104p. (Publications in Climatology, vol. VIII, n.1).

VELHO, J.P. & LÚCIO, A. D. (2021). *Linhaça: Perspectiva de produção e usos na alimentação humana e Animal.* 1. ed. Ponta Grossa, PR: Athenas, 156p.

VIEIRA, F.F., DALLACORT, R., BARBIERI, J.D., DALCHIAVON, F.C. & DANIEL, D.F. (2020). Temperatura e umidade do solo em função do uso de cobertura morta no cultivo de milho. *Científica.* 48(3),188-199. doi.org/10.15361/1984-5529.2020v48n3p188-199

XAVIER, J. C., CARDUCCI, C. E., VIANA-MORAES, E. M., FERREIRA, R. C. & TURTT, J. C. T. (2018). Atributos Físico-Hídricos do Solo e Desempenho Agronômico do Linho (Linun usitatissimun L.) sob Cultivo Conservacionista em Dourados/MS. *Cadernos de Agroecologia*. 13(2), 100-110. ISSN 2236-7934. https://cadernos.aba-agroecologia.org.br/cadernos/article/view/2143

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.