

Estimativa do filocrono para a cultura de teosinto

João Carlos Denardin Junior^{1†}, Alberto Cargnelutti Filho², Murilo V. Loro³, João Augusto Andretta⁴, Mikael B. Reis⁴, Vithória M. Ortiz³, Bruno R. Schuller⁴

¹ Discente do curso de Estatística, Universidade Federal de Santa Maria.

² Docente da Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Fitotecnia.

³ Discente do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria.

⁴ Discente do curso de Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria.

Resumo: O objetivo deste trabalho foi estimar o filocrono para a cultura de teosinto em datas de semeadura. Foi conduzido um experimento em 12 datas de semeadura (08/10/2021 a 01/01/2022). As semeaduras foram realizadas em uma fileira de 5 m de comprimento, espaçadas em 0,80 m entre fileiras e 0,20 m entre plantas na fileira. Em cada data de semeadura marcaram-se, aleatoriamente, cinco plantas e contou-se o número de folhas expandidas (NF), semanalmente, até o florescimento masculino. Durante o período experimental, os dados diários de média do ar, em °C, foram registrados. Os graus dia (°C dia) foram calculados considerando a temperatura basal de 10°C. A soma térmica acumulada (°C dia), a partir da emergência foi obtida acumulando os valores de graus dia. Para cada data de semeadura, foi ajustada uma regressão linear, por meio da equação $y = a + bx$, sendo y a média do número de folhas das cinco plantas e x a soma térmica acumulada a partir da emergência. O filocrono, em °C dia folha⁻¹, foi determinado pelo inverso do coeficiente angular da regressão linear entre NF e soma térmica acumulada (filocrono = $1/b$). O filocrono para a cultura do teosinto variou entre 47,17°C dia folha⁻¹ (semeadura de 01/01/2022) a 88,99°C dia folha⁻¹ (semeadura de 04/12/2021), sendo a média entre as 12 datas de semeadura de 70,14°C dia para emissão de uma nova folha.

Palavras-chave: *Zea mays* ssp. *mexicana*; soma térmica; graus dia, modelagem.

Phyllochron estimate for the teosinte crop

Abstract: The objective of this study was to estimate the phyllochron for teosinte crops across different sowing dates. An experiment was conducted on 12 sowing dates (10/08/2021 to 01/01/2022). The sowings were carried out in a 5-meter-long row, spaced at 0.80 meters between rows and 0.20 meters between plants in the row. For each sowing date, five plants were randomly marked, and the number of expanded leaves (NF) was counted weekly until male flowering. Throughout the experimental period, daily mean air temperatures in °C were recorded. Degree days (°C day) were calculated considering the base temperature of 10°C. The accumulated thermal sum (°C day) from emergence was obtained by summing up the degree day values. For each sowing date, a linear regression was fitted using the equation $y = a + bx$, where y is the mean number of leaves of the five plants, and x is the accumulated thermal sum from emergence. The phyllochron, in °C day leaf⁻¹, was determined by the inverse of the angular coefficient of the linear regression between NF and accumulated thermal sum (phyllochron = $1/b$). The phyllochron for teosinte cultivation varied from 47.17°C day leaf⁻¹ (sowing on 01/01/2022) to 88.99°C day leaf⁻¹ (sowing on 12/04/2021), with an average across the 12 sowing dates of 70.14°C day for the emergence of a new leaf.

Keywords: *Zea mays* ssp. *mexicana*; thermal sum; degrees day, modeling.

† Autor correspondente: joao.denardin@acad.ufsm.br.

Introdução

O teosinto (*Zea mays* ssp. *mexicana*) é uma planta anual pertencente à família das gramíneas (*Poaceae*). Devido à sua expressiva capacidade de produção de biomassa verde, o teosinto tem sido amplamente utilizado na pecuária como planta forrageira para alimentação animal (JHA et al., 2016). Em regiões com clima subtropical, a produção de massa verde de teosinto apresenta variação de 4,5 a 8,2 t ha⁻¹ (ORTIZ et al., 2023). Isso confere importante contribuição da espécie para a produção agropecuária, aumentando a segurança da produção de massa verde.

Compreender a ecofisiologia da espécie é essencial para o manejo adequado, com objetivo de maximizar a produção. Isso permite identificar respostas fenotípicas aos estímulos meteorológicos durante o período de cultivo. Durante o desenvolvimento de gramíneas de verão, a duração do ciclo em dia é variável, uma vez que os subperíodos de crescimento das plantas estão diretamente influenciados pelas condições ambientais, e não pelo simples número de dias (YANG et al., 2019). A temperatura do ar é a principal variável meteorológica que determina o desenvolvimento de espécies da família *Poaceae* (LIZASO et al., 2018). Logo, o acúmulo de graus dia tem sido a variável adequada para representar o efeito da temperatura do ar sobre o desenvolvimento das plantas (CHAVES et al., 2017).

Para calcular o aparecimento de folhas estima-se o filocrono, que representa o tempo térmico acumulado, em °C dia, necessário para o aparecimento sucessivo de folhas, tendo como unidade °C dia folha⁻¹. Essa estimativa promove maior eficiência de produção de culturas agrícolas e têm sido utilizada em estudos ecofisiológicos em plantas (CHAVES et al., 2017; VAN ESBROECK et al., 2008).

Estimativas de filocrono para as culturas de teosinto (VAN ESBROECK et al., 2008), milho (MARTINS et al., 2012) e aveia (CHAVES et al., 2017) têm sido realizadas. Para teosinto, o filocrono variou de 37 a 47°C dia folha⁻¹ (VAN ESBROECK et al., 2008). Em milho foi observado variação de 34,4 °C dia·folha⁻¹ a 44,3 °C dia folha⁻¹ em três anos de avaliação (MARTINS et al., 2012). Na aveia, Chaves et al. (2017) revelaram que a estimativa do filocrono depende das datas de semeadura, observando variação de 95,88 a 117,70°C dia folha⁻¹.

Os resultados destacam a variação no filocrono entre diferentes espécies de plantas, entre genótipos de uma mesma espécie e datas de semeadura. A estimativa do filocrono permite compreender o desenvolvimento das plantas e promove o uso de estratégias eficientes para otimizar o manejo agrícola e aumento da produtividade. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi estimar o filocrono para a cultura de teosinto em datas de semeadura.

Material e métodos

O experimento foi conduzido no ano agrícola 2021/2022, na área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, localizada a 29°42'S, 53°49'W e a 95 m de altitude. Os dados meteorológicos foram obtidos na estação do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada a 100 m do experimento. O clima do local é classificado como *Cfa* subtropical úmido (ALVARES et al., 2013) e o solo como Argissolo Vermelho distrófico arênico (SANTOS et al., 2018). Foi realizada a análise química do solo na profundidade de 0 - 20 cm, que apresentou: pH em água 1:1: 5,4; Ca: 5,0 cmol_c dm⁻³; Mg: 2,3 cmol_c dm⁻³; Al: 0,2 cmol_c dm⁻³; H+Al: 2,8 cmol_c dm⁻³; índice SMP: 6,4; matéria orgânica: 2,2%; teor de argila: 28,0%; S: 15,6 mg dm⁻³; P (*Mehlich*): 38,3 mg dm⁻³; K: 0,614 cmol_c dm⁻³; CTC pH7: 10,8 cmol_c dm⁻³; Cu: 1,41 mg dm⁻³; Zn: 1,96 mg dm⁻³; B: 0,76 mg dm⁻³.

A área experimental totalizou 36 m² e o preparo do solo foi realizado com uma gradagem e uma adubação com aplicação de 300 kg ha⁻¹ de N-P-K na proporção 5:20:20. Os cálculos de adubação foram realizados com base na recomendação para a cultura do milho. O experimento foi conduzido no delineamento inteiramente casualizado com 12 datas de semeadura (08/10/2021, 15/10/2021, 23/10/2021,

30/10/2021, 13/11/2021, 20/11/2021, 27/11/2021, 04/12/2021, 11/12/2021, 18/12/2021, 25/12/2021 e 01/01/2022). Foram utilizadas sementes da espécie teosinto (*Zea mays* L. *Euchlaena mexicana* Schrad), categoria S2, com 99,9% de sementes puras e 95% de germinação.

As sementeiras foram realizadas em covas, em uma fileira de 5 m de comprimento, espaçadas a 0,80 m entre fileiras e 0,20 m entre plantas na fileira, com três sementes por cova. Após a emergência das plântulas, foi realizado o desbaste para atingir o estande desejado de plantas. A emergência das plântulas foi determinada pela contagem do número de plantas visíveis acima do nível do solo, considerando a emergência quando 50% das plântulas estavam visíveis.

Após a emergência, foram selecionadas, aleatoriamente, cinco plantas em cada data de sementeira, totalizando 60 plantas (12 datas de sementeira × 5 plantas/data de sementeira). Em cada uma das 60 plantas foi contado o número de folhas expandidas. As contagens foram realizadas uma vez por semana até o florescimento das plantas.

Durante o período experimental, os dados diários de temperatura média (Tmed) do ar em °C, foram obtidos na Estação Experimental do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, www.inmet.gov.br) localizado a 100 metros da área experimental. A partir da Tmed calculou-se os graus dia (GD, em °C) por meio do método proposto por Arnold (1960) pela expressão: $GD = T_{med} - T_b$, onde: Tmed = temperatura média diária do ar, em °C e T_b = temperatura base inferior (10°C). A T_b é a temperatura base para a emissão foliar. A soma térmica (ST, em °C dia) a partir da data de emergência da planta foi obtida acumulando os valores de GD.

Para cada data de sementeira, foi ajustada uma regressão linear, por meio da equação $y = a + bx$, sendo y a média do número de folhas das cinco plantas (NF) e x a soma térmica acumulada (ST) a partir da emergência. O filocrono, em °C dia folha⁻¹, foi determinado pelo inverso do coeficiente angular da regressão linear entre NF e ST (filocrono = 1/b). Todas as análises foram realizadas por meio do Microsoft Excel e software R (R CORE TEAM, 2023) utilizando os pacotes *ggplot2* (WICKMAN, 2016) e *ggpmisc* (APHALO, 2022) para desenvolver os gráficos de regressão.

Resultados e discussão

Houve variação do número total de folhas emitidas entre as 12 datas de sementeira (Tabela 1 e Figura 1). O número de folhas, entre as datas de sementeira, variou de 14 (25/12/2021) a 31 folhas (20/11/2021). Foi possível observar uma redução gradativa do número de folhas, com o atraso das datas de sementeira. Chaves et al. (2017) também observaram variação na emissão do número total de folhas entre datas de sementeira na aveia branca.

A maior necessidade de soma térmica para o florescimento foi observada na primeira data de sementeira (2014,83 °C dia). A partir da primeira data de sementeira houve uma redução gradativa com o atraso da data de sementeira. Foi possível observar que a diferença de soma térmica da emergência até o florescimento da primeira e a última data foi de 53,30%, demonstrando que o tempo térmico é influenciado pelas datas de sementeira.

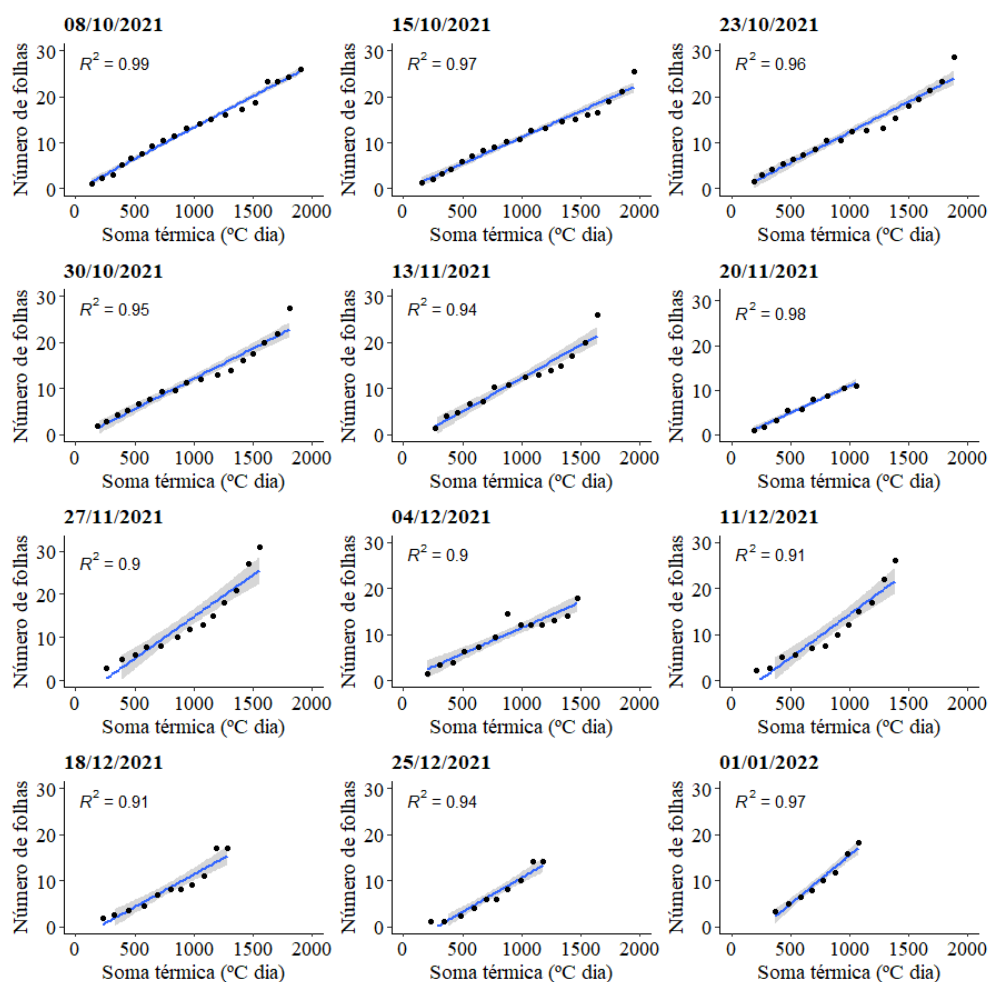
As estimativas do filocrono variaram entre as datas de sementeira, com valores de 47,17 °C dia folha⁻¹ a 88,99 °C dia folha⁻¹, nas datas de sementeira de 01 de janeiro de 2022 e 04 de dezembro de 2021, respectivamente (Tabela 2). Isso indica que a estimativa do filocrono para a cultura do teosinto depende das datas de sementeira. Em estudo realizado por Van Esbroeck et al. (2018) o filocrono estimado variou de 37 a 47°C dia folha⁻¹ para o teosinto. Em milho, Martins et al. (2012) observaram variação da estimativa do filocrono entre 34,4 °C dia folha⁻¹ a 44,3 °C dia folha⁻¹ em três anos de avaliação. A variação nas estimativas do filocrono indica que existem diferentes respostas genéticas ou fisiológicas da cultura do teosinto em relação às condições ambientais.

Tabela 1. Médias do número de folhas (NF) das cinco plantas em cada data de semeadura e soma térmica (ST, °C dia) da emergência até o florescimento das plantas.

Datas de Semeadura	Datas de Emergência	NF	ST
08/10/2021	20/10/2021	30,33	2014,83
15/10/2021	27/10/2021	25,50	1948,33
23/10/2021	03/11/2021	28,67	1888,31
30/10/2021	10/11/2021	27,50	1810,28
13/11/2021	01/12/2021	26,00	1638,19
20/11/2021	01/12/2021	31,00	1558,35
27/11/2021	13/12/2021	21,00	1364,32
04/12/2021	15/12/2021	18,00	1473,09
11/12/2021	22/12/2021	26,00	1382,94
18/12/2021	29/12/2021	17,00	1283,98
25/12/2021	05/01/2022	14,00	1185,25
01/01/2022	19/01/2022	18,25	1073,94

Fonte: Autores.

Figura 1. Relações lineares entre o número de folhas e soma térmica após a emergência para a cultura do teosinto cultivada em 12 datas de semeadura.



Fonte: Autores.

Sigmae, Alfenas, v.12, n.3, p. 18-23, 2023.

67ª Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria (RBras) e o 20º Simpósio de Estatística Aplicada à Experimentação Agrônoma (SEAGRO)

As maiores estimativas do filocrono foram observadas nas datas de 20 de novembro de 2021 e 04 de dezembro de 2021 (87,66 e 88,99 °C dia folha⁻¹, respectivamente). Enquanto na data de 01 de janeiro de 2022 foi observada a menor estimativa de filocrono (47,17 °C dia folha⁻¹). A média geral do filocrono foi 70,14 °C dia folha⁻¹, indicando que na média das 12 datas de semeadura, são necessários 70,14 °C dia para a emissão de uma nova folha de teosinto. O coeficiente de variação variou de 0,90 a 0,99, indicando ótimo ajuste do modelo linear entre o número de folhas e soma térmica. Alto coeficiente de determinação também foi relatado por Martins et al. (2012) em milho e Chaves et al. (2017) em aveia.

Tabela 2. Regressão linear para estimar o filocrono (°C dia folha⁻¹), coeficiente de determinação (R²) e limites inferior (LI) e superior (LS) dos intervalos de confiança de 95% para o coeficiente angular (b) e para o filocrono de teosinto, em 12 datas de semeadura.

Semeadura	Modelo de Regressão	R ²	LI do b	LS do b	LI do filocrono	Filocrono	LS do filocrono
08/10/2021	y=-0,61485660+0,01406499x	0,99	0,0132	0,0149	67,01	71,10	75,72
15/10/2021	y=-0,21667863+0,01140742x	0,97	0,0104	0,0124	80,43	87,66	96,32
23/10/2021	y=-1,00231133+0,01329992x	0,96	0,0118	0,0148	67,63	75,19	84,64
30/10/2021	y=-0,97786212+0,01314572x	0,95	0,0115	0,0148	67,77	76,07	86,70
13/11/2021	y=-2,07699663+0,01439156x	0,94	0,0121	0,0167	59,93	69,49	82,66
20/11/2021	y=-1,16496310+0,01209777x	0,98	0,0106	0,0136	73,28	82,66	94,79
27/11/2021	y=-4,51402194+0,01932607x	0,90	0,0151	0,0235	42,54	51,74	66,02
04/12/2021	y=+0,19141313+0,01123718x	0,90	0,0087	0,0138	72,57	88,99	115,01
11/12/2021	y=-4,37002446+0,01879496x	0,91	0,0146	0,0230	43,53	53,21	68,42
18/12/2021	y=-2,78709978+0,01410614x	0,91	0,0107	0,0175	57,20	70,89	93,20
25/12/2021	y=-4,19730938+0,01481364x	0,94	0,0119	0,0178	56,28	67,51	84,32
01/01/2022	y=-5,69579538+0,02119912x	0,97	0,0175	0,0249	40,17	47,17	57,14
Média Geral						70,14	

Fonte: Autores.

A maior variação da estimativa do filocrono do teosinto, em relação ao milho, pode estar relacionada à maior diversidade genética presente nas plantas de teosinto e a maior duração do ciclo. Isso acontece devido à intervenção limitada de programas de melhoramento genético na evolução dessa espécie ao longo dos anos. A variabilidade da estimativa do filocrono também foi relatada em aveia branca por Chaves et al. (2017). Já Van Esbroeck et al. (2008), identificaram similaridade na estimativa do filocrono entre híbridos de milho e teosinto, sugerindo que esta característica foi conservada ao longo da evolução.

Os resultados destacam que o tempo térmico necessário para a emissão de uma folha de teosinto é influenciado pela data de semeadura da cultura. Essa variação nas estimativas do filocrono tem implicações para o desenvolvimento da cultura. Ao considerar diferentes datas de semeadura, os agricultores e pesquisadores podem ajustar os manejos de cultivo para otimizar o desenvolvimento das plantas e, consequentemente, obter melhores resultados em termos de crescimento e produção de forragem.

Conclusões

O filocrono para a cultura do teosinto variou entre 47,17°C dia folha⁻¹ (semeadura de 01/01/2022) a 88,99°C dia folha⁻¹ (semeadura de 04/12/2021), sendo a média entre as 12 datas de semeadura de 70,14°C dia para emissão de uma nova folha.

Agradecimentos

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

Referências

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

APHALO, P. *ggpmisc: Miscellaneous Extensions to 'ggplot2'*. R package version 0.5.2, 2022. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=ggpmisc>.

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

CHAVES, G. G. et al. Phyllochron and leaf appearance rate in oat. *Bragantia*, v. 76, n. 1, p. 73-81, 2017.

JHA, A. K. et al. Impact of irrigation method on water use efficiency and productivity of fodder crops in Nepal. *Climate*, v. 4, n. 1, p. 1-13, 2016.

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

MARTINS, J. D. et al. Estimativa do filocrono em milho para híbridos com diferentes ciclos de desenvolvimento vegetativo. *Ciência Rural*, v. 42, p. 777-783, 2012.

ORTIZ, V. M. et al. Correlação e análise de trilha entre caracteres de teosinto. *Sigmae*, v. 12, n. 1, p. 29-39, 2023.

R CORE TEAM. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2023. Disponível em: <https://www.R-project.org/>.

SANTOS, H. G. et al. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 5. ed. Brasília: Embrapa. p. 356, 2018.

VAN ESBROECK, G. A. et al. A comparison of leaf appearance rates among teosinte, maize landraces and modern maize. *Maydica*, v. 53, n. 2, p. 117, 2008.

WICKHAM, H. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York, 2016.

YANG, Y. et al. Improving maize grain yield by matching maize growth and solar radiation. *Scientific Reports*, v. 9, n. 1, p. 1-11, 2019.

Sigmae, Alfenas, v.12, n.3, p. 18-23, 2023.

67ª Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria (RBras) e o 20º Simpósio de Estatística Aplicada à Experimentação Agronômica (SEAGRO)