

Correlação e análise de trilha entre caracteres de teosinto

Vithória M. Ortiz^{1†}, Alberto Cargnelutti Filho², Murilo V. Loro³, Felipe M. Somavilla⁴, Bruno R. Schuller¹, Mikael B. Reis¹, João Augusto Andretta¹

¹ Discente do Curso de Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria.

² Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Santa Maria.

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

⁴ Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal de Santa Maria

Resumo: O objetivo desse trabalho foi verificar se há relações lineares entre caracteres morfológicos e produtivos de plantas de teosinto (*Zea mays ssp. mexicana*). O experimento foi conduzido no delineamento inteiramente casualizado com nove datas de semeadura. Em cada data foi realizada a semeadura de teosinto em parcela de uma fileira de 5 m de comprimento, espaçadas a 0,80 m entre fileiras e 0,20 m entre plantas. Em cada fileira, foram marcadas cinco plantas para avaliar os caracteres morfológicos e produtivos. Realizou-se a análise de variância e o teste F a 5% de significância. As médias das datas de semeadura foram comparadas pelo teste de Scott-Knott. Estimou-se a matriz de coeficientes de correlação linear de Pearson entre os 16 caracteres com base nas 45 plantas. Foi realizado o diagnóstico de multicolinearidade na matriz de correlação dos caracteres morfológicos e realizadas 12 análises de trilha dos caracteres produtivos em função dos morfológicos. Plantas com mais folhas apresentam maiores quantidades de massas fresca e seca de folhas. Plantas com mais perfilhos apresentam maiores quantidades de massas fresca e seca de perfilhos e de parte aérea. A não necessidade de destruir as plantas para contar os números de folhas e de perfilhos possibilita selecionar plantas visando o aumento de massas fresca e seca, mantendo-as a campo.

Palavras-chave: correlação; análise de trilha; *Zea mays ssp. mexicana*.

Abstract: The objective of this work was to verify if there are linear relationships between morphological and productive traits of teosinte plants (*Zea mays ssp. mexicana*). The experiment was conducted in a completely randomized design with nine sowing dates. On each date, teosinte was sown in plots of a 5 m long row, spaced 0.80 m between rows and 0.20 m between plants. In each row, five plants were marked to evaluate the morphological and productive traits. Analysis of variance and F test at 5% significance level were performed. Sowing date averages were compared using the Scott-Knott test. Pearson's matrix of linear correlation coefficients between the 16 traits based on the 45 plants was estimated. The diagnosis of multicollinearity was carried out in the correlation matrix of morphological traits and 12 path analyzes of productive traits were carried out as a function of morphological ones. Plants with more leaves have higher amounts of fresh and dry mass of leaves. Plants with more tillers have higher amounts of fresh and dry mass of tillers and shoots. The fact that there is no need to destroy the plants to count the numbers of leaves and tillers makes it possible to select plants aiming at increasing fresh and dry mass, keeping them in the field.

Keywords: correlation; path analysis; *Zea mays ssp. mexicana*.

Introdução

O teosinto (*Zea mays ssp. mexicana*) têm origem no México e América Central, é uma gramínea de verão, crepitosa, com colmos grossos, eretos, dispostos em forma de touceiras e lâminas foliares largas semelhantes ao milho, sorgo e milho (FONTANELI et al., 2012). Parente silvestre do milho que possui quatro espécies nativas do México e América Central: *Zea perennis*, *Zea luxurians*, *Zea diploperennis* e *Zea mays* (DOEBLEY; ILTIS, 1980). Sua forma geral de crescimento é semelhante ao milho, embora o teosinto tenha ramos laterais mais longos (DOEBLEY, 2004). As diferenças entre essas culturas podem ser observadas nas arquiteturas externas das plantas e das inflorescências (YANG et al., 2016) devido as mudanças geográficas e mutações (DIAS, 2018). A inflorescência é uma espiga rudimentar, com parte das sementes expostas e com sementes de cor parda, na forma de um dente canino, muito duras (FONTANELLI et al., 2012).

† Autora correspondente: vithoria.ortiz159@gmail.com.

Apresenta composição nutritiva similar ao milho, podendo ser utilizada como alternativa de cultivo sob condições ambientais desfavoráveis e ser pastejada diretamente ou ofertada na forma de silagem aos animais (PEDÓ et al., 2015). A subespécie em estudo (mexicana) e a subespécie *parviglumis* são cultivadas para alimentação animal como forragem (DEVOS et al., 2018), e na alimentação de peixes por possuir maior atrato-palatabilidade (CAMARGO et al., 2006), podendo ampliar a disponibilidade de forragem durante os períodos em que é escassa por causa do estresse térmico (NIAZI et al., 2015), tendo a disponibilidade de água como outro fator que afeta o desenvolvimento das plantas (CARVALHO et al., 2022). Ao contrário do sorgo e seus híbridos, as plantas de teosinto produzem numerosos perflhos formando uma planta aglomerante. O teosinto pode se comportar como planta invasora em lavouras de milho, tendo a rotação de culturas com espécies de verão, que não o milho, como medida mais eficaz ao seu controle (PARDO et al., 2016).

Na região Sul do Brasil, o teosinto se destaca como alternativa para pastejo de bovinos de leite por apresentar alto potencial de perfilhamento e rebrote e a subespécie mexicana pode facilmente cruzar com o milho. O cruzamento de teosinto com milho pode contribuir para o melhoramento genético devido a adaptação ambiental que o teosinto possui, fazendo com que o milho seja capaz de suportar uma ampla variedade de estresses bióticos e abióticos (GONZÁLEZ et al., 2018). Várias evidências apoiam a hipótese de que o milho recebeu introgressão dessa subespécie, conferindo adaptação às terras altas (HUFFORD et al., 2013).

A época de semeadura do teosinto vai de outubro a fevereiro. Quando semeado cedo, em outubro/novembro, na maioria das regiões subtropicais permite pastejo durante cerca de 120 dias e comparado a outras gramíneas anuais de clima quente, responde bem a adubação nitrogenada aumentando o perfilhamento e a relação folha/colmo (FONTANELI et al., 2021). Estudos de data de semeadura em milho devem considerar fatores como disponibilidade hídrica, radiação solar, temperatura, além de fatores que interferem na fenologia da planta e interferem no desenvolvimento (FLORINI et al., 2018). Conforme Motta e Maia (1999) a estatura de planta de teosinto pode variar entre 1,5 a 4 m, podendo atingir até 5 m.

Apesar da utilização dessa cultura como pastagem para bovinos de leite no Brasil ainda não há cultivares disponíveis no mercado para aquisição do produtor, sendo grande a ocorrência de sementes salvas pelos agricultores que comercializam o excedente de sua produção (MOTTA; MAIA, 1999), o que se torna um fator que colabora para a baixa qualidade fisiológica das sementes e inferior desempenho de plântulas (PEDÓ et al., 2015). Segundo Fontanelli et al. (2021), o teosinto deve ser semeado em fileiras espaçadas de 0,5 a 0,6 m, na densidade de 35 kg ha⁻¹ de sementes ou a lanço com 40 kg ha⁻¹ de sementes.

Devido ao destaque do teosinto, novas pesquisas são importantes para agregar informações. Nesse sentido, pesquisas sobre as relações lineares entre os caracteres morfológicos e produtivos de plantas de teosinto (*Zea mays* ssp. *mexicana*) não foram encontradas na literatura. Já, estudos sobre o efeito das épocas de semeadura foram realizados em plantas de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) (BANDEIRA et al., 2018). O coeficiente de correlação linear de Pearson (r) e a análise de trilha são utilizados para evidenciar se há relações lineares em um conjunto de caracteres, podendo ter correlação linear negativa (r = -1), positiva perfeita (r = 1) ou não ter relação linear (r = 0) (FERREIRA, 2018; BUSSAB; MORETTIN, 2017). Na análise de trilha é realizado o desdobramento dos coeficientes de correlação em efeitos indiretos e diretos das variáveis explicativas sobre uma variável principal para identificar se há relação de causa e efeito (CRUZ et al., 2012).

O estudo das relações lineares é uma estratégia importante para auxiliar na seleção de genótipos promissores. Assim, o objetivo desse trabalho foi verificar se há relações lineares entre caracteres morfológicos e produtivos de plantas de teosinto (*Zea mays* ssp. *mexicana*).

Material e métodos

O experimento foi conduzido na safra 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 NPK 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 nove datas de semeadura (08/10/2021, 30/10/2021, 13/11/2021, 20/11/2021, 04/12/2021, 11/12/2021, 18/12/2021, 25/12/2021 e 01/01/2022), submetendo a cultura a distintas condições meteorológicas (Tabela 1). Foram utilizadas sementes da espécie teosinto (*Zea mays* L. *Euchlaena mexicana* Schrad), categoria S2, com 99,9% de sementes puras e 95% de germinação.

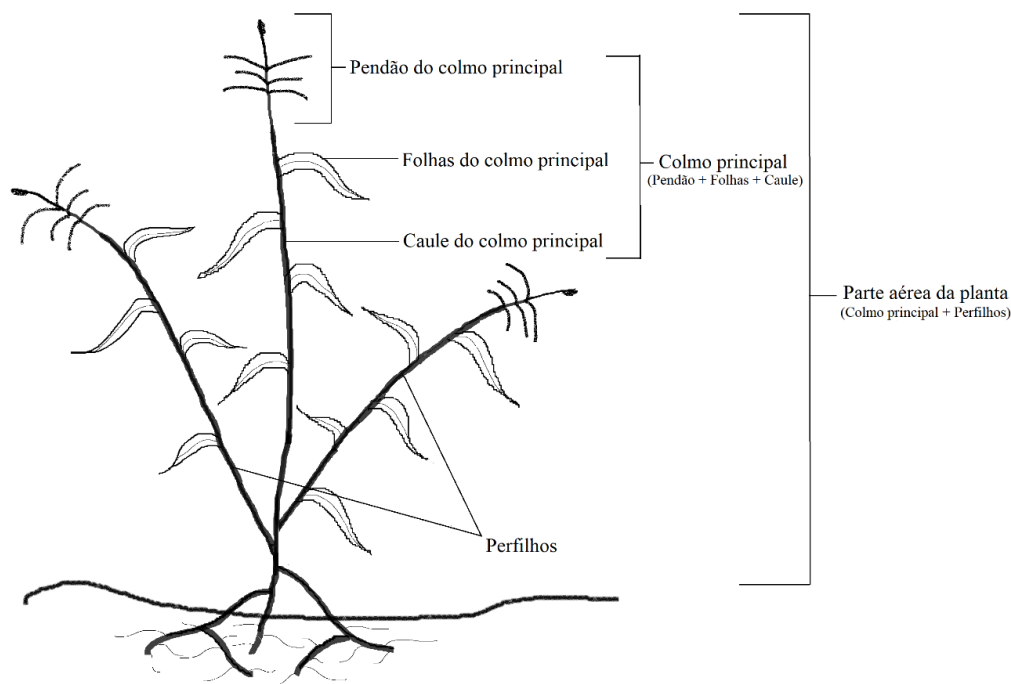
Tabela 1: Datas de semeadura e emergência de teosinto, precipitação pluviométrica acumulada (PREC, em mm), temperatura média (T_{méd}, em °C) e radiação solar acumulada (RAD, em MJ m⁻²), durante o período da semeadura a emergência, nas nove datas de semeadura.

Semeadura	Emergência	PREC (mm)	T _{méd} (°C)	RAD (MJ m ⁻²)
08/10/2021	20/10/2021	82,6	18,3	239,54
30/10/2021	07/11/2021	26,2	23,2	202,10
13/11/2021	20/11/2021	9,2	21,1	151,64
20/11/2021	04/12/2021	9,8	22,6	363,49
04/12/2021	18/12/2021	16,6	23,4	333,42
11/12/2021	21/12/2021	33,6	21,1	220,62
18/12/2021	25/12/2021	17,2	24,1	225,47
25/12/2021	05/01/2022	24,6	25,8	307,37
01/01/2022	15/01/2022	31,8	25,6	385,57

Fonte: Dos autores.

As semeaduras foram realizadas em covas, semanalmente, 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 e aplicado 100 gramas de ureia, por fileira. Em cada fileira foram selecionadas, aleatoriamente, cinco plantas totalizando 45 plantas na área experimental (9 datas de semeadura × 5 plantas/data de semeadura).

Figura 1. Identificação dos caracteres da planta de teosinto.



Fonte: Dos autores.

Após atingirem o pendramento, as plantas marcadas foram coletadas e suas partes foram identificadas (Figura 1) para avaliar os caracteres morfológicos: comprimento do caule do colmo principal (CC, em cm); comprimento do pendão do colmo principal (CP, em cm); número de folhas do colmo principal (NF, em unidades); e número de perfilhos da planta (NPF, em unidades) e os produtivos: massa fresca de folha do colmo principal (MFF, em gramas); massa fresca do caule do colmo principal (MFC, em gramas); massa fresca do pendão do colmo principal (MFP, em gramas); massa fresca do colmo principal (MFCP=MFF+MFC+MFP, em gramas); massa fresca dos perfilhos (MFPP, em gramas); massa fresca de parte aérea da planta (MFPA=MFCP+MFPP, em gramas); massa seca de folha do colmo principal (MSF, em gramas); massa seca do caule do colmo principal (MSC, em gramas); massa seca do pendão do colmo principal (MSP, em gramas); massa seca do colmo principal (MSCP=MSF+MSC+MSP, em gramas); massa seca dos perfilhos (MSPF, em gramas); e massa seca de parte aérea da planta (MSPA=MSCP+MSPF, em gramas).

Realizou-se a análise de variância e teste F a 5% de significância e as médias das nove datas de semeadura foram agrupadas pelo teste de *Scott-Knott*. Foi estimada a matriz de coeficiente de correlação linear de Pearson (r) entre os 16 caracteres, com base nas 45 plantas. Foi realizado o diagnóstico de multicolinearidade na matriz de correlação entre os quatro caracteres explicativos (CC, CP, NF e NPF). Foram realizadas 12 análises de trilha dos caracteres produtivos (MFF, MFC, MFP, MFCP, MFP, MFPA, MSF, MSC, MSP, MSCP, MSP e MSPA) em função dos morfológicos (CC, CP, NF e NPF). As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa Microsoft Office Excel® e do software Genes (CRUZ, 2016).

Resultados e discussão

Na análise de variância, observou-se que os caracteres CC, NF, NPF, MFF, MFPP, MFPA, MSF, MSPF, MSPA apresentaram efeito significativo pelo teste F ($p < 0,05$), demonstrando que há variabilidade entre as datas de semeadura (Tabela 2). O coeficiente de variação (CV) é utilizado para medir a precisão experimental, sendo baixo (abaixo de 10%), médio (entre 10 e 20%), alto (entre 20 e 30%) e muito alto (acima de 30%) (PIMENTEL-GOMES, 2009). Assim, pode-se inferir que para CC o CV foi médio, para CP e NF o CV foi alto, e para os demais caracteres o CV foi muito alto.

Tabela 2: Resumo da análise de variância com o número de graus de liberdade (GL) e o quadrado médio (QM) para as fontes de variação (época e resíduo), média e coeficiente de variação (CV), para os caracteres ⁽¹⁾ morfológicos e produtivos do teosinto, em nove datas de semeadura.

Fonte de variação	GL	QM									
		CC	CP	NF	NPF	MFF	MFC	MFP	MFCP	MFPP	MFPA
Época	8	1500,05*	22,90 ^{ns}	10,28*	24,67*						
Resíduo	36	313,46	23,37	3,26	6,32						
Média		147,99	23,59	6,96	6,42						
CV (%)		11,96	20,49	25,98	39,15						
Época	8	189,55*	2235,29 ^{ns}	21,25 ^{ns}	3316,19 ^{ns}	494214,9*	558754,5*				
Resíduo	36	53,32	2360,41	10,11	2959,24	132568,9	150018,4				
Média		17,97	142,08	4,92	164,97	659,66	824,63				
CV (%)		40,64	34,19	64,62	32,97	55,20	46,97				
Época	8	9,15*	247,86 ^{ns}	2,23 ^{ns}	252,43 ^{ns}	21110,01*	23193,52*				
Resíduo	36	4,09	156,39	1,40	197,62	7621,97	8643,00				
Média		5,10	32,80	2,00	39,90	158,03	197,93				
CV (%)		39,62	38,13	59,50	35,23	55,24	46,97				

⁽¹⁾ Morfológicos: CC - comprimento do caule do colmo principal (em cm), CP - comprimento do pendão do colmo principal (em cm), NF - número de folhas do colmo principal (em unidades) e NPF - número de perfilhos da planta (em unidades). Produtivos: MFF - massa fresca de folha do colmo principal (em gramas), MFC - massa fresca do caule do colmo principal (em gramas), MFP - massa fresca do pendão do colmo principal (em

gramas), MFPC - massa fresca do colmo principal (MFPC=MFF+MFC+MFP, em gramas), MFPP - massa fresca dos perfilhos (em gramas), MFPA - massa fresca de parte aérea da planta (MFPA=MFPC+MFPP, em gramas), MSF - massa seca de folha do colmo principal (em gramas), MSC - massa seca do caule do colmo principal (em gramas), MSP - massa seca do pendão do colmo principal (em gramas), MSCP - massa seca do colmo principal (MSCP=MSF+MSC+MSP, em gramas), MSPF - massa seca dos perfilhos (em gramas) e MSPA - massa seca de parte aérea da planta (MSPA=MSCP+MSPF, em gramas). * Efeito significativo pelo teste F a 5% de significância. ^{ns} não significativo.

Em relação aos caracteres CC, NF, NPF, MFF, MFPP, MFPA, MSF, MSPF, MSPA, houve formação de dois grupos de médias pelo teste de *Scott-Knott* (Tabela 3). As maiores médias desses caracteres formaram o primeiro grupo constituído pelas datas de semeadura de 08/10/2021, 30/10/2021, 13/11/2021, 20/11/2021, 4/12/2021 e 25/12/2021. Já o segundo grupo, com médias inferiores, foi formado pelas demais datas de semeadura. Esses resultados evidenciam melhor desempenho do teosinto nas semeaduras de final de outubro a início de dezembro.

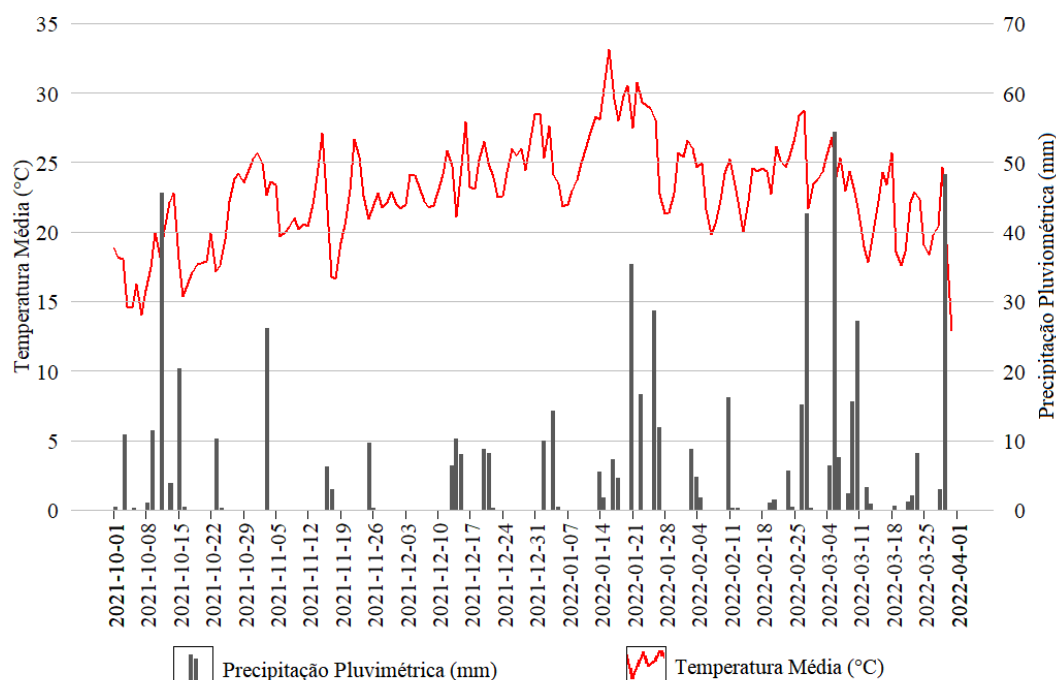
Tabela 3: Médias dos caracteres ⁽¹⁾ morfológicos e produtivos de teosinto, em nove datas de semeadura.

Semeadura	CC*	CP ^{ns}	NF*	NPF*	MFF*	MFC ^{ns}	MFP ^{ns}	MFPC ^{ns}
08/10/2021	152,20 a	24,40	5,00 b	5,80 b	8,78 b	133,60	4,22	146,61
30/10/2021	165,20 a	23,20	6,20 b	7,60 a	17,21 b	182,80	6,64	206,64
13/11/2021	169,60 a	22,40	8,80 a	7,80 a	22,39 a	139,73	7,62	169,74
20/11/2021	165,90 a	26,00	8,40 a	9,80 a	25,76 a	147,75	5,79	179,29
04/12/2021	144,40 b	22,40	9,00 a	8,80 a	25,05 a	153,26	7,06	185,36
11/12/2021	142,00 b	19,10	6,60 b	3,80 b	11,51 b	120,21	2,01	133,73
18/12/2021	130,60 b	24,00	5,80 b	3,80 b	14,04 b	148,25	2,59	164,88
25/12/2021	144,60 b	25,80	6,80 b	6,20 b	22,38 a	145,12	5,41	172,91
01/01/2022	117,40 b	25,00	6,00 b	4,20 b	14,60 b	108,04	2,96	125,61
Média	147,99	23,59	6,96	6,42	17,97	142,08	4,92	164,97
	MFPP*	MFPA*	MSF*	MSC ^{ns}	MSP ^{ns}	MSCP ^{ns}	MSPF*	MSPA*
08/10/2021	448,99 b	595,60 b	2,96 b	32,75	1,78	37,49	122,80 b	160,29 b
30/10/2021	1006,36 a	1213,00 a	5,50 a	47,46	2,82	55,78	256,15 a	311,92 a
13/11/2021	1148,46 a	1318,20 a	6,18 a	26,73	2,91	35,82	245,51 a	281,33 a
20/11/2021	947,31 a	1126,60 a	6,39 a	26,41	2,33	35,13	201,66 a	236,78 a
04/12/2021	769,24 a	954,60 a	6,75 a	28,72	2,39	37,86	174,32 a	212,18 a
11/12/2021	317,27 b	451,00 b	4,07 b	33,68	1,10	38,85	94,13 b	132,98 b
18/12/2021	398,92 b	563,80 b	4,52 b	39,99	1,33	45,84	110,53 b	156,37 b
25/12/2021	548,99 b	721,90 b	5,97 a	32,53	2,02	40,53	139,10 b	179,62 b
01/01/2022	351,39 b	477,00 b	3,60 b	26,91	1,28	31,80	78,09 b	109,89 b
Média	659,66	824,63	5,10	32,80	2,00	39,90	158,03	197,93

⁽¹⁾ Morfológicos: CC - comprimento do caule do colmo principal (em cm), CP - comprimento do pendão do colmo principal (em cm), NF - número de folhas do colmo principal (em unidades) e NPF - número de perfilhos da planta (em unidades). Produtivos: MFF - massa fresca de folha do colmo principal (em gramas), MFC - massa fresca do caule do colmo principal (em gramas), MFP - massa fresca do pendão do colmo principal (em gramas), MFPC - massa fresca do colmo principal (MFPC=MFF+MFC+MFP, em gramas), MFPP - massa fresca dos perfilhos (em gramas), MFPA - massa fresca de parte aérea da planta (MFPA=MFPC+MFPP, em gramas), MSF - massa seca de folha do colmo principal (em gramas), MSC - massa seca do caule do colmo principal (em gramas), MSP - massa seca do pendão do colmo principal (em gramas), MSCP - massa seca do colmo principal (MSCP=MSF+MSC+MSP, em gramas), MSPF - massa seca dos perfilhos (em gramas) e MSPA - massa seca de parte aérea da planta (MSPA=MSCP+MSPF, em gramas). * Médias não seguidas da mesma letra na coluna diferem pelo teste de *Scott-Knott*, ao nível de 5% de significância. ^{ns} não significativo.

Nas quatro primeiras datas de semeadura (08/10/2021, 30/10/2021, 13/11/2021 e 20/11/2021) observaram-se colmos com maior comprimento em relação as demais datas de semeadura (Tabela 3). As datas de semeadura de 30/10/2021, 13/11/2021 e 20/11/2021 também apresentaram a maior produção de perfilhos. Carvalho et al. (2022) concluiu que em milho o aumento da densidade de plantas na fileira aumenta a altura da planta devido a maior competição intraespecífica. Os maiores valores de CC também podem ser explicados pela maior disponibilidade hídrica nos meses de outubro e novembro e a menor disponibilidade hídrica nos meses de dezembro e janeiro (Figura 2).

Figura 2: Precipitação pluviométrica (mm) e temperatura média (°C) nos meses de outubro de 2021 a março de 2022.



Fonte: Dos autores.

Em milho foi observado maiores médias de altura de planta em ambientes sem estresse quando comparadas ao ambiente com estresse, o que significa que a altura média das plantas de milho foi inferior em condições de deficiência hídrica (MELO et al., 2018). Fancelli et al. (2015) também citam que para a cultura do milho a disponibilidade hídrica é um dos fatores mais importantes para que ocorra o pleno desenvolvimento, sendo que as maiores exigências se concentram nas fases de emergência, florescimento e formação de grão e a falta de água ocasiona a redução do vigor vegetativo na altura e na área foliar da planta.

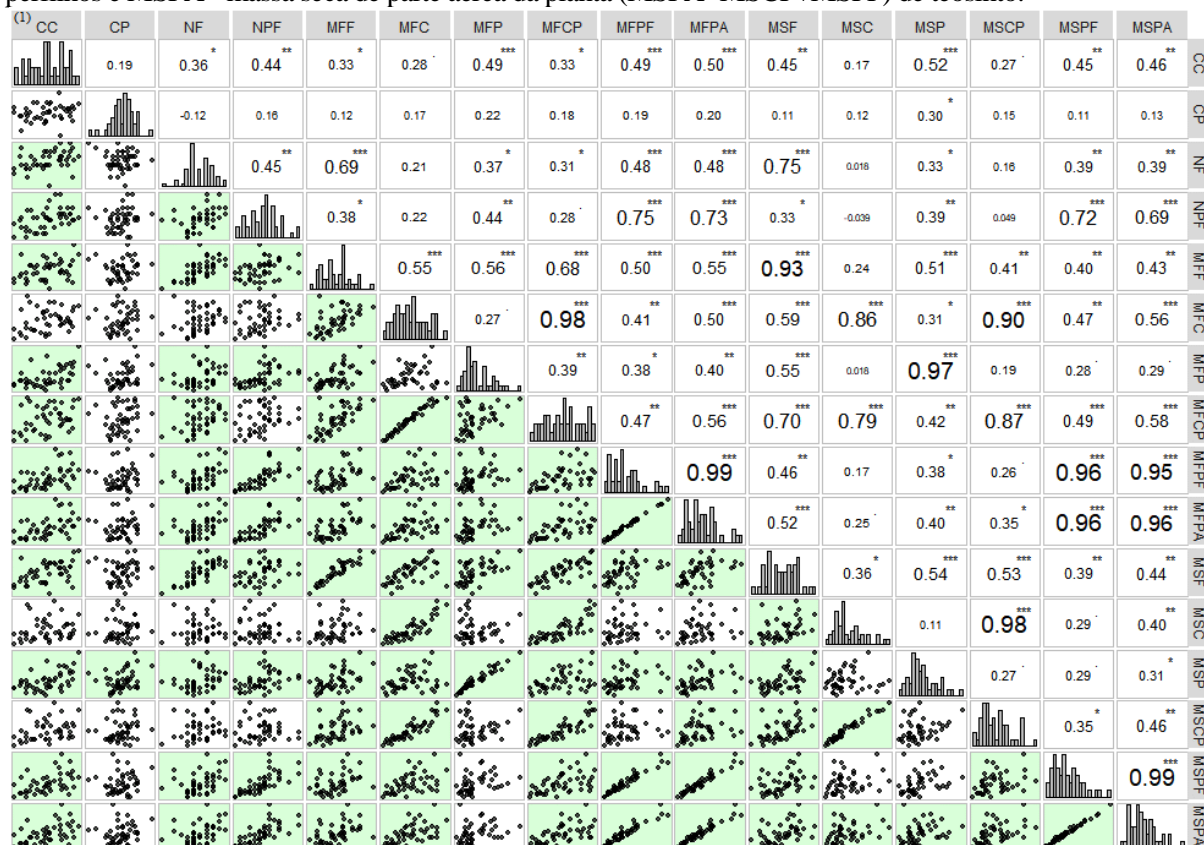
Observou-se maior NF nas datas de semeadura de 13/11/2021, 20/11/2021 e 04/12/2021 (Tabela 3). A produção de folhas além de estar relacionada com a disponibilidade hídrica (FANCELLI et al., 2015; CARVALHO et al., 2022) e temperatura, também está relacionada com a radiação solar. Em milho menores intensidades luminosas levam a um menor desenvolvimento vegetativo das plantas que pode ser notado pelos menores valores de área foliar (FLORINI et al., 2018). A temperatura é o principal elemento que interfere na germinação e na taxa de aparecimento foliar, além de desempenhar grande influência no ponto de crescimento e no número de folhas (RITCHIE et al., 1986). Fontanelli et al. (2021) indicam que a temperatura do solo ideal para as sementes de teosinto germinarem é superior a 15°C. Pardo et al. (2016) também apontam que a temperatura e a disponibilidade hídrica são essenciais para a germinação das sementes de teosinto.

Houve maior perfilhamento nas datas de semeadura de 30/10/2021, 13/11/2021, 20/11/2021 e 04/12/2021 (Tabela 3). Segundo Dias (2018) a intensidade luminosa e sua duração é um dos fatores de ambiente que interferem no perfilhamento, e a densidade populacional de perfilhos é uma característica importante, pois a produção de matéria seca de uma pastagem está diretamente relacionada ao número de perfilhos (BOTTEGA et al., 2017). Essas datas de semeadura com maior número de perfilhos coincidiram com as datas de maior

produção de folhas. Em milho o aumento da densidade de plantas na fileira alterou linearmente o índice de área foliar (CARVALHO et al., 2022), comprovando então que o potencial de perfilhamento de uma espécie está correlacionado com a capacidade de emissão de folhas.

Houve maior produção de MFF, MFPP, MFPA, MSF, MSPF e MSPA nas datas de semeadura de 30/10/2021, 13/11/2021, 20/11/2021 e 04/12/2021, demonstrando a maior potencialidade da cultura quando semeada no final de outubro até início de dezembro, possivelmente, explicada pelas condições ambientais (Figura 2). Pedó et al. (2015) concluíram que a massa de matéria seca de parte aérea de plantas de teosinto pode ser prejudicada pelo déficit hídrico, pois o período de alongamento é sensível a este fator. Niazi et al. (2015), concluíram que plantas de teosinto sob estresse térmico produzem menos folhas e biomassa para forragem quando comparadas a plantas em condições adequadas.

Figura 3: Matriz de correlação linear de Pearson e gráficos de dispersão dos caracteres⁽¹⁾ morfológicos: CC - comprimento do caule do colmo principal, CP - comprimento do pendão do colmo principal, NF - número de folhas do colmo principal e NPF - número de perfilhos da planta; e produtivos: MFF - massa fresca de folha do colmo principal, MFC - massa fresca do caule do colmo principal, MFP - massa fresca do pendão do colmo principal, MFPC - massa fresca do colmo principal (MFPC=MFF+MFC+MFP), MFPP - massa fresca dos perfilhos, MFPA - massa fresca de parte aérea da planta (MFPA=MFPC+MFPP), MSF - massa seca de folha do colmo principal, MSC - massa seca do caule do colmo principal, MSP - massa seca do pendão do colmo principal, MSPC - massa seca do colmo principal (MSPC=MSF+MSC+MSP), MSPF - massa seca dos perfilhos e MSPA - massa seca de parte aérea da planta (MSPA=MSPC+MSPF) de teosinto.



Fonte: Dos autores

O coeficiente de correlação linear de Pearson (r) varia de -1 a 1, tendo o sinal como indicativo da direção positiva ou negativa do relacionamento e o valor indica a força da relação entre as variáveis (FIGUEIREDO FILHO et al., 2009). Houve correlação linear de forte magnitude entre os caracteres MSPA vs MSPF (r = 0,99), MSPA vs MFPP (r = 0,99), MFPC vs MFC (r = 0,98), MSPC vs MSC (r = 0,98), MSP vs MFP (r = 0,97), MSPF vs MFPP (r = 0,96), MSPF vs MFPA (r = 0,96), MSPA vs MFPA (r = 0,96), MSPA vs

MFPF ($r = 0,95$), MSF vs MFF ($r = 0,93$), MSCP vs MFC ($r = 0,90$), MSCP vs MFPC ($r = 0,87$), MFC vs MFC ($r = 0,86$), MSC vs MFPC ($r = 0,79$), MFPF vs NPF ($r = 0,75$), MSF vs NF ($r = 0,75$), MFPA vs NPF ($r = 0,73$) e MSPF vs NPF ($r = 0,72$) (Figura 3). Na matriz de correlação linear de Pearson (r), o r entre os 118 valores positivos, variou entre 0,02 e 0,99 com média de 0,44. Em 83 pares o r foi significativo ($p < 0,05$), pelo teste t de *Student*, com 43 graus de liberdade, ou seja, $r > 0,29$, evidenciando que quando o valor de um caractere aumenta o valor do outro caractere também aumenta.

No diagnóstico de multicolinearidade, realizado na matriz de correlação dos caracteres explicativos (CC, CP, NF e NPF), obteve-se número de condição de 3,91, o que caracteriza condições adequadas para a análise de trilha (Tabelas 4 e 5). Nas análises de trilha, o caractere explicativo NF apresentou efeito direto de moderada e forte magnitude sobre os caracteres dependentes MFF (0,693) e MSF (0,756), com $r = 0,691$ e 0,749, respectivamente. O caractere explicativo NPF apresentou efeito direto de moderada e forte magnitude sobre os caracteres dependentes MFPF (0,589), MFPA (0,562), MSPF (0,625) e MSPA (0,569), com $r = 0,745$, 0,733, 0,718 e 0,685, respectivamente. Os caracteres CC e CP não apresentaram efeito direto significativo sobre as variáveis dependentes.

Tabela 4. Estimativas dos coeficientes de correlação de Pearson (r) e dos efeitos diretos e indiretos (análise de trilha) dos caracteres morfológicos: comprimento do caule do colmo principal (CC); comprimento do pendão do colmo principal (CP); número de folhas do colmo principal (NF); e número de perfilhos da planta (NPF) sobre os caracteres produtivos: massa fresca de folha do colmo principal (MFF); massa fresca do caule do colmo principal (MFC); massa fresca do pendão do colmo principal (MFP); massa fresca do colmo principal (MFPC=MFF+MFC+MFP); massa fresca dos perfilhos (MFPF); e massa fresca de parte aérea da planta (MFPA=MFPC+MFPF) de teosinto.

Efeito	Variável principal					
	MFF	MFC	MFP	MFPC	MFPF	MFPA
Direto de CC sobre	0,038	0,176	0,303	0,180	0,152	0,164
Indireto de CC via CP	0,038	0,027	0,030	0,031	0,016	0,019
Indireto de CC via NF	0,251	0,048	0,068	0,086	0,061	0,067
Indireto de CC via NPF	0,008	0,027	0,087	0,031	0,260	0,248
Correlação de Pearson (r)	0,335*	0,277	0,487*	0,328*	0,489*	0,498*
Direto de CP sobre	0,197	0,140	0,155	0,165	0,085	0,099
Indireto de CP via CC	0,007	0,033	0,058	0,034	0,029	0,031
Indireto de CP via NF	-0,085	-0,016	-0,023	-0,029	-0,021	-0,023
Indireto de CP via NPF	0,003	0,010	0,031	0,011	0,093	0,088
Correlação de Pearson (r)	0,122	0,167	0,221	0,180	0,186	0,196
Direto de NF sobre	0,693	0,131	0,187	0,239	0,167	0,185
Indireto de NF via CC	0,014	0,064	0,110	0,065	0,055	0,060
Indireto de NF via CP	-0,024	-0,017	-0,019	-0,020	-0,010	-0,012
Indireto de NF via NPF	0,008	0,028	0,088	0,031	0,265	0,252
Correlação de Pearson (r)	0,691*	0,205	0,366*	0,315*	0,476*	0,484*
Direto de NPF sobre	0,018	0,061	0,196	0,069	0,589	0,562
Indireto de NPF via CC	0,017	0,077	0,134	0,079	0,067	0,072
Indireto de NPF via CP	0,031	0,022	0,024	0,026	0,013	0,016
Indireto de NPF via NF	0,311	0,059	0,084	0,107	0,075	0,083
Correlação de Pearson (r)	0,377*	0,220	0,439*	0,282	0,745*	0,733*
Coefficiente de determinação	0,522	0,112	0,337	0,183	0,609	0,603
Variável residual	0,478	0,888	0,663	0,817	0,391	0,397
Número de condição	3,91	3,91	3,91	3,91	3,91	3,91

* Significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste t de *Student*, com 43 graus de liberdade.

Tabela 5: Estimativas dos coeficientes de correlação de Pearson (r) e dos efeitos diretos e indiretos (análise de trilha) dos caracteres morfológicos: comprimento do caule do colmo principal (CC); comprimento do pendão do colmo principal (CP); número de folhas do colmo principal (NF); e número de perfilhos da planta (NPF) sobre os caracteres produtivos: massa seca de folha do colmo principal (MSF); massa seca do caule do colmo principal (MSC); massa seca do pendão do colmo principal (MSP); massa seca do colmo principal (MSCP=MSF+MSC+MSP); massa seca dos perfilhos (MSPF); e massa seca de parte aérea da planta (MSPA=MSCP+MSPF) de teosinto.

Efeito	Variável principal					
	MSF	MSC	MSP	MSCP	MSPF	MSPA
Direto de CC sobre	0,201	0,211	0,368	0,255	0,158	0,184
Indireto de CC via CP	0,035	0,020	0,044	0,027	-0,002	0,002
Indireto de CC via NF	0,274	0,009	0,063	0,057	0,020	0,027
Indireto de CC via NPF	-0,057	-0,070	0,050	-0,069	0,276	0,251
Correlação de Pearson (r)	0,453*	0,170	0,524*	0,271	0,452*	0,464*
Direto de CP sobre	0,182	0,105	0,229	0,144	-0,008	0,012
Indireto de CP via CC	0,038	0,040	0,070	0,049	0,030	0,035
Indireto de CP via NF	-0,093	-0,003	-0,021	-0,019	-0,007	-0,009
Indireto de CP via NPF	-0,020	-0,025	0,018	-0,025	0,098	0,090
Correlação de Pearson (r)	0,106	0,117	0,295*	0,149	0,114	0,127
Direto de NF sobre	0,756	0,026	0,174	0,156	0,055	0,074
Indireto de NF via CC	0,073	0,076	0,133	0,093	0,057	0,067
Indireto de NF via CP	-0,022	-0,013	-0,028	-0,018	0,001	-0,001
Indireto de NF via NPF	-0,058	-0,072	0,050	-0,070	0,280	0,255
Correlação de Pearson (r)	0,749*	0,018	0,330*	0,161	0,394*	0,394*
Direto de NPF sobre	-0,130	-0,160	0,112	-0,156	0,625	0,569
Indireto de NPF via CC	0,089	0,093	0,162	0,113	0,070	0,081
Indireto de NPF via CP	0,029	0,017	0,036	0,023	-0,001	0,002
Indireto de NPF via NF	0,340	0,012	0,078	0,070	0,025	0,033
Correlação de Pearson (r)	0,327*	-0,039	0,389*	0,049	0,718*	0,685*
Coefficiente de determinação	0,634	0,055	0,362	0,108	0,541	0,506
Variável residual	0,366	0,945	0,638	0,892	0,459	0,494
Número de condição	3,91	3,91	3,91	3,91	3,91	3,91

* Significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste t de *Student*, com 43 graus de liberdade.

Conclusões

Plantas com mais folhas apresentam maiores quantidades de massas fresca e seca de folhas. Plantas com mais perfilhos apresentam maiores quantidades de massas fresca e seca de perfilhos e de parte aérea. A não necessidade de destruir as plantas para contar os números de folhas e de perfilhos possibilita selecionar plantas visando o aumento de massas fresca e seca, mantendo-as a campo.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq - Processo 304652/2017-2), 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.
- BANDEIRA, A. H. et al. Morfologia foliar de sorgo sacarino cultivado em diferentes espaçamentos entrelinhas e épocas de semeadura. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v. 17, n. 1, p. 63-75, 2018.
- BOTTEGA, E. L. et al. Cultivo de milho em consórcio com capins tropicais. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v. 16, n. 1, p. 18-25, 2017.
- BUSSAB, W. O.; MORETTIN, P. A. *Estatística Básica*. São Paulo, 9. ed., n. 1, 2017
- CAMARGO, J. B. J. et al. Cultivo de alevinos de carpa capim (*Ctenopharyngodon idella*) alimentados com ração e forragens cultivadas. *Revista Brasileira de Agrociência*, v. 12, n. 2, p. 211-215, 2006.
- CARVALHO, M. W. L. et al. Morfofisiologia do milho irrigado com e sem déficit hídrico sob diferentes arranjos de plantas na região meio-norte do Piauí. *Revista Cultura Agronômica*, v. 31, n. 1, p. 41-54, 2022.
- CRUZ, C. D. *Genes Software - extended and integrated with the R, Matlab and Selegen*. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 38, n. 4, p. 547-552, 2016.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. Viçosa, 4. ed., v. 1, 2012.
- DIAS, J. P. T. *Ecofisiologia de culturas Agrícolas*. Belo Horizonte, 1. ed., 169 p., 2018.
- DEVOS, Y. et al. Teosinte and maize x teosinte hybrid plants in Europe - Environmental risk assessment and management implications for genetically modified maize. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 259, p. 19-27, 2018.
- DOEBLEY, J. F.; ILTIS, H. H. Taxonomy of Zea (Gramineae): I Subgeneric classification with key to taxa. *American Journal of Botany*, v. 67, n. 6, p. 982-993, 1980.
- DOEBLEY, J. The Genetics of Maize Evolution. *Annual Review of Genetics*. v. 38, p. 37-59, 2004.
- FANCELLI, A. L. Cultivo racional e sustentável requer maior conhecimento sobre planta do milho. *Visão Agrícola*, v. 2, n. 13, p. 20-23, 2015.
- FERREIRA, D. F. *Estatística básica*. 3. ed. Revisada e Ampliada. Lavras: UFLA, 624 p., 2018.
- FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JÚNIOR, J. A. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r). *Revista Política Hoje*, v. 18, n. 1, 2009.
- FLORINI, I. V. A. et al. Crescimento e produtividade de híbridos de milho semeados na segunda safra em Sinop (MT). *Revista Agrogeoambiental*, v. 10, n. 4, 2018.
- FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S. *FORAGEIRAS PARA INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA NA REGIÃO SUL-BRASILEIRA*. Brasília: Embrapa. 2. ed. p. 240, 2012.
- FONTANELI, R. S. et al. Utilização estratégica de gramíneas anuais de verão para vazio forrageiro outonal e cobertura de solo. *Plantio direto*, v. 179, n. 1, p. 42-48, 2021.

Sigmae, Alfenas, v.12, n.1, p. 29-39, 2023.

66ª Reunião da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria (RBRAS)

- GONZÁLEZ, J. J. S. et al. Ecogeography of teosinte. Plos One, v. 13, n. 2, p. e0192676, 2018.
- HUFFORD, M. B. et al. The Genomic Signature of Crop-Wild Introgression in Maize. Plos Genet, v. 9, n. 5, p. e1003477, 2013.
- MELO, A. V. et al. Desempenho agrônômico de genótipos de milho submetidos ao estresse hídrico no sul do estado do Tocantins. Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v. 17, n. 2, p. 177-189, 2018.
- MOTTA, W. A.; MAIA, M. S. Condições para o teste de germinação de sementes de teosinto (*Zea mexicana* Schrader). Revista Brasileira de Sementes, v. 21, n. 1, p. 264-268, 1999.
- NIAZI, I. A. K. et al. Comparison of teosinte (*Zea mexicana* L.) and inter-subspecific hybrids (*Zea mays* L. x *Zea mexicana*) for high forage yield under two sowing regimes. Crop and Pasture Science. v. 66, n. 1, p. 46-61, 2015.
- PARDO, G. S. et al. El teosinto: descripción, situación actual em el valle del Ebro y resultados de los primeros ensayos. Vida Rural, v. 408, n. 1, p. 42-48, 2016.
- PIMENTEL-GOMES, F. Curso de estatística experimental. 15. ed. Piracicaba: FEALQ, 2009.
- PEDÓ, T. et al. Desempenho de sementes, vigor e expressão isoenzimática em plântulas de teosinto (*Euchlaena mexicana* Schrader) sob efeito da restrição hídrica. Revista Brasileira de Biociência, v. 13, n. 1, p. 5-9, 2015.
- RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. How a corn plant develops. Special Report, n. 48, 1986.
- SANTOS, H. G. et al. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed. Brasília: Embrapa. p. 356, 2018.
- YANG, L. et al. Mapping Prolificacy QTL in Maize and Teosinte. Journal of Heredity, 7. ed., v. 107, p. 674-678, 2016.