

Predição da massa fresca e massa seca da parte aérea da planta de teosinto em função de caracteres morfológicos

Marcelo Konrad^{1†}, Alberto Cargnelutti Filho², Murilo V. Loro³, Mikael B. Reis¹, Vithória M. Ortiz³, João Augusto Andretta¹, Bruno R. Schuller¹

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

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

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

Resumo: O objetivo deste trabalho foi verificar se as massas frescas e seca da parte aérea da planta de teosinto podem ser estimadas em função de caracteres morfológicos. Foi conduzido um experimento no ano agrícola 2021/2022, em nove datas de semeadura. Foram mensurados os caracteres morfológicos: comprimento do caule do colmo do principal (CC, cm); comprimento do pendão do colmo principal (CP, cm); número de folhas do colmo principal (NF); e número de perfilhos da planta (NPF) e os produtivos: massa fresca da parte aérea da planta (MFPA, g) e massa seca da parte aérea da planta (MSPA, g). Estimaram-se os parâmetros do modelo de regressão linear múltipla e o coeficiente de determinação considerando as variáveis MFPA e MSPA como dependentes e as demais (CC, CP, NF, NPF) como independentes. Estimaram-se os parâmetros do algoritmo de árvore de regressão para a predição da MFPA e MSPA em função das demais variáveis (CC, CP, NF, NPF). As massas frescas e seca da parte aérea da planta de teosinto podem ser estimadas em função de caracteres morfológicos. A MFPA pode ser estimada pelo seguinte modelo de regressão: $MFPA = -740,42 + 3,38(CC) + 9,70(CP) + 41,05(NF) + 85,70(NPF)$. Enquanto a MSPA pode ser estimada pelo seguinte modelo de regressão: $MSPA = -84,33 + 0,85(CC) + 0,27(CP) + 3,67(NF) + 19,46(NPF)$. As plantas com NPF superior a 8 e CC maior que 154 cm apresentam a maior produção da MFPA e MSPA.

Palavras-chave: *Zea mays ssp. mexicana*; regressão linear múltipla; árvore de regressão; planta forrageira.

Prediction of fresh and dry matter of the aerial part of the plant teosinte as a function of morphological traits

Abstract: The objective of this work was to verify whether the fresh and dry matter of the aerial part of the teosinte plant can be estimated as a function of morphological traits. An experiment was conducted in the agricultural year 2021/2022, in nine sowing dates. The following morphological traits were measured: stem length of the main stem (CC, cm); length of the main stem tassel (CP, cm); number of leaves on the main stem (NF); and number of tillers of the plant (NPF) and the productive ones: fresh mass of the aerial part of the plant (MFPA, g) and dry mass of the aerial part of the plant (MSPA, g). The parameters of the multiple linear regression model and the coefficient of determination were estimated considering the variables MFPA and MSPA as dependent and the other (CC, CP, NF, NPF) as independent. The parameters of the regression tree algorithm for predicting MFPA and MSPA were estimated as a function of the other variables (CC, CP, NF, NPF). The fresh and dry mass of the aerial part of the teosinte plant can be estimated as a function of morphological characters. The MFPA can be estimated by the following regression model: $MFPA = -740.42 + 3.38(CC) + 9.70(CP) + 41.05(NF) + 85.70(NPF)$. While the MSPA can be estimated by the following regression model: $MSPA = -84.33 + 0.85(CC) + 0.27(CP) + 3.67(NF) + 19.46(NPF)$. Plants with NPF greater than 8 and CC greater than 154 cm show the highest production of MFPA and MSPA.

Keywords: *Zea mays ssp. mexicana*; multiple linear regression; regression tree; forage plant.

†Autor correspondente: marcelo.konrad@acad.ufsm.br.

Introdução

O teosinto (*Zea mays* ssp. *mexicana*) tem sua origem no México e América Central, sendo uma gramínea de verão. Essa espécie é notável por sua alta capacidade de perfilhamento, tolerância ao déficit hídrico, habilidade de rebrotar após o corte e alta qualidade de forragem (MOHAN et al., 2017). Devido a essas características, o teosinto é amplamente utilizado como uma espécie forrageira na alimentação de animais (KUMAR et al., 2016).

O potencial de produção de massas fresca e seca de uma forrageira é uma característica essencial para a pecuária. O teosinto, por exemplo, apresenta produção de massa fresca variando de 7,5 a 9,2 kg m⁻² (JHA et al., 2016). A quantificação da massa de forragem em sistemas pecuários é essencial para produção rentável, uma vez que auxilia na determinação da capacidade de suporte do pasto, densidade de animais e frequência de pastejo. No entanto, estimar a produção de forragem de forma direta é um processo destrutivo e demanda considerável esforço.

A predição indireta da produção de forragem por meio de características morfológicas não destrutivas e de fácil mensuração tem se mostrado uma abordagem eficiente (CARGNELUTTI FILHO et al., 2015), proporcionando maior eficiência na seleção de plantas e fornecendo informações para os manejos a serem adotados. Essa estratégia simplifica o processo de estimativa e contribui para uma melhor gestão dos recursos forrageiros, otimizando a produtividade e a lucratividade dos sistemas pecuários.

Dentre as técnicas estatísticas utilizadas para estimar a produção de forragem, a análise de regressão linear múltipla se destaca. Por meio dessa abordagem, é possível estimar parâmetros de um modelo matemático que permite prever uma variável dependente com base em variáveis independentes (HAIR et al., 2009). Além disso, a árvore de regressão também pode ser empregada para estimar limites de valores das variáveis independentes, que resultam em uma maior média da variável dependente (LOH, 2011). A utilização dessas técnicas estatísticas contribui para uma melhor compreensão da relação entre as características da produção de forragem e as morfológicas, permitindo uma tomada de decisão mais embasada e eficiente no manejo dos sistemas de produção pecuária.

Estudos identificaram as relações entre a produção de forragem e caracteres morfológicos em culturas como teosinto (KHANAL et al., 2020; ORTIZ et al., 2023), aveia preta (CARGNELUTTI FILHO et al., 2015) e aveia branca (AHMAD et al., 2013). Em teosinto, Khanal et al. (2020) revelaram que a altura de planta, comprimento da folha e número de perfilhos foram determinantes para maximizar a massa de forragem. Ortiz et al. (2023) observaram que o número de perfilhos da planta determinou a produção de massa fresca e seca da parte aérea de teosinto. Na aveia preta, a altura da planta e o número de folhas podem ser usadas para seleção indireta das massas seca e fresca (CARGNELUTTI FILHO et al., 2015). Ahmad et al. (2013) evidenciaram que o aumento do número de perfilhos promoveu o incremento da produção de forragem da aveia branca.

Embora nessas pesquisas tenham sido estudadas as relações entre os caracteres de teosinto, não foram encontrados estudos que estimaram parâmetros de modelos de regressão para prever a produção de forragem de teosinto por meio de caracteres morfológicos. Logo, prever as massas fresca e seca da parte aérea de teosinto, por meio de caracteres não destrutivos é uma estratégia importante na escolha de genótipos promissores e utilização de manejos agrônômicos adequados. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi verificar se as massas fresca e seca da parte aérea da planta de teosinto podem ser estimadas em função de caracteres morfológicos.

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. 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 a aplicação de 300 kg ha⁻¹ de N-P-K na proporção 5:20:20, e uma gradagem. 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; 01/01/2022). As semeaduras foram realizadas com três sementes por cova, em uma fileira de 5 m de comprimento, espaçadas a 0,80 m entre fileiras e 0,20 m entre plantas na fileira. Após a emergência das plântulas foi realizado um desbaste para atingir o estande final desejado. Foram marcadas após emergência, aleatoriamente, cinco plantas em cada fileira totalizando 45 plantas na área experimental (9 datas de semeadura × 5 plantas/data de semeadura).

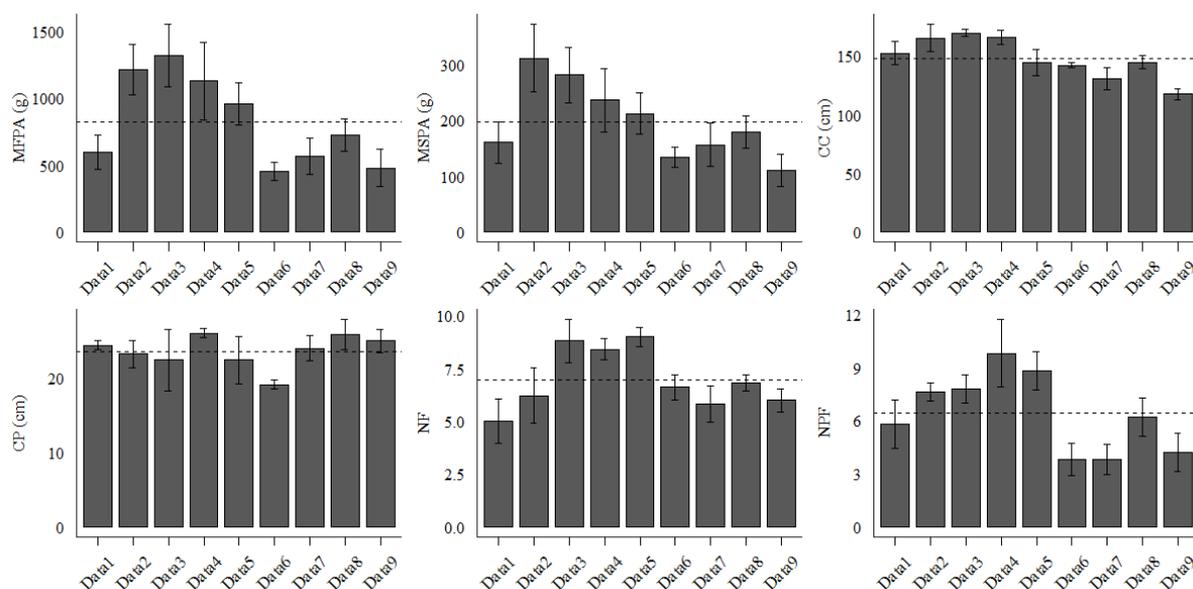
Na colheita, as plantas marcadas foram coletadas e suas partes foram identificadas para avaliar os caracteres morfológicos: comprimento do caule do colmo principal (CC, em cm); comprimento do pendão do colmo principal (CP, em cm); número de folhas do colmo principal (NF, em unidades); e número de perfilhos da planta (NPF, em unidades) e os produtivos: massa fresca da parte aérea da planta (MFPA, em g) e massa seca da parte aérea da planta (MSPA, em g).

Para cada variável morfológica e produtiva calcularam-se a média e o erro padrão, por data de semeadura. Estimaram-se os parâmetros do modelo de regressão linear múltipla e o coeficiente de determinação considerando as variáveis MFPA e MSPA como dependentes e as demais (CC, CP, NF, NPF) como independentes. Estimaram-se os parâmetros do algoritmo de árvore de regressão para a predição da MFPA e MSPA em função das demais variáveis (CC, CP, NF, NPF). Todas as análises foram realizadas por meio do Microsoft Excel e software R (R CORE TEAM, 2023). Utilizou-se o pacote *rpart* (THERNEAU; ATKINSON, 2022) para estimar os parâmetros do algoritmo de regressão e o pacote *rpart.plot* (MILBORROW, 2022) para gerar a árvore de regressão.

Resultados e discussão

Na quarta data de semeadura, todas as variáveis apresentaram expressão fenotípica acima da média geral das nove datas de semeadura (Figura 1). Na segunda, terceira, quarta e quinta datas de semeadura observaram-se médias de MFPA e MSPA acima da média geral das nove datas de semeadura. Isso sugere que esse período foi o mais favorável para o desenvolvimento do teosinto. A MFPA, MSPA, NF e NPF apresentaram a maior variabilidade da média entre as datas de semeadura. Isso indica, que a expressão desses caracteres é influenciada pelas condições ambientais. Já o CC e o CP, apresentaram menores variações da média entre as datas de semeadura.

Figura 1. Média \pm erro padrão das variáveis massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA), comprimento do caule do colmo principal (CC), comprimento do pendão do colmo principal (CP), número de folhas do colmo principal (NF) e o número de perfilhos da planta (NPF) avaliadas em nove datas de semeadura. A linha tracejada na horizontal refere-se a média geral da variável nas nove datas de semeadura. Data1: 08/10/2021, Data2: 30/10/2021, Data3: 13/11/2021, Data4: 20/11/2021, Data5: 04/12/2021, Data6: 11/12/2021, Data7: 18/12/2021, Data8: 25/12/2021 e Data9: 01/01/2022.



Fonte: Autores.

Os modelos de regressão linear múltipla para a MFPA e MSPA foram calculados em função do CC, CP, NF e NPF (Tabela 1). Os coeficientes de determinação do modelo (R^2) obtidos na estimativa da MFPA e MSPA foram 0,603 e 0,506, respectivamente. Interpreta-se que quanto mais próximo de um for o R^2 modelo, maior a precisão das estimativas de MFPA e MSPA.

Tabela 1. Estimativa dos parâmetros de regressão linear múltipla e dos coeficientes de determinação (R^2) da massa fresca da parte aérea da planta (MFPA, g) e massa seca da parte aérea da planta (MSPA, g), em função do 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).

Modelo	MFPA	MSPA
Interseção	-740,421	-84,334
CC	3,380	0,848
CP	9,704	0,266
NF	41,054	3,668
NPF	85,699	19,456
R^2	0,603	0,506

Fonte: Autores.

Sigmae, Alfenas, v.12, n.3, p. 10-17, 2023.

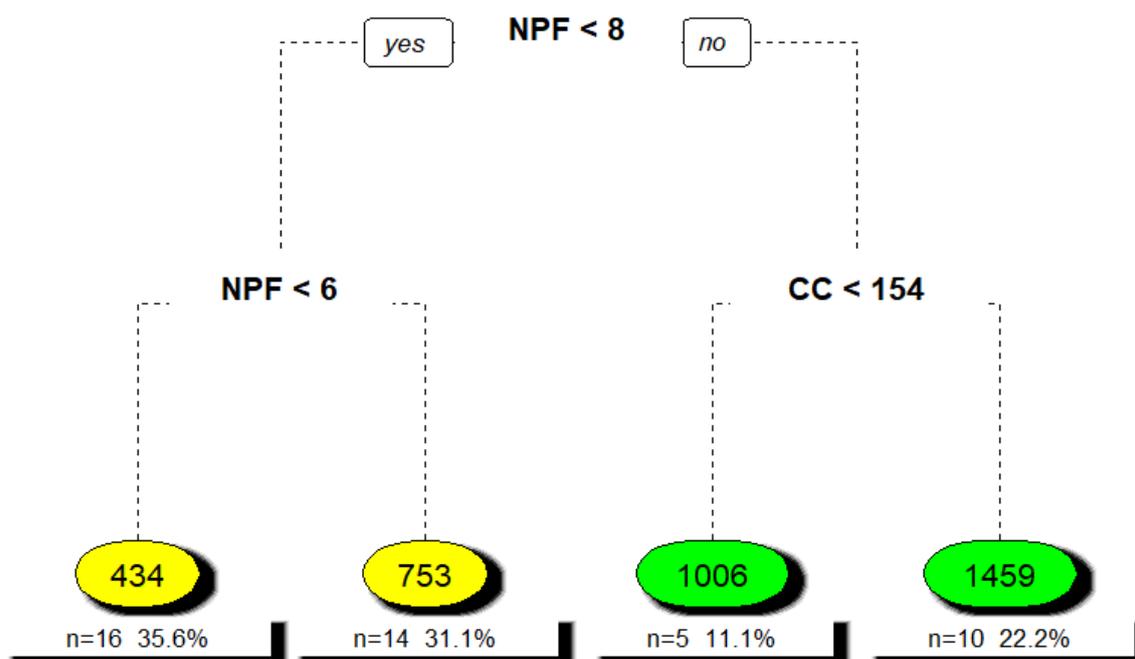
67^a Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria (RBras) e o 20^o Simpósio de Estatística Aplicada à Experimentação Agrônômica (SEAGRO)

O NPF foi a principal variável morfológica que determinou a expressão da MFPA e MSPA. Resultado similar foi observado por Ortiz et al. (2023), os quais identificaram, por meio da análise de trilha, maior efeito direto do NPF sobre a MFPA e MSPA de teosinto. Em aveia branca, Ahmad et al. (2013) também identificaram que o NPF foi determinante para a produção de forragem.

Foi possível estimar a MFPA pelo seguinte modelo de regressão: $MFPA = -740,42 + 3,38(CC) + 9,70(CP) + 41,05(NF) + 85,70(NPF)$. Enquanto a MSPA pode ser estimada pelo seguinte modelo de regressão: $MSPA = -84,33 + 0,85(CC) + 0,27(CP) + 3,67(NF) + 19,46(NPF)$.

O NPF foi a principal variável que determinou a expressão da MFPA e MSPA de teosinto (Figuras 2 e 3). As plantas com NPF superior a oito e CC maior que 154 cm apresentaram o maior desempenho produtivo, uma vez que expressaram valor médio de MFPA e MSPA de 1.459 gramas (22,2% das observações) e 331 gramas (22,2% das observações), respectivamente. As menores MFPA e MSPA de teosinto foram observadas em plantas com menos de seis e sete perfilhos, respectivamente. Logo, pode-se inferir que o NPF pode ser utilizado para seleção indireta de genótipos para maior MFPA e MSPA.

Figura 2. Representação gráfica da árvore de regressão para predição da massa fresca da parte aérea da planta de teosinto, em gramas, por meio de 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).

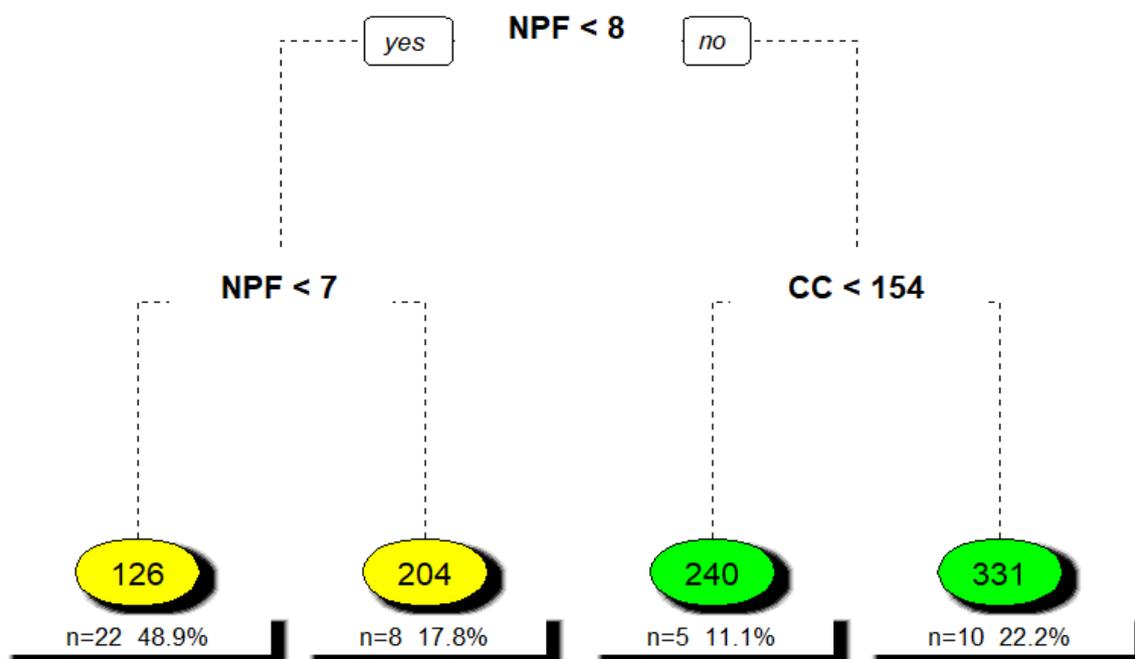


Fonte: Autores.

Sigmae, Alfenas, v.12, n.3, p. 10-17, 2023.

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

Figura 3. Representação gráfica da árvore de regressão para predição da massa seca da parte aérea da planta de teosinto, em gramas, por meio de 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).



Fonte: Autores.

Com base nos resultados da regressão linear múltipla e árvore de regressão, pode-se inferir que os caracteres morfológicos não destrutivos, principalmente o NPF, determina o potencial produtivo do teosinto, permitindo a predição da MFPA e MSPA com base em modelos de regressão. Essa abordagem simplifica o processo de estimativa e facilita a seleção de genótipos mais produtivos. No entanto, a variação das demais características morfológicas, como comprimento do colmo (CC), comprimento da planta (CP) e número de folhas da planta principal (NF) entre as datas de semeadura também devem ser consideradas ao otimizar o manejo agrícola e a seleção de genótipos para maior produtividade.

Conclusões

As massas fresca e seca da parte aérea da planta de teosinto podem ser estimadas em função de caracteres morfológicos. A MFPA pode ser estimada pelo seguinte modelo de regressão: $MFPA = -740,42 + 3,38(CC) + 9,70(CP) + 41,05(NF) + 85,70(NPF)$. Enquanto a MSPA pode ser estimada pelo seguinte modelo de regressão: $MSPA = -84,33 + 0,85(CC) + 0,27(CP) + 3,67(NF) + 19,46(NPF)$. As plantas com NPF superior a 8 e CC maior que 154 cm apresentam a maior produção da MFPA e MSPA.

Sigmae, Alfenas, v.12, n.3, p. 10-17, 2023.

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

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

AHMAD, M. et al. Estimation of correlation coefficient in oats (*Avena sativa* L.) for forage yield, grain yield and their contributing traits. *International Journal of Plant Breeding and Genetics*, v. 7, n. 3, p. 188-191, 2013.

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

CARGNELUTTI FILHO, A. et al. Relações lineares entre caracteres de aveia preta. *Ciência Rural*, v. 45, n. 6, p. 985-992, 2015.

HAIR, J. F. et al. *Análise multivariada de dados*. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009, 688p.

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.

KHANAL, B. et al. Maximizing fodder yield of teosinte (*Euchlaena mexicana*) through sowing dates and mixed fodder cropping management. *Journal of Agriculture and Forestry University*, v. 4, p. 269-278, 2020.

KUMAR, B. et al. Herbage production, nutritional composition and quality of teosinte under Fe fertilization. *International Journal of Agriculture & Biology*, v. 18, n. 2, p. 319-329, 2016.

LOH, W. Y. *Classification and regression trees*. Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery, v. 1, n. 1, p. 14-23, 2011.

MILBORROW, S. `_rpart.plot: Plot 'rpart' Models: an Enhanced Version of 'plot.rpart'`. R package version 3.1.1, 2022. <https://CRAN.R-project.org/package=_rpart.plot>.

MOHAN, S.; DAR, E. A.; SINGH, M. Fodder quality of teosinte fodder as influenced by nitrogen, phosphorus and zinc application. *International Journal of Pure and Applied Bioscience*, v. 5, p. 596-604, 2017.

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. URL <https://www.R-project.org/>.

Sigmae, Alfenas, v.12, n.3, p. 10-17, 2023.

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

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

THERNEAU, T.; ATKINSON, B. *rpart: Recursive Partitioning and Regression Trees*. R package version 4.1.19, 2022. <<https://CRAN.R-project.org/package=rpart>>

Sigmae, Alfenas, v.12, n.3, p. 10-17, 2023.

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