

Relações lineares entre caracteres de cultivares de alfafa

Lais Cherobini[†], Alberto Cargnelutti Filho¹, Murilo Vieira Loro², Vithória Morena Ortiz², João Augusto Andretta¹, João Carlos Denardin Junior¹, Marcelo Konrad¹, Mikael Brum dos Reis¹, Rodrigo Pereira Soares¹

¹ Programa de Pós-Graduação em Agronomia; Centro de Ciências Rurais; Universidade Federal de Santa Maria; Santa Maria – Rio Grande do Sul, Brasil.

² Departamento de Fitotecnia; Centro de Ciências Rurais; Universidade Federal de Santa Maria; Universidade Federal de Santa Maria – Rio Grande do Sul, Brasil.

Resumo: O objetivo desse trabalho foi verificar se há relações lineares positivas entre caracteres de duas cultivares de alfafa e quais caracteres podem ser utilizados para seleção indireta. Foram conduzidos dois ensaios de uniformidade, um com a cultivar Crioula e outro com a cultivar Trifecta, em Santa Maria, estado do Rio Grande do Sul. A semeadura foi realizada manualmente em 27 de novembro de 2023. No florescimento, foram coletadas, aleatoriamente, 110 plantas de cada cultivar. Em cada planta, foram avaliados os caracteres: altura de planta (AP), número de nós (NN), massa de matéria fresca (MF) e massa de matéria seca (MS). Para cada cultivar, determinou-se a matriz de coeficientes de correlação linear de Pearson (r) entre os quatro caracteres, sendo a significância verificada pelo teste t de Student a 5%. Estimaram-se os parâmetros do algoritmo da árvore de regressão para a predição da MF e MS em função da AP e NN. Entre os caracteres da cultivar Crioula o r variou de 0,30 (NN vs MS) a 0,97 (MF vs MS), com média de 0,51. Entre os caracteres da cultivar Trifecta o r variou de 0,24 (NN vs MF) a 0,97 (MF vs MS) com média de 0,51. Há relações lineares positivas entre os caracteres altura de planta, número de nós, massa de matéria fresca e massa de matéria seca, das cultivares Crioula e Trifecta de alfafa. A altura de planta tem relação linear positiva com as massas de matéria fresca e seca da parte aérea e pode ser utilizada para seleção indireta.

Palavras-chave: *Medicago sativa* L.; Forrageira; Ensaio de uniformidade; Correlação.

Linear relations among traits alfalfa cultivars

Abstract: The objective of this work was to verify whether there are positive linear relations among traits of two alfalfa cultivars and which traits can be used for indirect selection. To this end, two uniformity trials were conducted, one with the Crioula cultivar and the other with the Trifecta cultivar, in Santa Maria, state of Rio Grande do Sul. Sowing was carried out manually on November 27, 2023. At flowering, 110 plants of each cultivar were randomly collected. In each plant, the traits evaluated were: plant height (PH), number of nodes (NN), fresh matter mass (FM) and dry matter mass (DM). For each cultivar, the matrix of Pearson's linear correlation coefficients (r) between the four traits was determined, with significance verified using Student's t test at 5%. The parameters of the regression tree algorithm were estimated to predicting FM and DM as a function of PH and NN. Among the traits of the Crioula cultivar, the r ranged from 0.30 (NN vs DM) to 0.97 (FM vs DM), with an average of 0.51. Among the traits of the Trifecta cultivar, the r ranged from 0.24 (NN vs FM) to 0.97 (FM vs DM) with an average of 0.51. There are positive linear relations between the traits plant height, number of nodes, fresh matter mass and dry matter mass, of the alfalfa cultivars Crioula and Trifecta. Plant height has positive linear relations with the fresh and dry matter masses of the aerial part and can be used for indirect selection.

Keywords: *Medicago sativa* L.; Forage; Uniformity trial; Correlation.

[†] Autor correspondente: laischerobini@gmail.com

Manuscrito recebido em: 15/07/2024
Manuscrito revisado em: 04/10/2024
Manuscrito aceito em: 07/10/2024

Introdução

A alfafa (*Medicago sativa* L.) tem origem na Ásia, é uma leguminosa forrageira perene, pertencente à família Fabaceae. Destaca-se pela sua elevada produção de forragem e por sua adaptação a diferentes tipos de clima e solo (FERREIRA *et al.*, 2016). Reúne algumas das mais importantes características forrageiras como alta produtividade, qualidade proteica, palatabilidade, digestibilidade, capacidade de fixação de nitrogênio e boa taxa de rebrota.

A qualidade nutricional da forragem é um fator fundamental que influencia diretamente o aumento de ganho de peso e produção de leite em rebanhos bovinos. O interesse no uso da alfafa tem aumentado em sistemas intensivos devido à sua qualidade, produtividade e rentabilidade em relação a outros alimentos volumosos. As formas mais frequentes de utilização da alfafa incluem feno, silagem e pastejo (FERREIRA *et al.*, 2015). Na alfafa e em outras espécies forrageiras, são almejadas características morfológicas, fisiológicas e agrônômicas que maximizem o rendimento, a qualidade da forragem e a persistência das plantas, em suas diversas formas de utilização (DUARTE *et al.*, 2021).

A alfafa se desenvolve nas estações da primavera, verão e outono. Contudo, a interferência de plantas daninhas no estabelecimento da alfafa é tão significativa que é uma das principais razões pelo predomínio do outono como o ideal para a semeadura. No outono a competição com plantas daninhas é menor e a alfafa tem maior potencial de desenvolvimento, suficiente para permitir a implantação e a competição durante primavera-verão (RASSINI; FERREIRA; MOREIRA, 2006). Durante o verão, com manejos adequados a alfafa responde significativamente ao rendimento de matéria fresca e seca, devido ao crescimento ativo nesta estação. Acumula maiores reservas de substâncias, e devido ao sistema radicular desenvolvido apresenta tolerância a períodos de déficit hídrico (RODRÍGUEZ *et al.*, 2020).

Em espécies forrageiras, como a alfafa, é fundamental obter plantas que apresentem alta produção de massas de matéria fresca e seca. A quantificação das massas de matéria fresca e seca é um processo destrutivo, ou seja, é necessário colher as plantas para a pesagem das mesmas. Assim, é importante compreender as relações dessas massas com outros caracteres que podem ser avaliados de forma não destrutiva, e utilizados na seleção indireta de genótipos para o melhoramento de plantas (CARGNELUTTI FILHO *et al.*, 2015). O coeficiente de correlação linear de Pearson (r) é utilizado para avaliar se há relação linear entre dois caracteres. O r varia de -1 (correlação linear negativa perfeita) a 1 (correlação linear positiva perfeita) e quando $r = 0$ significa ausência de relação linear entre os caracteres (BUSSAB; MORETTIN, 2017; FERREIRA, 2018). A análise de árvore de regressão está entre os modelos estatísticos utilizados para compreender as relações, possibilitando estimar valores ótimos das variáveis independentes que promovem uma maior média de expressão da variável dependente (LOH *et al.*, 2011). Essa metodologia também foi utilizada para predição da produtividade de matéria fresca e seca da parte aérea de teosinto (KONRAD *et al.*, 2023; REIS *et al.*, 2023).

O estudo das relações lineares é uma estratégia importante para auxiliar na seleção de genótipos promissores. Alla *et al.* (2013) observaram correlação positiva e significativa entre a altura de plantas com as massas de matéria fresca e seca de alfafa ($r = 0,96$ e $r = 0,97$, respectivamente) como também correlação $r = 0,99$ entre o número de ramificações e as massas de matéria fresca e seca. Arab, Shal e Hamed (2015) observaram que altura de planta e o número de ramificações apresentaram correlação de $r = 0,96$ e $r = 0,97$, respectivamente com as massas de matéria fresca e seca de alfafa. Correlação positiva também foi identificada entre a altura de planta com as massas de matéria fresca e seca de alfafa ($r = 0,77$ e $0,79$, respectivamente) (CACAN;

KOKTEN; KAPLAN, 2018). A altura de planta e o número de nós apresentaram correlação positiva com as massas de matéria seca em alfafa ($r = 0,58$ e $r = 0,37$, respectivamente) (TLAHIG *et al.*, 2021). Olom, Wei e Nana (2023) também observaram correlação positiva entre altura de planta e o número de nós, com $r = 0,66$ e $r = 0,35$, respectivamente, com as massas de matéria fresca e seca de alfafa. Em outras espécies como o nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) e tremoço branco (*Lupinus albus* L.) (CARGNELUTTI FILHO *et al.*, 2014), aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) (CARGNELUTTI FILHO *et al.*, 2015) e teosinto (ORTIZ *et al.*, 2023) também foram identificadas relações lineares entre caracteres morfológicos e produtivos. Esses estudos evidenciaram que o diâmetro de caule para a cultura do nabo forrageiro e o número de vagens por planta para a cultura do tremoço branco (CARGNELUTTI FILHO *et al.*, 2014), o número de folhas por planta e altura de planta para cultura da aveia preta (CARGNELUTTI FILHO *et al.*, 2015) e o número de perfilhos da planta para a cultura de teosinto (ORTIZ *et al.*, 2023), têm relação linear positiva com as massas de matéria fresca e seca, podendo ser utilizados para seleção indireta.

Portanto, compreender as relações lineares entre caracteres morfológicos e produtivos da alfafa permite identificar caracteres para a seleção indireta de plantas de alto desempenho produtivo sem a necessidade de destruí-las. Assim, o objetivo desse trabalho foi verificar se há relações lineares positivas entre caracteres de duas cultivares de alfafa e quais caracteres podem ser utilizados para seleção indireta.

Material e métodos

Foram realizados dois ensaios de uniformidade (experimentos sem tratamentos, em que a cultura agrícola e todos os procedimentos realizados durante o experimento são os mesmos em toda a área experimental) com a cultura da alfafa (*Medicago sativa* L.) na área experimental do Departamento de Fitotecnia, na Universidade Federal de Santa Maria, situada a 29°42'S, 53°49' W e 95 m de altitude. O clima da região é Cfa subtropical úmido, conforme classificação de Köppen (ALVARES *et al.*, 2013) e o solo é Argissolo vermelho distrófico arênico (SANTOS *et al.*, 2018).

Foram avaliadas duas cultivares de alfafa (Crioula e Trifecta), ou seja, um ensaio de uniformidade com a cultivar Crioula e outro com a cultivar Trifecta. Nos dois ensaios, foi realizada a semeadura manualmente, em 27 de novembro de 2023, na densidade de 30 kg de sementes ha⁻¹. Cada ensaio de uniformidade foi composto por 32 fileiras de plantas com 20 m de comprimento, espaçadas em 0,25 m entre fileiras, totalizando 160 m². O preparo do solo foi realizado com uma gradagem e uma adubação com aplicação de 500 kg ha⁻¹ de adubo NPK (05-20-20). Os tratamentos culturais durante a condução dos ensaios foram realizados homogeneamente em toda área experimental.

Em 23 de janeiro de 2024 (57 dias após a semeadura), na área experimental, foram coletadas, aleatoriamente, 110 plantas de cada cultivar. Nesse momento, as plantas estavam na fase de pleno florescimento. As plantas foram cortadas junto à superfície do solo. Em cada planta, foram avaliados os seguintes caracteres: altura de planta (AP, em cm), número de nós (NN, em número por planta), massa de matéria fresca (MF, em g por planta) e massa de matéria seca (MS, em g por planta). A massa de matéria fresca foi determinada, imediatamente, após o corte para evitar a perda de umidade. Para obter a massa de matéria seca, as plantas foram alocadas em sacos de papel e armazenadas em estufa a 60°C, com ventilação forçada, até atingir massa constante. As massas foram determinadas pela pesagem da parte aérea das plantas, em balança digital com precisão 0,01 g.

Com os dados das 110 plantas de cada cultivar, foram calculadas a média e o coeficiente de variação dos caracteres AP, NN, MF e MS de cada cultivar. A seguir, para visualizar o padrão das relações entre os caracteres AP, NN, MF e MS, foram confeccionados diagramas de dispersão para cada cultivar. Após, para cada cultivar, foi determinada a matriz de coeficientes de correlação linear de Pearson (r) entre os caracteres AP, NN, MF e MS com base nas 110 plantas de cada cultivar e, por meio do teste t de *Student*, foi verificada a significância do r a 5%, com 108 graus de liberdade ($n = 110$ plantas por cultivar). O coeficiente de correlação linear de Pearson foi calculado por meio da expressão:

$$r = \frac{\Sigma(X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\sqrt{\Sigma(X_i - \bar{X})^2 \cdot \Sigma(Y_i - \bar{Y})^2}}$$

(BUSSAB; MORETTIN, 2017), na qual X e Y representam as variáveis (nesse estudo, são os caracteres AP, NN, MF e MS de cada cultivar) a serem correlacionadas. Após para cada valor de r foi verificada a sua significância pelo teste t de *Student* a 5%, por meio da expressão:

$$t = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}}$$

(BUSSAB; MORETTIN, 2017), na qual r é o coeficiente de correlação linear de Pearson e n o tamanho de amostra ($n = 110$ plantas por cultivar). Os parâmetros do algoritmo da árvore de regressão foram estimados para predizer a massa fresca (MF) e a massa seca (MS) com base nas variáveis altura de planta (AP) e número de nós (NN). Para essa análise, foi utilizado o índice de Gini, com o parâmetro de complexidade fixado em 0,02, além de um *minsplit* igual a 1, *minbucket* igual a 2 e *maxdepth* igual a 3. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software R (R CORE TEAM, 2023) e aplicativo Office Excel®. 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

A proximidade entre as médias de cada um dos caracteres AP, NN, MF e MS revelam similaridade no desenvolvimento das duas cultivares de alfafa (Crioula e Trifecta) (Tabela 1). A AP de planta foi de 57,81 e 58,60 cm para as cultivares Crioula e Trifecta, respectivamente. Resultados similares foram relatados por Avci, Ozkoze e Tamkoc (2013) com altura média de planta de 66 cm, por Arab, Shal e Hamed (2015) com altura média de planta de 45,78 e 52,35 cm entre genótipos de alfafa, por Cacan, Kokten e Kaplan (2018) com altura média de planta de 50,6 cm e por Greveniotis et al. (2024) com altura média de planta de 68,36 cm. Atumo et al. (2021) observaram altura média de planta de genótipos de alfafa entre 56,14 e 60,13 cm. Donmez e Hatipoglu (2023) observaram altura média de planta de 62,2 e 69,4 cm. O número de nós manteve-se similar, 16,65 e 16,78, respectivamente nas duas cultivares de alfafa (Crioula e Trifecta) (Tabela 1). Resultados próximos foram observados por Olom, Wei e Nana (2023) e Greveniotis et al. (2024) com número médio de nós de 18,16 e 12,92, respectivamente.

Table 1: Mean, coefficient of variation (CV, in %), and Pearson's linear correlation coefficients (r)* between the evaluated characteristics in 110 alfalfa plants (*Medicago sativa* L.) of each cultivar, Crioula and Trifecta.

Caracteres (1)	Média	CV(%)	AP	NN	MF	MS
Cultivar Crioula (n = 110 plantas)						
AP	57,81	14,27	1,00	0,37	0,52	0,52
NN	16,65	12,67	0,37	1,00	0,35	0,30
MF	6,69	47,75	0,52	0,35	1,00	0,97
MS	1,67	46,38	0,52	0,30	0,97	1,00
Cultivar Trifecta (n = 110 plantas)						
	Média	CV(%)	AP	NN	MF	MS
AP	58,60	12,20	1,00	0,45	0,57	0,60
NN	16,78	11,79	0,45	1,00	0,24	0,26
MF	7,32	45,57	0,57	0,24	1,00	0,97
MS	1,74	44,58	0,60	0,26	0,97	1,00

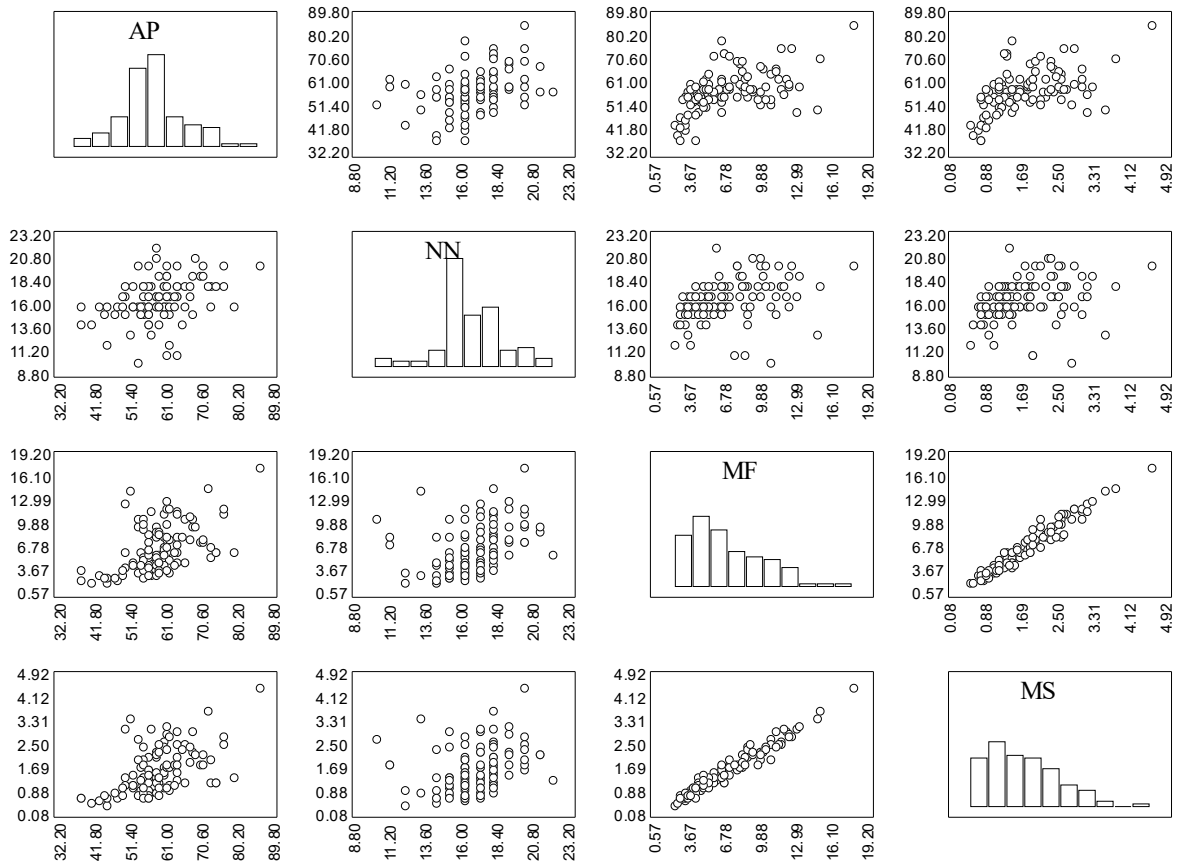
Source: from the authors (2024).

Legend: All r values were significant at the 5% level according to Student's t-test with 108 degrees of freedom. (1) PH - plant height (in cm); NN - number of nodes (in number per plant); FM - fresh matter mass (in g per plant); DM - dry matter mass (in g per plant).

Entre os caracteres da cultivar Crioula, o coeficiente de variação (CV) oscilou entre 12,67% para o número de nós e 47,75% para a massa de matéria fresca. Entre os caracteres da cultivar Trifecta, o CV oscilou entre 11,79% para o número de nós e 45,57% para a massa de matéria fresca. Os coeficientes de variação dos caracteres produtivos (MF e MS) foram superiores aos caracteres morfológicos (AP e NN). Maior variação dos caracteres produtivos em relação aos morfológicos também foi verificada nas culturas de nabo forrageiro e tremoço branco (CARGNELUTTI FILHO *et al.*, 2014) e teosinto (ORTIZ *et al.*, 2023). Essa variação constatada entre as plantas de alfafa é importante e confere adequabilidade ao estudo das relações entre os caracteres.

Visualmente, percebe-se nos diagramas de dispersão que há padrões de linearidade entre os caracteres das cultivares Crioula (Figura 1) e Trifecta (Figura 2), podendo-se inferir a adequabilidade do estudo desses dados por meio da análise de correlação linear.

Figure 1: Frequency histogram (on the diagonal) and scatter plots between the traits plant height (PH, in cm), number of nodes (NN, in number per plant), fresh matter mass (FM, in g per plant), and dry matter mass (DM, in g per plant) of 110 alfalfa plants (*Medicago sativa* L.) from the Crioula cultivar.

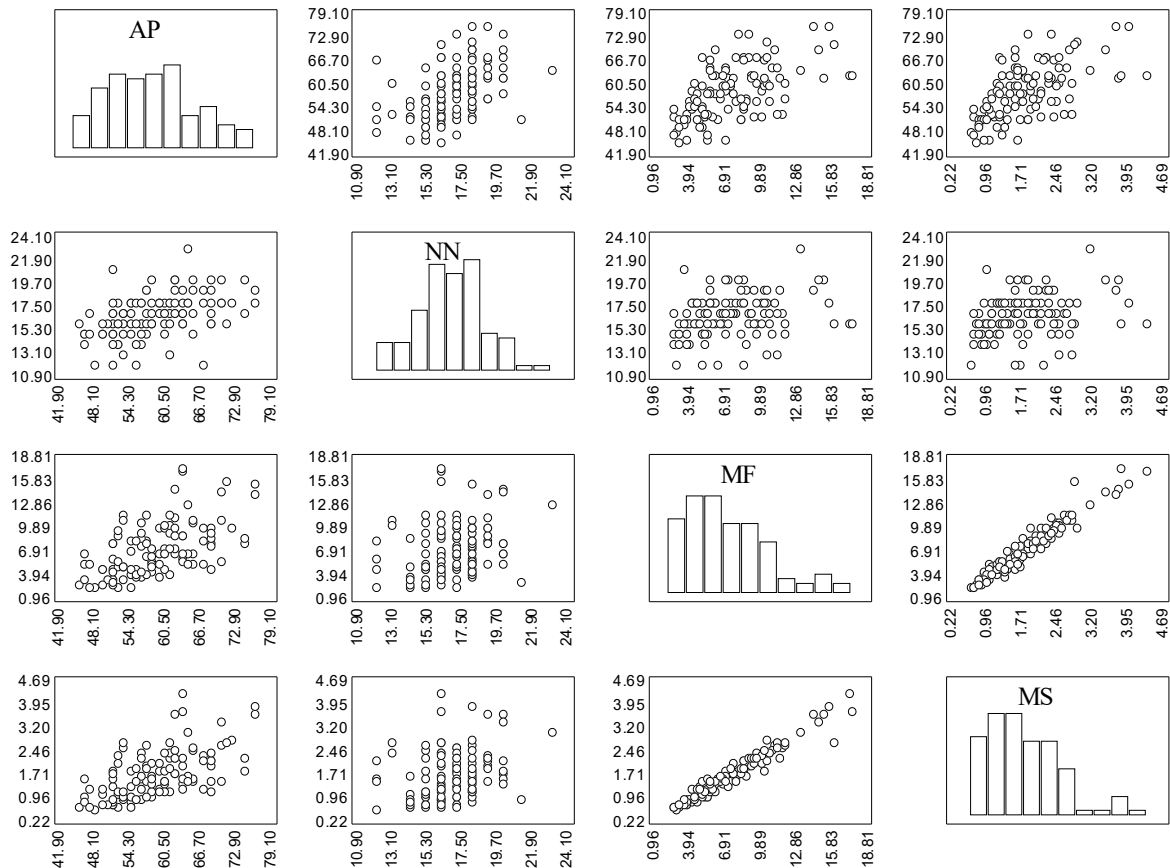


Source: from the authors (2024).

Legend: In the figure, the dot is being used as the decimal separator.

Os coeficientes de correlação linear de Pearson (r) entre os caracteres da cultivar Crioula ($0,30 \leq r \leq 0,97$, com média 0,51) e da cultivar Trifecta ($0,24 \leq r \leq 0,97$, com média 0,51) (Tabela 1) revelam associações lineares positivas e confirmam a existência de padrões de linearidade (Figuras 1 e 2). As massas de matéria fresca e seca das cultivares Crioula e Trifecta apresentaram maior grau de associação linear (maiores valores de r) com a altura de planta e menor grau de associação (menores valores de r) com o número de nós (Tabela 1). Portanto, esses resultados sugerem que plantas com maior altura estão associadas a plantas com maiores massas de matéria fresca e seca. Em menor grau de associação as plantas com maior número de nós também estão associadas a plantas com maiores massas de matéria fresca e seca. Pesquisas também identificaram que a altura de planta é um dos principais caracteres que determinam a produção de massas de matéria fresca e seca de alfafa, devido aos altos valores dos coeficientes de correlação ($r \geq 0,58$) (ALLA *et al.*, 2013; ARAB; SHAL; HAMED, 2015; CACAN; KOKTEN; KAPLAN, 2018; TLAHIG *et al.*, 2021; OLOM, WEI; NANA, 2023).

Figure 2: Frequency histogram (on the diagonal) and scatter plots between the traits plant height (PH, in cm), number of nodes (NN, in number per plant), fresh matter mass (FM, in g per plant), and dry matter mass (DM, in g per plant) of 110 alfalfa plants (*Medicago sativa* L.) from the Trifecta cultivar.

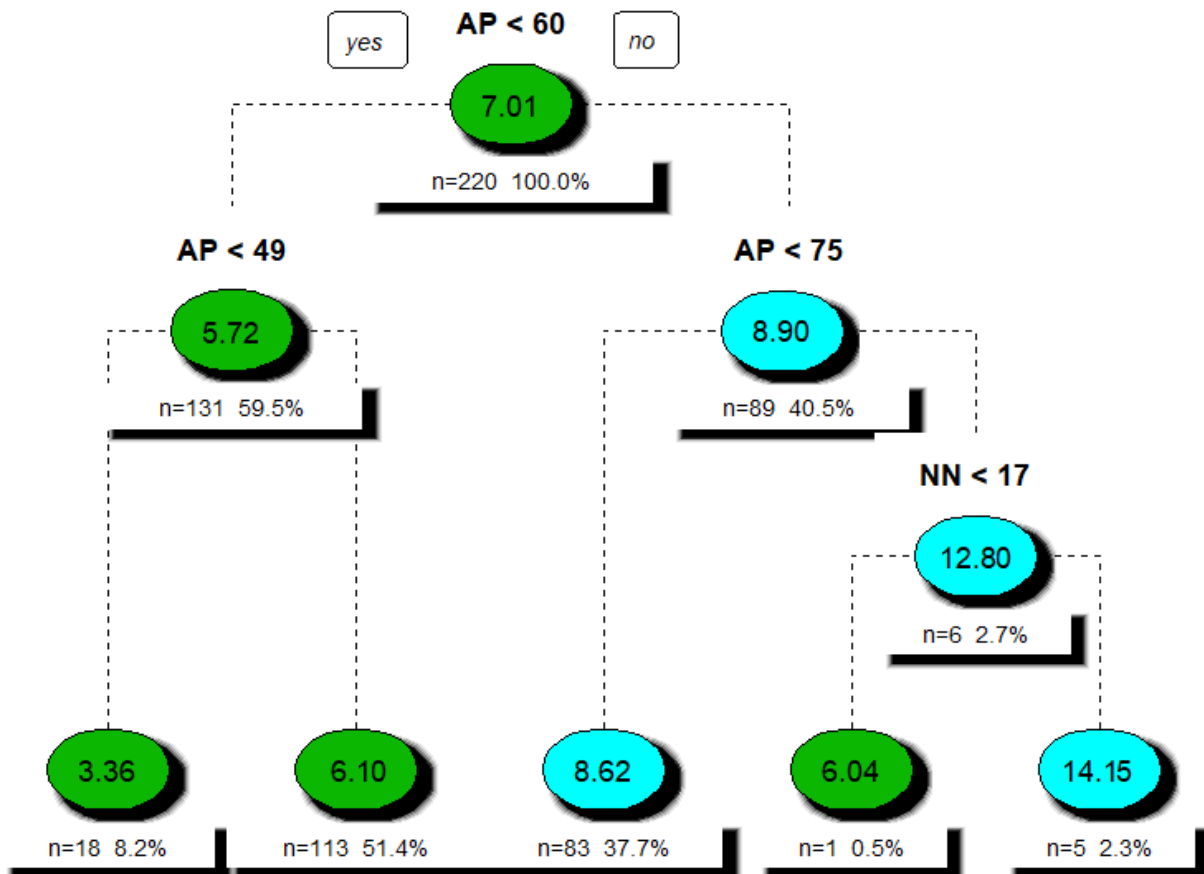


Source: from the authors (2024).

Legend: In the figure, the dot is being used as the decimal separator.

A AP foi o principal caractere que determinou a expressão da MF e da MS das duas cultivares de alfafa (Figuras 3 e 4). As plantas com AP superior a 60 cm apresentaram o maior desempenho produtivo, ou seja, expressaram média de MF de 8,90 g por planta (n = 89 plantas, 40,5% das observações) (Figura 3) e média de MS de 2,15 gramas (n = 89 plantas, 40,5% das observações) (Figura 4). Por outro lado, as plantas com AP inferior a 60 cm apresentaram o menor desempenho produtivo, ou seja, expressaram média de MF de 5,72 g por planta (n = 131 plantas, 59,5% das observações) (Figura 3) e média de MS de 1,41 gramas (n = 131 plantas, 59,5% das observações) (Figura 4). Em teosinto, outra espécie utilizada para forragem, Reis et al. (2023) ao utilizarem a metodologia de árvore de regressão identificaram as faixas das variáveis meteorológicas que correspondem a um aumento da massa fresca da parte aérea da planta de teosinto. Konrad *et al.* (2023) também identificaram que os caracteres morfológicos, principalmente o número de perfilhos da planta, expressam maior produção de massas fresca e seca da parte aérea de teosinto.

Figure 3: Graphical representation of the regression tree for predicting fresh matter mass, in g per plant, of alfalfa plants (*Medicago sativa* L.) from the Crioula and Trifecta cultivars using the traits plant height (PH, in cm) and number of nodes (NN, in number per plant).

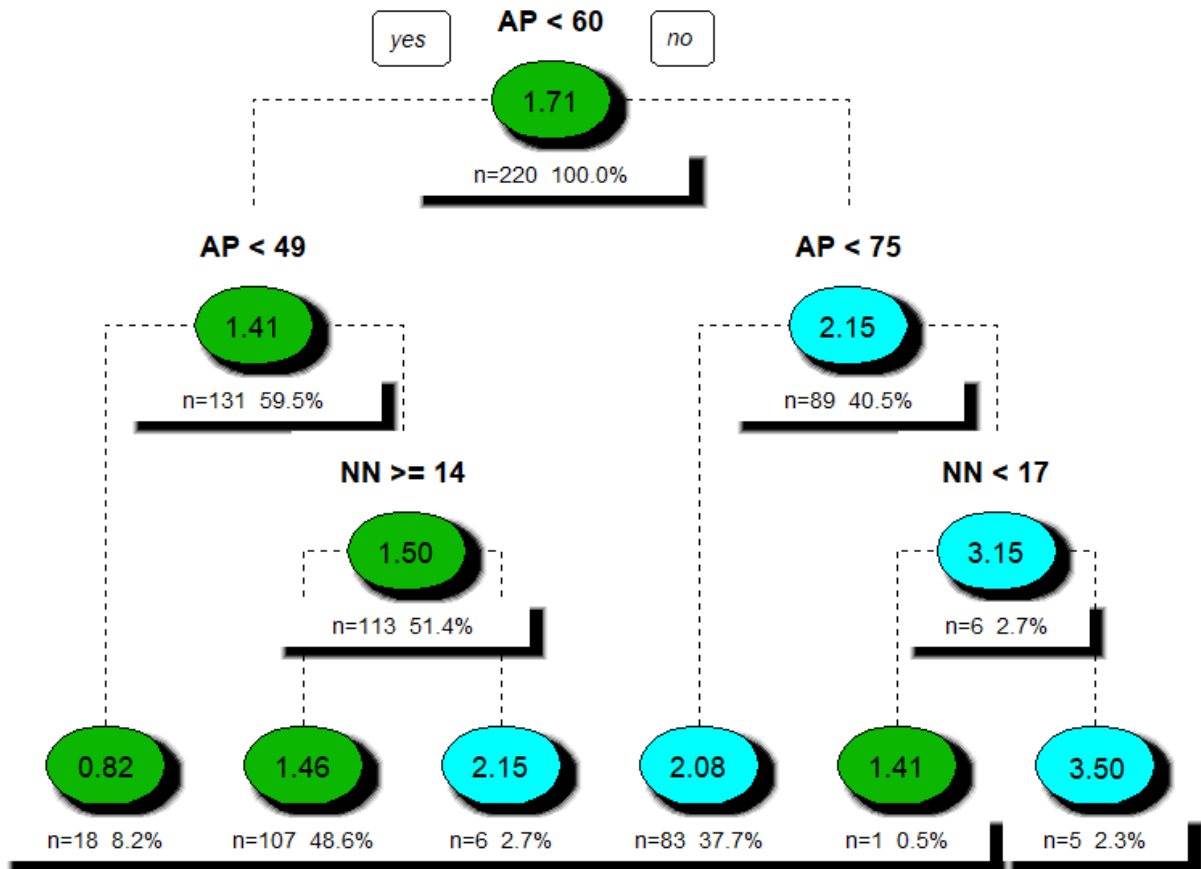


Source:from the authors (2024).

Legend: In the figure, the dot is being used as the decimal separator.

Com base nos resultados da análise de correlação linear de Pearson e da árvore de regressão, pode-se inferir que os caracteres morfológicos não destrutivos, principalmente a altura de planta, permitem a predição da MF e da MS da alfafa. Na prática, os resultados obtidos no presente estudo evidenciam que é possível selecionar as plantas de alfafa na área experimental, por meio da medição da altura de planta, sem a necessidade de destruir as plantas. Isso é importante, pois possibilita aos pesquisadores, por meio de características facilmente observáveis, selecionar as plantas com maiores massas de matéria fresca e seca, de modo não destrutivo e rápido. Além disso, a seleção indireta, baseada na altura de planta, proporciona aos programas de melhoramento genético maior eficiência e potencialização de recursos no desenvolvimento de genótipos com maior produção de forragem. Portanto, os resultados desse estudo contribuem para o avanço nas pesquisas na área de forrageiras.

Figure 4: Graphical representation of the regression tree for predicting dry matter mass, in g per plant, of alfalfa plants (*Medicago sativa* L.) from the Crioula and Trifecta cultivars using the traits plant height (PH, in cm) and number of nodes (NN, in number per plant).



Source: from the authors (2024).

Legend: In the figure, the dot is being used as the decimal separator.

Conclusões

Há relações lineares positivas entre os caracteres altura de planta, número de nós, massa de matéria fresca e massa de matéria seca, das cultivares de alfafa Crioula e Trifecta.

A altura de planta tem relação linear positiva com as massas de matéria fresca e seca da parte aérea e pode ser utilizada para seleção indireta.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq - Processo 304878/2022-7), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes, Finance Code 001) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (Fapergs) pela concessão de bolsas aos autores.

Referências

- ALLA, W. A. H *et al.* Evaluate of some varieties of alfalfa for forage yield and its components under the New Valley conditions. *Journal of Agro Alimentary Processes and Technologies*, v.19, n.4, p.413-418, 2013.
- ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, n.6, p.711-728, 2013.
- ARAB, S. A.; SHAL, M. H.; HAMED, N. M. Evaluation of some alfalfa (*Medicago sativa* L.) germplasm for yield and yield component traits. *Egyptian Journal of Agronomy*, v.37, n.1, p.69-78, 2015.
- ATUMO, T. T. *et al.* Adaptability, forage yield and nutritional quality of alfalfa (*Medicago sativa*) genotypes. *Sustainable Environment*, v.7, n.1, p.1-7, 2021.
- AVCI, M. A.; OZKOSE, A.; TAMKOC, A. Determination of yield and quality characteristics of alfalfa (*Medicago sativa* L.) varieties grown in different locations. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, v.12, n.4, p.487-490, 2013.
- BUSSAB, W. O.; MORETTIN, P. A. *Estatística Básica*. São Paulo, 9. ed., n. 1, 2017.
- CACAN, E.; KOKTEN, K.; KAPLAN, M. Determination of yield and quality characteristics of some alfalfa (*Medicago sativa* L.) cultivars in the East Anatolia Region of Turkey and correlation analysis between these properties. *Applied Ecology and Environmental Research*, v.16, n.2, p.1185-1198, 2018.
- CARGNELUTTI FILHO, A. *et al.* Relações lineares entre caracteres de nabo forrageiro e de tremoço branco. *Ciência Rural*, v.44, n.1, p.18-24, 2014.
- CARGNELUTTI FILHO, A. *et al.* Relações lineares entre caracteres de aveia preta. *Ciência Rural*, v.45, n.6, p.985-992, 2015.
- DONMEZ, H. B.; HATIPOGLU, R. A research on the hay yield and quality of alfalfa cultivars with different fall dormancy rates under mediterranean climate conditions. *Turkish Journal of Field Crops*, v.28, n.2, p.194-202, 2023.
- DUARTE, E. R. *et al.* Índice tecnológico na cultura de alfafa baseado na aplicação de fertilizantes em cobertura. *Ensaio e Ciência*, v.25, n.4, p.410-416, 2021.
- FERREIRA, D. F. *Estatística básica*. 3. ed. Revisada e Ampliada. Lavras: UFLA, p. 624, 2018.
- FERREIRA, R. P. *et al.* *Cultivo e utilização da alfafa em pastejo para alimentação de vacas leiteiras*. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2015.

- FERREIRA, R. P. et al. *Potencial forrageiro da alfafa para alimentação de vacas de leite nos trópicos*. In: VILELA, D. (Ed.). *Pecuária de leite no Brasil: cenários e avanços tecnológicos*. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, p. 213-238, 2016.
- GREVENIOTIS, V. et al. Modeling stability of alfalfa yield and main quality traits. *Agriculture*, v.14, n.4, p.1-17, 2024.
- KONRAD, M. et al. Predição da massa fresca e massa seca da parte aérea da planta de teosinto em função de caracteres morfológicos. *Sigmae*, v.12, n.3, p.10-17, 2023.
- 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>.*
- OLOM, O. I. M.; WEI, Z.; NANA, L. Genetic diversity of the BC2 population of alfalfa multifoliolate leaves based on morphological traits using correlation, principal component, and clustering analysis. *The Journal of Animal & Plant Sciences*, v.33, n.6, p.1346-1355, 2023.
- 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/>
- RASSINI, J. B.; FERREIRA, R. P.; MOREIRA, A. *Recomendações para o cultivo de alfafa na região Sudeste do Brasil*. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2006. Circular Técnica.
- REIS, M. B. et al. Árvore de regressão para previsão da produtividade de matéria fresca da parte aérea de teosinto em função de variáveis meteorológicas. *Sigmae*, v.12, n.3, p.24-31, 2023.
- RODRÍGUEZ, E. N et al. *Origem, disseminação, morfologia e fenologia*. In: FERREIRA, R. P. et al. (Ed.). *Alfafa: do cultivo aos múltiplos usos*. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, p. 21-41, 2020.
- 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>.*
- TLAHIG, S. et al. Effect of cutting time on the performance of alfalfa (*Medicago sativa* L.) genotypes cropped in arid environment. *Polish Journal of environmental studies*, v.30, n.2, p.1817-1829, 2021.