

ANÁLISE DE TRILHA PARA SELEÇÃO INDIRETA DE SORGO FORRAGEIRO COM BASE NAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS NA REGIÃO DO ALTO SERTÃO SERGIPANO

Beatriz Barreto de Lima¹, Paula Cristina Ferreira Bispo², Laila Gabriela Santos Vitor³, Eduarda Santos Silveira¹, Alex Florentino da Silva³, Gustavo Hugo Ferreira de Oliveira⁴

RESUMO:

O sorgo (*Sorghum L. moench*) é uma poaceae com características morfofisiológicas que conferem adaptação às condições de deficiência hídrica, o que a torna uma alternativa promissora para o Alto Sertão Sergipano. Uma maneira de selecionar materiais promissores de sorgo no melhoramento é analisar as correlações entre as variáveis morfológicas. Assim, objetivou-se utilizar a análise de trilha para seleção indireta de sorgo forrageiro com base nas características morfológicas na região do Alto Sertão Sergipano. O experimento foi conduzido na fazenda experimental da Embrapa Semiárido, em Nossa Senhora da Glória (SE), com delineamento experimental em blocos casualizados e três repetições. Foram utilizados 16 tratamentos, sendo quatro testemunhas comerciais e 12 híbridos experimentais, total de 48 parcelas. As variáveis estudadas foram: altura de planta, diâmetro do colmo, comprimento da panícula, estande final, peso do colmo, peso da folha, peso da panícula, peso da planta, matéria fresca, matéria seca, porcentagem de matéria seca e massa de forragem. Houve variabilidade entre os genótipos, e correlações fenotípicas fortes e positivas do peso da planta com peso do colmo, diâmetro do colmo e massa de forragem de 0,99, 0,92 e 0,78, respectivamente. A análise de trilha mostrou que o peso da planta apresentou maior correlação positiva (0,798) e alto efeito direto sobre a massa de forragem (0,949). Assim, recomenda-se a seleção indireta de sorgo com base na característica fenotípica maior massa de forragem, por meio do maior peso de planta.

Palavras-chave: Correlação, forragem, melhoramento, *Sorghum L. Moench*.

PATH ANALYSIS FOR INDIRECT SELECTION OF FORAGE SORGHUM BASED ON MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS IN THE UPPER “SERTÃO” REGION OF SERGIPE

ABSTRACT:

¹Eng. Agrônoma, Residente - UFS/SE; Universidade Federal de Sergipe; São Cristóvão- SE; biahbarreto97@hotmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-1589-0726>

¹Eng. Agrônoma, Residente - UFS/SE; Universidade Federal de Sergipe; N. Sr. Da Glória- SE; silveira12eduarda@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-8228-8399>

²Eng. Agrônoma, pela Universidade Federal de Sergipe- UFS/SE; N. Sr. Da Glória- SE; paulacristina2014.fb@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0001-8451-8517>

³Graduanda em Eng. Agrônômica - UFS/SE; Universidade Federal de Sergipe; N. Sr. Da Glória- SE; laylagaby5@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0003-0318-8603>

³Graduando em Eng. Agrônômica - UFS/SE; Universidade Federal de Sergipe; N. Sr. Da Glória- SE; alex.tecagropecuario07@gmail.com <https://orcid.org/0000-0002-6329-1349>

⁴Eng. Agrônomo, Dr. Em Genética e Melhoramento de Plantas, Professor da Universidade Federal de Sergipe; N. Sr. Da Glória- SE; gustavo.ufs@ufs.br <https://orcid.org/0000-0002-3839-6261>

Sorghum L. moench is a Poaceae with morphophysiological characteristics which adapt to water deficiency conditions, thus becoming a promising alternative for the upper “sertão” region of Sergipe. One way to select promising sorghum materials in the breeding program is to analyze the correlations between morphological variables. Thus, the objective of this study was to use the path analysis for indirect selection of forage sorghum based on morphological characteristics in upper Sertão region of Sergipe. The experiment was conducted at Embrapa semiarid experimental farm, in Nossa Senhora da Glória /SE, with an experimental randomized blocks design and three replications. Sixteen genotypes were used, 04 commercial checks and 12 experimental hybrids, totaling 48 plots. The traits studied were: plant height, stem diameter, panicle length, final stand, stem weight, leaf weight, panicle weight, plant weight, fresh matter, dry matter, dry matter percentage, and forage mass. There was variability between the genotypes, and strong and positive phenotypic correlations of plant weight with stem weight, stem diameter, and forage mass from 0.99, 0.92, and 0.78, respectively. The path analysis showed that plant weight had higher positive (0.798) correlation and a high direct effect on the forage mass (0.949). Thus, the indirect selection of sorghum is recommended based on the phenotypical characteristic of greater forage mass through higher plant weight

Keywords: Breeding, correlation, fodder, *Sorghum L. moench*.

INTRODUÇÃO

O sorgo (*Sorghum L. moench*) é uma Poaceae, com centro de origem na África e parte da Ásia (Macedo et al., 2019) e possui mecanismo fotossintético C4, o que lhe confere adaptabilidade a climas tropicais (Carvalho, 2017). A cultura do sorgo tem sido explorada para diversas finalidades, destacando-se o uso do tipo forrageiro na alimentação animal. Tal fato é resultado das características encontradas na planta, a exemplo da tolerância ao déficit hídrico devido seu sistema radicular profundo e aproveitamento de rebrota, o que a faz mais vantajosa quando comparado a espécies de maior expressão econômica como o milho (Nakao et al., 2019).

Dentre as Poaceae, a importância do sorgo forrageiro é ainda mais notória para a região do semiárido sergipano em razão de suas características morfofisiológicas, as quais lhe confere adaptação as condições locais. Este destaque se dá porque no semiárido a produção animal é limitada pela escassez de alimentos para o rebanho, devido as irregularidades na distribuição das chuvas durante o decorrer do ano (Barreto et al., 2020). Assim, o sorgo surge como uma alternativa promissora na região, tendo em vista que oferece menor risco de insucesso neste ambiente (Lucena, 2019).

O potencial de uma planta para fins forrageiro leva em consideração a aptidão produtiva na região, juntamente com o valor nutricional para que possa incluir na dieta dos animais (Souza, 2018). Para auxiliar na seleção de genótipos com características de tal interesse é necessário avaliar alguns aspectos, a exemplo da altura da planta, que tem associação com as frações de folhas, colmos e panículas, contribuindo no rendimento de matérias verde e seca (Nascimento et al., 2021).

Neste contexto, é essencial realizar as associações entre as variáveis morfológicas do sorgo, pois permite direcionar a seleção indireta das

variáveis superiores que influenciam no rendimento da forragem. O procedimento utilizado no estudo dessas associações são as correlações, a qual faz seleções simultâneas de caracteres. No entanto, os coeficientes de correlação estimam apenas o sentido das correlações e a magnitude envolvida entre duas variáveis, o que inviabiliza inferir qual variável governa o par de caracteres, ou seja, somente permite avaliar as relações existentes entre as variáveis (Salla et al., 2015).

Desta forma, o uso da análise de trilha é uma importante ferramenta na seleção indireta de genótipos de sorgo forrageiro, pois realiza o desdobramento dos coeficientes de correlações, além de possibilitar a identificação das correlações existentes nas variáveis morfológicas avaliadas bem como a obtenção de estimativas de efeitos diretos e indiretos em função de uma variável alvo de maior importância na seleção (Pinheiro et al., 2021).

Diante disso, objetivou-se utilizar a análise de trilha para seleção indireta de sorgo forrageiro com base nas características morfológicas na região do Alto Sertão Sergipano.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido entre os meses de junho e setembro de 2019, na fazenda experimental da Embrapa – Semiárido, município de Nossa Senhora da Glória, região do Alto Sertão Sergipano (latitude 10°12'18" S, longitude 37°19'39" W e altitude 294 m). O clima deste é considerado BShs' segundo a classificação de Koopen, caracterizando-se como clima muito quente com estação chuvosa no inverno e médias anuais de precipitação e temperatura de 750 mm e 24 °C, respectivamente. Os dados climáticos do período experimental estão dispostos na Figura 1 e foram obtidos a partir da estação meteorológica da Embrapa Semiárido de Nossa Senhora da Glória-SE.

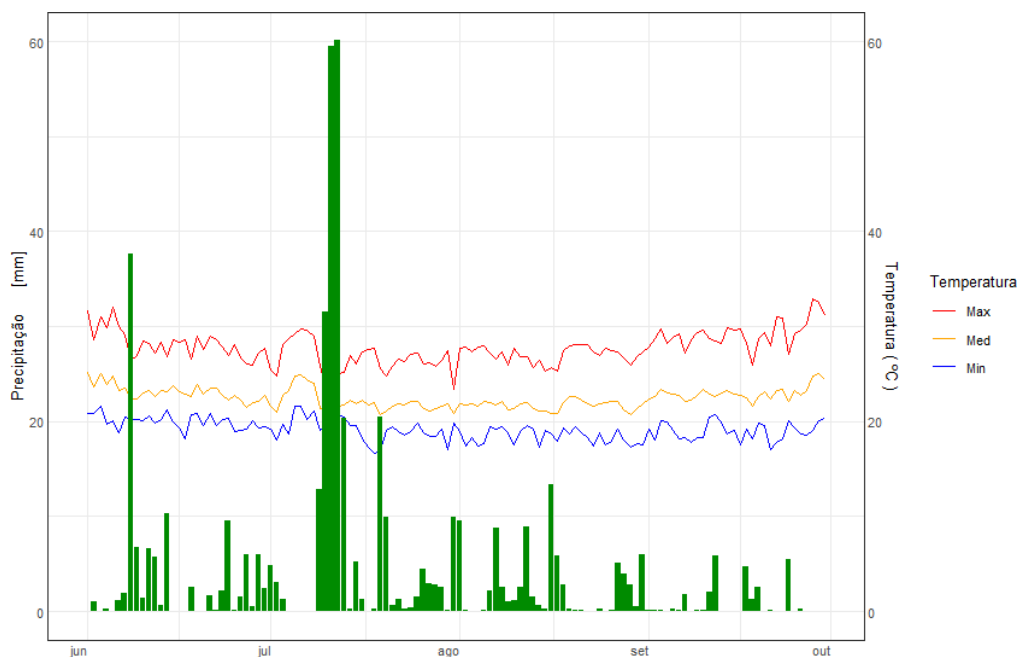


Figura 1. Temperatura máxima, média, mínima e precipitação. Observadas no período experimental pela estação meteorológica da Embrapa Semiárido de Nossa Senhora da Glória- SE, 2019. Fonte: Laboratório Super.

O experimento foi realizado em campo, com delineamento experimental em blocos casualizados, constituídos por 16 genótipos de sorgo forrageiro, com três repetições, totalizando 48 parcelas. Cada parcela foi formada por duas linhas de cinco metros, espaçadas em 0,10 m entre plantas e 0,50 m entre linhas, com 50 plantas por linha, com estande final estimado em 200 mil plantas ha^{-1} .

Os tratamentos utilizados nesse estudo foram: 12 híbridos experimentais que fazem parte do programa de melhoramento da Embrapa Milho e Sorgo, e 04 testemunhas comerciais (Tabela 1).

O preparo da área experimental foi realizado com arado de disco, o solo foi revolvido a 30 cm de profundidade, em seguida foi usada grade niveladora. Posteriormente, realizou-se a marcação das parcelas experimentais e semeou-se manualmente uma semente por cova. Em relação ao efeito bordadura dentro da parcela, este foi obtido adicionando duas sementes na primeira cova e duas na última.

O manejo da adubação foi realizado conforme recomendações de Sobral et al. (2007), com auxílio da análise de solo disposta na Tabela 2. A adubação de plantio foi realizada antes da semeadura

manualmente, com o formulado comercial 8-28-16 (N – P_2O_5 – K_2O) com 300 kg ha^{-1} , próximo a cova de plantio. Já a adubação de cobertura foi realizada 30 dias após semeadura, onde foi adicionado de forma manual, próximo a planta 240 kg ha^{-1} de ureia. Aliado a isso, realizou-se uma capina manual quando necessário.

Características Avaliadas

As variáveis avaliadas foram: altura de plantas (AP), média de cinco plantas aleatórias da parcela, distância entre o colo da planta até a base da panícula com o auxílio de uma régua graduada em metros; comprimento médio da panícula (CP), obtido com a medição da base da panícula ao ápice da ráquis, expresso em cm; diâmetro médio do colmo (DC), entre o intervalo do primeiro e o segundo nó com auxílio de um paquímetro graduado em milímetros, ambas as variáveis foram aferidas com a planta em estágio de maturidade fisiológica; estande final (ST), obtida após a contagem de todas as plantas presentes na parcela no momento da colheita.

Tabela 1. Tratamentos, fase e obtentor dos genótipos de sorgo forrageiro avaliadas no experimento conduzido na fazenda experimental da Embrapa Semiárido, localizada em Nossa Senhora da Glória- SE, 2019.

| Tratamento | Genótipo | Fase | Obtentor |
|------------|----------------|--------------|-----------------------|
| 1 | 1141126 | Experimental | Embrapa Milho e Sorgo |
| 2 | 947216 | Experimental | Embrapa Milho e Sorgo |
| 3 | 1141572 | Experimental | Embrapa Milho e Sorgo |
| 4 | 1141554 | Experimental | Embrapa Milho e Sorgo |
| 5 | 1141570 | Experimental | Embrapa Milho e Sorgo |
| 6 | 1141562 | Experimental | Embrapa Milho e Sorgo |
| 7 | 1141340 | Experimental | Embrapa Milho e Sorgo |
| 8 | 947072 | Experimental | Embrapa Milho e sorgo |
| 9 | SS318 | Experimental | Embrapa Milho e sorgo |
| 10 | P-288 | Experimental | Embrapa Milho e sorgo |
| 11 | P-294 | Experimental | Embrapa Milho e Sorgo |
| 12 | P-1011PN | Experimental | Embrapa Milho e Sorgo |
| 13 | BRS 658 | Comercial | Embrapa Milho e Sorgo |
| 14 | BRS 659 | Comercial | Embrapa Milho e Sorgo |
| 15 | Volumax | Comercial | Monsanto |
| 16 | BRSPonta Negra | Comercial | Embrapa Milho e Sorgo |

Tabela 2. Análise química do solo realizada pelo Laboratório de Solos da Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2019.

| M.O (g Kg ⁻¹) | pH em H ₂ O | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | H+AL | Al ³⁺ | P | K ⁺ | Na ⁺ |
|------------------------------|------------------------|---------------------------------------|------------------|-------|------------------|------------------------------------|----------------|-----------------|
| | | ----- (mmolc dm ⁻³) ----- | | | | ----- (mg dm ⁻³) ----- | | |
| 12,29 | 5,17 | 16,74 | 10,71 | 31,05 | 3,01 | 1,46 | 67,92 | 32,88 |

O peso da planta (PP) foi estimado a partir da pesagem de todas as plantas da parcela, expresso em kg; peso do colmo (PC) foi aferido pela pesagem de todos os colmos da parcela, após a retirada de todas as folhas da planta. O peso da folha (PF), estimado com a pesagem de todas as folhas da planta em balança analítica eletrônica; peso da panícula (PAN), determinado por meio da pesagem de cinco panículas aleatórias da parcela.

A matéria fresca (MF) foi obtida por meio de todas as plantas inteiras da parcela, onde essas foram trituradas em uma forrageira ainda úmida, em seguida colheu-se uma amostra para posterior pesagem em uma balança analítica de precisão. Para aferição da matéria seca (MS), pesou-se uma amostra de MF após 72 horas em estufa com circulação de ar forçada de 65 °C; a porcentagem de matéria seca (% MS), determinou-se usando a Equação 1 (Eq.1); e, por fim,

a massa de forragem, foi obtida por meio da Equação 2 (Eq.2).

$$\% \text{ MS} = \left(\frac{\text{MS}}{\text{MF}} \right) * 100 \quad (\text{Eq.1})$$

$$\text{MFO} = \left(\left(\frac{\text{PP}}{\text{ST}} \right) * \text{STp/ha} \right) * \left(\frac{\% \text{ MS}}{100} \right) \quad (\text{Eq.2})$$

Onde: MFO – Massa de Forragem; MS – Matéria seca; MF – Matéria fresca; MFO – Massa de Forragem; PP – Peso das plantas na parcela; ST – Estande de plantas na parcela; ST p/ha⁻¹ – Estande de plantas por hectare, obtido pela Equação 3 (Eq.3).

$$\left(\frac{\text{ST}}{10} \right) * 20000 \quad (\text{Eq.3})$$

Análises estatísticas

Os resultados obtidos foram avaliados pelo teste F (p < 0,05), por meio da análise de variância.

Em seguida, realizou-se a matriz de correlação entre as variáveis, com exceção de estande (ST) e matéria seca (MS), pois apresentaram valores superestimado, tornando-se necessário a eliminação. Após, obteve-se a correlação fenotípica a partir da análise de variância, utilizando-se o estimador do coeficiente de correlação de Pearson.

O coeficiente de correlação (rF) foi determinado pelo uso da Equação 4 (Eq. 04).

$$rF = \frac{COV F(X,Y)}{\sqrt{(\sigma^2_{FX} \cdot \sigma^2_{FY})}} \quad (Eq.04)$$

Onde: r(xy) correlação entre os caracteres X e Y; COV (xy) – covariância entre os caracteres X e Y; σ^2x e σ^2y variância dos caracteres X e Y.

Em seguida, as correlações fenotípicas (rF) dos caracteres, foram desdobradas em efeitos diretos e indiretos sobre a variável principal (massa de forragem), utilizando o procedimento da análise de trilha. Para realizar a ANOVA e análise de trilha utilizou-se o programa computacional GENES (Cruz, 2016), e a correlação fenotípica teve como auxílio o uso do software Rstudio® (R CORE TEAM, 2020).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se diferenças significativas para as variáveis AP, MF, % MS, PC, PP, CP, a 1 % de significância, e para os caracteres MS e DC a 5 % de significância, o que indica a presença de variabilidade entre os genótipos avaliados (Tabela 3). A existência dessa diversidade genética constitui em um requisito importante, pois permite uma maior possibilidade de ganhos genéticos com a seleção para essas variáveis em programas de melhoramento genético (Paterniani et al., 2019).

Além disto, houve diferenças entre as médias dos genótipos experimentais e comerciais para todas

as variáveis, sendo as testemunhas comerciais responsáveis pelas médias superiores nas variáveis AP (2,01 m), % MS (58,01 %), PP (9,81 kg), CP (26,66 cm), DC (1,41 mm), PAN (122,91 g), ST (95,25) e MFO (10.462,15 kg ha⁻¹). Estes resultados eram esperados em razão dos materiais utilizados como testemunhas já serem melhorados apresentarem as características ideais para cultivo com finalidade econômica.

As variáveis AP, % MS, CP e DC apresentaram coeficientes de variação de 6,70 %, 13,16 %, 12,77 % e 13,04 %, respectivamente (Tabela 3). Estes valores foram considerados aceitáveis para a cultura, visto que, em experimentos realizados em campo, para o sorgo é ideal um CV igual ou menor a 20 % (Gurgel et al., 2013). No entanto, os caracteres agrônômicos MF, MS, PC, PP, PF, PAN, ST e MFO, variaram entre 26,40 e 40,69 %.

Variações nesses caracteres podem estar relacionadas aos efeitos dos fatores abióticos, principalmente ao estresse hídrico durante o período experimental, sendo que, houve uma precipitação acumulada no mês de julho de 258 mm (Figura 1), valor inferior ao exigido pela cultura que é na faixa de 300 mm a 400 mm, distribuída de forma regular durante o seu ciclo de vida (França et al., 2020), aliado com a variabilidade existente entre os materiais avaliados.

Em ambientes que sofrem efeitos do estresse hídrico é comum um aumento nos valores de CV (Taubinger, 2016). Isso ocorre devido ao fato de que a planta, quando submetida a estresse hídrico, sofre alterações nos processos fisiológicos a nível molecular que levam à inibição do crescimento e da fotossíntese, o que resulta em modificações no fenótipo de cada genótipo, resultando em sobreposição de um material sobre o outro. Tal fato ocasiona em aumento na variabilidade experimental (Taiz et al., 2017).

Tabela 3. Resumo da análise de variância referente à altura de plantas (AP, m), matéria fresca (MF, g), matéria seca (MS, g), porcentagem de matéria seca (% MS), peso do colmo (PC, kg), peso da planta (PP, kg), peso da folha (PF, kg), comprimento da panícula (CP, cm), diâmetro do colmo (DC, mm), peso da panícula (PAN, g), estande final (ST, P/P) e massa de forragem (MFO, kg ha⁻¹), dos 16 genótipos experimentais e comerciais de sorgo forrageiro avaliados em Nossa Senhora da Glória- SE, 2019.

| Fonte de Variação | GL | Quadrado Médio | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|----|----------------|------------|----------|----------|---------|---------|-----------|---------|-------|---------|---------|-------------|
| | | AP | MF | MS | %MS | PC | PP | PF | CP | DC | PAN | ST | MFO |
| Bloco | 2 | 0,056 | 24666,92 | 7964,84 | 126,07 | 15,36 | 20,56 | 645156,77 | 19,39 | 0,01 | 7898,31 | 395,27 | 16597174,74 |
| Tratamentos | 15 | 0,09** | 10173,59** | 1162,57* | 323,28** | 16,95** | 29,76** | 226477,78 | 46,50** | 0,06* | 2175,19 | 1358,84 | 13208257,10 |
| Erro | 30 | 0,54 | 3563,39 | 576,74 | 43,09 | 5,23 | 6,71 | 170337,88 | 9,71 | 0,03 | 1282,76 | 822,63 | 7072870,52 |
| CV (%) | | 6,70 | 30,81 | 26,40 | 13,16 | 37,41 | 28,47 | 40,69 | 12,77 | 13,04 | 32,45 | 30,28 | 30,67 |
| Média Geral | | 1,99 | 193,73 | 90,95 | 49,86 | 6,11 | 9,09 | 1014,17 | 24,39 | 1,31 | 110,38 | 94,71 | 8671,98 |
| Média Experimentais | | 1,99 | 205,15 | 93,22 | 47,15 | 6,21 | 8,86 | 1029,03 | 23,64 | 1,27 | 106,19 | 94,53 | 8075,25 |
| Média Testemunhas | | 2,01 | 159,46 | 84,12 | 58,01 | 5,81 | 9,81 | 969,58 | 26,66 | 1,41 | 122,91 | 95,25 | 10462,15 |

* e ** significativos aos níveis de 5% e 1% de probabilidade, respectivamente; CV = Coeficiente de variação; GL= graus de liberdade

Na Figura 2 é apresentada a correlação linear simples entre os caracteres avaliados, a qual permite notar a associação positiva ou negativa, alta ou baixa, entre as variáveis estudadas. O coeficiente de correlação é caracterizado por apresentar um valor adimensional, onde ocorre uma variação de -1 a 1. Ou ainda, o valor de correlação igual a zero, caracterizando a falta de relação linear entre os caracteres. Tal magnitude da correlação entre as

variáveis pode ser classificada em: nula ($r = 0$), fraca ($0 < r < 0,3$), média ($0,30 < r < 0,60$), forte ($0,60 < r < 0,90$), muito forte ($0,90 < r < 1$) e correlação perfeita ($r = 1$) (Carvalho et al., 2004). Podem, ainda, ser positivas, quando as características aumentam paralelamente ou negativas, quando houver a tendência de uma característica aumentar em detrimento da redução da outra (Dias et al., 2018).

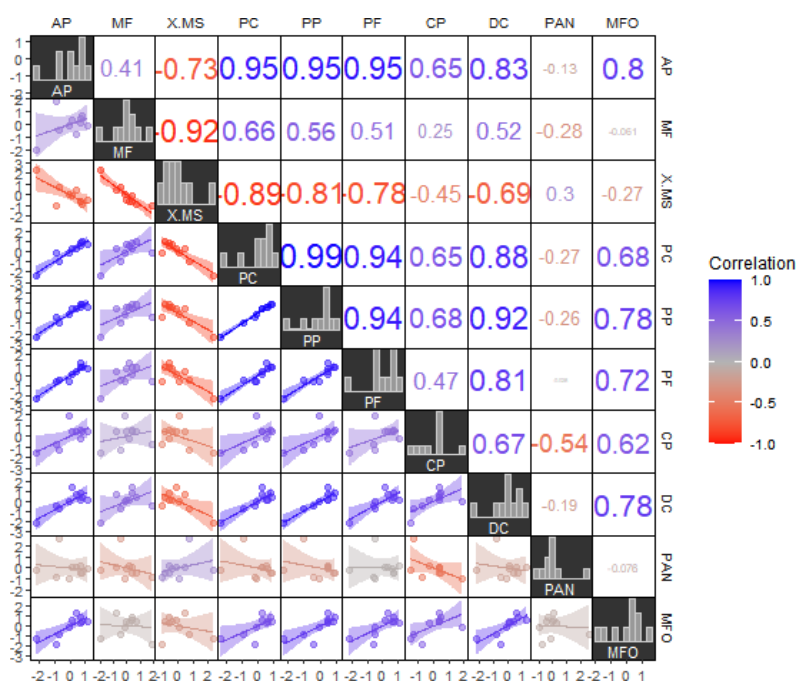


Figura 2. Correlação linear simples entre as variáveis altura de plantas (AP, m), matéria fresca (MF, g), porcentagem de matéria seca (%MS), peso do colmo (PC, kg), peso da planta (PP, Kg), peso da folha (PF, kg), comprimento da panícula (CP, cm), diâmetro do colmo (DC, mm), peso da panícula (PAN, g), e massa de forragem (MFO, kg ha⁻¹), dos 16 genótipos de sorgo forrageiro, em Nossa Senhora da Glória- SE, 2019.

Verificou-se correlações fenotípica de magnitude forte e negativas entre a %MS com as variáveis PC (-0,89), PP (-0,81), PF (-0,78), AP (0,73), DC (-0,69), e muito forte negativa com MF (-0,92). Esses resultados mostram que os genótipos de sorgo forrageiro mais pesados, e com maiores médias de matéria fresca tendem a possuir uma menor porcentagem de matéria seca, já que esta mensuração é realizada sem a contribuição da água presente na planta. Tal fato foi confirmado no trabalho desenvolvido por Pesce et al. (2000), onde constataram que dentre os componentes das plantas de sorgo, o colmo foi o caráter agrônômico que

promoveu uma menor contribuição para a elevação da concentração da % MS, em virtude de apresentar em sua composição menores teores de matéria seca e maiores teores de água.

Segundo Oliveira et al. (2021), quando duas variáveis apresentam correlação positiva é possível obter ganhos para um deles através da seleção de materiais no outro associado. Dito isto, PP apresentou correlação fenotípica muito forte e positiva com PC (0,99) e DC (0,92), e forte com MFO (0,78). Sendo assim, a seleção indireta de genótipos a partir de uma destas características correlacionadas com PP poderá resultar em ganhos

satisfatórios para o peso do colmo, o diâmetro do colmo e a massa de forragem por hectare.

Estes resultados são similares aos retratados no trabalho realizado por Castro (2014), onde notou que o diâmetro do colmo das plantas de sorgo influenciou de forma direta e proporcional o peso da planta, e conseqüentemente na produção da massa de forragem. Já que, só a altura da planta não é capaz de determinar maior produção de massa de forragem, sem estar associada a colmos que apresentem diâmetros maiores.

A variável AP apresentou correlação fenotípica positiva e de magnitude média com a MF (0,41), e forte com a MFO (0,8), sugerindo ganhos para uma destas características quando associadas com a seleção de genótipos com maior AP (Figura 2).

A alta e forte correlação positiva da AP com a MFO permite que os genótipos mais altos produzam um maior volume de forragem por hectare, isso se os outros componentes da planta que contribuem na elevação da biomassa, a exemplo das folhas, panículas e diâmetro do colmo também forem elevados (Paziani et al., 2019). Tal fato também foi observado por Santos et al. (2013), que ao estudarem as características agrônômicas de sorgo forrageiro com finalidade para produção de silagem, afirmaram que há uma correlação positiva entre altura da planta com a contribuição do peso do colmo no rendimento da massa de forragem.

Estudos voltados para análise do coeficiente de correlação têm importância no melhoramento genético; contudo, suas estimativas não determinam a relação de causa e efeito entre as variáveis, tal como a análise de trilha. Esta análise tem a capacidade de particionar o coeficiente de correlação e quantificar as relações diretas e indiretas de todas as variáveis envolvidas na resposta, uma a uma, tal fato proporciona maior confiabilidade na escolha de características relevantes para a seleção (Gonçalvez et al., 2017).

É possível através da análise de trilha apresentada na Tabela 4 explicar 99 % (coeficiente de determinação) da variação em massa de forragem pelas variáveis avaliadas. Este constitui um resultado interessante e desejável para a seleção, visto que valores do coeficiente de determinação maiores que 0,90 são considerados elevados e demonstram que grande parte da variação no caráter principal pode ser explicada pelas demais variáveis incluídas na análise de trilha (Pereira et al., 2013).

O alto valor do coeficiente de determinação (R^2) no modelo da análise de trilha (0,99) e o baixo efeito da variável residual (0,05) mostraram que o modelo adotado expressou a relação causa efeito das variáveis explicativas sobre a variável alvo MFO.

A variável PP foi a que mais influenciou a massa de forragem, pois apresentou maior coeficiente de correlação total positiva com a variável alvo MFO (0,798), seguida do DC (0,716) e AP (0,645). O PP também foi o componente que apresentou o maior efeito direto sobre a MFO (0,949), resultado esperado uma vez que esta é obtida por meio de uma equação, na qual o caráter PP está presente e de forma diretamente proporcional. Isto leva a inferir que genótipos apresentando maior peso de planta exibem maiores produtividades de massa de forragem. Assim, este resultado, é um indicativo de viabilidade da seleção indireta via PP para obtenção de melhores ganhos quanto à massa de forragem por hectare, já que este caráter é de difícil mensuração.

Conforme foi confirmado por Crevelari et al. (2018), quando se fala em correlações entre características de interesse agrônômico, o rendimento da massa de forragem é uma variável considerada complexa que resulta da associação entre muitos caracteres. Do mesmo modo, o uso da análise de trilha facilita a seleção de caracteres que possam contribuir, de maneira indireta, para o aumento da massa de forragem.

Tabela 4. Estimativas dos efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas sobre a massa de forragem (MFO), dos 16 genótipos de sorgo forrageiro, em Nossa Senhora da Glória - SE, 2019.

| Variáveis | Estimativa de correlação | Total | Variáveis | Estimativa de correlação | Total |
|-------------------------|--------------------------|--------|-------------------------|--------------------------|-------|
| AP | | | PP | | |
| Efeito direto sobre MFO | -0,082 | | Efeito direto sobre MFO | 0,949 | |
| Efeito indireto via MF | -0,009 | | Efeito indireto via AP | -0,067 | |
| Efeito indireto via %MS | -0,428 | | Efeito indireto via MF | 0 | |
| Efeito indireto via PC | 0,273 | | Efeito indireto via %MS | -0,517 | |
| Efeito indireto via PP | 0,765 | | Efeito indireto via PC | 0,311 | |
| Efeito indireto via PF | 0,093 | | Efeito indireto via PF | 0,096 | |
| Efeito indireto via CP | 0,017 | | Efeito indireto via CP | 0,018 | |
| Efeito indireto via DC | 0,003 | | Efeito indireto via DC | 0,004 | |
| Efeito indireto via PAN | 0,005 | | Efeito indireto via PAN | 0,001 | |
| | | 0,645 | | | 0,798 |
| MF | | | PF | | |
| Efeito direto sobre MFO | 0,001 | | Efeito direto sobre MFO | 0,119 | |
| Efeito indireto via AP | -0,007 | | Efeito indireto via AP | -0,064 | |
| Efeito indireto via %MS | -0,702 | | Efeito indireto via MF | 0 | |
| Efeito indireto via PC | 0,142 | | Efeito indireto via %MS | -0,487 | |
| Efeito indireto via PP | 0,31 | | Efeito indireto via PC | 0,259 | |
| Efeito indireto via PF | 0,024 | | Efeito indireto via PP | 0,766 | |
| Efeito indireto via CP | 0,002 | | Efeito indireto via CP | 0,008 | |
| Efeito indireto via DC | 0,002 | | Efeito indireto via DC | 0,003 | |
| Efeito indireto via PAN | -0,002 | | Efeito indireto via PAN | 0,007 | |
| | | -0,23 | | | 0,612 |
| %MS | | | CP | | |
| Efeito direto sobre MFO | 0,845 | | Efeito direto sobre MFO | 0,036 | |
| Efeito indireto via AP | 0,042 | | Efeito indireto via AP | -0,038 | |
| Efeito indireto via MF | -0,001 | | Efeito indireto via MF | -0,005 | |
| Efeito indireto via PC | -0,246 | | Efeito indireto via %MS | -0,195 | |
| Efeito indireto via PP | -0,581 | | Efeito indireto via PC | 0,148 | |
| Efeito indireto via PF | -0,069 | | Efeito indireto via PP | 0,476 | |
| Efeito indireto via CP | -0,008 | | Efeito indireto via PF | 0,026 | |
| Efeito indireto via DC | -0,002 | | Efeito indireto via DC | 0,003 | |
| Efeito indireto via PAN | 0,003 | | Efeito indireto via PAN | -0,004 | |
| | | -0,017 | | | 0,452 |
| PC | | | DC | | |
| Efeito direto sobre MFO | 0,323 | | Efeito direto sobre MFO | 0,006 | |
| Efeito indireto via AP | -0,069 | | Efeito indireto via AP | -0,046 | |
| Efeito indireto via MF | 0,001 | | Efeito indireto via MF | 0 | |
| Efeito indireto via %MS | -0,642 | | Efeito indireto via %MS | -0,279 | |
| Efeito indireto via PP | 0,914 | | Efeito indireto via PC | 0,212 | |
| Efeito indireto via PF | 0,096 | | Efeito indireto via PP | 0,737 | |
| Efeito indireto via CP | 0,016 | | Efeito indireto via PF | 0,064 | |
| Efeito indireto via DC | 0,004 | | Efeito indireto via CP | 0,017 | |
| Efeito indireto via PAN | 0 | | Efeito indireto via PAN | 0,005 | |
| | | 0,642 | | | 0,716 |

Continuação da Tabela 4. Estimativas dos efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas sobre a massa de forragem (MFO), dos 16 genótipos de sorgo forrageiro, em Nossa Senhora da Glória - SE, 2019.

| Variáveis | Estimativa de correlação | Total |
|---|--------------------------|-------|
| PAN | | |
| Efeito direto sobre MFO | 0,029 | |
| Efeito indireto via AP | -0,013 | |
| Efeito indireto via MF | 0,015 | |
| Efeito indireto via %MS | 0,089 | |
| Efeito indireto via PC | 0,005 | |
| Efeito indireto via PP | 0,038 | |
| Efeito indireto via PF | 0,028 | |
| Efeito indireto via CP | -0,005 | |
| Efeito indireto via DC | 0,001 | |
| | | 0,172 |
| Coefficiente de Determinação (R²) | | 0,99 |
| Efeito Residual | | 0,05 |

A % MS foi a segunda variável com maior efeito direto sobre a MFO (0,845), no entanto, apresentou coeficiente de correlação total negativa (-0,017). Isso ocorreu devido a presença de efeitos negativos das outras variáveis com a % MS, o que indica que deve existir outros caracteres que poderão proporcionar maior impacto em termos de ganho com a seleção.

Segundo Dotto Blind et al. (2018), as estimativas de efeitos diretos e indiretos acima do efeito residual são consideradas de maior relevância para seleção. Nesse sentido, a % MS mostrou efeito negativo (-0,517) sobre a MFO via PP, demonstrando que quando a % MS está em associação com outras variáveis causam efeitos negativos, mas a redução do caráter eleva o rendimento das outras variáveis.

A terceira variável com maior efeito direto sobre a variável alvo MFO foi o PC (0,323) com coeficiente de trilha superior ao efeito residual (0,05),

o que mostra que existe efeito direto desta variável sobre a principal MFO. O PC também apresentou alto coeficiente de correlação total (0,642). Assim, em um processo de seleção indireta para MFO esta variável também poderá ser levada em consideração, pois seus atributos aumentam a massa de forragem. As demais variáveis apresentaram efeitos diretos e indiretos de baixas magnitudes ou negativos sobre a massa de forragem.

Nesse estudo foi possível verificar o baixo potencial produtivo dos materiais experimentais em comparação aos comerciais. Além disso, o período de condução do experimento ocorreu no período tido como o de maior precipitação na região (inverno), porém nessa época houve veranicos o que causou estresse hídrico nas plantas. De modo geral, nota-se a existência de poucos estudos da cultura na região com finalidade de uso para silagem, já que o milho ocupa a liderança para tais fins.

CONCLUSÃO

A variável peso da planta com peso do colmo, diâmetro do colmo e massa de forragem apresentam altas correlações positivas.

A seleção da variável peso da planta levará a seleção indireta de genótipos com maior massa de forragem.

A análise de trilha mostrou ser uma ferramenta eficiente na seleção de caracteres de sorgo para fins forrageiro dentro do programa de melhoramento.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal de Sergipe, Campus do Sertão. Ao Grupo de Estudos em Melhoramento Vegetal no Semiárido – GEMS pelo auxílio na implantação e condução do experimento, e a Embrapa – Milho e Sorgo e Embrapa – Semiárido pela disponibilidade do local experimental e fornecimento das sementes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barreto, H. F. M.; Souza, C. M. S.; Rodrigues, B. N.; Terceiro, F.D.C.R.; Soares, M. M.F.; Jesus, P.P.C. (2020). Padrão de qualidade da silagem de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) associado ao neem (*Azadirachta indica*). **HOLOS** 6(0): 1-16. <https://doi.org/10.15628/holos.2020.10073>
- Carvalho, A.L.S. (2017). **Seleção de genótipos de sorgo para produção de silagem**. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal dos vales do jequitinhonha e Mucuri. Diamantina, MG, Brasil. p. 80
- Carvalho, F.I.F.; Lorencetti, C.; Benin, G. (2004). **Estimativas e implicações da correlação no melhoramento vegetal**. 1a ed. Pelotas:UFPEL. 141p.
- Castro, F.M.R. (2014). **Potencial agrônomico e energético de híbridos de sorgo biomassa**. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Lavras. Lavras, MG, Brasil. p. 80
- Crevelari, J. A.; Durães, N.N.L.; Bendia, L.C.R.; Vettorazzi, J.C.F.; Entringer, G.C.; Ferreira, J.A.; Pereira, M.G. (2018). Correlations between agronomic traits and path analysis for silage production in maize hybrids. **Bragantia** 77(2): 243-252. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.2016512>
- Cruz, C.D. (2016). Genes Software -extended and integrated with the R, Matlab and Selegen. **Acta Scientiarum Agronomy** 38(4): 547-552.
- Dias, K.O.D.G.; Gezan, S.A.; Guimarães, C.T.; Nazarian, A.; Silva, L.D.C.; Parentoni, S. N.; Pastina, M.M. (2018). Improving accuracies of genomic predictions for drought tolerance in maize by joint modeling of additive and dominance effects in multi-environment trials. **Heredity** 121(1): 24-37. <https://doi.org/10.1038/s41437-018-0053-6>
- Dotto Blind, A.; Valente, M.S.F.; Lopes, M.T.G.; Resende, M.D.V. (2018). Estimativa de parâmetros genéticos, análise de trilha e seleção em bucha vegetal para caracteres agrônomicos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias** 13(2): 1-8. <https://doi.org/10.5039/agraria.v13i2a5522>
- França, M.V.; Medeiros, R.M. (2020). Aptidão climática do sorgo como suporte alimentar a avicultura de São Bento Una-Pernambuco, Brasil. **Journal of Biotechnology and Biodiversity** 8(4): 275-283. <https://doi.org/10.20873/jbb.uft.cemaf.v8n4.franca>
- Gonçalves, D.D.L.; Barelli, M.A.A.; Oliveira, T.C. D.; Santos, P.R.J.D.; Silva, C.R.D.; Poletine, J.P.; Neves, L.G. (2017). Genetic correlation and path analysis of common bean collected from Caceres Mato Grosso State, Brazil. **Ciência Rural** 47(8): 1-7. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20160815>

- Gurgel, F. L.; Ferreira, D. F.; Soares, A. C. S. (2013). **O coeficiente de variação como critério de avaliação em experimentos de milho e feijão**. 1a ed. Bélem: Embrapa Amazônia Oriental-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. 80 p.
- Lucena, L. R.; Simplício, J.; Leite, M. L. (2019). Desenvolvimento de sorgo forrageiro submetido à aplicação de manipueira. **Agrarian Academy** 6(11). 133. https://doi.org/10.18677/Agrarian_Academy_2019a13
- Macedo, T. H. J.; Rodrigues, V. A.; Ferreira, J. S. (2019). Seleção e inoculação de rizobactérias em sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Unoesc & Ciência-ACET** 10(2). 135-140 <https://orcid.org/0000-0002-5671-7962>
- Nakao, A. H.; Andreotti, M.; Modesto, V. C.; Pascoaloto, I.M.; Soares, D.D.A. (2019). Produtividade de fitomassa de rebrotas de sorgo em consórcio com capim-paiaguás. **Brazilian Journal of Maize and Sorghum** 18(1): 133-147.
- Nascimento, R. R.; Pereira Filho, M.; Biagiotti, D.; Loiola Edvan, R.; Rodrigues, J.A.S.; Araújo, M.J.; Amorin, S.D. (2021). Multivariate analysis of sorghum hybrids cultivated in the semiarid region. **Archivos de zootecnia** 70(269): 42-48.
- Oliveira, A. J.; Almici, M.S.; Santos, A.A.C.; Silva, V.P.; Pires, A.S.C.; Tardin, F.D. (2021). Componentes de rendimento em genótipos de sorgo sacarino. **Research, Society and Development** 10 (6): 35310615965. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i6.15965>
- Paterniani, M.E.A.G.Z.; Bernini, C.S.; Guimarães, S. P.; Rodrigues, C.S. (2019). Estratégias de melhoramento para tolerância à seca em germoplasma de milho tropical. **Singular Meio Ambiente e Agrárias** 1(1):19-24. <https://doi.org/10.33911/singular-maa.v1i1.48>
- Paziani, S.D.F.; Duarte, A.P.; Nussio, L.G.; Freitas, R. S.; Gallo, P.B.; Mateus, G.P. (2019). Correlações entre variáveis quantitativas e qualitativas de milho e de sorgo para silagem. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo** 18(3):408-416. <https://doi.org/10.18512/19806477/rbms.v18n3p408-416>
- Pereira, F.B.; Vale, J.C.; Carneiro, P.C.S.; Fritsch Neto, R. (2013). Relação entre os caracteres determinantes das eficiências no uso de nitrogênio e fósforo em milho. **Revista Ceres** 60(5): 636-645.
- Pesce, D.M.C.; Goncalves, L.C.; Rodrigues, J.A.S.; Rodriguez, N.M.; Borges, I. (2000). Análise de vinte genótipos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), de portes médio e alto, pertencentes ao ensaio nacional. **Revista Brasileira de Zootecnia** 29(4): 978-987.
- Pinheiro, S.L.; Vieira, C.R.; Barata, S.H.; Mota, S. R.; Sousa, R.F.; Vieira, M. M.; Silva, P.A. (2021). Análise de trilha da massa da espiga de milho e seus atributos físicos. **Research, Society and Development** 10(1): 45. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i1.11912>
- R CORE TEAM. (2021). **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna Austria: Foundation for Statistical Computing, 2017. Disponível em: < [https:// www.r- project.org](https://www.r-project.org)>.
- Salla, V. P.; Danner, M. A.; Citadin, I.; Sasso, S.A.Z.; Donazzolo, J.; Gil, B.V. (2015). Análise de trilha em caracteres de frutos de jaboticabeira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 50(3): 218-223. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000300005>
- Santos, R.D.D.; Pereira, L.G.R.; Neves, A.L.A.; Rodrigues, J.A.S.; Costa, C.T.F.; Oliveira, G.F.D. (2013). Agronomic characteristics of forage sorghum cultivars for silage production in the lower middle San Francisco Valley. **Acta Scientiarum. Animal Sciences** 35(1): 13-19. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v35i1.13072>
- Sobral, L.F.; Viegas, P.R.A.; Siqueira, O.J.W.; Anjos, J.L.; Barretto, M.C.V.; Gomes, J.B. (2007).

Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes no Estado de Sergipe. 1ª ed. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros. 251 p.

Souza, E. L.; Cruz, P. J. R.; Bonfá, C. S.; Magalhães, M.A. (2018). Plantas forrageiras para pastos de alta produtividade. **Nutritime Revista Eletrônica, on-line**, Viçosa 15(04): 8271-8284.

Taiz, L.; Zeiger, E.; Murphy, A. (2017). **Fisiologia vegetal.** 6a ed. Porto Alegre: ARTMED. 888.

Taubinger, M. (2016). **Índice discriminatório de estresse à seca em progênies de meios irmãos de milho usando seleções múltiplas.** (Tese de Doutorado). Universidade Federal do Tocantins Gurupi. Tocantins, TO, Brasil. p. 92.