

**SELEÇÃO DE FAMÍLIAS DE IRMÃOS COMPLETOS DE CAPIM-
ELEFANTE PARA FINS BIOENERGÉTICOS**

GENIVAL FERREIRA DOS SANTOS JUNIOR

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE
DARCY RIBEIRO – UENF**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
FEVEREIRO - 2026**

**SELEÇÃO DE FAMÍLIAS DE IRMÃOS COMPLETOS DE CAPIM-
ELEFANTE PARA FINS BIOENERGÉTICOS**

GENIVAL FERREIRA DOS SANTOS JUNIOR

“Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Genética e Melhoramento de Plantas”.

Orientador: Prof. Rogério Figueiredo Daher

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
FEVEREIRO – 2026

FICHA CATALOGRÁFICA

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pelo autor.

S237

Santos Junior, Genival Ferreira dos.

Seleção de famílias de irmãos completos de capim-elefante para fins bioenergéticos / Genival Ferreira dos Santos Junior. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2026.

63 f. : il.

Bibliografia: 48 - 58.

Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2026.
Orientador: Rogerio Figueiredo Daher.

1. *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone. 2. Bioenergia. 3. Seleção entre e dentro. 4. REML/BLUP. 5. Melhoramento genético. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 631.5233

SELEÇÃO DE FAMÍLIAS DE IRMÃOS COMPLETOS DE CAPIM-
ELEFANTE PARA FINS BIOENERGÉTICOS

GENIVAL FERREIRA DOS SANTOS JUNIOR

“Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Genética e Melhoramento de Plantas”.

Aprovado em 25 de fevereiro de 2026.

Comissão Examinadora:



Documento assinado digitalmente
ERINA VITORIO RODRIGUES
Data: 06/05/2026 16:10:54-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Dr.^a. Erina Vitória Rodrigues (D.Sc., Genética e Melhoramento de Plantas) - UnB

Dr.^a. Ana Késia Faria Vidal (D.Sc., Genética e Melhoramento de Plantas) - UENF

Prof. Alexandre Pio Viana (D.Sc., Produção Vegetal) - UENF

Prof. Rogério Figueiredo Daher (D.Sc., Produção Vegetal) - UENF
(Orientador)

DEDICATÓRIA:

A Deus e à minha família, aos meus pais Genival Ferreira dos Santos e Maria Raimunda Figueiredo dos Santos.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente a Deus, por ser o autor da minha vida e por me conceder saúde, sabedoria e força para superar os desafios desta jornada. Sem o Seu amparo, eu não teria chegado até aqui.

À minha família, base de tudo, pelo amor incondicional e por acreditar nos meus sonhos. Agradeço aos meus pais, Maria e Genival, e irmãos pelo apoio constante, pelas orações e por serem meu porto seguro em todos os momentos, incentivando-me sempre a buscar o conhecimento e o crescimento pessoal.

Agradeço imensamente aos meus amigos pela parceria e companheirismo. Um agradecimento especial ao grande amigo André Filipe, que caminhou ao meu lado do início ao fim desta jornada, compartilhando os desafios e as conquistas. Obrigado pelas conversas, pelos conselhos e pelos momentos de descontração que foram essenciais para tornar essa trajetória mais leve e prazerosa.

Ao meu orientador, Professor Dr. Rogério Figueiredo Daher, pela oportunidade, pela confiança depositada e por todo o ensinamento compartilhado. Sua orientação foi decisiva para a realização deste trabalho e para a minha formação acadêmica.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas da UENF, pela excelência no ensino e por compartilharem seus conhecimentos com tanta dedicação, contribuindo significativamente para o meu amadurecimento profissional.

Aos colegas do grupo de pesquisa 'Capim-elefante', pela ajuda mútua nas coletas de dados, pelo companheirismo no campo e pela amizade construída. Um agradecimento especial aos pós-doutorandos Ana Kesia e Maxuel, que me instruíram do começo ao fim, bem como aos demais colegas, veteranos e calouros.

À Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) e ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, pela infraestrutura e pela oportunidade de formação em alto nível.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

SUMÁRIO

RESUMO	ix
ABSTRACT	xi
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	5
2. 1 Objetivo Geral	5
2. 2 Objetivos Específicos.....	5
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
3.1 Características Gerais do Capim-elefante	6
3.2 Potencial econômico do capim-elefante na produção de bioenergia	18
3.3 Melhoramento Genético do Capim-elefante	20
3.4 Seleção entre e dentro de famílias via modelos mistos	22
4 MATERIAL E MÉTODOS	25
4.1 Caracterização da área experimental	25
4.2 Genitores	26
4.3 Delineamento, Obtenção das famílias e Condução dos experimentos	28
4.4 Características avaliadas.....	29
4.5 Análise genético-estatística	30
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
6 CONCLUSÃO	47
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Precipitação ocorrida durante o experimento de capim-elefante e Normal Climatológica (NC_INMET 1991 a 2020). Campos dos Goytacazes, 2023-2025.....	26
---	----

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Genitores utilizados na formação das famílias de capim-elefante, com indicação do ano do cruzamento original, referência e identificação dos genitores femininos e masculinos. As testemunhas comerciais foram BRS Capiáçu (G1) e BRS Canará (G2). Campos dos Goytacazes, 2023-2025..... 27
- Tabela 2.** Descrição das 24 famílias de irmãos completos de capim-elefante obtidas a partir dos cruzamentos entre os 14 genitores, com indicação do genitor feminino, genitor masculino e identificação de cada família. Campos dos Goytacazes, 2023-2025..... 28
- Tabela 3.** Análise de Deviance para as características produção de matéria seca (PMS), porcentagem de matéria seca (%MS), número de perfilhos (NP), altura (ALT) e diâmetro de colmo (DC) em genótipos de capim-elefante. Campos dos Goytacazes, RJ, 2026..... 34
- Tabela 4.** Estimativas de componentes de variância (REML) e parâmetros genéticos para produção de matéria seca (PMS), porcentagem de matéria seca (%MS), altura de planta (ALT), diâmetro do colmo (DC) e número de perfilhos (NP), avaliados em famílias de irmãos completos de capim-elefante. Campos dos Goytacazes, RJ, 2026..... 35
- Tabela 5.** Ordenamento, ganho predito e a nova média para as características produção de matéria seca (PMS), porcentagem de matéria seca (%MS), altura

(ALT), diâmetro de colmo (DC) e número de perfilhos (NP) das 24 famílias de irmãos completos de capim-elefante, Campos dos Goytacazes, RJ, 2026.40

Tabela 6. Novas médias preditas e ganho genético estimados via REML/BLUP dos 35 indivíduos provenientes de 24 famílias de irmãos completos de capim-elefante para as características produção de matéria seca (PMS), porcentagem de matéria seca (%MS), altura de plantas (ALT) e diâmetro de colmo (DC) e número de perfilhos (NP) dos 30 melhores indivíduos, Campos dos Goytacazes, RJ, 2026.44

RESUMO

SANTOS JUNIOR, Genival Ferreira dos, M.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; fevereiro 2026; Seleção de família de irmãos completos de capim-elefante para fins bioenergéticos; Orientador: D.Sc Rogério Figueiredo Daher; Conselheiro: D.Sc. Alexandre Pio Viana e D.Sc. Geraldo de Amaral Gravina.

O capim-elefante (*Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone) apresenta elevado potencial para a produção de biomassa destinada à bioenergia, tornando o melhoramento genético uma estratégia essencial para a obtenção de genótipos superiores. No presente estudo, objetivou-se avaliar o potencial genético de famílias de irmãos completos de capim-elefante por meio da seleção entre e dentro de famílias, visando identificar genótipos superiores para a produção de biomassa com fins bioenergéticos. O experimento foi conduzido na estação experimental do CEPAAAR–PESAGRO-RIO, em Campos dos Goytacazes, RJ, no período de novembro de 2023 a setembro de 2025. Foram avaliadas 24 famílias de irmãos completos, obtidas a partir de cruzamentos biparentais envolvendo 14 genitores provenientes de ciclos anteriores do programa de melhoramento da UENF e de cultivares comerciais desenvolvidas pela Embrapa. O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, com quatro repetições, parcelas compostas por seis plantas, totalizando a avaliação de 576 plantas individuais, em dois cortes. As características avaliadas foram produção de matéria seca (PMS), porcentagem de matéria seca (%MS), altura de plantas (ALT), diâmetro de colmo (DC) e número de perfilhos (NP). A análise genético-estatística foi realizada por meio de modelos

mistos, utilizando a metodologia REML/BLUP, com a aplicação do software Selegen-REML/BLUP. A significância dos efeitos genéticos foi avaliada por meio da análise de deviance, utilizando o teste da razão de verossimilhança, e os valores genéticos individuais foram preditos com base no BLUP individual, permitindo a seleção combinada entre e dentro de famílias. Os resultados apresentaram ganhos expressivos para as principais características associadas à produção de biomassa. Para produção de matéria seca, os ganhos preditos atingiram até 22,8%, com nova média de 13,82 para 16,97 t ha⁻¹ ano⁻¹. O número de perfilhos apresentou os maiores ganhos genéticos, superiores a 30%, elevando a média de 21,13 para até 28,56 perfilhos por planta. As famílias 11 e 14 destacaram-se de forma consistente entre as mais superiores para múltiplas características, com contribuição positiva do genitor G7 e G1. A seleção dentro de famílias mostrou-se altamente eficiente, culminando na identificação de 35 indivíduos superiores, aproximadamente 6% da população avaliada, com predominância de indivíduos da família 11 (60% dos selecionados). Entre os genótipos superiores, destacaram-se os indivíduos B1F11P4 e B3F11P2, que reuniram superioridade simultânea para múltiplas características produtivas e estruturais, evidenciando elevado potencial. A aplicação da metodologia de modelos mistos (REML/BLUP) viabilizou a predição dos valores genéticos e a seleção entre e dentro de famílias de irmãos completos de capim-elefante, resultando na identificação de famílias e indivíduos superiores para a produção de biomassa com fins bioenergéticos

Palavras-chave: *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone; bioenergia; seleção entre e dentro; REML/BLUP; melhoramento genético.

ABSTRACT

SANTOS JUNIOR, Genival Ferreira dos, M.Sc.; State University of Northern Fluminense Darcy Ribeiro; February 2026; Selection of Full-Sib Families of Elephant Grass for Bioenergy Purposes; Advisor: D.Sc Rogério Figueiredo Daher; Committee Members: D.Sc. Alexandre Pio Viana and D.Sc. Gerlido de Amaral Gravina.

Elephant grass (*Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone) has high potential for biomass production for bioenergy, making genetic improvement an essential strategy for obtaining superior genotypes. This study aimed to evaluate the genetic potential of full-sib families of elephant grass through selection between and within families, aiming to identify superior genotypes for biomass production for bioenergy purposes. The experiment was conducted at the CEPAAR–PESAGRO-RIO experimental station in Campos dos Goytacazes, RJ, from November 2023 to September 2025. Twenty-four full-sib families were evaluated, obtained from biparental crosses involving 14 parents from previous cycles of the UENF breeding program and commercial cultivars developed by Embrapa. The experimental design adopted was a randomized block design with four replications, plots composed of six plants, totaling the evaluation of 576 individual plants in two cuts. The evaluated characteristics were dry matter production (DMP), percentage of dry matter (%DM), plant height (PH), stem diameter (SD), and number of tillers (NT). The genetic-statistical analysis was performed using mixed models, employing the REML/BLUP methodology with the application of the Selegen-REML/BLUP software. The significance of genetic effects was evaluated through deviance analysis, using the

likelihood ratio test, and individual genetic values were predicted based on individual BLUP, allowing combined selection between and within families. The results showed significant gains for the main characteristics associated with biomass production. For dry matter production, predicted gains reached up to 22.8%, with a new average of 13.82 to 16.97 t ha⁻¹ year⁻¹. The number of tillers showed the greatest genetic gains, exceeding 30%, raising the average from 21.13 to up to 28.56 tillers per plant. Families 11 and 14 consistently stood out as the most superior for multiple traits, with a positive contribution from the G7 and G1 parents. Selection within families proved highly efficient, culminating in the identification of 35 superior individuals, approximately 6% of the evaluated population, with a predominance of individuals from family 11 (60% of those selected). Among the superior genotypes, individuals B1F11P4 and B3F11P2 stood out, combining simultaneous superiority for multiple productive and structural traits, demonstrating high potential. The application of the mixed model methodology (REML/BLUP) enabled the prediction of genetic values and selection between and within full-sib families of elephant grass, resulting in the identification of superior families and individuals for biomass production for bioenergy purposes.

Keywords: *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone; bioenergy; selection among and within; REML/BLUP; genetic improvement.

1 INTRODUÇÃO

A matriz energética global permanece predominantemente estruturada em fontes não renováveis, que respondem por cerca de 86,5% da oferta total de energia primária, quando incluída a energia nuclear. Nesse cenário, os combustíveis fósseis detêm o maior destaque, representando 81,5% do consumo mundial, distribuídos entre petróleo (31,7%), carvão mineral (26,5%) e gás natural (23,3%) (Energy Institute, 2025). A dependência desses recursos resulta na emissão contínua de resíduos e gases poluentes que impactam severamente o ecossistema, intensificando o efeito estufa e resultando em graves desequilíbrios ambientais (Ritchie *et al.*, 2022). A utilização intensiva desses recursos gera preocupação quanto a uma futura crise energética, visto que se trata de fontes finitas. Nesse cenário, o risco de escassez impulsiona uma mobilização global por alternativas mais sustentáveis. Essa necessidade de mudança favorece o ambiente científico e tecnológico, incentivando a pesquisa e a descoberta de novas fontes renováveis (IEA, 2022).

Diante deste panorama a transição para fontes de energia renováveis torna-se fundamental para reduzir a dependência dos combustíveis fósseis e consolidar uma matriz energética sustentável, contribuindo diretamente para a preservação dos ecossistemas (Razeghi *et al.*, 2023). Uma das alternativas promissoras é o uso de bioenergia, energia proveniente da conversão de biomassa, podendo ser usada para gerar eletricidade, calor ou combustível (Kumar *et al.*, 2025). Além disso, a produção de biomassa apresenta vantagens como o baixo custo de produção e a

redução nos níveis de emissão de dióxido de carbono (CO₂), uma vez que a biologia natural das plantas permite a captura do gás atmosférico e incorporação na biomassa, liberando apenas no final do ciclo, tendo uma compensação natural (Mikhaylov *et al.*, 2020).

Entre as espécies mais utilizadas e promissoras para fins energéticos, o capim-elefante (*Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone) destaca-se pelo seu elevado teor de fibras, crescimento rápido, alto acúmulo de matéria seca, alta relação C/N, além de possuir ciclos curtos e a possibilidade de mecanização total da área de plantio (Marafon *et al.*, 2016). Esses atributos garantem ao capim-elefante vantagens para este fim quando comparado a 99 culturas já utilizadas, como o eucalipto (Juppa *et al.*, 2024).

Contudo, muito do conhecimento adquirido sobre o capim-elefante é proveniente de estudos como fonte de alimento animal, o que atendeu o objetivo inicial de produção. Para o capim-elefante ser usado como fonte bioenergética, é necessário um trabalho de melhoramento focado na aquisição de características específicas, visto que o foco forrageiro busca digestibilidade e folhas, enquanto o foco bioenergético visa o acúmulo de fibras (lignina e celulose), colmos densos e máxima produção de matéria seca. Esse redirecionamento exige a utilização das melhores técnicas e ferramentas, proporcionando uma seleção mais acurada de genótipos superiores (Johannes *et al.*, 2024).

A Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) tem conduzido, há mais de uma década, um programa de melhoramento genético do capim-elefante voltado para fins bioenergéticos, alcançando resultados promissores ao longo desse período por meio da seleção de indivíduos superiores (Lima *et al.*, 2011; Rossi *et al.*, 2014; Daher *et al.*, 2014; Santos *et al.*, 2014; Rocha *et al.*, 2015; Sousa *et al.*, 2016; Freitas *et al.*, 2018; Leite *et al.*, 2023). Silva *et al.* (2020) iniciaram cruzamentos biparentais entre oito acessos de capim-elefante selecionados por floração tardia, alta produção de matéria seca e maior diâmetro do caule. Em 2014, Rodrigues *et al.* (2017) conduziram um experimento com 10 genitores usando dialelo circulante. Posteriormente, Vidal *et al.* (2022) e Farias *et al.* (2022) avançaram o programa com cruzamentos entre genitores produtivos e divergentes.

O melhoramento genético de plantas é um processo contínuo que geralmente envolve três etapas fundamentais: geração de variabilidade genética,

seleção e avaliação (Breseghello *et al.*, 2013). Diante disso, a realização de cruzamentos entre genótipos altamente heterozigóticos, provenientes de cruzamentos anteriores, visa aumentar a frequência de alelos favoráveis e, conseqüentemente, elevar a produtividade da cultura. Essa estratégia é eficiente, pois permite a recombinação de genes de interesse, potencializando características desejáveis nas gerações subseqüentes (Gurgel *et al.*, 2012).

O método REML/BLUP (Máxima Verossimilhança Restrita/Melhor Predição Linear Não Viciada) é comumente utilizado no melhoramento genético, permite a predição de valores genéticos e gera estimativas de parâmetros genéticos, mesmo na condição de desbalanceamento do experimento. A metodologia vem sendo usada na seleção de genótipos superiores em diferentes culturas. No melhoramento da soja, Gonçalves *et al.* (2020) evidenciaram que esta abordagem apresenta alta correlação com o método GGE Biplot na classificação de materiais, sendo fundamental para identificar genótipos com elevada estabilidade produtiva. De forma semelhante, ao avaliar clones de *Coffea canephora*, Capistrano *et al.* (2021) confirmaram que o uso de modelos mistos permite a predição acurada de parâmetros genéticos e a seleção precoce em espécies perenes.

Diversos estudos têm empregado a metodologia de modelos mistos REML/BLUP no melhoramento do capim-elefante, demonstrando elevada eficiência na predição de valores genéticos e na seleção de genótipos superiores. Menezes *et al.* (2016) utilizaram essa abordagem para selecionar genótipos com maior potencial para produção de biomassa, avaliando híbridos obtidos em esquema de dialelo parcial e identificando materiais promissores com elevados valores genotípicos para produção de matéria seca. Cassaro *et al.* (2017) empregaram modelos mistos na avaliação de acessos do Banco Ativo de Germoplasma da UENF destinados à bioenergia, verificando ampla variabilidade genética e elevados valores de herdabilidade e acurácia seletiva para características relacionadas à produção de biomassa, o que possibilitou a identificação de clones superiores para fins energéticos. De forma complementar, Peixoto *et al.* (2024) aplicaram a metodologia REML/BLUP na seleção entre e dentro de famílias de meios-irmãos de capim-elefante, observando diferenças significativas entre genótipos e maiores ganhos genéticos por meio da seleção individual, evidenciando o potencial dessa metodologia para maximizar o progresso genético em programas de melhoramento da cultura.

Para maximizar os ganhos genéticos na seleção, a abordagem combinada entre e dentro de famílias é uma estratégia eficiente, pois prioriza o mérito individual enquanto incorpora informações adicionais dos valores de sua respectiva família, aumentando a precisão do processo seletivo (Cruz *et al.*, 2014). Essa metodologia permite identificar tanto as famílias mais promissoras quanto os melhores indivíduos dentro de cada uma delas (Silva *et al.*, 2017b). Assim, a seleção de famílias eleva a probabilidade de identificar genótipos superiores, otimizando a eficiência no uso dos recursos disponíveis para a execução do programa de melhoramento (Cruz *et al.*, 2012).

O método REML/BLUP na seleção entre e dentro de famílias, separa as variâncias genéticas familiares e individuais, possibilitando a seleção das melhores famílias e dos melhores indivíduos dentro delas. Nesse sentido, vários trabalhos vêm utilizando essa abordagem na cultura do capim-elefante, Peixoto *et al.* (2024) ao avaliarem famílias de meio-irmãos, demonstraram a eficácia da seleção entre e dentro de famílias para a identificação de genótipos superiores, ressaltando que essa estratégia maximiza a eficiência do programa de melhoramento ao capturar a variabilidade disponível em diferentes níveis hierárquicos. De forma semelhante, Ambrosio *et al.* (2024) identificaram ganhos de seleção simultâneos de 11,88% para produção de matéria seca total e 15,48% para o número de perfilhos em famílias de endogamia (S_1), demonstrando que a predição de valores genotípicos via REML/BLUP maximiza os ganhos genéticos ao identificar genótipos que reúnem elevado rendimento de biomassa e estabilidade.

Sendo assim, a realização de novos cruzamentos, associada à estratégia de seleção entre e dentro de famílias via modelos mistos (REML/BLUP) ajuda a otimizar o processo de seleção de genótipos superiores de capim-elefante, potencializando a produção de biomassa para fins bioenergéticos. Isso contribui diretamente para o avanço de soluções sustentáveis no setor energético, promovendo a transição para uma matriz energética mais renovável e de baixo impacto ambiental.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar o potencial genético de famílias de irmãos completos de capim-elefante por meio da seleção entre e dentro de famílias, visando identificar genótipos com características superiores para a produção de bioenergia, utilizando a metodologia de modelos mistos (REML/BLUP).

2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar as famílias de irmãos completos com base em características morfoagronômicas;
- Estimar os componentes de variância das famílias de irmãos completos utilizando a metodologia REML;
- Predizer os valores genéticos das famílias de irmãos completos pela melhor predição linear não viesada (BLUP);
- Identificar e recomendar as famílias e genótipos mais produtivos e com maior potencial bioenergético para a produção de biomassa.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Características Gerais do Capim-Elefante

O capim-elefante (*Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone.) é uma espécie forrageira tropical de grande importância, sendo predominantemente cultivada em regiões tropicais e subtropicais do mundo (Italiano, 2004). O nome científico do capim-elefante passou por uma reclassificação taxonômica. Originalmente conhecido como *Pennisetum purpureum* Schumach., estudos recentes propuseram sua inclusão no gênero *Cenchrus*, resultando na nova denominação *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone (De Matos Texeira *et al.*, 2022). Pertence à família Poaceae, subfamília Panicoideae, e tribo Paniceae, o novo gênero *Cenchrus* faz parte de um grupo de gêneros de gramíneas de alto interesse econômico utilizadas como pastagem, tais como *panicum*, *melinis* e *brachiaria* (Da Silva *et al.*, 2011).

Originário da África tropical, o capim-elefante foi descoberto pelo coronel Napier em 1905 e devido suas características vantajosas foi propagado por todo o território africano (Lopes, 2004). Em seguida, chegou ao Brasil no início do século XX, primeiramente sendo cultivada em São Paulo e Rio Grande do Sul, os genótipos provêm de regiões como Estados Unidos e Cuba onde o capim-elefante já era cultivado. De acordo com seu bom desempenho, devido à sua alta adaptabilidade ao clima tropical, seu cultivo foi disseminado pelo território nacional (Faria, 1993).

O capim-elefante é perene de hábito cespitoso, com colmos eretos e preenchidos por parênquima suculento, alcançando alturas que variam de 3,5 a 6 metros. Suas folhas são longas, atingindo até 1,25 metros de comprimento, com largura de aproximadamente 4 centímetros, e apresentam nervura central destacada e bainha lanosa. As inflorescências são do tipo panícula, densamente floridas com espiguetas isoladas ou em grupos. Essa morfologia contribui para sua elevada produção de biomassa, porém sua eficiência fotossintética superior é garantida pelo ciclo metabólico C4. Através da anatomia de Kranz, a planta promove a separação espacial da fixação de carbono, concentrando o CO₂ nas células da bainha do feixe. Esse mecanismo minimiza drasticamente as perdas por fotorrespiração e maximiza a fixação de carbono, permitindo que o capim-elefante apresente taxas de crescimento excepcionais mesmo em condições de alta radiação e estresse hídrico (Sanchês *et al.*, 2017).

A propagação do capim-elefante ocorre predominantemente por via vegetativa, já que suas sementes apresentam baixa viabilidade e germinação devido a fatores como apomixia e limitações na polinização cruzada (Souza, 2017). Porém, há vantagens na propagação vegetativa, pois há a manutenção das características genéticas superiores proveniente dos clones, garantindo uma uniformidade nos cultivos (Pereira *et al.*, 2001). Apesar disso, estudos mostram que alguns genótipos específicos podem alcançar até 90% de germinação, possibilitando sua utilização em programas de cruzamentos controlados (Souza Sobrinho *et al.*, 2008).

Geneticamente, o capim-elefante é uma planta alógama, ou seja, prioriza a fertilização cruzada, é alotetraploide com número de cromossomo $2n = 4x = 28$ e genoma AA'BB (Souza, 2017). Por ter um comportamento protogínico, com intervalo de sete dias entre a liberação do pólen e a emissão dos estigmas, ocorre elevada taxa de heterose devido à fertilização cruzada. Essa característica, associada à variação na época de florescimento entre genótipos, permite classificá-los em precoces, intermediários e tardios, contribuindo para a diversificação de estratégias de manejo (Pereira, 1994).

É importante ressaltar que a idade de corte influencia diretamente a produção de biomassa e a qualidade do material para fins energéticos. O aumento na idade de corte proporciona maior produção de biomassa seca e, conseqüentemente, teores elevados de carboidratos estruturais e lignina,

características favoráveis para a produção de energia renovável (Da Silveira *et al.*, 2018). Segundo Marafon *et al.* (2019), o corte anual do capim-elefante, resulta em maior densidade energética e menor teor de cinzas em comparação ao corte semestral. A opção pelo intervalo de corte anual otimiza a qualidade da biomassa para fins de bioenergia. Esse manejo favorece o acúmulo de constituintes lignocelulósicos, elevando o poder calorífico, ao mesmo tempo em que reduz a concentração de minerais. Tal redução é crucial para a viabilidade industrial, uma vez que baixos teores de cinzas minimizam o desgaste prematuro de equipamentos de combustão por corrosão e incrustação.

3.2 Potencial econômico do capim-elefante na produção de bioenergia

O capim-elefante é amplamente reconhecido como uma das principais forrageiras em sistemas intensivos de produção animal, sendo destacado mundialmente pela sua relevância no setor agropecuário (Pereira, 1994). Sua elevada produtividade e qualidade nutricional fazem dele uma opção promissora para intensificar a produção de carne e leite em regiões tropicais (Pereira *et al.*, 2008). Essa versatilidade permite seu uso em sistemas de corte, ensilagem, fenação e pastejo rotacionado, consolidando-o como um recurso essencial para a alimentação de rebanhos (Pires *et al.*, 2009; Monteiro *et al.*, 2011).

Embora o foco do melhoramento genético do capim-elefante seja predominantemente voltado à produção de forragem, ele também se destaca como matéria-prima para fontes de energia renovável, ampliando suas aplicações no agronegócio (Flores *et al.*, 2012). No Brasil, esforços de pesquisa têm buscado identificar cultivares mais produtivas e adaptadas às condições edafoclimáticas regionais, aumentando sua eficiência em sistemas agrícolas (Monteiro *et al.*, 2011).

A produção de biomassa é um dos aspectos mais significativos do capim-elefante, uma vez que ele apresenta alta capacidade de acumulação de matéria seca e elevado teor de fibras, características que favorecem seu uso em bioenergia (Lee *et al.*, 2010; Daher *et al.*, 2014). Além disso, seu ciclo de crescimento rápido e alta relação carbono/nitrogênio são fatores cruciais para sua eficiência como fonte de biomassa energética. Esses atributos também permitem o cultivo eficiente em áreas menos favoráveis ao crescimento vegetal, contribuindo para o

aproveitamento econômico de regiões com baixa aptidão agrícola (Morais *et al.*, 2009).

O capim-elefante tem ganhado destaque como uma alternativa sustentável para a produção de energia renovável, impulsionado pela crescente demanda por soluções energéticas que reduzam a emissão de gases de efeito estufa (Monti *et al.*, 2007). A biomassa vegetal proveniente do capim-elefante, ao capturar dióxido de carbono durante seu crescimento, contribui para um ciclo de carbono mais equilibrado, minimizando os impactos ambientais associados à geração de energia (Seye, 2003; Goldemberg, 2009).

A viabilidade do cultivo do capim-elefante para fins energéticos está diretamente relacionada à elevada produção de biomassa e aos altos teores de componentes lignocelulósicos, especialmente celulose e lignina, responsáveis pelo elevado poder calorífico da biomassa vegetal (Quesada *et al.*, 2004). Estudos recentes demonstram que o capim-elefante apresenta teores de celulose variando entre 30 e 50% e lignina entre 15 e 30%, características que reforçam seu potencial para geração de bioenergia e produção de biocombustíveis (Da Silva *et al.*, 2017).

Dentre os usos energéticos do capim-elefante, destacam-se a combustão direta, gaseificação, carvoejamento e a produção de etanol a partir do bagaço, demonstrando a versatilidade dessa cultura (Seye, 2003). No entanto, a baixa densidade energética do capim-elefante "solto" (queima direta) em comparação à lenha representa um desafio logístico e operacional, exigindo o desenvolvimento de tecnologias para melhorar sua densidade energética (Seye, 2003).

A digestão anaeróbia do capim-elefante é uma técnica eficiente para a produção de biogás, uma mistura de gases, principalmente metano e dióxido de carbono, resultante da decomposição da matéria orgânica na ausência de oxigênio. Este processo não só gera energia renovável, mas também contribui para a redução de resíduos orgânicos (Silva, 2020). Já a conversão do capim-elefante em pellets, pequenos cilindros densos de biomassa compactada, destaca-se como uma solução sustentável para a geração de energia. Os pellets oferecem vantagens como armazenamento eficiente, transporte simplificado e queima otimizada, tornando-os uma alternativa viável aos combustíveis fósseis (Magalhães *et al.*, 2016).

Outro uso do capim-elefante é para a produção de etanol de segunda geração, a ideia baseia-se na conversão de materiais lignocelulósicos presentes na

planta em açúcares fermentáveis, que são posteriormente transformados em etanol. Este processo amplia as fontes de biomassa para produção de biocombustíveis e contribui para a diversificação da matriz energética (Campos, 2015).

Pesquisas sobre o uso do capim-elefante para bioenergia estão sendo realizadas em diferentes regiões do Brasil, com foco em melhorar a qualidade da biomassa e aumentar a eficiência dos processos de conversão energética (Oliveira *et al.*, 2014; Silva *et al.*, 2020). A busca por genótipos que apresentem características ideais, como maior teor de fibras e lignina, tem impulsionado programas de melhoramento genético, com o objetivo de obter cultivares com maior capacidade de produção e qualidade para a geração de energia (Rodrigues *et al.*, 2017; Vidal *et al.*, 2019).

A adoção do capim-elefante em sistemas agroindustriais tem gerado impactos sociais positivos, com a criação de empregos diretos e indiretos (Quesada, 2005). Além disso, o Brasil, com condições edafoclimáticas favoráveis, possui um alto potencial para liderar o mercado global de biomassa energética, aproveitando os avanços tecnológicos e programas de incentivo ao cultivo de plantas bioenergéticas (Brasil, 2018).

3.3 Melhoramento Genético do Capim-elefante

Enquanto o foco para a nutrição animal recai sobre a obtenção de genótipos com alta concentração de proteína, folhas abundantes e digestibilidade elevada, os programas de melhoramento voltados para a bioenergia priorizam o máximo rendimento de biomassa e qualidade para combustão ou conversão em biocombustíveis (Rengsirikul *et al.*, 2013; Strezov *et al.*, 2008; Prochnow *et al.*, 2009).

Os estudos de melhoramento do capim-elefante foram intensificados ao longo dos anos, sendo a Embrapa e outras instituições no Brasil protagonistas na conservação e desenvolvimento de germoplasmas (Souza *et al.*, 2017). O Banco de Germoplasma (BAG) da Embrapa Gado de Leite é um dos principais centros de pesquisa, reunindo ampla variabilidade genética, essencial para estudos voltados ao desenvolvimento de novas cultivares (Pereira *et al.*, 2001).

A Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) tem conduzido estudos voltados tanto para o desenvolvimento de variedades destinadas à produção animal quanto para aplicações energéticas (Daher *et al.*, 2014; Oliveira *et al.*, 2014; Rossi *et al.*, 2014; Menezes *et al.*, 2016a; Farias, 2022). Os genótipos presentes no Banco Ativo de Germoplasma (BAG) da UENF são originários da Embrapa Gado de Leite.

Visando caracterizar o Banco de Germoplasma de capim-elefante da Universidade Estadual do Norte Fluminense, Lima *et al.* (2011) analisaram a diversidade genética de 46 genótipos por meio de marcadores moleculares RAPD e ISSR. As distâncias genéticas foram determinadas utilizando o índice de Jaccard e os genótipos foram agrupados por dois métodos distintos: UPGMA (médias aritméticas não ponderadas) e o método de otimização de Tocher. Os resultados evidenciaram significativa variabilidade genética entre os genótipos avaliados, com ausência de duplicatas. Entre os genótipos analisados, Mineiro e Napier apresentaram maior proximidade genética, enquanto Merker S.E.A e Merkeron Comum de Pinda foram os mais distantes.

Outros trabalhos como de Freitas *et al.* (2018) investigaram o impacto de cinco diferentes idades de colheita (8, 12, 16, 20 e 24 semanas) sobre o rendimento e a composição química da biomassa em seis genótipos de capim-elefante, com foco na qualidade para fins energéticos. Utilizando análises de regressão, o estudo buscou determinar a idade ideal de corte ao equilibrar a quantidade e a qualidade da matéria seca destinada à geração de energia. Os resultados indicaram que a colheita realizada às 20 semanas foi a mais adequada para a avaliação dos genótipos de capim-elefante em relação ao uso bioenergético. O desenvolvimento de híbridos de capim-elefante com elevado potencial energético teve início com os cruzamentos realizados por Rodrigues *et al.* (2016). Dando continuidade a esse programa, Vidal *et al.* (2018) avaliou o desempenho desses materiais em ciclos avançados, consolidando a identificação de genótipos promissores para a produção de biomassa.

O melhoramento genético do capim-elefante atualmente foca na diversificação da base genética. Para isso, são empregadas estratégias como a obtenção de clones e o melhoramento populacional. O melhoramento populacional busca aumentar a frequência de alelos favoráveis, levando à formação de uma população geneticamente superior à original (Pereira *et al.*, 2008). Essa espécie

apresenta particularidades como reprodução predominantemente alógama, florescimento protogínico e ciclo perene, o que influencia diretamente as estratégias de melhoramento. Além disso, a possibilidade de propagação vegetativa permite a fixação de genótipos superiores em larga escala, viabilizando maior uniformidade nos plantios comerciais (Pereira *et al.*, 2001).

Entre as principais estratégias utilizadas, destacam-se as hibridações intra e interespecíficas. Cruzamentos entre o capim-elefante e o milheto (*Cenchrus americanus*) são realizados para gerar híbridos com sementes maiores e características desejáveis. No entanto, esses híbridos apresentam esterilidade, sendo mantidos por propagação vegetativa ou sujeitos à duplicação cromossômica para restaurar a fertilidade, embora com redução da produtividade de biomassa (Barbosa *et al.*, 2007; Pereira *et al.*, 2021).

A implementação de cruzamentos dialélicos também tem sido relatada como uma abordagem útil no melhoramento do capim-elefante. Essa técnica possibilita estimar a capacidade geral e específica de combinação, fundamentais para identificar genótipos com alto desempenho agrônomico (Cruz *et al.*, 2012). Embora o dialelo completo seja limitado pelo alto número de combinações necessárias, o dialelo circulante surge como uma alternativa viável para estudos em espécies perenes, permitindo maior eficiência operacional (Kempthorne e Curnow, 1961).

3.4 Seleção entre e dentro de famílias via modelos mistos

A estratégia de seleção entre e dentro de famílias fundamenta-se na exploração da variabilidade genética total de uma população, decompondo-a em componentes atribuídos às diferenças entre as médias das progênies e à segregação que ocorre dentro de cada uma delas. No melhoramento de plantas alógamas e com alta heterozigose, como o capim-elefante, essa abordagem é superior à seleção fenotípica simples, pois permite que o melhorista identifique indivíduos de exceção mesmo em famílias que não apresentam as maiores médias gerais (CRUZ *et al.*, 2012).

A eficácia dessa técnica reside na capacidade do procedimento REML/BLUP em lidar com a estrutura hierárquica dos dados. Segundo Resende *et al.* (2002), a seleção combinada utiliza a informação do indivíduo ponderada pelo

desempenho de seus parentes, o que resulta em uma acurácia seletiva superior. Enquanto a seleção "entre" foca na capacidade geral de combinação dos genitores, a seleção "dentro" captura o desvio genético individual provocado pela recombinação alélica. Em espécies perenes, onde o objetivo final é a clonagem do genótipo superior, a seleção dentro de famílias torna-se crucial, pois permite fixar ganhos genéticos aditivos e não-aditivos (dominância) de indivíduos que reúnem alelos favoráveis para múltiplas características (Maia *et al.*, 2009).

Um dos grandes avanços da utilização de modelos mistos nesta modalidade de seleção é o BLUP Individual (BLUPI). Conforme explicam Viana e Resende (2014), este procedimento ordena os indivíduos de toda a população simultaneamente, independentemente da família a que pertencem, corrigindo os dados para efeitos de bloco e outros fatores ambientais. Isso evita o erro comum da seleção massal, onde um indivíduo pode parecer superior apenas por estar localizado sobre condições favoráveis. A contração das estimativas (shrinkage) aplicada pelo BLUP garante que apenas os indivíduos com mérito genético real sejam selecionados, reduzindo a incidência de falsos positivos.

Diversos trabalhos vêm sendo feitos usando a seleção entre e dentro de famílias, como feito por Silva *et al.* (2016), ao avaliar progênes de irmãos completos para fins energéticos, demonstrou que a partição da variância em nível de planta dentro de progênie permite uma predição de ganhos mais acurada, destacando a família FIC 3 (IJ7179 x BAG 86) como superior para produção de matéria seca e perfilhamento. Essa eficácia na identificação de genótipos de superiores também foi observada por Cassaro (2018), que visualizou elevadas estimativas de herdabilidade e acurácia ao avaliar híbridos, ressaltando que a seleção individual via BLUP é capaz de diminuir os efeitos ambientais e isolar o mérito genotípico real, facilitando a fixação de ganhos via clonagem.

A exploração da variabilidade dentro das famílias permite o resgate de indivíduos de exceção que superam a média de suas respectivas famílias. Peixoto *et al.* (2024) reforçaram essa premissa ao demonstrarem que a seleção baseada nos melhores indivíduos dentro de famílias de meios-irmãos proporcionou ganhos genéticos superiores aos obtidos pela seleção baseada apenas em médias familiares, com destaque para o desempenho produtivo das famílias 1, 9 e 11.

Estudos recentes aplicados ao capim-elefante reforçam a boa utilização desta metodologia na seleção eficaz de genótipos superiores. Santana *et al.* (2024)

destaca que, em famílias de irmãos completos, a variância dentro das progênes representa uma fração significativa da variância genética total. Assim, o emprego do REML/BLUP na seleção entre e dentro de famílias consolida-se como a ferramenta mais precisa para maximizar o progresso genético e a estabilidade dos novos clones destinados à indústria bioenergética.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido na estação experimental do Centro Estadual de Pesquisas em Agroenergia e Aproveitamento de Resíduos (CEPAAR-PESAGRO-RIO), localizada no município de Campos dos Goytacazes, região norte do Estado do Rio de Janeiro, nas coordenadas 21°19'23" Sul e 41°19'40" Oeste, com altitude média de 25 metros.

O clima da região é classificado como Aw, segundo Köppen (1948), caracterizado como tropical quente e úmido, com inverno seco e verão chuvoso, apresentando precipitação média anual em torno de 1.152 mm.

Os dados meteorológicos foram obtidos da estação automática agrometeorológica, localizada próximo à área experimental. A Figura 1 apresenta os valores mensais de precipitação pluvial referentes ao período da condução do experimento (novembro de 2023 a setembro de 2025) e os dados da normal climatológica da cidade (1991-2020). Durante os 23 meses de condução do experimento, foi registrada uma precipitação pluvial acumulada de 1750,54 mm, precipitação essa que está um pouco abaixo da prevista na normal climatologia que era de 1884,50mm para a região.

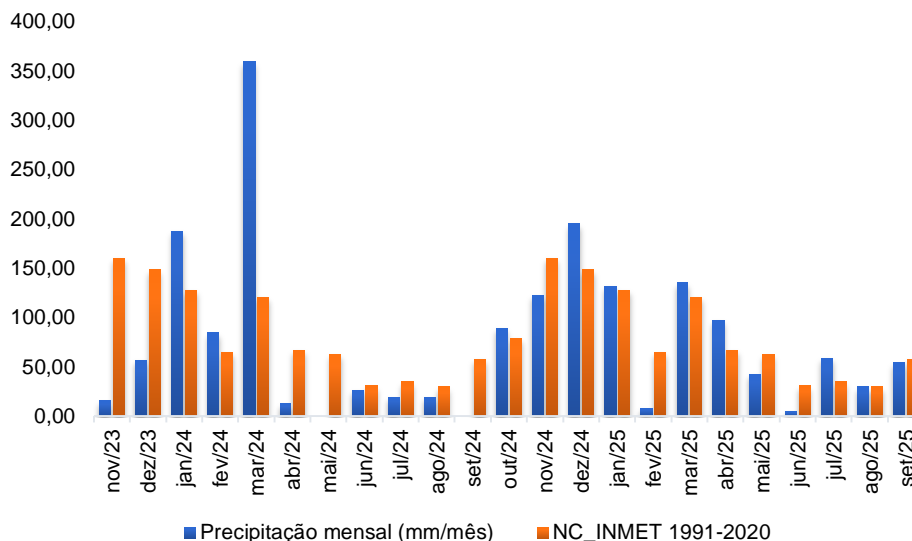


Figura 1. Precipitação ocorrida durante o experimento de capim-elefante e Normal Climatológica (NC_INMET 1991 a 2020). Campos dos Goytacazes, 2023-2025.

4.2 Genitores

Para a obtenção das famílias, foram realizados cruzamentos entre 14 genitores provenientes de cruzamentos anteriores entre genótipos, conduzidos pelo grupo de melhoramento do capim-elefante da UENF (Rodrigues *et al.*, 2017; Silva *et al.*, 2020; Vidal *et al.*, 2023; Santana *et al.*, 2024) e duas cultivares comerciais desenvolvidas pela Embrapa (Tabela 1). Foram obtidas 24 famílias de irmãos completos de capim-elefante. A descrição dos cruzamentos está apresentada na Tabela 2.

Tabela 1. Genitores utilizados na formação das famílias de capim-elefante, com indicação do ano do cruzamento original, referência e identificação dos genitores femininos e masculinos. As testemunhas comerciais foram BRS Capiaçú (G1) e BRS Canará (G2). Campos dos Goytacazes, 2023-2025.

Genitor	Ano do cruzamento	Referência	Genitor Feminino	Genitor Masculino
G1	Cv comercial	BRS Capiaçú		
G2	Cv comercial	BRS Canará		
G3	2016	Silva <i>et al.</i> , (2020)	IJ7139	Cameron
G4	2016	Silva <i>et al.</i> , (2020)	IJ7139	Cubano
G5	2016	Silva <i>et al.</i> , (2020)	IJ7139	BAG-86
G6	2016	Silva <i>et al.</i> , (2020)	IJ7139	BAG-86
G7	2016	Rodrigues <i>et al.</i> , (2017)	Cameron	Cuba115
G8	2016	Rodrigues <i>et al.</i> , (2017)	Capim Cana D’Africa	Guaçu/IZ2
G9	2019	Vidal <i>et al.</i> , (2023)	Pasto Panamá	
G10	2019	Vidal <i>et al.</i> , (2023)	Três Rios	
G11	2020	Santana <i>et al.</i> , (2024)	CAC-262	Cuba-115
G12	2020	Santana <i>et al.</i> , (2024)	Australiano	Cuba-115
G13	2020	Santana <i>et al.</i> , (2024)	Australiano	Cuba-115
G14	2020	Santana <i>et al.</i> , (2024)	King Grass	P241 Piracicaba

Tabela 2. Descrição das 24 famílias de irmãos completos de capim-elefante obtidas a partir dos cruzamentos entre os 14 genitores, com indicação do genitor feminino, genitor masculino e identificação de cada família. Campos dos Goytacazes, 2023-2025.

Família	Genitor feminino	Genitor masculino
1	G8	G6
2	G2	G6
3	G7	G6
4	G8	G9
5	G2	G9
6	G7	G9
7	G2	G7
8	G6	G9
9	G13	G2
10	G13	G6
11	G13	G7
12	G1	G2
13	G1	G6
14	G1	G7
15	G1	G3
16	G9	G3
17	G1	G4
18	G5	G4
19	G12	G7
20	G4	G13
21	G10	G14
22	G1	G11
23	G9	G11
24	G9	G10

4.3 Delineamento, Obtenção das famílias e Condução dos experimentos

Os cruzamentos foram realizados entre maio e agosto, período de florescimento da cultura. O processo foi conduzido manualmente, coletando-se os grãos de pólen dos genótipos de capim-elefante (genitor masculino) previamente protegidos em sacos de papel. O pólen foi transferido para os genitores femininos, cujas inflorescências também foram protegidas e com estigmas receptivos. Os cruzamentos ocorreram entre 8 e 10 horas da manhã.

Após os cruzamentos, as sementes de cada genótipo foram misturadas e semeadas em bandejas de isopor com 128 células, mantidas em casa de vegetação com irrigação adequada para garantir a germinação e o desenvolvimento saudável das plântulas. O transplântio para o campo foi realizado em novembro de 2023, cerca de 45 dias após a emergência das plântulas.

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições, cada bloco contendo 24 famílias de irmãos completos. As parcelas consistiram em uma linha de 7,5 metros, com espaçamento de 1,50 x 1,50 m, totalizando seis plantas por parcela, todas avaliadas. No total, foram analisadas 576 plantas individuais.

Após a emergência das plantas e o preparo convencional do solo, foi realizado o transplante das mudas. A adubação foi efetuada com base na análise de solo, fracionada em três aplicações: uma no plantio e as demais após os cortes. Em março de 2024 foi realizado um corte de uniformização, de modo a proporcionar a uniformização das plantas, dando início ao período de crescimento para posterior avaliação. As avaliações ocorreram em dois cortes, a primeira em dezembro de 2024 e a segunda em setembro de 2025, conforme recomendado por Vidal *et al.* (2022), quando se obtém maior produtividade de biomassa.

4.4 Características avaliadas

As avaliações foram feitas nas seis plantas individuais de cada parcela, de cada uma das 24 famílias, e aferidas as seguintes características:

- **Produção de matéria seca (PMS, t.ha⁻¹):** foi retirada uma amostra de cada planta ao acaso, picada, acondicionada em saco de papel identificado, pesada e colocada em estufa a 65 °C por 72 horas. Em seguida, as amostras foram novamente pesadas para obtenção da amostra seca ao ar (ASA). O material seco foi moído em moinho tipo Willey com peneira de 5 mm e acondicionado em sacos plásticos para a determinação da amostra seca em estufa (ASE). Para a determinação da ASE, 2 g de cada material moído foram mantidos em estufa a 105°C por 18 horas e, posteriormente, novamente pesados.
- **Porcentagem de matéria seca (%MS, %):** Obtida pela divisão da massa seca da planta pelo peso fresco e multiplicada por 100.
- **Número de perfilhos (NP):** Feito pela contagem do número de perfilhos de cada uma das plantas avaliadas.
- **Altura de plantas (ALT, m):** Mensurada do solo até a inflexão da última folha completamente expandida de cada uma das plantas avaliadas.

- **Diâmetro de colmos (DC, cm):** Aferido pela média de três perfis de cada planta avaliada, mensurado com auxílio de um paquímetro digital a 20 centímetros do solo.

4.5 Análise genético-estatística

Para as características avaliadas, foi realizada a análise de deviance, a estimação dos valores genéticos e predição dos ganhos dos genótipos via modelos mistos (REML/BLUP).

De acordo com modelo descrito em Viana e Resende (2014) a análise de deviance foi obtida da seguinte forma:

$$D = -2\ln(L)$$

$$\ln(L) = -1/2\ln|X'V^{-1}X| - 1/2\ln|V| - 1/2(y-Xm)'V^{-1}(y-Xm),$$

em que $\ln(L)$ é o ponto máximo da função de logaritmo de máxima verossimilhança restrita (REML); y é o vetor da variável analisada; m é o vetor dos efeitos das observações, assumido fixo, X é a matriz de incidência dos efeitos fixos; e V é a matriz de variância-covariância de y .

O teste estatístico LRT (teste de razão de verossimilhança) foi utilizado para testar o significado dos efeitos, da seguinte forma:

$$\text{LRT: } -2\ln(L_{se}) + 2\ln(L_{fm}),$$

em que L_{se} é o ponto máximo da função de máxima verossimilhança para o modelo reduzido (sem os efeitos) e L_{fm} é o ponto máximo da função de máxima verossimilhança para o modelo completo. As variáveis foram analisadas pelo software Selegen- REML/BLUP (Resende 2009), que foi utilizado para obter os componentes de variância por meio da máxima verossimilhança restrita (REML) e os valores genotípicos individuais por meio do melhor preditor linear não-viesado (BLUP).

A estimação dos componentes de variância e a predição dos valores genéticos foram realizadas por meio da metodologia de modelos mistos, utilizando o procedimento REML/BLUP (Máxima Verossimilhança Restrita/Melhor Preditor

Linear Não Viciado) com o auxílio do software Selegen-REML/BLUP (Resende, 2006). Para a avaliação das famílias de irmãos completos, conduzidas em um único local e com várias colheitas, adotou-se o Modelo 8.

O modelo estatístico utilizado seguiu a equação matricial:

$$y = X_m + Z_a + W_p + T_s + e$$

Em que:

- y : é o vetor de dados das características avaliadas;
- m : é o vetor dos efeitos das combinações medição-repetição (assumidos como fixos) somados à média geral. Este vetor contempla todas as medições em todas as repetições e ajusta simultaneamente para os efeitos de repetições, medição e interação repetição x medição;
- a : é o vetor dos efeitos genéticos aditivos individuais (assumidos como aleatórios);
- p : é o vetor dos efeitos de parcela (aleatórios);
- s : é o vetor dos efeitos permanentes (aleatórios), que captura a correlação entre as medições no mesmo indivíduo ao longo do tempo;
- e : é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios).

As letras maiúsculas (X , Z , W e T) representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.

Com a aplicação do Modelo 8, foram estimados os seguintes componentes de variância e parâmetros genéticos:

- V_a : Variância genética aditiva;
- V_{parc} : Variância ambiental entre parcelas;
- V_{perm} : Variância dos efeitos permanentes;
- V_e : Variância residual temporária;
- V_f : Variância fenotípica individual;
- h^2_a (ou h^2): Herdabilidade individual no sentido restrito;
- r : Repetibilidade individual;
- c^2_{parc} (ou c^2): Coeficiente de determinação dos efeitos de parcela;
- c^2_{perm} (ou c^{21}): Coeficiente de determinação dos efeitos permanentes.

Considerando a natureza perene do capim-elefante, a eficiência da seleção foi aferida pela acurácia da predição e pela herdabilidade em nível de indivíduos associada à média das colheitas. A seleção entre e dentro de famílias foi realizada com base no BLUP Individual, ordenando os genótipos pelo seu valor genético predito. Esse procedimento permitiu classificar os indivíduos de acordo com seu potencial genotípico, visando a identificação de clones superiores para a produção de biomassa.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de deviance indicou a presença de variabilidade genética para a maioria das características avaliadas (Tabela 3). Verificou-se efeito significativo de genótipo para as variáveis Produção de Matéria Seca (PMS), Diâmetro de Colmo (DC) e Número de Perfilhos (NP) ao nível de 1% de probabilidade. Estes resultados evidenciam que as famílias de irmãos completos apresentam variabilidade genética para a maioria das características avaliadas, o que viabiliza a identificação e seleção de materiais superiores para as variáveis de interesse (Resende *et al.*, 2016).

Para a seleção com fins bioenergéticos, a variabilidade genética observada para a PMS é o fator determinante, visto que esta variável mensura diretamente o potencial de acúmulo de biomassa por área. O efeito de genótipo foi altamente significativo ($p \leq 0,01$), indicando desempenho diferenciado entre os genótipos avaliados quanto à capacidade de produção de biomassa. Esse resultado evidencia o potencial de resposta à seleção e uma estratégia para o aumento da produtividade, uma vez que a produção de matéria seca é um dos principais critérios de escolha de cultivares de capim-elefante para produção de bioenergia (Vidal *et al.*, 2024).

Com relação ao DC e NP, estas também são características de grande importância. Segundo Rocha *et al.* (2018), o número de perfilhos e o diâmetro dos colmos exercem efeitos diretos positivos sobre o rendimento de matéria seca, o que

viabiliza a utilização dessas variáveis como critérios eficientes para a seleção indireta de genótipos superiores

Tabela 3. Análise de Deviance para as características produção de matéria seca (PMS), porcentagem de matéria seca (%MS), número de perfilhos (NP), altura (ALT) e diâmetro de colmo (DC) em genótipos de capim-elefante. Campos dos Goytacazes, RJ, 2026.

Fonte		PMS	%MS	ALT	DC	NP
Genótipo	Deviance	1683,42	2111,64	669,32	-955,45	2566,71
	LRT	10,37**	3,45 ^{ns}	0,3 ^{ns}	8,48**	7,7**
Parcela	Deviance	1675,58	2109,84	670	-953,24	2568,57
	LRT	2,53 ^{ns}	1,65 ^{ns}	0,98 ^{ns}	10,69**	9,56**
Efeitos permanentes	Deviance	1677,21	2111,8	669,03	-963,68	2572,3
	LRT	4,16*	3,61 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,25 ^{ns}	13,29**
Modelo Completo		1673,05	2108,19	669,02	-963,93	2559,01

.LTR: Teste da razão de verossimilhança; ns, **, *: Não significativo e significativos ao nível de 1% (6,63) e 5% (3,84) de probabilidade, respectivamente, pelo teste Qui-quadrado com 1 grau de liberdade

Em contraste com as demais variáveis, a porcentagem de matéria seca (%MS) e Altura de Planta (ALT) não apresentaram diferenças estatísticas entre as famílias avaliadas, registrando um LRT de 3,45 e 0,3, respectivamente. Esses valores são considerados inferiores ao valor crítico para ambos os níveis de significância (Tabela 3). Esse resultado indica uma uniformidade para essas variáveis dentro da população estudada, sugerindo que a variação observada é predominantemente de natureza ambiental. Consequentemente, a seleção entre famílias tende a proporcionar ganhos limitados, uma vez que o progresso genético é dependente da magnitude da variabilidade genética existente entre as unidades de seleção (Cruz *et al.*, 2011)

No que se refere aos efeitos de parcela, que mensuram a heterogeneidade ambiental dentro dos blocos, observou-se significância ao nível de 1% para as variáveis DC (LRT = 10,69) e NP (LRT = 9,56). Para as demais características (PMS, %MS e ALT), os efeitos de microambiente não foram significativos pelo teste da razão de verossimilhança (LRT), o que aponta para uma distribuição mais homogênea dessas variáveis na área experimental. A confirmação da variação

genética nas componentes de rendimento permite o prosseguimento das análises para a predição dos valores genéticos e a subsequente seleção de indivíduos (Resende *et al.*, 2002).

A variância fenotípica (V_f) das características avaliadas foi decomposta em variância genética aditiva (V_a), variância ambiental entre parcelas (V_{parc}), variância dos efeitos permanentes (V_{perm}) e variância residual temporária (V_e). Observou-se que a contribuição da variância genética aditiva foi expressiva para produção de matéria seca (PMS), diâmetro de colmo (DC) e número de perfilhos (NP), indicando maior controle genético dessas variáveis (Tabela 4).

Tabela 4. Estimativas de componentes de variância (REML) e parâmetros genéticos para produção de matéria seca (PMS), porcentagem de matéria seca (%MS), altura de planta (ALT), diâmetro do colmo (DC) e número de perfilhos (NP), avaliados em famílias de irmãos completos de capim-elefante. Campos dos Goytacazes, RJ, 2026.

	PMS	%MS	ALT	DC	NP
V_a	3.57	3.10	0.04	0.032	19.82
V_{parc}	0.47	0.74	0.02	0.01	6.29
V_{perm}	0.90	1.90	0.01	0.1	7.93
V_e	3.13	11.12	1.10	0.03	10.20
V_f	8.08	16.87	1.17	0.07	44.26
h^2_a	0.44	0.18	0.03	0.47	0.45
r	0.611	0.34	0.03	0.62	0.77
c^2_{parc}	0.06	0.04	0.01	0.12	0.14
c^2_{perc}	0.11	0.11	0.01	0.03	0.18
Média Geral	13.82	40.54	3.25	1.31	21.13

V_a : variância genética aditiva; V_{parc} : variância ambiental entre parcelas; V_{perm} : variância dos efeitos permanentes; V_e : variância residual temporária; V_f : variância fenotípica individual; h^2_a : herdabilidade individual no sentido restrito (efeitos aditivos); r : repetibilidade individual; c^2_{parc} : coeficiente de determinação dos efeitos de parcela; c^2_{perm} : coeficiente de determinação dos efeitos permanentes; média geral do experimento.

Observou-se que a variância genética aditiva representou parcela expressiva da variância fenotípica total para (PMS), (DC) e (NP), correspondendo a 44%, 47% e 45%, respectivamente. A variância fenotípica resulta da ação

conjunta dos efeitos genéticos e ambientais sobre a expressão das características de um determinado genótipo; entretanto, a variância genética constitui o componente de maior interesse para o melhoramento genético, por estar diretamente associada ao potencial de resposta à seleção (Borém *et al.*, 2017a). De acordo com Dos Santos *et al.* (2024), quando a variância aditiva superou a ambiental entre parcelas, a eficiência da seleção entre e dentro de famílias é maximizada, permitindo ganhos genéticos diretos, com reflexos positivos no potencial produtivo e na qualidade da biomassa.

Em contraste, para porcentagem de matéria seca (%MS) e altura de planta (ALT), a contribuição genética foi reduzida, representando apenas 18% e 3% da variância fenotípica total, respectivamente, evidenciando a forte influência de fatores ambientais sobre a expressão dessas características. Para essas variáveis, a variância residual temporária constituiu o principal componente da variância fenotípica, respondendo por aproximadamente 66% e 94% da variância total, respectivamente. Essa elevada contribuição da variância residual temporária é intrínseca a características poligênicas influenciadas pelo vigor vegetativo e pelas diferenças climáticas entre os cortes. Como ressaltado por Resende (2016), características de alta complexidade tendem a apresentar essa predominância residual, o que justifica a aplicação de modelos mistos (REML/BLUP) para extrair o valor genético real (V_a) isolado das flutuações ambientais.

As estimativas de herdabilidade individual no sentido restrito (h^2_a) corroboram a decomposição percentual das variâncias. Seguindo a classificação de Resende *et al.* (2002), foram consideradas moderadas a altas para PMS, DC e NP, o que indica potencial de resposta à seleção para esses caracteres. A elevada precisão das estimativas genéticas é reflexo do delineamento experimental adotado, especialmente o uso de quatro repetições. De acordo com os princípios biométricos, o aumento no número de blocos é mais eficaz para elevar a herdabilidade ao nível de médias de famílias do que o aumento do número de plantas por parcela, pois reduz de forma mais acentuada a contribuição da variância residual no denominador do estimador, resultando em maior acurácia seletiva. Esse delineamento amplia o poder de discriminação entre genótipos e contribui para a redução da variância residual, favorecendo estimativas mais estáveis de herdabilidade e repetibilidade, mesmo em condições de campo e em espécie perene como o capim-elefante.

Por outro lado, os baixos valores de herdabilidade observados para %MS e ALT refletem a predominância dos efeitos ambientais, o que limita a eficiência da seleção direta. Todavia, considerando a forma de propagação da cultura do capim-elefante, predominantemente vegetativa, é possível explorar a totalidade da variância genética disponível, incluindo componentes aditivos, dominantes e epistáticos, o que pode ser vantajoso em estratégias de seleção clonal, mesmo para características com baixa herdabilidade no sentido restrito (CRUZ *et al.*, 2014).

De acordo com a classificação proposta por Resende (2009), valores de repetibilidade iguais ou superiores a 0,60 são considerados altos, valores entre 0,30 e 0,60 médios e valores inferiores a 0,30 baixos. Assim, os coeficientes de repetibilidade estimados para NP, PMS e DC podem ser classificados como altos, evidenciando maior estabilidade dessas características frente às variações temporais de avaliação. Para ALT, a repetibilidade individual foi baixa, enquanto para %MS média. Quando a repetibilidade é baixa, um maior número de medições é necessário para alcançar níveis satisfatórios de determinação fenotípica, uma vez que grande parte da variação observada decorre de efeitos ambientais temporários. Os resultados obtidos demonstram alto controle genético e alta estabilidade média em termos de similaridade dos valores das variáveis nos dois ciclos avaliados (Viana e Resende, 2014).

A variância ambiental entre parcelas (V_{parc}) apresentou contribuição reduzida para a variância fenotípica total, resultando em baixos coeficientes de determinação de parcela (c^2_{parc}), o que evidencia adequada homogeneidade da área experimental e rigor na condução do ensaio. A baixa magnitude desse componente é fundamental para que as estimativas de herdabilidade no sentido restrito reflitam, com maior precisão, a fração do fenótipo efetivamente atribuída aos efeitos genéticos aditivos e passível de resposta à seleção, conforme discutido por Neto *et al.* (2015). Nesse contexto, as maiores contribuições genéticas observadas para PMS, DC e NP, em comparação à %MS e à ALT, indicam que essas características apresentam maior controle genético e, conseqüentemente, maior potencial de ganho seletivo. Assim, o melhoramento do capim-elefante deve concentrar esforços em caracteres produtivos e em componentes da arquitetura do colmo, como diâmetro de colmo e número de perfilhos, que apresentam maior controle genético e melhor resposta à seleção.

A seleção de famílias com base no valor genotípico predito possibilita a identificação de um maior número de indivíduos promissores para os caracteres de interesse. A identificação de progênies superiores, cujos valores genotípicos superam as médias gerais da população, é um passo fundamental para a seleção de genótipos de superiores (Resende, 2005). Dessa forma, para cada característica avaliada, foi apresentado o ordenamento das famílias visando ordenar a acurácia seletiva e a resposta à seleção. Conforme destacado por Vencovsky e Barriga (1992), essa abordagem permite isolar a fração hereditária do fenótipo, garantindo que o progresso genético observado seja efetivamente transmitido para as próximas gerações do programa de melhoramento.

A Tabela 5 apresenta o ordenamento das 24 famílias de irmãos completos de capim-elefante com base nos ganhos genéticos preditos e nas novas médias para as 5 características avaliadas. A produção de matéria seca apresentou ganhos de até 22,8%, elevando a média geral de 13,82 para 16,97 t ha⁻¹ ano⁻¹, indicando elevado potencial de resposta à seleção. A PMS é um critério primário de seleção, esta variável representa a integração de todos os componentes de crescimento da planta.

Segundo Morais *et al.* (2009), a produção de biomassa seca é um grande indicador do potencial energético de genótipos de capim-elefante, uma vez que o rendimento de energia por hectare é diretamente dependente da massa acumulada, e não apenas do volume verde. Esse resultado confirma as observações de Silva *et al.* (2014) sobre a eficácia da seleção de famílias de irmãos completos para caracteres de alta herdabilidade, sendo um caminho seguro para elevar o potencial produtivo da cultura.

A porcentagem de matéria seca apresentou menores ganhos, corroborando com a menor variabilidade genética aditiva disponível. A relevância da %MS como critério de seleção reside no fato de este parâmetro ser determinante para a qualidade da matéria-prima industrial. Segundo Vidal *et al.* (2022), o teor de matéria seca está diretamente ligado à eficiência do processo de combustão; teores mais elevados reduzem a umidade da biomassa "em pé", o que aumenta o poder calorífico e otimiza o balanço energético final.

Para altura de plantas, os ganhos foram moderados, com aumento máximo em torno de 7,84%, enquanto o diâmetro de colmo apresentou incrementos intermediários de no máximo 18,19%. Segundo Rocha *et al.* (2018), a altura da

planta é uma das variáveis que mais contribuem para o rendimento de biomassa, apresentando correlação genética positiva e de alta magnitude com a produção de matéria seca, o que justifica sua utilização como critério de seleção indireta para fins energéticos. Com relação ao DC, Segundo Stida *et al.* (2018), é um parâmetro morfoagronômico fundamental, pois genótipos que apresentam colmos mais calibrosos possuem maior capacidade de sustentação, o que é essencial para suportar o peso da parte aérea em materiais de alto rendimento. Os trabalhos de Souza *et al.* (2017) ressaltam que o diâmetro possui alta herdabilidade e repetibilidade, o que confere maior segurança ao processo de seleção de indivíduos superiores.

Tabela 5. Ordenamento, ganho predito e a nova média para as características produção de matéria seca (PMS), porcentagem de matéria seca (%MS), altura (ALT), diâmetro de colmo (DC) e número de perfilhos (NP) das 24 famílias de irmãos completos de capim-elefante, Campos dos Goytacazes, RJ, 2026.

PMS (t.ha-1 ano-1)				% MS			ALT (m)			DC (cm)			NP (Perfilho)		
Ordem	Gen	Ganho (%)	Nova Media	Gen	Ganho (%)	Nova Media	Gen	Ganho (%)	Nova Media	Gen	Ganho (%)	Nova Media	Gen	Ganho (%)	Nova Media
1	14	22,80	16,97	18	5,99	42,97	11	7,84	3,51	9	18,19	1,54	21	35,14	28,56
2	15	18,61	16,39	14	4,57	42,39	16	5,19	3,42	14	16,72	1,53	3	32,30	27,96
3	11	16,90	16,16	10	4,08	42,19	20	3,89	3,38	2	15,20	1,51	11	28,44	27,14
4	13	15,57	15,97	17	3,83	42,09	14	3,08	3,36	12	14,33	1,49	24	25,49	26,52
5	4	14,22	15,79	1	3,66	42,02	9	2,59	3,34	17	13,54	1,48	20	23,36	26,07
6	6	13,13	15,63	8	3,42	41,93	15	2,24	3,33	22	12,78	1,47	19	21,05	25,58
7	1	12,23	15,51	7	3,22	41,85	10	1,98	3,32	16	12,23	1,47	13	19,40	25,23
8	22	11,53	15,41	3	3,06	41,78	8	1,76	3,31	5	11,50	1,46	6	17,70	24,87
9	20	10,89	15,33	23	2,89	41,71	13	1,57	3,31	4	10,94	1,45	8	16,31	24,58
10	2	10,26	15,24	4	2,70	41,64	23	1,42	3,30	11	10,19	1,44	1	15,18	24,34
11	17	9,61	15,15	11	2,54	41,57	12	1,28	3,30	10	9,46	1,43	9	13,70	24,03
12	8	8,90	15,05	13	2,32	41,48	21	1,16	3,29	13	8,76	1,42	10	12,25	23,72
13	9	8,13	14,94	2	2,13	41,40	17	1,04	3,29	20	8,11	1,41	22	11,02	23,46
14	18	7,46	14,85	20	1,97	41,34	22	0,93	3,29	6	7,54	1,41	14	9,96	23,24
15	10	6,87	14,77	22	1,78	41,26	1	0,84	3,28	23	6,89	1,40	18	8,97	23,03
16	23	6,21	14,68	5	1,61	41,19	5	0,74	3,28	1	6,23	1,39	2	8,07	22,84
17	21	5,59	14,59	19	1,45	41,13	2	0,65	3,28	8	5,60	1,38	23	7,07	22,63
18	16	4,94	14,50	6	1,30	41,07	4	0,57	3,27	21	5,00	1,37	7	6,17	22,44
19	3	4,19	14,40	21	1,09	40,98	18	0,48	3,27	24	4,23	1,36	4	5,21	22,23
20	24	3,50	14,30	15	0,91	40,91	19	0,39	3,27	18	3,47	1,35	15	4,34	22,05
21	5	2,65	14,19	16	0,67	40,81	6	0,30	3,26	3	2,59	1,34	17	3,49	21,87
22	12	1,77	14,06	24	0,39	40,70	24	0,22	3,26	19	1,68	1,33	5	2,50	21,66
23	19	0,95	13,95	12	0,15	40,60	3	0,11	3,26	7	0,86	1,32	16	1,51	21,45
24	7	0,02	13,82	9	0,00	40,54	7	0,00	3,26	15	0,03	1,31	12	0,00	21,13

O número de perfilhos apresentou os maiores ganhos genéticos, superiores a 30%, elevando a média de 21,13 para até 28,56 perfilhos por planta. A característica número de perfilhos, embora se trate de uma característica fortemente influenciada pelo ambiente, o elevado número de plantas avaliadas, aliado ao delineamento experimental com quatro blocos, contribuiu para maior estabilidade das estimativas (Resende 2016). Além disso, o incremento no perfilhamento mostrou-se coerente com o aumento observado na produção de matéria seca, reforçando a consistência biológica dos resultados e indicando que a seleção de genótipos superiores tende a favorecer, principalmente, caracteres estruturais e produtivos em capim-elefante. Resultados semelhantes foram relatados por Vidal *et al.* (2024), ao avaliarem famílias de meios-irmãos de capim-elefante considerando cinco características morfoagronômicas, nos quais a produção de matéria seca apresentou correlação positiva com todas as variáveis analisadas, destacando-se a maior associação com o número de perfilhos (Vidal *et al.*, 2024). Segundo Santana *et al.* (2023), o número de perfilhos exibe uma das maiores variações genéticas entre as características morfoagronômicas, sendo fundamental para a ocupação do solo e para a capacidade de rebrota após sucessivos cortes.

A análise conjunta dos ganhos genéticos preditos evidenciou que as famílias 11 e 14 se posicionaram de forma consistente no quartil superior (25% melhores) para três e quatro das características avaliadas, respectivamente, demonstrando desempenho consistente e superioridade para a maioria das características avaliadas. Este resultado indica que tais famílias reúnem combinações favoráveis de atributos produtivos e estruturais, o que é particularmente relevante em programas de melhoramento de espécies forrageiras, nos quais a seleção baseada em múltiplas características tende a ser mais eficiente e estável ao longo dos ciclos de avaliação (Ambrósio *et al.* 2024).

O G7 foi o genitor masculino das famílias 11 e 14, a performance dessas progênes sugere que esse genitor possui elevada capacidade combinatória, pode ter contribuído com alelos favoráveis nos seus descendentes, isso pode ser investigado em trabalhos futuros sobre capacidade combinatória (Vidal *et al.* 2024). Adicionalmente, a família 14, que tem como genitor feminino a cultivar BRS Capiacu, reafirma a superioridade deste genótipo amplamente utilizado por produtores. O BRS Capiacu é reconhecido por sua alta produtividade e excelente

qualidade de biomassa (Pereira *et al.*, 2016), sua contribuição para a geração de indivíduos superiores neste estudo demonstra sua eficácia como genitor em cruzamentos dirigidos, visando a fixação de atributos morfoagronômicos de interesse bioenergético.

A ampla variabilidade observada entre indivíduos dentro das famílias, evidenciada pela dispersão dos valores genéticos preditos (BLUPs) e pela magnitude da variância genética aditiva em relação à variância entre parcelas, indica elevada segregação genética dentro das famílias, indicando que a seleção dentro das famílias constitui estratégia fundamental para maximizar os ganhos genéticos, especialmente em populações de espécies alógamas como o capim-elefante. Resultados semelhantes foram reportados por Stida *et al.* (2024), ao avaliarem famílias de meios irmãos de capim-elefante para fins forrageiros, por meio de modelos mistos, nos quais a maior contribuição para o ganho genético ocorreu pela seleção das melhores plantas dentro das famílias, evidenciando elevada variabilidade e alto potencial para identificação de genótipos superiores.

Diante disso, a seleção de indivíduos dentro de famílias de irmãos completos representa uma etapa estratégica para o progresso genético, uma vez que possibilita a exploração simultânea da variabilidade entre e dentro de progênies (Cruz *et al.*, 2012). Essa abordagem combinada aumenta a probabilidade de identificação de genótipos superiores, que reúnam alelos favoráveis para os principais caracteres agronômicos. A estratégia de seleção individual dentro das famílias mostra-se como o caminho mais curto para o ganho genético (Quintal *et al.*, 2017).

O ranqueamento dos 35 indivíduos superiores foi fundamentado nas médias genotípicas preditas (BLUPs individuais), parâmetro de alta relevância para o capim-elefante (Tabela 6). Por ser uma espécie de propagação vegetativa, a superioridade genotípica que integra efeitos aditivos e não aditivos pode ser integralmente fixada e multiplicada via clones, sem os riscos de segregação comum na reprodução sexuada (Silva *et al.*, 2020).

A análise dos ganhos genéticos preditos evidenciou ampla variabilidade entre os indivíduos selecionados, com incrementos expressivos principalmente para produção de matéria seca e número de perfilhos. Considerando a intensidade de seleção adotada, correspondente a aproximadamente 6% da população avaliada, observou-se que parte dos genótipos superiores apresentou desempenho

consistente em múltiplas características, o que reforça a robustez do critério de seleção empregado. Segundo Santana *et al.*, (2023) a estratégia de priorizar indivíduos com desempenho superior em múltiplas variáveis permite orientar o programa de melhoramento de maneira preditiva, garantindo que o progresso acumulado seja sólido para o desenvolvimento de novos clones competitivos frente às cultivares comercialmente consolidadas.

Sob este critério, foram selecionados cinco indivíduos superiores que reúnem as melhores combinações de atributos morfoagronômicas, incluindo produtividade. O indivíduo B1F11P4 destacou-se entre os demais, situando-se no topo do ranking para quatro das cinco variáveis avaliadas (PMS, ALT, DC e NP). Da mesma forma, o indivíduo B3F11P2 demonstrou elevada superioridade fenotípica, integrando o grupo de elite para PMS, %MS, ALT e NP. Complementando o grupo de seleção, os indivíduos B3F20P4, B2F9P3 e B3F11P1 apresentaram superioridade simultânea para três das cinco características avaliadas, consolidando-se como genótipos superiores.

Tabela 6. Novas médias previstas e ganho genético estimados via REML/BLUP dos 35 indivíduos provenientes de 24 famílias de irmãos completos de capim-elefante para as características produção de matéria seca (PMS), porcentagem de matéria seca (%MS), altura de plantas (ALT) e diâmetro de colmo (DC) e número de perfilhos (NP) dos 30 melhores indivíduos, Campos dos Goytacazes, RJ, 2026.

Ordem	PMS (t.ha-1 ano-1)			% MS			ALT (m)			DC (cm)			NP (Perfilho)		
	Ind.	Ganho (%)	Nova Media	Ind.	Ganho (%)	Nova Media	Ind.	Ganho (%)	Nova Media	Ind.	Ganho (%)	Nova Media	Ind.	Ganho (%)	Nova Media
1	B4F14P3	29,71	17,93	B3F17P2	13,71	46,10	B1F11P3	17,66	3,82	B4F9P2	41,70	1,86	B4F21P1	63,19	34,48
2	B1F11P4	29,06	17,84	B3F18P1	11,64	45,26	B2F11P3	11,07	3,61	B3F2P1	36,89	1,79	B2F20P2	60,35	33,88
3	B4F14P2	28,24	17,72	B2F1P2	10,18	44,67	B3F11P1	8,85	3,54	B4F11P1	34,79	1,77	B2F3P2	58,54	33,50
4	B3F15P2	27,78	17,66	B2F18P3	8,97	44,18	B4F11P1	7,70	3,50	B2F16P1	33,40	1,75	B3F3P2	54,38	32,62
5	B4F13P3	27,28	17,59	B2F3P1	8,23	43,88	B3F11P2	7,00	3,48	B1F13P3	32,35	1,73	B4F1P3	51,76	32,07
6	B4F14P4	26,68	17,51	B2F17P1	7,72	43,67	B4F11P3	6,52	3,46	B2F5P3	31,61	1,72	B3F11P2	49,81	31,65
7	B2F11P1	26,18	17,44	B3F18P3	7,32	43,51	B2F11P1	6,17	3,45	B3F14P2	30,93	1,72	B1F24P3	48,23	31,32
8	B3F14P3	25,75	17,38	B3F18P4	7,01	43,38	B2F11P2	5,88	3,44	B4F17P3	30,34	1,71	B4F13P4	46,48	30,95
9	B3F20P4	25,40	17,33	B1F18P1	6,75	43,28	B4F11P2	5,64	3,43	B1F9P1	29,65	1,70	B2F21P1	45,04	30,65
10	B3F15P1	25,12	17,29	B4F10P2	6,54	43,19	B1F11P1	5,43	3,43	B2F10P2	29,09	1,69	B4F20P1	43,85	30,40
11	B3F13P1	24,82	17,25	B1F23P1	6,36	43,12	B1F11P4	5,24	3,42	B2F14P2	28,60	1,68	B4F3P2	42,83	30,18
12	B3F17P2	24,52	17,21	B4F7P2	6,20	43,05	B1F11P2	5,07	3,41	B1F5P2	27,91	1,68	B4F21P2	41,95	29,99
13	B1F2P2	24,22	17,17	B4F14P3	6,04	42,99	B2F16P1	4,86	3,41	B3F22P3	27,28	1,67	B4F11P2	41,20	29,84
14	B3F14P1	23,96	17,13	B3F18P2	5,90	42,93	B4F16P3	4,68	3,40	B3F12P1	26,70	1,66	B3F15P2	40,55	29,70
15	B2F14P2	23,71	17,10	B3F2P3	5,77	42,88	B2F16P2	4,49	3,40	B3F16P1	26,19	1,65	B3F19P3	39,72	29,52
16	B2F14P1	23,40	17,05	B4F18P2	5,66	42,83	B2F16P3	4,32	3,39	B1F4P3	25,73	1,65	B2F9P3	38,97	29,36
17	B4F8P2	23,09	17,01	B3F3P1	5,53	42,78	B3F16P1	4,16	3,39	B4F12P1	25,32	1,64	B1F21P1	38,28	29,22
18	B2F9P3	22,78	16,97	B4F8P2	5,41	42,73	B4F16P4	4,02	3,38	B2F9P3	24,93	1,64	B3F20P4	37,65	29,08
19	B3F11P1	22,49	16,93	B2F7P1	5,30	42,69	B1F16P2	3,90	3,38	B4F17P1	24,57	1,63	B3F6P4	36,99	28,95

Tabela 6 – Cont.

Ordem	PMS (t.ha-1 ano-1)			% MS			ALT (m)			DC (cm)			NP (Perfilho)			
	Ind.	Ganho (%)	Nova Media	Ind.	Ganho (%)	Nova Media	Ind.	Ganho (%)	Nova Media	Ind.	Ganho (%)	Nova Media	Ind.	Ganho (%)	Nova Media	
20	B4F10P1	22,20	1689	B3F8P1	5,19	42,64	B2F16P5	3,79	3,37	B2F12P1	24,24	1,63	B3F21P2	36,40	28,82	
21	B4F1P3	21,94	16,85	B2F14P3	5,08	42,60	B2F16P4	3,69	3,37	B1F1P1	23,93	1,62	B1F24P4	35,86	28,71	
22	B4F15P2	21,67	16,82	B2F8P1	4,98	42,56	B4F16P2	3,59	3,37	B2F2P1	23,60	1,62	B1F1P2	35,35	28,60	
23	B1F14P1	21,43	16,78	B1F1P2	4,89	42,52	B1F16P1	3,50	3,36	B4F16P3	23,29	1,62	B2F24P5	34,86	28,50	
24	B2F4P1	21,21	16,75	B4F10P1	4,81	42,49	B3F16P2	3,42	3,36	B1F24P1	23,00	1,61	B2F3P1	34,41	28,40	
25	B2F15P1	20,99	16,72	B2F14P1	4,73	42,46	B4F16P1	3,34	3,36	B3F22P2	22,73	1,61	B1F11P1	33,98	28,31	
26	B1F22P1	20,80	16,69	B1F7P2	4,66	42,43	B1F16P3	3,26	3,36	B2F11P3	22,48	1,60	B2F21P4	33,56	28,22	
27	B1F22P3	20,60	16,67	B2F10P1	4,59	42,40	B2F20P1	3,19	3,35	B3F14P1	22,22	1,60	B1F11P4	33,14	28,13	
28	B1F17P2	20,41	16,64	B4F13P2	4,53	42,37	B4F15P2	3,12	3,35	B3F14P4	21,98	1,60	B1F19P1	32,73	28,05	
29	B3F6P2	20,24	16,62	B3F14P4	4,46	42,35	B4F9P4	3,06	3,35	B4F4P2	21,76	1,60	B3F11P1	32,33	27,96	
30	B1F13P1	20,07	16,59	B3F1P3	4,40	42,33	B1F20P2	2,99	3,35	B1F12P3	21,52	1,59	B2F11P2	31,95	27,88	
31	B2F17P2	19,89	16,57	B4F1P1	4,35	42,30	B2F20P4	2,93	3,35	B1F11P4	21,27	1,59	B1F21P3	31,57	27,80	
32	B2F2P2	19,72	16,55	B3F22P1	4,30	42,28	B3F16P3	2,87	3,34	B3F9P2	21,04	1,59	B3F20P5	31,21	27,73	
33	B3F9P2	19,56	16,52	B2F10P2	4,25	42,26	B3F20P1	2,82	3,34	B2F14P3	20,80	1,58	B4F10P1	30,82	27,64	
34	B1F1P1	19,40	16,50	B3F20P1	4,19	42,24	B3F20P4	2,76	3,34	B2F21P2	20,56	1,58	B3F1P5	30,44	27,56	
35	B3F11P2	19,25	16,48	B3F11P2	4,15	42,22	B1F20P1	2,71	3,34	B1F2P1	20,34	1,58	B3F24P1	30,05	27,48	
Media Geral			48,59				38,83				4,01				5,80	33,20

*Ind: Bloco/Família/Planta.

A presença predominante de indivíduos da Família 11 (60% dos selecionados) e a inclusão de materiais das famílias 9, 14, 15 e 20 no ranking geral, reforça que a estratégia de seleção individual foi eficaz em explorar a variabilidade genética existente, permitindo a identificação de clones com alto potencial para produção de bioenergia.

A adoção da seleção simultânea mostrou-se estratégica neste estudo, uma vez que permitiu a identificação de indivíduos superiores considerando, de forma integrada, múltiplas características agrônômicas correlacionadas com a produção de matéria seca. Ao invés de se basear em um único caráter, essa abordagem reduz o risco de erros de seleção associados à expressão isolada de variáveis fortemente influenciadas pelo ambiente e maximiza o aproveitamento da informação disponível, sobretudo quando se trata de caracteres estruturalmente relacionados à PMS (Daher *et al.*, 2018).

A identificação de indivíduos com elevada superioridade genotípica consolida a estratégia de seleção dentro de famílias como a via mais eficiente para o progresso genético imediato no capim-elefante. A magnitude dos ganhos preditos, associada à estabilidade fenotípica multivariada observada nos genótipos selecionados, indica que a variabilidade genética foi explorada com alta acurácia seletiva. Considerando a natureza de propagação vegetativa da espécie, os indivíduos selecionados, com destaque para os indivíduos da família 11, reúnem os requisitos técnicos necessários para a fixação imediata de alelos favoráveis via clonagem. Este cenário não apenas valida a eficácia dos modelos mistos (REML/BLUP) na prospecção de materiais superiores, mas também assegura a disponibilidade de genótipos com potencial para o lançamento de novas cultivares, capazes de aliar alta produtividade com à eficiência energética exigida pelos sistemas de produção.

6. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos por meio da metodologia de modelos mistos (REML/BLUP), conclui-se que existe variabilidade genética significativa entre as famílias de irmãos completos para as principais características produtivas (Produção de Matéria Seca, Diâmetro do Colmo e Número de Perfilhos), o que permite o progresso genético via seleção.

As estimativas de herdabilidade e repetibilidade para Produção de Matéria Seca, Diâmetro do Colmo e Número de Perfilhos foram de magnitude moderada a alta, indicando que a seleção baseada nestes caracteres é eficiente.

As famílias 11 e 14 são as mais recomendadas para a continuidade do programa de melhoramento, por apresentarem desempenho superior e consistente para a maioria das variáveis avaliadas.

A seleção individual dentro das famílias permitiu identificar cinco genótipos superiores (B1F11P4, B3F11P2, B3F20P4, B2F9P3 e B3F11P1), que reúnem alta produção de matéria seca aliada a outras características morfoagronômicas, sendo indicados para produção de bioenergia, bem como ser utilizados como genitores nos programas de melhoramento genético do capim-elefante.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMBRÓSIO, M.; *et al.* (2024) Genetic divergence and truncation and simultaneous selection in inbred families (S1) of elephant grass for bioenergetic purposes via mixed models. *Scientific Reports*, 14(1):17850.
- BARBOSA, S.; DAVIDE, L. C.; PEREIRA, A. V.; ABREU, J. C. (2007) Duplicação cromossômica de híbridos triploides de capim-elefante e milho. *Bragantia*, 66(3):365–372.
- BORÉM, A.; MIRANDA, G. V.; FRITSCHÉ-NETO, R. (2017a) *Melhoramento de plantas*. Viçosa: UFV, 543p.
- BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. (2018) *Balanço energético nacional 2018: ano base 2017*. Rio de Janeiro: EPE.
- BRESEGHELLO, F.; COELHO, A. S. G. (2013) Traditional and modern plant breeding methods with examples in rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(35):8277–8286.
- CAMPOS, B. B.; *et al.* (2015) Produção de etanol em biomassa de capim-elefante por *Kluyveromyces marxianus* CCT 7735.
- CAPISTRANO, M. C.; *et al.* (2021) Use of the REML/BLUP methodology for the selection of sweet orange genotypes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 56:e02032.

- CASSARO, S. (2018) *Seleção de híbridos de capim-elefante para fins energéticos utilizando modelos mistos*. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ.
- CASSARO, Sabrina et al. SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE CAPIM-ELEFANTE PARA FINS ENERGÉTICOS VIA MODELOS MISTOS. In: Congresso Fluminense de Pós-Graduação-CONPG. 2017.
- CASSARO, Sabrina et al. SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE CAPIM-ELEFANTE PARA FINS ENERGÉTICOS VIA MODELOS MISTOS. In: Congresso Fluminense de Pós-Graduação-CONPG. 2017.
- CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S.; REGAZZI, A. J. (2014) *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. v. 2, 3. ed. Viçosa: UFV, 668p.
- CRUZ, C. D.; FERREIRA, F. M.; PESSONI, L. A. (2011) *Biometria aplicada ao estudo da diversidade genética*. Visconde do Rio Branco: Suprema, 620p.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. (2012) *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento*. Viçosa: UFV.
- DA SILVA, Carolina Assunção Lucas *et al.* Análise da composição química de cinco variedades de capim-elefante por métodos Diferentes. 2017.
- DA SILVA, G. T. F.; WEISS, M. A.; FREITAS, A. (2011) Energias renováveis e potenciais efeitos para o desenvolvimento regional no Brasil. *Revista Cadernos de Economia*, 15(28):32–49.
- DA SILVA, V. B.; *et al.* (2020) Assessment of energy production in full-sibling families of elephant grass by mixed models. *Renewable Energy*, 146:744–749.
- DA SILVEIRA ALVES, F. G.; *et al.* (2018) Capim-elefante: um recurso bioenergético. *Nucleus Animalium*, 10(2):117–130.
- DAHER, R. F.; *et al.* (2018) Canonical correlations among morpho-agronomic and chemical traits in hybrids between elephant grass and millet. *Australian Journal of Crop Science*, 12(2):210–216.

- DAHER, R. F.; SOUZA, L. B.; GRAVINA, G. A.; MACHADO, J. C.; RAMOS, H. C.; SILVA, V. Q.; GOTTARDO, R. D. (2014) Use of elephant grass for energy production in Campos dos Goytacazes-RJ, Brazil. *Genetics and Molecular Research*, 13(4):10898.
- DE MATOS TEIXEIRA, A.; *et al.* (2022) *Pennisetum purpureum*. In: JAYME, D. G.; GONÇALVES, L. C.; RAMIREZ, M. A.; MENEZES, R. A. (Eds.). *Gramíneas forrageiras tropicais*. Belo Horizonte, MG: FEPE.
- DE RESENDE, M. D. V.; *et al.* (2002) *Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes*. Colombo: Embrapa Florestas.
- DE RESENDE, M. D. V.; *et al.* (2014) *Métodos e estratégias de melhoramento de espécies perenes: estado da arte e perspectivas*. Viçosa: UFV.
- DE SOUZA, Y. P.; *et al.* (2017) Repeatability and minimum number of evaluations for morpho-agronomic characters of elephant grass for energy purposes. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 12(3):391–397.
- DOS SANTOS CARVALHO, Ariel Álef; RAMOS, Daiana Santana. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E FÍSICO-QUÍMICA DO FRUTO DE *Bactris gasipaes* (PUPUNHEIRA) E SUAS APLICAÇÕES TECNOLÓGICAS. *Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro*, v. 7, n. 1, 2024.
- ENERGY INSTITUTE. Statistical Review of World Energy 2025. 74th Edition. London: Energy Institute, 2025. Disponível em: <https://www.energyinst.org>. Acesso em: 04 mai. 2026.
- FARIA, V. P. (1993) Evolução no uso do capim-elefante: uma visão histórica. *Anais*.
- FARIAS, J. E. C. (2022) *Seleção de famílias de irmãos completos de capim-elefante para fins bioenergéticos via análise multivariada e modelos mistos*. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, 85p.
- FARIAS, J.E.C. 2022. Seleção de famílias de irmãos completos de capim-elefante para fins bioenergéticos via análise multivariada e modelos mistos. Dissertação

(Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 85p.

- FLORES, R. A.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; COLLIER, L. S.; BODDEY, R. M. (2012) Yield and quality of elephant grass biomass produced in the Cerrados region for bioenergy. *Engenharia Agrícola*, 32(5):831–839.
- FREITAS, R. S. (2018) *Influência da idade de corte em características morfoagronômicas em genótipos de capim-elefante*. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro, 70p.
- GOLDEMBERG, J. (2009) Biomass and energy. *Química Nova*, 32(3):582–587.
- GONÇALVES, G. M. C.; *et al.* (2020) Adaptability and yield stability of soybean genotypes by REML/BLUP and GGE Biplot. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 20(2):e282920217.
- GURGEL, F. L.; *et al.* (2012) Correlação genética entre caracteres morfoagronômicos de híbridos interespecíficos de palma de óleo. [Tipo de publicação não informado].
- IEA. (2022) *World energy outlook 2022*. Paris: International Energy Agency.
- ITALIANO, E. C. (2004) *Métodos de plantio de capim-elefante*. [Local e editora não informados].
- JOHANNES, L. P.; MINH, T. T. N.; XUAN, T. D. (2024) Elephant grass (*Pennisetum purpureum*): a bioenergy resource overview. *Biomass*, 4(3):625–646.
- JUPPA, A. M.; *et al.* (2024) Pellets produzidos a partir da biomassa de capim-elefante BRS Kurumi, lodo flotado e bagaço de mandioca. *Latin American Journal of Energy Research*, 11(1):209–217.
- KEMPTHORNE, O.; CURNOW, R. N. (1961) The partial diallel cross. *Biometrics*, 17:229–250.
- KÖPPEN, W. (1948) *Climatologia*. Buenos Aires: Gráfica Panamericana.

- KUMAR, J.; VYAS, S. (2025) Comprehensive review of biomass utilization and gasification for sustainable energy production. *Environment, Development & Sustainability*, 27(3).
- LEE, M. K.; TSAI, W. T.; TSAI, Y. L.; LIN, S. H. (2010) Pyrolysis of napier grass in an induction-heating reactor. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 88:110–116.
- LEITE, C. L.; *et al.* (2023) Estimativas de herdabilidades em famílias endogâmicas (S1) de capim-elefante (*Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone) via modelos mistos REML/BLUP. In: *Congresso Fluminense de Pós-Graduação (CONPG)*.
- LIMA, E. S.; SILVA, J. F. C.; VÁSQUEZ, H. M.; ARAÚJO, S. A. C.; LISTA, F. N.; CARNEIRO, R. F. V.; ROCHA, T. C.; RUIVO, S. C.; DEMINICIS, B. B.; COSTA, D. P. B. (2008) Composição e digestibilidade *in vitro* de genótipos de capim-elefante, aos 56 dias de rebrota. *PUBVET*, 2(13):1–15.
- LIMA, R. S.; DAHER, R. F.; GONÇALVES, L. S.; ROSSI, D. A.; AMARAL JÚNIOR, A. T.; PEREIRA, M. G.; LÉDO, F. J. S. (2011) RAPD and ISSR markers in the evaluation of genetic divergence among accessions of elephant grass. *Genetics and Molecular Research*, 10(3):1304–1313.
- LOPES, B. A. (2004) *O capim-elefante*. Seminário apresentado à disciplina ZOO, v. 645.
- MAGALHÃES, M. A.; *et al.* (2016) Caracterização de pellets produzidos a partir de capim-elefante para uso energético. *Ciência da Madeira*, 7(3):155–162.
- MARAFON, A. C.; *et al.* (2019) Frequência de corte em genótipos de capim-elefante na produção de biomassa para fins energéticos. [*Tipo de publicação não informado*].
- MARAFON, A. C.; SANTIAGO, A. D.; AMARAL, A. F. C.; BIERHALS, A. N.; PAIVA, H. L.; GUIMARÃES, V. S. (2016) *Poder calorífico do capim-elefante para a geração de energia térmica*. Circular Técnica. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 30p.

- MENEZES, B. R. S.; DAHER, R. F.; GRAVINA, G. A.; GOTTARDO, R. D.; SCHNEIDER, L. S. A.; ROCHA, A. S. (2016a) Comportamento *per se* de híbridos de capim-elefante para fins energéticos. *Comunicata Scientiae*, 7(1):73.
- MENEZES, Bruna R. da S. et al. Seleção de genótipos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*) utilizando a metodologia REML/BLUP. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 39, n. 3, p. 360-365, 2016. AMBRÓSIO, M.; et al. (2024) Genetic divergence and truncation and simultaneous selection in inbred families (S1) of elephant grass for bioenergetic purposes via mixed models. *Scientific Reports*, 14(1):17850.
- MIKHAYLOV, A.; et al. (2020) Global climate change and greenhouse effect. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, 7(4):2897.
- MONTEIRO, I. J. G.; ABREU, J. G.; CABRAL, L. D. S.; RIBEIRO, M. D.; REIS, R. H. P. (2011) Silagem de capim-elefante aditivada com produtos alternativos. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 33(4):347–352.
- MONTI, A.; FAZIO, S.; LYCHNARAS, V.; SOLDATOS, P.; VENTURI, G. A. (2007) Full economic analysis of switchgrass under different scenarios in Italy estimated by the BEE model. *Biomass and Bioenergy*, 31:177–185.
- MORAIS, R. F.; SOUZA, B. J. D.; LEITE, J. M.; SOARES, L. H. D. B.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. (2009) Elephant grass genotypes for bioenergy production by direct biomass combustion. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44(2):133–140.
- NETO, J. V. E.; et al. (2015) Parâmetros genéticos de caracteres morfológicos e produtivos em híbridos intra e interespecíficos de capim-elefante. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, 5(1).
- OLIVEIRA, É. S.; DAHER, R. F.; PONCIANO, N. J.; GRAVINA, G. A.; SANT'ANA, J. A.; GOTTARDO, R. D.; SILVA, V. B.; ROCHA, A. S. (2015) Variation of morpho-agronomic and biomass quality traits in elephant grass for energy purposes according to nitrogen levels. *American Journal of Plant Sciences*, 6(11):1685.

- OLIVEIRA, M. L. F.; DAHER, R. F.; GRAVINA, G. A.; SILVA, V. B.; VIANA, A. P.; RODRIGUES, E.; SHIMOYA, A.; AMARAL JÚNIOR, A. T.; MENEZES, B. R. S.; ROCHA, A. S. (2014) Pre-breeding of elephant grass for energy purposes and biomass analysis in Campos dos Goytacazes-RJ, Brazil. *African Journal of Agricultural Research*, 9(36):2743–2758.
- PEIXOTO, W. F. S.; DAHER, R. F.; VIDAL, A. K. F.; FREITAS, R. S.; AMBRÓSIO, M.; SANTANA, J. G. S.; SOUZA, A. G.; NASCIMENTO, M. R. (2024) Repetibilidade e seleção entre e dentro de famílias de meios-irmãos de capim-elefante para fins forrageiros em diferentes épocas de corte. *Observatório de la Economía Latinoamericana*, 22(7):e5973.
- PEIXOTO, Wanessa Francesconi Stida et al. Repetibilidade e seleção entre e dentro de famílias de meios irmãos de capim-elefante para fins forrageiros em diferentes épocas de corte. *OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA*, v. 22, n. 7, p. e5973-e5973, 2024.
- PEREIRA, A. V. (1994) Germoplasma e diversidade genética do capim-elefante. In: *Simpósio sobre Capim-Elefante, 2.*, Juiz de Fora. *Anais*. Coronel Pacheco: EMBRAPA-CNPGL, p. 1–11.
- PEREIRA, A. V.; et al. (2016) *BRS Capiaçú: cultivar de capim-elefante de alta produtividade para suplementação volumosa no período da seca*. Embrapa Gado de Leite. Comunicado Técnico, 78.
- PEREIRA, A. V.; LIRA, M. A.; MACHADO, J. C.; GOMIDE, C. A. M.; MARTINS, C. E.; LÉDO, F. J. S.; DAHER, R. F. (2021) Elephantgrass, a tropical grass for cutting and grazing. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 16(3):1–13.
- PEREIRA, A. V.; MACHADO, M. A.; AZEVEDO, A. L. S.; NASCIMENTO, C. S.; CAMPOS, A. L.; LÉDO, F. J. S. (2008) Diversidade genética entre acessos de capim-elefante obtida com marcadores moleculares. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37:1216–1221.
- PEREIRA, A. V.; VALLE, C. B.; FERREIRA, R. P.; MILES, J. W. (2001) Melhoramento de forrageiras tropicais. In: NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C.;

- MELO, I. S.; VALADARES INGLIS, M. C. (Eds.). *Recursos genéticos e melhoramento*. Rondonópolis, p. 549–602.
- PIRES, A. J. V.; CARVALHO, G. G. P.; GARCIA, R.; CARVALHO JÚNIOR, J. N.; RIBEIRO, L. S. O.; CHAGAS, D. M. T. (2009) Capim-elefante ensilado com casca de café, farelo de cacau ou farelo de mandioca. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38(1):34–39.
- PROCHNOW, A.; HEIERMANN, M.; PLOECHL, M.; AMON, T.; HOBBS, P. J. (2009) Bioenergy from permanent grassland – A review: 2. Combustion. *Bioresource Technology*, 100:4945–4954.
- QUESADA, D. M. (2005) *Parâmetros quantitativos e qualitativos da biomassa de diferentes genótipos de capim-elefante para produção de agroenergéticos*. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 65p.
- QUESADA, D. M.; BODDEY, R. M.; REIS, V. M.; URQUIAGA, S. (2004) *Parâmetros qualitativos de genótipos de capim-elefante (Pennisetum purpureum Schum.) estudados para a produção de energia através da biomassa*. Circular Técnica, 8. Seropédica, RJ.
- QUINTAL, S. S. R.; VIANA, A. P.; CAMPOS, B. M.; VIVAS, M.; JÚNIOR, A. T. A. Analysis of structures of covariance and repeatability in guava segregating population. *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 30, n. 4, p. 885–891, 2017. DOI: 10.1590/1983-21252017v30n408rc.
- RAZEGHI, M.; *et al.* (2023) An overview of renewable energy technologies for the simultaneous production of high-performance power and heat. *Future Energy*, 2(2):1–11.
- RENGSIRIKUL, K.; ISHII, Y.; KANGVANSACHOL, K.; SRIPICHITT, P.; PUNSUVON, V.; VAITHANOMSAT, P.; NAKAMANEE, G.; TUDSRI, S. (2013) Biomass yield, chemical composition and potential ethanol yields of eight cultivars of napiergrass (*Pennisetum purpureum* Schumach.) harvested every three months in central Thailand. *Journal of Sustainable Bioenergy Systems*, 3:107–112.

- RESENDE, M. D. V. (2016) Software Selegen-REML/BLUP: a useful tool for plant breeding. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 16(4):330–339.
- RESENDE, M. D. V.; BARBOSA, M. H. P. (2006) Selection via simulated individual BLUP based on family genotypic effects in sugarcane. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41.
- RITCHIE, H.; ROSADO, P.; ROSER, M. (2022) *Energy production and consumption*. Our World in Data.
- ROCHA, A. S.; DAHER, R. F.; GRAVINA, G. A.; PEREIRA, A. V.; RODRIGUES, E. V.; VIANA, A. P.; OLIVEIRA, E. S. (2015) Comparison of stability methods in elephant-grass genotypes for energy purposes. *African Journal of Agricultural Research*, 10:4283–4294.
- ROCHA, A. S.; *et al.* (2018) Correlations and path coefficient analysis for energy biomass production components in elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum.). *Australian Journal of Crop Science*, 12(12):1957–1961.
- RODRIGUES, E. V. *et al.* Selecting elephant grass families and progenies to produce bioenergy through mixed models (REML/BLUP). *Genetics and molecular research*, v. 16, n. 2, p. 1-9, 2017.
- RODRIGUES, E. V.; DAHER, R. F.; SANTOS, A. S.; VIVAS, M.; MACHADO, J. C.; *et al.* (2017) Selecting elephant grass families and progenies to produce bioenergy through mixed models (REML/BLUP). *Genetics and Molecular Research*, 16:1–12.
- ROSSI, D. A.; MENEZES, B. R. S.; DAHER, R. F.; GRAVINA, G. A.; LIMA, R. S. N.; LÉDO, F. J. S.; GOTTARDO, R. D.; CAMPOSTRINI, E.; SOUZA, C. L. M. (2014) Canonical correlations in elephant grass for energy purposes. *African Journal of Biotechnology*, 36:3666–3671.
- SANCHÊS, S. S. C.; *et al.* (2017) Características agronômicas, anatômicas e valor nutritivo do capim-elefante em diferentes idades de corte.

- SANTANA, J. G. S.; *et al.* (2023) Estimation of genetic diversity in full-sib families of elephant grass *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 53:e75967.
- SANTOS, J. C. M.; *et al.* (2019) Crescimento inicial e respostas fisiológicas de genótipos de capim-elefante sob estresse hídrico em comparação à cana-de-açúcar.
- SANTOS, M. M. P.; DAHER, R. F.; PONCIANO, N. J.; GRAVINA, G. A.; PEREIRA, A. V.; SANTOS, C. L. (2014) Respostas do capim-elefante sob doses de adubação nitrogenada de cobertura para fins energéticos. *Revista de Ciências Agrárias*, 37(1):100–108.
- SEYE, O. (2003) *Análise de ciclo de vida aplicada ao processo produtivo de cerâmica estrutural tendo como insumo energético capim-elefante (Pennisetum purpureum Schum.)*. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 147p.
- SILVA, F. H. L.; VIANA, A. P.; SANTOS, E. A.; FREITAS, J. C. O.; RODRIGUES, D. L.; AMARAL JÚNIOR, A. T. (2017b) Prediction of genetic gains by selection indexes and REML/BLUP methodology in a population of sour passion fruit under recurrent selection. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 39:183–190.
- SILVA, V. B.; DAHER, R. F.; SOUZA, Y. P. de; MENEZES, B. R. S.; SANTOS, E. A.; *et al.* (2020) Assessment of energy production in full-sibling families of elephant grass by mixed models. *Renewable Energy*. DOI: 10.1016/j.renene.2019.06.152.
- SILVA, V. Q. R.; *et al.* (2014) Combining ability of elephant grass based on morphological characteristics.
- SILVA, V.B., Daher, R.F., de Souza, Y.P. Menezes, B.R.S., Santos, E.A. et al. 2020. Assessment of energy production in full-sibling families of elephant grass by mixed models. *Renewable Energy* <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.152>
- SOUSA, L. B.; DAHER, R. F.; MENEZES, B. R. S.; RODRIGUES, E. V.; TARDIN, F. D.; GRAVINA, G. A.; PEREIRA, A. V. (2016) Qualidade da biomassa em

- híbridos de capim-elefante para fins energéticos. *Agrária (Recife. On-line)*, 11:85–91.
- SOUZA SOBRINHO, F.; *et al.* (2008) Avaliação do potencial de propagação por sementes de capim-elefante hexaplóide. *Ciência e Agrotecnologia*, 32:974–977.
- SOUZA, F. R. (2017) *Taxa de cruzamento de capim-elefante (Cenchrus purpureus) por meio de marcadores microssatélites*. Dissertação (Mestrado).
- STIDA, W. F.; *et al.* (2018) Estimation of genetic parameters and selection of elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schumach.) for forage production using mixed models. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 78(2):198–204.
- STREZOV, V.; EVANS, T. J.; HAYMAN, C. (2008) Thermal conversion of elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum.) to biogas, bio-oil and charcoal. *Bioresource Technology*, 99:8394–8399.
- VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. (1992) *Genética biométrica no fitomelhoramento*. Ribeirão Preto: Revista Brasileira de Genética, 496p.
- VIANA, A. P.; RESENDE, M. D. V. (2014) *Genética quantitativa no melhoramento de fruteiras*. Rio de Janeiro: Interciência.
- VIDAL, A. K. F. (2018) *Capacidade combinatória em capim-elefante por meio de dialelo circulante para produção de biomassa energética*. 70 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Campos dos Goytacazes, 2018.
- VIDAL, A. K. F. (2022) *Prospecção de genótipos de capim-elefante para fins energéticos com base em análise multivariada e modelos mistos*. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, 79p.
- VIDAL, A. K. F.; DAHER, R. F.; AMBRÓSIO, M.; SANTANA, J. G. S.; FREITAS, R. S.; GRAVINA, G. A.; RODRIGUES, E. V.; STIDA, W. F.; SOUZA, A. G.; LEITE, C. L.; FARIAS, J. E. C.; RANGEL, L. H.; PEREIRA, A. V. (2023) Estimation of

repeatability and genotypic superiority of elephant grass half-sib families for energy purposes using mixed models. *Scientia Agricola*, 80:e20220103.

VIDAL, A. K. F.; DAHER, R. F.; FREITAS, R. S.; AMBRÓSIO, M.; SANTANA, J. G. S.; NASCIMENTO, M. R.; *et al.* (2024) Productive performance of elephant grass clones from full-sib families in an advanced stage of breeding. *Bragantia*, 83:e20230198. DOI: 10.1590/1678-4499.20230198.

VIDAL, A. K. F.; DAHER, R. F.; FREITAS, R. S.; *et al.* (2024) Genetic diversity based on multivariate techniques in elephant grass genotypes for bioenergy. *Brazilian Journal of Biology*, 84:e278601. DOI: 10.1590/1519-6984.278601.

VIDAL, A. K. F.; DAHER, R. F.; FREITAS, R. S.; STIDA, W. F.; TARDIN, F. D.; RODRIGUES, E. V.; SILVA, V. B.; SANTOS, R. M.; SANTOS, P. R. dos; OLIVEIRA, T. R. A. de. (2019) Screening of elephant grass genotypes following some agro-morphological traits related to biomass production in Rio de Janeiro (Brazil). *Journal of Experimental Agriculture International*, v. 39, p. 1–10.

VIDAL, A. K. F.; *et al.* (2022) Growth curve in elephant grass genotypes based on morpho-agronomic traits for energy production. *Chilean Journal of Agricultural Research*, v. 82, n. 1, p. 78–87.

VIDAL, A.K.F. 2022. Prospecção de genótipos de capim-elefante para fins energéticos com base em análise multivariada e modelos mistos. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 79p.